

# Хирургия ПОЗВОНОЧНИКА

## Russian Journal of Spine Surgery

2025. Т. 22. № 2



•  
Hip-spine-синдром:  
несистематизированный обзор литературы

•  
Биомеханические показатели нестабильности  
позвоночно-двигательного сегмента  
в поясничном отделе позвоночника

•  
Валидация мобильного приложения  
для расчета сагиттальных параметров  
позвоночника

•  
«Зона безопасности»  
ацетабулярного компонента в концепции  
позвоночно-тазовых взаимоотношений

•  
Влияние деструктивных изменений  
и хирургической коррекции на параметры  
сагиттального баланса шейного отдела  
позвоночника у детей

•  
Анализ взаимного влияния параметров  
шейного сагиттального баланса  
у детей в норме и с синдромом Дауна

•  
Обоснование технических вариантов  
педикулярной удлиняющей остеотомии  
для декомпрессии дурального мешка и корешков

•  
Повреждения позвоночника и спинного мозга  
в боевых конфликтах



2025. Т. 22. № 2

Хирургия  
ПОЗВОНОЧНИКА  
Russian Journal of Spine Surgery

Научно-практический журнал

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА

ФГБУ «НОВОСИБИРСКИЙ НИИТО ИМ. Я.А. ЦИВЬЯНА» МИНЗДРАВА РОССИИ  
МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ «АССОЦИАЦИЯ ХИРУРГОВ-ВЕРТЕБРОЛОГОВ»

**Главный редактор** А.Ю. Мушкин (Санкт-Петербург, Россия)  
**Заместитель главного редактора** А.О. Гушча (Москва, Россия)  
**Отв. секретарь** М.В. Михайловский (Новосибирск, Россия)

**Редакционная коллегия**

А.Г. Аганесов (Москва, Россия)  
А. Аланай (Стамбул, Турция)  
А.А. Афаунов (Краснодар, Россия)  
И.В. Басанкин (Краснодар, Россия)  
А.В. Бурцев (Курган, Россия)  
С.В. Виссарионов (Санкт-Петербург, Россия)  
А.А. Гринь (Москва, Россия)  
А.В. Губин (Москва, Россия)  
А.К. Дулаев (Санкт-Петербург, Россия)  
Ж.Ф. Дюбуссе (Париж, Франция)  
А.А. Ежевская (Нижний Новгород, Россия)  
А.М. Зайдман (Новосибирск, Россия)  
Л. Каплан (Иерусалим, Израиль)  
И.А. Кирилова (Новосибирск, Россия)  
Д.А. Клементс (Глассборо, США)  
С.В. Колесов (Москва, Россия)  
Н.А. Коновалов (Москва, Россия)  
Н.А. Корж (Харьков, Украина)  
М.Н. Кравцов (Санкт-Петербург, Россия)  
А.А. Кулешов (Москва, Россия)  
М.Н. Лебедева (Новосибирск, Россия)  
Х.М. Майер (Мюнхен, Германия)  
И.А. Норкин (Саратов, Россия)  
О.Г. Прудникова (Курган, Россия)  
Д.А. Пташников (Санкт-Петербург, Россия)  
В.В. Рерих (Новосибирск, Россия)  
С.О. Рябых (Москва, Россия)  
А.Е. Симонович (Новосибирск, Россия)  
В.А. Сороковиков (Иркутск, Россия)  
С.И. Станчев (София, Болгария)  
В.В. Ступак (Новосибирск, Россия)  
Г.Э. Ульрих (Санкт-Петербург, Россия)

**Editor-in-Chief** A.Yu. Mushkin (St. Petersburg, Russia)  
**Deputy Editor** A.O. Gushcha (Moscow, Russia)  
**Executive Secretary** M.V. Mikhaylovskiy (Novosibirsk, Russia)

**Editorial Board**

A.G. Aganesov (Moscow, Russia)  
A. Alanay (Istanbul, Turkey)  
A.A. Afaunov (Krasnodar, Russia)  
I.V. Basankin (Krasnodar, Russia)  
A.V. Burtsev (Kurgan, Russia)  
S.V. Vissarionov (St. Petersburg, Russia)  
A.A. Grin (Moscow, Russia)  
A.V. Gubin (Moscow, Russia)  
A.K. Dulaev (St. Petersburg, Russia)  
J.F. Dubouset (Paris, France)  
A.A. Ezhevskaya (Nizhny Novgorod, Russia)  
A.M. Zaidman (Novosibirsk, Russia)  
L. Kaplan (Jerusalem, Israel)  
I.A. Kirilova (Novosibirsk, Russia)  
D.A. Clements (Glassboro, USA)  
S.V. Kolesov (Moscow, Russia)  
N.A. Konovalov (Moscow, Russia)  
N.A. Korzh (Kharkov, Ukraine)  
M.N. Kravtsov (St. Petersburg, Russia)  
A.A. Kuleshov (Moscow, Russia)  
M.N. Lebedeva (Novosibirsk, Russia)  
H.M. Mayer (Munich, Germany)  
I.A. Norkin (Saratov, Russia)  
O.G. Prudnikova (Kurgan, Russia)  
D.A. Ptashnikov (St. Petersburg, Russia)  
V.V. Rerikh (Novosibirsk, Russia)  
S.O. Ryabykh (Moscow, Russia)  
A.E. Simonovich (Novosibirsk, Russia)  
V.A. Sorokovikov (Irkutsk, Russia)  
S.I. Stanchev (Sofia, Bulgaria)  
V.V. Stupak (Novosibirsk, Russia)  
G.E. Ulrikh (St. Petersburg, Russia)

Издатель: ФГБУ «ННИИТО им. Я.А. Цивьяна» Минздрава России

Адрес редакции, издателя:  
630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17  
Тел.: 8 (383) 363-12-91, факс: 8 (383) 363-39-73  
E-mail: MBedulina@niito.ru  
www.spinesurgery.ru

Руководитель М.А. Бедулина  
Редактор И.Г. Шевченко  
Корректор Н.С. Старцева  
Переводчик Т.П. Панькова  
Дизайн и верстка Н.В. Зиновьева  
Администратор сайта М.А. Бедулина  
Распространение М.А. Бедулина

Журнал зарегистрирован  
в Федеральной службе по надзору  
в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций.  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-74930  
от 11 февраля 2019 г.

© Хирургия позвоночника, 2025



2025. Т. 22. № 2

Хирургия  
позвоночника  
Russian Journal of Spine Surgery

Научно-практический журнал

содержание

contents

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

4

EDITORIAL

СОЧЕТАННАЯ ПАТОЛОГИЯ ПОЗВОНОЧНИКА И ТАЗА

COMBINED PATHOLOGY OF THE SPINE AND PELVIS

Котельников А.О., Евсюков А.В., Прудникова О.Г.,  
Бурицев А.В., Павлов В.В., Пелеганчук А.В.  
HIP-SPINE СИНДРОМ: НЕСИСТЕМАТИЗИРОВАННЫЙ  
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

6

Kotelnikov A.O., Evsyukov A.V., Prudnikova O.G.,  
Burtsev A.V., Pavlov V.V., Peleganchuk A.V.  
HIP-SPINE SYNDROME: A NON-SYSTEMATIC  
LITERATURE REVIEW

Пелеганчук А.В., Тургунов Э.Н., Мушкачев Е.А.,  
Таштанов Б.Р., Павлов В.В., Короткин А.А.  
«ЗОНА БЕЗОПАСНОСТИ»  
АЦЕТАБУЛЯРНОГО КОМПОНЕНТА В КОНЦЕПЦИИ  
ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ

23

Peleganchuk A.V., Turgunov E.N., Mushkachev E.A.,  
Tashtanov B.R., Pavlov V.V., Korytkin A.A.  
SAFE ZONE FOR THE ACETABULAR  
COMPONENT IN THE CONCEPT  
OF SPINOPELVIC RELATIONSHIPS

ПАТОЛОГИЯ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

PATHOLOGY OF THE LUMBAR SPINE

Дзукаев Д.Н., Пейкер А.Н., Топорский А.И., Борзенков А.В.,  
Музышев И.А., Пустовойтов В.В., Торчинов С.Т., Гулый В.В.  
БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПОЗВОНОЧНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО  
СЕКТОРА В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА:  
СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

32

Dzukaev D.N., Peiker A.N., Toporskiy A.I., Borzenkov A.V.,  
Muzishev I.A., Pustovoitov V.V., Torchinov S.T., Guly V.V.  
BIOMECHANICS OF SPINAL  
MOTION SEGMENT INSTABILITY  
IN THE LUMBAR SPINE:  
A SYSTEMATIC REVIEW

Афаунов А.А., Басанкин И.В., Багаудинов А.Б.,  
Млявях С.Г., Гюльзатян А.А., Богданов С.В.  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ  
ВАРИАНТОВ ПЕДИКУЛЯРНОЙ УДЛИНЯЮЩЕЙ ОСТЕОТОМИИ  
ДЛЯ ДЕКОМПРЕССИИ ДУРАЛЬНОГО МЕШКА И КОРЕШКОВ  
В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА

45

Afaunov A.A., Basankin I.V., Bagaudinov A.B.,  
Mlyavyykh S.G., Gulzatyan A.A., Bogdanov S.B.  
EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF TECHNICAL  
VARIANTS OF PEDICLE-LENGTHENING OSTEOTOMY  
FOR DECOMPRESSION OF THE DURAL SAC  
AND NERVE ROOTS IN THE LUMBAR SPINE

ПАТОЛОГИЯ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

PATHOLOGY OF THE CERVICAL SPINE

Кулешов А.А., Назаренко А.Г., Шаров В.А., Ветфилэ М.С.,  
Овсянкин А.В., Кузьмина Е.С.  
АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ  
ПАРАМЕТРОВ ШЕЙНОГО САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА  
У ДЕТЕЙ В НОРМЕ И С СИНДРОМОМ ДАУНА

55

Kuleshov A.A., Nazarenko A.G., Sharov V.A., Vetrile M.S.,  
Ovsyankin A.V., Kuzminova E.S.  
ANALYSIS OF THE MUTUAL INFLUENCE  
OF CERVICAL SAGITTAL BALANCE PARAMETERS  
IN CHILDREN IN NORM AND WITH DOWN SYNDROME

Глухов Д.А., Мушкин А.Ю.  
ВЛИЯНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ХИРУРГИЧЕСКОЙ  
КОРРЕКЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА  
ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА У ДЕТЕЙ

66

Glukhov D.A., Mushkin A.Yu.  
INFLUENCE OF DESTRUCTIVE CHANGES  
AND SURGICAL CORRECTION ON THE PARAMETERS  
OF SAGITTAL BALANCE OF THE CERVICAL SPINE IN CHILDREN

Индекс 46350  
для подписки по каталогу «Книга-Сервис».  
ISSN 1810-8997 (print),  
ISSN 2313-1497 (online)

На обложке: изображение «Гармония форм»,  
сгенерированное А.А. Кисель  
с использованием нейросети Midjourney

Бобряков Н.А., Серeda Э.В., Петров С.И., Джумабаев А.Х.,  
Хамидуллин Ф.Г., Цыренжапов А.М.  
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СОМАТОСЕНСОРНЫХ  
ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ У ПАЦИЕНТОВ  
С МАЛОСИМПТОМНЫМИ ФОРМАМИ ЦЕНТРАЛЬНОГО  
СТЕНОЗА ПОЗВОНОЧНОГО КАНАЛА НА ШЕЙНОМ УРОВНЕ

БОЕВЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

Мануковский В.А., Келин А.О., Антонов Г.И., Чмутин Г.Е., Данилов Г.В.,  
Струнина Ю.В., Иванов И.И., Гюльзатян А.А.  
ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЗВОНОЧНИКА И СПИННОГО МОЗГА  
В БОЕВЫХ КОНФЛИКТАХ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ  
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И МЕТААНАЛИЗ

ВАЛИДАЦИЯ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Захарин В.Р., Леонова О.Н., Байков Е.С., Кокорев А.И., Дарчия Л.Ю.,  
Балычев Г.Е., Иванов Д.В., Доль А.В., Бессонов Л.В., Крутько А.В.  
ВАЛИДАЦИЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ  
ДЛЯ РАСЧЕТА САГИТТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ПОЗВОНОЧНИКА «SMARTPLAN BALANCE»

Лейн Г.А., Нечаева Н.С., Демченко М.О., Артамонов М.С.  
ВАЛИДАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ  
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ  
СКОЛИОТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА  
ПРИ АНАЛИЗЕ РЕНТГЕНОГРАММ

БЮЛЛЕТЕНЬ АССОЦИАЦИИ ХИРУРГОВ-ВЕРТЕБРОЛОГОВ  
Резолюция XIII съезда Российской ассоциации хирургов-вертебологов

ПАМЯТИ КОЛЛЕГ

Жан Дюбуссе  
Эдуард Владимирович Ульрих

ФОРУМЫ ДЛЯ ВЕРТЕБРОЛОГОВ

КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

75

Bobriakov N.A., Sereda E.V., Petrov S.I., Dzhumabaev A.Kh.,  
Khamidullin F.G., Tsyrenzhapov A.M.  
STUDY OF DYNAMIC SOMATOSENSORY  
EVOKED POTENTIALS IN PATIENTS  
WITH ASYMPTOMATIC CENTRAL  
CERVICAL SPINAL STENOSIS

COMBAT INJURIES OF THE SPINE

83

Manukovskiy V.A., Kelin A.O., Antonov G.I., Chmutin G.E., Danilov G.V.,  
Strunina Yu.V., Ivanov I.I., Gulzatyay A.A.  
COMBAT RELATED SPINE  
AND SPINAL CORD INJURIES: A SYSTEMATIC  
LITERATURE REVIEW AND META-ANALYSIS

VALIDATION OF DECISION SUPPORT PROGRAMS

96

Zakharin V.R., Leonova O.N., Baikov E.S., Kokorev A.I., Darchia L.Yu.,  
Balychev G.E., Ivanov D.V., Dol A.V., Bessonov L.V., Krutko A.V.  
VALIDATION OF THE SMARTPLAN BALANCE  
MOBILE APPLICATION TO MEASURE  
SAGITTAL PARAMETERS OF THE SPINE

104

Lein G.A., Nechaeva N.S., Demchenko M.O., Artamonov M.S.  
VALIDATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM  
FOR DETERMINING THE SEVERITY  
OF SCOLIOTIC SPINAL DEFORMITY  
USING RADIOGRAPHIC IMAGE ANALYSIS

112

BULLETIN OF THE ASSOCIATION OF SPINE SURGEONS  
Resolution of the 13<sup>th</sup> Congress of the Russian Association of Spine Surgeons

118

IN MEMORY OF COLLEAGUE  
Jean Dubousset  
Eduard Vladimirovich Ulrikh

125

MEETING FOR SPINE SPECIALISTS

128

NOVELTY BOOKS

135

INFORMATION FOR AUTHORS

16+

Воспроизведение текстовых и изобразительных материалов  
без письменного согласия редакции не допускается.  
Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции.  
Ответственность за достоверность рекламы  
несут рекламодатели.

Подписано в печать 23.06.2025. Дата выхода в свет 30.06.2025.  
Формат 60×90/8. Печать офсетная.  
Печ. л. 17,0. Усл. печ. л. 8,5. Тираж 100 экз. Заказ № 0792-25.  
Отпечатано в типографии «ДЕАЛ».  
Адрес типографии: 630033, Новосибирск, ул. Брюллова, 6а.  
E-mail: deal@dealprint.ru  
Цена: 1200 р.





Уважаемые коллеги!

Планируя выход очередного номера журнала «Хирургия позвоночника», мы сочли возможным заранее анонсировать его основную тему: различные аспекты биомеханики позвоночника. Именно поэтому при редактировании номера мы отошли от традиционного структурирования статей по патологическим состояниям и сгруппировали статьи по несколько блокам.

*Сочетанная патология позвоночника и таза.* Диагностика и лечение hip-spine синдрома, определение ведущего клинического компонента, алгоритмирование тактики и методов оценки эффективности лечения – все это сегодня рассматривается как одна из наименее изученных и дискуссионных областей хирургической патологии, расположенной на стыке традиционной ортопедии и хирургической вертебологии.

*Поясничный отдел позвоночника.* Тематика исследований в этой области безгранична, но мы остановились на работах, посвященных его нестабильности и экспериментальному моделированию дистракционной декомпрессии позвоночного канала и корешковых отверстий на этом уровне.

*Шейный отдел позвоночника.* Анатомически это самый своеобразный и самый функционально подвижный отдел. Биомеханика шейного отдела позвоночника у детей – одна из «серых зон» педиатрической вертебологии. В двух оригинальных исследованиях на эту тему анализируются ее особенности в норме, при врожденных аномалиях у детей с синдромом Дауна, а также при воспалительных и опухолевых деструкциях. Еще одна публикация этого блока касается особенностей нейрофизиологического мониторинга пациентов взрослого возраста со стенозами позвоночного канала в шейном отделе позвоночника.

Трудно обойти вниманием тему *боевых повреждений позвоночника*. Такие вопросы крайне редко обсуждаются в рамках общей ортопедии и нейрохирургии, но реальность нашего времени заставляет не только быть знакомыми с публикациями предыдущего десятилетия на эту тему, но и ожидать новых публикаций, в которых будут отражены современные аспекты этой сложной проблемы.

*Применение автоматизированных программ обработки изображений и поддержки принятия решений* – не что иное, как постепенное внедрение *искусственного интеллекта* в нашу ежедневную практику. Мы сочли возможным показать эффективность его применения как для хирургов-вертебрологов (и особая благодарность авторам, предоставившим возможность любому читателю скачать такую программу непосредственно из публикации), так и для ортезистов, занимающихся корсетным лечением деформаций позвоночника.

Мы не могли обойти вниманием событие, которое должно определить направления развития нашей специальности в ближайшие годы. В Санкт-Петербурге состоялся XIII съезд ассоциации хирургов-вертебрологов Российской Федерации, рассмотревший широкий спектр вопросов. Во время съезда произошли и важные организационные изменения: в состав ассоциации были приняты новые региональные подразделения, в результате чего она получила возможность изменить статус с межрегионального на всероссийский. На наш взгляд, это должно упростить взаимодействие как отдельных врачей, так и региональных спинальных центров в организации нашей профессиональной деятельности. Очень надеемся на то, что такое объединение обеспечит более тесное научное, практическое и образовательное общение специалистов-вертебрологов, позволит более активно делиться результатами своей работы и, если понадобится, проблемами на страницах и сайте журнала «Хирургия позвоночника».

К сожалению, с разницей менее чем один месяц мы потеряли Ж. Дюбуссе и Э.В. Ульриха. Эти люди не просто оставили след в хирургической вертебологии, но и стояли у ее истоков. Они ушли из жизни, чуть-чуть не дожив до 90-летних юбилеев, в достаточно преклонном возрасте сумев сохранить абсолютно ясный и острый ум и глубочайшую мудрость. Многие годы они были активными членами редакционной коллегии нашего журнала, общение с ними обогатило всех, кто имел счастье знать их лично. Теплые воспоминания друзей, коллег и учеников – лишь небольшая часть нашей благодарности этим великим людям.

Вот таким получился этот номер нашего журнала.

**Проф. А.Ю. Мушкин,**  
главный редактор  
журнала «Хирургия позвоночника»

# Хирургия ПОЗВОНОЧНИКА

Russian Journal of Spine Surgery

Научно-практический журнал

2025. Т. 22. № 2

*Журнал представлен:*

- в международной библиографической и реферативной базе данных Scopus
- Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science
- онлайн-платформе Directory of Open Access Journals (DOAJ)
- международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory» (издательство «Bowker», США)
- информационном сервисе EBSCO
- поисковой системе научных публикаций Google Scholar
- Перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий России, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по специальностям «травматология и ортопедия» и «нейрохирургия»
- Российском индексе научного цитирования
- Реферативном журнале и базах данных ВИНТИ РАН
- научной электронной библиотеке «КиберЛенинка»
- Национальном электронно-информационном консорциуме



# HIP-SPINE СИНДРОМ: НЕСИСТЕМАТИЗИРОВАННЫЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

А.О. Котельников<sup>1</sup>, А.В. Евсюков<sup>1</sup>, О.Г. Прудникова<sup>1</sup>, А.В. Бурцев<sup>1</sup>, В.В. Павлов<sup>2</sup>, А.В. Пелеганчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии  
им. академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии  
им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия

Дизайн: несистематизированный обзор литературы. Цель исследования — анализ текущего состояния проблемы лечения пациентов с hip-spine синдромом. Диагностика и лечение сочетания дегенеративной патологии в тазобедренных суставах и позвоночника осложняются из-за значительного совпадения их симптоматики. Расшатывание компонентов эндопротеза тазобедренного сустава остается второй по распространенности причиной ревизионных операций после инфекции. Повышение осведомленности о подвижности позвоночно-тазового комплекса и учет сагиттального выравнивания туловища играют важную роль в повышении качества хирургического лечения пациентов с hip-spine синдромом. В настоящее время отсутствует устоявшийся тактический хирургический алгоритм лечения пациентов с hip-spine синдромом: нет единого мнения о том, с каким патологическим состоянием следует бороться в первую очередь, требуют дополнения и закрепления проспективными исследованиями алгоритмы очередности оперативного лечения на позвоночно-тазовом комплексе.

**Ключевые слова:** hip-spine синдром; коксовертебральный синдром; коксартроз; дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника; стеноз позвоночного канала; эндопротезирование тазобедренного сустава.

Для цитирования: Котельников А.О., Евсюков А.В., Прудникова О.Г., Бурцев А.В., Павлов В.В., Пелеганчук А.В. Hip-spine синдром: несистематизированный обзор литературы // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 6–22.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.6-22>

## HIP-SPINE SYNDROME: A NON-SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

A.O. Kotelnikov<sup>1</sup>, A.V. Evsyukov<sup>1</sup>, O.G. Prudnikova<sup>1</sup>, A.V. Burtsev<sup>1</sup>, V.V. Pavlov<sup>2</sup>, A.V. Peleganchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia

Design: non-systematic literature review. The aim of the study was to analyze the current state of the problem of treating patients with hip-spine syndrome. Diagnosis and treatment of a combination of degenerative pathologies in the hip joints and spine are complicated due to the significant coincidence of the symptoms of the diseases. Loosening of hip endoprosthesis components remains the second most common cause of revision surgery after infection. Increasing awareness of the mobility of the spinopelvic complex, as well as taking into account the sagittal alignment of the trunk, are important for improving the quality of surgical treatment of patients with hip-spine syndrome. Currently, there is no established tactical surgical algorithm for treating patients with hip-spine syndrome: there is no consensus on which pathological condition should be treated first, and algorithms for the sequence of surgical treatment of the spinopelvic complex require supplementation and consolidation by prospective studies.

**Key words:** hip-spine syndrome; coxo-vertebral syndrome; coxarthrosis; degenerative diseases of the spine; spinal stenosis; hip replacement.

Please cite this paper as: Kotelnikov AO, Evsyukov AV, Prudnikova OG, Burtsev AV, Pavlov VV, Peleganchuk AV. Hip-spine syndrome: a non-systematic literature review. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):6–22. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.6-22>

Hip-spine синдром – это симптомокомплекс, образующийся конкурирующими патологиями поясничного, пояснично-крестцового отделов позвоночника и тазобедренных суставов, подтвержденными методами визуализации, с соответствующими клиническими проявлениями, но, к сожалению, с разным их интерпретированием.

Авторами, впервые описавшими hip-spine синдром, принято считать Officerski и MacNab, представивших его классификацию в 1983 г. [1]. Основной принцип классификации – выявление ведущего источника инвалидизации у пациентов с сочетанной рентгенологической патологией пояснично-крестцового

отдела позвоночника и тазобедренных суставов. Пациенты, обследованные авторами, были разделены на 3 группы:

1) *простой тип*: пациенты с симптомами, которых по анамнезу, клиническому осмотру или с помощью диагностической блокады было легко отнести к заболеванию тазобедренного сустава.

ренных суставов или позвоночника из-за одного источника боли;

2) *комплексный тип*: пациенты, симптомы и клиническое обследование которых дают запутанную картину, что затрудняет определение основного источника инвалидности; источник боли у таких пациентов сочетанный, сложно выявить преобладающий;

3) *вторичный тип*: пациенты, которые по анамнезу, по данным физического осмотра или с помощью диагностической блокады были отнесены к группе с заболеваниями тазобедренных суставов или позвоночника; источник боли у таких пациентов сочетанный, преобладающий источник легко выявляется, но является вторичным по отношению к изменениям, деформации смежного звена комплекса «поясничный отдел позвоночника – таз – тазобедренные суставы».

Отдельно была выделена группа пациентов (четвертая) с неправильно диагностированным типом синдрома уже по факту проведенного лечения: больные, у которых первичное хирургическое лечение не привело к купированию болевого синдрома и потребовало дополнительного вмешательства на смежном звене комплекса «поясничный отдел позвоночника – таз – тазобедренные суставы». Данная классификация продолжает быть актуальной и по настоящее время [2–5, 6]. Тем не менее простое разделение синдрома в зависимости от преобладающей патологии не дает полного представления об изменениях в системе «поясничный отдел позвоночника – таз – тазобедренные суставы» и не отражает всей сложности взаимоотношений между тазовым кольцом и тазобедренными суставами, которые по существу являются фундаментом позвоночника и принимают на себя основную осевую нагрузку со стороны анатомических структур выше таза [7].

Цель исследования – анализ и обобщение информации о проблемах диагностики и лечения пациентов с hip-spine синдромом за период с 1983 по 2024 гг.

## Материал и методы

Дизайн: несистематизированный обзор литературы.

Поиск проводили в пяти электронных базах данных: PubMed, Ovid Medline, Cochrane Library, Google Scholar и ресурсах научной электронной библиотеки eLibrary, охватывающих период с 1983 г. (первое упоминание о синдроме hip-spine) [1] до 2024 г. включительно. Ограничений по уровню доказательств для рассматриваемых исследований не устанавливали. Для максимального повышения чувствительности стратегии поиска термины «hip-spine», «коксовертебральный синдром», «коксартроз», «дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника» и «эндопротезирование тазобедренного сустава» были объединены в ключевые слова и термины для сетевого поиска.

Критерии включения в исследование:

1) публикации с открытым доступом, без ограничений по типу и языку написания;

2) публикации, содержащие информацию об эпидемиологии сочетанной патологии тазобедренных суставов и пояснично-крестцового отдела позвоночника и осложнениях хирургического лечения hip-spine синдрома;

3) публикации с описанием алгоритмов, тактики диагностики hip-spine синдрома;

4) публикации, описывающие выбор хирургической тактики при hip-spine синдроме.

Критерии исключения:

1) публикации с указанием на локальную патологию пояснично-крестцового отдела позвоночника или тазобедренных суставов;

2) нехирургическая направленность лечения hip-spine синдрома;

3) дублирование публикаций.

## Результаты и их обсуждение

В результате поиска получена 1431 публикация. При сопоставлении критериев включения/исключения 91 источник включили в данный обзор.

Проблемы hip-spine синдрома можно обозначить несколькими аспектами.

### Актуальность hip-spine синдрома

*\* Значительная распространенность пациентов с сочетанной дегенеративно-дистрофической патологией пояснично-крестцового отдела позвоночника и тазобедренных суставов.*

Остеоартроз является наиболее распространенным заболеванием опорно-двигательного аппарата, ассоциированным со старческим возрастом, и второй по значимости после болезней сердца причиной инвалидизации у пожилых людей [8]. Лучевыми методами исследования он выявляется более чем у 80 % лиц старше 55 лет и присутствует у более чем 40 млн граждан США [9]. Рентгенологические признаки остеoarтроза коленного сустава выявляются у 40 % лиц в возрасте 80 лет и старше, в то время как рентгенологические признаки коксартроза фиксируются у 12 % людей старше 80 лет [9–11]. Не является редкостью также стеноз позвоночного канала поясничного отдела позвоночника как разновидность проявлений артроза. Выявлено, что у 39 млн (0,53 %) человек ежегодно во всем мире выявляется спондилолистез, у 403 млн (5,5 %) – симптоматическая дегенерация дисков, у 103 млн (1,41 %) – стеноз позвоночного канала [12]. При этом спондилолистез как разновидность стеноза может наблюдаться у 6 % мужчин и 9 % женщин [13]. Данные КТ позвоночника показывают частоту стеноза позвоночного канала 3,4 % у лиц старше 40 лет. При этом МРТ может указывать на еще более высокие показатели: исследование, проведенное Borenstein et al. [13], показало распространенность стеноза 60 % среди добровольцев старше 60 лет. Дегенеративные патологии позвоночника и тазобедренного сустава часто сосуществуют [14–16], при этом только 3,5 % пациентов с тотальным эндопротезированием тазобедренного сустава (ТЭТБС)



ранее перенесли операцию на позвоночнике [17]. В 2017 г. в мире производилось не менее миллиона операций эндопротезирования тазобедренного сустава [11, 18]. Только в США в 2010 г. было выполнено 438 тыс. ТЭТБС [19]. Истинная частота сочетания поясничного стеноза и артроза тазобедренного сустава неизвестна [9], но если ориентироваться на 1 000 000 ТЭТБС, то доля пациентов с операциями на позвоночнике составит не менее 35 000 пациентов.

*\* Весомый риск послеоперационных осложнений: расшатывание компонентов эндопротеза тазобедренного сустава.*

Несмотря на значительный прогресс в области технологий, расшатывание компонентов эндопротеза тазобедренного сустава остается второй по распространенности причиной ревизионных операций на нем после инфекции [20, 21]. Многочисленные исследования подтвердили повышенную частоту вывихов и ревизий у пациентов с деформацией позвоночника [22–25], ригидным позвоночником [26, 27], а также у тех, кто ранее перенес эндопротезирование в сочетании с поясничным спондилодезом [28–32]. Продemonстрирован повышенный риск вывиха и ревизии тазобедренного сустава у пациентов с сопутствующей деформацией профиля туловища в сагиттальной плоскости с высоким отклонением таза (РТ более 20°) и соотношением LL–PI более 9° [22–24]. В этих исследованиях проанализировано 1167 пациентов и сообщалось в общей сложности о 34 (2,9%) вывихах. А.В. Пелеганчук с соавт. [2] продемонстрировали повышенный риск вывихов бедренного компонента эндопротеза при 1, 2 и 4-м типах осанки по классификации Roussouly. Избыточное компенсаторное увеличение наклона таза назад с целью поддержания вертикального положения приводит к антеверсии вертлужного компонента, что увеличивает риск импинджмента и вывиха бедренного компонента, а также, как правило, способствует расшатыванию протезных

компонентов, особенно ацетабулярного [22–24].

Данные по рискам расшатывания и частоте ревизии эндопротеза тазобедренного сустава при ригидности позвоночно-тазового комплекса у ряда авторов соотносятся и указывают на высокую значимость оценки подвижности таза и поясничного отдела позвоночника в положении сидя и стоя при планировании эндопротезирования тазобедренных суставов. В одном из исследований зафиксирована относительно низкая частота вывихов, составляющая 1,55 %, однако при коротких спондилодезах (от одного до двух уровней) наблюдается увеличение этой частоты до 2,73 %. При сращении трех или более уровней межпозвонковых дисков риск вывихов возрастает в три раза, достигая 4,62 %. [33]. Bedard et al. [34] сообщают о 8,3 % вывихов бедренного компонента эндопротеза у пациентов, перенесших спондилодез и ТЭТБС, в сравнении с 2,9 % у тех, кто прошел только ТЭТБС. При этом авторы не уточняют уровень спондилодеза в поясничном отделе позвоночника, хотя известно, что по мере его удаления от таза влияние на отклонение таза снижается. Похожие результаты приводят Sing et al. [31] без указания уровня спондилодеза, констатируя только факт его проведения: согласно их данным, через 24 мес. наблюдения у пациентов, перенесших только ТЭТБС, частота ревизий составляет 7,3 %. У пациентов с коротким спондилодезом (менее двух уровней) этот показатель возрастает до 11,2 %, а у пациентов с длинным спондилодезом (более 2 уровней) достигает 14,2 % [32]. Perfetti et al. [33] также сообщили об относительно высоких рисках вывиха (7,19 %) и ревизии (4,64 %) после предшествующего спондилодеза.

#### **Сложность диагностики hip-spine синдрома**

*\* Сложность выявления превалирующего источника боли hip-spine синдрома, инвалидизации и причины инвалидизации (тазобедренный*

*сустав, позвоночник, тазобедренный сустав – позвоночник).*

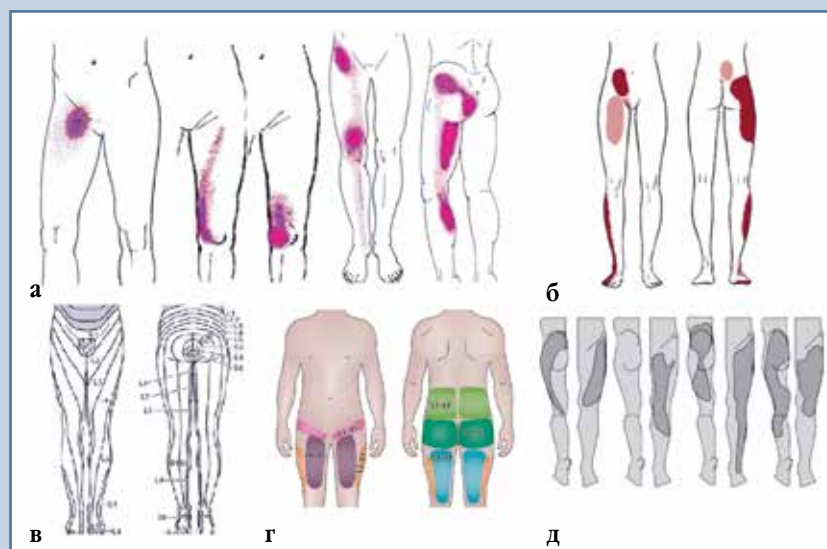
Каждый пациент при сочетанной патологии тазобедренного сустава и позвоночника требует избирательного подхода к диагностике. Клиническая картина имеет многообразие симптоматических проявлений. Ряд авторов утверждают, что болевой синдром при коксартрозе, артрозе крестцово-подвздошных сочленений и дегенеративных изменениях пояснично-крестцового отдела позвоночника имеет схожие проявления, что усложняет задачу в клинической верификации превалирующей патологии/источника болевого синдрома [35–39]. У некоторых людей могут наблюдаться изолированные участки боли в конечностях в области бедра, колена, икроножной мышцы, голеностопного сустава или пяточной области [40]. Боль, возникающая из-за дегенерации тазобедренного сустава, локализуется в паху (84 % случаев), ягодичной области (76 %), передней поверхности бедра (59 %), задней поверхности бедра (43 %), передней поверхности коленного сустава (69 %), голени (47 %) и икроножной области (29 %) [41, 42]. У пациентов с заболеваниями поясничного отдела позвоночника боль имеет различный генез (дискогенный, фасеточный, корешковый) и многообразную, сочетающуюся иррадиацию, что также не облегчает поиск источника боли [43]. Если у пациентов с заболеваниями поясничного отдела позвоночника и тазобедренного сустава боль проявляется только по латеральной поверхности голени, определить ее происхождение может быть крайне сложно [41]. Определение источника боли может осложняться клиническим синдромом, связанным с изменениями крестцово-подвздошных сочленений, который часто маскирует корешковые поражения. Боль чаще носит односторонний латерализованный характер в проекции крестцово-подвздошных сочленений. Наиболее специфичной зоной поражения крестцово-подвздошных сочленений является область, расположенная непосред-

ственно ниже задней верхней подвздошной ости, имеющая размеры около  $3 \times 10$  см (известная как зона Fortin) [44, 45]. В 94 % случаев болевые ощущения иррадируют в ягодичные области, в 72 % – в нижнепоясничную область, в 50 % наблюдается распространение боли в нижние конечности по задненаружной поверхности бедра. При этом в 28 % случаев боль иррадирует ниже колена, в 12 % – до стопы, в 14 % – распространяется в паховую область, в 6 % – в верхние отделы поясничной области, в 2 % – в область живота [45, 46]. Точность описания болей пациентами в некоторых случаях невозможна, что приводит к длительному диагностическому поиску. Наглядно ирритацию боли с учетом дерматомной иннервации при конкурирующей патологии, создающей трудности в диагностике превалирующего источника боли, можно увидеть на рис. 1 [44–50].

Тщательный сбор анамнеза и физикальное обследование нередко позволяют отличить боль корешкового происхождения от боли в суставе, но иногда провести их дифференциацию крайне сложно [40]. При затруднении выявления превалирующего источника боли используют ЭНМГ, диагностические инъекции в тазобедренный сустав (блокады), паравертебральные блокады, блокады крестцово-подвздошных сочленений, однако их чувствительность варьирует от 75 до 87 % [41].

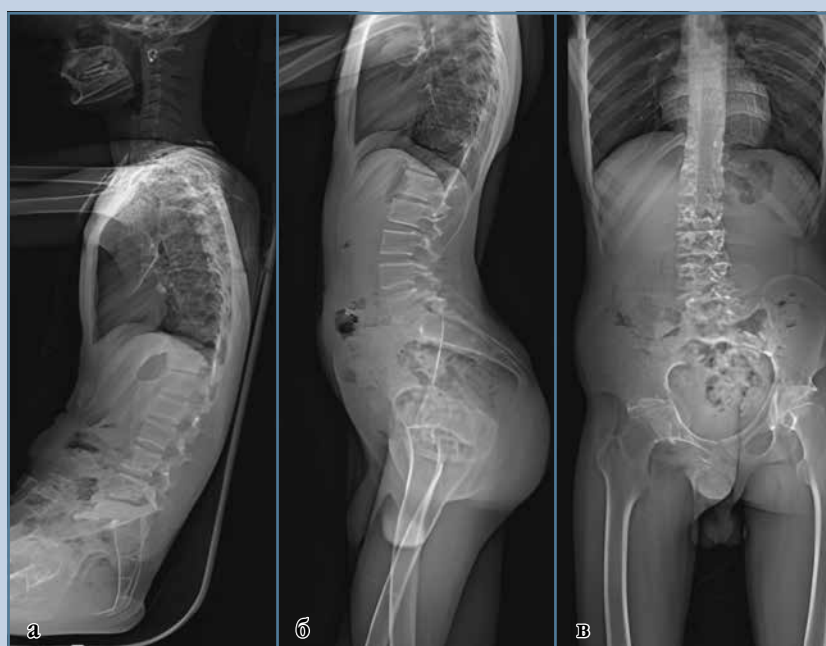
*\*Не определен алгоритм инструментального обследования пациентов с hip-spine синдромом.*

Визуализация изменений в позвоночнике и тазобедренных суставах проводится с использованием лучевых методов исследования, включая рентгенографию, КТ и МРТ в этих областях. Публикации последних 20 лет указывают на рост интереса к оценке биомеханической взаимосвязи тазобедренного сустава и позвоночника в связи с ее влиянием на частоту нестабильности (вывихов) эндопротеза тазобедренного сустава [51–55]. Позвоночник, таз и бедро движутся согласованно друг с другом в повсе-



**Рис. 1**

Распространение боли в зависимости от ее источника: **а** – патология тазобедренных суставов; **б** – патология крестцово-подвздошных суставов; **в** – поражение нервных корешков пояснично-крестцового отдела позвоночника; **г** – поражение фасеточных суставов пояснично-крестцового отдела позвоночника; **д** – поражение межпозвонковых дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника [44–50]



**Рис. 2**

Рентгенограммы пациента с патологией позвоночника и тазобедренных суставов: **а** – положение сидя; **б** – боковая рентгенограмма в положении стоя; **в** – фронтальная рентгенограмма

дневной жизни, а вертлужная впадина как часть таза меняет свою трехмерную ориентацию вместе с тазом, в зависимости от положения стоя, сидя и при наклоне туловища вперед [56–58]. Это по принципу инцидентности относится и к ацетабулярному компоненту эндопротеза после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Такие изменения можно зарегистрировать на рентгенограммах, сделанных в положении стоя и сидя, захватывающих L<sub>3</sub> позвонок и проксимальный отдел бедренных костей [59]. В связи с растущим исследовательским интересом к оценке биомеханической взаимосвязи тазобедренного сустава и позвоночника большинство авторов указывают на важность выполнения пациентам с hip-spine синдромом и при рецидивирующих вывихах эндопротеза тазобедренного сустава переднезадней рентгенограммы позвоночника и таза в положении стоя и боковую рентгенограмму позвоночника и таза в положении стоя и сидя [20, 56, 60] (рис. 2). На основании рентгенограмм проводят анализ подвижности комплекса «поясничный отдел позвоночника – таз – тазобедренные суставы» и расчет параметров сагиттального профиля туловища. В.В. Павлов с соавт. [16] предлагают альтернативный существующему способ измерения параметров сагиттального баланса у пациентов в положении стоя и сидя, при этом

акцентируя внимание на смену оси вращения с ацетабулярной в положении стоя на седалищную в положении сидя, что может определить причины вывихов эндопротезов тазобедренного сустава при положении ацетабулярного компонента в зоне безопасности (рис. 3).

Чтобы унифицировать терминологию и упростить понимание пояснично-тазового взаимодействия, в 2018 г. на ежегодном собрании Американской академии хирургов-ортопедов (AAOS) впервые была собрана рабочая группа по тазобедренному суставу и позвоночнику. Был составлен список терминов, обычно используемых в литературе, и определены параметры, необходимые для оценки взаимодействия комплекса «позвоночник – тазобедренные суставы» [57, 61, 62]. Основные параметры с их характеристиками, оцениваемыми на боковой рентгенограмме позвоночника и таза в положении пациента стоя и сидя, представлены в табл. 1 и на рис. 4.

### Выбор лечебной тактики при hip-spine синдроме

\* Что оперировать в первую очередь (тазобедренные суставы или позвоночник)? Какую область оперативно вмешательства выбрать для первого этапа? Возможно ли улучшение состояния пациента после первого этапа? Насколько необходим второй этап лечения? Обязательно ли лече-

ние пациентов с hip-spine синдромом в два этапа?

Эти вопросы отражают неоднозначность подходов к лечению конкурирующих патологий.

Единственный сценарий, который приводит к безоговорочному согласию и не затрудняет выбор первоочередности оперативного лечения между врачами, оперирующими тазобедренные суставы, и вертебрологами, – это случаи, когда у пациента проявляются признаки миелопатии и компрессии корешков с радикулопатией. В данных случаях очевиден выбор в пользу первичной операции на позвоночнике [68–70]. Кроме того, клиническая эффективность операции на позвоночнике может значительно снизиться при задержке лечения, особенно если она превышает 12 мес. после ТЭТБС [71]. Это связано с прогрессированием демиелинизации на фоне хронического сдавления, что ухудшает послеоперационное восстановление [72, 73]. Отсрочка ТЭТБС, особенно при значительном клиническом улучшении после операции на позвоночнике, лишь снижает вероятность дальнейшего ревизионного эндопротезирования [71]. Это вполне объяснимо, особенно с учетом современных тенденций в хирургии, которые предполагают использование малоинвазивных и эндоскопических методик, способствующих ранней послеоперационной реабилитации даже



Рис. 3

Рентгенограммы пациента в положении стоя и сидя с расчетом PI, PT и седалищного PT (смена точки вращения с ацетабулярной стоя на седалищную сидя) [16]



Таблица 1

Основные биомеханические параметры позвоночника и таза с описанием их расчета и указанием условной нормы, оцениваемые на прямой и боковой рентгенограммах позвоночника и таза в положении пациента стоя и сидя [20]

Термин	Определение	Норма для популяции [59]		
		положение стоя	положение сидя	разница между сидением и стоянием
Крестцовый наклон (SS)	Угол, образованный между линией верхней концевой пластинки S <sub>1</sub> и горизонтальной линией	40° ± 10°	20° ± 9°	11–29°
Отклонение таза (PT)	Угол, образованный между линией, идущей от середины концевой пластинки S <sub>1</sub> к центру головки бедренной кости, и вертикальной линией	13° ± 6°	—	—
Наклон таза/тазовый индекс (PI – Pelvic Incidence)	Угол, образованный между линией, идущей от средней точки концевой пластинки S <sub>1</sub> к центру головок бедренных костей, и линией, перпендикулярной средней точке концевой пластинки S <sub>1</sub> . Это сумма угла отклонения таза и крестцового наклона (PI = PT + SS)	53° ± 11°	53° ± 11°	—
Передний наклон вертлужной впадины/чашечки (Ante-inclination или AI)	Сагиттальный угол вертлужной впадины (или чашечки в случае тотального эндопротезирования тазобедренного сустава), который представляет собой комбинацию как переднего (антеверсии), так и наклонного положения (инклинации). Это угол между линией, проходящей по касательной к переднему и заднему краям вертлужной впадины, и горизонтальной линией [63]. При расчете данного угла по фронтальной рентгенограмме отдельно измеряется антеверсия вертлужной впадины по методу Callaghan et al. [64], отдельно — инклинация вертлужной впадины модифицированным методом Ackland et al. [65]	35° ± 10°	52° ± 11°	—
Тазобедренный угол (PFA)	Сагиттальное положение тазобедренного сустава и бедренной кости — показатель сгибания тазобедренного сустава в положении сидя и разгибания в положении стоя по отношению к положению таза. Оно измеряется как угол между линией от середины концевой пластинки S <sub>1</sub> до центра головок бедренных костей и второй линией, параллельной диафизу бедра [66, 67]	180° ± 15°	125° ± 15°	51–69°
Комбинированный сагиттальный индекс (CSI)	Угол вертлужной впадины в сагиттальной плоскости, который представляет собой сумму переднего наклона (AI) вертлужной впадины/чашечки и тазобедренного угла (PFA)	203–233°	162° ± 198°	—

у пациентов старшей возрастной группы [74].

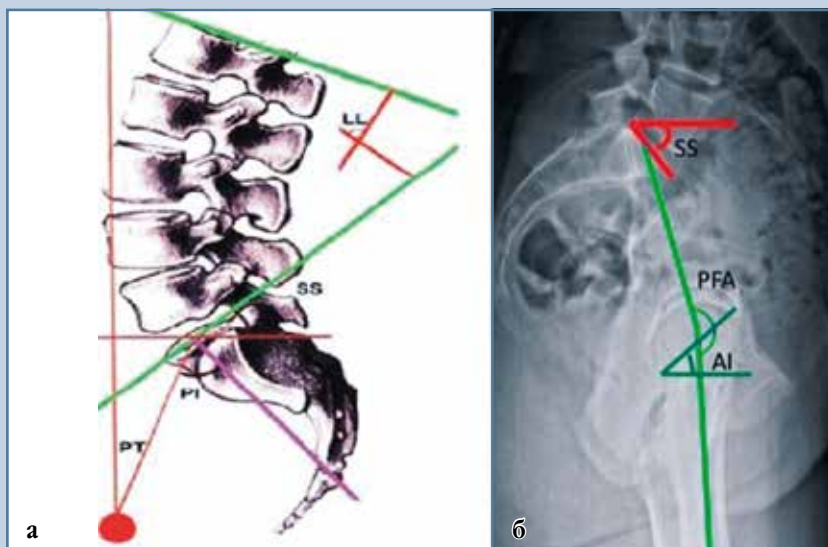
В остальном остается много разногласий между группами врачей и внутри них. Наиболее дискуссионная ситуация возникает с пациентами, у которых боли вызваны как коксартрозом, так и дегенеративным заболеванием поясничного отдела позвоночника, без неврологической симптоматики (пациенты с комплексным и вторичным типом hip-spine синдрома). Часть авторов высказывается за первичную операцию на позвоночнике в связи с подтвержденной клинической пользой [75, 76] и более быстрым и эффективным протеканием реабилитационного периода [72, 73]. Но в данном случае реабилитация может быть проблематичной из-за сохранения контрактур в тазобедренных суставах и, соответственно, уменьшения мобильности таза на фоне коксартроза или на фоне

протяженного спондилодеза, что приведет к уменьшению болей в позвоночнике, но не улучшит функцию тазобедренного сустава и клиническую симптоматику, обусловленную его поражением. Это вполне объяснимо, поскольку такая ситуация не приведет к удовлетворительному результату и полноценной реабилитации пациента. В то же время пациенты, перенесшие операцию на позвоночнике после предыдущего ТЭТБС, не получают желаемого уменьшения боли, как пациенты, у которых ранее ТЭТБС не было [77, 78].

Хирургическое лечение на позвоночнике как первый этап может быть важным у пациентов с отклонениями значений сагиттального профиля, с высоким отклонением таза (PT более 20°) и изменением соотношения LL–PI более 9°, поскольку это улучшает функциональную ориентацию вертлужной впадины,

с созданием коридора достаточной версии таза [79]. Результаты операций по коррекции сагиттального профиля указывают на достоверное уменьшение ранее существовавшей избыточной передней антеверсии AA (средний диапазон уменьшения 4,96–11,2°,  $p < 0,001$ ) и наклона вертлужной впадины AI (средний  $-7^\circ \pm 10^\circ$ ,  $p < 0,001$ ) с коррекцией позвоночно-тазовых параметров, что в дальнейшем может указать на правильное позиционирование компонентов эндопротеза тазобедренного сустава [79–83]. Однако, как уже упоминалось, продолжительные фиксации приводят к ограничению версии таза. Это создает один из потенциальных недостатков первичного спондилодеза перед ТЭТБС – ограничение версии таза, что увеличивает риск послеоперационных осложнений, особенно таких, как импинджмент, вывихи и неста-



**Рис. 4**

Измерение биомеханических параметров позвоночника и таза: **а** – оценка крестцового наклона SS, отклонения таза PT, тазового индекса PI; **б** – оценка тазобедренного угла PFA, крестцового наклона, переднего наклона вертлужной впадины/чашечки AI

бильность компонентов эндопротеза тазобедренного сустава [20]. Хотя это и вызывает обоснованную озабоченность, все же существуют методы, которые могли бы снизить этот риск, например, использование компонентов двойной мобильности при эндопротезировании [84].

В пользу первичной операции на тазобедренных суставах у пациентов без неврологических проявлений высказывается большое количество авторов в связи с наличием у многих таких пациентов гибкой контрактуры тазобедренного сустава, устранение которой приводит к улучшению качества жизни и исчезновению боли, в том числе в позвоночнике [6, 22, 51, 68]. Также это позволяет оптимально позиционировать пациента на операционном столе для хирургического лечения позвоночника и способствует улучшению последующей реабилитации. Авторы нескольких публикаций приводят данные о том, что операция на поясничном отделе позвоночника до ТЭТБС связана

с меньшим снижением боли, ухудшением качества жизни и меньшей удовлетворенностью через год после ТЭТБС [17, 85, 86].

Попытки разработки алгоритма выбора очередности оперативного лечения на позвоночнике или тазобедренных суставах продолжают. Наиболее современным и дополненным может быть алгоритм, предложенный Sultan et al. [22]. Авторы провели обзор литературы и предложили алгоритм выбора очередности, исходя из оценки наличия/отсутствия контрактуры тазобедренных суставов и наличия/отсутствия сагиттального дисбаланса туловища у пациентов с одновременной деформацией позвоночника и коксартрозом 3-й степени (рис. 5).

Основным аргументом, ограничивающим использование данного алгоритма у всех пациентов с hip-spine синдромом, является отсутствие учета наличия/отсутствия неврологических проявлений, а также подкрепления алгоритма проспективными исследованиями.

*\* Требования к пространственной ориентации при имплантации ацетабулярного компонента: вопрос безопасной зоны установки вертлужного компонента эндопротеза тазобедренного сустава, вопрос выбора эндопротеза тазобедренного сустава, вопрос применения стабилизирующих устройств на позвоночнике.*

Критерии позиционирования ацетабулярного компонента при тотальном эндопротезировании тазобедренного сустава являются предметом серьезных дискуссий, особенно в отношении оптимального угла антеверсии ацетабулярного компонента [20].

В 1978 г. Lewinnek et al. [87] предложили безопасную зону для установки чашки, определяемую интервалом наклона – инклинацией (AI) и антеверсии (AA) вертлужной впадины. При установке ацетабулярного компонента в указанном диапазоне риск импинджмента шейки бедренного компонента с ацетабулярным компонентом или краевой нагрузки был снижен при сохранении адекватного диапазона движений сустава. Авторы рекомендовали инклинацию от 30 до 50°, с антеверсией от 5 до 25° [20, 87]. Позже выяснилось, что в большинстве случаев вывихов бедренного компонента ацетабулярный компонент находился в пределах безопасной зоны [88], что указывает на ограничения этой зоны и на действие других факторов. О том, что величина угла антеверсии может влиять на частоту вывихов, сообщили Aminiwa и Dorg [89], при этом указав на целевые значения 35° для комбинированной антеверсии (антеверсия ацетабулярного компонента + антеверсия бедренного компонента) с безопасной зоной инклинации ацетабулярного компонента от 25 до 50°. Также было продемонстрировано, что равновесие туловища влияет на трехмерную ориентацию вертлужной впадины и функциональную форму бедер [56]. Заметив, что риск преждевременного износа, соударения и краевой нагрузки на ацетабулярный компонент был выше при наклоне ацетабулярного

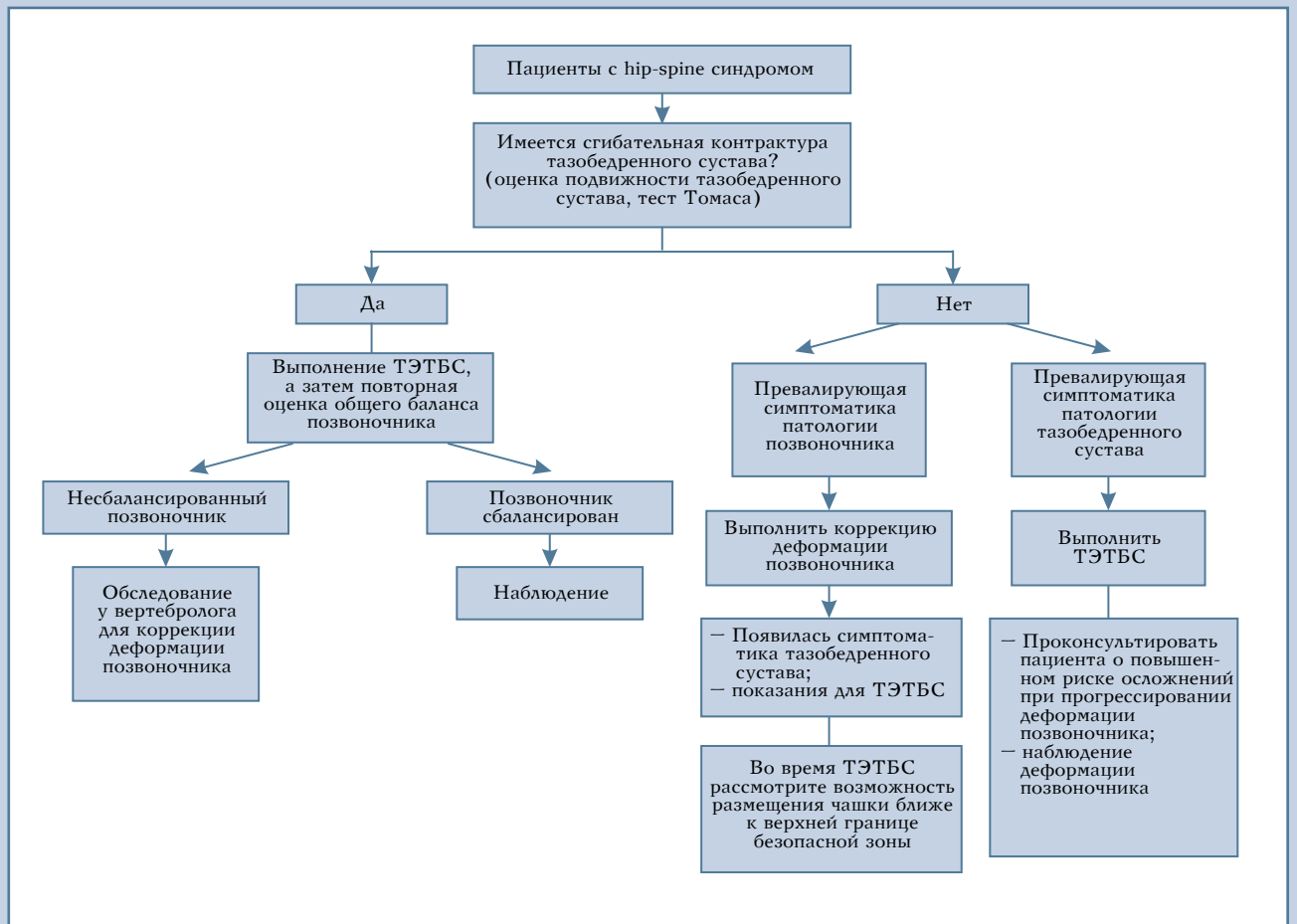


Рис. 5

Переведенный на русский язык вариант алгоритма очередности оперативного вмешательства у пациентов с hip-spine синдромом, учитывающего наличие/отсутствие сгибательной контрактуры тазобедренных суставов и наличие/отсутствие сагиттального дисбаланса туловища, предложенного Sultan et al. [22]. ТЭТБС – тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава

компонента более 45°, изменили границы этой безопасной зоны, уменьшив инклинацию до 30–45° и антеверсию до 5–25° [25]. В 2017 г. была предложена целевая зона до 40–50° AI и 15–30° AA на основе данных КТ таза после эндопротезирования, которая основывалась на анализе положения ацетабулярных компонентов [25]. С учетом различий в плоскостях отсчета средняя рекомендуемая безопасная зона составила 41° инклинации и 16° антеверсии для рентгенографических углов и 39° и 21° соответственно для хирургических углов [90].

Недавние данные свидетельствуют о том, что расположение ацета-

булярного компонента в безопасной зоне без учета особенностей анатомии пациента и его кинематических вариаций позвоночно-тазового комплекса не снижает частоту вывихов бедренного компонента [25, 51]. С учетом биомеханики позвоночника и тазобедренных суставов рентгенологическое исследование в положении пациента стоя и сидя может помочь определить оптимальное положение ацетабулярного компонента эндопротеза тазобедренного сустава [12, 20]. Разработаны классификации кинематики и биомеханики позвоночно-тазового комплекса пациента на основании рентгенограмм в положении стоя

и сидя (табл. 2). Эти системы классификации учитывают степени подвижности позвоночника и таза на основе разницы в SS между положениями стоя и сидя: очень гибкая (разница SS > 30), ригидная (разница SS < 10), норма (разница SS в интервале 10–30). Также предложены параметры выравнивания позвоночно-тазового комплекса [59]. Все это предоставляет полезную информацию при обсуждении лечения пациентов с сопутствующими заболеваниями тазобедренного сустава и позвоночника. Однако необходимы дальнейшие исследования для разработки уникальной валидированной системы классификации, одобренной

Таблица 2

Классификации кинематики позвоночно-тазового комплекса, используемые для планирования оперативного лечения у пациентов с hip-spine синдромом [20]

Авторы	Типы классификации	Основные параметры	Недостатки
Steffl	Фиксированный наклон вперед Фиксированный наклон кзади Кифотический Гипермобильный	Мобильность (разница SS)	Выравнивание позвоночника не рассматривалось
Plan	Жесткий и сбалансированный Гибкий и сбалансированный Жесткий и несбалансированный Гибкий и несбалансированный	Сбалансированный (PT < 25° и PI–LL < 10°)	Не учитываются типы с застреванием сидя и с застреванием стоя
Luthringer	Нормальная подвижность и выравнивание Нормальное выравнивание и ригидность Гиполордозирование с нормальной подвижностью Гиполордозирование и ригидность	Мобильность (разница SS) Выравнивание (PI–LL < 9°)	Не учитываются кифотический и гипермобильные типы

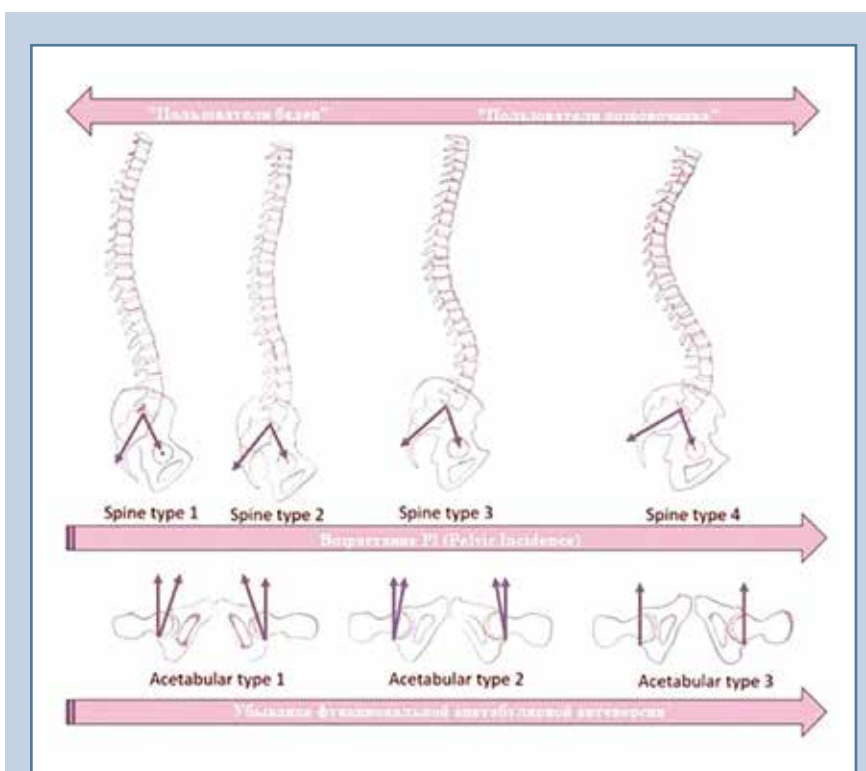


Рис. 6

Переведенный на русский язык вариант классификации взаимоотношений позвоночника и бедра Бордо: типы взаимоотношений [60]

ортопедами и нейрохирургами и проспективно проверенной на достаточном количестве пациентов для получения универсального хирургического алгоритма [56].

Классификация взаимоотношений позвоночника и таза Бордо, разработанная Riviere et al. [60], в настоящее время является наиболее полной и всесторонней. В ней описывается взаимосвязь между тазом и позвоночником, что позволяет стратифицировать риски импинджмента или вывиха бедренного компонента в соответствии с типом соотношения «позвоночник – таз». Для классификации также необходима боковая рентгенограмма всего позвоночника в положении пациента стоя и сидя. Цель состоит в том, чтобы оценить PI, SS, PT и физиологические взаимосвязи между ними ( $PI = PT + SS$ ;  $LL = 0,54 \times PI + 27,6$ ) [56]. Классификация включает в себя следующее:

1) оценка сагиттального выравнивания позвоночника по Roussouly (типы с плоской спиной, 1 и 2 с  $PI < 40^\circ$  и типы с более искривленным позвоночником 3 и 4; рис. 6);

2) тип вертлужной впадины: вертлужная впадина с высокой передней антеверсией (тип 1) и вертлужная впадина с низкой передней антеверсией (типы 2 и 3; рис. 6);

3) оценка сагиттального профиля позвоночника и соответствующего типа вертлужной впадины позволяет различить позвоночно-тазовый комплекс типа 1 и позвоночно-тазовый комплекс типа 2. Тип 1 комплекса – это сочетание типов 1 или 2 позвоночника и типа 1 вертлужной впадины; пациенты с типом 1 позвоночно-тазового комплекса, как правило, используют тазобедренный сустав для передвижения в своей повседневной деятельности (так называемые пользователи бедер), тип 2 комплекса – это сочетание типов 3 или 4 позвоночника и типов 2, 3 вертлужной впадины; пациенты с типом 2 позвоночно-тазового комплекса, как правило, используют позвоночник для передвижения в своей повседневной деятельности (так называемые пользователи позвоночника);

4) модификаторы А, В, С, D, F (табл. 3).

Ограничениями этой классификации являются ее сложность, отсутствие

выхода на хирургическую тактику, специфичных для каждой категории (только рекомендации), и текущий

низкий уровень доказательности (уровень 5, мнение эксперта) [56].

В настоящее время устоявшегося тактического хирургического алго-

Таблица 3

Дополнительные модификаторы взаимоотношений позвоночника и бедра к классификации Бордо [56]

Показатели	Модификаторы				
	А	В	С	D	F
Оцениваемые параметры	Разница SS стоя–сидя $>10^\circ$	Разница SS стоя–сидя $\leq 10^\circ$	Разница SS стоя–сидя $>10^\circ$ , профиль позвоночника компенсирован	Разница SS стоя–сидя $>10^\circ$ , профиль позвоночника в дисбалансе	Фиксированный позвоночник
Трактовка результатов	Физиологическая подвижность	Жесткость	Модификации, связанные со старением позвоночника	Модификации, связанные со старением позвоночника	Хирургия позвоночника
Оценка риска	Очень низкий	Средневысокий	Средневысокий	Очень высокий	Очень высокий

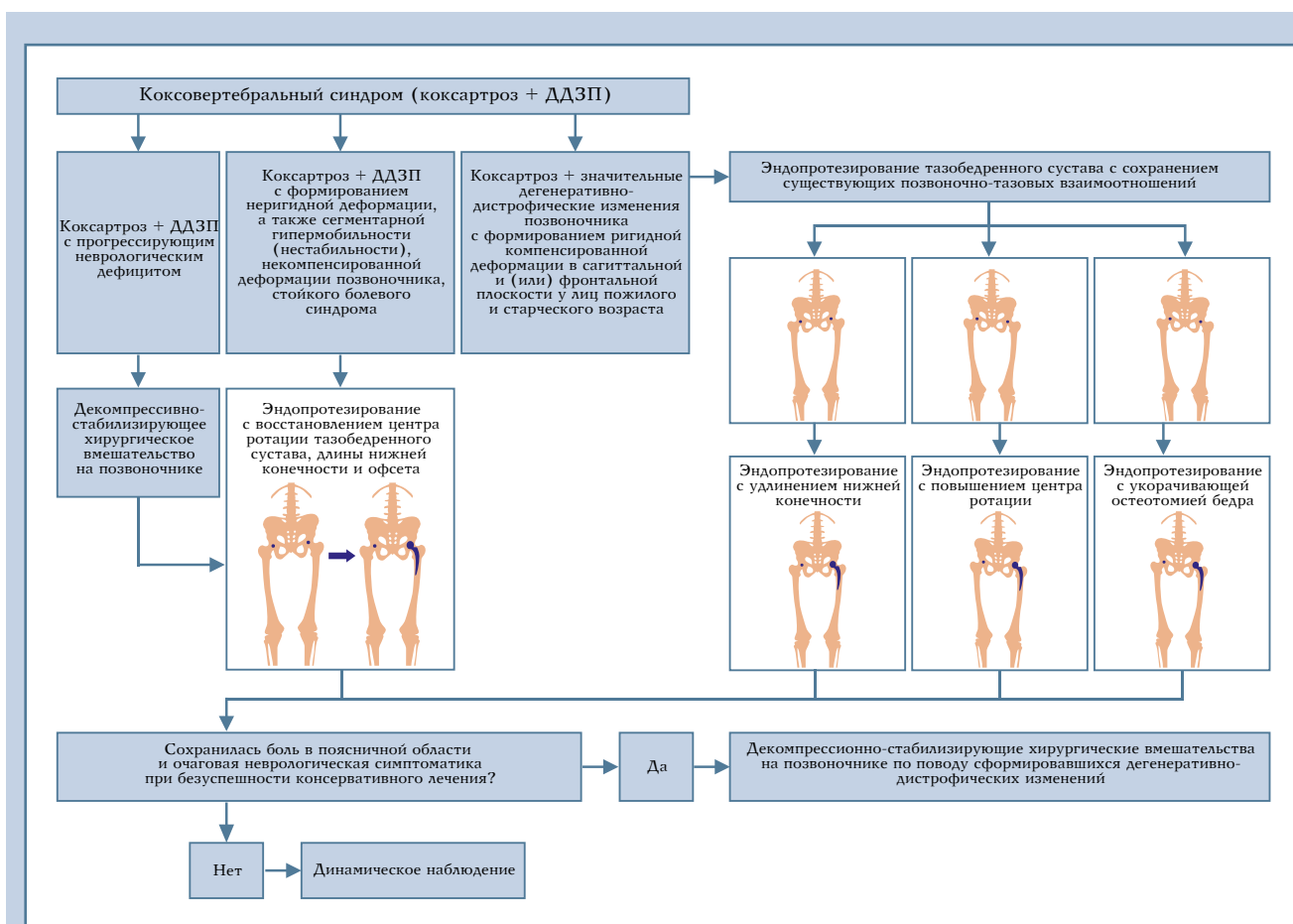


Рис. 7

Алгоритм выбора рациональной тактики хирургического лечения пациентов с сочетанной дегенеративно-дистрофической патологией тазобедренного сустава и позвоночника [70]: ДДЗП – дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника



ритма лечения пациентов с hip-spine синдромом в публикациях не представлено. Наши соотечественники А.Л. Кудяшев с соавт. [70] предложили комплексный алгоритм оперативного лечения пациентов с hip-spine синдромом, указывающий на очередность оперативного вмешательства (главный критерий – наличие/отсутствие прогрессирующего неврологического дефицита) и на тактику оперативного вмешательства (рис. 7). Алгоритм учитывает подвижность и взаимоотношения позвоночно-тазового комплекса в сагиттальной и фронтальной плоскостях с подробным описанием типов статической деформации позвоночно-тазового комплекса во фронтальной плоскости [91] и вариантов

их коррекции (за счет эндопротезирования с удлинением нижней конечности/эндопротезирования с повышением центра ротации/эндопротезирования с укорачивающей остеотомией бедра). Постановка вертлужного компонента описывается без детализации: выполнить имплантацию ацетабулярной чашки в истинный центр ротации тазобедренного сустава с соблюдением ее анатомической антеверсии и инклинации.

Продолжающаяся работа в исследовании синдрома привела к созданию более современного и дополненного алгоритма, описанного Vatra et al. [20]. Данный алгоритм учитывает подвижность комплекса «пояснично-крестцовый отдел позвоночника – таз – тазо-

бедренные суставы» и типы взаимоотношений позвоночника и таза. Авторы включили в алгоритм несколько дополнительных типов позвоночно-тазовых взаимоотношений: 1) кифотический тип с нормальной подвижностью (нормальный кифотический) и ригидным позвоночно-тазовым комплексом (застывший кифотический); кифотический тип с точки зрения позвоночно-тазового параметра определяется как абсолютное значение наклона крестца SS в положении сидя менее  $5^\circ$  независимо от подвижности; 2) фиксированный передний тип/застывшее стояние определяется, когда угол наклона крестца в сидячем положении превышает  $30^\circ$ ; это можно интерпретировать как сохранение

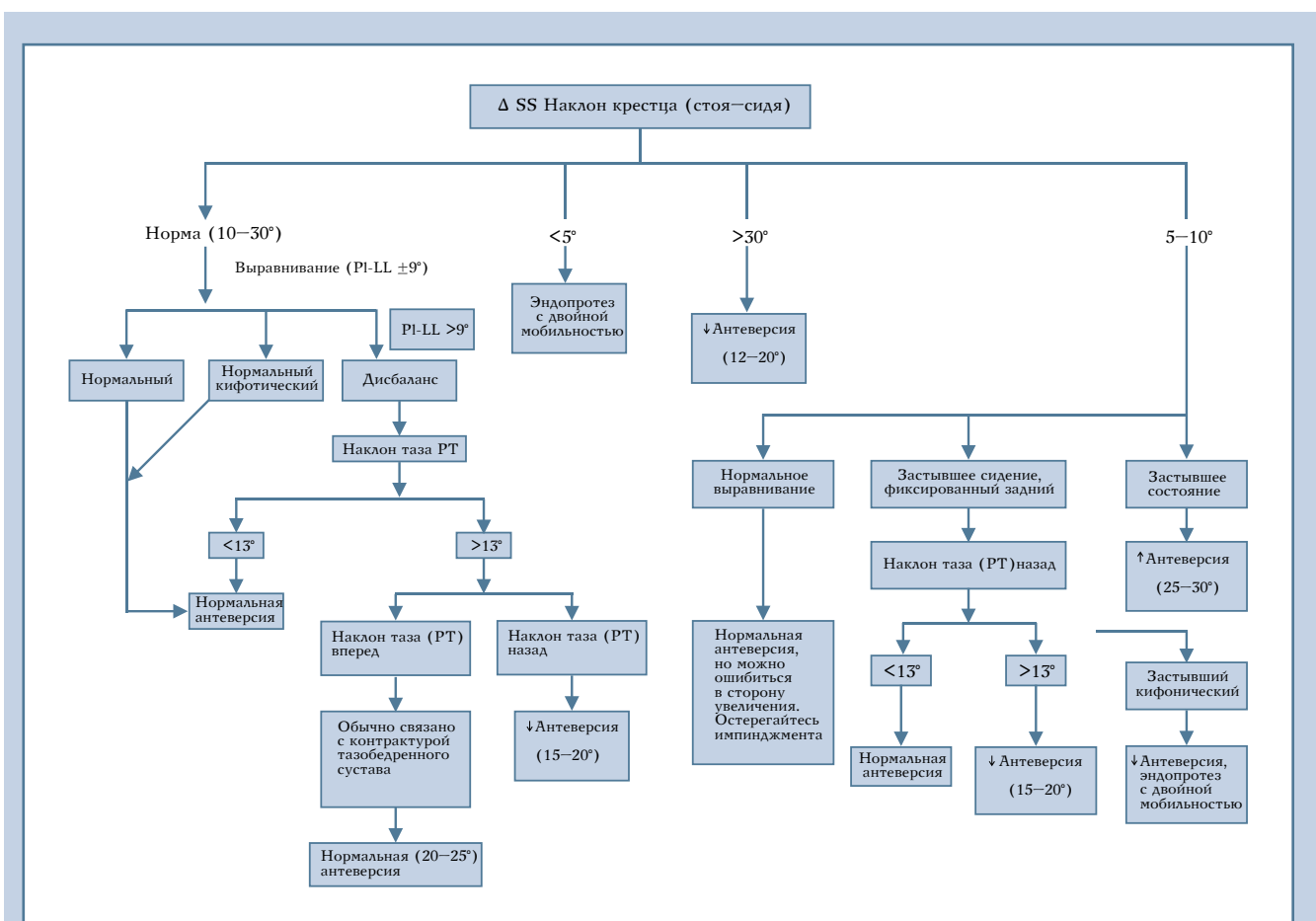


Рис. 8

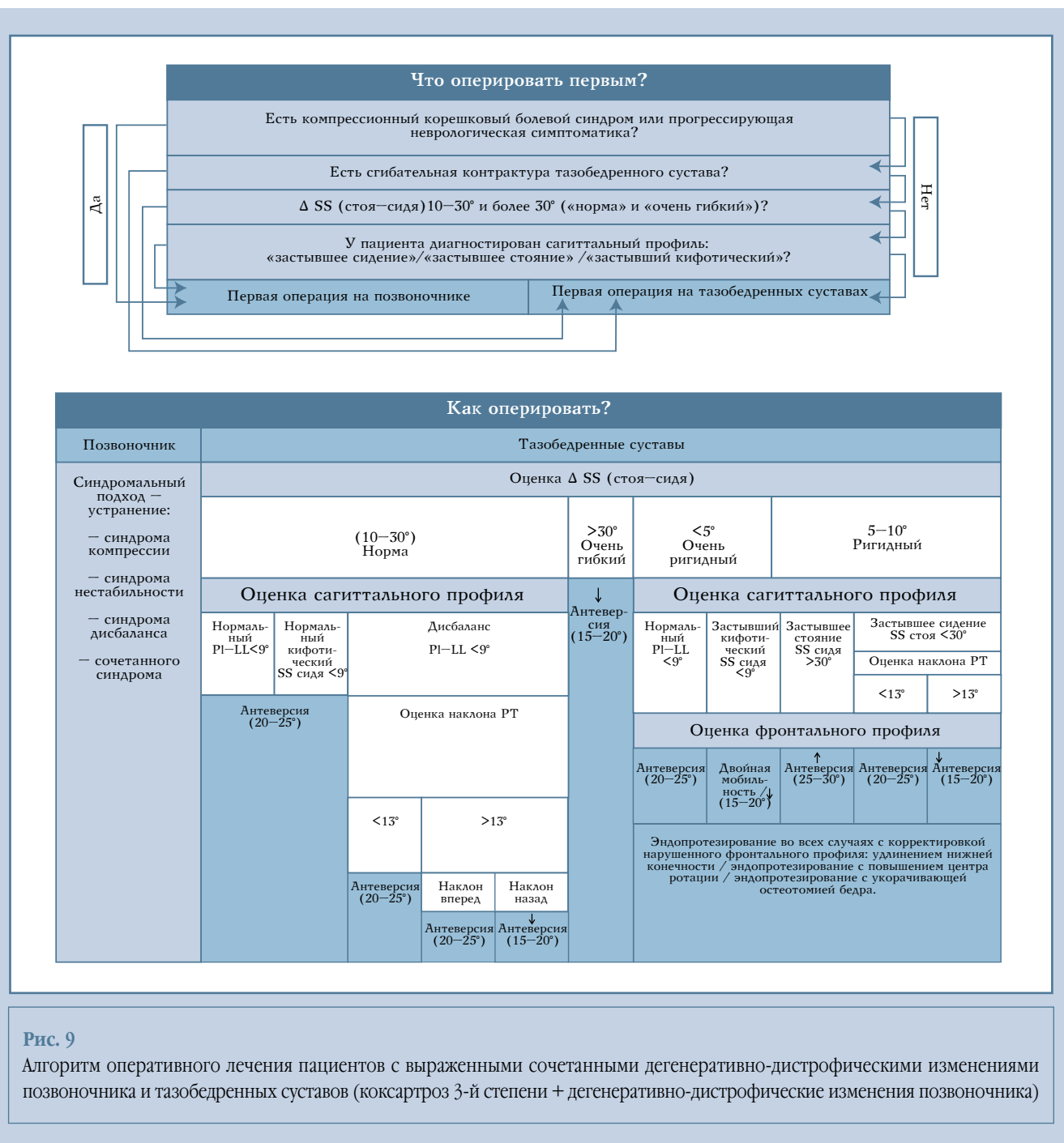
Переведенный на русский язык вариант тактического алгоритма при эндопротезировании тазобедренного сустава, учитывающего типы биомеханических взаимоотношений и подвижность позвоночника и таза [20]

позиции таза, характерной для стоячего положения, в сидячем; это состояние возникает после спондилодеза поясничного отдела позвоночника, при котором воссоздается лордоз; 3) фиксированный задний/застывшее сидение определяется, когда наклон крестца в положении стоя составляет менее 30°; это можно трактовать как сохранение позиции таза, харак-

терной для сидячего положения, в стоячем; такая ситуация обычно возникает после плоского спондилодеза или у пациентов с анкилозирующим спондилитом; оно предрасполагает к заднему соударению и последующему переднему вывиху в положении стоя (рис. 8).

Основным ограничением представленного алгоритма является необходи-

мость подкрепления проспективными исследованиями, а для применения требуется достаточно скрупулезное предоперационное планирование, с обязательным исследованием показателей сагиттального баланса. Реализация полученных целевых значений возможна только при применении навигационных технологий, при отсутствии которых обесцени-



вается само предоперационное планирование, а его проведение оправдано только при установлении причин рецидивирующего вывиха и обосновании выбора протеза с двойной мобильностью. Также в алгоритме нереализован выбор варианта хирургического лечения при наличии деформации во фронтальной плоскости, в отличие от исследования А.Л. Кудяшева с соавт. [70].

Основываясь на представленных выше алгоритмах оперативного лечения, указывающих на очередность и тактику, мы предлагаем для обсуждения дополненный комплексный алгоритм оперативного лечения пациентов с выраженными сочетанными дегенеративно-дистрофическими изменениями позвоночника и тазобедренных суставов (кокситроз 3-й степени + дегенеративно-дистрофические изменения позвоночника), представленный на рис. 9. Алгоритм описывает критерии для ответа на вопросы: «что оперировать первым?» и «как оперировать?».

Первоначальным определяющим моментом является неврологический дефицит или компрессионная радикулопатия, для ликвидации которой зачастую требуется минимально-инвазивное хирургическое вмешательство. Следующей контрольной точкой нам представляется контрактура тазобедренного сустава, требующая хирургического лечения по замене сустава

по вышеуказанным причинам. Дальнейшее принятие решения полностью зависит от сагиттального и фронтального профиля пациента. Критическим значением для оперативного вмешательства на позвоночнике является наличие у пациента суб- или декомпенсированного сагиттального дисбаланса, в любых других ситуациях первичным и наиболее значимым является оперативное лечение поражения тазобедренного сустава по принятым алгоритмам.

Безусловно, определяющим фактором в лечении пациента является клиническая симптоматика у каждого конкретного человека и, соответственно, указанный алгоритм не может являться абсолютным и требует дальнейшего обсуждения и изучения, в том числе проведения проспективных исследований.

### Заключение

\* Высокая распространенность пациентов с сочетанной патологией тазобедренных суставов и позвоночника не вызывает сомнений. Диагностика и лечение пациентов с сочетанием дегенеративных патологий в тазобедренном суставе и позвоночнике осложняются из-за значительного совпадения симптоматики заболеваний и неэффективности одного изолированного вмешательства при клинической значимости обеих патологий.

\* Нет единого мнения о том, с каким патологическим состоянием следует бороться в первую очередь. Алгоритмы очередности оперативного лечения на позвоночно-тазовом комплексе требуют дополнения и закрепления проспективными исследованиями. Устоявшегося тактического хирургического алгоритма лечения пациентов с hip-spine синдромом в публикациях не представлено.

\* Дополнение алгоритма диагностики новыми методами визуализации, повышение осведомленности о подвижности позвоночника, а также лучшее понимание сагиттального выравнивания могут улучшить результаты лечения пациентов с hip-spine синдромом.

\* Если при hip-spine синдроме имеется патология позвоночника, предполагающая оперативное лечение, в результате которого будет выполнена фиксация нижних поясничных позвонков с крестцом, это может привести к ограничению компенсаторных возможностей версии таза.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

### Литература/References

1. **Offierski CM, MacNab I.** Hip-spine syndrome. Spine. 1983;8:316–321. DOI: 10.1097/00007632-198304000-00014
2. **Пелеганчук А.В., Тургунов Э.Н., Мушкачев Е.А., Сангинов А.Д., Симонич А.Е., Павлов В.В.** Влияние позвоночно-тазовых взаимоотношений на поздний вывих головки бедренного компонента эндопротеза после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19, № 1. С. 63–70. [Peleganichuk AV, Turgunov EN, Mushkachev EA, Sanginov AJ, Simonovich AE, Pavlov VV. The influence of spinopelvic relationships on late dislocation of the prosthetic femoral head after total hip arthroplasty. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2022;19(1):63–70]. DOI: 10.14531/ss2022.1.63-70
3. **Котельников А.О., Рябых С.О., Бурцев А.В.** “Hip-Spine” синдром – взгляд на проблему с точки зрения биомеханики // Гений ортопедии. 2019. Т. 25, № 4. С. 541–549. [Kotelnikov A, Ryabykh S, Burtsev A. Hip-spine syndrome: the problem from the biomechanical point of view. Genij Ortopedii. 2019;25(4):541–549]. DOI: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-541-549
4. **Котельников А.О., Рябых С.О., Бурцев А.В.** Постуральные изменения позвоночно-тазового баланса у пациентов с Hip-Spine синдромом // Гений ортопедии. 2020. Т. 26, № 2. С. 206–211. [Kotelnikov AO, Ryabykh SO, Burtsev AV. Postural changes of the vertebral-pelvic balance in patients with Hip-Spine syndrom. Genij Ortopedii. 2020;26(2):206–211]. DOI: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-206-211
5. **Younus A, Kelly A.** Hip spine syndrome – A case series and literature review. Interdiscip Neurosurg. 2021;23:100960. DOI: 10.1016/j.inat.2020.100960
6. **Pepke W, Innmann M, Akbar M.** [Battle: Indication for surgery in hip-spine syndrome-Hip or spine first? The spine surgeon's view]. Orthopade. 2020;49:905–912. In German. DOI: 10.1007/s00132-020-03983-9

7. **Harris JD.** Editorial commentary: The pelvis is the lowest vertebral level: diagnostic approach to hip-spine syndrome. *Arthroscopy*. 2022;38:2939–2941. DOI: 10.1016/j.arthro.2022.08.009
8. **Devin CJ, McCullough KA, Morris BJ, Yates AJ, Kang JD.** Hip-spine syndrome. *J Am Acad Orthop Surg*. 2012;20:434–442. DOI: 10.5435/JAAOS-20-07-434
9. **Fogel GR, Esses SI.** Hip spine syndrome: management of coexisting radiculopathy and arthritis of the lower extremity. *Spine J*. 2003;3:238–241. DOI: 10.1016/S1529-9430(02)00453-9
10. **Lawrence RC, Helmick CG, Arnett FC, Deyo RA, Felson DT, Giannini EH, Heyse SP, Hirsch R, Hochberg MC, Hunder GG, Liang MH, Pillemer SR, Steen VD, Wolfe F.** Estimates of the prevalence of arthritis and selected musculoskeletal disorders in the United States. *Arthritis Rheum*. 1998;41:778–799. DOI: 10.1002/1529-0131(199805)41:5<778::AID-ART4>3.0.CO;2-V
11. **Шубняков И.И., Тихилов Р.М., Николаев Н.С., Григоричева Л.Г., Овсянкин А.В., Черный А.Ж., Дроздова П.В., Денисов А.О., Вебер Е.В., Кузьмина И.В.** Эпидемиология первичного эндопротезирования тазобедренного сустава на основании данных реестра артропластики РНИИТО им. Р.Р. Вредена // *Травматология и ортопедия России*. 2017. Т. 23, № 2. С. 81–101. [Shubnyakov II, Tikhilov RM, Nikolaev NS, Grigoricheva LG, Ovsyankin AV, Cherny AZ, Drozdova PV, Denisov AO, Veber EV, Kuz'mina IV. Epidemiology of primary hip arthroplasty: Report from Register of Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2017;23(2):81–101]. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-81-101
12. **Ravindra VM, Sengla SS, Rattani A, Dewan MC, Härtl R, Bisson E, Park KB, Shrinie MG.** Degenerative lumbar spine disease: estimating global incidence and worldwide volume. *Global Spine J*. 2018;8:784–794. DOI: 10.1177/2192568218770769
13. **Borenstein DG, O'Mara JW Jr, Boden SD, Lauerman WC, Jacobson A, Platenberg C, Schellinger D, Wiesel SW.** The value of magnetic resonance imaging of the lumbar spine to predict low-back pain in asymptomatic subjects: a seven-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83:1306–1311. DOI: 10.2106/00004623-200109000-00002
14. **McNamara MJ, Barrett KG, Christie MJ, Spengler DM.** Lumbar spinal stenosis and lower extremity arthroplasty. *J Arthroplasty*. 1993;8:273–277. DOI: 10.1016/S0883-5403(06)80089-6
15. **Saito J, Ohtori S, Kishida S, Nakamura J, Takeshita M, Shigemura T, Takazawa M, Eguchi Y, Inoue G, Orita S, Takaso M, Ochiai N, Kuniyoshi K, Aoki Y, Ishikawa T, Arai G, Miyagi M, Kamoda H, Suzuki M, Sakuma Y, Oikawa Y, Kubota G, Inage K, Sainoh T, Yamauchi K, Toyone T, Takahashi K.** Difficulty of diagnosing the origin of lower leg pain in patients with both lumbar spinal stenosis and hip joint osteoarthritis. *Spine*. 2012;37:2089–2093. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31825d213d
16. **Павлов В.В., Мушкетев Е.А., Тургунов Э.Н., Лукинов В.Л., Пелеганчук А.В.** Альтернативный способ измерения параметров сагиттального баланса у пациентов в положении сидя и стоя // *Гений ортопедии*. 2024. Т. 30, № 3. С. 362–371. [Pavlov VV, Mushkachev EA, Turgunov EN, Lukinov VL, Peleganchuk AV. An alternative method for measuring patient's sagittal balance parameters in sitting and standing positions. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):362–371]. DOI: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-362-371
17. **Eneqvist T, Nemes S, Brisby H, Fritzell P, Garellick G, Rolfson O.** Lumbar surgery prior to total hip arthroplasty is associated with worse patient-reported outcomes. *Bone Joint J*. 2017;99-B:759–765. DOI: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-0577.R2
18. **Pivec R, Johnson AJ, Mears SC, Mont MA.** Hip arthroplasty. *Lancet*. 2012;380:1768–1777. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60607-2
19. **Singh JA, Schleck C, Harmsen S, Lewallen D.** Clinically important improvement thresholds for Harris Hip Score and its ability to predict revision risk after primary total hip arthroplasty. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:256. DOI: 10.1186/s12891-016-1106-8
20. **Batra S, Khare T, Kabra AP, Malhotra R.** Hip-spine relationship in total hip arthroplasty – Simplifying the concepts. *J Clin Orthop Trauma*. 2022;29:101877. DOI: 10.1016/j.jcot.2022.101877
21. **Ulrich SD, Seyler TM, Bennett D, Delanois RE, Saleh KJ, Thongtrangan I, Kuskowski M, Cheng EY, Sharkey PF, Parvizi J, Stiehl JB, Mont MA.** Total hip arthroplasties: what are the reasons for revision? *Int Orthop*. 2008;32:597–604. DOI: 10.1007/s00264-007-0364-3
22. **Sultan AA, Khlopas A, Piuze NS, Chughtai M, Sodhi N, Mont MA.** The impact of spino-pelvic alignment on total hip arthroplasty outcomes: a critical analysis of current evidence. *J Arthroplasty*. 2018;33:1606–1616. DOI: 10.1016/j.arth.2017.11.021
23. **Zheng GQ, Zhang YG, Chen JY, Wang Y.** Decision making regarding spinal osteotomy and total hip replacement for ankylosing spondylitis: experience with 28 patients. *Bone Joint J*. 2014;96-B:360–365. DOI: 10.1302/0301-620X.96B3.32774
24. **DeSole EM, Vigdorchik JM, Schwarzkopf R, Errico TJ, Buckland AJ.** Total hip arthroplasty in the spinal deformity population: does degree of sagittal deformity affect rates of safe zone placement, instability, or revision? *J Arthroplasty*. 2017;32:1910–1917. DOI: 10.1016/j.arth.2016.12.039
25. **Kouyoumdjian P.** How the hip–spine relationship influences total hip arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2024;110(1S):103773. DOI: 10.1016/j.otsr.2023.103773
26. **Espósito CI, Carroll KM, Sculco PK, Padgett DE, Jerabek SA, Mayman DJ.** Total hip arthroplasty patients with fixed spinopelvic alignment are at higher risk of hip dislocation. *J Arthroplasty*. 2018;33:1449–1454. DOI: 10.1016/j.arth.2017.12.005
27. **Jimenez A.E., Domb B.G.** Editorial Commentary: Spine pathology may compromise the results of hip arthroscopy: will hip arthroscopy improve low back pain? *Arthroscopy*. 2021;37:2110–2111. DOI: 10.1016/j.arthro.2021.03.037
28. **Buckland AJ, Puvanesarajah V, Vigdorchik J, Schwarzkopf R, Jain A, Klineberg EO, Hart RA, Callaghan JJ, Hassanzadeh H.** Dislocation of a primary total hip arthroplasty is more common in patients with a lumbar spinal fusion. *Bone Joint J*. 2017;99-B:585–591. DOI: 10.1302/0301-620X.99B5.BJJ-2016-0657.R1
29. **Barry JJ, Sing DC, Vail TP, Hansen EN.** Early outcomes of primary total hip arthroplasty after prior lumbar spinal fusion. *J Arthroplasty*. 2017;32:470–474. DOI: 10.1016/j.arth.2016.07.019
30. **Furuhashi H, Togawa D, Koyama H, Hoshino H, Yasuda T, Matsuyama Y.** Repeated posterior dislocation of total hip arthroplasty after spinal corrective long fusion with pelvic fixation. *Eur Spine J*. 2017;26(Suppl 1):100–106. DOI: 10.1007/s00586-016-4880-y
31. **Sing DC, Barry JJ, Aguilar TU, Theologis AA, Patterson JT, Tay BK, Vail TP, Hansen EN.** Prior lumbar spinal arthrodesis increases risk of prosthetic-related complication in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016;31(9 Suppl):227–232.e1. DOI: 10.1016/j.arth.2016.02.069
32. **An VVG, Phan K, Sivakumar BS, Mobbs RJ, Bruce WJ.** Prior lumbar spinal fusion is associated with an increased risk of dislocation and revision in total hip arthroplasty: a meta-analysis. *J Arthroplasty*. 2018;33:297–300. DOI: 10.1016/j.arth.2017.08.040
33. **Perfetti DC, Schwarzkopf R, Buckland AJ, Paulino CB, Vigdorchik JM.** Prosthetic dislocation and revision after primary total hip arthroplasty in lumbar fusion patients: a propensity score matched-pair analysis. *J Arthroplasty*. 2017;32:1635–1640. DOI: 10.1016/j.arth.2016.11.029
34. **Bedard NA, Martin CT, Slaven SE, Pugely AJ, Mendoza-Lattes SA, Callaghan JJ.** Abnormally high dislocation rates of total hip arthroplasty after spinal deformity surgery. *J Arthroplasty*. 2016;31:2884–2885. DOI: 10.1016/j.arth.2016.07.049
35. **Гурьев В.Н.** Коксартроз и его оперативное лечение. Таллин, 1984. [Gur'ev VN. Coxarthrosis and its Surgical Treatment. Tallinn, 1984].
36. **Сикилинда В.Д., Алабут А.В.** Проблемы диагностики и лечения больных с синдромом Hip-Spine // *Главный врач Юга России*. 2015. Т. 4, № 46. С. 24–26.



- [Sikilinda VD, Alabut AV. Problems of diagnosis and treatment of patients with hip-spine syndrome. Chief Physician of Southern Russia. 2015;4(46):24–26].
37. **Кавалерский Г.М., Черепанов В.Г., Коркунов А.Л., Лычагин А.В., Середа А.П.** Дегенеративно-дистрофические поражения пояснично-крестцового отдела позвоночника при Hip-spine синдроме: хирургическое лечение // Кафедра травматологии и ортопедии. 2013. Т. 3, № 7. С. 4–9. [Kavalerskiy GM, Cherepanov VG, Korkunov AL, Lichagin AV, Sereda AP. Degenerative-dystrophic lesions of the lumbosacral spine in Hip-Spine syndrome: surgical treatment. Kafedra travmatologii i ortopedii. 2013;3(7):4–9].
  38. **Шильников В.А., Тихилов Р.М., Денисов А.О.** Болевой синдром после эндопротезирования тазобедренного сустава // Травматология и ортопедия России. 2008. № 2. С. 106–109. [Shilnikov VA, Tikhilov RM, Denisov AO. Pain syndrome after hip joint arthroplasty. Traumatology and orthopedics of Russia. 2008;(2):106–109].
  39. **Шильников В.А.** Болевой синдром эндопротезированного тазобедренного сустава // Травматология и ортопедия России. 2006. № 2. С. 319–320. [Shilnikov VA. Pain syndrome of the hip joint after arthroplasty. Traumatology and orthopedics of Russia. 2006;(2):319–320].
  40. **Friis ML, Guliksen GC, Rasmussen P, Husby J.** Pain and spinal root compression. Acta Neurochir (Wien). 1977;39:241–249. DOI: 10.1007/BF01406734
  41. **Saito J, Ohtori S, Kishida S, Nakamura J, Takeshita M, Shigemura T, Takazawa M, Eguchi Y, Inoue G, Orita S, Takaso M, Ochiai N, Kuniyoshi K, Aoki Y, Ishikawa T, Arai G, Miyagi M, Kamoda H, Suzuki M, Sakuma Y, Oikawa Y, Kubota G, Inage K, Sainoh T, Yamauchi K, Toyone T, Takahashi K.** Difficulty of diagnosing the origin of lower leg pain in patients with both lumbar spinal stenosis and hip joint osteoarthritis. 2012;37:2089–2093. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31825d213d
  42. **Khan AM, McLoughlin E, Giannakas K, Hutchinson C, Andrew JG.** Hip osteoarthritis: where is the pain? Ann R Coll Surg Engl. 2004;86:119–121. DOI: 10.1308/003588404322827518
  43. **Crawford RW, Gie GA, Ling RS, Murray DW.** Diagnostic value of intra-articular anaesthetic in primary osteoarthritis of the hip. J Bone Joint Surg Br. 1998;80:279–281. DOI: 10.1302/0301-620x.80b2.8299
  44. **Slipman CW, Jackson HB, Lipetz JS, Chan KT, Lenrow D, Vresilovic EJ.** Sacroiliac joint pain referral zones. Arch Phys Med Rehabil. 2000;81:334–338. DOI: 10.1016/S0003-9993(00)90080-7
  45. **Dreyfuss P, Michaelsen M, Pauza K, McLarty J, Bogduk N.** The value of medical history and physical examination in diagnosing sacroiliac joint pain. Spine. 1996;21:2594–2602. DOI: 10.1097/00007632-199611150-00009
  46. **Albee FH.** A study of the anatomy and the clinical importance of the sacroiliac joint. JAMA. 1909;LIII(16):1273–1276. DOI: 10.1001/jama.1909.92550160001001g
  47. **Biancalana M, Sauer S, Filner B.** Trigger Point Therapy for Low Back Pain: A Self-Treatment Workbook. New Harbinger Publications, 2010:210.
  48. **Одинак М., Дыскин Д.** Клиническая диагностика в неврологии: Руководство для врачей. СПб., 2007. С. 28. [Odinak M, Dyskin D. Clinical Diagnostics in Neurology: Guide for doctors. St. Petersburg, 2007:28].
  49. **Bruckner P, Khan K.** Clinical Sports Medicine. 3rd ed. McGraw-Hill, 2006:86.
  50. **Bogduk N.** On the definitions and physiology of back pain, referred pain, and radicular pain. Pain. 2009;147:17–19. DOI: 10.1016/j.pain.2009.08.020
  51. **Eftekhary N, Shimmin A, Lazennec JY, Buckland A, Schwarzkopf R, Dorr LD, Mayman D, Padgett D, Vigdorchik J.** A systematic approach to the hip-spine relationship and its applications to total hip arthroplasty. Bone Joint J. 2019;101-B:808–816. DOI: 10.1302/0301-620X.101B7.BJJ-2018-1188.R1
  52. **Шаповалов В.М., Кудяшев А.Л., Резванцев М.В., Хоминцев В.В.** Взаимосвязь параметров сагиттальных и фронтальных позвоночно-тазовых взаимоотношений у больных с одно- и двухсторонним коксартрозом // Биомедицинский журнал Medline.ru. 2012. Т. 13, № 2. С. 433–445. [Shapovalov VM, Kudjashev AL, Rez-
  - vantsev MV, Khomintsev VV. Relationship of the parameters of sagittal and frontal spino-pelvic interrelations in patients with uni- and bilateral coxarthrosis. Biomedical Journal Medline.ru. 2012;13(2):433–445].
  53. **Аверкиев А.В., Кудяшев А.Л., Артюх В.А., Надулич К.А., Теремшонов А.В., Нагорный Е.Б.** Особенности сагиттальных позвоночно-тазовых взаимоотношений у пациентов с коксовертебральным синдромом // Хирургия позвоночника. 2012. № 4. С. 49–54. [Averkiev VA, Kudyashev AL, Artyukh VA, Nadulich KA, Teremshonok AV, Nagorny EB. Features of sagittal spino-pelvic relations in patients with hip-spine syndrome. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2012;(4):49–54. DOI: 10.14531/ss2012.4.49-54
  54. **Продан А.И., Радченко В.А., Хвисьук А.Н., Куценко В.А.** Закономерности формирования вертикальной осанки и параметры сагиттального позвоночно-тазового баланса у пациентов с хронической люмбагией и люмбаишиалгией // Хирургия позвоночника. 2006. № 4. С. 61–69. [Prodan AI, Radchenko VA, Khvysyuk AN, Kutsenko VA. Mechanism of vertical posture formation and parameters of sagittal spino-pelvic balance in patients with chronic low back pain and sciatica. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2006;(4):61–69. DOI: 10.14531/ss2006.4.61-69
  55. **Продан А.И., Хвисьук А.Н.** Корреляция параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса и дегенеративных изменений нижнепоясничных сегментов // Хирургия позвоночника. 2007. № 1. С. 44–51. [Prodan AI, Khvysyuk AN. Correlation between sagittal spinopelvic balance parameters and degenerative changes of the lower lumbar spinal segments. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2007;(1):44–51. DOI: 10.14531/ss2007.1.44-51
  56. **Zagra I, Benazzo F, Dallari D, Falez F, Solarino G, D'Apolito R, Castelli CC.** Current concepts in hip–spine relationships: making them practical for total hip arthroplasty. EFORT Open Rev. 2022;7:59–69. DOI: 10.1530/EOR-21-0082
  57. **Ike H, Dorr LD, Trasolini N, Steffl M, McKnight B, Heckmann N.** Spine-pelvis-hip relationship in the functioning of a total hip replacement. J Bone Joint Surg. 2018;100:1606–1615. DOI: 10.2106/JBJS.17.00403
  58. **Хоминцев В.В., Кудяшев А.Л., Шаповалов В.М., Мироевский В.Ф.** Современные подходы к диагностике сочетанной дегенеративно-дистрофической патологии тазобедренного сустава и позвоночника // Травматология и ортопедия России. 2014. Т. 20, № 4. С. 16–26. [Khomintsev VV, Kudyashev AL, Shapovalov VM, Miroevsky FV. Modern approaches to diagnostics of combined degenerative hip and spine pathology. Traumatology and orthopedics of Russia. 2014;20(4):16–26. DOI: 10.21823/2311-2905-2014-0-4-16-26
  59. **Steffl M, Lundergan W, Heckmann N, McKnight B, Ike H, Murgai RDorr LD.** Spinopelvic mobility and acetabular component position for total hip arthroplasty. Bone Joint J. 2017;99-B(1 Suppl A):37–45. DOI: 10.1302/0301-620X.99B1.BJJ-2016-0415.R1
  60. **Riviere C, Lazennec JY, Van Der Straeten C, Auvinet E, Cobb J, Muirhead-Allwood S.** The influence of spine-hip relations on total hip replacement: A systematic review. Orthop Traumatol Surg Res. 2017;103:559–568. DOI: 10.1016/j.otsr.2017.02.014
  61. **Zimmerer A, Hoffmann M, Hofer A, Janz V, Wassilew G.** Hip-spine-syndrom – aktuelle entwicklungen und evidenzlage. Orthopade. 2020;49:841–848. DOI: 10.1007/s00132-020-03972-y
  62. **Luthringer TA, Vigdorchik JM.** A preoperative workup of a “hip-spine” total hip arthroplasty patient. A simplified approach to a complex problem. J Arthroplasty. 2019;34(7S):S57–S70. DOI: 10.1016/j.arth.2019.01.012
  63. **Kanawade V, Dorr LD, Wan Z.** Predictability of acetabular component angular change with postural shift from standing to sitting position. J Bone Joint Surg Am. 2014;96:978–986. DOI: 10.2106/JBJS.M.00765
  64. **Callaghan JJ, Salvati EA, Pellicci PM, Wilson PD Jr, Ranawat CS.** Results of revision for mechanical failure after cemented total hip replacement, 1979 to 1982. A two to five-year follow-up. J Bone Joint Surg Am. 1985;67:1074–1085. DOI: 10.2106/00004623-198567070-00011

65. Ackland MK, Bourne WB, Uthoff HK. Anteversion of the acetabular cup. Measurement of angle after total hip replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 1986;68:409–413. DOI: 10.1302/0301-620X.68B3.3733807
66. Бурцев А.В., Рябых С.О., Котельников А.О., Губин А.В. Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых // *Гений Ортопедии.* 2017. Т. 23, № 2. С. 228–235. [Burtsev AV, Ryabikh SO, Kotelnikov AO, Gubin AV. Clinical issues of the sagittal balance in adults. *Genij Ortopedii.* 2017;23(2):228–235]. DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-228-235
67. Mills ES, Bouz GJ, Kang HP, Chung BC, Wang JC, Tezuka T, Dorr LD, Heckmann ND. Preoperative radiographic findings associated with postoperative spinopelvic risk factors for instability following total hip arthroplasty. *J Orthop Res.* 2023;41:2026–2031. DOI: 10.1002/jor.25555
68. Rodkey DL, Lundy AE, Tracey RW, Helgeson MD. Hip-spine syndrome. Which surgery first? *Clin Spine Surg.* 2022;35:1–3. DOI: 10.1097/BSD.0000000000001028
69. Liu N, Goodman SB, Lachiewicz PF, Wood KB. Hip or spine surgery first? A survey of treatment order for patients with concurrent degenerative hip and spinal disorders. *Bone Joint J.* 2019;101-B(6\_Suppl\_B):37–44. DOI: 10.1302/0301-620X.101B6.BJJ-2018-1073.R1
70. Кудяшев А.Л., Хоминцев В.В., Шаповалов В.М., Метленко П.А., Мироевский Ф.В., Резванцев М.В., Терешонок А.В. Особенности хирургической тактики лечения пациентов с коксо-вертебральным синдромом // *Травматология и ортопедия России.* 2017. № 1. С. 132–152. [Kudyshev AL, Khominets VV, Shapovalov VM, Metlenko PA, Miroevsky MV, Rezvantsev MV, Teremshonok AV. Features of surgical tactics for patients with coxo-vertebral syndrome. *Traumatology and orthopedics of Russia.* 2017;(1):132–152]. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-132-143
71. Radcliff KE, Rihn, Hilibrand A, DiIorio T, Tosteson T, Lurie JD, Zhao W, Vaccaro AR, Albert TJ, Weinstein JN. Does the duration of symptoms in patients with spinal stenosis and degenerative spondylolisthesis affect outcomes? Analysis of the Spine Outcomes Research Trial. *Spine.* 2011;36:2197–2210. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3182341edf
72. Chao T., Pham K., Steward O, Gupta R. Chronic nerve compression injury induces a phenotypic switch of neurons within the dorsal root ganglia. *J Comp Neurol.* 2008;506:180–193. DOI: 10.1002/cne.21537
73. Gupta R, Rowshan K, Chao T. Mozaffar T, Steward O. Chronic nerve compression induces local demyelination and remyelination in a rat model of carpal tunnel syndrome. *Exp Neurol.* 2004;187:500–508. DOI: 10.1016/j.expneurol.2004.02.009
74. Klimov V, Evsyukov A, Amelina E, Ryabikh S, Simonovich A. Predictors of complications and unfavorable outcomes of minimally invasive surgery treatment in elderly patients with degenerative lumbar spine pathologies (case series). *Front Surg.* 2022;9:869345. DOI: 10.3389/fsurg.2022.869345
75. Mokhtar SA, McCombe PF, Williamson OD, Morgan MK, White GJ, Sears WR. Health-related quality of life: a comparison of outcomes after lumbar fusion for degenerative spondylolisthesis with large joint replacement surgery and population norms. *Spine J.* 2010;20:306–312. DOI: 10.1016/j.spinee.2010.01.018
76. Eneqvist T, Bulow E, Nemes S, Brisby H, Fritzell P, Rolfson O. Does the order of total hip replacement and lumbar spinal stenosis surgery influence patient-reported outcomes: An observational register study. *J Orthop Res.* 2021;9:998–1006. DOI: 10.1002/jor.24813
77. Parvizi J, Pour AE, Hilibrand A, Goldberg G, Sharkey PF, Rothman RH. Back pain and total hip arthroplasty: a prospective natural history study. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468:1325–1330. DOI: 10.1007/s11999-010-1236-5
78. Eneqvist T, Bulow E, Nemes S, Brisby H, Garellick G, Fritzell P, Rolfson O. Patients with a previous total hip replacement experience less reduction of back pain following lumbar back surgery. *J Orthop Res.* 2018;36:2484–2490. DOI: 10.1002/jor.24018
79. Buckland AJ, Vigdorchik J, Schwab FJ, Errico TJ, Lafage R, Ames C, Bess S, Smith J, Mundis GM, Lafage V. Acetabular anteversion changes due to spinal deformity correction: bridging the gap between hip and spine surgeons. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97:1913–1920. DOI: 10.2106/JBJS.O.00276
80. Barry JJ, Yucekul A, Theologis AA, Hansen EN, Ames C, Deviren V. Spinal realignment for adult deformity: three-column osteotomies alter total hip acetabular component positioning. *J Am Acad Orthop Surg.* 2017;25:125–132. DOI: 10.5435/JAAOS-D-16-00080
81. Hu J, Qian BP, Qiu Y, Wang B, Yu Y, Zhu ZZ, Jiang J, Mao SH, Qu Z, Zhang YP. Can acetabular orientation be restored by lumbar pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis patients with thoracolumbar kyphosis? *Eur Spine J.* 2017;26:1826–1832. DOI: 10.1007/s00586-016-4709-8
82. Schroeder JE, Jerabek S, Sama A, Kaplan L, Girardi F, Lebl DR. The effect of 3-column spinal osteotomy on anterior pelvic plane and acetabulum position. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2014;43:E133–E136.
83. Шаповалов В.М., Аверкиев В.А., Кудяшев А.Л., Артюх В.А., Каплевич Б.Я. Восстановление сагиттального позвоночно-тазового баланса у больного с сочетанным поражением тазобедренных суставов и позвоночника (клиническое наблюдение) // *Гений ортопедии.* 2011. № 3. С. 152–155. [Shapovalov VM, Averkiyev VA, Kudiashev AL, Artiukh VA, Kapilevich BYa. Restoration of sagittal spine-pelvis balance in a patient with combined injury of the hips and the spine (A clinical study). *Genij Ortopedii.* 2011;(3):152–155].
84. Lachiewicz PF, Watters TS. The use of dual-mobility components in total hip arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20:481–486. DOI: 10.5435/JAAOS-20-08-481
85. Prather H, Van Dillen LR, Kymes SM, Armbrecht MA, Stwalley D, Clohisy JC. Impact of coexistent lumbar spine disorders on clinical outcomes and physician charges associated with total hip arthroplasty. *Spine J.* 2012;22:363–369. DOI: 10.1016/j.spinee.2011.11.002
86. Jauregui JJ, Banerjee S, Issa K, Cherian JJ, Mont MA. Does co-existing lumbar spinal canal stenosis impair functional outcomes and activity levels after primary total hip arthroplasty? *J Arthroplasty.* 2015; 30:1569–1573. DOI: 10.1016/j.arth.2015.03.017
87. Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR. Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60:217–220.
88. Abdel MP, Roth P, Jennings MT, Hanssen AD, Pagnano MW. What safe zone? The vast majority of dislocated THAs are within the Lewinnek safe zone for acetabular component position. *Clin Orthop Relat Res.* 2016;474:386–391. DOI: 10.1007/s11999-015-4432-5
89. Amuwa C, Dorr LD. The combined anteversion technique for acetabular component anteversion. *J Arthroplasty.* 2008;23:1068–1070. DOI: 10.1016/j.arth.2008.04.025
90. Murray DW. The definition and measurement of acetabular orientation. *J Bone Joint Surg Br.* 1993;75:228–232. DOI: 10.1302/0301-620X.75B2.8444942
91. Шаповалов В.М., Аверкиев В.А., Кудяшев А.Л., Артюх В.А., Мироевский Ф.В. Фронтальная статическая деформация позвоночно-тазового комплекса у больных с одно- и двусторонним коксартрозом // *Гений ортопедии.* 2011. № 4. С. 85–89. [Shapovalov VM, Averkiyev VA, Kudiashev AL, Artiukh VA, Miroevsky FV. Frontal static deformity of the spinal-and-pelvic complex in patients with unilateral and bilateral coxarthrosis. *Genij Ortopedii.* 2011;(4):85–89].

**Адрес для переписки:**

Котельников Александр Олегович  
640014, Россия, Курган, ул. М. Ульяновой, 6,  
НМИЦ травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова,  
carpediem1992@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.12.2024

Рецензирование пройдено 20.01.2025

Подписано в печать 05.05.2025

**Address correspondence to:**

Kotelnikov Aleksandr Olegovich  
National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology  
and Orthopedics, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia,  
carpediem1992@mail.ru

Received 04.12.2024

Review completed 20.01.2025

Passed for printing 05.05.2025

Александр Олегович Котельников, канд. мед. наук, научный сотрудник клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, врач-травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения № 10, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, eLibrary SPIN: 1826-6545, ORCID: 0000-0002-8879-1462, carpediem1992@mail.ru; Алексей Владимирович Евсюков, канд. мед. наук, врач-нейрохирург, руководитель клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, eLibrary SPIN: 7883-0390, ORCID: 0000-0001-8583-0270, alexeysukov@mail.ru;

Оксана Германовна Прудникова, д-р мед. наук, старший научный сотрудник клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, заведующая травматолого-ортопедическим отделением № 10, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, eLibrary SPIN: 1391-9051, ORCID: 0000-0003-1432-1377, pog6070@gmail.com;

Александр Владимирович Бурцев, д-р мед. наук, травматолог-ортопед, директор, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, eLibrary SPIN: 5275-8050, ORCID: 0000-0001-8968-6528, bav31rus@mail.ru;

Виталий Викторович Павлов, д-р мед. наук, руководитель научно-исследовательского отделения эндопротезирования и эндоскопической хирургии суставов, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 7596-2960, ORCID: 0000-0002-8997-7330, pavlodoc@mail.ru;

Алексей Владимирович Пелеганчук, канд. мед. наук, научный сотрудник отделения нейровертебрологии, нейрохирург, заведующий отделением нейрохирургии № 2, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 2663-9450, ORCID: 0000-0002-4588-428X, apeleganchuk@mail.ru.

Aleksandr Olegovich Kotelnikov, MD, PhD, researcher of scientific laboratory of the Clinic of spine pathology and rare diseases, trauma and orthopaedic surgeon of trauma and orthopaedic department No. 10, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, eLibrary SPIN: 1826-6545, ORCID: 0000-0002-8879-1462, carpediem1992@mail.ru;

Alexey Vladimirovich Evsyukov, MD, PhD, neurosurgeon, head of the Clinic spine pathology and rare diseases, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, eLibrary SPIN: 7883-0390, ORCID: 0000-0001-8583-0270, alexeysukov@mail.ru;

Oksana Germanovna Prudnikova, DMSc, senior researcher of scientific laboratory of the Clinic of spine pathology and rare diseases, head of trauma and orthopaedic department No. 10, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, eLibrary SPIN: 1391-9051, ORCID: 0000-0003-1432-1377, pog6070@gmail.com;

Aleksandr Vladimirovich Burtsev, DMSc, orthopedic trauma surgeon, director of National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, 6 Marii Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, eLibrary SPIN: 5275-8050, ORCID: 0000-0001-8968-6528, bav31rus@mail.ru;

Vitaly Viktorovich Pavlov, DMSc, head of the Research Department of endoprosthesis and endoscopic joint surgery, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 7596-2960, ORCID: 0000-0002-8997-7330, pavlodoc@mail.ru;

Aleksey Vladimirovich Peleganchuk, MD, PhD, researcher of Department of Neurovertebrology, neurosurgeon, head of the Department of Neurosurgery No. 2, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 2663-9450, ORCID: 0000-0002-4588-428X, apeleganchuk@mail.ru.



# «ЗОНА БЕЗОПАСНОСТИ» АЦЕТАБУЛЯРНОГО КОМПОНЕНТА В КОНЦЕПЦИИ ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ

**А.В. Пелеганчук, Э.Н. Тургунов, Е.А. Мушкатев, Б.Р. Таштанов, В.В. Павлов, А.А. Корыткин**  
Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии  
им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия

**Цель исследования.** Анализ корреляции критериев положения ацетабулярного компонента (АК) с критериями сагиттального баланса при изменении пространственной позиции таза при смене позы тела из положения стоя в положение сидя и наоборот.

**Материал и методы.** Проведено проспективное исследование данных 20 пациентов, которым выполнено эндопротезирование тазобедренного сустава по поводу одностороннего коксартроза при отсутствии признаков артроза и нарушения функций контрлатерального сустава. На 20-й неделе после операции проведено рентгенологическое исследование позвоночника и тазобедренных суставов с анализом показателей антеверсии, инклинации, антенаклона АК, РТ, SS, РТ седалищный. Проведен поиск корреляций между показателями с применением метода корреляции Спирмена. Числовые ассоциации выявляли расчетом коэффициентов корреляции Пирсона. Проверку статистических гипотез проводили при критическом уровне значимости 0,05, то есть различие считалось статистически значимым при достигнутом уровне  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Обнаружена прямая корреляция изменения параметров сагиттального баланса (SS, РТ) с положением АК. Сравнение средних значений и медиан исследуемых параметров, измеряемых в положении стоя и сидя, показало их высокую корреляцию между собой. Отмечена однотипная динамика изменения значений между параметрами антенаклона АК и РТ таза. Высокая прямая корреляция разности ( $\Delta$ ) величин антенаклона АК с РТ стоя и сильная корреляция  $\Delta$  величин антенаклона с величинами РТ сидя указывают на опосредованную связь параметров сагиттального баланса с параметрами положения АК через параметр антенаклона АК. Это находит подтверждение сильной прямой корреляцией  $\Delta$  РТ сидя/стоя с  $\Delta$  инклинации АК (0,67) сидя/стоя и  $\Delta$  антенаклона АК (0,82) сидя/стоя и обратной корреляцией  $\Delta$  SS сидя/стоя с  $\Delta$  инклинации впадины сидя/стоя и  $\Delta$  антенаклона АК сидя/стоя ( $-0,7$ ).

**Заключение.** Сравнение параметров сагиттального баланса (SS, РТ), измеряемых в положении стоя и сидя, с положением АК показало их прямую высокую корреляцию между собой. Антенаклон служит связующим критерием между параметрами сагиттального баланса и пространственным положением ацетабулярной впадины.

**Ключевые слова:** коксартроз; тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава; вывих головки бедренного компонента; сагиттальный баланс; антеверсия; антенаклон; зона безопасности; наклон таза; hip-spine синдром.

**Для цитирования:** Пелеганчук А.В., Тургунов Э.Н., Мушкатев Е.А., Таштанов Б.Р., Павлов В.В., Корыткин А.А. «Зона безопасности» ацетабулярного компонента в концепции позвоночно-тазовых взаимоотношений // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 23–31.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.23-31>

## SAFE ZONE FOR THE ACETABULAR COMPONENT IN THE CONCEPT OF SPINOPELVIC RELATIONSHIPS

A.V. Peleganchuk, E.N. Turgunov, E.A. Mushkachev, B.R. Tashtanov, V.V. Pavlov, A.A. Korytkin  
Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia

**Objective.** To analyze the correlation of the acetabular component (AC) position criteria with the sagittal balance criteria in pelvic translation associated with body posture change from a standing to a sitting position and vice versa.

**Material and Methods.** A prospective study of 20 patients who underwent hip arthroplasty for unilateral coxarthrosis, in the absence of signs of arthrosis and dysfunction of the contralateral joint was conducted. At the 20th week after surgery, an X-ray examination of the spine and hip joints was performed with an analysis of anteversion, inclination, AC anteversion, PT, SS, PTsit. A search for correlations between the indicators was carried out using the Spearman correlation method. Numerical associations were identified by calculating the Pearson correlation coefficients. Statistical hypotheses were tested at a critical significance level of 0.05, i.e. the difference was considered statistically significant when the level of  $p < 0.05$  was achieved.

**Results.** A direct correlation was found between the changes in the sagittal balance parameters (SS, РТ) and the AC position. Comparison of the mean values and medians of the studied parameters measured in the standing and sitting positions showed the high correlation between them. The same dynamics of changes in the values between the AC anteversion and pelvic PT parameters was noted. A high direct correlation of the difference ( $\Delta$ ) in the AC anteversion values with PT in standing position, and a strong correlation of  $\Delta$  in the AC anteversion values with PT in sitting position indicates an indirect relationship between the sagittal balance parameters and the AC position.



parameters through the AC anteversion parameter. This is confirmed by the strong direct correlation of  $\Delta$  (sitting/standing) PT with  $\Delta$  (sitting/standing) AC inclination (0.67) and  $\Delta$  (sitting/standing) AC anteversion (0.82), and by an inverse correlation of  $\Delta$  (sitting/standing) SS with  $\Delta$  (sitting/standing) AC inclination and  $\Delta$  (sitting/standing) AC anteversion ( $-0.7$ ).

**Conclusion.** Comparison of sagittal balance parameters (SS, PT) measured in standing and sitting positions with the position of the AC showed their direct high correlation with each other. Acetabular anteversion serves as a connecting criterion between sagittal balance parameters and the spatial position of the acetabular cup.

**Keywords:** coxarthrosis; total hip arthroplasty; dislocation of the femoral head; sagittal balance; AC inclination; AC anteversion; safe zone; pelvic tilt; hip-spine syndrome.

Please cite this paper as: Peleganchuk AV, Turgunov EN, Mushkachev EA, Tashtanov BR, Pavlov VV, Korytkin AA. Safe zone for the acetabular component in the concept of spinopelvic relationships. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):23–31. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.23-31>

Патологии поясничного отдела позвоночника и тазобедренного сустава долгое время исследовались изолированно. Не учитывались патологическая или послеоперационная ригидность и сопутствующая депрессия наклона таза или же уменьшение поясничного лордоза, компенсирующегося увеличением РТ из положения сидя в положение стоя [1, 2]. Исследования о связи типов позвоночника с частотой вывихов эндопротезов тазобедренных суставов описаны в отечественной литературе, но в незначительном количестве [3].

Вывихи эндопротеза у пациентов часто ассоциировались с сопутствующей патологией позвоночника, при этом частота вывихов составляла 7,4 % у пациентов с поясничной ригидностью (наличие в анамнезе анкилозирующего спондилита или одноуровневого или многоуровневого спондилодеза на поясничном уровне), по сравнению с пациентами с мобильным поясничным отделом – 4,8 % [2, 4]. Данное явление сочетанной патологии поясничного отдела позвоночника и тазобедренного сустава, известное как hip-spine синдром, ставило под сомнение безупречность ранее предложенной Lewinnek «зоны безопасности».

Взаимосвязь пространственной ориентации таза с позвоночником исследуется в рамках позвоночно-тазовых взаимоотношений [4, 5]. При этом корреляция критериев позвоночно-тазовых взаимоотношений с величинами углов инклинации и антеверсии как экспертных критериев положения ацетабулярного ком-

понента (АК) исследуется недостаточно, чтобы уточнить закономерности взаимоотношений между ними.

Для описания положения АК в сагиттальной плоскости (его сагиттальная ориентация) ввели понятие переднего наклона АК (acetabular tilt) – антенклона АК [6]. Было замечено, что сагиттальная ориентация АК (передний наклон АК, acetabular tilt) изменяется последовательно с этим движением таза, коррелируя с РТ [7, 8].

С накоплением знаний о позвоночно-тазовых взаимоотношениях формируется понимание закономерности трансформации позиции таза [7]. Изменение пространственной позиции таза при смене позы тела из положения стоя в положение сидя и наоборот неизбежно приводит к изменению пространственного положения АК [1, 9]. Эти изменения требуют исследования корреляции критериев положения АК с критериями сагиттального баланса, что и стало целью нашего исследования.

### Материал и методы

Одноцентровое проспективное исследование проведено в рамках послеоперационного контроля 20 пациентов, которым выполнено эндопротезирование тазобедренного сустава по поводу одностороннего коксартроза при отсутствии признаков артроза и нарушения функций контрлатерального тазобедренного сустава.

Критерии включения в исследование:

- пациенты с односторонним бесцементным тотальным эндопротезированием тазобедренного сустава;
  - противоположный неоперированный тазобедренный сустав без признаков артроза и нарушения функции сустава;
  - установка АК эндопротеза в безопасной зоне Lewinnek;
  - срок проведения исследования – 20-я неделя после эндопротезирования тазобедренного сустава.
- Критерии невключения:
- пациенты с двусторонним тотальным эндопротезированием тазобедренных суставов;
  - пациенты с односторонним эндопротезированием, противоположный неоперированный тазобедренный сустав с признаками артроза и с нарушением функции сустава;
  - установка АК эндопротеза вне безопасной зоны Lewinnek;
  - срок проведения исследования – менее 20 недель после эндопротезирования тазобедренного сустава;
  - ревизионное оперативное вмешательство в области тазобедренного сустава в анамнезе;
  - отсутствие желания пациента участвовать в исследовании.

Рентгенологическое исследование таза в двух проекциях выполняли через 5 мес. после операции, когда происходит восстановление функции тазобедренного сустава (отсутствие болей, ходьба без средств вспомогательной опоры) и завершаются сроки нетрудоспособности. Рентгенографию проводили в прямой проекции в положении пациента стоя и сидя, а также с захватом поясничного отдела позво-

ночника в боковой проекции стоя (как фрагмент рентгенологического исследования сагиттального баланса). Также выполняли рентгенографию таза в боковой проекции в положении пациента сидя на «табуретке без спинки» со скрещенными руками или приведенными перекрестно ладонями (кистями) в область ключиц. Таким образом, у каждого пациента было четыре рентгенограммы: рентгенограмма в переднезадней проекции стоя (рис. 1), рентгенограмма в переднезадней проекции сидя (рис. 2), рентгенограмма в боковой проекции стоя (рис. 3), рентгенограмма в боковой проекции сидя (рис. 4). Рентгенограмму таза в прямой проекции в положении сидя выполняли в варианте укладки Rippstein [10].

По рентгенограммам таза в прямой переднезадней проекции изучали показатели антеверсии и инклинации АК в соответствии с общепринятыми методиками. Измерения проводили в программе K-PACS версии 1.5.0.29 (Image Information Systems Ltd). Антеверсию вертлужного компонента измеряли методом, предложенным Lewinnek et al. [11].

По рентгенограммам таза в боковой проекции стоя и сидя определяли следующие показатели: антенаклон АК, параметры сагиттального баланса (PT и SS, PT седалищный, который измеряется как угол между линией, соединяющей середину верхней замыкательной пластинки  $S_1$  позвонка с точкой проекции оси бугров седалищных костей, и вертикальной линией, проведенной через точку проекции оси бугров седалищных костей).

Антенаклон АК вычисляли измерением угла, образованного горизонтальной линией, проведенной через нижний край АК, и линией, проведенной по плоскости АК, или линией, проведенной через наиболее выступающие точки контура АК [12].

Исследована корреляция величин углов антенаклона АК с величинами инклинации и антеверсии АК, а также с параметрами сагиттального баланса.

*Статистический анализ.* Поиск корреляций между показателями



**Рис. 1**  
Рентгенограмма таза в переднезадней проекции стоя с углом инклинации и антеверсии



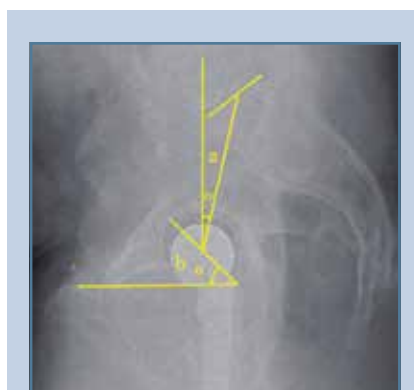
**Рис. 2**  
Рентгенограмма таза в переднезадней проекции сидя с углом инклинации и антеверсии

в положении пациента стоя и сидя, между показателями инклинации впадины, антеверсии впадины и антенаклона в положениях стоя, сидя и остальными показателями, между разницей между значениями в положениях стоя и сидя и остальными показателями провели по методу корреляции Спирмена. Числовые ассоциации выявляли расчетом коэффициентов корреляции Пирсона. Проверку статистических гипотез проводили при критическом уровне значимости 0,05, то есть различия считали статисти-

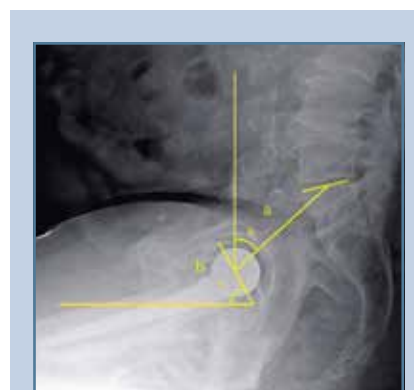
чески значимыми при достигнутом уровне  $p < 0,05$ . Статистические расчеты проводили в программе IDE RStudio (версия 2023.09.1 Build 494 © 2009–2009–2023 Posit Software, PBC) на языке R (версии 4.0.2, URL: <https://www.R-project.org>).

## Результаты

Сведения о результатах измерений, полученных по данным рентгенографических исследований через 5 мес. после эндопротезирования тазобе-



**Рис. 3**  
Рентгенограмма таза в боковой проекции стоя с углом антенаклона ацетабулярного компонента и PT



**Рис. 4**  
Рентгенограмма таза в боковой проекции сидя с углом антенаклона ацетабулярного компонента и PT

Таблица 1

Показатели сагиттального баланса и ориентации ацетабулярного компонента (АК) в положении пациента стоя и сидя через 5 мес. после операции, град.

Показатель	МЕД [Q1; Q3]	СРЕД ± СО	МИН–МАКС
РТ стоя	14,0 [8,25; 19,00]	13,80 ± 8,97	1–33
SS стоя	39,0 [33,75; 48,25]	41,15 ± 9,01	28–56
Угол антеверсии АК стоя	21,0 [16,25; 25,75]	20,70 ± 8,44	5–34
Угол инклинация АК стоя	44,0 [37,50; 45,50]	42,80 ± 8,08	30–61
Угол антеклона АК стоя в сагиттальной плоскости	39,5 [30,00; 48,50]	39,50 ± 11,36	18–59
РТ седалищный стоя	–0,5 [–5,25; 2,50]	0,15 ± 9,48	–5–27
РТ сидя	36,5 [30,25; 42,25]	35,60 ± 7,42	23–48
SS сидя	18,5 [9,75; 27,00]	18,40 ± 11,03	1–40
Угол антеверсии АК сидя	29,0 [22,75; 33,25]	27,65 ± 8,53	7–39
Угол инклинация АК сидя	50,0 [47,50; 59,00]	53,15 ± 10,06	37–77
Угол антеклона АК сидя в сагиттальной плоскости	61,0 [51,75; 68,00]	60,20 ± 12,15	38–83
РТ седалищный сидя	15,0 [10,00; 22,25]	15,20 ± 8,10	–13–18

ренных суставов в положении стоя и сидя, приведены в табл. 1.

Различия значений углов инклинации и антеверсии АК в положении стоя и сидя обусловлены ретроверсией таза при принятии пациентом положения сидя с опорой на седалищные бугры. Эти данные коррелируют с изменениями параметров РТ и SS стоя и сидя, используемых для характеристики сагиттального баланса, в частности позвоночно-тазовых взаимоотношений. Значения РТ стоя и сидя, РТ седалищный стоя и сидя, SS стоя, указанные в табл. 1, соответствуют общепринятым значениям и закономерностям и отражают величину угла отклонения таза (ретроверсию) при переходе из положения стоя в положение сидя. Прямую корреляцию параметров сагиттального баланса (SS, РТ) с положением АК можно отметить и при анализе величин угла антеклона АК, которые изменялись в тех же диапазонах.

Сравнение средних значений и медиан исследуемых параметров, измеряемых в положении стоя и сидя, показало их высокую корреляцию между собой (табл. 2). Но наиболее существенна однотипная динамика изменения значений между параметрами антеклона АК и РТ таза.

Антеклон АК, измеренный по боковым рентгенограммам таза, как интегрирующий показатель параметров инклинации и антеверсии АК, измеренных по прямым рентгенограммам таза в переднезадней проекции, может послужить связующим критерием между параметрами сагиттального баланса и параметрами пространственного положения АК.

Высокая прямая корреляция (0,025) разности ( $\Delta$ ) величин антеклона АК с величинами наклона таза РТ стоя и сильная корреляция  $\Delta$  величин антеклона (0,058) с величинами наклона таза РТ сидя указывают на опосредованную связь параметров сагиттального баланса с параметрами положения АК через параметр антеклона АК. Это находит подтверждение сильной прямой корреляцией  $\Delta$  РТ сидя/стоя с  $\Delta$  инклинации АК ( $r(p) = 0,67 (0,001)$ ) сидя/стоя и  $\Delta$  антеклона АК ( $r(p) = 0,82 (<0,001)$ ) сидя/стоя и обратной корреляцией  $\Delta$  SS сидя/стоя с  $\Delta$  инклинации впадины ( $r(p) = 0,48 (0,031)$ ) сидя/стоя и  $\Delta$  антеклона АК сидя/стоя ( $r(p) = -0,7 (<0,001)$ ).

Обратные корреляции значений угла наклона крестца SS сидя и  $\Delta$  значений углов SS стоя/сидя со значениями антеклона АК соответствуют повороту таза назад относительно седалищ-

ной оси вращения, которая формируется при опоре на седалищные бугры.

Повороты таза относительно осей вращения (стоя – ось вращения относительно головок бедренных костей, сидя – ось вращения относительно седалищных бугров) оцениваются по анатомическим ориентирам сравнительно условными «нулями»: вертикальной (Y) и горизонтальной (X) линиям (двухмерная система координат). И если значения угла антеклона стоя коррелируют со значениями угла сидя и значениями угла SS, то значения угла антеверсии и инклинации АК имеют такую же достоверную прямую корреляцию с такой же корреляцией значений угла инклинации впадины стоя и сидя, то можно предположить, что изменение значений углов АК будет коррелировать с значениями углов наклона крестца, что соответствует принципу инцидентности.

При переходе в положение сидя таз опирается на бугры седалищных костей, значения угла наклона таза РТ, измеряемые относительно центров ротации головок бедренных костей, высоко коррелируют со значениями угла антеклона, что закономерно, поскольку измерение углов наклона таза и антеклона проводится в одной и той же системе координат X/Y, что соответствует их общему «нулю».

Таблица 2

Показатели сагиттального баланса (РТ, SS) и пространственной ориентации (инклинации, антеверсии) ацетабулярного компонента (АК) в положении пациента сидя и стоя

Показатели	Положение стоя	Положение сидя	Δ, разность значений стоя/сидя	Критерий Вилкоксона, р-уровень
	МЕД [Q1; Q3]	МЕД [Q1; Q3]	пМЕД [95 % ДИ]	
	СРЕД ± СО	СРЕД ± СО	СРС [95 % ДИ]	
	МИН–МАКС	МИН–МАКС		
РТ	14,00 [8,25; 19,00]	36,50 [30,25; 42,25]	−21,50 [−22,50; −20,50]	<0,001 *
	13,80 ± 8,97	35,60 ± 7,42	−2,65 [−3,51; −1,79]	
	1–33	23–48		
SS	39,00 [33,75; 48,25]	18,50 [9,75; 27,00]	22,25 [21,50; 23,00]	<0,001 *
	41,15 ± 9,01	18,40 ± 11,03	2,26 [1,46; 3,06]	
	28–56	1–40		
Инклинация АК	44,00 [37,50; 45,50]	50 [47,50; 59,00]	−10,50 [−11,50; −9,50]	<0,001 *
	42,80 ± 8,08	53,15 ± 10,06	−1,13 [−1,80; −0,46]	
	30–61	37–77		
Антеверсия АК	21,00 [16,25; 25,75]	29 [22,75; 33,25]	−7,00 [−7,50; −6,50]	<0,001 *
	20,70 ± 8,44	27,65 ± 8,53	−0,82 [−1,47; −0,17]	
	5–34	7–39		
Антеклон АК	39,50 [30; 48,50]	61 [51,75; 68,00]	−20,50 [−21,50; −20,00]	<0,001 *
	39,50 ± 11,36	60,20 ± 12,15	−1,76 [−2,50; −1,02]	
	18–59	38–83		
РТ седалищный	−0,50 [−5,25; 2,50]	15,00 [10,00; 22,25]	−16,50 [−17,50; −15,00]	0,001 *
	0,15 ± 9,48	15,20 ± 8,10	−1,71 [−2,44; −0,98]	
	−13–18	−5–27		

\* p < 0,05.

## Обсуждение

Вывих эндопротеза тазобедренного сустава как клиническое проявление нестабильности является значимым осложнением [2, 4]. Для профилактики нестабильности тазобедренного сустава, в частности вывихов бедренного компонента, Lewinnek et al. [11] предложили имплантировать АК эндопротеза тазобедренного сустава в допустимых угловых диапазонах. Для угла инклинации АК допустимыми величинами принят диапазон 40–45° и для антеверсии АК – 5–15°. При обозначенных диапазонах инклинации и антеверсии АК отмечается наименьшее число вывихов бедренного компонента эндопротеза тазобедренного сустава, что послужило для Lewinnek et al. [11] поводом назвать вышеуказанные диапазоны зоной безопасности – (safe zone). С использованием указанных рекомендаций количество вывихов при стандартном первичном эндопротезировании тазобедренного

сустава значительно сократилось, но они все же происходили, несмотря на то что положение АК находилось в целевой зоне безопасности, составляя 4,8–7,4 % [2]. При исследовании hip-spine синдрома установлено, что под влиянием патологически измененного позвоночника происходит не только перекос таза во фронтальной плоскости, что часто учитывается при эндопротезировании тазобедренного сустава, но и ограничение движения (ретро- и антеверсия) таза, которые ортопеды нередко игнорируют в повседневной практике при планировании эндопротезирования тазобедренного сустава [1, 2, 13]. Установленный в определенном пространственном положении АК эндопротеза с учетом «зоны безопасности» по технологиям производителей в положении пациента лежа с ориентацией на переднюю плоскость таза, как правило, анализируется по фронтальным рентгенограммам таза в переднезадней проекции

в положении стоя или лежа, при которых пространственная позиция таза отличается. При принятии естественных повседневных поз (стоя или сидя) АК, как и таз, в соответствии с принципом инцидентности будет изменять свою позицию в большем диапазоне, чем диапазон зоны безопасности, в соответствии с фактической кинетикой таза [2, 5, 14].

Кинетика таза и ее взаимосвязь с позвоночником исследуются в контексте позвоночно-тазовых взаимоотношений и описываются конкретными критериями, признаками, величинами, закономерностями корреляционных взаимоотношений между собой [1].

Критерии оценки позвоночно-тазовых взаимоотношений формировались следующим образом. Legaye et al. [15] предложили параметр измерения наклона таза Pelvic incidence (PI). Таз является жесткой структурой, в которой выделяют определенные точки (вершины) и линии (ребра),



Таблица 3

Сравнительная оценка разности ( $\Delta$ ) величин сагиттального баланса (PT, SS) и пространственной ориентации (инклинации и антеверсии, анте-наклона) ацетабулярного компонента при смене положения сидя и стоя через 5 мес. после операции

Показатель	$\Delta$ инклинация впадины, сидя/стоя, г (р)	$\Delta$ антеверсия впадины, сидя/стоя, г (р)	$\Delta$ антенаклон, сидя/стоя, г (р)
PT стоя	–0,34 (0,145)	–0,05 (0,822)	–0,50 (0,025*)
SS стоя	0,07 (0,756)	–0,31 (0,181)	–0,03 (0,913)
PT сидя	0,47 (0,039*)	0,44 (0,051)	0,43 (0,058)
SS сидя	–0,28 (0,231)	–0,50 (0,023*)	–0,61 (0,004*)
$\Delta$ PT стоя	0,67 (0,001*)	0,20 (0,405)	0,82 (<0,001*)
$\Delta$ SS сидя/стоя	–0,48 (0,031*)	–0,33 (0,152)	–0,70 (<0,001*)
PT седалищный стоя	0,01 (0,968)	0,09 (0,718)	–0,21 (0,377)
PT седалищный сидя	0,25 (0,281)	0,42 (0,062)	0,39 (0,087)
$\Delta$ PT седалищный сидя/стоя	0,22 (0,347)	0,22 (0,354)	0,38 (0,099)

\*  $p < 0,05$ .

формирующие известные нам тазовые параметры (PI, PT, SS и др.). Данные вершины и ребра образуют друг с другом связь, описываемую теорией графов [12], и инцидентность как фундаментальный признак, которым характеризуются все системы, имеющие жестко взаимосвязанные ориентиры, обладающие стабильными связями, что и объясняет взаимосвязи параметров сагиттального баланса. Для измерения динамических показателей наклона таза был предложен параметр – Pelvic Tilt (PT). Также необходимыми параметрами для оценки сагиттального баланса являются Sacral Slope (SS) и Lumbal lordosis (LL). Наиболее валидными параметрами позвоночно-тазовых взаимоотношений в сагиттальной плоскости являются PT, PI, SS, LL. Считается, что LL напрямую зависит от параметра SS и имеет с ним положительную корреляцию. Параметр LL описывает компенсацию вариации наклона таза, следствием чего является достижение баланса туловища. Данный механизм компенсации имеет и обратную тенденцию: при дегенеративно-дистрофических поражениях поясничного отдела позвоночника, когда при сглаживании поясничного лордоза таз компенаторно наклоняется дорсально, обретая открытый кзади угол SS [1, 2, 11].

В 2014 г. Kanawade et al. [8] исследовали изменения положения АК в сагиттальной (боковой) проекции, одновременно анализируя параметры сагиттального баланса. При анализе положения АК на боковых рентгенограммах таза для описания его положения и с учетом ориентации в сагиттальной плоскости они ввели понятие «передний наклон вертлужной впадины» (acetabular tilt), что можно перевести как антенаклон ацетабулярной впадины, по аналогии с критериями SS и PT. Авторы предложили определять угол антенаклона АК как угол между линией, проведенной через максимальные выступающие точки контуров переднего и заднего краев АК, и горизонтальной линией, проведенной через точку нижнего края АК [8]. Различия между углами антенаклона, измеренного в положении стоя и сидя, представляют собой изменение инклинации и антеверсии АК, вызванное динамическим движением таза.

Lazennec et al. [6, 7], исследуя корреляцию углов инклинации и антеверсии АК при смене положения стоя/сидя, показали, что угол антеверсии АК, измеренный на обзорных рентгенограммах таза стоя и сидя в переднезадней проекции, прямо пропорционален величине угла версии таза. Так, при смене позы тела из положения стоя в положение

сидя при ретроверсии таза в среднем на  $14,5^\circ$  происходит увеличение фронтальной антеверсии АК на  $7,1^\circ$  [6]. Подобную взаимосвязь мы находим в классификации Bordeaux, в которой учитывается характеристика связанности таза и позвоночника, предполагается изменение антеверсии АК в ту или иную сторону при его имплантации [17].

Проведенный Kanawade et al. [8] эксперимент по моделированию различных сочетаний величин углов инклинации и антеверсии АК, сопоставленных с величинами углов антенаклона АК при сагиттальном исследовании, показал влияние последних на фактические значения угла антенаклона, что подчеркивает важность параметра антенаклона в качестве дополнительного референтного критерия функционального положения АК.

На основании этого эксперимента и описанных ранее особенностей биомеханики таза [18] можно с уверенностью утверждать, что пространственные положения установленных АК с определенной комбинацией инклинаций и антеверсий во время операции в положении лежа будут отличаться от действенной пространственной позиции АК в положениях стоя и сидя. При этом корреляция значений углов положения АК в зависимо-

сти от положения стоя и сидя со значениями сагиттального баланса (PT и SS), измеренных при одинаковых условиях, как мы показали, достаточно сильная. Эти данные совпадают с данными, полученными Lazennec et al. [6, 7], которые утверждали, что позиция АК, имплантированного с определенными углами антеверсии и фронтальной инклинации в положении пациента лежа, в последующем будет изменяться при принятии положения сидя и стоя.

По мере накопления данных пришло понимание, что позиция АК в зоне безопасности не гарантирует отсутствия вывихов в послеоперационном периоде, связано это или с избыточной ретроверсией таза в положении сидя, а соответственно, и АК, или, наоборот, с фиксированным положением таза, что делает его статичным, и неизменной позицией АК. Игнорирование этого факта чревато неизбежным импинджментом бедренного компонента с АК и вывихом эндопротеза [2, 19].

Антеверсия АК, являясь одним из значимых референтов эндопротезирования тазобедренного сустава, влияет не только на вывих эндопротеза, но и на его выживаемость. При увеличении антеверсии АК происходит смещение пятна контакта и, как следствие, повышается давление на край вкладыша [20]. Правильное положение пятна контакта и равномерное распределение нагрузки на вкладыш влияют на скорость износа последнего [1], что крайне важно для оценки качества оперативного вмешательства.

Одной из актуальных проблем эндопротезирования тазобедренного сустава является шум в твердых парах трения. Установлено, что оценка позиции АК может служить предиктором шума, в сравнении со статичными измерениями в положении лежа [20–23]. Авторы исследований связали данный феномен со смещением таза во время движения соответственно дезориентации углов вертлужного компонента в положениях сидя, стоя и в движении [22, 24].

Pierrepoint et al. [24] в эксперименте посредством математического моделирования оценили и наглядно продемонстрировали значимость сагиттального баланса в отношении антеверсии вертлужного компонента в различных положениях и ее влияния на смещение пятна контакта. Эксперимент показал, что при принятии пациентом положения сидя увеличение значения угла PT более  $10^\circ$  приводит к смещению головки бедренного компонента эндопротеза к краю АК (краевая нагрузка) независимо от величины головок бедренного компонента (32 мм, 36 мм и 40 мм). В результате смещения пятна контакта между головкой бедренного компонента и ацетабулярной впадиной уменьшалась площадь контакта, тем самым увеличивая контактное давление головки на вкладыш, что в случае, например, полиэтиленового вкладыша ускоряет его преждевременный износ. В случае керамического вкладыша формируется феномен сухого трения (нет смазываемых зон из-за сильного давления, что создает шум/скрип). Максимальное давление в 500 МПа было отмечено авторами во вкладыше размером в 40 мм и смещении PT в  $30^\circ$  в положении сидя [24].

В нашем исследовании обнаружена весьма высокая положительная корреляция при критическом уровне значимости ( $p < 0,001$ ) между переменными данными показателей PT, антеверсии впадины, высокой корреляции с антенаклоном впадины и заметная корреляция значений SS и инклинации впадины между положением стоя и сидя. Эти данные отражают однонаправленные изменения измеряемых показателей в пределах одного тела (таза) в соответствии с теорией графов и свидетельствуют об их взаимосвязи по образу матрицы инцидентности. Эти изменения соответствуют концепции поворота таза при опоре на головки бедренной кости и достаточно хорошо описаны в литературе [18].

Общепринятые критерии сагиттального баланса для оценки версии таза (SS, PT) позволяют достаточно точно определить крайние положе-

ния антеверсии и ретроверсии таза и тем самым дать косвенное предоперационное представление о разнице положения АК при переходе в положение сидя из положения стоя и наоборот в рамках предоперационного планирования. Это помогает принимать соответствующие решения о целевом положении АК, диктуемым кинетикой таза [1].

Таким образом, антенаклон является точкой пересечения области интересов вертебрологов и ортопедов-протезистов. Последние все больше стали обращать внимание на индивидуальные показатели и требования пациентов, а также кинематическое эндопротезирование, а не оставаться в стандартизированных рамках определенных параметров пациента, что благоприятно влияет на отдаленные результаты.

Чтобы соответствовать принципам кинематического эндопротезирования, целесообразно проводить предоперационную оценку положения поясничного отдела позвоночника, таза и бедра в сагиттальной проекции в функциональных положениях (в положении сидя/стоя) и учитывать особенности сагиттального баланса, тем самым снижая вероятность вывиха, раннего износа полиэтилена, расшатывания компонентов или разрушения определенных пар трения.

Наше исследование привносит новые данные, возможно, раскрывающие патогенез VI типа нестабильности (неясной этиологии) эндопротеза тазобедренного сустава по Classification System for the Unstable THA, когда базовое лечение нестабильности этого типа с применением constrained liner без учета кинематики таза приводит к высокой частоте неудач, что требует смены тактики лечения при данном типе нестабильности. С учетом вышесказанного внедрение технологий роботизированного эндопротезирования тазобедренного сустава становится все более обоснованным.

Для более углубленного анализа данного вопроса необходимы дальнейшие исследования с высоким уровнем доказательности.

## Закключение

Сравнение параметров сагиттального баланса (SS, PT), измеряемых в положении стоя и сидя, с положением АК показало их прямую высокую корреляцию между собой.

Антинаклон служит связующим критерием между параметрами сагит-

тального баланса и пространственным положением ацетабулярной впадины.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

1. Yang G, Li Y, Zhang H. The influence of pelvic tilt on the anteversion angle of the acetabular prosthesis. Orthop Surg. 2019;11:762–769. DOI: 10.1111/os.12543
2. Haffer H, Amini DA, Perka C, Pumberger M. The impact of spinopelvic mobility on arthroplasty: Implications for hip and spine surgeons. J Clin Med. 2020;9:2569. DOI: 10.3390/jcm9082569
3. Пелеганчук А.В., Тургуннов Э.Н., Мушкачев Е.А., Сангиннов А.Д., Симонович А.Е., Павлов В.В. Влияние позвоночно-тазовых взаимоотношений на поздний вывих головки бедренного компонента эндопротеза после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19, № 1. С. 63–70. [Peleganchuk AV, Turgunov EN, Mushkachev EA, Sanginov AJ, Simonovich AE, Pavlov VV. The influence of spinopelvic relationships on late dislocation of the prosthetic femoral head after total hip arthroplasty. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2022;19(1):63–70]. DOI: 10.14531/ss2022.1.63–70
4. Wera GD, Ting NT, Moric M, Paprosky WG, Sporer SM, Della Valle CJ. Classification and management of the unstable total hip arthroplasty. J Arthroplasty. 2012;27:710–715. DOI: 10.1016/j.arth.2011.09.010
5. Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR. Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. J Bone Joint Surg Am. 1978;60:217–220.
6. McKnight BM, Trasolini NA., Dorr LD. Spinopelvic motion and impingement in total hip arthroplasty. J Arthroplasty. 2019;34:S53–S56. DOI: 10.1016/j.arth.2019.01.033
7. Morimoto T, Kobayashi T, Tsukamoto M, Hirata H, Yoshihara T, Toda Y, Mawatari M. Hip–spine syndrome: a focus on the pelvic incidence in hip disorders. J Clin Med. 2023;12:2034. DOI: 10.3390/jcm12052034
8. Heckmann N, McKnight B, Steffl M, Trasolini NA, Ike H, Dorr LD. Late dislocation following total hip arthroplasty: spinopelvic imbalance as a causative factor. J Bone Joint Surg Am. 2018;100:1845–1853. DOI: 10.2106/JBJS.18.00078
9. Lazennec JY, Boyer P, Gorin M, Catonne Y, Rousseau MA. Acetabular anteversion with CT in supine, simulated standing, and sitting positions in a THA patient population. Clin Orthop Relat Res. 2011;469:1103–1109. DOI: 10.1007/s11999-010-1732-7
10. Lazennec JY, Thauront F, Robbins CB, Pour AE. Acetabular and femoral anteversions in standing position are outside the proposed safe zone after total hip arthroplasty. J Arthroplasty. 2017;32:3550–3556. DOI: 10.1016/j.arth.2017.06.023
11. Lazennec JY, Charlot N, Gorin M, Roger B, Arafati N, Bissery A, Saillant G. Hip-spine relationship: a radio-anatomical study for optimization in acetabular cup positioning. Surg Radiol Anat. 2004;26:136–144. DOI: 10.1007/s00276-003-0195-x
12. Buckland AJ, Vigdorchik J, Schwab FJ, Errico TJ, Lafage R, Ames C, Bess S, Smith J, Mundis GM, Lafage V. Acetabular anteversion changes due to spinal deformity correction: bridging the gap between hip and spine surgeons. J Bone Joint Surg Am. 2015;97:1913–1920. DOI: 10.2106/JBJS.O.00276
13. Moeller TB, Reif E. Pocket Atlas of Radiographic Positioning. Including Positioning for Conventional Angiography, CT, and MRI. 2nd ed. Thieme Verlagsgesellschaft, 2000.
14. Зарипова Э.Р., Кокотчикова М.Г. Дискретная математика. Часть III. Теория графов. М., 2013. [Zaripova ER, Kokotchkova MG. Discrete Mathematics. Part III. Graph Theory. Moscow, 2013].
15. Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. Eur Spine J. 1998;7:99–103. DOI: 10.1007/s005860050038
16. Kanawade V, Dorr LD, Wan Z. Predictability of acetabular component angular change with postural shift from standing to sitting position. J Bone Joint Surg Am. 2014;96:978–986. DOI: 10.2106/JBJS.M.00765
17. Riviere C, Harman C, Parsons T, Villet L, Cobb J, Maillot C. Kinematic alignment versus conventional techniques for total hip arthroplasty: A retrospective case control study. Orthop Traumatol Surg Res. 2019;105:895–905. DOI: 10.1016/j.otsr.2019.02.012
18. Peleganchuk AV, Turgunov EN, Mushkachev EA, Fedorova NV, Danilov MN, Korytkin AA, Pavlov VV. Modeling the behavior of the acetabular axis and the axis of the ischial tuberosities during the transition from a standing to a sitting position. Genij Ortopedii. 2023;29(4):410–418. DOI: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-410-418
19. Riviere C, Lazennec JY, Van Der Straeten C, Auvinet E, Cobb J, Muirhead-Allwood S. The influence of spine-hip relations on total hip replacement: A systematic review. Orthop Traumatol Surg Res. 2017;103:559–568. DOI: 10.1016/j.otsr.2017.02.014
20. Taylor S, Manley MT, Sutton K. The role of stripe wear in causing acoustic emissions from alumina ceramic-on-ceramic bearings. J Arthroplasty. 2007;22(7 Suppl 3):47–51. DOI: 10.1016/j.arth.2007.05.038
21. Shah SM, Deep K, Siramanakul C, Mahajan V, Picard F, Allen DJ. Computer navigation helps reduce the incidence of noise after ceramic-on-ceramic total hip arthroplasty. J Arthroplasty. 2017;32:2783–2787. DOI: 10.1016/j.arth.2017.04.019
22. Pierrepont JW, Feyen H, Miles BP, Young DA, Bare JV, Shimmin AJ. Functional orientation of the acetabular component in ceramic-on-ceramic total hip arthroplasty and its relevance to squeaking. Bone Joint J. 2016;98B:910–916. DOI: 10.1302/0301-620X.98B7.37062
23. Tashtanov BR, Kirilova IA, Pavlova DV, Pavlov VV. Ceramic-related noise as an adverse outcome in total hip arthroplasty. Genij Ortopedii. 2023;29(5):565–573. DOI: 10.18019/1028-4427-2023-29-5-565-573
24. Pierrepont J, Yang L, Arulampalam J, Stambouzu C, Miles B, Li Q. The effect of seated pelvic tilt on posterior edge-loading in total hip arthroplasty: A finite element investigation. Proc Inst Mech Eng H. 2018;232:241–248. DOI: 10.1177/0954411917752028

**Адрес для переписки:**

Мушкачев Евгений Андреевич  
630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,  
Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии  
им. Я.Л. Цивьяна,  
mushkachevi@gmail.com

Статья поступила в редакцию 13.05.2025

Рецензирование пройдено 03.06.2025

Подписано в печать 10.06.2025

**Address correspondence to:**

Mushkachev Evgeniy Andreevich  
Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics  
n.a. Ya.L. Tsivyan,  
17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia,  
mushkachevi@gmail.com

Received 13.05.2025

Review completed 03.06.2025

Passed for printing 10.06.2025

Алексей Владимирович Пелеганчук, канд. мед. наук, научный сотрудник отделения нейровертебрологии, заведующий отделением нейрохирургии № 2, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 2663-9450, ORCID: 0000-0002-4588-428X, apeleganchuk@mail.ru;

Эминжон Нематович Тургунов, аспирант кафедры травматологии и ортопедии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 7962-5060, ORCID: 0000-0002-9381-7460, trauma83@mail.ru;

Евгений Андреевич Мушкачев, младший научный сотрудник отделения нейровертебрологии, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 4250-4886, ORCID: 0000-0003-0346-3898, musbkachevi@gmail.com;

Байкозжо Рустамович Таштанов, аспирант, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 6814-8599, ORCID: 0000-0002-8553-9712, b.tashtanov95@gmail.com;

Виталий Викторович Павлов, д-р мед. наук, руководитель научно-исследовательского отделения эндопротезирования и эндоскопической хирургии суставов, Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 7596-2960, ORCID: 0000-0002-8997-7330, pavlovdoc@mail.ru;

Андрей Александрович Корыткин, канд. мед. наук, директор Новосибирского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, eLibrary SPIN: 2273-2241, ORCID: 0000-0001-9231-5891, andrey.korytkin@gmail.com.

Aleksey Vladimirovich Peleganchuk, MD, PhD, researcher, Research Department of Neurovertebrology, neurosurgeon, head of the Department of Neurosurgery No.2, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 2663-9450, ORCID 0000-0002-4588-428X, apeleganchuk@mail.ru;

Eminjon Nematovich Turgunov, postgraduate student of Chair of traumatology and orthopaedics, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 7962-5060, ORCID 0000-0002-9381-7460, trauma83@mail.ru;

Evgeniy Andreevich Mushkachev, junior researcher, Research Department of Neurovertebrology, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 4250-4886, ORCID 0000-0003-0346-3898, musbkachevi@gmail.com;

Baikozho Rustamovich Tashtanov, postgraduate student, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 6814-8599, ORCID: 0000-0002-8553-9712, b.tashtanov95@gmail.com;

Vitaly Viktorovich Pavlov, DMSc, head of the Research Department of endoprosthesis and endoscopic joint surgery, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 7596-2960, ORCID 0000-0002-8997-7330, pavlovdoc@mail.ru;

Andrey Aleksandrovich Korytkin, MD, PhD, Director, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia, eLibrary SPIN: 2273-2241, ORCID: 0000-0001-9231-5891, andrey.korytkin@gmail.com.





# БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ПОЗВОНОЧНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО СЕКМЕНТА В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Д.Н. Дзукаев, А.Н. Пе́йкер, А.И. Топорский, А.В. Борзенков, И.А. Музышев, В.В. Пустовойтов,  
С.Т. Торчинов, В.В. Гулый

Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Москва, Россия

**Цель исследования.** Определить наиболее валидные биомеханические показатели стабильности позвоночно-двигательных сегментов в поясничном отделе позвоночника, их значения в норме, воспроизводимость для применения в клинической практике хирургического лечения дегенеративных заболеваний.

**Материал и методы.** Для выявления наиболее значимых и чувствительных критериев оценки биомеханики позвоночно-двигательных сегментов в поясничном отделе позвоночника с использованием поисковых систем Pubmed и eLibrary отобраны 4784 публикации, из которых после оценки по установленным критериям включения и исключения выделено 16 статей, послуживших основой для дальнейшего анализа.

**Результат.** Все показатели сегментарной стабильности разделены на 3 группы: клинические, рентгенологические и экспериментальные. Отмечен достаточно субъективный характер клинических критериев, включающих в основном оценку боли при пальпации либо оценку двигательной активности. При этом боль не показала достоверной связи с наличием нестабильности и также может быть связана с корешковым синдромом. Рентгенологические критерии нестабильности (статическая, функциональная рентгенография, КТ) имеют погрешности на фоне выраженного болевого синдрома за счет рефлекторного спазма мышц или за счет ограничений самих исследований. По данным предоперационного обследования достаточно сложно спрогнозировать возможную величину нестабильности после декомпрессии во время операции. К биомеханическим показателям, которые устанавливаются в условиях эксперимента, относят объем углового движения, упругость позвоночно-двигательного сегмента, величину нейтральной зоны и внутридисковое давление.

**Заключение.** Несомненным ограничением является отсутствие в настоящий момент технической возможности для интраоперационного измерения экспериментальных показателей нагрузки *in vivo*. Развитие технологий в указанном направлении с накоплением данных и анализом специфичности и воспроизводимости критериев позволит усовершенствовать протоколы диагностики, планирования объема и опций оперативного лечения.

**Ключевые слова:** биомеханика позвоночника; сегментарная нестабильность; дегенеративные заболевания поясничного отдела позвоночника; биомеханические критерии.

Для цитирования: Дзукаев Д.Н., Пе́йкер А.Н., Топорский А.И., Борзенков А.В., Музышев И.А., Пустовойтов В.В., Торчинов С.Т., Гулый В.В. Биомеханические показатели нестабильности позвоночно-двигательного сегмента в поясничном отделе позвоночника: систематический обзор // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 32–44.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.32-44>

## BIOMECHANICS OF SPINAL MOTION SEGMENT INSTABILITY IN THE LUMBAR SPINE: A SYSTEMATIC REVIEW

D.N. Dzukaev, A.N. Peiker, A.I. Toporskiy, A.V. Borzenkov, I.A. Muzishev, V.V. Pustovoytov, S.T. Torchinov, V.V. Gulyi.

City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, Moscow, Russia

**Objective.** To determine the most valid biomechanical indicators of the stability of spinal motion segments in the lumbar spine, their normal values, and reproducibility for use in clinical practice of surgical treatment of degenerative diseases.

**Material and Methods.** To identify the most significant and sensitive criteria for assessing the biomechanics of the spinal motion segments in the lumbar spine, 4784 publications were selected using the PubMed and eLibrary search systems, of which 16 articles were selected after evaluation according to the established inclusion and exclusion criteria and served as the basis for further analysis.

**Result.** All segmental stability indices are divided into 3 groups: clinical, radiological and experimental. The rather subjective nature of clinical criteria is noted, including mainly either pain assessment during palpation or assessment of motor activity. At the same time, pain did not show a reliable connection with the presence of instability and can also be associated with radicular syndrome. Radiological instability criteria (static and functional radiography, CT) are in error against the background of severe pain syndrome due to reflex muscle spasm or due to limitations of the studies themselves. Based on preoperative examination data, it is quite difficult to predict the possible magni-

tude of instability after decompression during surgery. Biomechanical indices that are established under experimental conditions include the volume of angular motion, elasticity of the spinal motion segment, the size of the neutral zone and intradiscal pressure.

**Conclusion.** An obvious limitation is the current lack of technical capability for intraoperative measurement of experimental load indices *in vivo*. Development of technologies in this direction with accumulation of data and analysis of specificity and reproducibility of criteria will improve diagnostic protocols, and planning the volume and options of surgical treatment.

**Key Words:** biomechanics of the spine; segmental instability; degenerative diseases of the lumbar spine; biomechanical criteria.

Please cite this paper as: Dzukaev DN, Peiker AN, Toporskiy AI, Borzenkov AV, Muzishev IA, Pustovoitov VV, Torchinov ST, Gulyi VV. Biomechanics of spinal motion segment instability in the lumbar spine: a systematic review. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2025;22(2):32–44. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.32-44>

При изучении механизмов движения позвоночника мы сталкиваемся с двумя крупными группами биомеханических показателей – глобальным сагиттальным балансом и сегментарной стабильностью. С нашей точки зрения, наиболее клинически интересны и наименее объективно изучены в клинике именно те, которые относятся к позвоночно-двигательному сегменту (ПДС).

Одним из основных факторов, обуславливающих применение в ходе операции той или иной стабилизирующей системы, является выявление сегментарной нестабильности. При выборе стабилизирующей системы хирург стремится к восстановлению опорной функции позвоночника таким образом, чтобы параметры подвижности ПДС были максимально приближены к норме. Чрезмерная жесткость системы приводит к перегрузке смежных сегментов и элементов конструкции, в особенности если речь идет о многоуровневом дегенеративном поражении. Недооценка нестабильности, как и необоснованное применение динамической системы, может приводить к продолжению или усугублению заболевания за счет смещения позвонка. В ряде случаев применение стабилизирующей системы, несмотря на наличие рентгенологических признаков смещения (грубой нестабильности), может быть не совсем оправдано, потому что к моменту операции в сегменте уже произошло формирование костного блока (блокирования), в том числе без субъективных жалоб.

В настоящий момент на рынке существует большое разнообра-

зие имплантатов для стабилизации позвоночника, что дает возможность индивидуально подходить к лечению нестабильности. В рамках первого этапа работы определена необходимость оценки биомеханических критериев сегментарной нестабильности в поясничном отделе позвоночника, которые максимально точно определяют показания к выбору технологии лечения для конкретного пациента.

### Материал и методы

В систематическом обзоре А.Ю. Мушкина и соавт. [1] выделены 5 типов литературных источников, затрагивающих тему биомеханики:

- 1) изучение прочности анатомических структур, формирующих переднюю и заднюю колонны позвоночника;
- 2) изучение кинематических свойств изолированных ПДС и отделов позвоночника;
- 3) изучение биомеханики деформаций позвоночника;
- 4) изучение процессов перестройки (ремоделирования) костных трансплантатов в условиях деформации;
- 5) изучение биомеханики имплантатов и позвоночника при его инструментальной фиксации.

Для реализации цели исследования были отобраны статьи, относящиеся к первой и второй группам. Методология обзора реализована в соответствии с протоколом PRISMA [2]. Анализ проводили путем подачи поисковых запросов в системах Pubmed и eLibrary и сплошного изучения полученных результатов. Ключевыми словами для поиска яви-

лись в русскоязычной базе «биомеханика позвоночника», «биомеханика поясничного отдела позвоночника», «биомеханика дегенеративных заболеваний позвоночника», «сегментарная нестабильность в поясничном отделе позвоночника»; в англоязычной – «biomechanics of lumbar spine», «degenerative disease biomechanics», «degenerative stenosis biomechanics», «biomechanics after spine fusion», «anterior spine fusion biomechanics», «neutral zone of spinal motion».

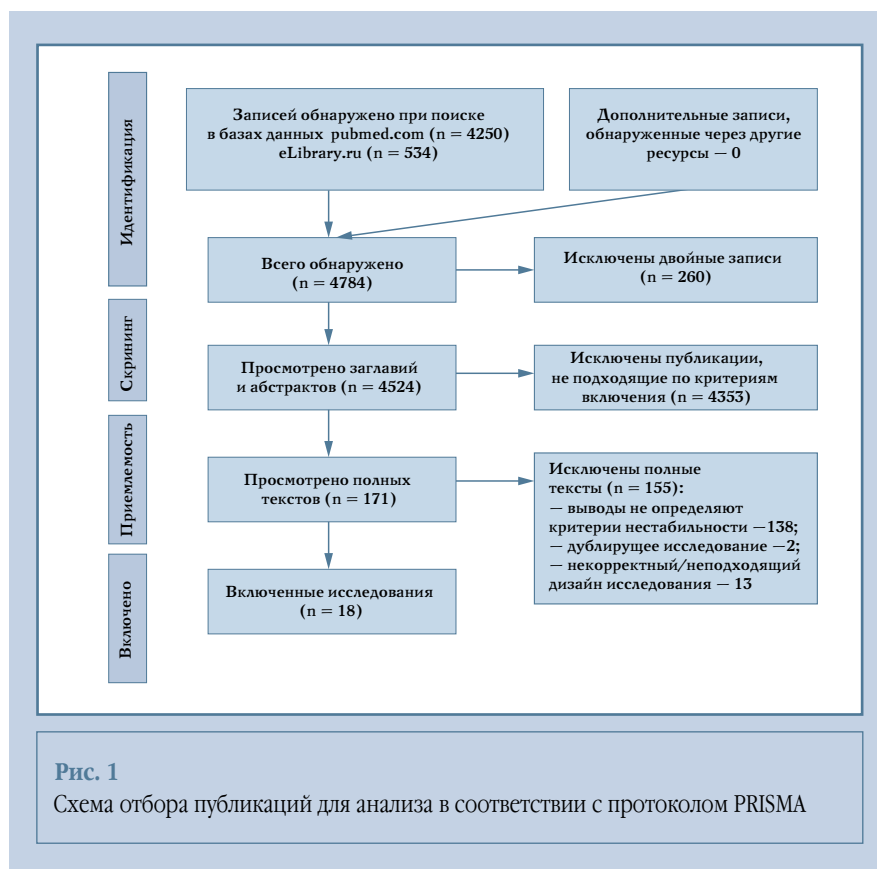
На первом этапе отобрано 4784 публикации: 4250 публикаций на английском языке на платформе pubmed.com и 534 по русскоязычным запросам на ресурсе eLibrary.ru (рис. 1), глубина поиска 50 лет (с 1975 по 2025 гг.).

Критерии включения научных публикаций:

- 1) статьи и литературные обзоры, которые касаются биомеханики поясничного отдела позвоночника;
- 2) в публикации идет речь о нормальной анатомии и физиологии позвоночника либо о дегенеративной патологии;
- 3) в публикации рассматриваются биомеханические показатели, которые имеют единицы измерения.

Критерии исключения:

- 1) публикация рассматривает показатели стабильности у оперированных больных (с имплантатами и без);
- 2) в публикации идет речь о показателях глобального сагиттального баланса;
- 3) рассматриваемые критерии не обладают высокой степенью воспроизводимости, цитируемость публикации менее 10;
- 4) возраст пациентов до 18 лет;



5) исследования, которые связаны с использованием метода конечных элементов;

б) дублирующие публикации и статьи с погруженным цитированием, выводы в которых повторяют выводы ранее опубликованных исследований.

Включение и исключение из исследования публикаций проводили 3 специалиста-эксперта в сфере нейрохирургии (опыт работы в спинальной хирургии и хирургии дегенеративных заболеваний позвоночника более 10 лет). В случае спорности вопроса о применении критериев включения или исключения к конкретной публикации решение принимали простым большинством экспертов.

## Результаты

Анализ источников (табл. 1) позволяет заключить, что большинство базовых исследований биомеханики позвоночника выполняли в 1980–1990-х гг. В связи с активным внедрением имплантатов в хирургическую

практику интерес исследователей смещается в сторону биомеханики позвоночника в условиях фиксации. Небольшое число исследований рассматривает клинические и рентгенологические критерии как основу определения сегментарной стабильности, большая часть биомеханических исследований сконцентрирована на экспериментальных показателях, применение которых в клинической практике по сей день остается ограниченным ввиду отсутствия технологичных измерений *in vivo*. Большинство исследований, попавших в настоящий обзор, обладают средним уровнем доказательности (3 по Мельнику и Файнаут-Оверхолт).

*Стабильность позвоночно-двигательного сегмента.* Определение понятия «стабильность ПДС» важно для понимания того, что можно считать нормой опорной функции позвоночника и где начинается патология. Однако до настоящего момента не существует четких критериев стабильности, что часто затрудняет

принятие решения о фиксации и ее типе. Таким образом, чем четче будут определены эти критерии, тем более точным будет выбор хирургической тактики и подходящего имплантата для конкретного пациента.

В классической работе White et al. [3] определяли стабильность как способность позвоночника ограничивать смещение позвонков в условиях физиологической нагрузки с целью предупреждения повреждения или раздражения нервных корешков, а также инвалидизирующих деформаций и боли, обусловленной структурными изменениями элементов позвоночника. Исходя из этого, позднее те же авторы [4] определили нестабильность позвоночника как потерю способности поддерживать такие паттерны движений, при которых нет нарастания неврологического дефицита, значимой деформации или инвалидизирующей (существенно ухудшающей качество жизни) боли. Американская академия хирургов-ортопедов дала более упрощенное определение стабильности позвоночника: это способность позвонков оставаться сплоченными и сохранять нормальные смещения при любых физиологических движениях [5]. Необходимо отметить, что во всех приведенных определениях нет конкретности: нигде не приводятся измеряемые критерии, понятия относительно размыты и могут по-разному пониматься различными специалистами (например, что такое физиологическая нагрузка и физиологические движения). Оценка нестабильности сегмента в лучшем случае сводится к оценке наличия/отсутствия остеофитов и стадии дегенерации диска по данным КТ, в худшем – ПДС фиксируют имплантатами во всех случаях, остерегаясь нестабильности даже при прочном костном блоке. В случае функциональной рентгенографии существуют более точные критерии, однако и у этого метода есть существенные ограничения: невозможность использования в период острой боли, погрешность измерения за счет патологического мышечного тонуса, неопределенность методологии про-

Таблица 1

Публикации, анализируемые в настоящем систематическом обзоре

Публикация	Тип исследования	Контент исследования	Оценка исследования	Уровень доказательности по Мельнику и Файнаут-Оверхолт
А.Ю. Мушкин и соавт. [1]	Аналитический обзор	Определение основных групп статей, связанных с биомеханикой позвоночника	Рассматриваются все типы показателей	7
Panjabi [6]	Аналитический обзор	Описание анатомии фасеточных суставов, клиническая оценка нестабильности	Клинические, рентгенологические и экспериментальные критерии	7
Simmonds et al. [7]	Систематический обзор (23 публикации)	Предложена схема оценки сегментарной нестабильности на основании клинических и рентгенологических критериев	Клинические и рентгенологические критерии	5
Pearcy et al. [8]	Экспериментальное исследование <i>in vivo</i> (14 пациентов)	На группе асимптомных пациентов установлены пределы нормальных значений смещения и ротации поясничных позвонков в трех плоскостях	Рентгенологические показатели	3
А.В. Крутько и соавт. [33]	Аналитический обзор	Анализ публикаций по теме «Сегментарная нестабильность позвоночника»	Клинические, рентгенологические и экспериментальные критерии	7
Chazal et al. [10]	Экспериментальное исследование <i>in vitro</i> на кадаверном материале (46 препаратов поясничного отдела)	Выявление предельного удлинения связок и силы на разрыв в эксперименте на 46 кадаверных препаратах	Экспериментальные критерии	3
Berkson et al. [14]	Экспериментальное исследование <i>in vitro</i> на кадаверном материале (42 препарата поясничного отдела)	Измерение угловых деформаций, продольного смещения и изменения внутридискового давления в ответ на нагрузку с градицией в зависимости от степени дегенерации диска на 42 кадаверных препаратах	Экспериментальные критерии	3
Panjabi [19]	Экспериментальное исследование на кадаверном материале ( <i>in vitro</i> ), животном материале ( <i>in vivo</i> ), дополненное математическим моделированием	Установлена корреляция величины нейтральной зоны с другими параметрами нестабильности	Экспериментальные критерии	3
Yamamoto et al. [21]	Экспериментальное исследование <i>in vitro</i> на кадаверном материале (10 препаратов поясничного отдела)	Уточнение величины нейтральной, эластичной зон и угла движений в норме в эксперименте на 10 кадаверных препаратах	Экспериментальные критерии	3
Crisco [23]	Диссертация (5 экспериментальных исследований)	Сравнение стабильности позвоночника <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> и определение стабилизирующей роли мышц	Экспериментальные критерии	3



## Окончание таблицы 1

Публикации, анализируемые в настоящем систематическом обзоре

Публикация	Тип исследования	Контент исследования	Оценка исследования	Уровень доказательности по Мельнику и Файнаут-Оверхолт
Nachemson и Morris [24]	Экспериментальное исследование <i>in vivo</i> (16 человек)	Определение внутридискового давления <i>in vivo</i>	Экспериментальные критерии	3
McNally и Adams [28]	Экспериментальное исследование <i>in vitro</i> (7 препаратов поясничного отдела)	Особенности распределения внутридискового давления в диске в норме и при патологии <i>in vitro</i>	Экспериментальные критерии	3
McNally et al. [29]	Экспериментальное исследование <i>in vivo</i> (10 человек)	Особенности распределения внутридискового давления в диске в норме и при патологии <i>in vivo</i>	Экспериментальные критерии	3
Brown et al. [30]	Экспериментальное исследование <i>in vivo</i> (298 человек)	Измерение упругости позвоночно-двигательных сегментов в разных стадиях дегенерации диска <i>in vitro</i>	Экспериментальные критерии	3
Di Pauli von Treuheim [27]	Экспериментальное исследование <i>in vivo</i> на материале животных	Сравнение методов расчета нейтральной зоны	Экспериментальные критерии	3
Cannella et al. [26]	Экспериментальное исследование <i>in vitro</i> на кадаверном материале (17 препаратов поясничного отдела)	Сравнение величины нейтральной зоны и угла движения сегмента до и после дискэктомии	Экспериментальные критерии	3
Cornaz et al. [31]	Экспериментальное исследование <i>in vitro</i> на кадаверном материале (5 препаратов поясничного отдела)	Определение стабильности сегмента путем определения упругости с использованием динамометрического инструмента собственной разработки	Экспериментальные критерии	3
McAfee et al. [32]	Экспериментальное исследование <i>in vitro</i> (1 препарат)	Определение стабильности сегмента путем определения упругости с использованием динамометрического роботизированного инструмента собственной разработки	Экспериментальные критерии	3

ведения исследования (в положении стоя или лежа, какая сила сгибания и т.п.). Кроме того, в клинической практике на основании дооперационного рентгенологического обследования практически невозможно четко спрогнозировать изменение стабильности позвоночника после декомпрессии.

*Клинические критерии нестабильности* мало рассматриваются в научной литературе. К ним можно отнести изменяющуюся при движении боль

в поясничном отделе позвоночника и неврологический дефицит. Panjabi [6] предложил балльную систему оценки нестабильности на основе клинических и рентгенологических критериев, учитывающую разрушение элементов передней (1 балл) и задней (1 балл) колонн, смещение позвонка в сагиттальной плоскости более чем на 4,5 мм или 15 % по данным функциональной (2 балла) или статической (2 балла) рентгенографии, ангуляция позвонка при статической

рентгенографии более 22° (2 балла), изменение угла ангуляции при функциональной рентгенографии более 15° на уровне выше L<sub>4</sub>, более 20° – на уровне L<sub>4</sub>–L<sub>5</sub>, более 25° – на уровне L<sub>5</sub>–S<sub>1</sub> (2 балла), повреждение конского хвоста, неврологический дефицит (3 балла), предполагаемая высокая нагрузка на позвоночник (1 балл). Сумма 5 баллов и более может рассматриваться как нестабильность. Из данных критериев только неврологический дефицит – клинический.

Movement in degrees Mean (SD)				
	N	Flex	Ext	Flex/ext
L1/2	6	8 (5)	5 (2)	13 (5)
L2/3	11	10 (2)	3 (2)	14 (2)
L3/4	11	12 (1)	1 (1)	13 (2)
L4/5	11	13 (4)	2 (1)	16 (4)
L5/S1	11	9 (6)	5 (4)	14 (5)

Рис. 2

Смещение позвонков (мм) при сгибании и разгибании [8]

Позднее Simmonds et al. [7] на основании систематического обзора разработали систему оценки нестабильности по комбинации клинических и рентгенологических критериев, выделив 3 группы: стабильный сегмент, потенциально нестабильный и нестабильный. Для оценки степени нестабильности использовали следующие критерии: поясничная боль (отсутствует, является не ведущей жалобой, является ведущей жалобой), наличие признаков рестабиллизации (высота диска и остеофиты), ангуляция диска (лордотический, нейтральный, кифотический), смещение на функциональных рентгенограм-

мах ( $<3$  мм, 3–5 мм или  $>5$  мм), наличие выпота в полости фасеточных суставов (нет, выпот без растяжения полости сустава, выпот с растяжением полости сустава).

В целом можно сделать вывод об отсутствии каких-то значимых исследований клинических критериев нестабильности, которые оцениваются только в совокупности с другими, в основном рентгенологическими критериями. Наличие неврологического дефицита не обладает высокой специфичностью при определении нестабильности сегмента, особенно у больных с грубым дегенеративным стенозом, сопровождающимся выраженной оссификацией. Таким образом, оценка клинических критериев не рассматривается как приоритет для определения сегментарной нестабильности.

*Рентгенологические критерии нестабильности* часто используются в клинической практике, но чувствительность этой методики снижается

за счет мышечного дефанса, болевого синдрома, отсутствия единого протокола исследования (какой степени сгибания необходимо достичь пациенту при функциональной рентгенографии и т.п.) и разных антропометрических показателей пациентов.

На рис. 2, 3 [8] показаны нормальные значения подвижности поясничных сегментов, полученные Pearcy et al. [8] по результатам функциональной спондилографии на 14 асимптомных пациентах. Наибольшие смещения (трансляции) и ротации позвонков отмечены в сагиттальной плоскости (ось Z на рис. 2, 3). В других плоскостях в стабильном ПДС смещений и угловых деформаций не происходит или они минимальны.

Такая стабильность достигается за счет особенностей пространственного расположения дугоотростчатых суставов в поясничном отделе позвоночника (сагиттальное либо более косое в нижних отделах) и связочного аппарата [9]. Связки поясничного отдела позвоночника обеспечивают его стабильность в эластичной зоне (EZ-elastic zone). Наглядно величина силы и максимального удлинения отдельных связок на разрыв представлена Chazal et al. [10] и White et al. [11] (табл. 2).

Elmose et al. [12] на основании систематического обзора 118 хирургических и нехирургических статей попытались выделить другие критерии стабильности ПДС. Наиболее частым во многих исследованиях считается сагиттальное смещение позвонка (при функциональной спондилографии) менее чем на 3 мм. Приводя данную цифру, большинство исследователей ссылаются на статью Boden

Translations (mm) Mean (SD)				
	N	X	Y	Z
Movements during flexion				
L1/2	6	0 (1)	1 (1)	3 (1)
L2/3	11	1 (1)	1 (1)	2 (1)
L3/4	11	1 (1)	0 (1)	2 (1)
L4/5	11	0 (1)	0 (1)	2 (1)
L5/S1	11	0 (1)	1 (1)	1 (1)
Movements during extension				
L1/2	6	1 (1)	0 (0)	1 (1)
L2/3	11	0 (1)	0 (1)	1 (1)
L3/4	11	1 (1)	0 (1)	1 (1)
L4/5	11	0 (1)	0 (1)	1 (1)
L5/S1	11	1 (1)	0 (0)	1 (1)

Рис. 3

Ротация позвонков (град.) при сгибании и разгибании [8]

Таблица 2

Прочность и эластичность связок позвоночника [10, 11]

Связка	Сила разрыва	Предельное удлинение, %
Передняя продольная	450	26
Задняя продольная	324	26
Желтая	285	26
Межостистая	125	13
Надостистая	150	32

Classification	Rotations (°) due to 10.6Nm moment				Displacements (cm) due to 145N shear		
	Flexion	Extension	Lateral bend	CW* torsion	Anterior shear	Posterior shear	Rt. lateral shear
Degeneration Grades 0, 1, 2	5.5	2.9	5.6	1.5	.12	.08	.10
Grades 3, 4				1.0(3)	.00	.07(0)	.00(0)

Рис. 4

Угловая деформация и смещения, полученные в исследовании Berkson et al. [14]

Classification of segments	Increase Due to 10.6Nm Moment (kPa)				Increase due to 145N shear (kPa)		
	Flexion	Extension	Rt. lateral bend	Torsion	Anterior	Posterior	Rt. lateral
Degeneration Grades 0, 1, 2	267	58	279	30	39	8	44
Grades 3, 4				18(3)	26(3)		39(3)

Рис. 5

Изменения внутридискового давления, полученные в исследовании Berkson et al. [14]

и Wiesel [13], измеривших сагиттальное смещение позвонков по данным функциональных спондилограмм 40 здоровых добровольцев-мужчин и нашедших среди обследованных максимальное сагиттальное смещение позвонка на 3 мм и боковое – на 8 % ширины тела позвонка. Эти критерии исторически приняты за норму.

**Экспериментальные критерии нестабильности.** Существует ряд более чувствительных показателей нестабильности, измерение которых в рутинной клинической практике в настоящий момент не проводится ввиду отсутствия необходимых технических средств. К ним относят коэффициент упругости сегмента, соотношение нейтральной и эластичной зон его движения. Измерение этих показателей в настоящий момент доступно только при кадаверных биомеханических исследованиях либо путем математического моделирования методом конечных элементов.

Упругость – это сила, которую необходимо приложить к ПДС для изменения его длины на 1 мм. Коэффициент упругости измеряется в Н/мм. Усредненные коэффициенты упругости для интактных сегментов получены в тестах *in vitro* [11, 14–17]:

- шейный отдел: боковое растяжение – 33 Н/мм, компрессия – 1317 Н/мм;
- грудной отдел: боковое растяжение – 100 Н/мм, переднезаднее растяжение – 900 Н/мм, компрессия – 1250 Н/мм;
- поясничный отдел: растяжение – 100–200 Н/мм, компрессия – 600–700 Н/мм;
- крестцово-подвздошные сочленения: растяжение – 100–300 Н/мм.

Большой интерес представляют данные Berkson et al. [14] по 42 свежезаготовленным кадаверным ПДС. Измерялись угловые деформации, продольные смещения и повышение внутридискового давления в ответ на нагрузку. Угловая деформация измерялась при наложении крутящего момента в 10,6 Нм (величина измерения момента силы – 1 Нм, это сила в 1 Ньютон, которая приложена к крутящему рычагу длиной в 1 м), а смещение при наложении силы в 145 Н. Измерения проводили с вертикальной преднагрузкой в 400 Н, которая имитировала вес тела человека, с дифференцировкой исследуемых сегментов по возрасту, полу, уровню диска и степени дегенерации. Полученные данные

представлены на рис. 4. Значимые различия были установлены только при дифференцировке по полу – женщины оказались несколько более гибкими по сравнению с мужчинами. Однако для нас это исследование представляет интерес в плане понимания нормальных значений смещения и угловой деформации позвонков в ответ на нагрузку. Для этих целей можно рассматривать только строку с группой дегенерации диска 0, 1, 2, в которую попали 39 препаратов из 42 исследуемых.

В той же работе представлены данные об изменении внутридискового давления в процессе наложения тех же нагрузок (данные приведены в килопаскалях). Также возможно использовать только данные из строки степени дегенерации 0, 1, 2 (рис. 5).

Очень большое количество исследований биомеханики позвоночника проведено в конце 1980-х гг. Panjabi et al. [17] в Йельском университете. Ими разработана концепция нейтральной и эластичной зон в движении позвоночника, которая представляет большой интерес для дальнейшего развития способов определения стабильности ПДС. Показатель ширины нейтральной зоны и его отношение к полному объему движения сегмента имеют перспективу стать наиболее чувствительными средствами определения нестабильности.

Установлено, что движение ПДС в любую сторону в ответ на нагрузку происходит нелинейно и при увеличении прилагаемой силы смещение позвонка не будет пропорциональным. В самом начале движение происходит легко, позвонок как бы просто скользит по межпозвонковому диску без приложения значимого усилия. Однако, когда он начинает встречать сопротивление связок, нагрузка, требуемая для смещения позвонка на то же расстояние, начинает увеличиваться в геометрической прогрессии.

На рис. 6 представлена кривая «нагрузка–смещение» (load-displacement curve), которая суммирует представления Panjabi о движении в ПДС.

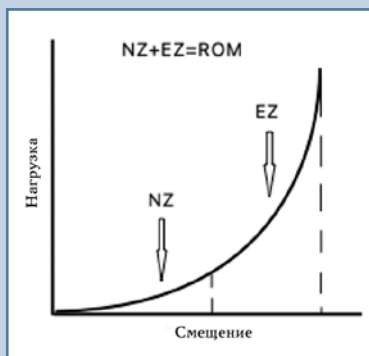


Рис. 6

Кривая «нагрузка–смещение» [19]

Кривая демонстрирует, что в начале движения необходима минимальная нагрузка (Н). Этот сегмент кривой соответствует нейтральной зоне (NZ). Далее следует эластичная зона, в которой за счет сопротивления суставов и связок позвоночника происходит резкое увеличение требуемой для смещения позвонка нагрузки. Вместе эти зоны составляют объем движения (range of motion, ROM). В случае нестабильности ПДС произойдет смещение кривой вправо, она станет более пологой, а при стабилизации смещение будет происходить в противоположную сторону [19].

Panjabi et al. и Yamamoto et al. [20, 21] представили нормальные величины NZ, EZ и ROM для различных сегментов (рис. 7). Препарат кадаверного позвоночника подвергали исследованию в динамической машине. Накладывалась физиологическая нагрузка, после ее снятия ПДС не возвращался в исходное положение, а сохранялось остаточное смещение. Этот феномен использован для определения величины нейтральной зоны. Проводилось 3 цикла наложения–снятия физиологической нагрузки с перерывом в 30 с. Измерение остаточного смещения проводили перед самым началом третьего цикла. Так, измерялось смещение при сгибании, разгибании. Суммирование этих величин давало величину нейтральной зоны. Соот-

	Flexion				Extension				One-side lat. bend				One-side ax rotation			
	NZ	EZ	ROM	NZR	NZ	EZ	ROM	NZR	NZ	EZ	ROM	NZR	NZ	EZ	ROM	NZR
C0-C1	1.1	2.4	3.5	31.4	1.1	19.9	21.0	5.2	1.5	4.0	5.5	27.3	1.6	5.6	7.2	22.2
C1-C2	3.2	8.3	11.5	27.8	3.2	7.7	10.9	29.4	1.2	5.5	6.7	17.9	29.6	9.3	38.9	76.1
C2-C3	10.4	6.6	17.0	26.4	3.6	3.6	7.2	16.8	3.5	6.5	10.0	16.4	4.6	8.3	12.9	38.3
Lumbar	1.5	6.1	7.6	19.7	1.5	2.3	3.8	39.5	1.6	5.0	6.6	24.2	0.7	1.7	2.4	29.2
L5-S1	3.0	7.0	10.0	30.0	3.0	4.8	7.8	38.5	1.8	3.7	5.5	32.7	0.4	1.0	1.4	28.6

Рис. 7

Нормальные значения нейтральной зоны (NZ), эластичной зоны (EZ), объема движений (ROM) и соотношения нейтральной зоны (NZR) в градусах для различных сегментов [20, 21]

ветственно, эластическая зона определялась как разница между объемом движения в сегменте и нейтральной зоной. Однако определение физиологической нагрузки дано не было, а она для каждого индивидуума разная.

Значение величины нейтральной зоны и соотношения нейтральной зоны будет увеличиваться в условиях появления нестабильности ПДС. При его стабилизации за счет естественного или хирургического костного блока величина нейтральной зоны будет уменьшаться.

Немного более четкое описание того, как определять величину нагрузки для нейтральной зоны, дано Busscher et al. [22]: граница нейтральной зоны определена как точка максимального изменения кривой «нагрузка–смещение» (load-displacement curve).

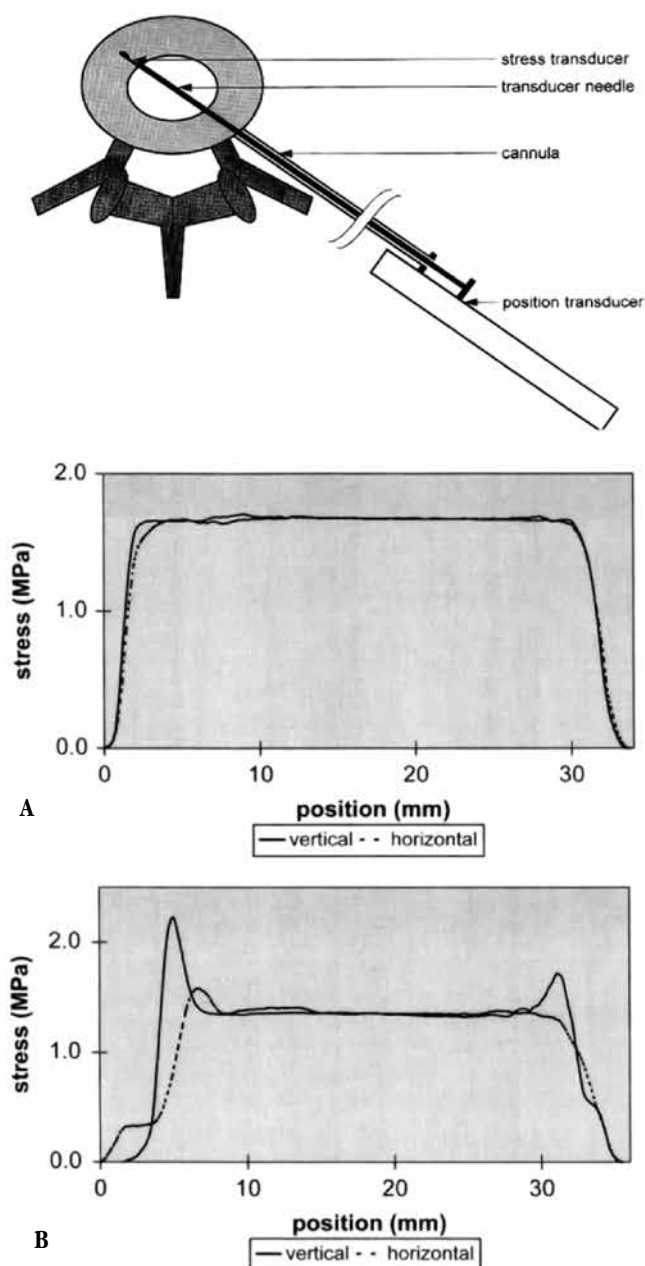
Немаловажную роль в поддержании стабильности поясничного отдела играют мышцы позвоночника, брюшного пресса. Для демонстрации их эффекта можно использовать величину критической нагрузки – ту минимальную силу, которую нужно приложить к верхней части какой-либо колонны, чтобы произошло ее минимальное сгибание. В экспериментальных исследованиях установлено, что критическая нагрузка для поясничного отдела позвоночника равна 90 Н [23]. Это значительно меньше, чем нагрузка, которая применялась в исследованиях *in vivo*, где она составила 1500 Н и более [24]. Такая разница может быть объяснена стабилизирующим влиянием мышечно-

го корсета позвоночника. Panjabi et al. [25] оценили влияние мышц на стабильность позвоночника в условиях острой травмы и установили, что при моделировании стабилизирующей мышечной силы в 60 Н в препарате с поврежденным позвонком показатель ROM сохраняется на значительно более высоком уровне, чем в неповрежденном, однако показатель NZ возвращается практически к исходному. Это позволяет сделать заключение о важности мышц в поддержании нормальной величины нейтральной зоны и экстраполировать полученные данные на дегенеративные поражения позвоночника.

Чувствительность параметра NZ подтверждают Cannella et al. [26] в эксперименте на 12 кадаверных препаратах с измерением биохимических параметров до и после частичного повреждения межпозвонкового диска (симуляция дегенеративного процесса или дискэктомии) – при этом получено существенное увеличение нейтральной зоны и угла движения после повреждения межпозвонкового диска.

К настоящему моменту концепция нейтральной зоны Panjabi до сих пор не обрела окончательные черты. Разработаны несколько различных методик, которые позволяют определить границы между нейтральной и эластичной зоной на кривой «нагрузка–смещение». К ним относят трехфазный метод, двойной сигмовидный метод, метод нулевой нагрузки, метод порога жесткости и метод экстраполируемой эластичной зоны.



**Рис. 8**

Данные дисковой профилометрии, полученные в исследовании McNally и Adams на кадаверном материале [28]

При сравнении этих методик Di Pauli von Treuheim et al. [27] пришли к выводу, что между ними нет существенного согласия, после подсчетов были получены данные с существенным разли-

чием. Наиболее близкими оказались двойной сигмовидный метод и метод порога жесткости.

McNally и Adams [28] провели исследование внутридисккового давления

в норме и при выраженной дегенерации *in vitro*, измеряя его путем пункционной профилометрии: в диск вводилась игла с датчиком и снимались данные в каждой точке ее прохождения через диск. Результаты представлены на рис. 8, где на верхней схеме – методика установки иглы с датчиком давления. График А показывает распределение давления на протяжении нормального диска. На горизонтальной оси X распределены точки снятия внутридисккового давления с задних отделов фиброзного кольца через пульпозное ядро к передним отделам фиброзного кольца. Согласно этому графику, в нормальном диске основное давление приходится на пульпозное ядро в центре, фиброзное кольцо (задние и передние отделы) практически не испытывает нагрузки. В противоположность этому при дегенерации происходит перераспределение давления за счет уменьшения пульпозного ядра в размерах. На графике В представлены данные профилометрии, полученные с дегенерировавших дисков. Отмечается значительное снижение нагрузки на пульпозное ядро и ее повышение на фиброзное кольцо, преимущественно на его задние отделы.

В 1996 г. группа ученых опубликовала похожее исследование, проведенное *in vivo* [29]. Выполнена профилометрия дегенерированных дисков поясничного отдела позвоночника у симптомных пациентов с выраженной поясничной болью. После измерения давления подтверждалась связь боли с исследуемым диском путем пункционной провокационной дискографии (введение контрастного вещества в диск вызывало усиление болевого синдрома в пояснице и регистрировалось на рентгенографии). Получены сходные с предыдущим исследованием *in vitro* данные и подтверждена теория о связи поясничной боли с перегрузкой задних отделов фиброзного кольца.

Выбор метода фиксации рационально проводить на основе интраоперационного измерения стабильности ПДС. Специалистами отделения ортопедии и реабилитации универси-

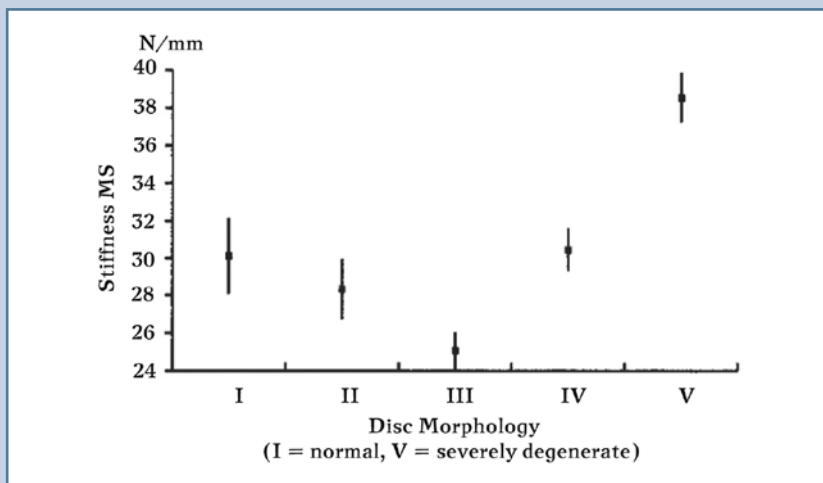


Рис. 9

Данные о величине упругости в зависимости от стадии дегенерации диска, полученные интраоперационно с использованием специального устройства, описанного в исследовании Brown et al. [30]

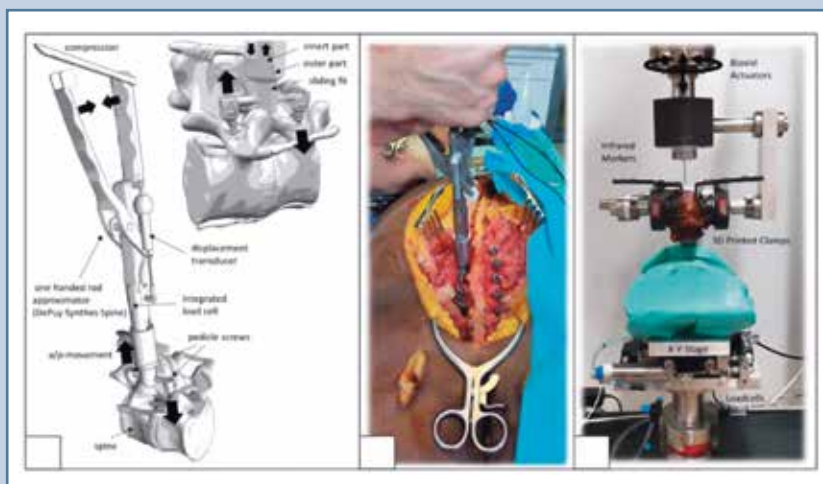


Рис. 10

Динамометрический инструмент из работ Cornaz et al. [31]

тета Майами (США) разработано устройство интраоперационного определения стабильности позвоночника. Это устройство устанавливается между остистыми отростками позвонков и, прилагая нагрузку, измеряет величину деформации, произошедшей в ответ на нее. Таким образом возможно получить наиболее точные данные об упругости конкретного ПДС у конкретного пациента (рис. 9) [30].

Другое устройство интраоперационного измерения стабильности позвоночника предложено Cornaz et al. [31]. Оно регистрирует величину переднезаднего смещения позвонков в ответ на нагрузку, прилагаемую к ним через установленные транспедикулярные винты (рис. 10).

К настоящему моменту в США уже существует роботизированная пневматическая система для интраопераци-

онного измерения упругости сегмента и оценки его стабильности. Роботизированная система имеет пневмопривод и обеспечивает приложение к установленным транспедикулярным винтам необходимой силы на растяжение. В то же время под электронно-оптическим преобразователем регистрируется изменение расстояния между замыкательными пластинками позвонков. На рис. 11 представлены результаты такого измерения до и после дискэктомии. Оценка производится в сагиттальной плоскости на растяжение [32].

## Обсуждение

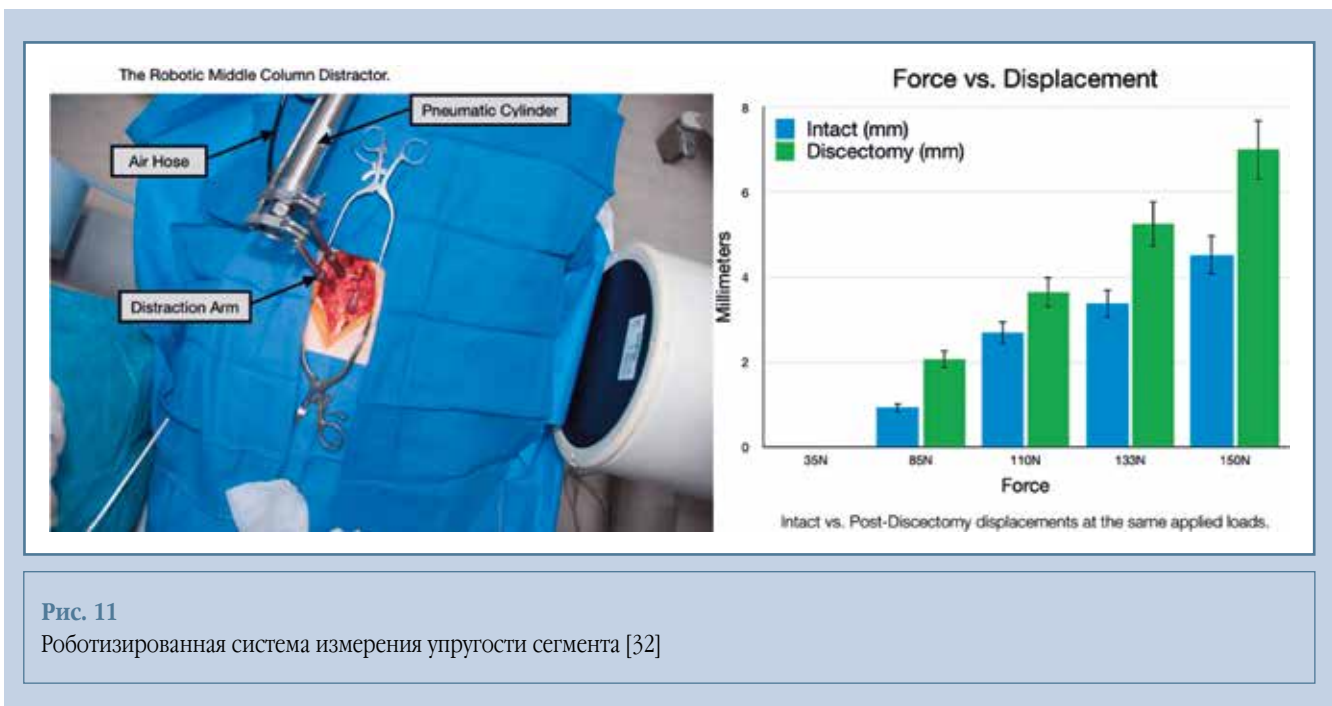
Сложная анатомия позвоночника создает большие трудности в определении четких критериев стабильности/нестабильности ПДС.

Существующие критерии сегментарной стабильности могут быть разделены на большие группы: клинические и биомеханические. Клинические критерии (боль при пальпации, боль при нагрузке или определенных движениях, неврологический дефицит) могут быть связаны не только с чрезмерной подвижностью позвонка, растяжением фиброзного кольца и связок позвоночника, но и с компрессией корешка или спинного мозга. В связи с этим клинические критерии в большинстве случаев обладают низкой специфичностью и являются слабым инструментом для четкого определения сегментарной нестабильности.

Биомеханические показатели стабильности могут быть оценены по следующим данным:

- 1) рентгенологическому исследованию (функциональная рентгенография с оценкой смещения позвонков);
- 2) экспериментальным моделям (*in vitro* на кадаверном материале с использованием динамометрических машин, *in vivo* интраоперационно – дископрофилометрия, измерение упругости с использованием специализированных динамометров).

Применение рентгенологических критериев оценки нестабильности в настоящий момент очень распространено



в клинической практике, однако стоит отметить их не очень высокую чувствительность. Чувствительность статических методов может ограничиваться невозможностью достоверной оценки сформировавшегося костного блока (например, фиксированный спондилолиз). Что касается функциональной рентгенографии, то всегда нужно учитывать невозможность ее адекватной оценки в условиях выраженного болевого синдрома за счет рефлекторного действия мышц.

Среди биомеханических параметров, измеряемых экспериментально, следует особо выделить величину нейтральной зоны, которая дает возможность разработки очень чувствительного метода для определения нестабильности и показаний к стабилизации. Недостатком этого показателя является отсутствие консенсуса среди ученых в вопросе определения границ нейтральной зоны на кривой «нагрузка–смещение». Другие показатели (упругость сегмента, величина смещения позвонка и величина угловой деформации) тоже могут быть очень информативны в вопросе определения нестабильности. Особенно интересной может быть возможность определения этих показателей *in vivo*. При анализе литературы об экспери-

ментальных биомеханических критериях не выявляется публикаций с уровнем доказательности 1, однако высокая чувствительность и специфичность величины нейтральной зоны, упругости ПДС в вопросе определения сегментарной нестабильности обладает значимым уровнем внутриэкспертного консенсуса.

В аналитическом обзоре А.В. Крутько с соавт. [33] рассмотрены публикации по теме сегментарной нестабильности позвоночника с целью выявления критериев для четкого определения тактики лечения и сделан вывод об отсутствии в настоящий момент однозначного способа. Авторы полагают, что разработка четкого клинко-рентгенологического алгоритма является необходимой для дальнейшего развития спинальной хирургии, что в целом подтверждает результаты нашего исследования.

### Заключение

Проведенный анализ литературы дал возможность оценить современное состояние медицинской науки в области определения сегментарной нестабильности позвоночника. Мы можем отметить, что рутинно в клинической

практике для этого используют методики, которые обладают низкой чувствительностью и специфичностью – оценка боли при движениях, оценка боли при пальпации, данные простой и функциональной рентгенографии, КТ. Существующие теоретические сведения о биомеханических показателях, которые возможно измерить экспериментально (ROM, упругость, нейтральная зона), показывают, что они могут быть успешно использованы в клинической практике и служить основой для разработки чувствительной методики определения нестабильности ПДС. Однако в настоящий момент требуется установление единого механизма определения границ нейтральной зоны и технические разработки для измерения этих показателей *in vivo* в операционной.

*Исследование поддержано грантом Правительства Москвы на реализацию научно-практического проекта в медицине № 1503-23/23. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*



## Литература/References

1. Мухкин А.Ю., Ульрих Э.В., Зуев И.В. Биомеханика позвоночника в норме и при патологических состояниях: основные аспекты исследований // Хирургия позвоночника. 2009. № 4. С. 53–61. [Mushkin AYU, Ulrikh EV, Zuev IV. Normal and pathological biomechanics of the spine: major aspects of investigation. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2009;(4):53–61]. DOI: 10.14531/ss2009.4.53-61
2. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, G tzsche PC, Ioannidis JP, Clarke M, Devereaux PJ, Kleijnen J, Moher D. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Ann Intern Med*. 2009;151:W65–W94. DOI: 10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00136
3. White AA 3rd, Johnson RM, Panjabi MM, Southwick WO. Biomechanical analysis of clinical stability in the cervical spine. *Clin Orthop Relat Res*. 1975;(109):85–96. DOI: 10.1097/00003086-197506000-00011
4. White AA 3rd, Panjabi MM. The basic kinematics of the human spine. A review of past and current knowledge. *Spine*. 1978;3:12–20. DOI: 10.1097/00007632-197803000-00003
5. Kirkaldy-Willis WH. Presidential symposium on instability of the lumbar spine. Introduction. *Spine*. 1985;10:254.
6. Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003;13:371–379. DOI: 10.1016/s1050-6411(03)00044-0
7. Simmonds AM, Rampersaud YR, Dvorak MF, Dea N, Melnyk AD, Fisher CG. Defining the inherent stability of degenerative spondylolisthesis: a systematic review. *J Neurosurg Spine*. 2015;23:178–189. DOI: 10.3171/2014.11.SPINE1426
8. Pearcy M, Portek I, Shepherd J. Three-dimensional x-ray analysis of normal movement in the lumbar spine. *Spine*. 1984;9:294–297. DOI: 10.1097/00007632-198404000-00013
9. Panjabi MM, Oxland T, Takata K, Goel V, Duranceau J, Krag M. Articular facets of the human spine. Quantitative three-dimensional anatomy. *Spine*. 1993;18:1298–1310. DOI: 10.1097/00007632-199308000-00009
10. Chazal J, Tanguy A, Bourges M, Gaurel G, Escande G, Guillot M, Vanneuville G. Biomechanical properties of spinal ligaments and a histological study of the supraspinal ligament in traction. *J Biomech*. 1985;18:167–176. DOI: 10.1016/0021-9290(85)90202-7
11. White AA 3rd, Panjabi MM, eds. *Clinical Biomechanics of the Spine*. 2nd ed. Philadelphia: J.B. Lippincott, 1990.
12. Elmoose SF, Andersen GO, Carreon LY, Sigmundsson FG, Andersen MO. Radiological definitions of sagittal plane segmental instability in the degenerative lumbar spine – a systematic review. *Global Spine J*. 2023;13:523–533. DOI: 10.1177/21925682221099854
13. Boden SD, Wiesel SW. Lumbosacral segmental motion in normal individuals. Have we been measuring instability properly? *Spine*. 1990;15:571–576. DOI: 10.1097/00007632-199006000-00026
14. Berkson MH, Nachemson AL, Schultz AB. Mechanical properties of human lumbar spine motion segments – Part II: Responses in compression and shear; influence of gross morphology. *J Biomech Eng*. 1979;101:52–57. DOI: 10.1115/1.3426225
15. McGlashen KM, Miller JA, Schultz AB, Andersson GB. Load displacement behavior of the human lumbosacral joint. *J Orthop Res*. 1987;5:488–496. DOI: 10.1002/jor.1100050404
16. Moroney SP, Schultz AB, Miller JA, Andersson GB. Load-displacement properties of lower cervical spine motion segments. *J Biomech*. 1988;21:769–779. DOI: 10.1016/0021-9290(88)90285-0
17. Panjabi MM, Brand RA Jr, White AA 3rd. Mechanical properties of the human thoracic spine as shown by three-dimensional load-displacement curves. *J Bone Joint Surg Am*. 1976;58:642–652. DOI: 10.2106/00004623-197658050-00011
18. Schultz AB, Warwick DN, Berkson MH, Nachemson AL. Mechanical properties of human lumbar spine motion segments. Part I: Responses in flexion, extension, lateral bending and torsion. *J Biomech Eng*. 1979;101:46–52. DOI: 10.1115/1.3426223
19. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord*. 1992;5:390–396; discussion 397. DOI: 10.1097/00002517-199212000-00002
20. Panjabi M, Dvorak J, Duranceau J, Yamamoto I, Gerber M, Rauschnig W, Bueff HU. Three dimensional movements of the upper cervical spine. *Spine*. 1988;13:726–730. DOI: 10.1097/00007632-198807000-00003
21. Yamamoto I, Panjabi MM, Crisco T, Oxland T. Three-dimensional movements of the whole lumbar spine and lumbosacral joint. *Spine*. 1989;14:1256–1260. DOI: 10.1097/00007632-198911000-00020
22. Busscher I, van der Veen AJ, van Die n JH, Kingma I, Verkerke GJ, Veldhuizen AG. In vitro biomechanical characteristics of the spine: a comparison between human and porcine spinal segments. *Spine*. 2010;35:E35–E42. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181b21885
23. Crisco JJ 3rd. *The Biomechanical Stability of the Human Spine: Experimental and Theoretical Investigations*. PhD thesis. Yale University, New Haven, CT, 1989.
24. Nachemson A, Morris JM. In vivo measurements of the intradiscal pressure: discovery, a method for the determination of pressure in the lower lumbar discs, *J Bone Joint Surg Am*. 1964;46:1077–1092. DOI: 10.2106/00004623-196446050-00012
25. Panjabi M, Abumi K, Duranceau J, Oxland T. Spinal stability and intersegmental muscle forces. A biomechanical model. *Spine*. 1989;14:194–200. DOI: 10.1097/00007632-198902000-00008
26. Cannella M, Arthur A, Allen S, Keane M, Joshi A, Vresilovic E, Marcolongo M. The role of the nucleus pulposus in neutral zone human lumbar intervertebral disc mechanics. *J Biomech*. 2008;41:2104–2111. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.04.037
27. Di Pauli von Treuheim T, Torre OM, Mosley GE, Nasser P, Iatridis JC. Measuring the neutral zone of spinal motion segments: Comparison of multiple analysis methods to quantify spinal instability. *JOR Spine*. 2020;3:e1088. DOI: 10.1002/jsp.21088
28. McNally DS, Adams MA. Internal intervertebral disc mechanics as revealed by stress profilometry. *Spine*. 1992;17:66–73. DOI: 10.1097/00007632-199201000-00011
29. McNally DS, Shackelford IM, Goodship AE, Mulholland RC. *In vivo* stress measurement can predict pain on discography. *Spine*. 1996;21:2580–2587. DOI: 10.1097/00007632-199611150-00007
30. Brown MD, Holmes DC, Heiner AD, Wehman KF. Intraoperative measurement of lumbar spine motion segment stiffness. *Spine*. 2002;27:954–958. DOI: 10.1097/00007632-200205010-00014
31. Cornaz F, Haupt S, Farshad M, Widmer J. Real-time assessment of anteroposterior stability of spinal segments. *Eur Spine J*. 2022;31:2368–2376. DOI: 10.1007/s00586-022-07286-9
32. McAfee PC, Eisermann L, Mullinix K. Robot for ligament tensioning and assessment of spinal stability. *Global Spine J*. 2021;12(2 Suppl):53S–58S. DOI: 10.1177/21925682211059178
33. Крутько А.В., Байков Е.С., Коновалов Н.А., Назаренко А.Г. Сегментарная нестабильность позвоночника: нерешенные вопросы // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14, № 3. С. 74–83. [Krutko AV, Baikov ES, Konovalov NA, Nazarenko AG. Segmental spinal instability: unsolved problems. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2017;14(3):74-83]. DOI: 10.14531/ss2017.3.74-83



**Адрес для переписки:**

Топорский Антон Игоревич  
123423, Россия, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44,  
Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова,  
antontoporski@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.10.2024

Рецензирование пройдено 12.03.2025

Подписано в печать 21.03.2025

**Address correspondence to:**

Toporskiy Anton Igorevich  
City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov,  
2/44 Salyama Adilya str, Moscow, 123423, Russia,  
antontoporski@mail.ru

Received 04.10.2024

Review completed 12.03.2025

Passed for printing 21.03.2025

Дмитрий Николаевич Дзукаев, руководитель Московского спинального нейрохирургического центра, Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Россия, 123423, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44, ORCID: 0000-0002-5394-7738, dzuk@mail.ru;

Александр Николаевич Пейкер, заведующий нейрохирургическим отделением № 1, Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Россия, 123423, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44, ORCID: 0009-0008-8552-0465, apeiker@yandex.ru;

Антон Игоревич Топорский, врач-нейрохирург Московского спинального нейрохирургического центра, Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Россия, 123423, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44, ORCID: 0009-0003-1392-7489, antontoporski@mail.ru;

Антон Владимирович Борзенков, заведующий нейрохирургическим отделением № 3 Московского спинального нейрохирургического центра, Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Россия, 123423, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44, ORCID: 0000-0002-8367-4101, anton-borzenkov@yandex.ru;

Ислам Айсаяевич Музышев, врач-нейрохирург Московского спинального нейрохирургического центра, Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Россия, 123423, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44, islam.muzyshev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8671-0246;

Вадим Викторович Пустовойтов, врач-нейрохирург Московского спинального нейрохирургического центра, Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Россия, 123423, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44, ORCID: 0009-0005-0871-5611, PustovoytovVV@zdrav.mos.ru;

Сослан Таймуразович Торчинов, врач-нейрохирург Московского спинального нейрохирургического центра, Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Россия, 123423, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44, ORCID: 0000-0002-6657-9006, Soslan\_torchinov@mail.ru;

Владимир Викторович Гулый, врач-нейрохирург Московского спинального нейрохирургического центра, Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова, Россия, 123423, Москва, ул. Саяма Адилья, 2/44, eLibrary SPIN: 3700-1515, ORCID: 0000-0001-8630-4010, VladimirVG87@gmail.com.

Dmitriy Nikolayevich Dzukaev, Head of the Moscow Neurosurgical Spinal Center, City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, 2/44 Salyama Adilya str., Moscow, 123423, Russia, ORCID: 0000-0002-5394-7738, dzuk@mail.ru;

Aleksandr Nikolayevich Peiker, Head of neurosurgical department No.1, Moscow Neurosurgical Spinal Center, City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, 2/44 Salyama Adilya str., Moscow, 123423, Russia, ORCID: 0009-0008-8552-0465, apeiker@yandex.ru;

Anton Igorevich Toporskiy, neurosurgeon, Moscow Neurosurgical Spinal Center, City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, 2/44 Salyama Adilya str., Moscow, 123423, Russia, ORCID: 0009-0003-1392-7489, antontoporski@mail.ru;

Anton Vladimirovich Borzenkov, Head of neurosurgical department No.3, Moscow Neurosurgical Spinal Center, City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, 2/44 Salyama Adilya str., Moscow, 123423, Russia, ORCID: 0000-0002-8367-4101, anton-borzenkov@yandex.ru;

Islam Aisayevich Muzishev, neurosurgeon, Moscow Neurosurgical Spinal Center, City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, 2/44 Salyama Adilya str., Moscow, 123423, Russia, ORCID: 0000-0001-8671-0246, islam.muzyshev@mail.ru;

Vadim Viktorovich Pustovoytov, neurosurgeon, Moscow Neurosurgical Spinal Center, City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, 2/44 Salyama Adilya str., Moscow, 123423, Russia, ORCID: 0009-0005-0871-5611, PustovoytovVV@zdrav.mos.ru;

Soslan Taimurazovich Torchinov, neurosurgeon, Moscow Neurosurgical Spinal Center, City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, 2/44 Salyama Adilya str., Moscow, 123423, Russia, ORCID: 0000-0002-6657-9006, Soslan\_torchinov@mail.ru;

Vladimir Viktorovich Guliy, neurosurgeon, Moscow Neurosurgical Spinal Center, City Clinical Hospital No. 67 n.a. L.A. Vorokhobov, 2/44 Salyama Adilya str., Moscow, 123423, Russia, eLibrary SPIN: 3700-1515, ORCID: 0000-0001-8630-4010, VladimirVG87@gmail.com.



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ВАРИАНТОВ ПЕДИКУЛЯРНОЙ УДЛИНЯЮЩЕЙ ОСТЕОТОМИИ ДЛЯ ДЕКОМПРЕССИИ ДУРАЛЬНОГО МЕШКА И КОРЕШКОВ В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА

А.А. Афаунов<sup>1,2</sup>, И.В. Басанкин<sup>1,2</sup>, А.Б. Багаудинов<sup>2</sup>, С.Г. Млявях<sup>3</sup>, А.А. Гюльзатян<sup>2</sup>, С.Б. Богданов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1  
им. проф. С.В. Очаповского, Краснодар, Россия

<sup>3</sup>Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

**Цель исследования.** Определить в эксперименте механические условия, необходимые для декомпрессии дурального мешка и корешков спинного мозга при педикулярной удлиняющей остеотомии с элонгацией корней дуг на поясничном уровне (PLO).

**Материал и методы.** Эксперименты проведены на трех препаратах позвоночно-двигательных сегментов L<sub>1</sub>–L<sub>5</sub>, полученных на судебно-медицинской секции у лиц 45–60-летнего возраста в сроки до двух суток после смерти с соблюдением норм подготовки тканей человека для биомеханических исследований. Из препаратов поясничного отдела позвоночника удаляли содержимое позвоночного и корешковых каналов, оставляя нетронутыми все элементы остеолигаментарного опорного комплекса. На каждом препарате проведено три эксперимента. В первом эксперименте на позвонке L<sub>4</sub> анатомического препарата производили двухстороннюю педикулярную удлиняющую остеотомию, имитирующую PLO. Во втором эксперименте на том же препарате с целью мобилизации заднего опорного комплекса производили остеотомию нижних суставных отростков L<sub>3</sub> на уровне их основания. В третьем эксперименте на анатомическом препарате дополнительно проводили двухстороннюю педикулярную остеотомию на позвонке L<sub>3</sub>. Описанные эксперименты повторены трижды на трех анатомических препаратах. Полученные данные заносили в протоколы, после чего проводили статистическую обработку с помощью методов описательной статистики. Проверку совокупностей результатов исследования, измеренных в количественной шкале на нормальность, проводили при помощи Z-критерия Колмогорова — Смирнова. Для доказательства статистической значимости (или отсутствия таковой) значений сравниваемых параметров применяли U-критерий Уитни — Манна. Значимыми признавали результаты, при которых уровень статистической значимости p был меньше или равен 0,05.

**Результаты.** Увеличение сагиттального размера позвоночного канала за счет элонгации корней дуг после педикулярной удлиняющей остеотомии на уровне позвонка L<sub>4</sub> на 4 мм достигается при тракционном усилии в 97 N, на 5 мм — при 162 N, на 6 мм — 240 N, на 7 мм — 306 N. Мобилизирующая остеотомия нижних суставных отростков L<sub>3</sub> снижает необходимые для декомпрессии тракционные усилия соответственно до 30 N, 73 N, 125,5 N и 182 N, что в 1,7–3,2 раза меньше показателей PLO без мобилизации. Дополнительная двухсторонняя педикулярная остеотомия на вышележащем позвонке L<sub>3</sub> не обеспечивает дальнейшего уменьшения тракционных усилий, необходимых для увеличения сагиттального размера позвоночного канала.

**Заключение.** Методика декомпрессии дурального мешка и корешков на поясничном отделе позвоночника за счет педикулярной удлиняющей остеотомии с элонгацией корней дуг является перспективным вариантом хирургического лечения поясничного спинального стеноза. Полученные в настоящем исследовании данные могут быть интересны, особенно при возможной разработке иного технического решения и инструментария для осуществления PLO.

**Ключевые слова:** поясничный стеноз; декомпрессия; педикулярная удлиняющая остеотомия; эксперимент; кадаверный препарат.

Для цитирования: Афаунов А.А., Басанкин И.В., Багаудинов А.Б., Млявях С.Г., Гюльзатян А.А., Богданов С.Б. Экспериментальное обоснование технических вариантов педикулярной удлиняющей остеотомии для декомпрессии дурального мешка и корешков в поясничном отделе позвоночника // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 45–54.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.45-54>

## EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF TECHNICAL VARIANTS OF PEDICLE-LENGTHENING OSTEOTOMY FOR DECOMPRESSION OF THE DURAL SAC AND NERVE ROOTS IN THE LUMBAR SPINE

A.A. Afaunov<sup>1,2</sup>, I.V. Basankin<sup>1,2</sup>, A.B. Bagaudinov<sup>2</sup>, S.G. Mlyavykh<sup>3</sup>, A.A. Gulzatyay<sup>2</sup>, S.B. Bogdanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup>Research Institute – Regional Clinical Hospital No. 1 n.a. Prof. S.V. Ochaповsky, Krasnodar, Russia

<sup>3</sup>Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

**Objective.** To determine experimentally the mechanical conditions required for decompression of the dural sac and spinal nerve roots during pedicle-lengthening osteotomy (PLO) with elongation of pedicles at the lumbar level.

**Material and Methods.** The experiments were conducted on three cadaver specimens of L1–L5 vertebral motor segments obtained at the forensic section from individuals aged 45–60 within two days after death in compliance with the standards for preparing human tissue for biomechanical studies. The contents of the vertebral and root canals were removed from the specimens of the lumbar spine, leaving all elements of the osteoligamentary support complex intact. Three experiments were conducted on each specimen. In the first experiment, bilateral pedicle lengthening osteotomy imitating PLO was performed on the L4 vertebra of the anatomical specimen. In the second experiment, osteotomies of the inferior articular processes of L3 at the level of their base were performed on the same specimen in order to mobilize the posterior support complex. In the third experiment, bilateral pedicle osteotomy was additionally performed on the L3 vertebra. The described experiments were repeated three times on three anatomical specimens. The obtained data were recorded in protocols, and then statistical processing was performed using descriptive statistics methods. The sets of study results measured on a quantitative scale for normality were checked using the Kolmogorov–Smirnov Z-criterion. To prove the statistical significance (or lack thereof) of the values of the compared parameters, the Mann–Whitney U-test was used. Results were considered significant if the level of statistical significance p was less than or equal to 0.05.

**Results.** The increase in the sagittal spinal canal size after PLO due to the elongation of the L4 pedicles by 4 mm is achieved with a traction force of 97 N, by 5 mm – with 162 N, by 6 mm – with 240 N, and by 7 mm – with 306 N. Mobilizing osteotomy of the inferior articular processes of the L3 reduces the traction forces necessary for decompression to 30 N, 73 N, 125.5 N, and 182 N, respectively, which is 1.7–3.2 times less than the PLO values without mobilization. Additional bilateral pedicle osteotomy on the overlying L3 vertebra does not provide further decrease in the traction forces necessary to increase the sagittal size of the spinal canal.

**Conclusion.** The technique of decompression of the dural sac and nerve roots in the lumbar spine by means of pedicle-lengthening osteotomy with elongation of pedicles is a promising option for surgical treatment of lumbar spinal stenosis. The data obtained in this study may be of interest, especially with the possible development of another technical solution and instrumentation for implementing PLO.

**Key Words:** lumbar stenosis; decompression; pedicle lengthening osteotomy; experiment; cadaver specimen.

Please cite this paper as: Afaunov AA, Basankin IV, Bagaudinov AB, Mlyavykh SG, Gulzatyay AA, Bogdanov SB. Experimental substantiation of technical variants of pedicle-lengthening osteotomy for decompression of the dural sac and nerve roots in the lumbar spine. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):45–54. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.45-54>

Поясничный спинальный стеноз (ПСС) является распространенным заболеванием позвоночника, в том числе у людей пожилого возраста, обычно он характеризуется анатомическим уменьшением объема позвоночного канала или размера межпозвонкового отверстия [1]. Строгих эпидемиологических исследований распространенности ПСС не проводилось, однако, согласно Ravindra et al. [2], примерно у 103 млн человек во всем мире диагностируется ПСС ежегодно, при этом самая высокая заболеваемость приходится на Европу (2,2 %), а самая низкая — на Африку (0,94 %).

Дегенеративный ПСС может затрагивать центральный канал, латеральный карман, фораминальные отверстия или быть комбинированным,

сложного генеза. Центральный стеноз может развиваться в результате уменьшения переднезаднего, поперечного или комбинированного диаметров позвоночного канала из-за выпячивания межпозвонкового диска и/или гипертрофии фасеточных суставов и желтой связки. К критериям центрального стеноза относят уменьшение сагиттального размера позвоночного канала менее 12 мм (относительный стеноз) и менее 10 мм (абсолютный стеноз) по данным МРТ, СКТ, СКТ-миелографии [3].

Существуют различные хирургические подходы, направленные на устранение дегенеративного стеноза позвоночного канала, и выбор методики до сих пор остается вопросом дискуссий [4]. Хирургическая декомпрессия

дурального мешка со спондилодезом скомпрометированных позвоночно-двигательных сегментов (ПДС) обеспечивает хорошие клинические результаты, но имеет следующие недостатки: большая кровопотеря, раневая инфекция, ятрогенная нестабильность, рубцово-спаечный процесс, длительное восстановление, длительная кривая обучения [5, 6].

Закрытая педикулярная удлиняющая остеотомия и элонгация ножек дуги позвонка (PLO – Pedicle Lengthening Osteotomy) – относительно новый метод лечения ПСС [7]. По сравнению с традиционной хирургией, PLO может эффективно расширить позвоночный канал и фораминальные отверстия, минимизируя при этом повреждения задних анатомических структур

поясничного отдела позвоночника, что приводит к хорошим клиническим результатам. Однако техника PLO в настоящее время находится на ранних стадиях развития, опубликовано лишь несколько экспериментальных и клинических исследований по эффективности данной методики [8]. Кроме того, не вполне понятно, какие силовые воздействия необходимо приложить к элементам задней остеолигаментарной колонны после педикулярной удлиняющей остеотомии для достижения клинически значимого диастаза в зоне пересеченных корней дуг и можно ли снизить механическую нагрузку на металлические имплантаты при выполнении декомпрессии дурального мешка и корешков путем элонгации корней дуг.

Цель исследования – определить в эксперименте механические условия, необходимые для декомпрессии дурального мешка и корешков спинного мозга при выполнении педикулярной удлиняющей остеотомии с элонгацией корней дуг на поясничном уровне.

## Материал и методы

Эксперименты проведены в лаборатории физико-математических методов испытания материалов и изделий Кубанского государственного технологического университета на трех анатомических препаратах ПДС L<sub>1</sub>–L<sub>5</sub>, полученных на судебно-медицинской секции кафедры судебной медицины Кубанского государственного медицинского университета у лиц 45–60-летнего возраста в сроки до двух суток после смерти с соблюдением норм подготовки тканей человека для биомеханических исследований [9]. Причины смерти не влияли на структуру ПДС. Изъятые препараты подвергали морфометрическим измерениям и рентгенографии в двух проекциях. Подготовленные для экспериментов препараты по форме и размерам соответствовали анатомической норме. В них не было выявлено визуальных либо рентгенологических аномалий, а костная структура не имела признаков остеопороза. Данные меры контроля считаются достаточными при проведении биомеханических экспериментальных иссле-

дований с секционными анатомическими препаратами [10, 11].

Из препаратов поясничного отдела позвоночника удаляли содержимое позвоночного и корешковых каналов, оставляя нетронутыми все элементы остеолигаментарного опорного комплекса. Производили двухстороннюю педикулярную удлиняющую остеотомию (PLO) на позвонке L<sub>4</sub> с помощью пилы Джилли (рис. 1).

После этого через корешковые каналы на уровнях L<sub>3</sub>–L<sub>4</sub> и L<sub>4</sub>–L<sub>5</sub> проводили два гибких тросика диаметром 2,5 мм. При этом один тросик охватывал тело L<sub>4</sub>, а второй – дужку L<sub>4</sub> с соответствующими анатомическими элементами задней остеолигаментарной колонны на этом уровне (рис. 2).

Фиксировали анатомический препарат в лабораторном стенде механических испытаний так, чтобы тросик, захватывающий тело позвонка L<sub>4</sub>, был закреплен на неподвижной траверсе стенда, а второй тросик, захватывающий дужку L<sub>4</sub> с элементами заднего опорного комплекса, был закреплен на подвижной траверсе стенда. Между подвижной траверсой стенда и тести-

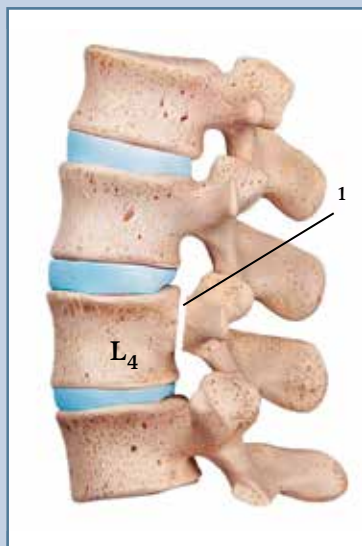


Рис. 1

Схема педикулярной удлиняющей остеотомии (1) на позвонке L<sub>4</sub>

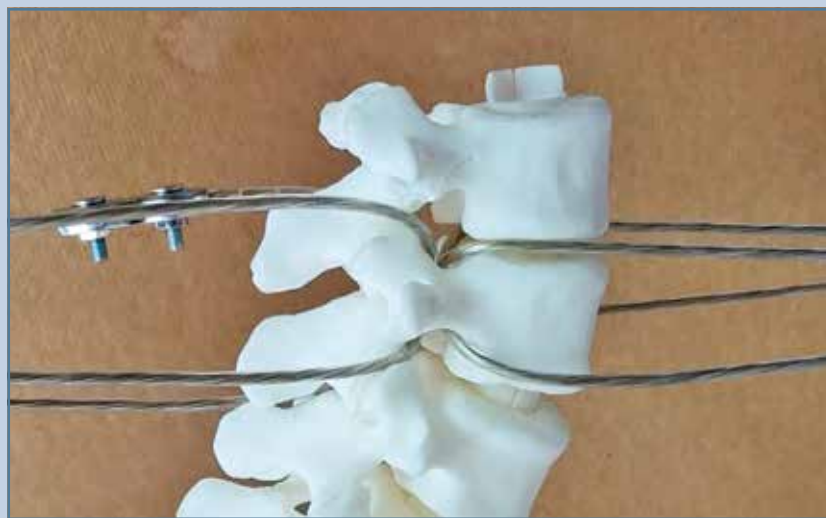
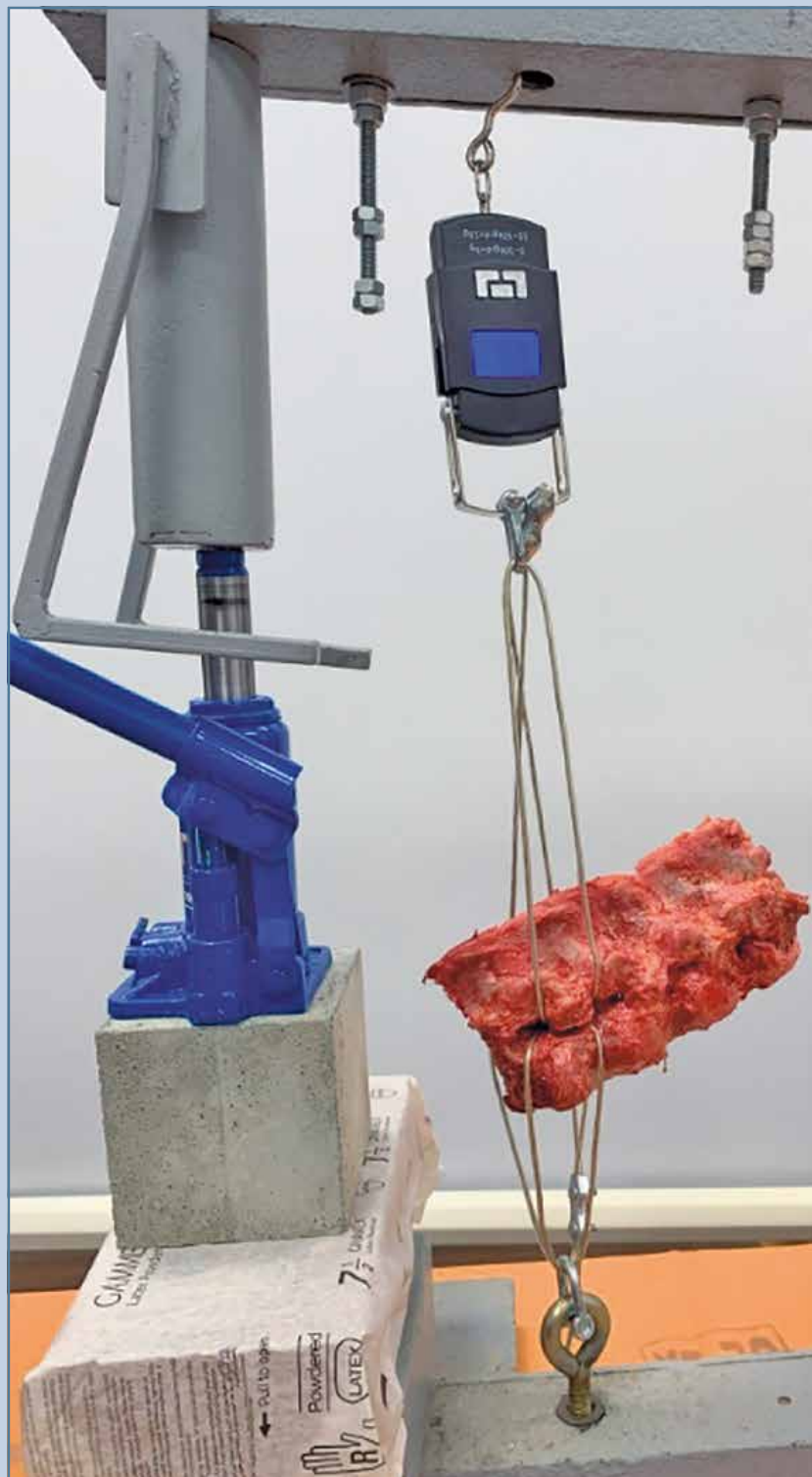


Рис. 2

Имитация расположения силовых элементов (тросиков) на муляже поясничного отдела позвоночника для осуществления сагитально направленного дистракционного усилия между телом позвонка L<sub>4</sub> и элементами заднего остеолигаментарного опорного комплекса





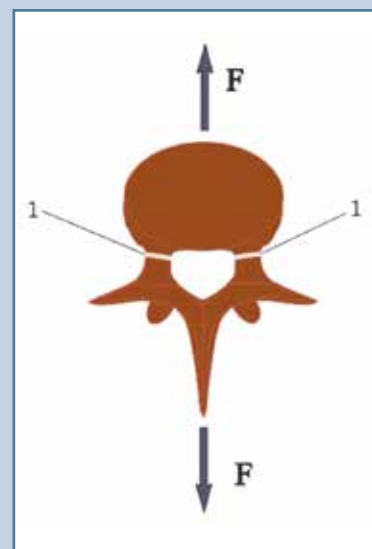
**Рис. 3**

Анатомический препарат поясничного отдела позвоночника после двухсторонней педикулярной удлиняющей остеотомии  $L_4$  закреплен между траверсами стенда механических испытаний

руемым анатомическим препаратом размещали электронный измеритель тракционного усилия, обеспечивающий точность измерения 0,01 N (рис. 3).

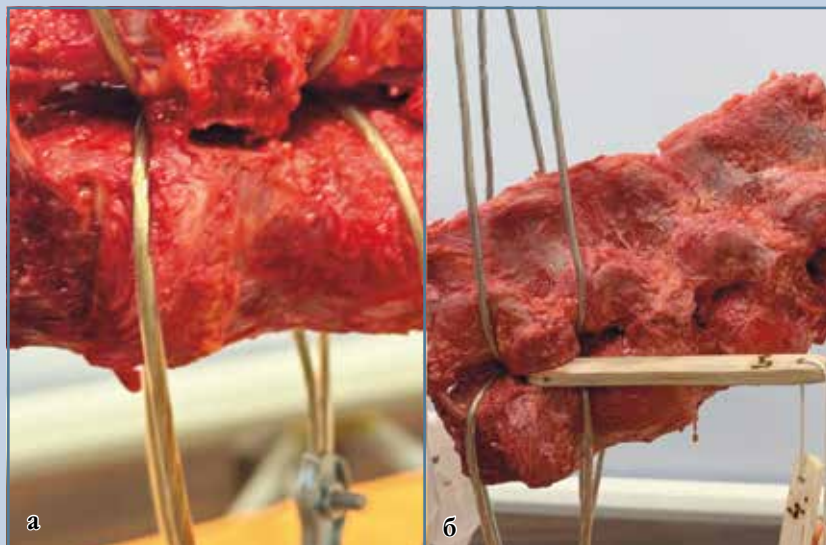
После этого между траверсами стенда создавали дозированное нарастающее дистракционное усилие, которое через тросики передавалось на позвонок  $L_4$  в виде сагиттально направленной дистракции между телом позвонка и его задней остеолигаментарной колонной, как показано на рис. 4.

По мере увеличения сагиттально направленной дистракционной нагрузки появлялся и увеличивался диастаз в области произведенных педикулярных удлиняющих остеотомий (PLO), что свидетельствовало об увеличении сагиттального размера позвоночного канала на уровне  $L_4$ , а также корешковых каналов на уровне  $L_3-L_4$  и  $L_4-L_5$ . Увеличивающийся диастаз измеряли, пока он не достигал 7 мм, после чего нагрузочное тести-



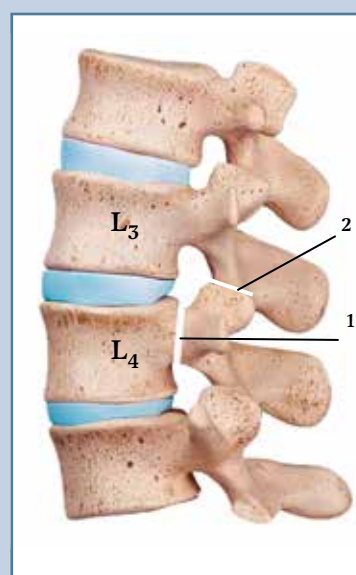
**Рис. 4**

Схема двухсторонней педикулярной удлиняющей остеотомии поясничного позвонка (1) и сагиттально направленного дистракционного усилия ( $F$ ) между телом позвонка и элементами заднего опорного комплекса



**Рис. 5**

Диастаз в зоне педикулярной удлиняющей остеотомии (а) и измерение его величины с помощью щупа (б)



**Рис. 6**

Схема педикулярной удлиняющей остеотомии  $L_4$  (1) и мобилизующей остеотомии нижних суставных отростков  $L_3$  (2) в поясничном отделе позвоночника

рование прекращали. Достигаемый в эксперименте диастаз 7 мм мы считали допустимым в плане исключения разрушающих силовых воздействий на структуры опорного остеолигаментарного комплекса исследуемых позвоночно-двигательных сегментов, не выходящих за пределы «пластических» деформаций, что позволяло несколько раз повторять нагрузочное тестирование на том же анатомическом препарате, и в то же время достаточным с точки зрения клинической практики для достижения декомпрессии дурального мешка. Определение диастаза в остеотомии корней дуг осуществляли с помощью набора щупов толщиной 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 мм, которыми в ходе эксперимента последовательно измеряли его величину (рис. 5).

Через каждый 1 мм увеличения диастаза в области педикулярной удлиняющей остеотомии отмечали соответствующую величину дистракционного усилия. Полученные данные заносили в протокол эксперимента. После достижения размера диастаза 7 мм дистракционную нагрузку прекращали. Стенд возвращали в исходное положение. Эксперимент на том же

анатомическом препарате повторяли еще два раза, что при неразрушающем характере механических воздействий на тестируемый препарат уменьшало влияние возможных погрешностей при измерениях на полученные средние значения. После трехкратного повторения эксперимента препарат извлекали из стенда.

С целью мобилизации заднего опорного комплекса произведены остеотомии нижних суставных отростков  $L_3$  на уровне их основания. При этом отсеченные от дужки нижние суставные отростки не извлекали, оставляя на «своем» месте и сохраняя исходный контакт с капсулой межпозвонковых суставов (рис. 6).

Препарат поясничного отдела позвоночника повторно закрепляли между траверсами стенда, как и в предыдущем эксперименте. После этого между траверсами стенда создавали дозированное нарастающее дистракционное усилие, которое через тросики передавалось на позвонок  $L_4$  в виде сагиттально направленной дистракции между телом позвонка и его задней остеолигаментарной колонной. По мере увеличения сагиттально

направленной дистракционной нагрузки увеличивался диастаз в области произведенных педикулярных удлиняющих остеотомий  $L_4$ . Увеличивающийся диастаз измеряли, как и в предыдущем эксперименте, до размера 7 мм. Полученные данные заносили в протокол эксперимента. После чего тракционную нагрузку прекращали. Стенд возвращали в исходное положение. Данный вариант эксперимента повторяли еще два раза. После трехкратного повторения эксперимента препарат извлекали из стенда.

Для проведения третьего эксперимента на анатомическом препарате дополнительно сделали двухстороннюю педикулярную остеотомию на позвонке  $L_3$  с помощью пилы Джильи. Таким образом, дополнительная мобилизация заднего опорного комплекса на уровне  $L_4$  включала не только остеотомии нижних суставных отростков  $L_3$  на уровне их основания, но и двухстороннюю педикулярную остеотомию на позвонке  $L_3$  (рис. 7).

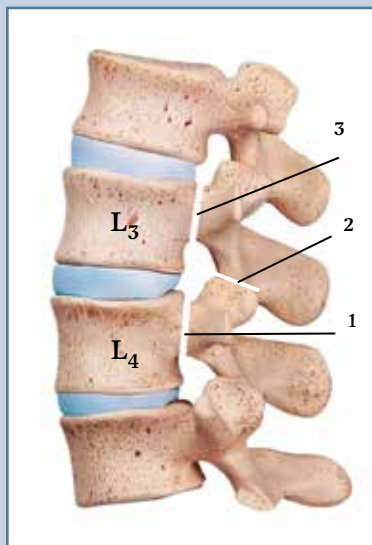
**Рис. 7**

Схема педикулярной удлиняющей остеотомии  $L_4$  (1), мобилизирующих остеотомий нижних суставных отростков  $L_3$  (2) и педикулярных остеотомий  $L_3$  (3) в поясничном отделе позвоночника

Препарат закрепляли между траверсами стенда, как в предыдущем эксперименте. Аналогично предыдущим экспериментам создавали сагиттально направленную дистракцию между телом позвонка  $L_4$  и его задней остеолигаментарной колонной. Увеличивающийся диастаз в области произведенных педикулярных удлиняющих остеотомий измеряли до достижения размера 7 мм. При этом, как и в предыдущих экспериментах, через каждый 1 мм увеличения диастаза в области транспедикулярной остеотомии отмечали соответствующую величину дистракционной нагрузки. Полученные данные заносили в протокол эксперимента. Третий вариант эксперимента, как и два предыдущих, повторяли три раза.

Таким образом, в экспериментальных условиях были изучены показатели жесткости поясничного ПДС после двухсторонней педикулярной удлиняющей остеотомии (PLO)  $L_4$  по отно-

шению к неразрушающей сагиттально направленной дистракционной нагрузке, приводящей к расширению позвоночного и корешковых каналов в сагиттальном направлении, а также степень уменьшения этого показателя жесткости за счет мобилизирующих двухсторонних остеотомий нижних суставных отростков и двухсторонних педикулярных остеотомий вышележащего позвонка.

Статистическую обработку и анализ результатов проводили с помощью методов описательной статистики. Проверку совокупностей результатов исследования, измеренных в количественной шкале на нормальность, проводили при помощи Z-критерия Колмогорова – Смирнова. Для доказательства статистической значимости (или отсутствия таковой) значений сравниваемых параметров применяли метод непараметрической статистики U-критерий Манна – Уитни. Значимыми признавали результаты, при которых уровень статистической значимости  $p$  был меньше или равен 0,05. При статистическом анализе материала использовали персональный компьютер с набором необходимого программного обеспечения (программа для статистической обработки данных SPSS-23.0 для Windows).

## Результаты

Проведенные эксперименты показали, что постепенно нарастающая сагиттально направленная дистракционная нагрузка между телом позвонка  $L_4$  и его задним опорным комплексом, приложенная после двухсторонней педикулярной удлиняющей остеотомии, приводит к появлению постепенно увеличивающегося диастаза в области остеотомий правого и левого корня дуги, который нарастает симметрично справа и слева при увеличении дистракционного воздействия. Полученные в трех экспериментах величины представлены в табл.

На основании полученных данных построили графики зависимости увеличения диастаза в области педикулярных удлиняющих остеотомий  $L_4$  от при-

лагаемых сагиттально направленных дистракционных усилий между телом  $L_4$  и элементами заднего опорного комплекса этого позвонка (рис. 8).

Как видно из полученных данных, увеличение диастаза в области педикулярных удлиняющих остеотомий до величины 3 мм происходит не прямо пропорционально нарастающему дистракционному усилию (рис. 7). После достижения диастаза 3 мм дальнейшее его увеличение происходит прямо пропорционально до величины 7 мм, что подтверждает отсутствие в анатомических препаратах необратимых структурных разрушений при нагрузках, примененных в наших экспериментах.

Расчеты для всех значений достигаемых диастазов в области PLO показали, что мобильность задней остеолигаментарной колонны  $L_4$  после PLO  $L_4$  статистически значимо отличается от ее мобильности после PLO  $L_4$  с мобилизирующей фасетотомией нижних суставных отростков  $L_3$  при значениях диастазов 3–7 мм. Также мобильность задней остеолигаментарной колонны  $L_4$  после PLO  $L_4$  статистически значимо отличается от мобильности после PLO  $L_4$  с мобилизирующей фасетотомией нижних суставных отростков  $L_3$  и педикулотомии  $L_3$ .

В то же время результаты статистических расчетов показали, что мобильность задней остеолигаментарной колонны  $L_4$  после PLO  $L_4$  с мобилизирующей фасетотомией нижних суставных отростков  $L_3$  не имеет статистически значимых отличий от мобильности после PLO  $L_4$  с мобилизирующей фасетотомией нижних суставных отростков  $L_3$  и педикулотомии  $L_3$ .

Клинически значимым для достижения декомпрессии дурального мешка и корешков спинного мозга можно считать диастаз в области педикулярных остеотомий не менее 4 мм. Как видно из полученных результатов, он достигается при сагиттально направленном усилии 97 N. Диастаз 5 мм достигается при усилии 162 N, 6 мм – при 240 N, 7 мм – при 306 N. Остеотомии нижних суставных от-



Таблица

Мобильность задней остеолигаментарной колонны L<sub>4</sub> после PLO L<sub>4</sub> в изолированном виде, PLO L<sub>4</sub> с мобилизирующей двухсторонней остеотомией нижних суставных отростков L<sub>3</sub> и PLO L<sub>4</sub> с мобилизирующей двухсторонней остеотомией нижних суставных отростков L<sub>3</sub> и двухсторонней педикулярной остеотомией L<sub>3</sub>

Достижимый диастаз в зоне двухсторонней педикулярной удлиняющей остеотомии L <sub>4</sub>	Дистракционное усилие для достижения диастаза (N)		
	PLO L <sub>4</sub>	PLO L <sub>4</sub> + фасетотомия нижних фасеток L <sub>3</sub>	PLO L <sub>4</sub> + фасетотомия нижних фасеток L <sub>3</sub> + педикулотомия L <sub>3</sub>
2 мм	10,0	3,0	2,8
3 мм	24,8	7,4	7,0
4 мм	97,0	30,0	28,0
5 мм	162,0	73,0	70,3
6 мм	240,0	125,5	120,0
7 мм	306,0	182,0	168,0

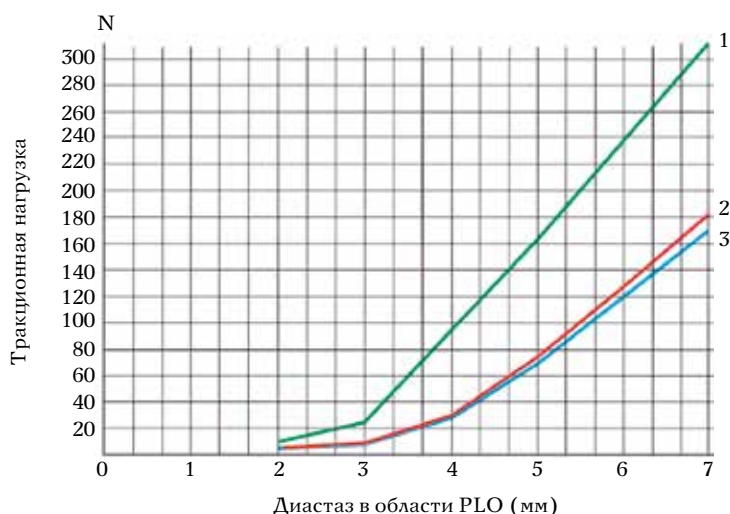


Рис. 8

Графическое отражение зависимости величины диастаза в области педикулярных удлиняющих остеотомий (PLO) L<sub>4</sub> от величины сагиттально направленного дистракционного усилия между телом позвонка L<sub>4</sub> и элементами его заднего остеолигаментарного опорного комплекса: 1 – педикулярная удлиняющая остеотомия L<sub>4</sub>; 2 – педикулярная удлиняющая остеотомия L<sub>4</sub> и мобилизирующая остеотомия нижних суставных отростков L<sub>3</sub>; 3 – педикулярная удлиняющая остеотомия L<sub>4</sub>, мобилизирующая остеотомия нижних суставных отростков L<sub>3</sub> и мобилизирующая педикулярная остеотомия L<sub>3</sub>

30 N, 5 мм – при усилении 73 N, 6 мм – при 125 N, 7 мм – при 182 N. Эти значения в 1,70–3,23 раза меньше, чем без мобилизирующих остеотомий нижних суставных отростков L<sub>3</sub> (см. табл., рис. 8). Третий эксперимент, предусматривающий целью мобилизации не только остеотомию нижних суставных отростков L<sub>3</sub>, но и двухстороннюю педикулярную остеотомию этого же позвонка, показал, что дальнейшего снижения сагиттально направленного дистракционного усилия для достижения клинически значимого диастаза в области остеотомии корней дуг L<sub>4</sub> по сравнению со вторым экспериментом не происходит (см. табл., рис. 8, где графики 2 и 3 почти наслаиваются друг на друга).

## Обсуждение

Определение термина «поясничный спинальный стеноз» впервые предложено Verbiest et al. в 1949 г. В течение более 70 лет развивались хирургические методики для лечения данной патологии [8]. По мере развития хирургических технологий и накопления клинических ретроспективных данных те или иные оперативные методики набирали популярность или подвергались критике.

В последнее время большое распространение получила дорсальная декомпрессия корешков в сочетании с транспедикулярной фиксацией и межтеловым спондилодезом, выполненным из заднего или заднебокового доступа к межпозвонковым дискам. Данный вид операций реализует нейроортопедический подход к лечению поясничных стенозов [12]. Наряду с адекватной декомпрессией нервно-сосудистых образований применение транспедикулярных спинальных систем дает возможность устранить сегментарную нестабильность или спондилолистез, нормализовать анатомические взаимоотношения в ПДС и сагиттальный баланс позвоночного столба. При этом необходимо отметить, что результаты лечения пациентов с поясничными стенозами дегенеративной этиологии в равной

роствов L<sub>3</sub> значительно мобилизовали задний опорный комплекс L<sub>4</sub> в плане возможности его дорсально направленного смещения по отно-

шению к телу позвонка. Для достижения клинически значимого диастаза в области педикулярных остеотомий 4 мм потребовалось усилие



мере зависят от качества произведенной декомпрессии, точности коррекции анатомических взаимоотношений в оперированных ПДС и надежности стабилизации, позволяющей сформироваться костному блоку [13].

В настоящее время также очень популярны различные минимально-инвазивные хирургические подходы для лечения ПСС с минимальным воздействием на стабильность ПДС, особенно у пациентов пожилого и старческого возраста. Однако в этом случае усложняется контроль за адекватностью выполнения основного этапа вмешательства, возрастает риск развития интраоперационных осложнений и ятрогенной нестабильности оперированных сегментов [14].

С.Г. Млявых и соавт. [15] впервые применили PLO в клинической практике, предложив систему транспедикулярной остеотомии Altum, включающую инструментарий для ее выполнения и транспедикулярные винты особой конструкции. Винты обеспечивают возможность distraction корней дуг после остеотомии и, соответственно, увеличение сагиттального размера позвоночного и корешковых каналов на уровне ПДС, в которых выполнена такая остеотомия. По сравнению с традиционными хирургическими подходами PLO расширяет позвоночный канал, сводя к минимуму повреждение дорсальных анатомических структур поясничного отдела позвоночника. Kiarour et al. [16] провели биомеханический эксперимент и 3D-анализ и обнаружили, что применение одноили двухсторонней PLO в поясничном отделе позвоночника может увеличить площадь позвоночного канала и межпозвонковых отверстий без существенного влияния на общую или сегментарную кинематику.

Gao et al. [8] провели исследование с целью изучения влияния PLO на стабильность ПДС. Результаты показали, что PLO может эффективно расширять позвоночный канал, при этом не наблюдалось спондилолистеза или других осложнений. Более того, это вмешательство не оказывает существенного влияния на стабильность

поясничного отдела позвоночника, что предполагает потенциальное клиническое применение. С.Г. Млявых и соавт. [17] проанализировали ближайшие и отдаленные результаты лечения пациентов, которым выполняли PLO, и обнаружили, что объем позвоночного канала значительно увеличился после операции, у пациентов отмечался регресс неврологической симптоматики. Более того, у всех пациентов через 6 мес. после операции произошло сращение корней дуг в зоне элонгации и полученного диастаза после PLO.

Необходимо отметить, что сама идея PLO может найти достаточно широкое применение при лечении больных с поясничными стенозами. Однако инструментарий Altum, обеспечивающий выполнение остеотомии, отличается высокой технической сложностью. Удлиняемые транспедикулярные винты, реализующие элонгацию корней дуг после PLO в описанном варианте [8, 16], конструктивно очень сложны, имеют большой диаметр (до 11 мм и более), что потенциально невыгодно с учетом вероятности возникновения показаний к ревизионным операциям.

В связи с потребностью в импортозамещении применяемого инструментария и имплантатов актуальным является вопрос разработки иного способа выполнения PLO и последующей декомпрессии дурального мешка и корешков путем элонгации корней дуг с использованием «обычных» транспедикулярных винтов для поясничного отдела диаметром 6–7 мм. При этом возможна значительного уменьшения необходимого для декомпрессии усилия, прилагаемого к анатомическим структурам оперируемых ПДС, будет иметь существенное практическое значение.

Наше экспериментальное исследование посвящено клинически значимому аспекту методики PLO – изучению влияния различных вариантов мобилизации поясничных ПДС перед PLO на условия последующей коррекции сагиттального размера позвоночного канала. Очевидно, что успешная мобилизация позволит достигнуть необходимой элонгации

при меньших корригирующих усилиях. Соответственно, после мобилизации фиксирующие металлоконструкции будут подвергаться меньшим нагрузкам, что снизит вероятность дестабилизации и потерю достигнутой коррекции.

Экспериментальные исследования такого рода проводились другими авторами с целью определения возможностей коррекции анатомически измененных ПДС в иных клинических ситуациях [10, 18]. Проведенное исследование установило возможность существенного снижения необходимых корригирующих усилий для эффективного увеличения сагиттального размера позвоночного и корешковых каналов на уровне хирургического вмешательства, что может иметь большое практическое значение при дальнейшем развитии технологии декомпрессии дурального мешка путем PLO.

## Заключение

Дозированная элонгация корней дуг после транспедикулярной остеотомии требует значительного сагиттально направленного тракционного усилия между телом позвонка и анатомическими элементами заднего опорного комплекса. Увеличение сагиттального размера позвоночного канала за счет элонгации корней дуг после педикулярной удлиняющей остеотомии на уровне позвонка L<sub>4</sub> на 4 мм достигается при тракционном усилии в 97 N, на 5 мм – при 162 N, на 6 мм – при 240 N, на 7 мм – при 306 N. Мобилизирующая остеотомия нижних суставных отростков L<sub>3</sub> снижает необходимые для декомпрессии тракционные усилия соответственно до 30 N, 73 N, 125,5 N и 182 N, что в 1,7–3,2 раза меньше показателей PLO без мобилизации. Дополнительно произведенная двухсторонняя педикулярная остеотомия на вышележащем позвонке L<sub>3</sub> не обеспечивает дальнейшего уменьшения тракционных усилий, необходимых для увеличения сагиттального размера позвоночного канала.

Методика декомпрессии дурального мешка и корешков в поясничном отделе позвоночника за счет педикуляр-

ной удлиняющей остеотомии с элонгацией корней дуг может явиться перспективным вариантом хирургического лечения ПСС. Полученные в настоящем исследовании данные могут быть интересны при возможной разработке иного

технического решения и инструментария для осуществления ПЛО.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Проведение исследования одобрено*

*локальным этическим комитетом учреждения. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

- Katz JN, Zimmerman ZE, Mass H, Makhni MC. Diagnosis and management of lumbar spinal stenosis: a review. JAMA. 2022;327:1688–1699. DOI: 10.1001/jama.2022.5921
- Ravindra VM, Senglaub SS, Rattani A, Dewan MC, H rtl R, Bisson E, Park KB, Shrime MG. Degenerative lumbar spine disease: estimating global incidence and worldwide volume. Global Spine J. 2018;8:784–794. DOI: 10.1177/2192568218770769
- Халепа Р.В., Амелина Е.В., Кубецкий Ю.Е. Эндоскопическая и микрохирургическая декомпрессия при центральном стенозе позвоночного канала на поясничном уровне // Хирургия позвоночника. 2024. Т. 21, № 3. С. 59–68. [Khalepa RV, Amelina EV, Kubetsky YuE. Endoscopic and microsurgical decompression for central lumbar spinal stenosis. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika) 2024;21(3):59–68]. DOI: 10.14531/ss2024.3.59-68
- Абакиров М.Д., Нурмухаметов Р.М., Мамырбаев С.Т., Аль-Баварид О.А. Результаты ревизионных операций при дегенеративно-дистрофических заболеваниях пояснично-крестцового отдела позвоночника // Политравма. 2020. № 1. С. 31–40. [Abakirov MD, Nurmukhametov RM, Mamyrbayev ST, Al-Bavarid OA. Results of revision surgery for degenerative dystrophic diseases of the lumbosacral spine. Polytrauma. 2020;(1):31–40]. DOI: 10.24411/1819-1495-2020-10005
- Nakajima Y, Nagai S, Michikawa T, Hachiya K, Ito K, Takeda H, Kawabata S, Yoshioka A, Ikeda D, Kaneko S, Hachiya Y, Fujita N. Predictors of patient dissatisfaction after lumbar spinal canal stenosis surgery: a multicenter retrospective study. Spine Surg Relat Res. 2024;8:322–329. DOI: 10.22603/ssr.2023-0256
- Аганесов А.Г., Алексанян М. М., Гемджян Э.Г. Стеноз позвоночного канала: сравнительный анализ малоинвазивной двусторонней декомпрессии из унилатерального доступа и ламинэктомии // Хирургия позвоночника. 2024. Т. 21, № 1. С. 35–43. [Aganesov AG, Aleksanyan MM, Gemdzhian EG. Spinal canal stenosis: comparative analysis of minimally invasive bilateral decompression through a unilateral approach and laminectomy. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2024;21(1):35–43]. DOI: 10.14531/ss2024.1.35-43
- Mlyavykh SG, Bokov AE, Yashin KS, Karyakin NN, Anderson DG. Pedicle-lengthening osteotomy for the treatment of lumbar spinal stenosis: pre-clinical study of novel orthopedic devices. Modern Technologies in Medicine. 2018;10(2):37–46. DOI: 10.17691/stm2018.10.2.04
- Gao M, Zou J, Zhang Z, Luo Z, Yang H. Evaluation of the influence of pedicle-lengthening osteotomy on lumbar stability. Am J Transl Res. 2016;8:2070–2078.
- Сикилинда В.Д., Акопов В.И., Хлопонин П.А. и др. Подготовка тканей экспериментальных животных и человека для биомеханических и морфологических исследований. Методические рекомендации. Ростов-на-Дону; Санкт-Петербург, 2002. [Sikilinda VD, Akopov VI, Khloponin PA, et al. Preparation of experimental animal and human tissues for biomechanical and morphological studies. Methodical recommendations. Rostov-on-Don – St. Petersburg, 2002].
- Колесов С.В., Гаврюшенко Н.С., Кудряков С.А., Шавырин И.А. Экспериментальное исследование возможностей вентральной коррекции и фиксации при деформациях позвоночника // Хирургия позвоночника. 2011. № 3. С. 82–88. [Kolesov SV, Gavryushenko NS, Kudryakov SA, Shavyrin IA. Experimental study of anterior correction and fixation techniques for spinal deformities Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2011;(3):82–88].
- Friis EA, Arnold PM, Goel VK. 9 – Mechanical testing of cervical, thoracolumbar, and lumbar spine implants. In: Mechanical Testing of Orthopaedic Implants. 2017. P. 161–180. DOI: 10.1016/b978-0-08-100286-5.00009-3
- Wang C, Xu F, Jia L, Liu Y, Zhang S. Lumbar fusion efficacy with local bone grafting and platelet-rich plasma: a clinical investigation in treating degenerative lumbar spinal stenosis in the elderly. Int Orthop. 2024;48:2963–2970. DOI: 10.1007/s00264-024-06294-2
- Li W, Wei H, Zhang R. Different lumbar fusion techniques for lumbar spinal stenosis: a Bayesian network meta-analysis. BMC Surg. 2023;23:345. DOI: 10.1186/s12893-023-02242-w
- Mlyavykh SG, Bokov AE, Aleynik AY, Yashin KS, Karyakin NN. Open and minimally invasive technologies in surgical treatment of stable symptomatic stenosis of the lumbar spine. Modern Technologies in Medicine. 2019;11(4):135–145. DOI: 10.17691/stm2019.11.4.16
- Mlyavykh SG, Bokov AE, Yashin KS, Anderson DG. Pedicle-lengthening osteotomy for the treatment of lumbar spinal stenosis: the surgical technique (pilot clinical study). Modern Technologies in Medicine. 2018;10(3):58–69. DOI: 10.17691/stm2018.10.3.7
- Kiapour A, Anderson DG, Spenciner DB, Ferrara L, Goel VK. Kinematic effects of a pedicle-lengthening osteotomy for the treatment of lumbar spinal stenosis. J Neurosurg Spine. 2012;17:314–320. DOI: 10.3171/2012.6.SPINE11518
- Mlyavykh S, Ludwig SC, Kepler CK, Anderson DG. Five-year results of a clinical pilot study utilizing a pedicle-lengthening osteotomy for the treatment of lumbar spinal stenosis. J Neurosurg Spine. 2018;29:241–249. DOI: 10.3171/2017.11.SPINE16664
- Надулич К.А., Шаповалов В.М., Теремшонок А.В., Василевич С.В. Экспериментальная оценка особенностей коррекции посттравматической кифотической деформации грудного и поясничного отделов позвоночника // Травматология и ортопедия России. 2010. № 2. С. 86–88. [Nadulich KA, Shapovalov VM, Teremshonok AV, Vasilevich SV. Experimental evaluation of correction features of posttraumatic kyphosis of thoracic and lumbar spine. Traumatology and Orthopedics of Russia. 2010;16(2):86–88]. DOI: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-86-88

**Адрес для переписки:**

Афаунов Аскер Алиевич  
350007, Россия, Краснодар, ул. Береговая, 2, корп. 1, кв. 194,  
afaunovkr@mail.ru

**Address correspondence to:**

Afaunov Asker Alievich  
2, bldg. 1, apt. 194, Beregovaya str., Krasnodar, 350007, Russia  
afaunovkr@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.02.2025

Рецензирование пройдено 09.04.2025

Подписано в печать 20.04.2025

Received 21.02.2025

Review completed 09.04.2025

Passed for printing 20.04.2025

Аскер Алиевич Афаунов, д-р мед. наук, профессор, травматолог-ортопед, нейрохирург, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии, Кубанский государственный медицинский университет, Россия, 350063, Краснодар, ул. Митрофана Седина, 4; врач нейрохирургического отделения № 3, Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Россия, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, к. 1, eLibrary SPIN: 8039-9920, ORCID: 0000-0001-7976-860X, afaunovkr@mail.ru;

Игорь Вадимович Басанкин, д-р мед. наук, травматолог-ортопед, нейрохирург, заведующий нейрохирургическим отделением № 3, Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Россия, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, к. 1; ассистент кафедры хирургии № 1, Кубанский государственный медицинский университет, Россия, 350063, Краснодар, ул. Митрофана Седина, 4, eLibrary SPIN: 3541-8946, ORCID: 0000-0003-3549-0794, basankin@rambler.ru;

Ахмат Багаудинович Багаудинов, хирург нейрохирургического отделения № 3, Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Россия, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, к. 1, ORCID: 0000-0003-0270-6800, Bagaudinovspine@gmail.com;

Сергей Геннадьевич Млявях, д-р мед. наук, травматолог-ортопед, руководитель службы хирургии позвоночника акционерного общества «Ильинская больница», 143421, Московская обл., городской округ Красногорск, д. Глухово, ул. Рублёвское предместье, 2, корп. 2; профессор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии им. М.В. Колокольцева, Приволжский исследовательский медицинский университет, Россия, 603005, Нижний Новгород, Площадь Минина и Пожарского, 10, eLibrary SPIN: 9803-0387, ORCID: 0000-0002-6310-4961, s.mliavykh@ibospital.ru;

Абрам Акопович Гюльзатян, нейрохирург нейрохирургического отделения № 3, Краевая клиническая больница № 1 им. профессора С.В. Очаповского, Россия, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, к. 1, eLibrary SPIN: 6853-4861, ORCID: 0000-0003-1260-4007, Neuro8@mail.ru;

Сергей Борисович Богданов, д-р мед. наук, профессор, травматолог-ортопед, заведующий ожоговым отделением, Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Россия, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, к. 1; профессор кафедры ортопедии, травматологии и военно-полевой хирургии, Кубанский государственный медицинский университет, Россия, 350063, Краснодар, ул. Митрофана Седина, 4, ORCID: 0000-0001-9573-4776, bogdanovsb@mail.ru.

Asker Alievich Afaunov, DMSc, Prof., trauma orthopedist, neurosurgeon, Head of the Department of Orthopedics, Traumatology and Field Surgery, Kuban State Medical University, 4 Mitrofana Sedina str., Krasnodar, 350063, Russia; neurosurgeon, Neurosurgery Department No. 3, Regional Clinical Hospital No. 1 n.a. S.V. Ochapovsky, 167, site 1 Pervogo Maya str., Krasnodar, 350086, Russia, eLibrary SPIN: 8039-9920, ORCID: 0000-0001-7976-860X, afaunovkr@mail.ru; Igor Vadimovich Basankin, DMSc, trauma orthopedist, neurosurgeon, Head of Neurosurgery Department No. 3, Regional Clinical Hospital No. 1 n.a. S.V. Ochapovsky, 167, site 1 Pervogo Maya str., Krasnodar, 350086, Russia; assistant professor of the Department of surgery, Kuban State Medical University, 4 Mitrofana Sedina str., Krasnodar, 350063, Russia, eLibrary SPIN: 3541-8946, ORCID: 0000-0003-3549-0794, basankin@rambler.ru;

Abmat Bagaudinovich Bagaudinov, surgeon, Neurosurgery Department No. 3, Regional Clinical Hospital No. 1 n.a. S.V. Ochapovsky, 167, site 1 Pervogo Maya str., Krasnodar, 350086, Russia, ORCID: 0000-0003-0270-6800, Bagaudinovspine@gmail.com;

Sergey Gemadievich Mlyavykh, DMSc, trauma orthopedist, Head of the Spinal Surgery Service of the Ilyinskaya Hospital, 2 Rublevskoe suburb str., building 2, Moscow region, Krasnogorsk city district, Glukhovo village, 143421, Russia; Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery n.a. M.V. Kolokoltsev, Privolzhsky Research Medical University, 10/1, Minina I Pozharskogo sq., Nizhny Novgorod, 603950, Russia, eLibrary SPIN: 9803-0387, ORCID: 0000-0002-6310-4961, s.mliavykh@ibospital.ru;

Abram Akopovich Gulzatyan, MD, PhD, neurosurgeon, Department of Neurosurgery No. 3, Regional Clinical Hospital No. 1 n.a. S.V. Ochapovsky, 167, site 1 Pervogo Maya str., Krasnodar, 350086, Russia, eLibrary SPIN: 6853-4861, ORCID: 0000-0003-1260-4007, Neuro8@mail.ru;

Sergey Borisovich Bogdanov, DMSc, Prof., trauma orthopedist, Head of the Burns Department, Regional Clinical Hospital No. 1 n.a. S.V. Ochapovsky, 167, site 1 Pervogo Maya str., Krasnodar, 350086, Russia; Professor of the Department of Orthopedics, Traumatology and Field Surgery, Kuban State Medical University, 4 Mitrofana Sedina str., Krasnodar, 350063, Russia, ORCID: 0000-0001-9573-4776, bogdanovsb@mail.ru.



# АНАЛИЗ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕЙНОГО САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА У ДЕТЕЙ В НОРМЕ И С СИНДРОМОМ ДАУНА

А.А. Кулешов<sup>1</sup>, А.Г. Назаренко<sup>1</sup>, В.А. Шаров<sup>1</sup>, М.С. Ветрилэ<sup>1</sup>, А.В. Овсянкин<sup>2</sup>, Е.С. Кузьминова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии

им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Смоленск, Россия

**Цель исследования.** Анализ корреляционных связей и зависимостей параметров шейного сагиттального баланса, а также соответствующих компенсаторных механизмов на примере детей без выявленной ортопедической патологии и детей с синдромом Дауна.

**Материал и методы.** Для оценки взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса использовали цифровые рентгенограммы 110 детей. Возрастной диапазон — 4–17 лет. В группу 1 вошли 60 детей без выявленной ортопедической патологии: 26 мальчиков и 34 девочки, средний возраст 11 лет (7,0–14,0); в группу 2 — 50 детей с синдромом Дауна: 24 мальчика и 26 девочек, средний возраст 9 лет (7,0–12,0). По данным цифровых рентгенограмм произведена оценка восьми ключевых угловых параметров шейного сагиттального баланса: О–С<sub>2</sub>, О–С<sub>7</sub>, С<sub>1</sub>–С<sub>2</sub>, С<sub>2</sub>–С<sub>7</sub>, С<sub>7</sub>С, Т<sub>1</sub>С, Т<sub>1</sub>А, NT. Проведен статистический анализ данных с использованием анализа ранговых корреляций и многофакторной регрессии.

**Результаты.** При оценке ранговых корреляций определена ведущая положительная корреляция между показателями величины шейного лордоза и величины угла входа в грудную клетку (Т<sub>1</sub>А). По результатам многофакторной регрессии определены основные тенденции в изменении ключевых углов шейного сагиттального баланса у детей. Увеличение Т<sub>1</sub>А на 1° приводит к увеличению угла С<sub>2</sub>–С<sub>7</sub> в среднем на 0,6° (p = 0,004) и угла С<sub>1</sub>–С<sub>2</sub> на 0,4° (p = 0,028) как для девочек, так и для мальчиков без выявленной ортопедической патологии. Это правило равноценно и при уменьшении угла Т<sub>1</sub>А с возрастом. Вместе с тем у девочек угол С<sub>2</sub>–С<sub>7</sub> в среднем на 2,9° (p = 0,021) и угол С<sub>1</sub>–С<sub>2</sub> на 1,2° (p = 0,112) больше, чем у мальчиков. Для детей с синдромом Дауна справедливы аналогичные тенденции, однако с менее выраженным регрессионным влиянием факторов. Так, у детей с синдромом Дауна увеличение Т<sub>1</sub>А на 1° связано со средним ростом угла С<sub>2</sub>–С<sub>7</sub> на 0,5° (p = 0,004) и угла С<sub>1</sub>–С<sub>2</sub> на 0,2° (p = 0,035). У девочек угол С<sub>2</sub>–С<sub>7</sub> в среднем на 3,1° (p = 0,018) больше, чем у мальчиков. Для угла С<sub>1</sub>–С<sub>2</sub> аналогичную зависимость определить не удалось.

**Заключение.** Шейный отдел позвоночника, несмотря на высокую мобильность, имеет четкую связь с нижележащими отделами. Удалось доказать, что Т<sub>1</sub>А, имея малую вариативность для каждого конкретного ребенка, является базисом для формирования шейного лордоза С<sub>2</sub>–С<sub>7</sub> и локального лордоза на уровне С<sub>1</sub>–С<sub>2</sub>. Полученные в результате построения регрессионных моделей формулы позволяют, используя значение Т<sub>1</sub>А, возраст и пол ребенка, рассчитать теоретическую величину значений С<sub>2</sub>–С<sub>7</sub> и С<sub>1</sub>–С<sub>2</sub>. Это может помочь выявлять признаки как сагиттального дисбаланса, так и атлантаксиальной нестабильности у разных групп детей, в том числе с синдромом Дауна. В данный момент полученные формулы носят теоретический характер и нуждаются в дополнительной валидации.

**Ключевые слова:** шейный сагиттальный баланс; шейный отдел позвоночника; дети; синдром Дауна; вертебрология.

Для цитирования: Кулешов А.А., Назаренко А.Г., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Овсянкин А.В., Кузьминова Е.С. Анализ взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса у детей в норме и с синдромом Дауна // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 55–65.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.55-65>

## ANALYSIS OF THE MUTUAL INFLUENCE OF CERVICAL SAGITTAL BALANCE PARAMETERS IN CHILDREN IN NORM AND WITH DOWN SYNDROME

A.A. Kuleshov<sup>1</sup>, A.G. Nazarenko<sup>1</sup>, V.A. Sharov<sup>1</sup>, M.S. Vetrile<sup>1</sup>, A.V. Ovsyankin<sup>2</sup>, E.S. Kuzminova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, Smolensk, Russia

**Objective.** To analyze the correlations and dependencies of parameters of the cervical sagittal balance, as well as the corresponding compensatory mechanisms on the example of children without orthopedic pathology and children with Down syndrome.

**Material and Methods.** Digital radiographs of 110 children were used to evaluate the mutual influence of cervical sagittal balance parameters. The age range was 4–17 years. Group 1 included 60 children without identified orthopedic pathology: 26 boys and 34 girls, with an average age 11 years (7.0–14.0 years). Group 2 included 50 children with Down syndrome: 24 boys and 26 girls, with an average age 9 years (7.0–12.0 years). Based on the digital radiographs, eight key angular parameters of cervical sagittal balance were assessed: O–C<sub>2</sub>, O–C<sub>7</sub>, C<sub>1</sub>–C<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>, C<sub>7</sub>S, T<sub>1</sub>S, T<sub>1</sub>A, NT. Statistical analysis of the data was performed using rank correlation analysis and multivariate regression.



**Results.** In the assessment of rank correlations, the leading positive correlation between the cervical lordosis and thoracic inlet angle (TIA) values was determined. Based on the results of multivariate regression, the main trends in the change in key angles of the cervical sagittal balance in children were determined. An increase in TIA by  $1^\circ$  leads to increase in the C2–C7 angle by an average of  $0.6^\circ$  ( $p = 0.004$ ) and the C1–C2 angle by  $0.4^\circ$  ( $p = 0.028$ ) for both girls and boys without identified orthopedic pathology. This rule is also equivalent when the TIA angle decreases with age. At the same time, girls have C2–C7 angle on average  $2.9^\circ$  ( $p = 0.021$ ) larger and C1–C2 angle  $1.2^\circ$  ( $p = 0.112$ ) larger than boys. Similar trends are true for children with Down syndrome, but with a less pronounced regression effect of factors. Thus, in children with Down syndrome, an increase in TIA by  $1^\circ$  is associated with a mean increase in the C2–C7 angle by  $0.5^\circ$  ( $p = 0.004$ ) and the C1–C2 angle by  $0.2^\circ$  ( $p = 0.035$ ). Girls have C2–C7 angle on average by  $3.1^\circ$  ( $p = 0.018$ ) larger than boys. A similar dependence could not be determined for the C1–C2 angle.

**Conclusion.** The cervical spine, despite its high mobility, has a clear connection with the underlying spine departments. In our work, we succeeded in proving that the thoracic inlet angle (TIA) having small variability for each specific child, is the basis for the formation of cervical lordosis C2–C7 and local lordosis at the level of C1–C2. The formulas obtained as a result of building the regression models allow, knowing the TIA value, the age and gender of the child, to calculate the theoretical value of C2–C7 and C1–C2 values. This may help to identify signs of both sagittal imbalance and atlantoaxial instability in different groups of children, including those with Down syndrome. At the moment, the obtained formulas are theoretical and need further validation.

**Key Words:** cervical sagittal balance; cervical spine; children; Down syndrome; vertebrology.

Please cite this paper as: Kuleshov AA, Nazarenko AG, Sharov VA, Vetrile MS, Ovsyankin AV, Kuzminova ES. Analysis of the mutual influence of cervical sagittal balance parameters in children in norm and with Down syndrome. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):55–65. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.55-65>

Детальное изучение естественных изгибов позвоночника, таких как поясничный лордоз, грудной кифоз и шейный лордоз, нашло свое отражение в концепции баланса позвоночника, сформулированной Dubousset [1], и в настоящее время имеет широкую популярность у исследователей по всему миру. Эта тенденция отражается в постоянно увеличивающемся количестве работ, посвященных данной тематике, и активном поиске оптимальной методологии исследования параметров, нормальных значений для разных групп пациентов и связи этих параметров друг с другом.

Шейный отдел позвоночника длительное время оставался без пристального изучения в рамках концепции сагиттального баланса в силу своей высокой мобильности и удаленности от позвоночно-тазового отдела, который в свою очередь исследовался достаточно подробно [1–3]. Вместе с тем сейчас количество работ, так или иначе затрагивающих тему шейного сагиттального баланса, увеличивается из года в год [4].

Большинство авторов акцентируют внимание на анализе параметров шейного сагиттального баланса как у бессимптомных добровольцев [5–8], так и у групп пациентов с различными нозологиями, главным обра-

зом дегенеративными заболеваниями позвоночника [9–15]. Также имеются работы, посвященные изменениям шейного сагиттального баланса у пациентов с болезнью Шейерманна [16] и различными типами идиопатического сколиоза [17–20]. Последней тенденцией в публикациях, посвященных шейному сагиттальному балансу, является поиск взаимосвязи параметров друг с другом и с нижележащими отделами позвоночника [3, 16, 21]. Вместе с тем ключевой особенностью абсолютного большинства работ данного направления является анализ параметров пациентов взрослого возраста. Публикации, посвященные шейному сагиттальному балансу у детей, единичны и, как правило, не несут четкой единой методологии изучения тех или иных параметров и их соотношений [3, 22–25].

При анализе корреляционных соотношений параметров, характеризующих шейный сагиттальный баланс, имеются указания на тесную биомеханическую связь верхнегрудного отдела позвоночника с величиной шейного лордоза и величиной лордоза на уровне C1–C2 сегмента [3, 16, 23]. Охарактеризованы также возрастные изменения шейного сагиттального баланса у детей [3, 25]. Разнородность выводов и отсутствие единой методологии

при анализе данных вносят некоторые несоответствия между полученными результатами у разных авторов.

Данная публикация является логичным продолжением нашей недавней работы, посвященной анализу параметров шейного сагиттального баланса у детей в норме и синдромом Дауна [23]. В ее основу легла теория о наличии четких биомеханически обоснованных связей между ключевыми параметрами шейного сагиттального баланса и соответствующими механизмами компенсации при формировании естественных изгибов шеи.

Цель исследования – анализ корреляционных связей и зависимостей параметров шейного сагиттального баланса, а также соответствующих компенсаторных механизмов на примере детей без выявленной ортопедической патологии и детей с синдромом Дауна, исходно предрасположенных к развитию атлантаксальной нестабильности – одному из проявлений сагиттального дисбаланса в области шейного отдела позвоночника.

## Материал и методы

Материал исследования представлен рентгенограммами шейного отдела позвоночника, выполненными в боковой проекции в нейтральном поло-

жении 110 пациентам детского возраста. Рентгенограммы отобраны из лучевого архива двух учреждений: Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования (Смоленск) и НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова (Москва). Пациентов ретроспективно разделили на 2 группы.

Группу 1 составили пациенты, обратившиеся на амбулаторный прием в Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования (Смоленск) с жалобами на боль в спине, шейном отделе позвоночника или нарушение осанки. С целью исключения патологии опорно-двигательного аппарата данным пациентам выполняли постуральные рентгенограммы позвоночника и рентгенограммы шейного отдела. По результатам клинско-лучевого обследования специалисты расценили их состояние как отсутствие ортопедической патологии. Таким образом, критерии отбора были следующими:

- возраст от 4 до 17 лет включительно;
- способность самостоятельно сохранять вертикальное положение тела;
- успешное выполнение постуральных рентгенограмм позвоночника;
- отсутствие патологии опорно-двигательного аппарата по результатам постуральных рентгенограмм позвоночника в двух проекциях;
- отсутствие у пациента указаний на наличие какого-либо генетического синдрома.

Дополнительно пациентов распределили на подгруппы в соответствии с полом и возрастом.

Группа 2 была сформирована из детей, прошедших диспансерное обследование на предмет наличия патологии шейного отдела позвоночника на фоне синдрома Дауна в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова (Москва). Всем детям выполняли рентгенографию шейного отдела позвоночника в боковой проекции. Для формирования конечной выборки из общего числа детей, прошедших обследование, были исключены пациенты с синдромом Дауна, у которых выявлены те или иные патологии шей-

Таблица 1

Возрастная и половая характеристика пациентов групп 1 и 2

Параметры	Группа 1	Группа 2
Общее количество пациентов, n	60	50
Возрастной диапазон, лет	4–17	4–17
Средний возраст, лет	11	9
Распределение по полу (мальчики : девочки)	26 : 34	24 : 26
Возрастные подгруппы, n		
4–7 лет	17	16
8–11 лет	19	18
12–17 лет	24	16

ного отдела позвоночника. Критерии отбора в группу 2 были следующими:

- генетически подтвержденный синдром Дауна (любая из форм);
- возраст от 4 до 17 лет включительно;
- способность пациента самостоятельно сохранять вертикальное положение тела;
- успешное выполнение рентгенограмм шейного отдела позвоночника в боковой проекции;
- отсутствие патологии шейного отдела позвоночника по результатам рентгенографии шейного отдела позвоночника в боковой проекции.

Дополнительно пациентов также распределили на подгруппы в соответствии с полом и возрастом.

Характеристика пациентов групп 1 и 2 представлена в табл. 1.

Для всех пациентов рассчитали ключевые угловые параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника, связанные с той или иной анатомической областью. Для характеристики верхнего локального шейного лордоза на уровне краниовертебрального перехода использовали параметры  $O-C_2$ ,  $C_1-C_2$ , для характеристики шейного лордоза – параметры  $O-C_7$  и  $C_2-C_7$ , для соотношений шейного отдела позвоночника и грудной клетки – параметры  $C_7S$ ,  $Th_1S$ ,  $TIA$  и  $NT$ . Методика измерения параметров представлена на рис. 1.

С целью исключения погрешности, вносимой посредством использования различных программных

средств для изучения рентгенограмм, все измерения выполняли в лицензионной версии программы «RadiAnt DICOM Viewer», версия 2022.1 (64 bit) (Copyright© 2009–2023, Medixant).

Статистический анализ данных и визуализацию проводили с помощью языка статистического программирования и среды R (версия 4.3.1) в IDE RStudio (версия 2023.09.0). Соответствие выборки нормальному распределению определяли с помощью теста Шапиро – Уилка. Ранговую корреляцию между количественными величинами вне нормального распределения оценивали с помощью коэффициента корреляции Спирмена, рас-



Рис. 1

Методика измерения параметров шейного сагиттального баланса

пределенных нормально – с помощью коэффициента Пирсона. Для выявления связи между категориальной величиной (пол) и количественными величинами использовали точечно-бисериальную корреляцию. Также для оценки множественных взаимодействий величин и определения скрытых паттернов выполняли многофакторный регрессионный анализ. Нулевую гипотезу в статистических тестах отклоняли при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## Результаты

Проверка на нормальность распределения критериев в выборке с использованием теста Шапиро – Уилка выявила, что в группе 1 наблюдается нормальное распределение ( $p > 0,05$ ) для следующих параметров: угол  $O-C_7$ , наклон  $C_7$  ( $C_7S$ ), наклон  $Th_1$  ( $Th_1S$ ), TIA, NT. Распределение отклоняется от нормального ( $p < 0,05$ ) для параметров: возраст, угол  $O-C_2$ , угол  $C_1-C_2$ , угол  $C_2-C_7$ . В группе 2 наблюдается нормальное распределение ( $p > 0,05$ ) для параметров: угол  $O-C_2$  и наклона  $Th_1$  ( $Th_1S$ ). Остальные параметры ( $O-C_7$ ,  $C_1-C_2$ ,  $C_2-C_7$ ,  $C_7S$ , TIA, NT) имеют распределение, отличающееся от нормального ( $p < 0,05$ ).

Для каждой из групп и возрастных подгрупп пациентов рассчитали средние величины параметров шейного сагиттального баланса с использованием медианы и квартилей. Средние значения каждого из параметров представлены в нашей предыдущей работе [23].

В каждой группе пациентов проанализировали ранговые корреляционные взаимосвязи между всеми параметрами с использованием коэффициентов корреляции Спирмена, Пирсона и точечно-бисериальной корреляции. В результате анализа получены данные о наиболее значимых корреляционных связях в группе 1 (дети без выявленной ортопедической патологии). Наиболее выраженная связь отмечается между углами наклона  $C_7$ ,  $Th_1$  позвонков и углом входа в грудную клетку TIA, что обусловлено тесной анатомиче-

Таблица 2

Распределение наиболее значимых ранговых корреляций в группе 1

Параметр 1	Параметр 2	Коэффициент	Метод	p-value
Возраст	Угол $O-C_7$	–0,37	Спирмен	0,003
Пол	Угол $C_2-C_7$	–0,30	Точечно-бисериальная корреляция	0,021
Пол	Наклон $C_7$	–0,29	Точечно-бисериальная корреляция	0,024
Пол	Наклон $Th_1$	–0,28	Точечно-бисериальная корреляция	0,028
Угол $O-C_2$	Угол $O-C_7$	0,51	Спирмен	<0,001
Угол $O-C_2$	Угол $C_1-C_2$	0,64	Спирмен	<0,001
Угол $O-C_7$	Угол $C_1-C_2$	0,34	Спирмен	0,008
Угол $O-C_7$	Угол $C_2-C_7$	0,72	Спирмен	<0,001
Угол $O-C_7$	Наклон $C_7$	0,68	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	Наклон $Th_1$	0,66	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	TIA	0,57	Пирсон	<0,001
Угол $C_2-C_7$	Наклон $C_7$	0,65	Спирмен	<0,001
Угол $C_2-C_7$	Наклон $Th_1$	0,64	Спирмен	<0,001
Угол $C_2-C_7$	TIA	0,53	Спирмен	<0,001
Наклон $C_7$	Наклон $Th_1$	0,92	Пирсон	<0,001
Наклон $C_7$	TIA	0,75	Пирсон	<0,001
Наклон $Th_1$	TIA	0,74	Пирсон	<0,001
TIA	NT	0,57	Пирсон	<0,001

Таблица 3

Распределение наиболее значимых ранговых корреляций в группе 2

Параметр 1	Параметр 2	Коэффициент	Метод	p-value
Возраст	Угол $O-C_7$	–0,45	Спирмен	0,001
Возраст	Наклон $C_7$	–0,49	Спирмен	<0,001
Возраст	Наклон $Th_1$	–0,49	Спирмен	<0,001
Возраст	TIA	–0,59	Спирмен	<0,001
Возраст	NT	–0,39	Спирмен	0,005
Возраст	Угол $C_2-C_7$	–0,54	Спирмен	<0,001
Угол $O-C_2$	Угол $O-C_7$	0,44	Пирсон	0,001
Угол $O-C_2$	Угол $C_1-C_2$	0,65	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	Угол $C_1-C_2$	0,36	Пирсон	0,011
Угол $O-C_7$	Наклон $C_7$	0,70	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	Наклон $Th_1$	0,63	Пирсон	<0,001
Угол $O-C_7$	TIA	0,34	Спирмен	0,016
Угол $O-C_7$	Угол $C_2-C_7$	0,85	Пирсон	<0,001
Угол $C_1-C_2$	Наклон $C_7$	0,30	Пирсон	0,032
Наклон $C_7$	Наклон $Th_1$	0,90	Пирсон	<0,001
Наклон $C_7$	TIA	0,63	Спирмен	<0,001
Наклон $C_7$	Угол $C_2-C_7$	0,68	Пирсон	<0,001
Наклон $Th_1$	TIA	0,71	Спирмен	<0,001
Наклон $Th_1$	Угол $C_2-C_7$	0,68	Пирсон	<0,001
TIA	NT	0,70	Спирмен	<0,001
TIA	Угол $C_2-C_7$	0,49	Спирмен	<0,001

ской связью этих параметров. Угол  $C_2-C_7$ , являющийся основной составной частью шейного лордоза, также значимо положительно коррелирует с углами наклона  $C_7$ ,  $Th_1$  позвонков и ТИА, что подтверждает определяющую роль входа в грудную клетку в формировании шейного лордоза. Угол  $C_1-C_2$  имеет умеренную положительную корреляцию с углом общего шейного лордоза  $O-C_7$ , поскольку является его составной частью. Отмечается связь углов  $O-C_7$  и  $C_2-C_7$ , отвечающих за величину шейного лордоза, с полом и возрастом. Описать данную связь можно как тенденцию к уменьшению общего шейного лордоза с возрастом, более выраженную у мальчиков. Наиболее значимые ранговые корреляции в группе 1 ( $p < 0,05$ ) отражены в табл. 2.

В группе 2, представленной детьми с синдромом Дауна, отсутствовали значимые половые различия в изменении параметров, однако возрастные различия были более выраженными с сохранением общих тенденций к уменьшению шейного лордоза и ТИА с возрастом. Наиболее значимые ран-

говые корреляции в группе 2 ( $p < 0,05$ ) отражены в табл. 3.

Для детей с синдромом Дауна угол входа в грудную клетку (ТИА) также является базисом для формирования общего шейного лордоза, однако его влияние на окончательную величину шейного лордоза менее значимо:  $TIA - C_2-C_7 - r = 0,53$  (группа 1) и  $r = 0,49$  (группа 2);  $TIA - O-C_7 - r = 0,57$  (группа 1) и  $r = 0,34$  (группа 2). Поскольку составными частями угла  $O-C_7$  являются углы  $O-C_2$  и  $C_2-C_7$ , влияние ТИА на общий шейный лордоз  $O-C_7$  статистически значимо снижено именно из-за опосредованного воздействия на краниовертебральный переход ( $O-C_2$ ). Описанные корреляции свидетельствуют о большей вариативности углов в области краниовертебральной зоны ( $O-C_2$ ,  $C_1-C_2$ ) у детей с синдромом Дауна, что подтверждается множеством эмпирических наблюдений, описывающих предрасположенность этой группы детей к атлантоаксиальной нестабильности. Схематичная визуализация взаимного влияния параметров шейного

сагиттального баланса в обеих группах представлена на рис. 2, 3.

Для поиска многофакторных взаимодействий параметров, а также скрытых паттернов влияния групп параметров друг на друга для каждой из исследуемых групп был проведен многофакторный регрессионный анализ с построением соответствующих моделей. При анализе ключевыми группами факторов, влияющих на формирование нижнего шейного лордоза ( $C_2-C_7$ ) и локального шейного лордоза на уровне краниовертебрального перехода ( $C_1-C_2$ ), были определены возраст, пол и угол входа в грудную клетку ТИА. На начальном этапе анализа была построена регрессионная модель изменения ТИА в зависимости от пола и возраста для обеих групп (рис. 4, 5).

В результате анализа регрессии определяется общая тенденция к снижению ТИА с возрастом с выраженным половым деморфизмом у детей в норме.

Далее построили регрессионные модели зависимости угла  $C_2-C_7$  от возраста и пола для обеих групп (рис. 6, 7)

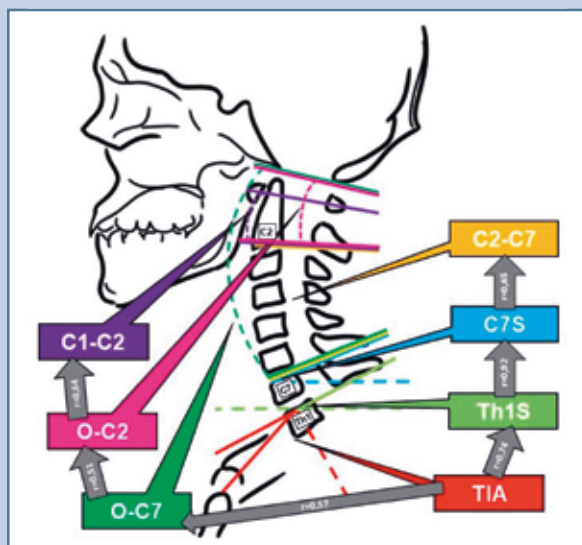


Рис. 2

Схема взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса в группе 1

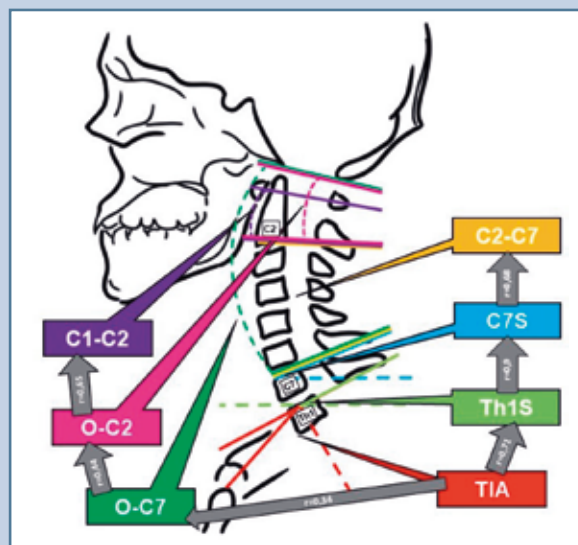


Рис. 3

Схема взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса в группе 2



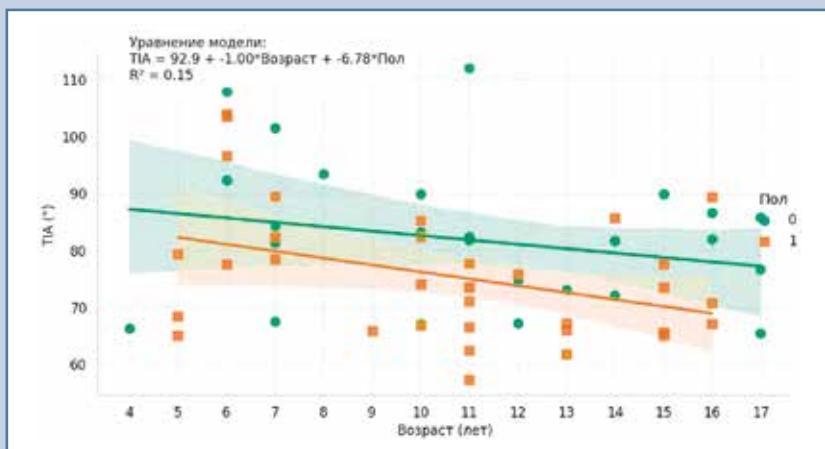


Рис. 4

График регрессии ТИА от возраста и пола в группе 1: зеленый цвет – мальчики, оранжевый – девочки

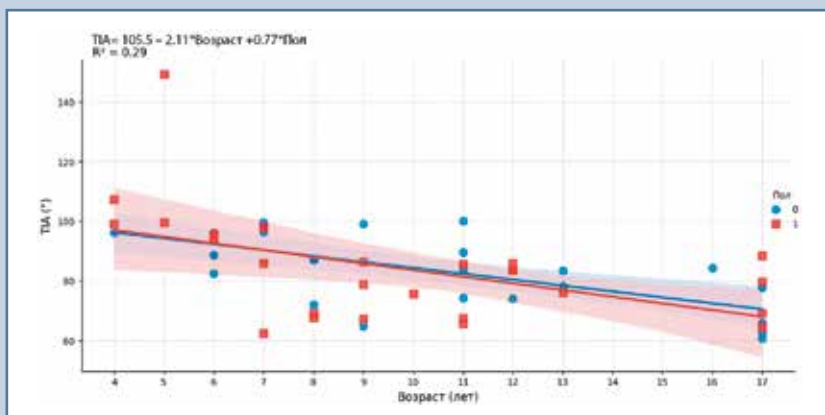


Рис. 5

График регрессии ТИА от возраста и пола в группе 2: синий цвет – мальчики, красный – девочки

Аналогично с изменением ТИА с возрастом отмечается тенденция к уменьшению угла  $C_2-C_7$ . Также наблюдается отсутствие выраженного полового деморфизма у детей с синдромом Дауна, что подтверждается ранее описанным изучением ранговых корреляций.

Для наиболее вариативного параметра (угла  $C_1-C_2$ ) также выполнено построение регрессионной модели для определения тенденций в изменении этого параметра с возрастом (рис. 8, 9).

Данная регрессия выявила малую вариативность угла  $C_1-C_2$  как у мальчиков, так и у девочек в норме. При этом в группе детей с синдромом Дауна вариативность выражена больше, в том числе и за счет полового деморфизма. По результатам регрессии можно сделать заключение о большей стабильности между  $C_1$  и  $C_2$  позвонками у детей без синдрома Дауна, что в первую очередь можно связать с отсутствием у этой группы предрасположенности к гипермобильности стабилизирующего связочного аппарата в этой области.

По результатам многофакторной регрессии можно сформировать основные тенденции в изменении ключевых углов шейного сагиттального баланса у детей. Увеличение ТИА на  $1^\circ$  приводит к увеличению угла  $C_2-C_7$  в среднем на  $0,6^\circ$  ( $p = 0,004$ ) и угла  $C_1-C_2$  на  $0,4^\circ$  ( $p = 0,028$ ) как у девочек, так и у мальчиков без выявленной ортопедической патологии. Это правило равноценно и при уменьшении угла ТИА с возрастом. Вместе с тем у девочек угол  $C_2-C_7$  в среднем на  $2,9^\circ$  ( $p = 0,021$ ) и угол  $C_1-C_2$  на  $1,2^\circ$  ( $p = 0,112$ ) больше, чем у мальчиков.

Для детей с синдромом Дауна справедливы аналогичные тенденции, однако с менее выраженным регрессионным влиянием факторов. Так, у детей с синдромом Дауна увеличение ТИА на  $1^\circ$  связано со средним ростом угла  $C_2-C_7$  на  $0,5^\circ$  ( $p = 0,004$ ) и угла  $C_1-C_2$  на  $0,2^\circ$  ( $p = 0,035$ ). У девочек угол  $C_2-C_7$  в среднем на  $3,1^\circ$  ( $p = 0,018$ ) больше, чем у мальчиков. Для угла  $C_1-C_2$  аналогичную зависимость определить не удалось.

С учетом полученных коэффициентов регрессии сформировали теоретические формулы для расчета углов  $C_2-C_7$  и  $C_1-C_2$ , основанные на значениях ТИА, пола и возраста.

Для мальчиков без выявленной ортопедической патологии формула для расчета угла  $C_1-C_2$ :  $(18,2 + 0,5 \times \text{Возраст} + 0,4 \times \text{ТИА}) \pm 8,7$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 8,7^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 4,43^\circ$ ;  $t = 1,96$ ). Для угла  $C_2-C_7$ :  $(-10,8 + 1,7 \times \text{Возраст} + 0,6 \times \text{ТИА}) \pm 11,3$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 11,3^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 5,77^\circ$ ;  $t = 1,96$ ).

Для девочек без выявленной ортопедической патологии формула для расчета угла  $C_1-C_2$ :  $(16,8 + 0,6 \times \text{Возраст} + 0,3 \times \text{ТИА}) \pm 9,5$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 9,5^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 4,85^\circ$ ;  $t = 1,96$ ). Для угла  $C_2-C_7$ :  $(-12,4 + 1,9 \times \text{Возраст} + 0,7 \times \text{ТИА}) \pm 12,8$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 12,8^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 6,53^\circ$ ;  $t = 1,96$ ).

Для мальчиков с синдромом Дауна формула для расчета угла  $C_1-C_2$ :

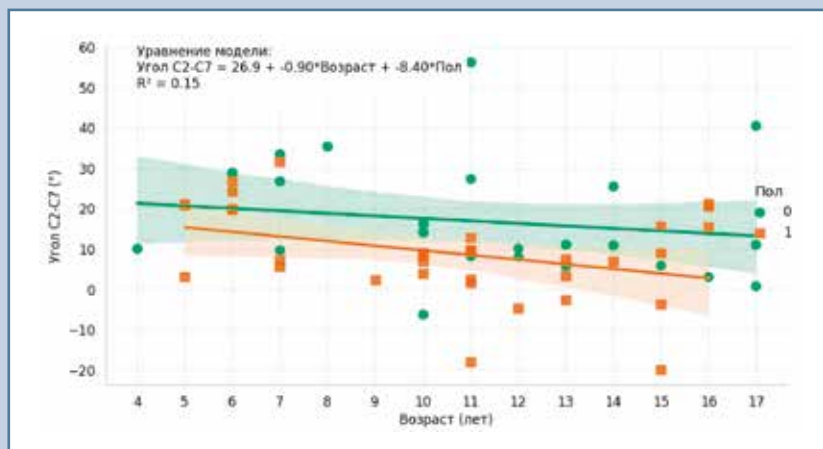


Рис. 6

График регрессии угла  $C_2-C_7$  от возраста и пола в группе 1: зеленый цвет – мальчики, оранжевый – девочки

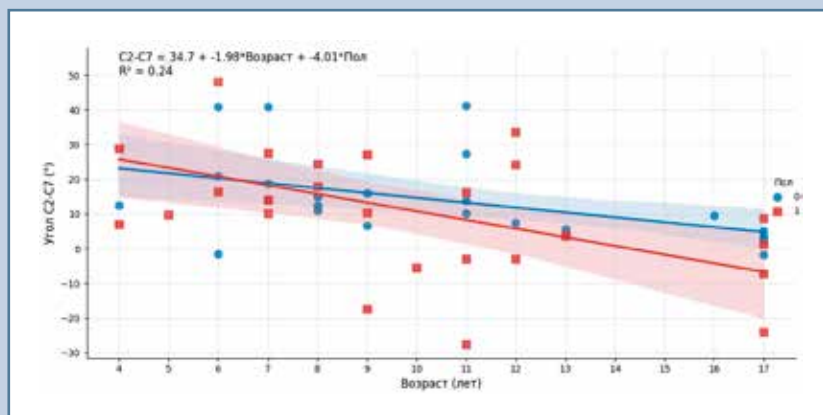


Рис. 7

График регрессии угла  $C_2-C_7$  от возраста и пола в группе 2: синий цвет – мальчики, красный – девочки

$(20,4 + 0,8 \times \text{Возраст} + 0,45 \times \text{ТИА}) \pm 9,8$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 9,8^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 5,0$ ;  $t = 1,96$ ). Для угла  $C_2-C_7$ :  $(-7,2 + 2,3 \times \text{Возраст} + 0,65 \times \text{ТИА}) \pm 12,7$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 12,7^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 6,5$ ;  $t = 1,96$ ).

Для девочек с синдромом Дауна формула для расчета угла  $C_1-C_2$ :  $(18,6 + 0,65 \times \text{Возраст} + 0,35 \times \text{ТИА}) \pm 8,5$ ; доверительный интервал (95 %):  $\pm 8,5^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 4,35$ ;  $t = 1,96$ ). Для угла  $C_2-C_7$ :  $(-5,0 + 1,9 \times \text{Возраст} + 0,55 \times \text{ТИА}) \pm 11,2$ ; дове-

рительный интервал (95 %):  $\pm 11,2^\circ$  (стандартная ошибка модели:  $\sigma = 5,7$ ;  $t = 1,96$ ).

Применение полученных формул при расчете теоретических параметров шейного сагиттального баланса может помочь в раннем выявлении предикторов функциональных и анатомических патологий шейного отдела позвоночника у детей. Особое внимание стоит уделять кифозированию угла  $C_1-C_2$  как одному из предикторов атлантаоаксиальной нестабильности, в особенности у детей с синдромом

Дауна. Вместе с тем важно отметить, что полученные формулы на данном этапе накопления и обработки данных носят теоретический характер и нуждаются в дополнительной валидации.

## Обсуждение

Взаимоотношения позвоночно-тазовых параметров (PI, PT, LL, SS и др.) и их влияние на грудной кифоз (ТК) были подробным образом изучены ранее во множестве работ. Сформированы различные формулы для расчета тех или иных параметров, позвоночно-тазовых соотношений. Базовой формулой, описывающей соотношения параметров таза и поясничного отдела позвоночника, является геометрическая зависимость наклона таза (PT) и наклона крестца (SS), выражаемая в виде тазового индекса (PI):  $PI = PT + SS$ , подтвержденная Schwab et al. [26], а также рядом других работ, посвященных позвоночно-тазовому балансу у детей и взрослых [27].

Berthonnaud et al. [28] и Roussouly et al. [29] в работах по изучению глобального сагиттального баланса пришли к заключению о наличии связи сагиттальных параметров смежных, а также отдельно взятых областей позвоночника, что позволило рассматривать таз и позвоночник как единую систему формирования физиологических изгибов позвоночника. Также они описали корреляции между величиной шейного лордоза и грудного кифоза [28, 29].

Lee et al. [30] провели анализ корреляционных связей и зависимостей при формировании ключевых параметров шейного сагиттального баланса на примере изучения рентгенограмм 77 взрослых добровольцев без патологии позвоночника. В результате исследования было доказано, что параметр угла входа в грудную клетку (ТИА) является относительно стабильным для каждого конкретного индивида и играет ключевую роль в формировании величины шейного лордоза. При этом его связь с локальным лордозом на уровне краниовертебрального перехода ( $C_1-C_2$ ) статистически

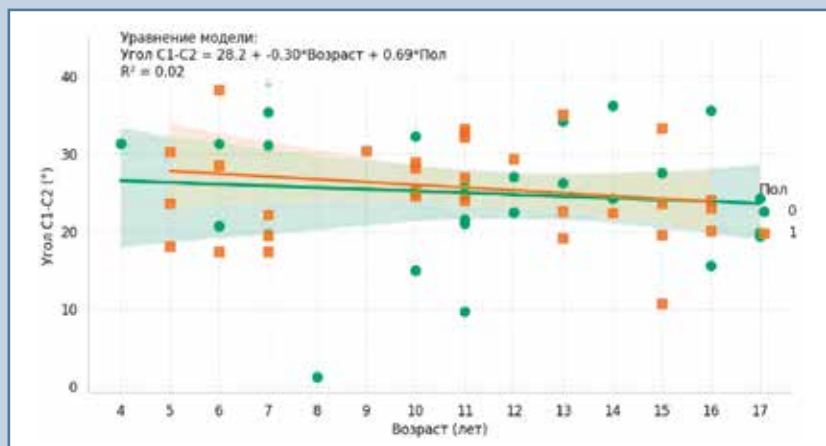


Рис. 8

График регрессии угла  $C_1-C_2$  от возраста и пола в группе 1: зеленый цвет – мальчики, оранжевый – девочки

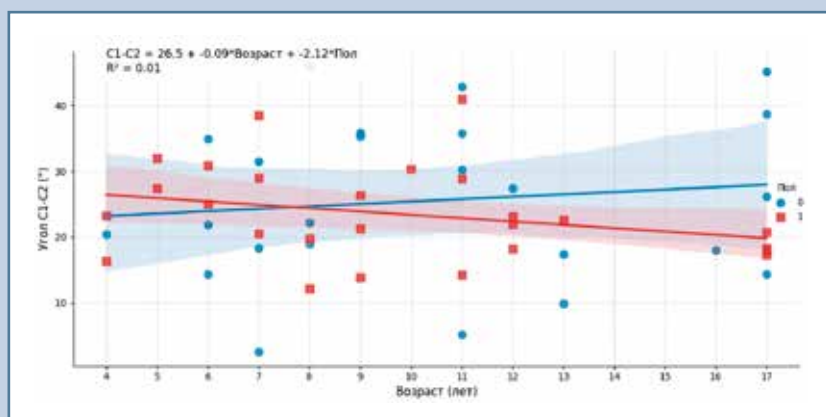


Рис. 9

График регрессии угла  $C_1-C_2$  от возраста и пола в группе 2: синий цвет – мальчики, красный – девочки

не была подтверждена, что может свидетельствовать о выраженной мобильности и вариативности этого угла в популяции. Авторы определили ключевую геометрическую зависимость между углом входа в грудную клетку (Т1А), наклоном шеи (NT) и наклоном  $Th_1$  позвонка ( $Th_1S$ ) в виде формулы:  $T1A = T1S + NT$  [30]. Позднее Le Hues et al. [4] описали тесную корреляцию между углом наклона  $C_7$  позвонка ( $C_7S$ ) и величиной шейного лордоза ( $C_2-C_7$ ), тем самым еще раз подтвердив ключевую роль шейно-грудного

перехода в формировании шейного лордоза. Shao et al. [31] анализировали рентгенограммы 246 бессимптомных добровольцев с целью изучения ключевых параметров, влияющих на прогрессирование шейного сагиттального дисбаланса, которые они трактовали как изменения  $C_2C_7SVA$ . С помощью регрессионной модели авторы выяснили, что наиболее значимыми параметрами для прогрессирования сагиттального дисбаланса являются индекс массы тела, наклон глазных орбит (OS), угол  $O-C_2$ , вели-

чина шейного лордоза и наклон  $Th_1$  позвонка ( $Th_1S$ ). В результате исследования была получена соответствующая формула, учитывающая наиболее значимые параметры для прогрессирования сагиттального дисбаланса:  $C_2C_7SVA = 0,38 \times BMI - 0,73 \times OS + 0,73 \times C_0C_2 + 0,15 \times CL + 0,18 \times TS - 6,53$ . Авторы отмечают, что данное исследование может помочь хирургам более точно определить прогноз лечения при планировании реконструктивных хирургических вмешательств.

В 2020 г. Alijani и Rasouljan [21] опубликовали масштабное сравнительное исследование, посвященное анализу рентгенограмм 420 взрослых пациентов, разделенных на 4 группы по наличию симптомов заболеваний позвоночника. В результате исследования не было выявлено статистически значимых различий между бессимптомными, пациентами с симптомами и пациентами, которым было выполнено хирургическое лечение. Сагиттальная вертикальная ось  $C_7SVA$  коррелировала с величиной шейного лордоза ( $C_2-C_7$ ;  $r = 0,7$ ) во всех группах. Вне зависимости от группы при анализе всей выборки удалось выявить корреляцию угла  $C_1-C_2$  с величиной поясничного лордоза ( $LL$ ;  $r = 0,1$ ) [21]. Данное заключение можно трактовать как еще одно доказательство того, что, несмотря на удаление конкретных анатомических образований, позвоночник функционирует как единая система, с формированием естественных изгибов в рамках единых биомеханических законов.

Параллельно изучению параметров шейного сагиттального баланса у бессимптомных добровольцев либо пациентов с дегенеративными заболеваниями происходило накопление данных о сагиттальном профиле пациентов с различными диспластическими нарушениями. Наиболее изученными с этой точки зрения группами оказались пациенты с болезнью Шейерманна и идиопатическим сколиозом. Janusz et al. [16] при исследовании глобального сагиттального баланса у подростков и взрослых с болезнью Шейерманна пришли к выводу,



что вершина структурального кифоза значимо влияет на угол  $Th_1S$ , TIA, NT и ведет к изменениям величины шейного лордоза  $C_2-C_7$ . В исследованиях, описывающих шейный сагиттальный баланс у пациентов со сколиозом, зафиксировано компенсаторное изменение параметров после выполнения реконструктивно-корригирующего вмешательства у значительной части пациентов [17–20].

Работы, в которых одной из исследуемых групп являются дети без выявленной ортопедической патологии, немногочисленны. В большинстве случаев это связано со сложностью этического обоснования показаний к рентгенологическому обследованию здоровых детей.

В 2012 г. Lee et al. [22] опубликовали кросс-секционное исследование с анализом рентгенограмм 181 ребенка, у которых в ходе обследования была исключена патология позвоночника и опорно-двигательного аппарата. В работе определена ключевая возрастная тенденция, связанная с увеличением грудного кифоза и шейного лордоза до 17 лет включительно. Вместе с тем у 40 % обследуемых детей наблюдался гиполордоз либо кифоз в шейном отделе. Важно подчеркнуть, что в этой работе впервые на столь большой когорте детей описана тесная взаимосвязь грудного и шейного отделов позвоночника как единого биомеханического компенсаторного регулятора для поддержания вертикального положения тела [22].

Д.А. Глухов с соавт. [2] также внесли значительный вклад в изучение шейного сагиттального баланса у детей. Они проанализировали 73 рентгенограммы шейного отдела позвоночника детей без выявленной ортопедической патологии. В ходе исследования были определены нормальные значения параметров шейного сагиттального баланса для детей и ключевые половые различия с оценкой соответствующих корреляционных связей. При сравнении параметров с нормальными показателями для взрослых были получены статистически достоверные различия по 6 из 10 исследуемых параметров.

Как правило, подобные исследования имеют ряд ограничений, наша работа не стала исключением. Главным ограничением данного исследования является отсутствие возможности заранее оценить мощность и размер выборки. Данную работу, являющуюся продолжением нашего предыдущего исследования [23], мы посвятили изучению механизмов взаимного влияния параметров шейного сагиттального баланса у детей. В качестве группы сравнения была выбрана когорта пациентов с синдромом Дауна, так как этот контингент является предрасположенным к различным проявлениям нарушений опорно-двигательного аппарата. В ходе исследования удалось доказать, что естественные изгибы позвоночника, описываемые параметрами сагиттального баланса, формируются у детей с синдромом Дауна по единому алгоритму, аналогично с детьми без выявленной ортопедической патологии. Вместе с тем влияние каждого ключевого сегмента при формировании шейного и локального лордоза на уровне  $C_1-C_2$  для детей с синдромом Дауна снижено. Это можно объяснить большей мобильностью связочного аппарата и гипотонией мышц шеи – характерными признаками синдрома Дауна.

В результате анализа мы пришли к выводу, что угол входа в грудную клетку (TIA) является базовым для дальнейшего формирования всех компонентов шейного лордоза. Также имеются возрастные и половые отличия в величине ключевых параметров шейного сагиттального баланса ( $C_1-C_2$ ,  $C_2-C_7$ ). Выявленные зависимости позволили нам вывести соответствующие формулы для расчета углов  $C_1-C_2$  и  $C_2-C_7$  на основании значений TIA и возраста для мальчиков и девочек с синдромом Дауна и для детей без выявленной ортопедической патологии. Применение данных формул может помочь при выявлении грубых отклонений в сагиттальном балансе шеи у детей, а также при поиске предикторов атлантоаксиальной нестабильности, при которой характерно локальное кифозирование в области  $C_1-C_2$  сегмента.

## Заключение

Работа по более глубокому изучению шейного сагиттального баланса, его связи с глобальным балансом, поиску методологии и практическому применению полученных данных должна быть продолжена. Сохраняется потребность в накоплении материала по анализу шейного сагиттального баланса как детей без ортопедической патологии, так и синдромальных пациентов с целью дальнейшего изучения и поиска подходов к применению полученных данных в клинической практике.

Шейный отдел позвоночника, несмотря на высокую мобильность, имеет четкую связь с нижележащими отделами. В нашей работе удалось доказать, что угол входа в грудную клетку (TIA), имея малую вариативность для каждого конкретного ребенка, является базисом для формирования шейного лордоза  $C_2-C_7$  и локального лордоза на уровне  $C_1-C_2$ . Зная значение TIA, а также возраст и пол ребенка, можно рассчитать теоретическую величину значений  $C_2-C_7$  и  $C_1-C_2$  – углов, образующих шейный лордоз. Полученные нами формулы расчета данных углов могут позволить выявлять признаки как сагиттального дисбаланса, так и атлантоаксиальной нестабильности у разнородных групп детей, в том числе с синдромом Дауна. Однако в настоящий момент описанные формулы носят теоретический характер и нуждаются в дополнительной валидации. Дальнейшее изучение шейного сагиттального баланса у детей позволит сделать формулы более точными и применимыми на практике для различных групп пациентов.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*



## Литература/References

1. Dubousset J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity. In: Weinstein SL, editor. *The Pediatric Spine: Principles and Practice*. New York, 1994:479–496.
2. Глухов Д.А., Зорин В.И., Мальцева Я.А., Мушкин А.Ю. Сагиттальный баланс шейного отдела позвоночника у детей старше 4 лет: что считать нормой? // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19, № 4. С. 19–29. [Glukhov DA, Zorin VI, Maltseva YaA, Mushkin AYU. Sagittal balance of the cervical spine in children older than 4 years: what is the norm? *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2022;19(4):19–29]. DOI: 10.14531/ss2022.4.19-29
3. Lee SH, Hyun SJ, Jain A. Cervical sagittal alignment: literature review and future directions. *Neurospine*. 2020;17:478–496. DOI: 10.14245/ns.2040392.196
4. Le Huec JC, Demezon H, Aunoble S. Sagittal parameters of global cervical balance using EOS imaging: normative values from a prospective cohort of asymptomatic volunteers. *Eur Spine J*. 2015;24:63–71. DOI: 10.1007/s00586-014-3632-0
5. Gore DR, Sepic SB, Gardner GM. Roentgenographic findings of the cervical spine in asymptomatic people. *Spine*. 1986;11:521–524. DOI: 10.1097/00007632-198607000-00003
6. Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, Pryor PW. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine*. 1997;22:1472–1480. DOI: 10.1097/00007632-199707010-00009
7. Okada E, Matsumoto M, Ichihara D, Chiba K, Toyama Y, Fujiwara H, Momoshima S, Nishiwaki Y, Hashimoto T, Ogawa J, Watanabe M, Takahata T. Does the sagittal alignment of the cervical spine have an impact on disk degeneration? Minimum 10-year follow-up of asymptomatic volunteers. *Eur Spine J*. 2009;18:1644–1651. DOI: 10.1007/s00586-009-1095-5
8. Kim SW, Kim TH, Bok DH, Jang C, Yang MH, Lee S, Yoo JH, Kwak YH, Oh JK. Analysis of cervical spine alignment in currently asymptomatic individuals: prevalence of kyphotic posture and its relationship with other spinopelvic parameters. *Spine J*. 2018;18:797–810. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.09.008
9. Sakai K, Yoshii T, Hirai T, Arai Y, Shinomiya K, Okawa A. Impact of the surgical treatment for degenerative cervical myelopathy on the preoperative cervical sagittal balance: a review of prospective comparative cohort between anterior decompression with fusion and laminoplasty. *Eur Spine J*. 2017;26:104–112. DOI: 10.1007/s00586-016-4717-8
10. Choi CS, Lee DH, Hwang CJ, Son SM, Woo Y, Goh TS, Kang SW, Lee JS. Effectiveness of C2 incidence angle for evaluating global spinopelvic alignment in patients with mild degenerative spondylosis. *World Neurosurg*. 2019;127:e826–e834. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.03.274
11. Weng C, Wang J, Tuchman A, Wang J, Fu C, Hsieh PC, Buser Z, Wang JC. Influence of T1 slope on the cervical sagittal balance in degenerative cervical spine: an analysis using kinematic MRI. *Spine*. 2016;41:185–190. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001353
12. Machino M, Yukawa Y, Imagama S, Ito K, Katayama Y, Matsumoto T, Inoue T, Ouchida J, Tomita K, Ishiguro N, Kato F. Age-related and degenerative changes in the osseous anatomy, alignment, and range of motion of the cervical spine: a comparative study of radiographic data from 1016 patients with cervical spondylotic myelopathy and 1230 symptomatic subjects. *Spine*. 2016;41:476–482. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001237
13. Sun J, Zhao HW, Wang JJ, Xun L, Fu NX, Huang H. Diagnostic value of T1 slope in degenerative cervical spondylotic myelopathy. *Med Sci Monit*. 2018;24:791–796. DOI: 10.12659/msm.906417
14. Елисеев А.С., Боков А.Е., Млявых С.Г. Параметры сагиттального баланса после передней шейной дискэктомии со спондилодезом и артропластики эндопротезом «Эндокарбон»: результаты рандомизированного исследования // Современные технологии в медицине. 2022. Т. 14, № 4. С. 50–59. [Eliseev AS, Bokov AE, Mlyavikh SG. Sagittal balance parameters after anterior cervical discectomy with spondylosis and arthroplasty using endocarbon endoprosthesis: results of randomized study. *Modern Technologies in Medicine (Sovremennyye Technologii v Medicine)*. 2022;14(4):50–59]. DOI: 10.17691/stm2022.14.4.06
15. Бурцев А.В., Рябых С.О., Котельников А.О., Губин А.В. Клинические аспекты сагиттального баланса у взрослых // Гений ортопедии. 2017. Т. 23, № 2. С. 228–235. [Burtsev A, Ryabykh S, Kotelnikov A, Gubin A. Clinical issues of the sagittal balance in adults. *Genij Ortopedii*. 2017;23(2):228–235]. DOI: 10.18019/1028-4427-2017-23-2-228-235
16. Janusz P, Tyrakowski M, Kotwicki T, Siemionow K. Cervical sagittal alignment in Scheuermann disease. *Spine*. 2015;40:E1226–E1232. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001129
17. Shaw KA, Murphy JS. Compensatory or pathologic? - cervical spine sagittal alignment in adolescent idiopathic scoliosis. *J Spine Surg*. 2019;5:174–175. DOI: 10.21037/jss.2019.01.01
18. Wang L, Liu X. Cervical sagittal alignment in adolescent idiopathic scoliosis patients (Lenke type 1–6). *J Orthop Sci*. 2017;22:254–259. DOI: 10.1016/j.jjos.2016.12.006
19. Garg B, Mehta N, Gupta A, Sugumar PAA, Shetty AP, Basu S, Jakkepally S, Gowda SD, Babu JN, Chhabra HS. Cervical sagittal alignment in Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis and assessment of its alteration with surgery: a retrospective, multicentric study. *Spine Deform*. 2021;9:1559–1568. DOI: 10.1007/s43390-021-00366-8
20. Aykac B, Ayhan S, Yuksel S, Guler UO, Pellise F, Alanay A, Perez-Grueso FJ, Acaroglu E. Sagittal alignment of cervical spine in adult idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2015;24:1175–1182. DOI: 10.1007/s00586-015-3868-3
21. Alijani B, Rasouljan J. The sagittal balance of the cervical spine: radiographic analysis of interdependence between the occipitocervical and spinopelvic alignment. *Asian Spine J*. 2020;14:287–297. DOI: 10.31616/asj.2019.0165
22. Lee CS, Noh H, Lee DH, Hwang CJ, Kim H, Cho SK. Analysis of sagittal spinal alignment in 181 asymptomatic children. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25:E259–63. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318261f346
23. Кулешов А.А., Назаренко А.Г., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Овсянкин А.В., Кузьминова Е.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Струнина Ю.В. Сравнительная характеристика параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантаксиальной нестабильности у детей в норме и с синдромом Дауна // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2024. Т. 31, № 1. С. 55–66. [Kuleshov AA, Nazarenko AG, Sharov VA, Vetrile MS, Ovsyankin AV, Kuzminova ES, Lisyansky IN, Makarov SN, Strunina UV. Comparative characteristics of cervical sagittal balance parameters and atlantoaxial instability criteria in normal and Down syndrome children. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2024;31(1):55–66]. DOI: 10.17816/vto624245
24. Shen XL, Tian Y, Zhou XH, Ren D, Cao P, Yuan W. A radiographic analysis of cervical sagittal alignment in adolescent idiopathic cervical kyphosis. *Clin Spine Surg*. 2017;30:E560–E566. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000257
25. Kasai T, Ikata T, Katoh S, Miyake R, Tsubo M. Growth of the cervical spine with special reference to its lordosis and mobility. *Spine*. 1996;21:2067–2073. DOI: 10.1097/00007632-199609150-00003
26. Schwab F, Lafage V, Boyce R, Skalli W, Farcy JP. Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine*. 2006;31:E959–E967. DOI: 10.1097/01.brs.0000248126.96737.0f
27. Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthodnaud E, Betz RR, Roussouly P. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J*. 2007;16:227–234. DOI: 10.1007/s00586-005-0013-8

28. Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, Labelle H. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. J Spinal Disord Tech. 2005;18:40–47. DOI: 10.1097/01.bsd.0000117542.88865.77
29. Roussouly P, Gollogly S, Nosedá O, Berthonnaud E, Dimnet J. The vertical projection of the sum of the ground reactive forces of a standing patient is not the same as the C7 plumb line: a radiographic study of the sagittal alignment of 153 asymptomatic volunteers. Spine. 2006;31:E320–E325. DOI: 10.1097/01.brs.0000218263.58642.ff
30. Lee SH, Kim KT, Seo EM, Suk KS, Kwack YH, Son ES. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. J Spinal Disord Tech. 2012;25:E41–E47. DOI: 10.1097/BSD.0b013e3182396301
31. Shao ZX, Yan YZ, Pan XX, Chen SQ, Fang X, Chen XB, Wu AM, Wang XY. Factors associated with cervical spine alignment in an asymptomatic population: a preliminary analysis. World Neurosurg. 2019;122:e48–e58. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.09.036

**Адрес для переписки:**

Шаров Владислав Андреевич  
127299, Россия, Москва, ул. Приорова, 10,  
НМИЦ травматологии и ортопедии  
имени Н.Н. Приорова,  
sharov.vlad397@gmail.com

Статья поступила в редакцию 12.03.2025

Рецензирование пройдено 26.05.2025

Подписано в печать 28.05.2025

**Address correspondence to:**

Sharov Vladislav Andreyevich  
N.N. Priorov National Medical Research Center  
of Traumatology and Orthopedics,  
10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia,  
sharov.vlad397@gmail.com

Received 12.03.2025

Review completed 26.05.2025

Passed for printing 28.05.2025

Александр Алексеевич Кулешов, д-р мед. наук, врач-травматолог-ортопед, заведующий отделением вертебологии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, eLibrary SPIN: 7052-0220, ORCID: 0000-0002-9526-8274, cito-spine@mail.ru;

Антон Герасимович Назаренко, д-р мед. наук, профессор, врач-травматолог-ортопед, директор, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, eLibrary SPIN: 1402-5186, ORCID: 0000-0003-1314-2887, cito@cito-priorov.ru;

Владислав Андреевич Шаров, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, eLibrary SPIN: 8062-9216, ORCID: 0000-0002-0801-0639, sbarov.vlad397@gmail.com;

Марчел Степанович Ветрилэ, заместитель директора по организации образовательной и научной деятельности, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, eLibrary SPIN: 9690-5117, ORCID: 0000-0001-6689-5220, e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Анатолий Васильевич Овсянкин, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Россия, 214019, Смоленск, пр. Строителей, 29, eLibrary SPIN: 4417-3617, ORCID: 0000-0002-0779-091X, ovsjankin@rambler.ru;

Елена Станиславовна Кузьмина, врач-травматолог-ортопед, Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Россия, 214019, Смоленск, пр. Строителей, 29, eLibrary SPIN: 5992-6657, ORCID: 0000-0003-2876-6844, muxuxo@gmail.com.

Alexander Alekseyevich Kuleshov, DMSc, trauma orthopedist, Head of the Department of Vertebrology, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, eLibrary SPIN: 7052-0220, ORCID: 0000-0002-9526-8274, cito-spine@mail.ru;

Anton Gerasimovich Nazarenko, DMSc, Prof., trauma orthopedist, Director, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, eLibrary SPIN: 1402-5186, ORCID: 0000-0003-1314-2887, cito@cito-priorov.ru;

Vladislav Andreyevich Sharov, trauma orthopedist, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, eLibrary SPIN: 8062-9216, ORCID: 0000-0002-0801-0639, sbarov.vlad397@gmail.com;

Marchel Stepanovich Vetrile, Deputy Director for Educational and Scientific Activities, trauma orthopedist, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, eLibrary SPIN: 9690-5117, ORCID: 0000-0001-6689-5220, e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru;

Anatoliy Vasilyevich Ovsyankin, MD, PhD, trauma orthopedist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, 29 Stroiteley Ave., Smolensk, 214019, Russia, eLibrary SPIN: 4417-3617, ORCID: 0000-0002-0779-091X, ovsjankin@rambler.ru;

Elena Stanislavovna Kuzminova, trauma orthopedist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, 29 Stroiteley Ave., Smolensk, 214019, Russia, eLibrary SPIN: 5992-6657, ORCID: 0000-0003-2876-6844, muxuxo@gmail.com.



# ВЛИЯНИЕ ДЕСТРУКТИВНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ САГИТТАЛЬНОГО БАЛАНСА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА У ДЕТЕЙ

Д.А. Глухов<sup>1</sup>, А.Ю. Мушкин<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова

Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

**Цель исследования.** Анализ динамики изменений параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника на фоне хирургического лечения деструктивной опухолевой и инфекционно-воспалительной патологии шейных позвонков у детей.

**Материал и методы.** Дизайн: ретроспективно-проспективная моноцентровая когорта. Отобрана 81 рентгенограмма шейного отдела позвоночника, выполненная в положении стоя до и после хирургического лечения детям, оперированным по поводу опухолей позвонков и шейных спондилитов. Измерены 10 наиболее распространенных показателей: угловые значения  $Oc-C_2$ ,  $C_2-C_7$ ,  $C_7S$ ,  $Th_1S$  ( $T_1S$ ),  $TIA$ ,  $NT$ ,  $CeT$ ,  $CrT$ ,  $SCA$ , а также расстояние  $cSVA$  в мм. Материал подвергнут статистической обработке с использованием методов непараметрического анализа.

**Результаты.** При субокципитальном поражении наиболее значительные изменения претерпевали параметры  $Oc-C_2$  и  $CrT$ , при субаксиальном —  $Oc-C_2$ ,  $C_2-C_7$ , а при поражении шейно-грудного перехода —  $C_2-C_7$ ,  $C_7S$ ,  $Th_1S$ ,  $TIA$ ,  $NT$ ,  $CeT$ ,  $CrT$ . Значимая разница отмечена только для параметра  $NT$  между нормой и группой патологии шейно-грудного перехода после операции ( $p = 0,0190$ ). При туберкулезном спондилите отмечены наибольшие изменения параметров  $TIA$ ,  $NT$ ,  $CeT$ ,  $SCA$  и  $cSVA$ . Значимые отличия зафиксированы также лишь для параметра  $NT$  между послеоперационными группами туберкулезных спондилитов и опухолей ( $p = 0,0016$ ), а также между группой туберкулезных спондилитов после операции и группой нормы ( $p = 0,0013$ ). При протяженной (3 и более позвонков) деструкции параметр  $NT$  отличался от нормы как до ( $p = 0,0174$ ), так и после ( $p = 0,0059$ ) хирургического лечения. Параметр  $cSVA$  отличался от нормы при коротких деструкциях только до хирургической коррекции ( $p = 0,0195$ ), при этом при протяженных деструкциях он отличался от нормы только после хирургической реконструкции ( $p = 0,0212$ ).

**Заключение.** Изучение вопросов биомеханики позвоночника в патологических условиях позволяет лучше понимать происходящие изменения и предлагать эффективные способы коррекции и восстановления нормальной анатомии сегмента.

**Ключевые слова:** сагиттальный баланс; шейный отдел позвоночника; дети; опухоль; спондилит; остеомиелит; хирургическое лечение.

**Для цитирования:** Глухов Д.А., Мушкин А.Ю. Влияние деструктивных изменений и хирургической коррекции на параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у детей // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 66–74.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.66-74>

## INFLUENCE OF DESTRUCTIVE CHANGES AND SURGICAL CORRECTION ON THE PARAMETERS OF SAGITTAL BALANCE OF THE CERVICAL SPINE IN CHILDREN

D.A. Glukhov<sup>1</sup>, A.Yu. Mushkin<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Clinic of High Medical Technologies n.a. N.I. Pirogov, Saint Petersburg State University Hospital, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

**Objective.** To analyze dynamics of changes in the parameters of the sagittal balance of the cervical spine against the background of surgical treatment of destructive tumor and infectious inflammatory pathology of the cervical vertebrae in children.

**Material and Methods.** Design: retrospective-prospective monocentric cohort. A total of 81 radiographs of the cervical spine in a standing position before and after surgery in children operated on for vertebral tumors and cervical spondylitis were selected. The 10 most common parameters were measured: angular values of  $Oc-C_2$ ,  $C_2-C_7$ ,  $C_7S$ ,  $T_1S$ ,  $TIA$ ,  $NT$ ,  $CeT$ ,  $CrT$ ,  $SCA$ , as well as the  $cSVA$  distance measured in mm. The material was statistically processed using nonparametric analysis methods.

**Results.** In case of suboccipital lesions, the most significant changes were in the  $Oc-C_2$  and  $CrT$  parameters, in case of subaxial lesions —  $Oc-C_2$ ,  $C_2-C_7$ , and in case of cervicothoracic junction lesions —  $C_2-C_7$ ,  $C_7S$ ,  $T_1S$ ,  $TIA$ ,  $NT$ ,  $CeT$ , and  $CrT$ . Significant difference be-

tween the groups was noted only for NT parameter between the norm and the group of cervicothoracic junction pathology after surgery ( $p = 0.0190$ ). In case of tuberculous spondylitis, the greatest changes were noted in TIA, NT, CeT, SCA and cSVA parameters. Significant differences were also revealed only for NT parameter between the postoperative groups of tuberculous spondylitis and tumors ( $p = 0.0016$ ), as well as between the group of tuberculous spondylitis after surgery and the norm group ( $p = 0.0013$ ). In case of extensive (3 or more vertebrae) destruction, the NT parameter differed from the norm both before ( $p = 0.0174$ ) and after ( $p = 0.0059$ ) surgical treatment. The cSVA parameter differed from the norm in case of short destructions only before surgical correction ( $p = 0.0195$ ), while in case of extensive destructions it differed from the norm only after surgical reconstruction ( $p = 0.0212$ ).

**Conclusion.** Studying the issues of spine biomechanics in pathological conditions allows for better understanding the changes that occur and propose effective methods for correcting and restoring the normal anatomy of the segment.

**Key Words:** sagittal balance; cervical spine; children; tumor; spondylitis; osteomyelitis; surgical treatment.

Please cite this paper as: Glukhov DA, Mushkin AYU. Influence of destructive changes and surgical correction on the parameters of sagittal balance of the cervical spine in children. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):66–74. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.66-74>

Представленные в специальной литературе последних лет нормальные величины параметров сагиттального баланса у детей позволили по-новому оценивать изменения, происходящие в позвоночнике при различных патологических процессах [1–5]. С учетом того, что многие из них приводят к деформации позвоночника, целью данной работы явилась объективизация изменений в шейном отделе позвоночника у детей путем изучения параметров его сагиттального баланса на фоне опухолевых и инфекционно-воспалительных поражений шейных позвонков.

Дизайн исследования – ретроспективно-проспективная моноцентровая когорта.

Объект исследования – параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника при деструктивных изменениях позвонков и возможности их хирургической коррекции.

Критерии включения:

- единое место лечения – клиника детской хирургии и ортопедии Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии;
- установленная этиология заболевания – опухоли позвонков и спондилиты;
- локализация – шейные позвонки, включая  $O_5/C_1$ – $C_7$ ;
- наличие рентгенограмм шейного отдела в боковой проекции, выполненных в положении стоя, в том числе до и после оперативного лечения;
- возраст пациентов на момент хирургического лечения менее 18 лет.

Критерии исключения:

- выявление при комплексном обследовании ребенка любых врожденных пороков развития шейных позвонков или признаков их травматических повреждений;
- первичная нейрохирургическая патология – опухоли и врожденные пороки развития спинного мозга или основания черепа, в том числе любые варианты миелодисплазии;
- неврологические нарушения и невозможность вертикализации ребенка.

## Материал и методы

Для анализа изменений баланса из лучевого архива клиники отобрали 81 рентгенограмма шейного отдела позвоночника в боковой проекции, выполненная в положении стоя до и после хирургического лечения детям с опухолевыми и инфекционно-воспалительными поражениями позвонков.

На отобранных рентгенограммах измерены 10 наиболее распространенных показателей: угловые значения  $O_5$ – $C_2$ ,  $C_2$ – $C_7$ ,  $C_7$ S,  $Th_1$ S ( $T_1$ S), TIA, NT, CeT, CrT, SCA, а также расстояние cSVA в мм (рис. 1). Описание данных параметров, а также подробная методика измерения представлены в литературе [1]. Для исключения потенциально возможных погрешностей, вносимых различными программами при работе с DICOM-файлами, все измерения выполняли в лицензионной версии программы «RadiAnt DICOM Viewer»

(версия 2021.2, Copyright © 2009–2022 Medixant).

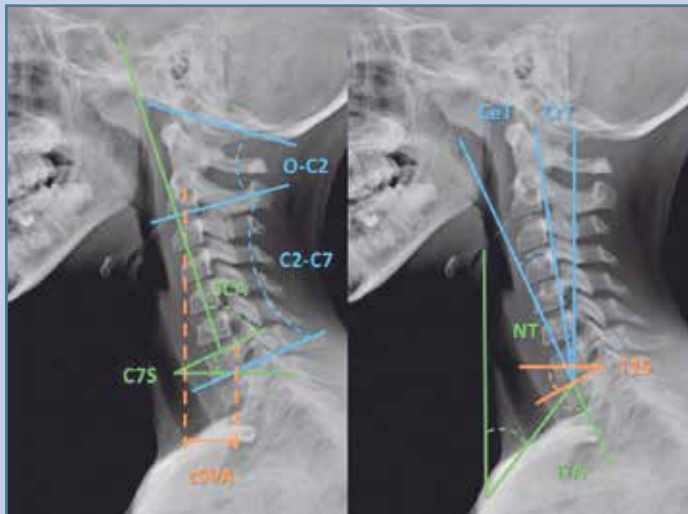
Материал подвергнут статистической обработке с использованием методов непараметрического анализа. Значения параметров выборки представлены в виде Me ( $Q_1$ – $Q_3$ ), так как критерии Шапиро – Уилка и Лиллиефорса (Колмогорова – Смирнова с поправкой Лиллиефорса) выявили статистически значимые отклонения изучаемых групп параметров от нормального распределения. Накопление, корректировку и систематизацию исходной информации осуществляли в электронных таблицах LibreOffice Calc (версия 3.7.2, MPL v.2). Статистический анализ и визуализацию полученных результатов проводили с использованием языка программирования R (версия 3.5.1, GNU GPL v.2) в программной среде разработки RStudio Desktop (версия 2022.02, GNU AGPL v.3).

## Результаты

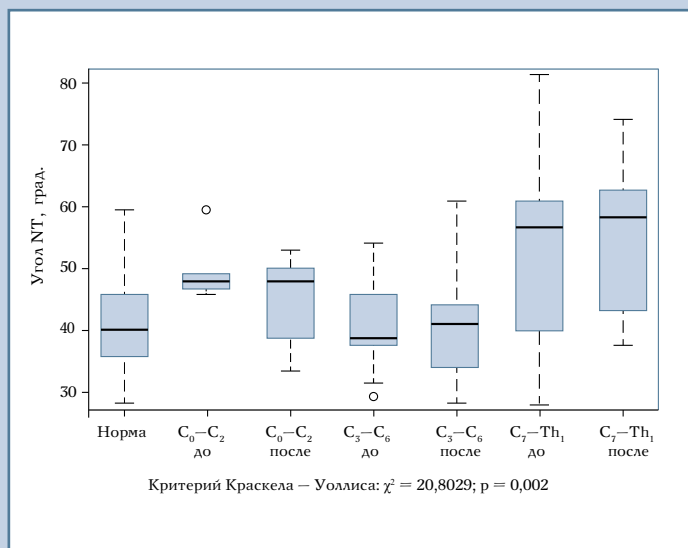
Все параметры в первую очередь разделены на группы по преобладающему уровню поражения вне зависимости от этиологии процесса – субокципитальный ( $O_5$ – $C_2$ ), субаксиальный ( $C_3$ – $C_6$ ) и шейно-грудной ( $C_7$ – $Th_1$ ), а также по отношению к факту хирургического лечения – до и после операции (табл. 1).

При субокципитальном поражении наиболее значительные изменения претерпевали параметры  $O_5$ – $C_2$  и CrT, при субаксиальном –  $O_5$ – $C_2$ ,





**Рис. 1**  
 Параметры сагиттального баланса шейного отдела позвоночника



**Рис. 2**  
 Изменение параметра NT в зависимости от уровня поражения до и после хирургической коррекции

C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>, а при поражении шейно-грудного перехода – C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>, C<sub>7</sub>S, Th<sub>1</sub>S, T1A, NT, C6T, CrT.

При этом статистически значимая разница между группами отмечена только для параметра NT (критерий Краскела – Уоллиса:  $\chi^2 = 20,8029$ ;  $df = 6$ ;  $p = 0,0020$ ). При помощи критерия Данна с поправкой критического уровня значимости на множественные сравнения методом Холмса выявлена разница между нормальными показателями и группой шейно-грудных переходов после операции ( $p = 0,0190$ ; рис. 2; табл. 2).

**Таблица 1**  
 Изменение параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника в зависимости от уровня деструкции до и после хирургической коррекции, Ме (Q<sub>1</sub>–Q<sub>3</sub>)

Параметры	Норма	Субкраниальный (Ос–C <sub>2</sub> )		Субаксиальный (C <sub>3</sub> –C <sub>6</sub> )		Шейно-грудной переход (C <sub>7</sub> –Th <sub>1</sub> )	
		до коррекции	после коррекции	до коррекции	после коррекции	до коррекции	после коррекции
Ос–C <sub>2</sub> , град.	–23,0 (от –29,00 до –18,00)	–23,0 (от –37,00 до –18,00)	–23,0 (от –26,00 до –13,00)	–24,0 (от –34,50 до –16,00)	–22,5 (от –29,00 до –17,75)	–21,0 (от –28,25 до –18,50)	–21,0 (от –26,50 до –18,00)
C <sub>2</sub> –C <sub>7</sub> , град.	–7,0 (–18,00–2,00)	–5,0 (–13,00–0,00)	–7,5 (–22,50–1,00)	–6,0 (–10,00–1,50)	–10,0 (от –17,50 до –2,75)	–10,5 (–28,00–0,75)	–20,0 (от –23,50 до –6,00)
C <sub>7</sub> S, град.	24,0 (18,00–30,00)	27,0 (27,00–31,00)	18,5 (11,75–25,75)	19,0 (16,50–28,00)	24,0 (14,75–28,25)	25,0 (16,25–37,25)	35,0 (20,50–37,00)
Th <sub>1</sub> S, град.	28,0 (22,00–35,25)	33,0 (31,00–33,00)	22,0 (17,75–27,25)	24,0 (21,50–32,00)	28,0 (20,75–33,00)	25,0 (16,50–39,00)	34,0 (12,50–36,50)
T1A, град.	69,5 (61,25–78,00)	80,0 (78,00–81,00)	66,0 (60,00–69,50)	66,0 (60,25–73,50)	66,5 (61,25–75,75)	77,5 (66,00–95,50)	76,0 (70,00–95,5)
NT, град.	41,0 (36,00–46,00)	48,0 (46,00–50,00)	48,0 (39,50–51,00)	40,0 (38,00–45,75)	41,5 (33,25–44,00)	55,0 (41,25–60,50)	57,0 (43,00–63,50)
CeT, град.	21,0 (14,00–24,00)	17,0 (11,00–19,00)	14,5 (11,75–17,25)	18,0 (12,00–22,00)	18,0 (14,25–25,00)	15,0 (11,50–27,25)	18,0 (–2,50–24,00)
CrT, град.	9,0 (6,00–12,00)	17,0 (11,00–17,00)	4,5 (–0,50–10,00)	9,0 (6,00–13,00)	8,5 (3,00–13,00)	5,0 (2,25–19,50)	11,0 (7,00–18,50)
SCA, град.	80,0 (74,00–86,00)	81,0 (75,00–90,00)	82,5 (79,50–88,25)	86,0 (75,00–89,00)	84,5 (76,75–90,00)	82,5 (77,00–87,25)	80,0 (72,00–94,25)
cSVA, мм	24,0 (17,00–32,00)	24,5 (18,00–29,00)	13,0 (2,25–27,25)	19,0 (15,00–23,25)	20,0 (14,00–23,00)	18,0 (11,50–32,00)	24,0 (8,50–29,50)

Таблица 2

Значимость различий параметра NT между уровнями поражения до и после хирургического лечения (критерий Данна с поправкой Холмса,  $p \leq 0,025$ )

Уровни	Норма	Ос—C <sub>2</sub> до операции	Ос—C <sub>2</sub> после операции	C <sub>2</sub> —C <sub>6</sub> до операции	C <sub>2</sub> —C <sub>6</sub> после операции	C <sub>7</sub> —Th <sub>1</sub> до операции
C <sub>7</sub> —Th <sub>1</sub> после операции	Z = -3,1192 p = 0,0190	Z = 0,0092 p = 0,4963	Z = -1,1567 p = 1,0000	Z = -2,7781 p = 0,0519	Z = -2,9999 p = 0,0270	Z = -0,3755 p = 1,0000
C <sub>7</sub> —Th <sub>1</sub> до операции	Z = -2,5132 p = 0,1077	Z = 0,3086 p = 1,0000	Z = -0,8020 p = 1,0000	Z = -2,2597 p = 0,1907	Z = -2,4745 p = 0,1134	—
C <sub>2</sub> —C <sub>6</sub> после операции	Z = 0,3517 p = 1,0000	Z = 2,2460 p = 0,1853	Z = 1,2640 p = 1,0000	Z = 0,2717 p = 1,0000	—	—
C <sub>2</sub> —C <sub>6</sub> до операции	Z = 0,0217 p = 0,9827	Z = 2,0807 p = 0,2435	Z = 1,0753 p = 1,0000	—	—	—
Ос—C <sub>2</sub> после операции	Z = -1,1568 p = 1,0000	Z = 0,9636 p = 1,0000	—	—	—	—
Ос—C <sub>2</sub> до операции	Z = -2,2058 p = 0,1918	—	—	—	—	—

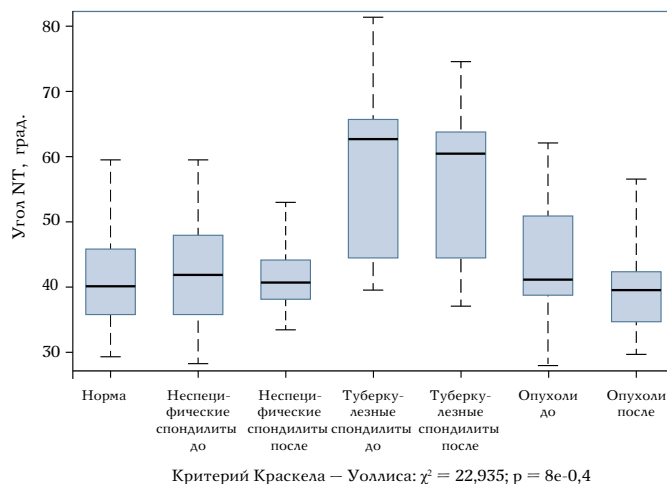


Рис. 3

Изменение параметра NT при деструктивной патологии различной этиологии до и после хирургической коррекции

Для оценки изменений сагиттального баланса в зависимости от этиологии процесса и отношения к хирургическому лечению (до/после) без учета уровня поражения данные разделены на нозологические группы. Результаты представлены в табл. 3.

Согласно полученным результатам, наибольшие изменения параметров, особенно TIA, NT, CeT, SCA и cSVA, отмечены при туберкулезном

спондилите, что отражено в девиации медианы и широком межквартильном размахе. Это соответствует большей протяженности поражения и наиболее частному вовлечению в патологический процесс шейно-грудного перехода (основания шеи) при данной этиологии [6].

В то же время статистически значимые отличия зафиксированы лишь для параметра NT (критерий Краскела – Уоллиса:  $\chi^2 = 22,935$ ; df = 6;

$p = 8e-0,4$ ). Для оценки межгрупповых различий выполнено попарное сравнение групп с использованием апостериорного критерия Данна с поправкой методом Холмса (рис. 3; табл. 4).

Апостериорный тест выявил различия параметра NT между послеоперационными группами туберкулезных спондилитов и опухолей ( $p = 0,0016$ ), а также между группой туберкулезных спондилитов после операции и группой нормы ( $p = 0,0013$ ). Отличие параметра NT у прооперированных пациентов с туберкулезным спондилитом от нормального, возможно, связано с протяженной реконструкцией в области шейно-грудного перехода.

В связи с наличием в когорте пациентов с протяженной деструкцией позвонков решено разделить детей на 2 группы: с короткой деструкцией (2 и менее позвонков) и протяженной деструкцией (3 и более). Такое разделение обусловлено данными о влиянии на исход хирургического лечения повреждения трех и более позвонков [7–10]. Результаты представлены в табл. 5.

Статистически значимые отличия зафиксированы для параметра NT (критерий Краскела – Уоллиса:  $\chi^2 = 17,856$ ; df = 4;  $p = 0,0013$ ) и для параметра cSVA (критерий Краскела – Уоллиса:  $\chi^2 = 11,6$ ; df = 4;  $p = 0,0206$ ; рис. 4, 5).

Таблица 3  
Изменение параметров в зависимости от этиологии деструкции до и после хирургической коррекции, Me ( $Q_1$ – $Q_3$ )

Параметры	Норма	Спондилиты				Опухоли	
		неспецифические до операции	неспецифические после операции	туберкулезные до операции	туберкулезные после операции	до операции	после операции
Ос–С <sub>2</sub> , град.	–23,0 (от –29,00 до –18,00)	–19,5 (от –24,50 до –13,75)	–23,5 (от –29,25 до –17,75)	–26,0 (от –33,00 до –20,00)	–20,0 (от –24,00 до –16,00)	–33,0 (от –35,00 до –21,00)	–23,0 (от –28,00 до –20,00)
С <sub>2</sub> –С <sub>7</sub> , град.	–7,0 (–18,00–2,00)	–4,0 (–11,00–1,50)	–10,5 (–12,50–1,00)	–10,0 (–31,00–1,00)	–22,0 (от –31,00 до –3,00)	–6,0 (–14,00–0,50)	–8,5 (от –22,25 до –3,00)
С <sub>7</sub> –S, град.	24,0 (18,00–30,00)	21,0 (16,50–30,00)	22,5 (15,75–26,25)	35,0 (16,00–38,00)	26,0 (19,00–35,00)	22,0 (17,00–31,00)	25,0 (14,00–31,25)
Т <sub>1</sub> –S, град.	28,0 (22,00–35,25)	24,0 (16,50–31,00)	27,0 (20,75–29,00)	40,0 (22,00–44,00)	30,0 (17,00–35,00)	25,0 (20,50–33,50)	27,5 (20,50–33,75)
Т <sub>1</sub> –А, град.	69,5 (61,25–78,00)	65,0 (59,75–74,75)	68,0 (63,00–73,50)	100,0 (68,00–124,00)	75,0 (69,00–94,00)	71,5 (61,25–79,75)	65,0 (58,75–75,25)
NT, град.	41,0 (36,00–46,00)	43,5 (36,50–48,00)	42,0 (38,00–45,50)	61,0 (46,00–65,00)	57,0 (46,00–62,00)	42,5 (38,00–50,25)	39,0 (31,75–44,00)
СеТ, град.	21,0 (14,00–24,00)	15,0 (11,50–18,75)	17,0 (14,75–19,75)	20,0 (–1,00–36,00)	18,0 (4,00–25,00)	17,0 (12,00–22,50)	15,5 (11,25–21,75)
СгТ, град.	9,0 (6,00–12,00)	9,0 (3,25–12,50)	9,0 (6,75–11,25)	20,0 (2,00–22,00)	8,0 (3,00–16,00)	9,0 (6,00–16,50)	9,5 (2,25–14,75)
SCA, град.	80,0 (74,00–86,00)	88,0 (78,75–90,25)	86,0 (82,50–93,50)	87,0 (86,00–102,00)	76,5 (69,50–90,50)	82,5 (72,50–87,00)	81,0 (79,00–87,00)
cSVA, мм	24,0 (17,00–32,00)	20,0 (13,00–23,00)	20,5 (10,00–24,25)	32,0 (7,00–38,00)	17,0 (14,00–26,00)	18,5 (15,00–28,50)	21,0 (7,00–27,00)

Таблица 4

Значимость различий параметра NT между деструктивными процессами различной этиологии до и после хирургического лечения (критерий Данна с поправкой Холмса;  $p \leq 0,025$ )

Нозологические группы	Норма	Спондилиты				Опухоли до операции	
		неспецифические до операции	неспецифические после операции	туберкулезные до операции	туберкулезные после операции	туберкулезные после операции	до операции
Опухоли после операции	Z = 0,8593 p = 1,0000	Z = 1,2589 p = 1,0000	Z = 0,8870 p = 1,0000	Z = 2,8066 p = 0,0476	Z = 3,7803 p = 0,0016	Z = 1,4308 p = 0,8387	–
Опухоли до операции	Z = –0,9362 p = 1,0000	Z = –0,0866 p = 0,9310	Z = –0,3767 p = 1,0000	Z = 1,8720 p = 0,3673	Z = 2,5275 p = 0,0919	–	–
Туберкулезные спондилиты после операции	Z = –3,8375 p = 0,0013	Z = –2,4686 p = 0,1017	Z = –2,5975 p = 0,0845	Z = 0,0501 p = 0,4800	–	–	–
Туберкулезные спондилиты до операции	Z = –2,5747 p = 0,0853	Z = –1,8757 p = 0,3945	Z = –2,0219 p = 0,3023	–	–	–	–
Неспецифические спондилиты после операции	Z = –0,3255 p = 1,0000	Z = 0,2812 p = 1,0000	–	–	–	–	–
Неспецифические спондилиты до операции	Z = –0,7428 p = 1,0000	–	–	–	–	–	–

Таблица 5

Изменение параметров в зависимости от протяженности деструкции до и после хирургической коррекции, Ме ( $Q_1$ – $Q_3$ )

Параметры	Норма	Короткая деструкция (до двух позвонков)		Протяженная деструкция (от трех позвонков)	
		до операции	после операции	до операции	после операции
Ос–С <sub>2</sub> , град.	–23,0 (от –29,00 до –18,00)	23,0 (от –34,00 до –15,25)	–23,0 (от –29,00 до –17,25)	–29,5 (от –36,00 до –21,50)	–21,0 (от –25,00 до –19,00)
С <sub>2</sub> –С <sub>7</sub> , град.	–7,0 (–18,00–2,00)	–6,0 (–13,50–1,25)	–10,0 (–18,00–1,50)	–2,5 (–24,50–0,75)	–21,5 (от –26,50 до –2,25)
С <sub>7</sub> S, град.	24,0 (18,00–30,00)	20,5 (16,75–31,25)	25,0 (14,50–28,50)	31,0 (18,75–37,25)	24,0 (17,50–36,00)
Th <sub>1</sub> S, град.	28,0 (22,00–35,25)	24,0 (19,75–33,00)	28,0 (20,00–32,50)	35,5 (19,75–43,00)	29,5 (12,75–36,00)
Т1А, град.	69,5 (61,25–78,00)	68,0 (60,50–77,00)	66,5 (61,75–76,00)	90,5 (68,25–118,00)	74,0 (65,75–94,75)
NT, град.	41,0 (36,00–46,00)	42,0 (38,00–48,00)	42,5 (35,50–45,00)	55,5 (48,50–64,00)	56,5 (45,00–62,75)
СеТ, град.	21,0 (14,00–24,00)	17,5 (12,50–22,25)	16,0 (12,00–20,50)	12,0 (2,00–30,25)	19,5 (0,75–26,50)
CrT, град.	9,0 (6,00–12,00)	8,5 (4,75–13,50)	9,0 (4,00–13,00)	19,5 (7,00–21,50)	7,0 (2,50–16,00)
SCA, град.	80,0 (74,00–86,00)	84,0 (75,00–89,00)	85,0 (80,00–90,00)	86,5 (84,00–95,25)	75,0 (68,00–86,50)
cSVA, мм	24,0 (17,00–32,00)	19,0 (13,50–23,75)	21,0 (12,50–27,00)	35,0 (17,75–38,00)	14,0 (7,75–24,50)

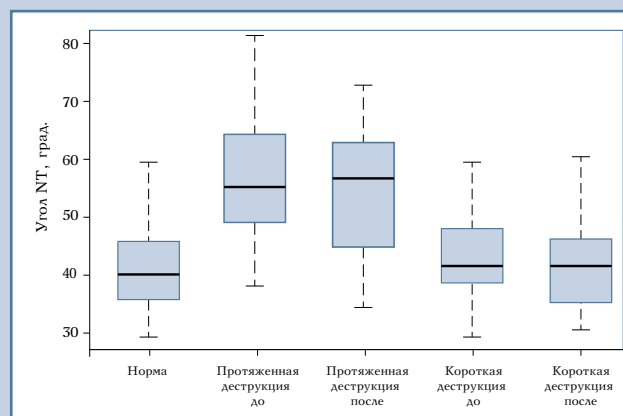


Рис. 4

Изменение параметра NT при различной протяженности деструкции позвонков до и после хирургической коррекции

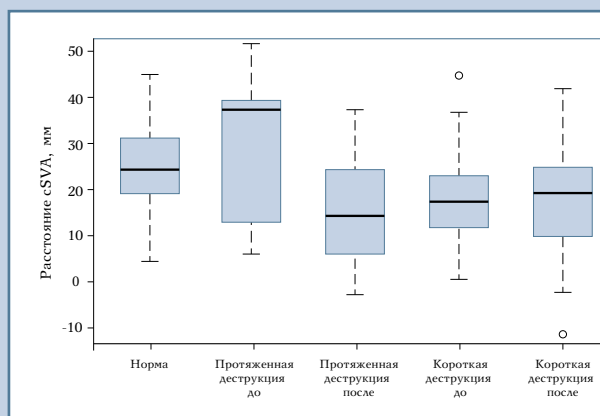


Рис. 5

Изменение параметра cSVA при различной протяженности деструкции позвонков до и после хирургической коррекции

Межгрупповое различие для параметра NT выявлялось попарным сравнением групп с использованием апостериорного критерия Данна с поправкой Холмса (табл. 6).

Отмечено, что параметр NT отличается от нормы при протяженной деструкции как до хирургического лечения, так и после. Короткая деструкция не приводит к значимому изменению параметра.

Для параметра cSVA данный тест не показал значимых различий, несмотря на критерий Краскела – Уоллиса, поэтому решено

использовать попарное сравнение при помощи критерия Манна – Уитни (табл. 7).

Критерий Манна – Уитни выявил значимые отличия от нормы коротких деструкций, которые перестали быть таковыми после хирургической коррекции. При этом параметр cSVA при протяженных деструкциях отличается от нормы только после хирургической реконструкции, что, возможно, связано со сложностью восстановления нормальной анатомии при поражении большого количества позвонков.

## Обсуждение

Полученные результаты могут быть объяснены как относительно малым количеством наблюдений в каждой группе и, соответственно, невозможностью уловить патологические отклонения от нормы, так и широкими возможностями адаптации уникального по своей мобильности шейного отдела позвоночника, компенсирующими данные отклонения.

Изучение изменений параметров сагиттального баланса представляет большой интерес с точки зрения объективной оценки патологии при дефор-



Таблица 6

Значимость различий параметра NT между нормой и деструктивными процессами различной протяженности до и после хирургического лечения (критерий Данна с поправкой Холмса;  $p \leq 0,025$ )

Протяженность деструкции	Норма	Протяженные деструкции ( $n \geq 3$ ) до операции	Протяженные деструкции ( $n \geq 3$ ) после операции	Короткие деструкции ( $n < 3$ ) до операции
Короткие деструкции ( $n < 3$ ) после операции	$Z = -0,0393$ $p = 0,4843$	$Z = 2,6906$ $p = 0,0250$	$Z = 2,94078$ $p = 0,0147$	$Z = 0,7399$ $p = 0,6890$
Короткие деструкции ( $n < 3$ ) до операции	$Z = -0,9177$ $p = 0,7176$	$Z = 2,2813$ $p = 0,0563$	$Z = 2,4170$ $p = 0,0469$	—
Протяженные деструкции ( $n \geq 3$ ) после операции	$Z = -3,2457$ $p = 0,0059$	$Z = 0,3915$ $p = 0,6954$	—	—
Протяженные деструкции ( $n \geq 3$ ) до операции	$Z = -2,8520$ $p = 0,0174$	—	—	—

Таблица 7

Значимость различий параметра cSVA между нормой и деструктивными процессами различной протяженности до и после хирургического лечения (критерий Манна — Уитни,  $p < 0,05$ )

Протяженность деструкции	Норма	Протяженные деструкции ( $n \geq 3$ ) до операции	Протяженные деструкции ( $n \geq 3$ ) после операции	Короткие деструкции ( $n < 3$ ) до операции
Короткие деструкции ( $n < 3$ ) после операции	$W = 1347,5$ $p = 0,0672$	$W = 125$ $p = 0,1428$	$W = 148$ $p = 0,3801$	$W = 362$ $p = 0,6511$
Короткие деструкции ( $n < 3$ ) до операции	$W = 1243$ $p = 0,0195$	$W = 109$ $p = 0,1401$	$W = 130$ $p = 0,4225$	—
Протяженные деструкции ( $n \geq 3$ ) после операции	$W = 621$ $p = 0,0212$	$W = 54$ $p = 0,1002$	—	—
Протяженные деструкции ( $n \geq 3$ ) до операции	$W = 159,5$ $p = 0,2745$	—	—	—

мациях позвоночника различного генеза, а также последующей оценки послеоперационной коррекции.

Поиск литературы показывает полное отсутствие информации, освещающей патологические изменения сагиттального профиля шейного отдела при деструкции позвонков. При этом крайне небольшое количество работ посвящено анализу сагиттального баланса у детей при врожденной патологии шейного отдела, а также компенсаторным изменениям в шее при деформациях нижележащих отделов.

А.А. Кулешов с соавт. [4] отмечают увеличение параметров  $C_7S$ ,  $Th_1S$ ,  $TIA$  у детей с синдромом Дауна, а также уменьшение по сравнению с нормой атлантаксиальных параметров ( $ADI$ ,  $SAC-C_1$ ,  $SAC-C_1/SAC-C_4$ ), что может быть причиной развития нестабильности на уровне  $C_1-C_2$  даже при отсутствии зубовидной кости.

Wu et al. [5] при сравнении показателей шейного сагиттального баланса у здоровых детей и у детей с установленной низкорослостью обнаружили значимое усиление шейного лордоза,  $T_1S$ , грудного кифоза и тенденцию к формированию сутулой осанки.

У подростков при болезни Шейермана и локализации вершины кифоза в грудном отделе исследователи отмечают увеличение  $C_2-C_7$ ,  $SeT$  и  $TIA$  по сравнению с нормой и локализацией кифоза в грудопоясничном переходе [11, 12], при этом усиление шейного лордоза происходит за счет  $C_4-C_6$  сегментов [12].

В ряде работ изучается влияние сколиотической деформации Lenke типов 1 и 2 на сагиттальный профиль шейного отдела. Исследователи единогласно утверждают, что выбор верхнего фиксируемого позвонка ( $Th_2-Th_4$ ) влияет на коррекцию

уровня надплечий и что шейный лордоз находится в прямой зависимости от грудного кифоза на уровне  $Th_1-Th_5$  (при гипокифозе на данном уровне уменьшается шейный лордоз) и параметра  $Th_1S$  [13–17]. Но при этом Legarreta et al. [16] и Ketenci et al. [17] указывают на то, что выбор верхнего фиксируемого позвонка от  $Th_3$  и выше приводит к значительному уменьшению шейного лордоза, в то время как остальные пишут об отсутствии такого влияния. При сколиозах типов Lenke 3 и 6 Yanik et al. [18] выявили зависимость шейного лордоза только от параметра  $Th_1S$  и кифоза на уровне  $Th_5-Th_{12}$ .

Han et al. [19] при хирургическом лечении ранних сколиозов при помощи растущих стержней обращают внимание на наибольшее влияние на дисбаланс шейного отдела позвоночника и, соответственно, на кри-

тическое изменение параметров  $C_2-C_7$ , cSVA и  $Th_1S$  проксимального смежного кифоза, избыточной коррекции грудного кифоза и самого параметра  $Th_1S$ .

Характерно, что Lee et al. [20] в рамках обзора большого числа литературных источников отметили, что большинство исследователей приводят сопоставимые величины NT. Предположив постоянство показателя, авторы представили алгоритм выбора уровня корригирующих вертебротомий при деформациях шейного отдела позвоночника в зависимости от параметра  $Th_1S$  и состояния шейно-грудного перехода и по собственным результатам получили статистически значимое изменение TIA и  $T_1S$  до и после операции с сохранением значения NT на дооперационном уровне. Они также указывают на возможные варианты компенсации/декомпенсации шейного кифоза за счет грудного и поясничного отделов.

Таким образом, можно констатировать, что изучение сагиттального баланса шейного отдела у детей и подростков при различной патологии является одной из наименее изученных тем современной вертебрыологии. Наши данные лишь представляют ограниченную информацию, фокусирующуюся на одном из редких вариантов такой патологии – деструктивных поражениях шейных позвонков.

### Заключение

Анализ изменений параметров сагиттального баланса шейного отдела позвоночника у детей при деструктивных процессах выявляет уровневую зависимость: при субокципитальном поражении больше изменялись параметры  $Os-C_2$  и CrT, при субаксиальном –  $Os-C_2$ ,  $C_2-C_7$ , а при поражении шейно-грудного перехода –  $C_2-C_7$ ,  $C_7S$ ,  $Th_1S$ , TIA, NT, CeT, CrT.

Установлена зависимость изменения параметров от числа пораженных позвонков, наибольшее значение которого наблюдали при туберкулезном спондилите. При этом самыми чувствительными параметрами, показывающими статистически значимые отклонения от нормы, являются NT и cSVA.

Требуется дальнейшее изучение вопросов биомеханики позвоночника в патологических условиях, что позволит лучше понимать происходящие изменения и предлагать эффективные способы коррекции и восстановления нормальной анатомии сегмента.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

### Литература/References

1. Глухов Д.А., Зорин В.И., Мальцева Я.А., Мушкин А.Ю. Сагиттальный баланс шейного отдела позвоночника у детей старше 4 лет: что считать нормой? // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19, № 4. С. 19–29. [Glukhov DA, Zorin VI, Maltseva YaA, Mushkin AYU. Sagittal balance of the cervical spine in children older than 4 years: what is the norm? Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2022;19(4):19–29]. DOI: 10.14531/ss2022.4.19-29
2. Qi H, Zhao Z, Gao X, Wang C, Zhang Z, Su D, Zu F, Xue R, Hou Z, Chen W, Zhang D. Normal spinopelvic parameters and correlation analysis in 217 asymptomatic children. Eur Spine J. 2024;33:2569–2576. DOI: 10.1007/s00586-024-08311-9
3. Qi H, Zhao Z, Zu F, Wang C, Wang C, Zhang Z, Ren J, Xue R, Wang Z, Hou Z, Chen W, Zhang D. Investigation of spinopelvic sagittal alignment and its correlations in asymptomatic pediatric populations. Sci Rep. 2025;15:6847. DOI: 10.1038/s41598-025-91481-3
4. Кулешов А.А., Назаренко А.Г., Шаров В.А., Ветрилэ М.С., Овсянкин А.В., Кузьминова Е.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Струнина Ю.В. Сравнительная характеристика параметров шейного сагиттального баланса и критериев атлантоаксиальной нестабильности у детей в норме и с синдромом Дауна // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2024. Т. 31, № 1. С. 55–66. [Kuleshov AA, Nazarenko AG, Sharov VA, Vetrile MS, Ovsyankin AV, Kuzminova ES, Lisyansky IN, Makarov SN, Strunina UV. Comparative characteristics of cervical sagittal balance parameters and atlantoaxial instability criteria in normal and Down syndrome children. N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics. 2024;31(1):55–66]. DOI: 10.17816/vto624245
5. Wu TH, Chen LL, Wen JX, Han SM, Zhong ZW, Guo Z, Cao L, Wu HZ, Yu BH, Gao BL, Wu WJ, Liu JC. Spinal sagittal and coronal morphology characteristics in children with short stature. Quant Imaging Med Surg. 2025;15:1383–1395. DOI: 10.21037/qims-24-992
6. Глухов Д.А., Мушкин А.Ю. Структура и клинические проявления опухолевой и инфекционно-воспалительной деструкции шейных позвонков у детей: данные 20-летней моноцентровой когорты // Медицинский альянс. 2023. Т. 11, № 4. С. 88–96. [Glukhov DA, Mushkin AYU. Structure and clinical manifestations of tumor and infectious destructive lesions of the cervical spine in children: 20-year single-center cohort data. Medical alliance. 2023;11(4):88–96]. DOI: 10.36422/23076348-2023-11-4-88-96
7. Vaccaro AR, Cirello J. The use of allograft bone and cages in fractures of the cervical, thoracic, and lumbar spine. Clin Orthop Relat Res. 2002;(394):19–26. DOI: 10.1097/00003086-200201000-00003
8. Daffner SD, Wang JC. Anterior cervical fusion: the role of anterior plating. Instr Course Lect. 2009;58:689–698.
9. Setzer M, Eleraky M, Johnson WM, Aghayev K, Tran ND, Vrionis FD. Biomechanical comparison of anterior cervical spine instrumentation techniques with and without supplemental posterior fusion after different corpectomy and discectomy combinations: Laboratory investigation. J Neurosurg Spine. 2012;16:579–584. DOI: 10.3171/2012.2.SPINE11611
10. Глухов Д.А., Мушкин А.Ю. Хирургическое лечение опухолей и спондилитов шейного отдела позвоночника у детей: что выявляет 20-летний моноцентровой опыт синдромного подхода? // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 1. С. 79–87. [Glukhov DA, Mushkin AYU. Surgical treatment of tumors and spondylitis of the cervical spine in children: what does 20-year monocentric experience with the syndromic approach reveal? Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(1):79–87]. DOI: 10.14531/ss2025.1.79-87

11. Jiang L, Qiu Y, Xu L, Liu Z, Wang Z, Sha S, Zhu Z. Sagittal spinopelvic alignment in adolescents associated with Scheuermann's kyphosis: a comparison with normal population. *Eur Spine J*. 2014;23:1420–1426. DOI: 10.1007/s00586-014-3266-2
12. Janusz P, Tyrakowski M, Kotwicki T, Siemionow K. Cervical sagittal alignment in Scheuermann disease. *Spine*. 2015;40:E1226–E1232. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001129
13. Hwang SW, Samdani AF, Tantorski M, Cahill P, Nydick J, Fine A, Betz RR, Antonacci MD. Cervical sagittal plane decompensation after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: an effect imparted by postoperative thoracic hypokyphosis. *J Neurosurg Spine*. 2011;15:491–496. DOI: 10.3171/2011.6.SPINE1012
14. Zhao J, Chen Z, Yang M, Li G, Zhao Y, Li M. Does spinal fusion to T2, T3, or T4 affects sagittal alignment of the cervical spine in Lenke 1 AIS patients: A retrospective study. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97:e9764. DOI: 10.1097/MD.00000000000009764
15. Moreira Pinto E, Alves J, de Castro AM, Silva M, Miradouro J, Teixeira A, Miranda A. High thoracic kyphosis: impact on total thoracic kyphosis and cervical alignment in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2020;8:647–653. DOI: 10.1007/s43390-020-00069-6
16. Legarreta CA, Barrios C, Rositto GE, Reviriego JM, Maruenda JJ, Escalada MN, Piza-Vallespir G, Burgos J, Hevia E. Cervical and thoracic sagittal misalignment after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: a comparative study of all pedicle screws versus hybrid instrumentation. *Spine*. 2014;39:1330–1337. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000403
17. Ketenci IE, Yanik HS, Erdem S. The effect of upper instrumented vertebra level on cervical sagittal alignment in Lenke 1 adolescent idiopathic scoliosis. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2018;104:623–629. DOI: 10.1016/j.otsr.2018.06.003
18. Yanik HS, Ketenci IE, Erdem S. Cervical sagittal alignment in extensive fusions for Lenke 3C and 6C scoliosis: the effect of upper instrumented vertebra. *Spine*. 2017;42:E355–E362. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001796
19. Han B, Hai JJ, Pan A, Wang Y, Hai Y. Machine learning analysis of cervical balance in early-onset scoliosis post-growing rod surgery: a case-control study. *Sci Rep*. 2025;15:2024. DOI: 10.1038/s41598-025-86330-2
20. Lee SH, Hyun SJ, Jain A. Cervical sagittal alignment: literature review and future directions. *Neurospine*. 2020;17:478–496. DOI: 10.14245/ns.2040392.196

**Адрес для переписки:**

Глухов Дмитрий Александрович  
Россия, 199004, Санкт-Петербург, Кадетская линия В.О., 13–15,  
Клиника высоких медицинских технологий  
им. Н.И. Пирогова СПбГУ,  
dmitriy.a.glukhov@gmail.com

**Address correspondence to:**

Glukhov Dmitrii Aleksandrovich  
Saint Petersburg State University Hospital,  
13/15 Kadetskaia Line, Vasilyevsky Island,  
St. Petersburg, 199004, Russia,  
dmitriy.a.glukhov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.05.2025

Рецензирование пройдено 30.05.2025

Подписано в печать 02.06.2025

Received 20.05.2025

Review completed 30.05.2025

Passed for printing 02.06.2025

Дмитрий Александрович Глухов, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова СПбГУ, Россия, 199004, Санкт-Петербург, Кадетская линия В.О., 13–15, eLibrary SPIN: 3376-2569, ORCID: 0000-0002-6880-8562, dmitriy.a.glukhov@gmail.com; Александр Юрьевич Мушкин, д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель центра патологии позвоночника, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 32; профессор кафедры травматологии и ортопедии, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8, eLibrary SPIN: 9373-4335, ORCID: 0000-0002-1342-3278, aymushkin@mail.ru.

Dmitrii Aleksandrovich Glukhov, MD, PhD, trauma orthopedist, Saint Petersburg State University Hospital, 13/15 Kadetskaia Line, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199004, Russia, eLibrary SPIN: 3376-2569, ORCID: 0000-0002-6880-8562, dmitriy.a.glukhov@gmail.com; Aleksandr Yuryevich Mushkin, DMSc, Prof., Leading Researcher, Head of the Scientific and Clinical Center for Spinal Pathology of Saint Petersburg Research Institute of Phthiopulmonology; 32 Politekhnicheskaya str., St. Petersburg, 194064, Russia; Professor of Traumatology and Orthopedics Department, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University; 6-8 L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, Russia, 197022, eLibrary SPIN: 9373-4335, ORCID 0000-0002-1342-3278, aymushkin@mail.ru.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СОМАТОСЕНСОРНЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ У ПАЦИЕНТОВ С МАЛОСИМПТОМНЫМИ ФОРМАМИ ЦЕНТРАЛЬНОГО СТЕНОЗА ПОЗВОНОЧНОГО КАНАЛА НА ШЕЙНОМ УРОВНЕ

Н.А. Бобряков<sup>1, 2</sup>, Э.В. Середа<sup>1, 2</sup>, С.И. Петров<sup>1, 2</sup>, А.Х. Джумабаев<sup>1</sup>, Ф.Г. Хамидуллин<sup>1</sup>, А.М. Цыренжапов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутская областная клиническая больница, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования — филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования, Иркутск, Россия

**Цель исследования.** Сравнительный анализ компонентов динамических соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) с верхних и нижних конечностей при различной степени центрального стеноза позвоночного канала на шейном уровне у пациентов с малосимптомным и бессимптомным течением заболевания.

**Материал и методы.** В ретроспективное моноцентровое исследование включили 56 пациентов (29 мужчин и 27 женщин; возраст  $54,8 \pm 9,6$  года) с центральным стенозом позвоночного канала на шейном уровне, обследованных в 2019–2024 гг. В соответствии с классификацией Kang et al. пациентов разделили на 3 группы: 1-я степень — 25 человек, 2-я степень — 23 человека, 3-я степень — 8 человек. У всех пациентов исследовали ССВП с верхних и нижних конечностей в нейтральном положении, в положениях сгибания и разгибания в шейном отделе позвоночника под углом  $45^\circ$ . При регистрации динамических ССВП с верхних конечностей оценивали изменения амплитуды коркового компонента N20, спинального компонента N13, а также межпикового интервала N9–N20. При регистрации динамических ССВП с нижних конечностей оценивали изменения амплитуды коркового компонента P38. Помимо оценки абсолютных значений показателей, рассчитывали индекс изменения показателей.

**Результаты.** В нейтральном положении между 1-й и 3-й группами выявлены статистически значимые различия по амплитуде компонентов N20, N13, P38 и межпиковому интервалу N9–N20. Также статистически значимые различия выявлены между 2-й и 3-й группами по N20, N13, P38 и интервалу N9–N20. При этом статистически значимых различий между 1-й и 2-й группами не выявлено. При оценке динамических ССВП у пациентов 1-й группы статистически значимо снижалась амплитуда N20 в положении разгибания и нарастала длительность N9–N20 в положении сгибания. Во 2-й группе, помимо статистически значимого снижения амплитуды N20 в положении разгибания и увеличения N9–N20 в положении сгибания, отмечалось статистически значимое снижение амплитуды N13 как в положении сгибания, так и при разгибании. В 3-й группе выявлено статистически значимое снижение амплитуды N13 при разгибании и P38 при сгибании. При анализе индекса изменения показателей значимых различий между группами не выявлено, однако зафиксированы статистически значимые различия для интервала N9–N20 между 1-й и 3-й группами, а также между 2-й и 3-й группами без статистически значимых различий между 1-й и 2-й группами.

**Заключение.** Применение динамических ССВП позволяет объективно оценить степень повреждения шейного отдела спинного мозга у пациентов с малосимптомным течением центрального стеноза позвоночного канала на шейном уровне различной степени. Необходимы дальнейшие мультицентровые исследования для уточнения референтных значений показателей динамических ССВП и с их учетом разработка четких критериев отбора кандидатов для хирургического лечения.

**Ключевые слова:** центральный стеноз позвоночного канала; малосимптомная компрессия шейного отдела спинного мозга; динамические соматосенсорные вызванные потенциалы.

**Для цитирования:** Бобряков Н.А., Середа Э.В., Петров С.И., Джумабаев А.Х., Хамидуллин Ф.Г., Цыренжапов А.М. Исследование динамических соматосенсорных вызванных потенциалов у пациентов с малосимптомными формами центрального стеноза позвоночного канала на шейном уровне // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 75–82.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.75-82>



## STUDY OF DYNAMIC SOMATOSENSORY EVOKED POTENTIALS IN PATIENTS WITH ASYMPTOMATIC CENTRAL CERVICAL SPINAL STENOSIS

N.A. Bobriakov<sup>1</sup>, E.V. Sereda<sup>1,2</sup>, S.I. Petrov<sup>1,2</sup>, A.Kh. Dzhumabaev<sup>1</sup>, F.G. Khamidullin<sup>1</sup>, A.M. Tsyrenzhapov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk Regional Clinical Hospital, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — a branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Irkutsk, Russia

**Objective.** To perform comparative analysis of the components of dynamic somatosensory evoked potentials (DSSEP) from the upper and lower extremities with varying grades of central cervical spinal stenosis (CSS) in patients with mildly symptomatic and asymptomatic course of the disease.

**Material and Methods.** The retrospective monocentric study included 56 patients (29 men and 27 women; age  $54.8 \pm 9.6$  years) with CSS examined in 2019–2024. In accordance with the grading system of Kang et al., patients were divided into three groups: Group 1 included 25 patients with grade 1, Group 2 — 23 people with grade 2, and Group 3 — 8 patients with grade 3. All patients underwent DSSEP examination from the upper and lower extremities in the neutral position and in flexion and extension positions of the neck at an angle of 45°. Changes in the amplitude of the cortical peak N20, the spinal peak N13 and the interpeak interval N9–N20 were assessed when recording dynamic DSSEPs from the upper extremities. The changes in the amplitude of the cortical peak P38 were assessed when recording DSSEPs from the lower extremities. In addition to assessing the absolute values of the indicators, the index of change in the indicators was calculated.

**Results.** In the neutral position, statistically significant differences were found between groups 1 and 3 in the amplitude of the N20, N13 and P38 components and the N9–N20 interpeak interval. Statistically significant differences were also found between groups 2 and 3 in N20, N13, P38 peaks and the N9–N20 interval. At the same time, statistically significant differences were not found between Groups 1 and 2. When assessing the dynamic SSEPs, patients in Group 1 showed a statistically significant decrease in the N20 amplitude in the extension position and an increase in the N9–N20 latency in the flexion position. In Group 2, in addition to a statistically significant decrease in the N20 amplitude in the extension position and an increase in N9–N20 latency in the flexion position, a statistically significant decrease in the N13 amplitude was noted both in the flexion position and during extension. In Group 3, a statistically significant decrease in the amplitude of N13 during extension and of P38 during flexion was revealed. When analyzing the index of change in the indicators, no significant differences were found between the groups, however, statistically significant differences were recorded for the N9–N20 interval between Group 1 and Group 3, as well as between Group 2 and Group 3 without statistically significant differences between Group 1 and Group 2.

**Conclusion.** The use of dynamic SSEPs allows for an objective assessment of the degree of damage to the cervical spinal cord in patients with asymptomatic central stenosis of the cervical spinal canal of varying grades. Further multicenter studies are needed to clarify the reference values of dynamic SSEP parameters and, taking them into account, to develop clear criteria for selecting candidates for surgical treatment.

**Key Words:** central stenosis of the spinal canal; asymptomatic compression of the cervical spinal cord; dynamic somatosensory evoked potentials.

Please cite this paper as: Bobriakov NA, Sereda EV, Petrov SI, Dzhumabaev AKh, Khamidullin FG, Tsyrenzhapov AM. Study of dynamic somatosensory evoked potentials in patients with asymptomatic central cervical spinal stenosis. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):75–82. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.75-82>

Спондилогенная цервикальная миелопатия – заболевание, в основе которого лежит дисфункция шейного отдела спинного мозга вследствие его статической и динамической компрессии, а также растяжения в результате дегенеративных изменений межпозвонковых дисков, фасеточных суставов, задней продольной и желтой связок, спондилеза, с развитием приобретенного центрального стеноза позвоночного канала на уровне одного или нескольких позвоночно-двигательных сегментов (ПДС) шейного отдела позвоночника (ШОП), имеющее различные клинические проявления [1, 2]. Рутинная нейрови-

зуализация, включающая МРТ и МСКТ ШОП, позволяет выявить стеноз позвоночного канала и аномалии сигнала при поражении шейного отдела спинного мозга [1]. Динамическое МРТ-исследование позволяет выявить признаки растяжения и/или переднего сдавления спинного мозга остеофитными шипами и выбухающими дисками во время сгибания, а также заднего сдавления дугой позвонка и гипертрофированной желтой связкой во время разгибания [3]. В ряде случаев в силу компенсаторных возможностей даже при наличии выраженных морфологических изменений клинические проявления могут

быть весьма неспецифичны или вовсе отсутствовать на момент осмотра, однако с течением времени с определенной частотой трансформироваться в спондилогенную цервикальную миелопатию с развернутой клинической картиной [1]. Нейрофизиологические исследования, использующиеся для оценки проведения нервного импульса по центральным и периферическим невральным структурам, в данном случае существенно дополняют данные МРТ и позволяют решить следующие задачи:

- выявление и количественная оценка дисфункции шейного отдела спинного мозга;

- исключение других нервно-мышечных заболеваний, имитирующих цервикальную миелопатию;
- прогноз прогрессирования неврологического дефицита;
- отбор кандидатов для хирургии;
- объективная количественная оценка результатов декомпрессивных операций.

Среди целого ряда методик, использующихся с этой целью, с которыми подробнее можно ознакомиться в обзоре Yu et al. [1], соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП) являются наиболее изученным и доступным исследованием. Еще в 1979 г. El Negamy et al. [4] впервые зарегистрировали статистически значимое увеличение латентности спинального компонента ССВП с верхних конечностей у пациентов с цервикальной миелопатией в сравнении со здоровыми испытуемыми. По мере накопления данных и с внедрением в клиническую практику методов нейровизуализации было показано, что снижение амплитуды и/или увеличение латентности компонентов ССВП с верхних и/или нижних конечностей у пациентов с бессимптомной компрессией шейного отдела спинного мозга является фактором риска появления или ухудшения клинической симптоматики в течение года и помогает с определенной долей вероятности прогно-

зировать развитие спондилогенной цервикальной миелопатии [5]. Внедрение в практику динамических ССВП (дССВП) с целью объективной оценки проводимости шейного отдела спинного мозга при различных положениях шеи открывает новые перспективы для прогнозирования развития цервикальной миелопатии и отбора для хирургического лечения пациентов с малосимптомным течением заболевания [6]. Предложены коэффициенты динамического изменения амплитуды коркового и спинального компонентов ССВП в положении сгибания и разгибания ШОП, путем статистической обработки рассчитаны их предельные значения, однако исследования выполнены на ограниченном количестве пациентов [7]. Более того, в литературе мы не встретили работ, посвященных изучению дССВП с различной степенью центрального стеноза позвоночного канала на шейном уровне.

Цель исследования – сравнительный анализ компонентов дССВП с верхних и нижних конечностей при различной степени центрального стеноза позвоночного канала на шейном уровне у пациентов с малосимптомным и бессимптомным течением заболевания.

Тип публикации – оригинальная статья. Уровень доказательности исследования – IV.

## Материал и методы

В ретроспективное моноцентровое исследование включено 56 пациентов (29 мужчин и 27 женщин; средний возраст –  $54,8 \pm 9,6$  года), обследованных в 2019–2024 гг. Ведущей причиной, заставившей пациентов пройти обследование, являлся болевой синдром по типу цервикалгии у 15 (26,8 %) пациентов и цервикобрахиалгии – у 31 (55,4 %), другие причины – у 7 (12,5 %), без симптомов в качестве скрининга – 3 (5,4 %). При исследовании неврологического статуса у всех пациентов отсутствовали развернутые объективные симптомы миелопатии: пирамидные знаки, двигательные и чувствительные нарушения, вегетативно-трофические нарушения, тазовые расстройства и др. Всем пациентам выполнили МРТ ШОП, по данным которой выявили центральный стеноз позвоночного канала на шейном уровне. В соответствии с классификацией Kang et al. [3] пациентов разделили на 3 группы по степени стеноза: 1-я степень – 25 человек (15 мужчин и 10 женщин,  $52,4 \pm 9,9$  года), 2-я степень – 23 человека (9 мужчин и 14 женщин,  $56,3 \pm 8,6$  года), 3-я степень – 8 человек (5 мужчин и 3 женщины,  $57,8 \pm 10,4$  года). Пациенты с многоуровневым стенозом распределялись по группам в соответствии с тем ПДС,

Таблица 1

Характеристика групп пациентов

Параметры	1-я группа	2-я группа	3-я группа	p
Количество пациентов, n	25	23	8	—
Возраст, лет	$52,4 \pm 9,9$	$56,3 \pm 8,6$	$57,8 \pm 10,4$	$>0,05$
Пол, n (%)				0,284
мужской	15 (60,0)	9 (39,1)	5 (62,5)	
женский	10 (40,0)	14 (60,9)	3 (37,5)	
Количество ПДС, n (%)				0,554
одноуровневый стеноз	14 (56,0)	10 (43,5)	5 (62,5)	
многоуровневый стеноз	11 (44,0)	13 (56,5)	3 (37,5)	
mJOA	17 (17–18)**	17 (16–18)*	16 (14,8–17)	$<0,05$

\*\* Статистически значимые различия между 1-й и 3-й группами при  $p < 0,05$ ; \* статистически значимые различия между 2-й и 3-й группами при  $p < 0,05$ ; ПДС – позвоночно-двигательный сегмент; mJOA – модифицированная шкала Японской ортопедической ассоциации.

**Таблица 2**

Классификация изменений корковых компонентов соматосенсорных вызванных потенциалов соответственно степени риска клинического ухудшения в течение года у пациентов с центральным стенозом шейного отдела позвоночника [5]

Частота встречаемости прогрессирования симптомов миелопатии	ССВП ВК	ССВП НК	ССВП ВК + НК
Класс I: нормальные лат. и ампл. ССВП с ВК и НК	2,6 %	18,8 %	0,0 %
Класс II: нормальная лат., снижена ампл. с ВК или НК	27,7 %	39,4 %	13,7 %
Класс III: нормальная ампл., увеличена лат. с ВК или НК	23,8 %	42,3 %	24,3 %
Класс IV: нормальная ампл., увеличена лат. с ВК и НК	86,7 %	83,3 %	91,1 %
Класс V: увеличена лат., снижена ампл. с ВК и/или НК	100,0 %	100,0 %	100,0 %

ССВП — соматосенсорные вызванные потенциалы; ВК — верхние конечности; НК — нижние конечности; лат. — латентность, ампл. — амплитуда.

в котором отмечалась наиболее выраженная степень стеноза. Группы статистически значимо не отличались по возрасту, полу и количеству ПДС, вовлеченных в патологический процесс. Клинический статус оценивали по модифицированной шкале Японской ортопедической ассоциации (m-JOA), степень дисфункции варьировала от легкой в 1-й и 2-й группах до умеренной в 3-й группе, средний балл в которой был статистически значимо ниже, чем в 1-й и 2-й группах (табл. 1).

Критерии исключения: наличие клинической картины тяжелой спондилогенной цервикальной миелопатии (менее 12 баллов по шкале m-JOA), наличие других заболеваний нервно-мышечной системы, обусловливавших тяжесть состояния пациента и преваляровавших в клинической картине.

Всем пациентам проводили исследование ССВП с верхних и нижних конечностей в положении лежа в нейтральной позиции на ровной поверхности, в позициях сгибания и разгибания в ШОП под углом 45°. Угол наклона регулировали с помощью подголовника кушетки и мягкой подставки для головы, использующейся при МСКТ-исследовании. ССВП с верхних конечностей регистрировали путем ритмической стимуляции срединного нерва кожными электродами, импульсами прямоугольной формы длительностью 0,2 мс, частотой 4,7–5,1 Гц, сила стимула 10–15 мА. Регистрировали усредненные ответы в следующих отведениях международной системы 10–20: ипсилатеральная – контралатеральная точки Эрба, остистый отросток

C<sub>2</sub> позвонка – Fz и отведения C3'/C4'–C4'/C3' в зависимости от стороны стимуляции. При регистрации дССВП с верхних конечностей оценивали изменения амплитуды компонентов N20, N13, а также времени центрального соматосенсорного проведения – межпикового интервала (МПИ) N9–N20.

ССВП с нижних конечностей регистрировали путем ритмической стимуляции большеберцового нерва со сходными параметрами, силой тока до 15–45 мА, регистрировали усредненные ответы в отведении Pz'–Fz международной системы 10–20. При регистрации дССВП с ниж-

**Таблица 3**

Показатели динамических соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП)

Компоненты ССВП	1-я группа	2-я группа	3-я группа
Амп. N20 neutral, мкВ	2,8 (2,0–3,5) <sup>++</sup>	2,4 (1,8–3,7) <sup>+</sup>	1,5 (0,9–2,9)
Амп. N20 flexion, мкВ	2,8 (2,0–3,6) <sup>**</sup>	2,4 (1,8–3,5) <sup>*</sup>	1,7 (0,8–2,8)
Амп. N20 extension, мкВ	2,6 (1,8–3,4) <sup>↓*</sup>	2,3 (1,7–3,7) <sup>↓*</sup>	1,7 (1,1–2,6)
ИИП, %	8,4 (4,0–14,2)	11,3 (5,0–17,6)	9,0 (4,6–21,7)
Амп. N13 neutral, мкВ	2,5 (1,8–3,1) <sup>++</sup>	2,5 (1,9–3,0) <sup>+</sup>	1,8 (1,5–2,1)
Амп. N13 flexion, мкВ	2,5 (2,0–2,9) <sup>++</sup>	2,4 (2,0–3,1) <sup>↓+</sup>	1,8 (1,3–2,0)
Амп. N13 extension, мкВ	2,5 (1,9–3,4) <sup>++</sup>	2,4 (1,7–2,9) <sup>↓+</sup>	1,5 (1,2–2,1) <sup>↓↓</sup>
ИИП, %	14,4 (5,5–39,2)	14,2 (6,2–33,0)	19,0 (7,2–26,0)
Амп. N9–N20 neutral, мкВ	9,2 (8,9–9,7) <sup>++</sup>	9,3 (8,9–9,7) <sup>+</sup>	10,8 (10–11,5)
Амп. N9–N20 flexion, мкВ	9,4 (9,0–10,0) <sup>↓↓++</sup>	9,4 (9,0–10,0) <sup>↓↓+</sup>	10,5 (9,9–11,3)
Амп. N9–N20 extension, мкВ	9,3 (8,8–9,8) <sup>**</sup>	9,3 (8,8–9,9) <sup>+</sup>	10,6 (9,2–11,6)
ИИП, %	3,0 (1,4–6,5) <sup>++</sup>	2,2 (1,2–4,3) <sup>+</sup>	5,9 (4,5–12,0)
Амп. P38 neutral, мкВ	0,83 (0,65–1,27) <sup>++</sup>	1,1 (0,5–1,7) <sup>+</sup>	0,58 (0,42–0,73)
Амп. P38 flexion, мкВ	0,85 (0,57–1,18) <sup>++</sup>	0,91 (0,47–1,86) <sup>+</sup>	0,52 (0,23–0,57) <sup>↓</sup>
Амп. P38 extension, мкВ	0,84 (0,66–1,17) <sup>++</sup>	0,90 (0,47–1,7) <sup>*</sup>	0,57 (0,38–0,76)
ИИП, %	16,9 (7,1–35,2)	11,8 (6,9–27,5)	15,8 (6,6–36,5)

Neutral — регистрация ССВП в нейтральной позиции шеи; flexion — регистрация ССВП в положении сгибания; extension — регистрация ССВП в положении разгибания; ИИП — индекс изменения показателей; МПИ — межпиковый интервал; Амп. — амплитуда; \* статистически значимые различия между 2-й и 3-й группами,  $p < 0,05$ ; \*\* статистически значимые различия между 1-й и 3-й группами,  $p < 0,05$ ; + статистически значимые различия между 2-й и 3-й группами,  $p < 0,01$ ; ++ статистически значимые различия между 1-й и 3-й группами,  $p < 0,01$ ; ↓ статистически значимые различия показателей ССВП в положении сгибания/разгибания в сравнении с нейтральным положением шеи,  $p < 0,05$ ; ↓↓ статистически значимые различия показателей ССВП в положении сгибания/разгибания в сравнении с нейтральным положением шеи,  $p < 0,01$ .

них конечностей оценивали изменения амплитуды компонента Р38. По латентности и амплитуде компонентов ССВП, зарегистрированных в нейтральном положении, пациентов классифицировали по степени риска прогрессирования миелопатии в течение года (табл. 2).

Помимо оценки абсолютных значений показателей, рассчитывали индекс изменения показателей (ИИП) по Qi et al. [7] как для амплитуды компонентов N20, N13 и Р38, так и для дифференцированной латентности МПИ N9–N20: (показатель положения сгибания – показатель положения разгибания) / показатель нейтрального положения × 100. Регистрацию ССВП проводили при помощи 4-канальных электронейромиографов Нейро-МВП-4 (Нейрософт, Россия) и Viking Quest v11.0 (Nicolet Biomedical, США).

Статистическую обработку результатов проводили с помощью онлайн-каль-

куляторов веб-ресурсов <https://www.psychol-ok.ru/>, <http://www.medstatistic.ru/>, <https://www.statskingdom.com/>, а также программы Microsoft Excel. Сравнение количественных показателей между группами выполняли с помощью критерия Стьюдента в случае нормального распределения или Манна – Уитни в случае ненормального распределения. Для определения нормальности распределения данных в группах использовали тест Шапиро – Уилка. Распределение считали нормальным при значении  $p \geq 0,05$ . Сравнение групп по качественным показателям проводили с помощью критерия  $\chi^2$ . Исследование динамики в группах выполняли с использованием критерия Мак-Немара. Все различия считали значимыми при  $p < 0,05$ .

Количественные данные в случае ненормального распределения представлены в виде Ме (Q1–Q3), где Ме – медиана, Q1 – первый квартиль, Q3 – третий квартиль; в случае нор-

мального распределения – как  $M \pm \sigma$ , где М – среднее значение,  $\sigma$  – стандартное отклонение. Качественные показатели представлены в виде абсолютных и относительных частот.

## Результаты

Латентность и амплитуда компонентов ССВП с верхней и нижней конечностей в нейтральной позиции, в положениях сгибания и разгибания представлены в табл. 3. При исследовании ССВП с верхней и нижней конечностей амплитуда компонентов N20 и N13 в 3-й группе была статистически значимо ниже, чем в 1-й и 2-й группах, хотя во всех трех группах медиана показателей была в пределах референтных значений. МПИ N9–N20, отражающий время центрального соматосенсорного проведения, в 3-й группе был статистически значимо выше, чем в 1-й и 2-й группах, а медиана превышала референтные значения (10,8 мс при норме 8,7–9,7 мс). При исследовании ССВП с нижних конечностей в нейтральном положении амплитуда компонента Р38 в 3-й группе была статистически значимо ниже, чем в 1-й и 2-й группах, во всех группах медиана показателя также была в пределах референтных значений. Значимых различий по вышеописанным показателям между 1-й и 2-й группами выявлено не было. Распределение ССВП по классам (рис.) также показало преобладание количества пациентов с высоким риском прогрессирования миелопатии в течение года в 3-й группе, тогда как в 1-й и 2-й группах преобладали пациенты с низким и умеренным риском. При оценке дССВП абсолютные средние значения амплитуды компонентов N20 и N13 в положениях сгибания и разгибания в 3-й группе были статистически значимо ниже, а МПИ N9–N20 – статистически значимо выше, чем в 1-й и 2-й группах, при этом не было статистически значимых различий между 1-й и 2-й группами. При исследовании динамики показателей у пациентов 1-й группы статистически значимо снижалась амплитуда N20 в положении раз-

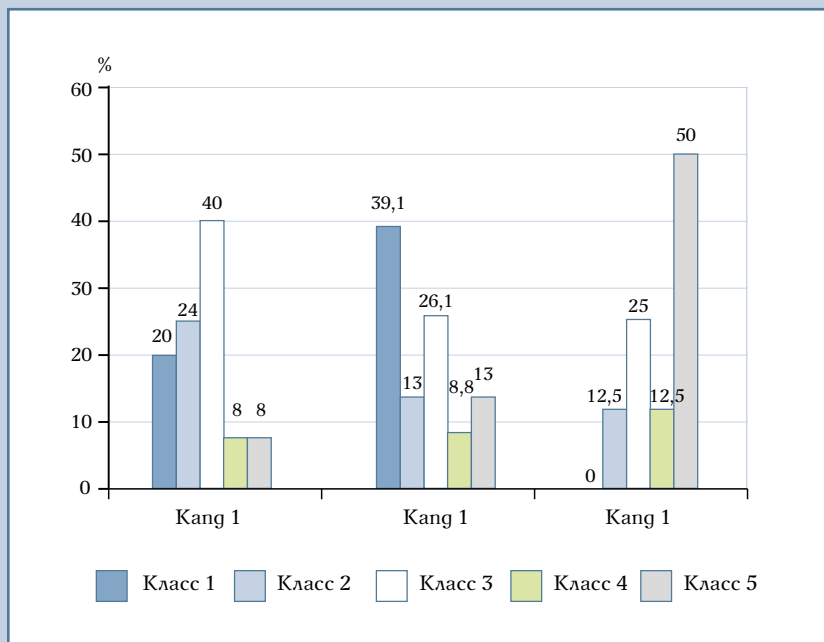


Рис.

Риск прогрессирования миелопатии в течение года по Feng et al. [5] у пациентов с различной степенью центрального стеноза позвоночного канала на шейном уровне: класс 1–5 – степени риска прогрессирования миелопатии в течение года; Kang 1, 2, 3 – степени спинального стеноза на шейном уровне по Kang et al. [3]



гибания и нарастала длительность МПИ N9–N20 в положении сгибания; во 2-й группе к вышеупомянутым изменениям, характерным для 1-й группы, присоединилось статистически значимое снижение амплитуды N13 как в положении сгибания, так и в положении разгибания. В 3-й группе выявлено лишь статистически значимое снижение амплитуды N13 в положении разгибания и амплитуды P38 в положении сгибания. При анализе ИИП значимых различий амплитудного индекса между группами не выявлено, однако ИИП для МПИ N9–N20 в 3-й группе был статистически значимо выше, чем в 1-й и 2-й группах, также без статистически значимых различий между 1-й и 2-й группами.

## Обсуждение

При исследовании ССВП в нейтральном положении в группе пациентов с центральным стенозом позвоночного канала на шейном уровне 3-й степени, у которых по данным МРТ имеются морфологические изменения в шейном отделе спинного мозга, зарегистрировано статистически значимое снижение амплитуды как спинального, так и коркового компонентов ССВП, а также статистически значимое увеличение времени центрального соматосенсорного проведения, что, в свою очередь, является фактором риска прогрессирования симптомов в течение года. Ни у одного пациента 3-й группы в нейтральном положении не выявлено нормы со стороны ССВП. Пациенты со стенозом позвоночного канала 1-й и 2-й степени, не имеющие морфологических изменений в шейном отделе спинного мозга, несмотря на разную степень компрессии по данным МРТ, не имеют и статистически значимых различий при регистрации ССВП в нейтральном положении. При регистрации дССВП у пациентов со стенозом позвоночного канала 1-й степени снижается амплитуда коркового компонента N20 в ответ на разгибание, что с позиций биомеханики можно объяснить сдавлением задних столбов шейного отдела спинного мозга гипертрофированной желтой связкой, а также увеличивается МПИ N9–N20 в положении сгибания, что, вероят-

но, обусловлено растяжением спинного мозга. Scheuren et al. [9] в недавнем исследовании показали, что пациенты с многоуровневыми отклонениями от нормы при регистрации дерматомных контактных тепловых вызванных потенциалов имеют более высокую степень краниокаудального смещения спинного мозга по данным фазово-контрастной МРТ в сравнении с контрольной группой, что подтверждает наши предположения [8]. При регистрации дССВП у пациентов со стенозом позвоночного канала 2-й степени вышеописанные изменения сохраняются, однако к ним присоединяется статистически значимое снижение амплитуды спинального компонента N13 как при сгибании, так и при разгибании. Эксперименты на грызунах показали, что при сгибании в ШОП по данным МРТ увеличивается интенсивность интрамедуллярного сигнала в режиме T2WI, снижается кровоток в шейном отделе спинного мозга по данным лазерной доплеровской фотометрии, результатом чего является его ишемия [9]. Поскольку ишемия нервных структур приводит прежде всего к снижению амплитуды компонентов ССВП, мы предположили, что снижение амплитуды спинального компонента N13 связано с присоединением сосудистого фактора у пациентов 2-й группы. При регистрации дССВП у пациентов со стенозом позвоночного канала 3-й степени статистически значимое снижение амплитуды отмечено лишь для спинального компонента N13 при разгибании и для коркового компонента P38 при сгибании. Возможно, это связано с относительно малым числом наблюдений, поскольку проводился отбор пациентов с бессимптомным или малосимптомным течением заболевания, а у пациентов с центральным стенозом позвоночного канала на шейном уровне 3-й степени имеется уже, как правило, развернутая клиническая картина спондилогенной цервикальной миелопатии. Любопытно, что индекс изменения амплитуды, предложенный Qi et al. [7], статистически значимо не отличался во всех группах для всех компонентов ССВП с верхних и нижних конечностей, однако ИИП для МПИ N9–N20 был статистически значимо выше у пациентов со стено-

зом позвоночного канала 3-й степени, чем у пациентов со стенозом 1-й и 2-й степени, на основании чего можно предположить, что у пациентов со стенозом позвоночного канала 3-й степени в условиях уже сформировавшихся морфологических изменений шейного отдела спинного мозга вследствие хронической компрессии и ишемии при динамических пробах из повреждающих факторов преобладает растяжение спинного мозга. С другой стороны, можно предположить, что индекс изменения длительности МПИ N9–N20 при регистрации дССВП более чем 6 % является наиболее значимым маркером повреждения шейного отдела спинного мозга вследствие его растяжения, характерным для пациентов со стенозом позвоночного канала 3-й степени, и должен учитываться в первую очередь при оценке риска прогрессирования симптомов и отбора кандидатов для хирургии.

## Заключение

Применение дССВП позволяет объективно оценить степень повреждения шейного отдела спинного мозга у пациентов с малосимптомным течением центрального стеноза позвоночного канала на шейном уровне различной степени. При отборе кандидатов для хирургического лечения решающее значение имеет снижение амплитуды как коркового, так и спинального компонентов ниже референтных значений или на 50 % от исходных значений, а также индекс изменения времени центрального соматосенсорного проведения. Необходимы дальнейшие мультицентровые исследования для уточнения референтных значений показателей дССВП и с учетом их разработка четких критериев отбора кандидатов для хирургического лечения.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

1. Yu Z, Pan W, Chen J, Peng X, Ling Z, Zou X. Application of electrophysiological measures in degenerative cervical myelopathy. *Front Cell Dev Biol.* 2022;10:834668. DOI: 10.3389/fcell.2022.834668
2. Nouri A, Tetreault L, Singh A, Karadimas SK, Fehlings MG. Degenerative cervical myelopathy: epidemiology, genetics, and pathogenesis. *Spine.* 2015;40:E675–E693. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000913
3. Kang Y, Lee JW, Koh YH, Hur S, Kim SJ, Chai JW, Kang HS. New MRI grading system for the cervical canal stenosis. *AJR Am J Roentgenol.* 2011;197:W134–W140. DOI: 10.2214/AJR.10.5560
4. El Negamy E, Sedgwick EM. Delayed cervical somatosensory potentials in cervical spondylosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1979;42:238–241. DOI: 10.1136/jnnp.42.3.238
5. Feng X, Hu Y, Ma X. Progression prediction of mild cervical spondylotic myelopathy by somatosensory-evoked potentials. *Spine.* 2020;45:E560–E567. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003348
6. Morishita Y, Maeda T, Ueta T, Naito M, Shiba K. Dynamic somatosensory evoked potentials to determine electrophysiological effects on the spinal cord during cervical spine extension: clinical article. *J Neurosurg Spine.* 2013;19:288–292. DOI: 10.3171/2013.5.SPINE.12933
7. Qi Q, Huang S, Ling Z, Chen Y, Hu H, Zhan P, Zhang B, Zou X, Peng X. A new diagnostic medium for cervical spondylotic myelopathy: dynamic somatosensory evoked potentials. *World Neurosurg.* 2020;133:e225–e232. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.08.205
8. Yu Z, Cheng X, Chen J, Huang Z, He S, Hu H, Lin S, Zou Z, Huang F, Chen B, Wan Y, Peng X, Zou X. Spinal cord parenchyma vascular redistribution underlies hemodynamic and neurophysiological changes at dynamic neck positions in cervical spondylotic myelopathy. *Front Neuroanat.* 2021;15:729482. DOI: 10.3389/fnana.2021.729482
9. Scheuren PS, Hupp M, Pfender N, Seif M, Zipser CM, Wanivenhaus F, Spirig JM, Betz M, Freund P, Schubert M, Farshad M, Curt A, Hubli M, Rosner J. Contact heat evoked potentials reveal distinct patterns of spinal cord impairment in degenerative cervical myelopathy beyond MRI lesions. *Eur J Neurol.* 2025;32:e70001. DOI: 10.1111/enc.70001

### Адрес для переписки:

Бобрjakов Николай Алексеевич  
 664049, Россия, Иркутск, Юбилейный микрорайон, 100,  
 Иркутская областная клиническая больница,  
 irkutsk102013@gmail.com

### Address correspondence to:

Bobriakov Nikolai Alekseyevich  
 Irkutsk Regional Clinical Hospital,  
 100 Yubileiny microdistrict, Irkutsk, 664049, Russia,  
 irkutsk102013@gmail.com

Статья поступила в редакцию 19.02.2025

Рецензирование пройдено 31.03.2025

Подписано в печать 20.04.2025

Received 19.02.2025

Review completed 31.03.2025

Passed for printing 20.04.2025

Николай Алексеевич Бобрjakов, врач функциональной диагностики нейрохирургического отделения, Иркутская областная клиническая больница, Россия, 664049, Иркутск, Юбилейный микрорайон, 100, eLibrary SPIN: 3583-0970, ORCID: 0000-0003-3818-2957, irkutsk102013@gmail.com;  
 Эдуард Валерьевич Серед, ассистент кафедры неврологии и нейрохирургии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования; врач-нейрохирург, нейрохирургическое отделение, Иркутская областная клиническая больница, Россия, 664049, Иркутск, Юбилейный микрорайон, 100, ORCID: 0000-0003-4288-4126, evsereda@bk.ru;

Сергей Иннокентьевич Петров, канд. мед. наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования; врач-нейрохирург, заведующий нейрохирургическим отделением, Иркутская ордена профессионального образования; врач-нейрохирург, Иркутская областная клиническая больница, Россия, 664049, Иркутск, Юбилейный микрорайон, 100, ORCID: 0000-0002-5132-5417, neuropet@gmail.com;

Алишер Худайбергенович Джумабаев, врач-нейрохирург, нейрохирургическое отделение, Иркутская областная клиническая больница, Россия, 664049, Иркутск, Юбилейный микрорайон, 100, ORCID: 0000-0002-6799-9184, docalidoc@gmail.com;

Фарид Гизельевич Хамидуллин, врач-нейрохирург, нейрохирургическое отделение, Иркутская областная клиническая больница, Россия, 664049, Иркутск, Юбилейный микрорайон, 100, ORCID: 0000-0001-5712-9671, Fsr.kut19-58@mail.ru;

Ананда Мыжыгторжиевич Цыренжапов, врач-нейрохирург, нейрохирургическое отделение, Иркутская областная клиническая больница, Россия, 664049, Иркутск, Юбилейный микрорайон, 100, ORCID: 0000-0003-3170-0766, ananda.tsyrenzbaev@mail.ru.

Nikolai Alekseyevich Bobriakov, neurophysiologist of Neurosurgery Department, Irkutsk Regional Clinical Hospital, 100 Yubileiny microdistrict, Irkutsk, 664049, Russia, eLibrary SPIN: 3583-0970, ORCID: 0000-0003-3818-2957, irkutsk102013@gmail.com;

Eduard Valeryevich Sereda, teaching assistant of the Neurology and Neurosurgery Department, neurosurgeon of the highest qualification category, neurosurgery department, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – a branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Irkutsk Regional Clinical Hospital, 100 Yubileiny microdistrict, Irkutsk, 664049, Russia, ORCID: 0000-0003-4288-4126, evsereda@bk.ru;

Sergei Innokentyevich Petrov, MD, PhD, teaching assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery of the Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – a branch of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, neurosurgeon of the high-

*est qualification category, Head of the Neurosurgical Department, Irkutsk Regional Clinical Hospital, 100 Yubileiny microdistrict, Irkutsk, 664049, Russia, ORCID: 0000-0002-5132-5417, neuropet@gmail.com;*

*Alisber Khudailbergenovich Dzhumabaev, neurosurgeon, Neurosurgery Department, Irkutsk Regional Clinical Hospital, 100 Yubileiny microdistrict, Irkutsk, 664049, Russia, ORCID: 0000-0002-6799-9184, docalidoc@gmail.com;*

*Farid Gigeljevich Khamidullin, neurosurgeon of the highest qualification category, Neurosurgery Department, Irkutsk Regional Clinical Hospital, 100 Yubileiny microdistrict, Irkutsk, 664049, Russia, ORCID: 0000-0001-5712-9671, Fsr.kut19-58@mail.ru;*

*Ananda Myzhytdorzhievich Tsyrenzhapov, neurosurgeon, Neurosurgery Department, Irkutsk Regional Clinical Hospital, 100 Yubileiny microdistrict, Irkutsk, 664049, Russia, ORCID: 0000-0003-3170-0766, ananda.tsyrenzhapov@mail.ru.*



# ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЗВОНОЧНИКА И СПИННОГО МОЗГА В БОЕВЫХ КОНФЛИКТАХ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И МЕТААНАЛИЗ

В.А. Мануковский<sup>1, 2</sup>, А.О. Келин<sup>1, 2</sup>, Г.И. Антонов<sup>1, 2</sup>, Г.Е. Чмутин<sup>2</sup>, Г.В. Данилов<sup>3</sup>, Ю.В. Струнина<sup>3</sup>,  
И.И. Иванов<sup>1</sup>, А.А. Гюльзатян<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий —  
Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневого, Красногорск, Россия

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

<sup>3</sup>Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии  
им. акад. Н.Н. Бурденко, Москва, Россия

<sup>4</sup>Научно-исследовательский институт — Краевая клиническая больница № 1  
им. проф. С.В. Очаповского, Краснодар, Россия

**Цель исследования.** Изучение эпидемиологии и клинических особенностей травм и ранений позвоночника в условиях боевых действий.

**Материал и методы.** В соответствии с рекомендациями Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) выполнен систематический отбор литературы с использованием баз данных PubMed и Cochrane Library. Статистический анализ данных проведен с помощью языка статистического программирования R в интегрированной среде разработки RStudio. Для метаанализа использовали библиотеки *meta* и *metafor*. Для расчета доверительного интервала обобщенных эффектов использовали поправку Кнэпп — Hartung.

**Результаты.** Из 30 полнотекстовых статей 11 соответствовали необходимым критериям и включены в настоящий обзор с оценкой по STROBE. Средний возраст раненых составляет 26,58 года (95 % ДИ: 25,8–27,4 года;  $I^2 = 0$  %;  $p = 0,65$ ), мужчины — 98 % (95 % ДИ: 98–99;  $I^2 = 37$  %;  $p = 0,1$ ), закрытая травма позвоночника установлена в 47,11 % случаев (95 % ДИ: 28,83–66,19 %;  $I^2 = 99$  %;  $p < 0,01$ ), огнестрельные ранения — 43,64 % (95 % ДИ: 23,94–65,59 %;  $I^2 = 99$  %;  $p < 0,01$ ). Повреждения шейного отдела зарегистрированы в 32,13 % случаев (95 % ДИ: 17,75–50,94 %;  $I^2 = 95,1$  %;  $p < 0,01$ ), грудного — в 34,28 % (95 % ДИ: 22,58–48,27 %;  $I^2 = 88$  %;  $p < 0,01$ ), поясничного — в 57,16 % (95 % ДИ: 44,52–68,92 %;  $I^2 = 97,5$  %;  $p < 0,01$ ), крестца — в 21,23 % (95 % ДИ: 16,99–26,21 %;  $I^2 = 76$  %;  $p < 0,01$ ).

**Заключение.** Результаты подчеркивают особенности современной эпидемиологии боевых травм и ранений позвоночника и спинного мозга. Для конфликтов XXI в. характерно преобладание минно-взрывного действия; как правило, страдают люди молодого возраста, в подавляющем большинстве — мужчины; не менее 30 % раненых с огнестрельными повреждениями позвоночника требуют хирургическое лечение. Абсолютное большинство авторов выбирают изолированную заднюю фиксацию. К наиболее частым осложнениям относят тромбоэмболические, инфекции мочевыводящих путей, пневмонии и пролежни.

**Ключевые слова:** боевые повреждения позвоночника; травма позвоночника и спинного мозга; огнестрельные ранения позвоночника; метаанализ повреждений позвоночника, спинного мозга.

Для цитирования: Мануковский В.А., Келин А.О., Антонов Г.И., Чмутин Г.Е., Данилов Г.В., Струнина Ю.В., Иванов И.И., Гюльзатян А.А. Повреждения позвоночника и спинного мозга в боевых конфликтах: систематический обзор литературы и метаанализ // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 83–95.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.83-95>

COMBAT RELATED SPINE AND SPINAL CORD INJURIES: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW AND META-ANALYSIS

V.A. Manukovskiy<sup>1, 2</sup>, A.O. Kelin<sup>1, 2</sup>, G.I. Antonov<sup>1, 2</sup>, G.E. Chmutin<sup>2</sup>, G.V. Danilov<sup>3</sup>, Yu.V. Strunina<sup>3</sup>, I.I. Ivanov<sup>1</sup>, A.A. Gulzatyan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Central Military Clinical Hospital n.a. A.A. Vishnevsky, Krasnogorsk, Russia

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

<sup>3</sup>N.N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Research Institute — Regional Clinic Hospital No. 1 n.a. Prof. S.V. Ochapovsky, Krasnodar, Russia

**Objective.** To study the epidemiology and clinical features of spinal injuries and wounds in combat situations.

**Material and Methods.** A systematic literature review was conducted in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines using PubMed and Cochrane Library databases. Statistical analysis of the data was



performed using the R statistical programming language in the RStudio integrated development environment. The *meta* and *metafor* libraries were used for meta-analysis. The Knapp–Hartung correction was used to calculate the confidence intervals of the pooled effects.

**Results.** Of the 30 full-text articles, 11 met the required criteria and were included in this review with STROBE assessment. The mean age of the injured was 26.58 years (95 % CI: 25.8–27.4 years;  $I^2 = 0$  %;  $p = 0.65$ ), males accounted for 98 % (95 % CI: 98–99;  $I^2 = 37$  %;  $p = 0.1$ ), closed spinal cord injury was diagnosed in 47.11 % of cases (95 % CI: 28.83–66.19 %;  $I^2 = 99$  %;  $p < 0.01$ ), and gunshot wounds – in 43.64 % (95 % CI: 23.94–65.59 %;  $I^2 = 99$  %;  $p < 0.01$ ). Cervical injuries were recorded in 32.13 % of cases (95 % CI: 17.75–50.94 %;  $I^2 = 95.1$  %;  $p < 0.01$ ), thoracic injuries – in 34.28 % (95 % CI: 22.58–48.27 %;  $I^2 = 88$  %;  $p < 0.01$ ), lumbar injuries – in 57.16 % (95 % CI: 44.52–68.92 %;  $I^2 = 97.5$  %;  $p < 0.01$ ), and sacral – in 21.23 % of cases (95 % CI: 16.99–26.21 %;  $I^2 = 76$  %;  $p < 0.01$ ).

**Conclusion.** The results emphasize the peculiarities of the modern epidemiology of combat related spine and spinal cord injuries and wounds. Conflicts of the 21st century are characterized by the predominance of mine and explosive action; as a rule, young people suffer, the overwhelming majority of them are men; at least 30 % of wounded with gunshot injuries to the spine require surgical treatment. The vast majority of authors choose isolated posterior fixation. The most common complications include thromboembolic complications, urinary tract infections, pneumonia and bedsores.

**Key words:** combat spinal injuries; spine and spinal cord injury; gunshot wounds of the spine; meta-analysis of the spine and spinal cord injuries.

Please cite this paper as: Manukovskiy VA, Kelin AO, Antonov GI, Chmutin GE, Danilov GV, Strunina YuV, Ivanov II, Gulzatyan AA. Combat related spine and spinal cord injuries: a systematic literature review and meta-analysis. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2025;22(2):83–95. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.83-95>

Ранения позвоночника характеризуются высокой летальностью, тяжелой стойкой инвалидизацией, большим количеством осложнений [1]. На протяжении XX–XXI вв. доля поврежденных позвоночника и спинного мозга варьирует от 1,2 % в Корейской войне 1950–1953 гг. до 7,4 % от всех потерь во время военной операции США в Ираке [2, 3]. Во время Великой Отечественной войны ранения позвоночника составляли от 0,3 до 1,5 % на разных фронтах [4]. Широкое применение высокоточного огнестрельного оружия изменило характер получаемых ранений: осколочные ранения стали превалировать над пулевыми в структуре огнестрельных повреждений [5], при этом отмечено как увеличение доли спинальной патологии в общей структуре травм и ранений, так и улучшение организации эвакуации и диагностических процедур. Ранения позвоночника, получаемые в местах военных конфликтов, отличаются от травм мирного времени, что в первую очередь связано с высокой долей сочетанных ранений [6, 7].

Цель исследования – изучение эпидемиологии и клинических особенностей травм и ранений позвоночника в условиях боевых действий, а также обобщение изученных показателей

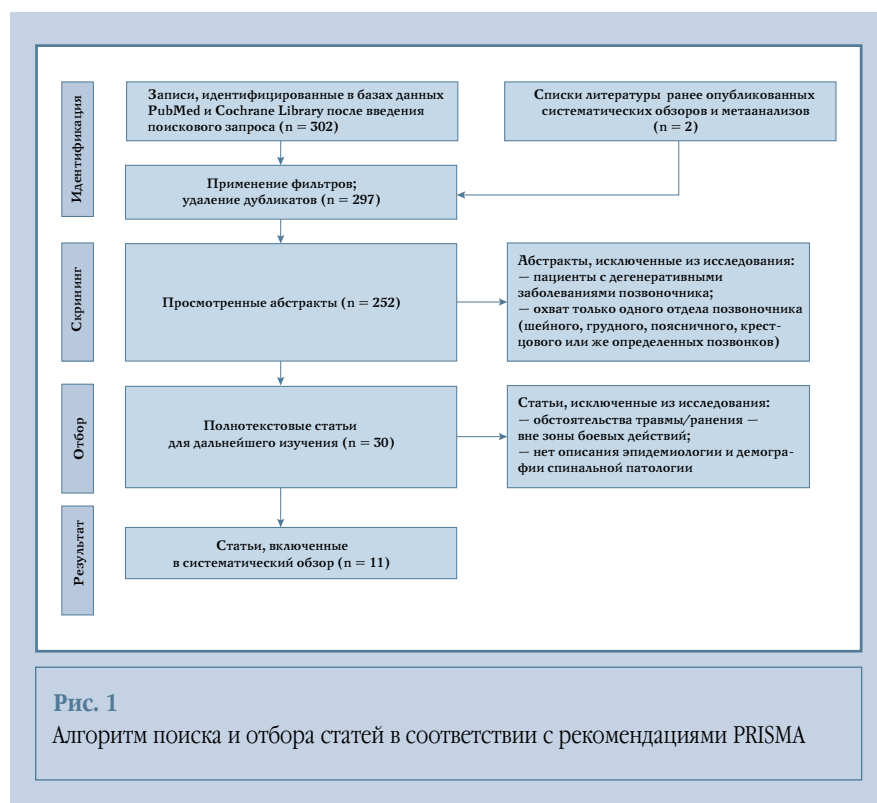
с использованием систематического обзора литературы и метаанализа.

## Материал и методы

### Отбор статей

Систематический отбор литературы проводили в соответствии с рекомендациями Preferred Reporting Items for

Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) [8]. Основной поиск выполняли с использованием баз данных PubMed (раздел Medline) и Cochrane Library. Запросы содержали следующие ключевые слова: stabilization AND combat AND spine trauma; combat-related AND spinal fracture; unstable AND combat AND spinal



fracture; ((Schoenfeld[Author]) AND (spine)) AND (trauma)); ((«spinal fracture») OR («spinal injury»)) AND ((«military») OR («combatants»)) AND ((«treatment») OR («stabilization») OR («fixation»)); («Combantant» OR «Military») AND («spine injury» OR «spine fracture»); combat spine injury. Временной диапазон поиска включал интервал с 2000 г. по сентябрь 2024 г., отбирали исследования, связанные исключительно с людьми (рис. 1).

Исходно изучены аннотации и полные тексты работ. В систематический обзор вошли оригинальные статьи, описывающие эпидемиоло-

гию, демографию боевой патологии позвоночника. Статьи типа «клинический случай», «экспериментальная работа», «тезисы докладов на конференциях», «систематический обзор» в исследование не включали. В табл. 1 представлены критерии включения и невключения статей в исследование.

#### Сбор данных

Данные из каждой статьи вносили в таблицу Microsoft Excel. Если соответствующая информация в тексте статьи отсутствовала, в ячейки вводили значение NA (англ. Not Available – недоступно). Базовая информация включала фамилию

и инициалы авторов, год и дизайн исследования, оценку соответствия статьи рекомендациям STROBE (описание ниже), количество участников, средний возраст, пол, вид повреждения (закрытая травма/огнестрельное ранение), распределение по отделам позвоночника, начальный неврологический дефицит по American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale (AIS), сведения о выполненных нейрохирургических операциях (задний, передний, циркулярный спондилодез, герметизация твердой мозговой оболочки, декомпрессия позвоночного канала), динамике неврологического дефицита, осложнениях. Все отобранные статьи оценены на соответствие рекомендациям по улучшению качества отчетов о наблюдательных исследованиях в эпидемиологии (STROBE) [9]. Соблюдение требований по пунктам чек-листа STROBE оценивали 0 баллов (при его невыполнении) или как 1 балл (при соблюдении рекомендаций). Если пункт содержал множество подпунктов (то есть пункты 1, 6, 12, 13, 14 и 16), присваивали 1 балл при условии, что большинство подпунктов были выполнены. При использовании контрольного списка максимальный балл в 22 пункта указывал бы на то, что статья соответствует требованиям, предъявляемым к публикациям высокого методологического качества.

#### Статистический анализ

Статистический анализ данных проводили с помощью языка статистического программирования и среды R (версия 3.6.1) в IDE RStudio (версия 1.3.1093). Поскольку мы ожидали значительную методологическую и статистическую гетерогенность в изученных исследованиях, для вычисления размеров эффектов использовали модель смешанных эффектов. Для расчета дисперсии неоднородности  $\tau^2$  использовали ограниченную оценку максимального правдоподобия [10]. Для расчета доверительного интервала обобщенного эффекта использовали поправку Кнапп и Hartung [11]. Оценку гете-

Таблица 1

Критерии включения и невключения статей в исследование

Критерии включения	Критерии невключения
Объектом исследования являются пациенты, получившие травму или ранение позвоночника в условиях боевых действий	Объектом исследования являются пациенты, получившие травму или ранение позвоночника вне зоны боевых действий
Исследование охватывает эпидемиологию повреждения всех отделов позвоночника	Объектом исследования являются пациенты с дегенеративными заболеваниями позвоночника
Дата исследования — с 2000 г. по сентябрь 2024 г.	Исследование описывает повреждение только одного отдела позвоночника (шейного, грудного, поясничного, крестцового или определенных позвонков)
Наличие в доступе полнотекстовой версии статьи на английском или русском языках	

Таблица 2

Отобранные статьи, тип исследования, представленного в статье, оценка по STROBE и уровень доказательности статьи

Авторы	Год	Тип исследования	STROBE	Уровень доказательности
Formby et al. [13]	2016	Ретроспективное когортное	13	III
Ravindra et al. [14]	2016	Ретроспективное когортное	11	III
Schoenfeld et al. [15]	2014	Ретроспективное «случай—контроль»	17	III
Schoenfeld et al. [3]	2012	Ретроспективное когортное	13	III
Blair et al. [7]	2012	Ретроспективное когортное	15	III
Schoenfeld et al. [16]	2013	Ретроспективное когортное	18	III
Szuflita et al. [6]	2016	Ретроспективное когортное	18	III
Possley et al. [1]	2012	Ретроспективное когортное	16	III
Schoenfeld et al. [17]	2013	Ретроспективное когортное	18	III
Blair et al. [18]	2012	Ретроспективное когортное	13	III
Galvin et al. [19]	2014	Ретроспективное когортное	14	III

рогенности проводили при помощи теста  $I^2$ . Если параметр  $I^2$  был меньше 50 %, гетерогенность считали низкой, от 50 до 75 % – умеренной, выше 75 % – высокой [12].

## Результаты

### Отбор статей

Начальный поиск в базах PubMed и Cochrane Library позволил полу-

чить 302 статьи в поисковой выдаче. После применения фильтров и удаления дубликатов отобраны 30 работ для изучения полнотекстовых версий, из которых 11 соответствовали заданным критериям, включены в настоящий обзор и оценены на соответствие STROBE (табл. 2).

### Общая характеристика пациентов

Выполнен метаанализ среднего возраста пациентов, полового состава, характера ранений. Средний возраст составил 26,58 года (95 % ДИ: 25,8–27,4 года;  $I^2 = 0$  %;  $p = 0,65$ ), доля мужчин – 98 % (95 % ДИ: 98–99;  $I^2 = 37$  %;  $p = 0,1$ ), закрытая травма позвоночника установлена в 47,11 % случаев (95 % ДИ: 28,83–66,19 %;  $I^2 = 99$  %;  $p < 0,01$ ), огнестрельные ранения – в 43,64 % (95 % ДИ: 23,94–65,59 %;  $I^2 = 99$  %;  $p < 0,01$ ), минно-взрывной характер наблюдали у 51,82 % пациентов (95 % ДИ: 29,94–73,02 %;  $I^2 = 98$  %;  $p < 0,01$ ), пулевые ранения – у 14,88 % (95 % ДИ: 13,31–16,61 %;  $I^2 = 12$  %;  $p = 0,34$ ). Результаты представлены в виде диаграмм forest-plot (рис. 2–7). Подробные характеристики популяций для каждой статьи даны в табл. 3, 4. Для статистики пулевых ранений степень гетерогенности оказалась низкой, что, по данным большинства авторов, говорит о низкой доле пулевых ранений в общей структуре повреждений.

Повреждение шейного отдела зарегистрировано в среднем в 32,13 % случаев (95 % ДИ: 17,75–50,94 %;  $I^2 = 95,1$  %;  $p < 0,01$ ), грудного – в 34,28 % (95 % ДИ: 22,58–48,27 %;  $I^2 = 88$  %;  $p < 0,01$ ), поясничного – в 57,16 % (95 % ДИ: 44,52–68,92 %;  $I^2 = 97,5$  %;  $p < 0,01$ ), крестца – в 21,23 % (95 % ДИ: 16,99–26,21 %;  $I^2 = 76$  %;  $p < 0,01$ ). Результаты представлены в виде диаграммы forest-plot (рис. 8), подробное распределение в каждой статье – в табл. 5.

Часто травма военного времени имеет сочетанный характер поражения [5]. Объективным методом оценки тяжести сочетанного повреждения является подсчет баллов по системе

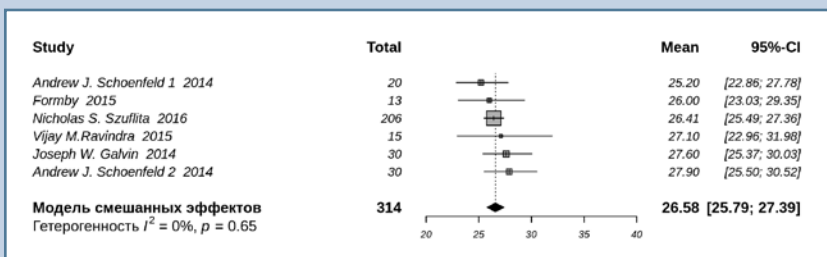


Рис. 2

Результат метаанализа среднего возраста пациентов: квадраты показывают взвешенный размер эффекта для каждого конкретного исследования (размер квадратов соответствует весу исследований), черные отрезки – 95 % доверительный интервал, черный ромб – средневзвешенное значение среднего возраста; 95 % CI – доверительный интервал

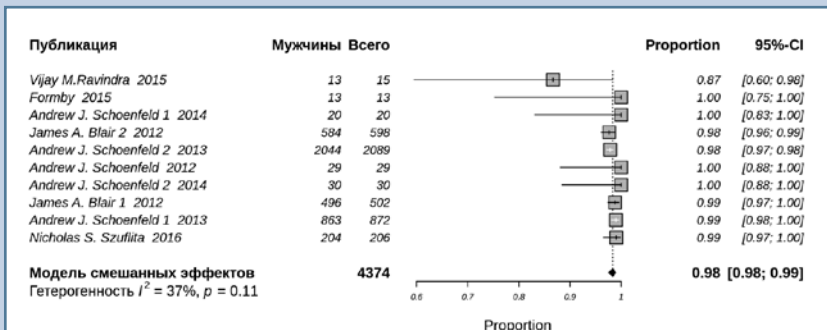


Рис. 3

Результат метаанализа распределения по полу (см. расшифровку к рис. 2)

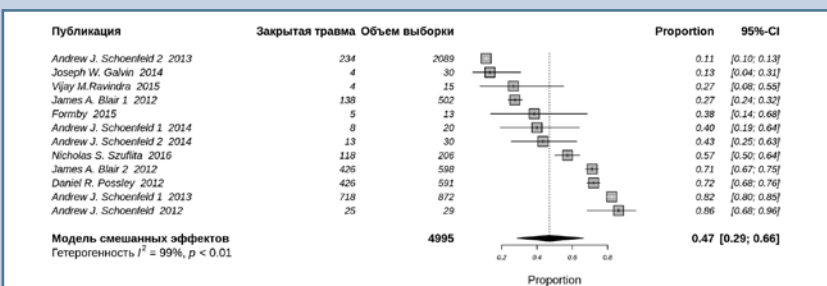


Рис. 4

Результат метаанализа встречаемости закрытой травмы позвоночника (см. расшифровку к рис. 2)

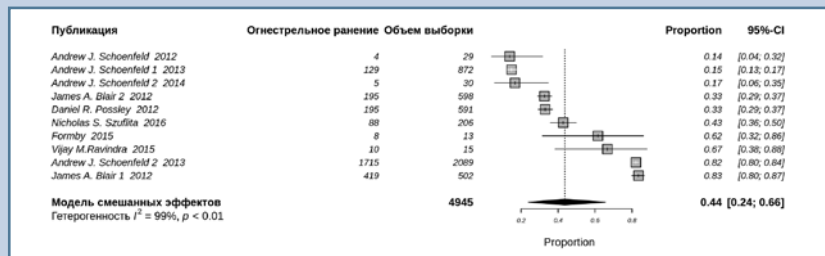


Рис. 5

Результат метаанализа встречаемости огнестрельного ранения позвоночника (см. расшифровку к рис. 2)

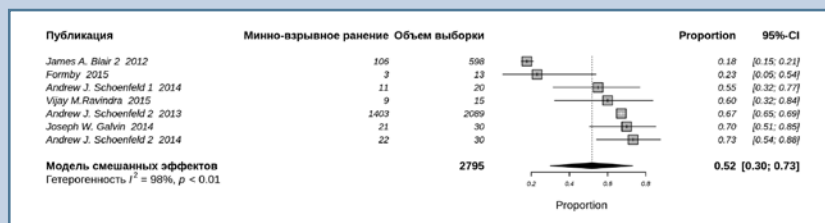


Рис. 6

Результат метаанализа встречаемости минно-взрывного ранения позвоночника (см. расшифровку к рис. 2)

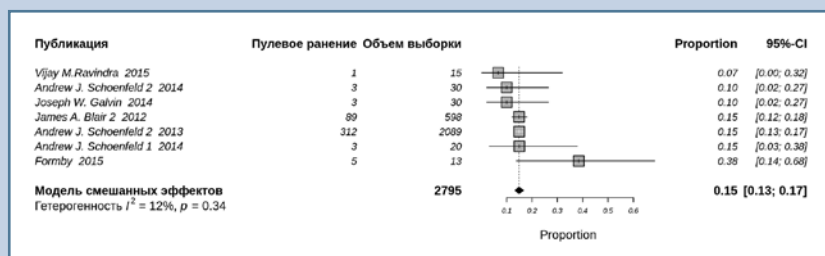


Рис. 7

Результат метаанализа встречаемости пулевого ранения позвоночника (см. расшифровку к рис. 2)

injury severity score (ISS) [20]. Для боевых ранений характерен высокий показатель ISS – в среднем 32,76 балла, что считается пограничным повреждением [13, 15, 17, 19].

#### Характеристика неврологических нарушений у раненых

Проведена оценка повреждений спинного мозга по шкале ASIA (AIS) [21]. Тяжесть повреждения спинного мозга распределяется следующим образом: пациенты с полным двигательным и чувствительными нарушениями ниже уровня повреждения – ASIA A, с полным двигательным, но неполными чувствительными – ASIA B, с неполным двигательным дефицитом, при котором большинство ключевых мышц ниже неврологического уровня имеют мышечную оценку менее 3 баллов, – ASIA C, с неполным двигательным дефицитом, при котором большинство ключевых мышц ниже неврологического уровня имеют мышечную оценку больше или равно 3, – ASIA D, без нарушений – ASIA E. Из табл. 6 и 7 следует вывод, что доля пациентов с полным неврологическим дефицитом достаточно велика и составляет от 6,67 до 40,00 % от всех пострадавших. Такой широкий диапазон связан с целями и материалом исследований. Так, Blair et al. [18] и Possley et al. [1] в качестве базы данных брали регистр The Joint Theater Trauma Registry, в который вносятся информация обо всех военнослужащих, получивших увечья в бою. Соответственно, в исследование были включены пациенты, у которых позвоночно-спинномозговая травма

Таблица 3

Характеристика сочетанных ранений

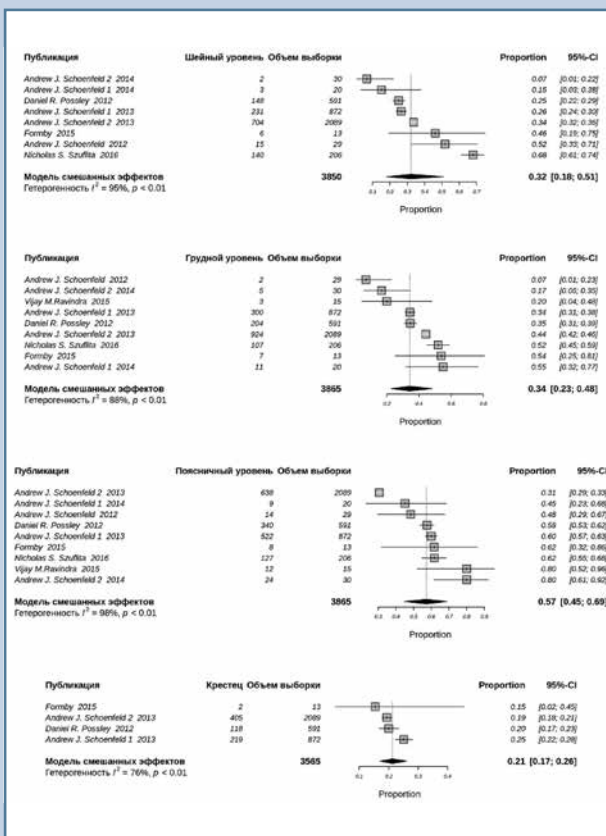
Авторы	Год	Количество пациентов	ISS	Сочетанные ранения, n				
				голова и шея	грудь	живот	конечности	таз
Formby et al. [13]	2016	13	22,7	NA	NA	NA	NA	NA
Schoenfeld et al. [15]	2014	20	21,5	NA	NA	NA	NA	NA
		30	36,1	NA	NA	NA	NA	NA
Schoenfeld et al. [16]	2013	2089	57,4	NA	NA	NA	NA	NA
Blair et al. [18]	2012	598	NA	1466	924	1365	1323 + 1141	985
Galvin et al. [19]	2014	30	26,1	136	159	149	NA	NA



Таблица 4

Демографические и эпидемиологические данные пострадавших в зоне боевых действий с повреждением позвоночника и спинного мозга

Авторы	Год	Количество пациентов	Средний возраст	Мужчины		Закрывающаяся травма		Огнестрельное ранение		Минно-взрывное ранение		Пулевое ранение		Другое	
				%	n	%	n	%	p	%	p	%	p	%	p
Formby et al. [13]	2016	13	26	100,00	13	38,46	5	61,54	8	23,08	3	38,46	5	NA	NA
Ravindra et al. [14]	2016	15	27,1	86,67	13	26,67	4	66,67	10	60,00	9	6,67	1	6,67	1
Schoenfeld et al. [15]	2014	20	25,2	100,00	20	40,00	8	NA	NA	55,00	11	15,00	3	30,00	6
		30	27,9	100,00	30	43,33	13	16,67	5	73,33	22	10,00	3	16,67	5
Schoenfeld et al. [3]	2012	29	27,8	100,00	29	86,21	25	13,79	4	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Blair et al. [7]	2012	502	26,3	98,80	496	27,49	138	83,47	419	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Schoenfeld et al. [16]	2013	872	26,6	98,97	863	82,34	718	14,79	129	NA	NA	NA	NA	2,87	25
Szuflita et al. [6]	2016	206	26,41	99,03	204	57,28	118	42,72	88	NA	NA	NA	NA	4,37	9
Possley et al. [1]	2012	591	26	NA	NA	72,08	426	32,99	195	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Schoenfeld et al. [17]	2013	2089	26,6	97,85	2044	11,20	234	82,10	1715	67,16	1403	14,94	312	6,70	140
Blair et al. [18]	2012	598	26,5	97,66	584	71,24	426	32,61	195	17,73	106	14,88	89	1,17	7
Galvin et al. [19]	2014	30	27,6	NA	NA	13,33	4	NA	NA	70,00	21	10,00	3	6,67	2
Среднее значение		—	26,67	97,90	—	47,47	—	44,73	—	52,33	—	15,71	—	7,51	—



не была ведущей патологией. Результаты метаанализа представлены на рис. 9.

Отметим плохой прогноз для пациентов с тяжелым неврологическим дефицитом (ASIA A и B) [13–15]: у одного пациента зарегистрировано улучшение с ASIA A до B. Но для более легкого неврологического дефицита (ASIA C и D) авторы отмечают положительную динамику у четырех пациентов.

#### Хирургическое лечение пациентов с боевой патологией позвоночника

В крупных когортных исследованиях нейрохирургическая помощь оказана меньше чем трети всех участников (31,35 %) [1, 7, 18]. Стабилизирующее вмешательство по поводу нестабильности позвоночника выполнено у 78,55 % прооперированных раненых, а декомпрессия позвоночного канала потребовалась в 59,71 % случаев (табл. 8). Данных об использовании малотравматичных методик не представлено.

Статистика малых исследований, где все пациенты были прооперированы, показывает, что нестабильность в позвоночно-двигательном сегменте также была главной причиной выполнения операции на позвоночнике – от 80 до 100 % всех операций. Метаанализ операций представлен на рис. 10, 11.

Таблица 5

Распределение повреждений позвоночника по уровням

Авторы	Год	Количество пациентов	Шейный отдел		Грудной отдел		Поясничный отдел		Крестец		Количество сломанных позвонков на человека
			%	n	%	n	%	n	%	n	
Formby et al. [13]	2016	13	46,15	6	53,85	7	61,54	8	15,38	2	3,2
Ravindra et al. [14]	2016	15	NA	NA	20,00	3	80,00	12	NA	NA	NA
Schoenfeld et al. [15]	2014	20	15,00	3	55,00	11	45,00	9	NA	NA	NA
		30	6,67	2	16,67	5	80,00	24	NA	NA	NA
Schoenfeld et al. [3]	2012	29	51,72	15	6,90	2	48,28	14	NA	NA	1,07
Blair et al. [7]	2012	502	14,29	262	27,86	511	41,33	758	41,83	210	3,7
Schoenfeld et al. [16]	2013	872	26,49	231	34,40	300	59,86	522	11,94	219	1,5
Szuflita et al. [6]	2016	206	67,96	140	51,94	107	61,65	127	NA	NA	NA
Possley et al. [1]	2012	591	25,04	148	34,52	204	57,53	340	19,97	118	NA
Schoenfeld et al. [17]	2013	2089	33,70	704	44,23	924	30,54	638	19,39	405	1,11
Blair et al. [18]	2012	598	15,18	319	28,13	591	40,79	857	10,95	230	NA
Galvin et al. [19]	2014	30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Среднее значение		—	30,22	—	33,95	—	55,14	—	19,91	—	—

Таблица 6

Начальный уровень неврологического дефицита

Авторы	Год	Количество пациентов	ASIA A		ASIA B		ASIA C		ASIA D		ASIA E		Неполный перерыв	
			%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
Formby et al. [13]	2016	13	30,77	4	15,38	2	23,08	3	23,08	3	7,69	1	NA	NA
Ravindra et al. [14]	2016	15	40,00	6	13,33	2	6,67	1	13,33	2	26,67	4	NA	NA
Schoenfeld et al. [15]	2014	20	20,00	4	5,00	1	5,00	1	20,00	4	50,00	10	NA	NA
		30	6,67	2	13,33	4	23,33	7	36,67	11	20,00	6	NA	NA
Possley et al. [1]	2012	591	7,78	46	NA	NA	NA	NA	NA	NA	83,76	495	8,80	52
Schoenfeld et al. [17]	2013	2089	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Blair et al. [18]	2012	598	7,86	47	NA	NA	NA	NA	NA	NA	82,61	494	8,70	52
Galvin et al. [19]	2014	30	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Таблица 7

Конечный уровень неврологического дефицита

Авторы	Год	Количество пациентов	ASIA A		ASIA B		ASIA C		ASIA D		ASIA E	
			%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
Formby et al. [13]	2016	13	30,77	4	15,38	2	23,08	3	23,08	3	7,69	1
Ravindra et al. [14]	2016	15	40,00	6	13,33	2	0,00	0	20,00	3	26,67	4
Schoenfeld et al. [15]	2014	20	20,00	4	5,00	1	0,00	0	25,00	5	50,00	10
		30	3,33	1	16,67	5	16,67	5	36,67	11	23,33	7

Декомпрессию производили в 15,00–93,33 % ситуаций (табл. 9). В среднем пациенты прооперированы на 1,8 сут после травмы или ранения [13–15].

#### Осложнения

Наиболее частыми осложнениями были инфекционные: пролежни, пневмонии, инфекции мочевыводя-

щих путей (табл. 10). Послеоперационные осложнения включали мальпозиции винтов, их некорректное положение, недостаточную декомпрессию

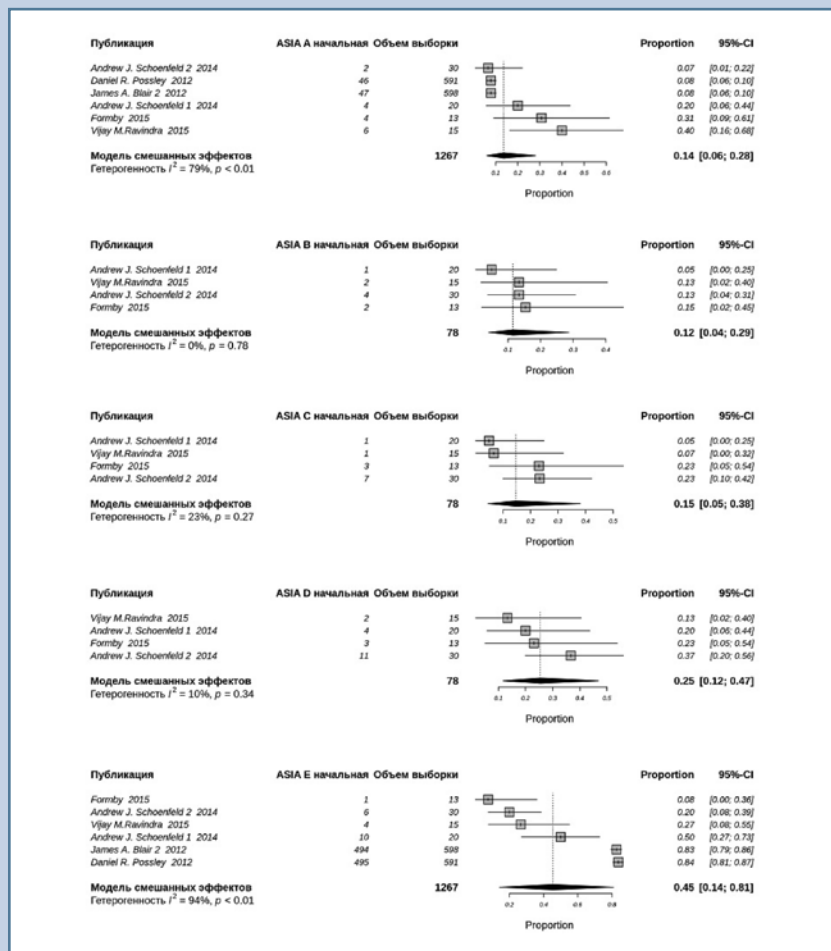


Рис. 9

Метаанализ неврологического дефицита у пациентов в начале исследования: полный неврологический дефицит (ASIA A) – 13,57 % случаев (95 % ДИ: 5,93–28,12 %;  $I^2 = 79,4$  %;  $p < 0,01$ ), ASIA B – 11,54 % (95 % ДИ: 4,05–28,72 %;  $I^2 = 0$  %;  $p = 0,78$ ), ASIA C – 14,69 % (95 % ДИ: 4,61–38,04 %;  $I^2 = 23,3$  %;  $p = 0,27$ ), ASIA D – 25,46 % (95 % ДИ: 11,7–46,83 %;  $I^2 = 9,7$  %;  $p = 0,34$ ), без неврологического дефицита (ASIA E) – 45,49 % (95 % ДИ: 14,16–80,86 %;  $I^2 = 94,1$  %;  $p < 0,01$ )

позвоночного канала, несостоятельность послеоперационной раны, постоперационную ликворею (последняя, по данным Possley et al. [1], встретилась в 4 случаях из 184 операций). Смертность составила 2,55 % (95 % ДИ: 0,39–14,94 %;  $I^2 = 81,9$  %;  $p < 0,01$ ; рис. 12).

## Обсуждение

Конец XX и начало XXI в. характеризовались относительно небольшим количеством военных конфликтов, в которых принимали участие большие государства: исключением являются только военные операции США на Ближнем Востоке и в Афганистане. Следствием этого стало ограниченное количество научных публикаций по проблемам боевой травмы. Наиболее полные сведения получены именно в отношении вышеуказанных конфликтов, однако мы не нашли ни одного метаанализа на тему боевой патологии позвоночника. Представлен один систематический обзор, исследующий травмы и ранения позвоночника со времен Второй мировой войны до спецоперации США в Афганистане [22], ограничением которого являются разные объекты исследования: некоторые статьи включают пациентов с повреждением только одного отдела позвоночника или одним видом повреждения. Еще одним недостатком является включение в эти работы пациентов, получивших травму позвоночника при небоевых обстоятельствах. В нашем анализе мы исключили подобные статьи, оставив только

Таблица 8

Структура оказанной нейрохирургической помощи

Автор	Год	Количество пациентов	Нейрохирургическая операция		Стабилизация, % от операций		Декомпрессия, % от операций	
			%	n	%	n	%	n
Blair et al. [7]	2012	502	32,47	163	77,91	127	60,12	98
Possley et al. [1]	2012	591	31,13	184	NA	NA	NA	NA
Blair et al. [18]	2012	598	30,43	182	79,12	144	59,34	108
Среднее значение		—	31,35	—	78,55	—	59,71	—

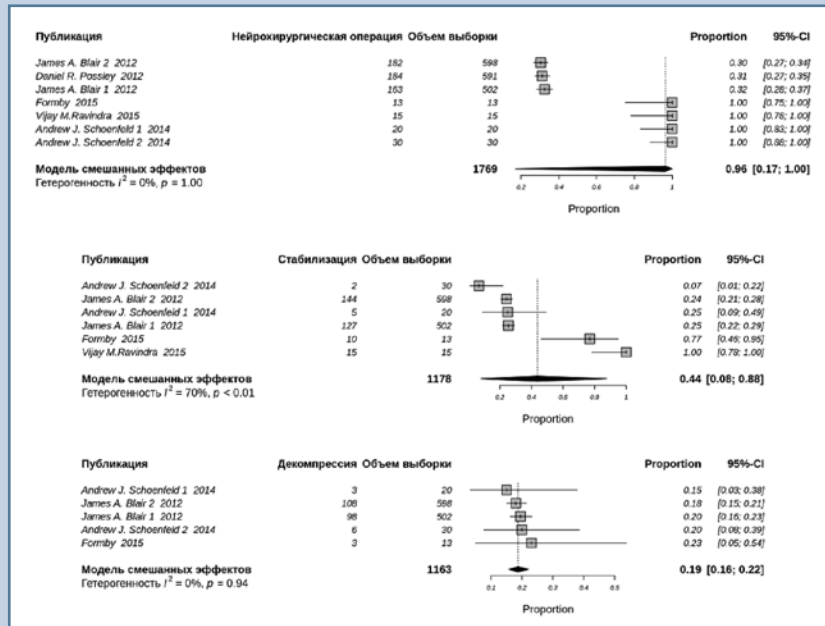


Рис. 10

Метаанализ выполненных нейрохирургических операций: в больших когортных исследованиях 30–32 % пострадавших была оказана нейрохирургическая помощь; стабилизация выполнена 43,68 % пациентов (95 % ДИ: 7,88–87,55 %;  $I^2 = 70\%$ ;  $p < 0,01$ ), декомпрессия спинного мозга и корешков – 18,74 % (95 % ДИ: 15,77–22,13 %;  $I^2 = 0\%$ ;  $p = 0,94$ )

ко те, в которых описываются боевые повреждения.

В случае если в оригинальных исследованиях фигурировала травма позвоночника мирного времени, мы извлекали только информацию, которая касалась боевых повреждений. В процессе исследования пришлось столкнуться с трудностью: в представ-

ленных работах не удалось комплексно систематизировать клиническую информацию о пациентах (тяжесть неврологического дефицита, сочетанное повреждение органов, операции по удалению инородных тел, герметизация твердой мозговой оболочки, а также клинические исходы в зависимости от оказанного объема лече-

ния). Только Formby et al. [13] показали конкретные осложнения, а также отметили, что пяти пациентам из 13 выполнена герметизация твердой мозговой оболочки. Необходимо провести проспективное исследование, включающее изучение эпидемиологии, клиники, нейрохирургических операций, исходов лечения пациентов с использованием общепринятых классификаций и опросников.

#### Ограничения исследования

Существуют ограничения, которые следует учитывать при обобщении результатов проанализированных работ. Во-первых, когортные исследования подвержены потенциальной предвзятости, а также имеют различия в методологии сбора данных, особенно при оценке неврологического дефицита и выполненных операций, когда большие наблюдательные исследования использовали в качестве источника данных крупные травматологические регистры [1, 7, 16–18], вследствие чего в работы были включены пациенты с незначительными повреждениями (косвенно свидетельствовать об этом может большая доля пациентов без неврологического дефицита). Во-вторых, цели оригинальных исследований различались: от представления общих эпидемиологических данных до описания конкретных осложнений. Это увеличивает гетерогенность отобранных нами статей (рис. 4–6, 8) в метаанализе распределения неврологического дефицита для ASIA A и E. На данный момент отсутствуют работы, которые полно

Таблица 9

Структура оказанной нейрохирургической помощи

Авторы	Количество пациен- тов	На какие сутки опера- ция	Опера- ции		Стабили- зация и деком- прессия		Только стабили- зация		Вид стабилизации						Только деком- прессия	Герметизация твердой мозговой оболочки		
									задняя фиксация		передняя фиксация		циркулярная фиксация					
			%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	n	%	n	
Formby et al. [13]	13	1,6	100	13	0,00	0	76,92	10	61,54	8	7,69	1	7,69	1	23,08	3	38,46	5
Ravindra et al. [14]	15	NA	100	15	0,00	0	100,00	15	66,67	10	26,67	4	6,67	1	NA	NA	NA	NA
Schoenfeld et al. [15]	20	3	100	20	60,00	12	25,00	5	75,00	15	5,00	1	20,00	4	15,00	3	NA	NA
	30	0,8	100	30	73,33	22	6,67	2	76,67	23	3,33	1	NA	NA	20,00	6	NA	NA



Таблица 10

Осложнения

Автор	Год	Количество пациентов	Осложнения, n	Тромбоз	ТЭЛА	Инфекция мочевыводящих путей	Пролежни и пневмонии	Послеоперационные	Умерло	
									%	n
Formby et al. [13]	2016	13	18	4	3	11	—	—	—	—
Ravindra et al. [14]	2016	15	—	—	—	—	—	—	—	—
Schoenfeld et al. [15]	2014	20	4	2	—	—	3	4	—	—
		30	12	2	—	—	5	12	—	—
Schoenfeld et al. [3]	2012	29	—	—	—	—	—	—	10,34	3
Szuflita et al. [6]	2016	206	—	—	—	—	—	—	4,85	10
Possley et al. [1]	2012	591	55	12	3	3	31	13	0,34	2
Blair et al. [18]	2012	598	—	—	—	—	—	—	2,84	17

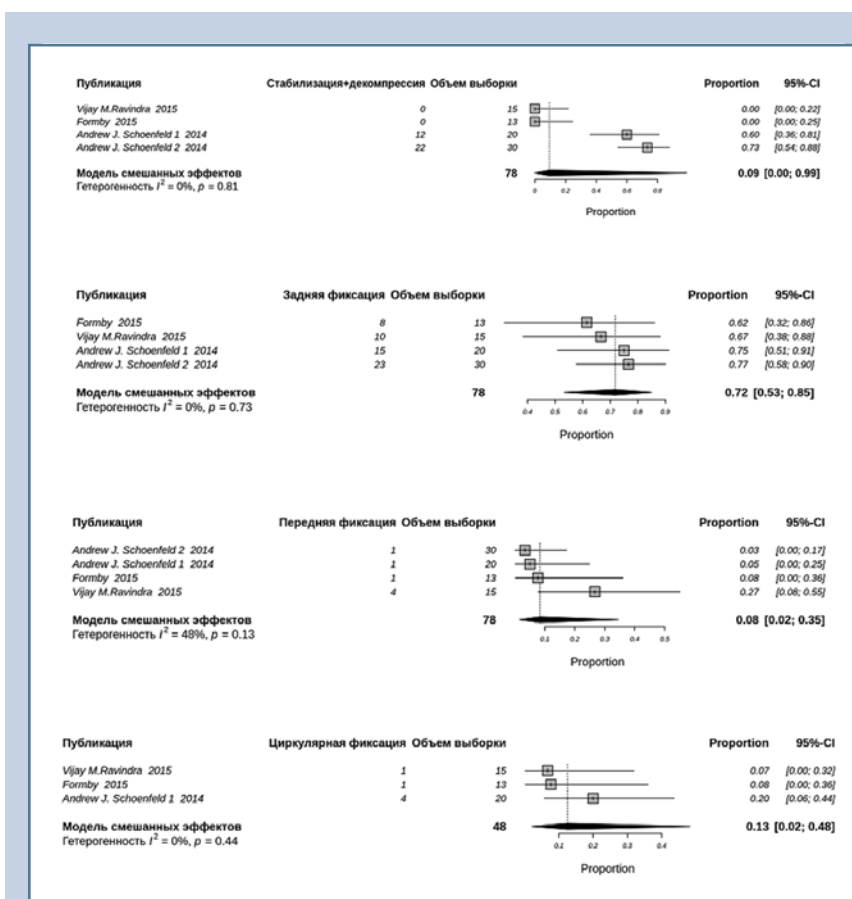


Рис. 11

Метаанализ стабилизирующих операций на позвоночнике: стабилизация и декомпрессия отмечены у 9,37 % пациентов (95 % ДИ: 0,01–98,74 %;  $I^2 = 0\%$ ;  $p = 0,84$ ), задняя фиксация – у 72,0 % (95 % ДИ: 53,33–85,01 %;  $I^2 = 0\%$ ;  $p = 0,73$ ), передний спондилодез – у 8,0 % (95 % ДИ: 1,55–34,54 %;  $I^2 = 48\%$ ;  $p = 0,13$ ), циркулярная стабилизация – у 12,5 % (95 % ДИ: 2,14–48,3 %;  $I^2 = 0\%$ ;  $p = 0,44$ )

описывают эпидемиологию, клинику, лечение и исходы данной патологии, имеются лишь статьи, посвященные какой-то узкой проблематике боевых повреждений позвоночника. В большинстве исследований не анализируется взаимосвязь факторов и влияние их на течение болезни и исходы лечения, что делает эти статьи поверхностными, хирург не может принять решения о тактике лечения. Например, нигде не отражено влияние сроков и объема хирургической помощи на регресс неврологического дефицита, развитие хирургических осложнений, качество жизни в раннем и отдаленном периодах позвоночной травмы. Для более объективного описания боевой патологии мы ограничились только конфликтами XXI в., исключили из исследования работы, посвященные только одному отделу позвоночника, анализирующие только проникающие ранения или только закрытые травмы позвоночника.

## Заключение

Данные об эпидемиологии, клинической картине, результатах лечения пациентов с огнестрельными ранениями позвоночника и спинного мозга в мировой литературе очень ограничены из-за различия в подходах к сбору и обработке информации.

Тем не менее все исследователи подтверждают, что подавляющее большинство (98 %) пострадавших в бое-

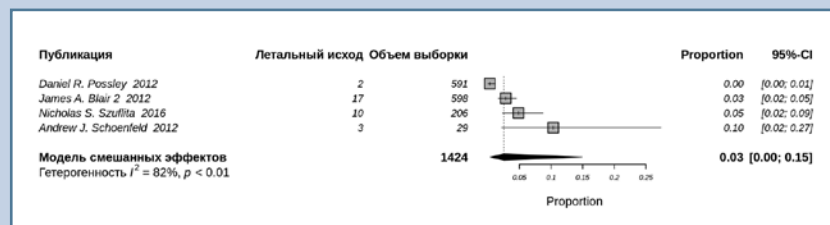


Рис. 12

Метаанализ смертности пациентов с повреждением позвоночника и спинного мозга (см. расшифровку к рис. 2)

вых условиях – это молодые мужчины, средний возраст – 26,58 года (95 % ДИ: 25,8–27,4 года).

По характеру повреждения (закрытая травма или огнестрельное ранение) в анализируемой литературе не представляется возможным описать точное распределение поступающих пациентов. Очень велика гетерогенность в выборке и условиях набора больных.

При этом в последнее десятилетие отмечается тенденция к нарастанию доли огнестрельных осколочных ранений, полученных в результате взрыва артиллерийских боеприпасов и взрывных устройств.

Неврологический дефицит, возникший вследствие ранения, носит стойкий характер. Согласно большинству исследований, наименее благоприятный прогноз восстановления неврологических функций или регресса

неврологического дефицита наблюдается у больных с полным функциональным перерывом спинного мозга.

По данным когортных исследований, хирургического лечения потребовали не менее 30 % раненых с огнестрельным повреждением позвоночника. Необходимость стабилизации позвоночника требует дальнейшего изучения, что подтверждается большим расхождением в подходах к тактике лечения. В то же время абсолютное большинство авторов (72 %) выбирает изолированную заднюю фиксацию. Вентральный спондилодез и циркулярная фиксация выполнялись в 8 и 13 % случаев соответственно.

Наличие и анализ возникающих осложнений получили очень ограниченное отражение в представленной литературе. Описаны лишь ранние осложнения. К наиболее частым отно-

сятся тромбоэмболические, инфекции мочевыводящих путей, пневмонии и пролежни. Проведение сравнительного анализа не представляется возможным из-за высокой гетерогенности. Оценка послеоперационных осложнений также затруднительна. Они представлены в диапазоне от 2,1 до 40,0 %. Необходимо проведение дальнейших исследований в этом направлении.

Следует отметить, что пул рассмотренных публикаций ограничивается 2016 г. С учетом развития военной науки и средств доставки боевых поражающих компонентов в последние 3–5 лет можно предполагать, что современные военные конфликты приведут к дальнейшим изменениям структуры и эпидемиологии боевых повреждений позвоночника. Это, в свою очередь, может потребовать и соответствующего планирования разномаршрутной медицинской помощи таким пациентам — организационно-лечебной, реабилитационной, социально-психологической, что должно стать предметом дальнейших исследований.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

- Possley DR, Blair JA, Schoenfeld AJ, Lehman RA, Hsu JR. Complications associated with military spine injuries. Spine J. 2012;12:756–761. DOI: 10.1016/j.spinee.2011.10.002
- Reister FA. Battle Casualties and Medical Statistics: U.S. Army Experience in the Korean War. Washington, DC: Surgeon General, Dept. of the Army, 1973.
- Schoenfeld AJ, Goodman GP, Belmont PJ Jr. Characterization of combat-related spinal injuries sustained by a US Army Brigade Combat Team during Operation Iraqi Freedom. Spine J. 2012;12:771–776. DOI: 10.1016/j.spinee.2010.05.004
- Смирнов Е.И. Опыт советской медицины в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. Энциклопедия в 35 томах. Т. 11: Огнестрельные ранения и повреждения позвоночника и спинного мозга. М.: Медгиз, 1952. [Smirnov EI. Experience of Soviet Medicine in the Great Patriotic War of 1941–1945. Encyclopedia in 35 volumes. Vol. 11: Gunshot Wounds and Injuries to the Spine and Spinal Cord. Moscow: Medgiz, 1952].
- Антонов Г.И., Мануковский В.А., Чмутин Г.Е., Иванов И.И., Тимошин С.Ю., Келин А.О. Анализ результатов лечения пациентов с боевой травмой позвоночника и спинного мозга // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. 2023. № 11. С. 912–921. [Antonov GI, Manukovskiy VA, Chmutin GE, Ivanov II, Timonin SYu, Kelin AO. Analysis of treatment outcomes in patients with combat spinal column and spinal cord injuries. Bulletin of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery. 2023;(11):912–921]. DOI:10.33920/med-01-2311-06
- Szuffita NS, Neal CJ, Rosner MK, Frankowski RF, Grossman RG. Spine injuries sustained by U.S. military personnel in combat are different from non-combat spine injuries. Mil Med. 2016;181:1314–1323. DOI: 10.7205/MILMED-D-15-00332
- Blair JA, Patzkowski JC, Schoenfeld AJ, Cross Rivera JD, Grenier ES, Lehman RA, Hsu JR. Are spine injuries sustained in battle truly different? Spine J. 2012;12:824–829. DOI: 10.1016/j.spinee.2011.09.012

8. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;6:e1000097. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000097
9. Vandembroucke JP, von Elm E, Altman DG, Gøtzsche PC, Mulrow CD, Pocock SJ, Poole C, Schlesselman JJ, Egger M. Strengthening of Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): explanation and elaboration. *PLoS Med.* 2007;4:e297. DOI: 10.1371/journal.pmed.0040297
10. Viechtbauer W. Bias and efficiency of meta-analytic variance estimators in the random-effects model. *J Educ Behav Stat.* 2005;30:261–293. DOI: 10.3102/10769986030003261
11. Knapp G, Hartung J. Improved tests for a random effects meta regression with a single covariate. *Stat Med.* 2003;22:2693–2710. DOI: 10.1002/sim.1482
12. Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ.* 2003;327:557–560. DOI: 10.1136/bmj.327.7414.557
13. Formby PM, Wagner SC, Kang DG, Van Blaricum GS, Pisano AJ, Lehman RA Jr. Reoperation after in-theater combat spine surgery. *Spine J.* 2016;16:329–334. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.11.027
14. Ravindra VM, Wallace SA, Vaidya R, Fox WC, Klugh AR 3rd, Puskas D, Park MS. Spinal stabilization using orthopedic extremity instrumentation sets during Operation Enduring Freedom–Afghanistan. *World Neurosurg.* 2016;86:503–509. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.09.018
15. Schoenfeld AJ, Mok JM, Cameron B, Jackson KL, Serrano JA, Freedman BA. Evaluation of immediate postoperative complications and outcomes among military personnel treated for spinal trauma in Afghanistan: a cohort-control study of 50 cases. *J Spinal Disord Tech.* 2014;27:376–381. DOI: 10.1097/BSD.0b013e3182a355c6
16. Schoenfeld AJ, Laughlin MD, McCrisky BJ, Bader JO, Waterman BR, Belmont PJ Jr. Spinal injuries in United States military personnel deployed to Iraq and Afghanistan: an epidemiological investigation involving 7877 combat casualties from 2005 to 2009. *Spine.* 2013;38:1770–1778. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31829ef226
17. Schoenfeld AJ, Newcomb RL, Pallis MP, Cleveland AW 3rd, Serrano JA, Bader JO, Waterman BR, Belmont PJ Jr. Characterization of spinal injuries sustained by American service members killed in Iraq and Afghanistan: a study of 2,089 instances of spine trauma. *J Trauma Acute Care Surg.* 2013;74:1112–1118. DOI: 10.1097/TA.0b013e31828273be
18. Blair JA, Patzkowski JC, Schoenfeld AJ, Cross Rivera JD, Grenier ES, Lehman RA Jr, Hsu JR. Spinal column injuries among Americans in the global war on terrorism. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94: e135(1–9). DOI: 10.2106/JBJS.K.00502
19. Galvin JW, Freedman BA, Schoenfeld AJ, Cap AP, Mok JM. Morbidity of early spine surgery in the multiply injured patient. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014;134:1211–1217. DOI: 10.1007/s00402-014-2068-7
20. Baker SP, O'Neill B, Haddon W Jr, Long WB. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma.* 1974;14:187–196.
21. Furlan JC, Fehlings MG, Tator CH, Davis AM. Motor and sensory assessment of patients in clinical trials for pharmacological therapy of acute spinal cord injury: psychometric properties of the ASIA Standards. *J Neurotrauma.* 2008;25:1273–1301. DOI: 10.1089/neu.2008.0617
22. Furlan JC, Gulasingsam S, Craven BC. Epidemiology of war-related spinal cord injury among combatants: a systematic review. *Global Spine J.* 2019;9:545–558. DOI: 10.1177/2192568218776914

**Адрес для переписки:**

Келин Александр Олегович  
143420, Россия, Московская область, Красногорск, п. Новый, 1,  
Центральный Военно-клинический госпиталь  
им. А.А. Вишневого,  
alexandrkelin@yandex.ru

**Address correspondence to:**

Kelin Alexandr Olegovich  
Central Military Clinical Hospital n.a. A.A. Vishnevsky,  
1 Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow region, 143420, Russia,  
alexandrkelin@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23.02.2025

Рецензирование пройдено 08.04.2025

Подписано в печать 13.05.2025

Received 23.02.2025

Review completed 08.04.2025

Passed for printing 13.05.2025

Владимир Анатольевич Мануковский, канд. мед. наук, начальник нейрохирургического отделения, старший преподаватель кафедры нервных болезней и нейрохирургии им. Ю.С. Мартынова, Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневого, Россия, 143420, Московская область, Красногорск, п. Новый, 1, eLibrary SPIN: 7059-5164, ORCID: 0009-0000-7727-9589, [3bospital@mail.ru](mailto:3bospital@mail.ru);

Александр Олегович Келин, врач-нейрохирург центра нейрохирургии, аспирант кафедры нервных болезней и нейрохирургии им. Ю.С. Мартынова, Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневого, Россия, 143420, Московская область, Красногорск, п. Новый, 1, eLibrary SPIN: 6239-3864, ORCID: 0009-0000-0848-2524, [alexandrkelin@yandex.ru](mailto:alexandrkelin@yandex.ru);

Геннадий Иванович Антонов, д-р мед. наук, профессор, начальник Центра нейрохирургии, профессор кафедры нервных болезней и нейрохирургии им. Ю.С. Мартынова, Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневого, Россия, 143420, Московская область, Красногорск, п. Новый, 1, eLibrary SPIN: 9897-8600, ORCID: 0000-0001-6201-9207, [3bospital@mail.ru](mailto:3bospital@mail.ru);

Геннадий Егорович Чмутин, д-р мед. наук, заведующий кафедрой нервных болезней и нейрохирургии им. Ю.С. Мартынова, Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, eLibrary SPIN: 1979-5750, ORCID: 0000-0002-3323-508X, [med@rudn.ru](mailto:med@rudn.ru);

Глеб Валерьевич Данилов, канд. мед. наук, ученый секретарь, Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко, Россия, 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16, eLibrary SPIN: 4140-8998, ORCID: 0000-0003-1442-5993, [info@nsi.ru](mailto:info@nsi.ru);

Юлия Владимировна Струнина, специалист по анализу данных, ведущий инженер лаборатории биомедицинской информатики и искусственного интеллекта, Научно-исследовательский институт нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко, Россия, 125047, Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16, eLibrary SPIN: 9799-5066, ORCID: 0000-0001-5010-6661, info@nsi.ru;

Иван Иванович Иванов, старший ординатор 31-го нейрохирургического отделения, Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневецкого, Россия, 143420, Московская область, Красногорск, п. Новый, 1, eLibrary SPIN: 2325-8605, ORCID: 0009-0008-8436-0105, 3bospital@mail.ru;

Абрам Акопович Гользатян, канд. мед. наук, врач-нейрохирург нейрохирургического отделения, Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Россия, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, eLibrary SPIN: 6853-4861, ORCID: 0000-0003-1260-4007, abramgulz@gmail.com.

Vladimir Anatolyevich Manukovskiy, MD, PhD, Head of the Neurosurgical Department, Senior Lecturer of the Department of Nervous Diseases and Neurosurgery n.a. Yu.S. Martynov, National Medical Research Center for High Medical Technologies – Central Military Clinical Hospital n.a. A.A. Visbnevsky, 1 Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow region, 143420, Russia, eLibrary SPIN: 7059-5164, ORCID: 0009-0000-7727-9589, 3bospital@mail.ru;

Alexandr Olegovich Kelin, neurosurgeon of the Center for Neurosurgery, postgraduate student of the Department of Nervous Diseases and Neurosurgery n.a. Yu.S. Martynov, National Medical Research Center for High Medical Technologies – Central Military Clinical Hospital n.a. A.A. Visbnevsky, 1 Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow region, 143420, Russia, eLibrary SPIN: 6239-3864, ORCID: 0009-0000-0848-2524, alexandrkelin@yandex.ru;

Gennady Ivanovich Antonov, DMSc, Professor, Head of the Center for Neurosurgery, Professor of the Department of Nervous Diseases and Neurosurgery n.a. Yu.S. Martynov, National Medical Research Center for High Medical Technologies – Central Military Clinical Hospital n.a. A.A. Visbnevsky, 1 Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow region, 143420, Russia, eLibrary SPIN: 9897-8600, ORCID: 0000-0001-6201-9207, 3bospital@mail.ru;

Gennady Egorovich Chmutin, DMSc, Professor, Head of the Department of Nervous Diseases and Neurosurgery n.a. Yu.S. Martynov, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukbo-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia, eLibrary SPIN: 1979-5750, ORCID: 0000-0002-3323-508X, med@rudn.ru;

Gleb Valeryevich Danilov, MD, PhD, Scientific Secretary, N.N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, 16 4th Tverskaya-Yamskaya str., Moscow, 125047, Russia, eLibrary SPIN: 4140-8998, ORCID: 0000-0003-1442-5993, info@nsi.ru;

Yulia Vladimirovna Strunina, data analyst, leading engineer, Laboratory of Biomedical Informatics and Artificial Intelligence, N.N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, 16 4th Tverskaya-Yamskaya str., Moscow, 125047, Russia, eLibrary SPIN: 9799-5066, ORCID: 0000-0001-5010-6661, info@nsi.ru;

Ivan Ivanovich Ivanov, senior resident of the 31st Neurosurgical Department, National Medical Research Center for High Medical Technologies – Central Military Clinical Hospital n.a. A.A. Visbnevsky, 1 Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow region, 143420, Russia, eLibrary SPIN: 2325-8605, ORCID: 0009-0008-8436-0105, 3bospital@mail.ru;

Abram Akopovich Gulzatyan, MD, PhD, neurosurgeon of Neurosurgical Department, Research Institute – Regional Clinic Hospital No. 1 n.a. Prof. S.V. Ochapovsky, 167 Pervogo Maya str., Krasnodar, 350086, Russia, eLibrary SPIN: 6853-4861, ORCID: 0000-0003-1260-4007, abramgulz@gmail.com.





# ВАЛИДАЦИЯ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА САГИТТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЗВОНОЧНИКА «SMARTPLAN BALANCE»\*

В.Р. Захарин<sup>1</sup>, О.Н. Леонова<sup>1</sup>, Е.С. Байков<sup>1</sup>, А.И. Кокорев<sup>1</sup>, Л.Ю. Дарчия<sup>1</sup>, Г.Е. Балычев<sup>1</sup>, Д.В. Иванов<sup>2</sup>,  
А.В. Доль<sup>2</sup>, Л.В. Бессонов<sup>2</sup>, А.В. Крутько<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии  
им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

**Цель исследования.** Оценка меж- и внутриэкспертной надежности измерений позвоночно-тазовых параметров при помощи мобильного приложения «SmartPlan Balance».

**Материал и методы.** На постуральных рентгенограммах пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника измеряли следующие позвоночно-тазовые параметры: тазовый индекс (PI), наклон таза (PT), наклон крестца (SS), общий поясничный лордоз (LL) и нижний лордоз L<sub>4</sub>–S<sub>1</sub> (LowLL). Измерения выполняли три эксперта при помощи мобильного приложения «SmartPlan Balance» и в десктопной программе Radiant DICOM Viewer. Произведено сравнение полученных значений, определенных мобильным приложением и компьютерной программой. Проводили расчет межэкспертной надежности измерений, полученных при использовании «SmartPlan Balance». После повторного измерения параметров «SmartPlan Balance» рассчитывали внутриэкспертную надежность для каждого эксперта.

**Результаты.** При сравнении последовательных измерений всех экспертов для каждого показателя каждым инструментом (Radiant DICOM Viewer и «SmartPlan Balance») статистически значимых различий не найдено ( $p > 0,05$ ). Коэффициент корреляции Пирсона находился в диапазоне от 0,83 до 0,95 (PI:  $r = 0,956$ ; PT:  $r = 0,912$ ; SS:  $r = 0,865$ ; GLL:  $r = 0,943$ ; LowLL:  $r = 0,839$ ) вне зависимости от конкретного эксперта или метода. Межэкспертная и внутриэкспертная надежность измерений приложением «SmartPlan Balance» имела отличную или хорошую надежность: наиболее стабильное и высокое значение индекса внутри- и межклассовой корреляции (ICC) определено у параметра LowLL (0,85–0,92), наименьшие значения согласованности ICC – у параметра PT (0,75–0,81).

**Заключение.** Измерения позвоночно-тазовых параметров с применением «SmartPlan Balance» имеют высокую надежность и воспроизводимость, сопоставимую со стандартной десктопной программой. Целесообразно использование мобильного приложения «SmartPlan Balance» в ежедневной практической деятельности каждого спинального хирурга, что особенно важно при планировании вмешательства, при интраоперационном измерении параметров, а также в случае анализа рентгенограмм на пленке.

**Ключевые слова:** сагиттальный баланс; позвоночно-тазовые взаимоотношения; мобильное приложение; программное обеспечение.

Для цитирования: Захарин В.Р., Леонова О.Н., Байков Е.С., Кокорев А.И., Дарчия Л.Ю., Балычев Г.Е., Иванов Д.В., Доль А.В., Бессонов Л.В., Крутько А.В. Валидация мобильного приложения для расчета сагиттальных параметров позвоночника «SmartPlan Balance» // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 96–103.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.96-103>

VALIDATION OF THE SMARTPLAN BALANCE\* MOBILE APPLICATION TO MEASURE SAGITTAL PARAMETERS OF THE SPINE  
V.R. Zakharin<sup>1</sup>, O.N. Leonova<sup>1</sup>, E.S. Baikov<sup>1</sup>, A.I. Kokorev<sup>1</sup>, L.Yu. Darchia<sup>1</sup>, G.E. Balychev<sup>1</sup>, D.V. Ivanov<sup>2</sup>, A.V. Dol<sup>2</sup>, L.V. Bessonov<sup>2</sup>, A.V. Krutko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Saratov State University, Saratov, Russia

**Objective.** To assess the inter- and intra-expert reliability of measurements of spinopelvic parameters using the SmartPlan Balance mobile application.

**Material and Methods.** The following spinopelvic parameters were measured on postural radiographs of patients with degenerative spine diseases: pelvic index (PI), pelvic tilt (PT), sacral slope (SS), total lumbar lordosis (LL), and lower lordosis L<sub>4</sub>–S<sub>1</sub> (LowLL). The measurements were performed by three experts using the SmartPlan Balance mobile application and the Radiant DICOM Viewer desktop program. The values obtained by the mobile application and by the computer program were compared. The inter-rater reliability of the measurements obtained using SmartPlan Balance was calculated. After repeated measurements of parameters using the SmartPlan Balance, the intra-rater reliability was calculated for each expert.

\* Приложение доступно на платформе Android по QR-коду, приведенному в конце статьи.

\* The application is available on the Android platform via the QR code provided at the end of the article.

**Results.** No statistically significant differences were found when comparing consecutive measurements of all experts for each parameter with each tool (Radiant DICOM Viewer and SmartPlan Balance);  $p > 0.05$ . The Pearson correlation coefficient ranged from 0.83 to 0.95 (PI:  $r = 0.956$ ; PT:  $r = 0.912$ ; SS:  $r = 0.865$ ; GLL:  $r = 0.943$ ; LowLL:  $r = 0.839$ ) regardless of the specific expert or method. The inter- and intra-rater reliability of measurements by the SmartPlan Balance application had excellent or good reliability: the most stable and highest value of the intra- and interclass correlation index (ICC) was determined for the LowLL parameter (0.85–0.92), and the lowest ICC consistency values were found for the PT parameter (0.75–0.81).

**Conclusion.** Measurements of spinopelvic parameters using SmartPlan Balance demonstrate high reliability and reproducibility, comparable to the standard desktop program. The use of the SmartPlan Balance mobile application is recommended in the daily practice of each spine surgeon, particularly in surgical planning, intraoperative parameter measurements, and analysis of non-digital radiographs.

**Key words:** sagittal balance; spinopelvic relationships; mobile application; software.

Please cite this paper as: Zakharin VR, Leonova ON, Baikov ES, Kokorev AI, Darchia L Yu, Balychev GE, Ivanov DV, Dol AV, Bessonov LV, Krutko AV. Validation of the SmartPlan Balance mobile application to measure sagittal parameters of the spine. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(2):96–103. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.96-103>

Дегенеративные заболевания позвоночника характеризуются асимметричной потерей высоты межпозвонковых дисков, особенно в передних отделах, и гипертрофией фасеточных суставов, что приводит к сглаживанию поясничного лордоза и нарушению позвоночно-тазовых взаимоотношений [1]. С целью улучшения качества жизни пациентов данные взаимоотношения требуют хирургической коррекции [2]. Для оценки объема необходимой коррекции параметры сагиттального баланса должны в обязательном порядке рассчитываться для каждого пациента на этапе предоперационного планирования, а также в раннем и позднем послеоперационных периодах для объективизации достигнутых результатов и оценки динамики [3].

В настоящее время рентгенограммы в подавляющем большинстве случаев записываются не на пленку, а на электронный носитель. Цифровизация в медицине привела к созданию компьютерных программ для просмотра рентгенограмм («Radiant Dicom Viewer», PACS, Surgimar и т.д.), каждая из которых дает возможность построения различных углов, значительно ускоряя процесс анализа сагиттального баланса позвоночника по сравнению с измерениями на пленке вручную. Данные программы являются точным, достоверным и общепринятым методом расчета рентгенологических параметров [4]. Однако у компьютерных программ есть один значительный минус: они не могут

быть использованы для интраоперационного расчета рентгенологических параметров на экране монитора.

Принимая во внимание активное внедрение смартфонов в ежедневную клиническую работу врача [5], в том числе и в спинальной хирургии [6, 7], мы разработали мобильное приложение для более удобного, быстрого и, самое главное, интраоперационного расчета параметров сагиттального баланса. «SmartPlan Balance» – приложение для смартфона для измерения и прогнозного расчета параметров сагиттального баланса позвоночно-тазового комплекса. С помощью приложения можно измерять основные (PI, SS, PT, LL) и дополнительные параметры сагиттального баланса (SCA, SSA, Lordosis C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>, C<sub>7</sub> Slope, Occipito C<sub>2</sub>), а также интегративный индекс расчета баланса (FBI). Все измерения сохраняются в базе данных.

Для внедрения приложения в повседневную практику вертебролога необходимо убедиться в его эквивалентности общепризнанным компьютерным программам с точки зрения точности расчета сагиттальных параметров.

Цель исследования – оценка меж- и внутриэкспертной надежности измерений позвоночно-тазовых параметров при помощи приложения «SmartPlan Balance».

### Материал и методы

Основную выборку составили пациенты с дегенеративными заболе-

ваниями позвоночника разной степени выраженности. Произвольно были выбраны 30 субъектов, имеющих постуральные рентгенограммы. При выполнении постуральных рентгенограмм позвоночника для получения достоверных результатов крайне важно правильное положение пациента. Все постуральные рентгенограммы выполнены по следующему стандарту: пациент находится в положении стоя, коленные и тазобедренные суставы в нейтральном удобном положении. Руки согнуты в плечевых и локтевых суставах с расположением кистей на противоположных ключицах; стояние с опорой недопустимо. По рентгенограммам рассчитывали основные позвоночно-тазовые параметры: тазовый индекс (Pelvic Incidence, PI), наклон таза (Pelvic Tilt, PT), наклон крестца (Sacral Slope, SS), значения общего поясничного лордоза L<sub>1</sub>–S<sub>1</sub> (LL) и нижнего лордоза L<sub>4</sub>–S<sub>1</sub> (LowLL).

Измерения проводили в мобильном приложении «SmartPlan Balance» и в компьютерной программе для просмотра рентгенограмм «Radiant DICOM Viewer» [8].

Расчет параметров в мобильном приложении «SmartPlan Balance» выполняли по следующему алгоритму: первый этап – размещали верхний край смартфона параллельно замыкательной пластине S<sub>1</sub>, второй этап – размещали боковую границу смартфона на линии между центром S<sub>1</sub> и центром соответствующей головки бедренной кости, третий этап –

размещали верхний край смартфона параллельно замыкательной пластине L<sub>1</sub>. После каждого этапа на смартфоне нажимали кнопку подтверждения положения. После всех этапов программа автоматически анализирует сагиттальный баланс (рис. 1). Расчет параметров в программе «Radiant DICOM Viewer» осуществляли стандартно (рис. 2) [9].

Измерение всей серии рентгенограмм проводили три врача-вертебролога (эксперта), имеющие опыт работы не менее пяти лет.

Сначала проводили обучение экспертов измерению позвоночно-тазовых параметров, в ходе которого достигнута межэкспертная согласованность результатов  $\geq 0,80$  по меньшей мере для 10 субъектов, не входящих в основную выборку. Разногласия по измеряемым значениям были урегулированы путем обсуждения и консенсуса.

Для определения межэкспертной надежности три эксперта независимо друг от друга проводили измерение параметров субъектов основной выборки при помощи приложения «SmartPlan Balance». Для определения внутриэкспертной надежности те же три эксперта повторяли свои измерения субъектов основной выборки при помощи приложения «SmartPlan Balance» через две недели.

**Статистический анализ.** Проверку исходных данных на нормальность (нормальное распределение) осуществляли с помощью критерия Колмогорова – Смирнова. Распределение непрерывных и дискретных количественных переменных в выборке представлены как среднее и стандартное отклонение ( $M \pm SD$ ). Для определения силы и направления линейной связи между двумя непрерывными переменными использовали коэффициент корреляции Пирсона (0,75–1,00 – очень высокая; 0,50–0,74 – высокая; 0,25–0,49 – средняя; 0,00–0,24 – слабая). Для расчета меж- и внутриэкспертной надежности измерений параметров сагиттального баланса позвоночника использовали коэффициент внутри- и межклассо-



Рис. 1

Пример расчета основных позвоночно-тазовых параметров в приложении «SmartPlan Balance»

вой корреляции (ICC). Для определения статистической значимости различий средних величин применяли t-критерий Стьюдента. Нулевую гипотезу в статистических тестах отклоняли при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## Результаты

Проводили сравнение измерений позвоночно-тазовых параметров (PI, PT, SS, LL, LowLL), определенных при помощи «SmartPlan Balance» и «Radiant DICOM Viewer» (табл. 1).

Указанные позвоночно-тазовые параметры, определенные «SmartPlan Balance» и «Radiant DICOM Viewer», имели сопоставимые значения ( $p > 0,05$ ).

Показано, что значения параметров, полученные «SmartPlan Balance» и «Radiant DICOM Viewer», имеют сильную положительную ассоциацию между собой (табл. 2).

Коэффициент корреляции Пирсона находился в диапазоне от 0,83 (значение LowLL) до 0,95 (значение PI), вне зависимости от конкретного эксперта или метода, что говорит



Рис. 2

Пример расчета основных позвоночно-тазовых параметров в программе «Radiant DICOM Viewer»: рассчитаны параметры PI, PT, SS с применением инструмента «Angle»; параметр LL рассчитан с помощью инструмента «Cobb angle»

Таблица 1

Средние значения и стандартные отклонения параметров сагиттального баланса

Параметр	Radiant DICOM Viewer	SmartPlan Balance	p-value
PI	55,1 ± 13,7	53,8 ± 12,0	0,12
PT	20,1 ± 8,7	23,7 ± 8,2	0,08
SS	34,3 ± 6,9	30 ± 7,2	0,21
GLL	46,7 ± 12,4	49,4 ± 10,5	0,67
LowLL (L <sub>4</sub> –S <sub>1</sub> )	24,7 ± 10,0	25,4 ± 9,7	0,07

Таблица 2

Ассоциация значений позвоночно-тазовых параметров, определенных «SmartPlan Balance» и «Radiant DICOM Viewer»

Параметр	Коэффициент корреляции Пирсона (r)	Степень согласованности	Сила связи
PI	0,956	Очень высокая согласованность	Очень сильная
PT	0,912	Очень высокая согласованность	Очень сильная
SS	0,865	Высокая согласованность	Очень сильная
GLL	0,943	Очень высокая согласованность	Очень сильная
LowLL (L <sub>4</sub> –S <sub>1</sub> )	0,839	Высокая согласованность	Сильная

Таблица 3

Коэффициент внутри- и межклассовой корреляции (3,1) для расчета внутриэкспертной надежности по каждому эксперту

Параметр	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Надежность
PI	0,9123	0,8567	0,9234	Отличная
PT	0,7890	0,7543	0,8123	Хорошая
SS	0,9012	0,8678	0,9345	Отличная
GLL	0,8765	0,9123	0,8901	Хорошая
LowLL (L <sub>4</sub> –S <sub>1</sub> )	0,9234	0,8567	0,9012	Отличная

Таблица 4

Коэффициент внутри- и межклассовой корреляции (2,1) для расчета межэкспертной надежности

Параметр	ICC	Надежность
PI	0,8765	Хорошая
PT	0,8123	Хорошая
SS	0,9012	Отличная
GLL	0,8901	Хорошая
LowLL (L <sub>4</sub> –S <sub>1</sub> )	0,9234	Отличная

о сильной взаимосвязи параметров между двумя способами измерения.

При расчете внутриэкспертной надежности измерений позвоночно-тазовых параметров при использовании приложения «SmartPlan Balance» был рассчитан коэффициент ICC для каждого эксперта (табл. 3).

Значение ICC варьировало от 0,75 (PT у эксперта 2) до 0,93 (SS у эксперта 3), что свидетельствует о хорошей и отличной надежности измерений в зависимости от параметра. Наиболее стабильное и высокое значение ICC определено у параметра LowLL (L<sub>4</sub>–S<sub>1</sub>) – 0,85–0,92, наиболее низкое значение ICC – у параметра PT (0,75–0,81) (рис. 3).

При расчете межэкспертной надежности измерений позвоночно-тазовых параметров при использовании приложения «SmartPlan Balance» был рассчитан коэффициент ICC: использовалась одна общая модель, учитывающая все измерения, выполненные каждым экспертом одновременно (табл. 4).

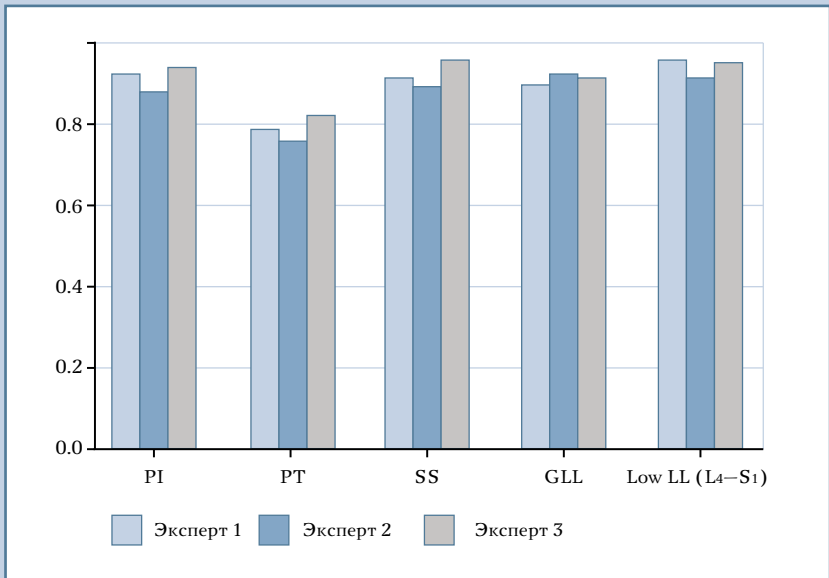
Все параметры имеют отличную и хорошую межэкспертную надежность (ICC > 0,81): наименьшие значения зарегистрированы у параметра PT (ICC = 0,81), наибольшее – у параметра LowLL (L<sub>4</sub>–S<sub>1</sub>; ICC = 0,92; рис. 4).

## Обсуждение

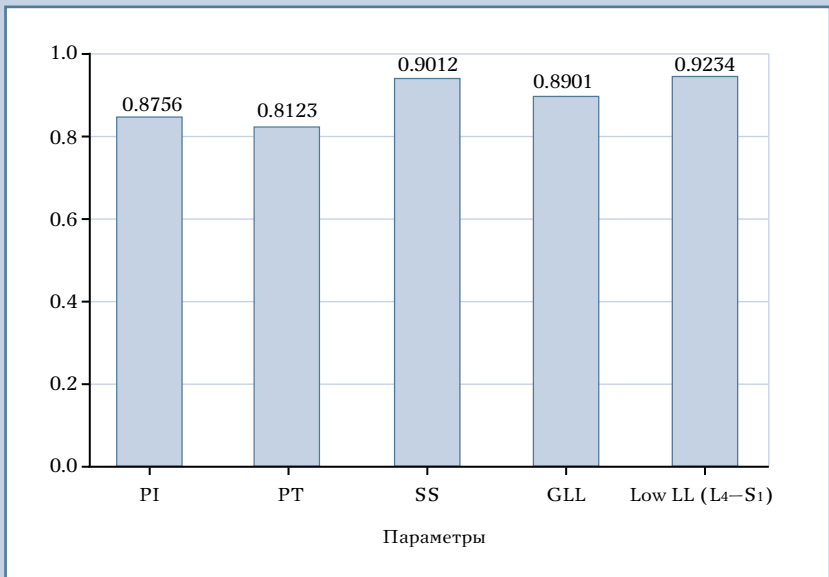
Расчет фактических и теоретических параметров сагиттального баланса является неотъемлемой частью планирования хирургического вмешательства на позвоночнике. Планируя оперативное вмешательство на позвоночнике, мы всегда четко понимаем, какие параметры сагиттального баланса хотим получить в каждом конкретном случае. Оценить достаточность достигнутой коррекции позвоночно-тазовых взаимоотношений в ходе оперативного вмешательства до недавнего времени не представлялось возможным (оценка результатов оперативного лечения с точки зрения параметров баланса производилась в послеоперационном периоде на контрольных рентгенограммах).

На сегодняшний день внедрение приложений в медицине активно





**Рис. 3**  
 Графическое изображение коэффициента внутри- и межклассовой корреляции (3,1) для расчета внутриэкспертной надежности



**Рис. 4**  
 Графическое изображение коэффициента внутри- и межклассовой корреляции (2,1) для расчета межэкспертной надежности

развивается. Помимо электронных учебников и гайдлайнов, появляется все больше узконаправленных приложений, предназначенных для врачей конкретной специализации. Так,

например, Meng et al. [10] пришли к выводу, что смартфон эквивалентен транспорту с точки зрения точности измерения угла вальгусной деформации первого пальца стопы. Смарт-

фоны также успешно применяются в вертебрологии для измерения углов Cobb при идиопатическом сколиозе у подростков [11], а также в кинезиологии для динамической оценки степени ротации позвонков грудного отдела при повороте туловища [12].

Отечественная группа авторов создала мобильное приложение «SmartPlan Balance», которое позволяет оценивать параметры сагиттального баланса непосредственно в операционной с помощью смартфона на экране ЭОП, что является огромным плюсом по сравнению с известными и общепринятыми компьютерными программами просмотра рентгенограмм. Приложение «SmartPlan Balance» является доработанной и улучшенной версией приложения «СпиноМетр». В отличие от прототипа, доработанная версия способна измерять фактические параметры сагиттального баланса, а также целевые значения с учетом возраста пациентов.

В данном исследовании мы продемонстрировали полную сопоставимость измерений, полученных с помощью вышеописанного мобильного приложения и стандартного стационарного программного обеспечения для просмотра рентгенограмм: различия значений позвоночно-тазовых параметров незначимы. Схожее исследование было проведено при сравнении результатов измерений сагиттальных параметров с помощью мобильного приложения «СпиноМетр» и компьютерной программы «SurgiMap» [13], авторы доложили о полной сопоставимости измерений двумя инструментами. Другое схожее исследование было проведено при сравнении зарубежного мобильного приложения «Sagittalmeter Pro» и десктопной программы «PACS» [7], авторы заключают о полной эквивалентности измерений двумя программами. Несмотря на сопоставимые результаты, «Sagittalmeter Pro» имеет существенный минус – приложение не сохраняет проведенные ранее исследования. Этого недостатка лишено приложение «SmartPlan Balance»: есть возможность вводить иденти-

фикационные данные для каждого исследуемого пациента. Все результаты хранятся в базе данных, которую при необходимости можно выгрузить на компьютер в виде таблицы.

В текущем исследовании мы подтвердили отличную и хорошую меж- и внутриэкспертную согласованность при измерении «SmartPlan Balance» по всем исследуемым позвоночно-тазовым параметрам, что говорит о высокой надежности и воспроизводимости результатов. Следует отметить, что наименьшая надежность была определена при измерении параметра РТ (внутриэкспертная надежность – 0,78, межэкспертная надежность – 0,81). Этому есть достаточно простое объяснение: в приложении «SmartPlan Balance» параметр РТ рассчитывается как разность между PI и SS, что следует из геометрических соображений. Таким образом, при его расчете в приложении «SmartPlan Balance» накапливается общая ошибка от измерения параметров PI и SS.

При использовании других мобильных приложений также показана хорошая и отличная согласованность. Так, например, для «Sagittalmeter Pro» были получены отличные показатели межэкспертной надежности – от 0,84 до 0,93 [7]. Приведенные данные свидетельствуют о том, что приложение «SmartPlan Balance» не уступает по своим техническим характеристикам, а в ряде случаев и превосходит аналоги.

Мы находим для себя ряд преимуществ при работе с приложением «SmartPlan Balance»: во-первых, оно простое в использовании и быстро выдает результат измерений, а во-вторых, это высоконадежный, легкодоступный инструмент, который можно использовать в любых условиях, в том числе в операционной.

Дополнительными преимуществами использования приложения «SmartPlan Balance» являются расчет теоретических (целевых) параметров сагиттального баланса позвоночника для конкретного пациента, хранение результатов измерений в памяти мобильного телефона и возможность выгрузки данных в виде таблицы, измерение параметров вне зависимости от освещенности и без использования камеры телефона, наличие справочника по параметрам сагиттального баланса, наличие пошаговых подсказок для каждого параметра и интуитивно понятный интерфейс. Приложение можно скачать по представленному ниже QR-коду (доступно на платформе Android).

### Заключение

Измерения позвоночно-тазовых параметров с применением «SmartPlan Balance» имеют высокую надежность и воспроизводимость, сопоставимую со стандартной десктопной программой. Целесообразно использование

мобильного приложения «SmartPlan Balance» в ежедневной практической деятельности каждого спинального хирурга, что особенно важно при планировании вмешательства, при интраоперационном измерении параметров, а также в случае анализа рентгенограмм на пленке.

Кроме того, данное приложение является первым и единственным на сегодняшний день отечественным приложением для расчета сагиттальных параметров позвоночника. Из-за широкого применения смартфонов в повседневной жизни, в том числе в медицине, мы считаем данное приложение полезным дополнением в арсенал вертебролога.

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*



### Литература/References

1. Le Huec JC, Thompson W, Mohsinaly Y, Barrey C, Faundez A. Sagittal balance of the spine. Eur Spine J. 2019;28:1889–1905. DOI: 10.1007/s00586-019-06083-1
2. Johnson RD, Valore A, Villaminar A, Comisso M, Balsano M. Sagittal balance and pelvic parameters – a paradigm shift in spinal surgery. J Clin Neurosci. 2013;20:191–196. DOI: 10.1016/j.jocn.2012.05.023
3. Diebo BG, Henry J, Lafage V, Berjano P. Sagittal deformities of the spine: factors influencing the outcomes and complications. Eur Spine J. 2014;24 Suppl 1:S3–S15. DOI: 10.1007/s00586-014-3653-8
4. Wu W, Liang J, Du Y, Tan X, Xiang X, Wang W, et al. Reliability and reproducibility analysis of the Cobb angle and assessing sagittal plane by computer-assisted and manual measurement tools. BMC Musculoskelet Disord. 2014;15:33. DOI: 10.1186/1471-2474-15-33
5. Al-Hadithy N, Gikas PD, Al-Nammari SS. Smartphones in orthopaedics. Int Orthop. 2012;36:1543–1547. DOI: 10.1007/s00264-012-1527-4
6. Jacquot F, Charpentier A, Khelifi S, Gastambide D, Rigal R, Sautet A. Measuring the Cobb angle with the iPhone in kyphoses: A reliability study. Int Orthop. 2012;36:1655–1660. DOI: 10.1007/s00264-012-1579-5
7. Lee JB, Kim IS, Lee JJ, Park JH, Cho CB, Yang SH, Sung JH, Hong JT. Validity of a smartphone application (Sagittalmeter Pro) for the measurement of sagittal balance parameters. World Neurosurg. 2019;126:e8–e15. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.11.242
8. RadiAnt Dicom Viewer. [Electronic resource]. Available at: <https://www.radiant-viewer.com>
9. Крутько А.В. Сагиттальный баланс. Гармония в формулах. Новосибирск. 2016. [Krutko AV. Sagittal Balance. Harmony in Formulas. Novosibirsk, 2016].
10. Meng HZ, Zhang WL, Li XC, Yang MW. Radiographic angles in hallux valgus: Comparison between protractor and iPhone measurements. J Orthop Res. 2015;33:1250–1254. DOI: 10.1002/jor.22872

11. Allam Y, El-Fiky T, Farghally MY, Al-Sabagh S, Siam AE. Comparison between Oxford Cobbmeter and digital Cobbmeter for measurement of Cobb angle in adolescent idiopathic scoliosis. Eur Spine J. 2016;25:444–449.  
DOI: 10.1007/s00586-015-4162-0
12. Furness J, Schram B, Cox AJ, Anderson SL, Keogh J. Reliability and concurrent validity of the iPhone® Compass application to measure thoracic rotation range of motion (ROM) in healthy participants. PeerJ. 2018;6:e4431. DOI: 10.7717/peerj.4431
13. Иванов Д.В., Кириллова И.В., Коссович Л.Ю., Лихачев С.В., Полиенко А.В., Харламов А.В., Шульга А.Е. Сравнительный анализ мобильного приложения для измерения параметров сагиттального баланса «СпиноМетр» с системой SurgiMap: апробация межэкспертной надежности // Гений ортопедии. 2021. Т. 27, № 1. С. 74–79. [Ivanov DV, Kirillova IV, Kossovich LYu, Likhachev SV, Polienko AV, Kharlamov AV, Shulga AE. Comparative analysis of the SpinoMeter mobile application and Surgimap system for measuring the sagittal balance parameters: inter-observer reliability test. Genij Ortopedii. 2021;27(1):74–79].  
DOI: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-74-79

#### Адрес для переписки:

Захарин Виталий Романович  
 Россия, 115172, Москва, Новоспасский переулок, 9,  
 НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова,  
 zakhvit@gmail.com

#### Address correspondence to:

Zakharin Vitaly Romanovich  
 National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics  
 n.a. N.N. Priorov, 9 Novospassky lane, Moscow, 115172, Russia,  
 zakhvit@gmail.com

Статья поступила в редакцию 09.02.2025

Рецензирование пройдено 04.03.2025

Подписано в печать 28.04.2025

Received 09.02.2025

Review completed 04.03.2025

Passed for printing 28.04.2025

Виталий Романович Захарин, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 115172, Москва, Новоспасский переулок, 9, eLibrary SPIN: 2931-0703, ORCID: 0000-0003-1553-2782, zakhvit@gmail.com;

Ольга Николаевна Леонова, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 115172, Москва, Новоспасский переулок, 9, eLibrary SPIN: 4907-0634, ORCID: 0000-0002-9916-3947, LeonovaON@cito-priorov.ru;

Евгений Сергеевич Байков, канд. мед. наук, врач-нейрохирург, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 115172, Москва, Новоспасский переулок, 9, eLibrary SPIN: 5367-5438, ORCID: 0000-0002-4430-700X, Evgen-bajk@mail.ru;

Алексей Иванович Кокорев, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 115172, Москва, Новоспасский переулок, 9, eLibrary SPIN: 7734-8476, ORCID: 0000-0002-5829-6372, KokorevAI@cito-priorov.ru;

Леван Юрьевич Дарчия, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 115172, Москва, Новоспасский переулок, 9, eLibrary SPIN: 5262-9185, ORCID: 0000-0001-6645-3211, leo2000-ozu@mail.ru;

Глеб Евгеньевич Бальчев, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 115172, Москва, Новоспасский переулок, 9, eLibrary SPIN: 9647-8748, ORCID: 0000-0001-7884-6258, balichev.gleb@gmail.com;

Дмитрий Валерьевич Иванов, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры математической теории упругости и биомеханики Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского, Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83, eLibrary SPIN: 4459-1094, ORCID: 0000-0003-1640-6091, Ivanovdv.84@ya.ru;

Александр Викторович Доль, д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры математической теории упругости и биомеханики Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского, Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83, eLibrary SPIN: 3881-2302, ORCID: 0000-0001-5842-1615, dolav86@yandex.ru;

Леонид Валентинович Бессонов, д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры математической теории упругости и биомеханики Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского, Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83, eLibrary SPIN: 9022-8177, ORCID: 0000-0002-5636-1644, bessonov@sgu.ru;

Александр Владимирович Крутько, д-р мед. наук, врач-нейрохирург, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова, Россия, 115172, Москва, Новоспасский переулок, 9, eLibrary SPIN: 8006-6351, ORCID: 0000-0002-2570-3066, KrutkoAV@cito-priorov.ru.

Vitaly Romanovich Zakharin, MD, PhD, orthopedic surgeon, National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, 9 Novospassky lane, Moscow, 115172, Russia, eLibrary SPIN: 2931-0703, ORCID: 0000-0003-1553-2782, zakhvit@gmail.com;

Olga Nikolayevna Leonova, MD, PhD, orthopedic surgeon, National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, 9 Novospassky lane, Moscow, 115172, Russia, eLibrary SPIN: 4907-0634, ORCID: 0000-0002-9916-3947, LeonovaON@cito-priorov.ru;

Evgeny Sergeyevich Baikov, MD, PhD, neurosurgeon, National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, 9 Novospassky lane,

Moscow, 115172, Russia, eLibrary SPIN: 5367-5438, ORCID: 0000-0002-4430-700X, Evgen-bajk@mail.ru;  
Alexey Ivanovich Kokorev, MD, PhD, orthopedic surgeon, National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, 9 Novospassky lane, Moscow, 115172, Russia, eLibrary SPIN: 7734-8476, ORCID: 0000-0002-5829-6372, KokorevAI@cito-priorov.ru;  
Levan Yuryevich Darchia, MD, PhD, orthopedic surgeon, National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, 9 Novospassky lane, Moscow, 115172, Russia, eLibrary SPIN: 5262-9185, ORCID: 0000-0001-6645-3211, leo2000-ozu@mail.ru;  
Gleb Evgenyevich Balychev, orthopedic surgeon, National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, 9 Novospassky lane, Moscow, 115172, Russia, eLibrary SPIN: 9647-8748, ORCID: 0000-0001-7884-6258, balychev.gleb@gmail.com;  
Dmitry Valeryevich Ivanov, DSc in Physics and Mathematics, Professor of Department of Mathematical Theory of Elasticity and Biomechanics, Saratov State University, 83 Astrakbanskaya str., Saratov, 410012, Russia, eLibrary SPIN: 4459-1094, ORCID: 0000-0003-1640-6091, Ivanovdv.84@ya.ru;  
Aleksandr Viktorovich Dol, DSc in Physics and Mathematics, Associate Professor of Department of Mathematical Theory of Elasticity and Biomechanics, Saratov State University, 83 Astrakbanskaya str., Saratov, 410012, Russia, eLibrary SPIN: 3881-2302, ORCID 0000-0001-5842-1615, dolav86@yandex.ru;  
Leonid Valentinovich Bessonov, DSc in Physics and Mathematics, Associate Professor of Department of Mathematical Theory of Elasticity and Biomechanics, Saratov State University, 83 Astrakbanskaya str., Saratov, 410012, Russia, eLibrary SPIN: 9022-8177, ORCID: 0000-0002-5636-1644, bessonov@sgu.ru;  
Aleksandr Vladimirovich Krutko, DMSc, neurosurgeon, National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, 9 Novospassky lane, Moscow, 115172, Russia, eLibrary SPIN: 8006-6351, ORCID: 0000-0002-2570-3066, KrutkoAV@cito-priorov.ru.





# ВАЛИДАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ СКОЛИОТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ АНАЛИЗЕ РЕНТГЕНОГРАММ

Г.А. Леин<sup>1</sup>, Н.С. Нечаева<sup>1</sup>, М.О. Демченко<sup>1</sup>, М.С. Артамонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Протезно-ортопедический центр «Сколиолоджик.ру», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Северо-Западный научно-практический центр реабилитации и протезирования «Ортетика», Санкт-Петербург, Россия

**Цель исследования.** Доказать возможность использования в клинической практике отечественной компьютерной программы по определению угла Cobb путем сравнительного анализа полученных автоматизированных данных с данными ручного измерения специалистами.

**Материал и методы.** Из медицинской базы протезно-ортопедического центра «Сколиолоджик.ру» отобраны 411 цифровых рентгенограмм позвоночника детей и подростков, которые измерены врачом-рентгенологом, имеющим значительный опыт в вертебродологии (ВР-эталон), врачом-рентгенологом, не имеющим опыта в вертебродологии (ВРБО) и компьютерной программой (КП), причем показатели КП сравнивали с эталоном дважды — первоначально (КП1) и после дообучения (КП2). Анализировали среднюю абсолютную ошибку и среднее абсолютное отклонение измерения угла Cobb эталонных данных с показателями, полученными ВРБО, КП1 и КП2, при различных типах сколиоза по классификации Rigo, а также при определении основной дуги различной величины от 20 до 41° и более. Рассчитывали коэффициент Пирсона (R) и внутрикласовый коэффициент корреляции (ICC).

**Результаты.** Отечественная КП после дообучения улучшила точность измерения в целом по дугам и типам сколиоза, превышая по средней абсолютной ошибке показатели ВРБО почти в два раза. В ней устранен ранее выявленный недостаток по измерению величины поясничной (пояснично-крестцовой) дуги. Показатели КП2 имеют самую высокую корреляционную связь с эталоном ( $R = 0,94$ ). Доказана отличная степень надежности программы ( $ICC = 0,95$  при подсчете на основной дуге и  $0,97$  — при подсчете на всех дугах), сравнимой с зарубежными аналогами. Также подтверждено, что среднее абсолютное отклонение в  $\pm 3,2^\circ$ , а по основной дуге  $\pm 4,0^\circ$  соответствует зарубежным показателям.

**Заключение.** Можно сделать вывод о возможности валидации отечественной КП, так как доказано, что ее действующий алгоритм дает точность по сравнению с эталонным измерением выше уровня ВРБО и сравним с зарубежными аналогами.

**Ключевые слова:** позвоночник; идиопатический сколиоз; угол Cobb; компьютерная программа.

Для цитирования: Леин Г.А., Нечаева Н.С., Демченко М.О., Артамонов М.С. Валидация системы поддержки принятия решений по определению степени тяжести сколиотической деформации позвоночника при анализе рентгенограмм // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 2. С. 104–111.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.104-111>

## VALIDATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DETERMINING THE SEVERITY OF SCOLIOTIC SPINAL DEFORMITY USING RADIOGRAPHIC IMAGE ANALYSIS

G.A. Lein<sup>1</sup>, N.S. Nechaeva<sup>1</sup>, M.O. Demchenko<sup>1</sup>, M.S. Artamonov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prosthetic and Orthopedic Center «Scoliolologic.ru», Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>North-West Scientific and Practical Center for Rehabilitation and Prosthetics «Orthetika», Saint Petersburg, Russia

**Objective.** To prove the possibility of using a domestic computer program in clinical practice to determine Cobb angle by means of comparative analysis of the obtained automated data with the data of manual measurement by specialists.

**Material and Methods.** A total of 411 digital x-rays of the spine of children and adolescents were selected from the medical database of Prosthetic and Orthopedic Center «Scoliolologic.ru». They were measured by a radiologist with significant experience in vertebrology (VR-standard), by a radiologist without experience in vertebrology (R-beginner) and a computer program (CP). The CP data were compared with the standard twice — initially (CP1) and after fine-tuning (CP2). The mean absolute error and mean absolute deviation of the standard data of Cobb angle measurements were analyzed when compared with the indicators obtained by R-beginner, CP1 and CP2 for different types of scoliosis according to the Rigo classification, and in determining the main curve of different magnitude from 20° to 41° and more. The Pearson coefficient (R) and the intraclass correlation coefficient (ICC) were calculated.

**Results.** After fine-tuning, the domestic computer program improved the accuracy of measurement in general for curves and types of scoliosis, exceeding the R-beginner indicators almost twice in mean absolute error. The previously identified program drawback in measuring the magnitude of the lumbar (lumbosacral) curve was eliminated. The CP2 data have the highest correlation with the standard ( $R = 0.94$ ). The excellent level of reliability of the program ( $ICC = 0.95$  when counting on the main curve and  $0.97$  when counting on all curves) comparable with foreign analogues was proved. It was also confirmed that the average absolute deviation of  $\pm 3.2^\circ$  and  $\pm 4.0^\circ$  for the main curve corresponds to foreign data.

**Conclusion.** It is possible to conclude that the domestic computer program may be validated, since it has been proven that when compared with a reference measurement, its current algorithm provides accuracy higher than that of a radiologist with no experience in vertebrology, and is comparable with foreign analogues.

**Keywords:** spine; idiopathic scoliosis; Cobb angle; computer program.

Please cite this paper as: Lein GA, Nechaeva NS, Demchenko MO, Artamonov MS. Validation of a decision support system for determining the severity of scoliotic spinal deformity using radiographic image analysis. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2025;22(2):104–111. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.2.104-111>

Измерение угла Cobb используют для определения тяжести сколиотической деформации позвоночника и для принятия обоснованных врачебных решений по тактике лечения. Именно поэтому высокая надежность определения величин данного угла имеет решающее значение. Однако известно, что измерение угла Cobb при сколиотическом позвоночнике в клинических условиях подвержено колебаниям у разных наблюдателей. Так, Srinivasalu et al. [1] указывают, что при использовании традиционной методики измерения по Cobb вариабельность результатов у одного исследователя составляет  $2,8\text{--}4,9^\circ$ , а вариабельность результатов у разных исследователей –  $6,3\text{--}7,2^\circ$ . Ряд авторов [2, 3] считают, что пределом клинической приемлемости при измерении угла Cobb является величина  $\leq 5^\circ$ .

Для повышения точности измерений зарубежные ученые предлагают определять угол Cobb и диагностировать степень тяжести сколиоза на рентгенограммах грудной клетки автоматизированным компьютерным методом [4, 5]. Появляются и отечественные попытки создания автоматических систем определения углов сколиотической деформации позвоночника [6], однако они не апробированы в клинической практике. В 2020 г. за счет средств гранта Фонда содействия инновациям в России сделан реальный шаг к созданию современного отечественного инновационного продукта «Система поддержки принятия решений по определению степени

тяжести сколиотической деформации позвоночника при анализе рентгенограмм», использующего технологии глубоких нейронных сетей в части распознавания 2D-изображений позвоночника и автоматического измерения углов Cobb, подтвержденного свидетельством о регистрации в Федеральной службе по интеллектуальной собственности [7]. Компьютерная программа (КП) с целью дообучения модели, уточнения и оптимизации детерминированных алгоритмов с 2021 г. встроена в медицинскую систему протезно-ортопедического центра «Сколиолоджик.ру». Проведенное в 2023–2024 гг. исследование ее работоспособности на 411 рентгеновских снимках показало, что она обладает хорошей надежностью и ее использование может быть рекомендовано для автоматизированного определения угла Cobb, особенно для начинающих врачей-травматологов-ортопедов, не имеющих опыта в вертебрологии [8]. В соответствии с выявленными ошибками в работе КП было продолжено ее дообучение на дополнительном объеме датасета, после чего проведено повторное автоматическое измерение тех же 411 рентгенограмм. Таким образом, данное исследование является продолжением работы авторов, начатой в 2020 г. [7, 8].

Цель исследования – доказать возможность использования в клинической практике отечественной КП по определению угла Cobb путем сравнительного анализа полученных авто-

матизированных данных с данными ручного измерения специалистами.

## Материал и методы

Протокол исследования одобрен комитетом по этике протезно-ортопедического центра «Сколиолоджик.ру» (протокол № 4 от 1 августа 2024 г.). В статье приведены результаты исследований без идентификации личности пациентов, которые не противоречат этическим стандартам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава России от 19.06.2003 г. № 266. Участники исследования и их законные представители были информированы о целях, методах, ожидаемой пользе исследования и сопряженных с участием в исследовании риске и неудобствах.

Для сравнительного анализа из медицинской базы протезно-ортопедического центра «Сколиолоджик.ру» отобраны 411 цифровых рентгенограмм позвоночника детей и подростков, проходящих лечение по поводу идиопатического сколиоза II–IV степени корсетами типа Риги – Шено, смоделированными в компьютерной среде Rodin4D NEO и изготовленными с применением CAD/CAM-технологии. Рентгенограммы выполнены в переднезадней проекции, с визуализацией позвоноч-

ника от С<sub>7</sub> до S<sub>1</sub>, ребер, грудной и брюшной полости, а также с захватом костей таза. Все рентгенограммы для определения угла Cobb имеющих дуг деформации последовательно измерены ручным способом двумя специалистами – сертифицированным врачом-рентгенологом (ВР), описавшим более 30 000 рентгенограмм позвоночника, сертифицированным врачом-рентгенологом без опыта в вертебрологии (ВРБО), а также автоматической КП «Система поддержки принятия решений по определению степени тяжести сколиотической деформации при анализе рентгенограмм», причем показатели КП сравнивали с эталоном дважды – первоначально (КП1) и после дообучения (КП2). Дуги деформации для исследования обозначены по принципу «сверху вниз» как дуга 1, дуга 2, дуга 3, дуга 4. В качестве эталонного теста, как и в зарубежных исследованиях, использовали ручную процедуру, произведенную ВР [1].

Сравнивали среднюю абсолютную ошибку в процентах (МАРЕ – Mean Absolute Percentage Error) и среднее абсолютное отклонение в градусах (МAD – Mean Absolute Deviation) результатов измерения угла Cobb эталонных данных с показателями, полученными ВРБО, КП1 и КП2 в целом, а также при различных типах сколиоза по классификации Rigo et al. [9], где тип А определяется как сколи-

оз в три дуги, тип В – в четыре дуги, тип С – не три и не четыре дуги, тип Е – изолированная дуга (рис. 1). Выбор данной классификации обусловлен тем, что авторы не занимаются хирургическим лечением идиопатических сколиозов, а классификация Rigo специально разработана для корсетного лечения сколиоза и представлена в национальных клинических рекомендациях «Идиопатический сколиоз» (2024), принятых ассоциацией травматологов-ортопедов России и утвержденных Минздравом России [10].

Кроме того, сравнивали МАРЕ по всем дугам исследователей ВРБО, КП1 и КП2 при доверительном интервале разницы измерений угла Cobb в 1, 3, и 5°.

Для оценки надежности измерений рассчитали внутриклассовый коэффициент корреляции (ICC – Intraclass Correlation Coefficient) замеров ВРБО, КП1 и КП2 от эталонного значения величины основной дуги сколиоза, имеющего ведущую роль при определении его степени. Расчет MAD и МАРЕ вели и в зависимости от величины основной дуги в группах 20–30°, 31–40°, 41–50° и больше 50°. ICC рассчитывали для ВРБО, КП1 и КП2 на всю совокупность основных дуг, показатель которого оценивали по методике Коо и Ли [11]: меньше 0,5 – низкая надежность; от 0,5 до 0,75 – умеренная надежность; между 0,75 и 0,9 – хоро-

шая надежность; больше 0,9 – отличная надежность.

Для подтверждения параллельной валидности оценивали коэффициент корреляции Пирсона, сравнивали ВР-ВРБО; ВР-КП1; ВР-КП2; ВРБО-КП1; ВРБО-КП2. Оценку критерия Пирсона проводили по шкале Chaddock [12]: менее 0,3 – корреляционная связь слабая; от 0,3 до 0,5 – умеренная; от 0,5 до 0,7 – заметная; от 0,7 до 0,9 – высокая; более 0,9 – весьма высокая.

## Результаты

Для оценки качества измерений исследовали МАРЕ и MAD у ВРБО, КП1 и КП2 от эталонного измерения (табл. 1).

Анализ данных показывает, что в КП2 по сравнению с КП1 улучшилась точность измерений в целом по всем дугам и типам сколиоза. Так, в целом МАРЕ КП1 составляла 23,9 %, MAD – 4,2°. КП2 продемонстрировала снижение уровня средней абсолютной ошибки почти в два раза – 12,8 %, а MAD определена в 3,2°. Показательно снижение МАРЕ КП2 по уровням дуг. Первоначальное исследование работоспособности КП1 показало, что при исследовании рентгенограмм позвоночника со сколиозом типа В на дугу 4 не обращали должного внимания, а величину поясничной (пояснично-крестцовой) дуги не определяли, что следует квалифицировать

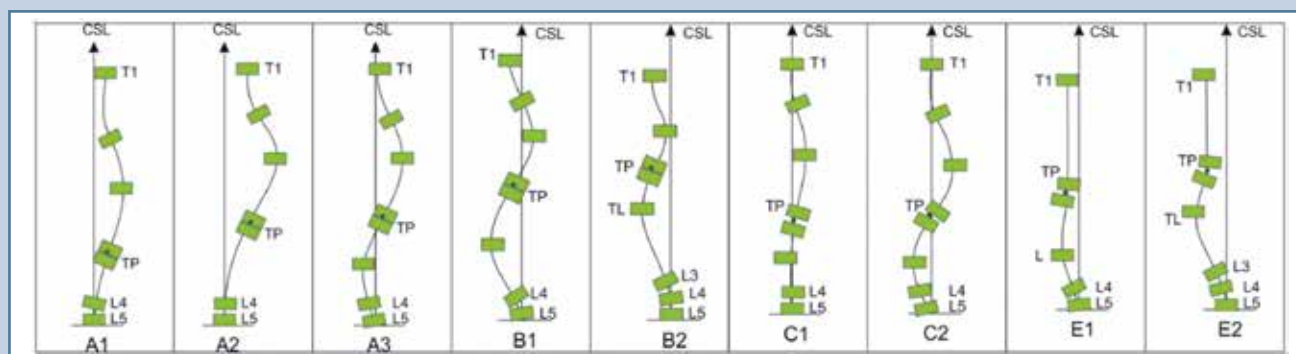


Рис. 1  
 Схема классификации Rigo et al. [9]

Таблица 1

Средняя абсолютная ошибка и среднее абсолютное отклонение результатов измерения угла Cobb от эталонного измерения у исследователей ВРБО, КП1 и КП2

Вид сравнения	Дуга 1			Дуга 2			Дуга 3			Дуга 4			Итого		
	ВРБО	КП1	КП2	ВРБО	КП1	КП2	ВРБО	КП1	КП2	ВРБО	КП1	КП2	ВРБО	КП1	КП2
Средняя абсолютная ошибка, %															
Всего	31,8	28,7	18,6	20,8	13,1	10,5	18,9	15,8	11,9	15,8	38,1	10,2	21,8	23,9	12,8
Тип сколиоза А1	26,6	21,3	9,7	19,7	9,6	8,0	27,2	22,6	17,4	3,3	3,7	2,6	19,2	14,3	9,4
Тип сколиоза А2	28,0	23,5	17,6	18,4	11,0	9,3	21,9	17,2	17,2	1,9	1,5	0,6	17,6	13,3	9,7
Тип сколиоза А3	23,6	20,0	12,3	15,1	9,5	8,5	13,0	10,5	9,1	2,7	4,9	2,3	13,6	11,2	8,1
Тип сколиоза В1	25,7	25,6	14,7	16,3	10,	8,1	14,2	11,4	8,1	40,5	88,7	24,8	24,1	34,2	13,9
Тип сколиоза В2	28,5	35,9	19,1	19,3	14,8	8,7	15,7	14,7	10,0	24,5	86,9	18,4	22,0	38,1	14,1
Тип сколиоза С1	30,3	43,2	17,9	24,9	25,3	15,9	26,7	16,7	19,3	16,8	8,3	7,1	24,7	23,4	15,0
Тип сколиоза С2	38,6	22,9	14,7	22,6	12,9	9,2	21,5	24,1	11,8	8,7	5,8	3,2	22,9	16,4	9,8
Тип сколиоза Е1	59,7	37,9	44,7	37,8	28,2	24,8	15,3	12,4	8,8	1,8	12,3	2,9	28,6	22,7	20,3
Тип сколиоза Е2	61,1	47,0	43,4	38,3	18,4	22,4	22,5	16,1	19,4	1,6	10,5	2,6	30,9	23,0	22,0
Среднее абсолютное отклонение, град.															
Всего	5,3	4,0	3,1	6,4	3,7	3,5	5,3	4,0	3,7	3,5	5,0	2,4	5,2	4,2	3,2
Тип сколиоза А1	5,8	4,0	2,1	5,7	2,9	2,4	4,6	4,3	3,4	1,0	0,7	0,4	4,3	3,0	2,1
Тип сколиоза А2	5,3	3,5	3,4	7,0	3,8	4,2	4,9	3,8	2,6	0,5	0,1	0,1	4,4	2,8	2,6
Тип сколиоза А3	6,3	5,2	3,1	7,5	4,7	4,4	4,4	3,7	3,3	3,1	2,1	1,8	5,3	3,9	3,2
Тип сколиоза В1	4,2	3,3	2,5	5,0	2,8	2,7	3,9	3,4	2,3	3,8	10,1	2,7	4,2	4,9	2,5
Тип сколиоза В2	4,6	4,9	2,9	6,1	4,3	2,9	4,3	4,3	2,7	3,6	11,8	2,8	4,6	6,3	2,8
Тип сколиоза С1	4,4	4,3	3,0	3,9	3,9	3,5	5,7	3,7	4,6	3,4	0,5	1,7	4,3	3,1	3,2
Тип сколиоза С2	6,1	3,5	2,7	7,2	3,9	3,1	5,5	3,9	3,3	7,6	1,2	5,3	6,6	3,1	3,6
Тип сколиоза Е1	6,5	3,1	4,9	7,6	3,7	4,5	10,7	3,9	8,7	9,0	4,4	5,8	8,5	3,8	6,0
Тип сколиоза Е2	7,3	4,0	5,4	9,5	4,3	5,9	11,4	5,4	10,4	6,9	1,9	5,4	8,8	3,9	6,8

ВРБО — врач-рентгенолог без опыта в вертебрологии; КП1 — компьютерная программа первоначальная; КП2 — компьютерная программа после дообучения.

как диагностический недостаток [8]. Для его устранения проведено доучивание программы (КП2). Если по дугам 1, 2, 3 КП2 повысила точность измере-

ний на 10,1, 2,6 и 3,9 % соответственно, то по дуге 4 — на 27,9 %. Точность КП2 по сравнению с эталоном на дуге 4 повысилась при типе сколиоза В: В1 —

на 63,0 %; В2 — на 68,5 %. Отметим, что и показатель MAD дуги 4 снизился при типе В1 с 10,1° до 2,7°, а при типе В2 — с 11,8° до 2,8°.



Таблица 2  
 Показатели среднего абсолютного отклонения (MAD) и средней абсолютной ошибки (MAPE) при различной величине основной дуги сколиоза

Величина основной дуги (угол Cobb), град. (процент от общего количества)	ВРБО		КП1		КП2	
	MAD, град.	MAPE, %	MAD, град.	MAPE, %	MAD, град.	MAPE, %
20–30 (34,1 %)	±5,2	20,5	±2,9	11,6	±2,7	10,6
31–40 (21,8 %)	±5,9	16,6	±3,7	10,3	±3,1	8,7
41–50 (19,1 %)	±7,6	16,7	±3,6	7,8	±4,4	9,6
>50 (25,0 %)	±9,6	16,1	±5,5	8,8	±7,0	11,1
Все основные дуги (100 %)	±6,8	17,5	±3,8	9,8	±4,0	9,8

ВРБО — врач-рентгенолог без опыта в вертебрологии; КП1— компьютерная программа первоначальная; КП2 — компьютерная программа после дообучения.

Следует обратить внимание, что при наиболее редко встречающемся типе Е КП2 не показала значительного улучшения работы по сравнению с КП1. Произошло снижение MAPE при типе Е1 на 2,4 %, при типе Е2 – лишь на 1,0 %. При этом среднее абсолютное отклонение КП2 увеличилось до ±6,0° при типе Е1 (КП1 ±3,8°) и до ±6,8° – при типе Е2 (КП1 ±3,9°). Отметим повышение MAD КП2 по сравнению с КП1 на всех дугах типов Е1 и Е2. Анализ этой ситуации показал, что по типу сколиоза Е необходимо еще одно дообучение КП2.

Сравнение показателей MAPE и MAD ВРБО и КП2 как валидируемой программы подтверждает ее работоспособность. В целом MAPE КП2 снижен, по сравнению с показателями ВРБО, почти в два раза (12,8 против 21,8 %). По разным типам сколиоза этот показатель уменьшается от 5,5 до 13,1 %. В то же время MAPE КП1 составляет 23,9 %, что на 2,1 % выше, чем показатели ВРБО. Среднее абсолютное отклонение КП2 меньше ВРБО на 2°, КП1 – на 1°. Обратим внимание на показатели при типе сколиоза В. Здесь лучше работает КП2, которая снижает MAPE по сравнению с ВРБО на 10,2 % (тип В1) и 7,9 % (тип В2). КП1 работает хуже: MAPE повышается на 10,1 % (тип В1) и на 16,1 % (тип В2). Особенно разница заметна на дуге 4 сколиоза типа В. Сопоставление данных MAPE ВРБО с КП1 и КП2 убедительно доказывает, что величину дуги 4 КП2 определяет значительно лучше, чем КП1.

Так, КП2 при сколиозе В1 увеличивает точность на 15,5 %, при типе В2 – на 6,1 %. В отличие от КП2, КП1 при сколиозе В1 уменьшает точность на 48,2 %, при сколиозе В2 – на 62,4 %. Это еще раз доказывает, что недостаток КП2 по отношению к точности определения дуги 4 полностью устранен.

Величины MAD и MAPE при различной величине основной дуги сколиоза представлены в табл. 2.

Данные таблицы показывают, что КП2 по всем основным дугам дает среднее абсолютное отклонение в ±4,0°, причем наименьшее отклонение в ±2,7° при величине дуги от 20 до 30°, программа ошибается в 10,6 % случаев. Меньше всего КП2 ошибается при величине дуги 31–40° (8,7 %). Средняя абсолютная ошибка КП2 по всем основным дугам определена в 9,8 %, что идентично КП1, но более чем в два раза ниже,



Рис. 2  
 Частота совпадений результатов измерений ВРБО, КП1 и КП2 всех дуг сколиоза при допустимой величине расхождений в 1, 3 и 5°: ВРБО – врач-рентгенолог без опыта в вертебрологии; КП1– компьютерная программа первоначальная; КП2 – компьютерная программа после дообучения

чем у исследователя ВРБО (17,5 %). Что касается дуг с 41° и выше, то КП2 по точности незначительно уступает КП1 – на 1,8 % (при дуге 41–50°) и на 2,3 % (при дуге >50°), однако превосходит точность ВРБО на 5 % и более.

Параллельную валидность результатов, полученных ВРБО и двумя вариантами КП (КП1 и КП2), по сравнению с эталоном (ВР), оценивали на основании расчета коэффициента корреляции Пирсона (R). Сравнивали между собой ВР-ВРБО, ВР-КП1, ВР-КП2, ВРБО-КП1, ВРБО-КП2. Сопоставление данных с эталоном выявляет весьма высокую корреляционную связь:

ВР-ВРБО (R = 0,91); ВР-КП1 (R = 0,92); ВР-КП2 (R = 0,94), причем самую высокую корреляционную связь с эталоном демонстрирует после обучения КП2. Что касается корреляционной связи между ВРБО и КП1, то она определена как высокая (R = 0,84), а связь между ВРБО и КП2 как весьма высокая (R = 0,93).

В дополнение проведено исследование точности измерений всех дуг сколиоза при погрешности в 1,3 и 5° (рис. 2).

Так, по всем дугам сколиоза доля совпадений КП2 при погрешности в 3° возрастает до 70 %, при погрешности в 5° (клиническая приемлемость [2, 3]) –

84 %. При этом доля совпадений КП1 при погрешности в 5° определена в 75 %, а ВРБО – в 66 %.

В заключение приведем пример работы КП2 по сравнению с эталонными измерениями и измерениями ВРБО (рис. 3).

Измерения ВРБО существенно отличались от эталона – от 4 до 12°. Программа правильно определила и оценила все имеющиеся дуги деформации, разница между эталонным и автоматическим измерением угла Cobb составила 1–2° и определена как незначительная.

## Обсуждение

Среднее абсолютное отклонение результатов измерения угла Cobb, полученное зарубежными исследователями, составляет  $\pm 3,19^\circ$  [13];  $\pm 3,3^\circ$  [14];  $\pm 3,52^\circ$  [15];  $\pm 5^\circ$  – в 88,7 % случаев [16]; менее 5° – в 95,9 % случаев [17].

Таким образом, отечественная КП, показавшая по всем дугам среднее абсолютное отклонение в  $\pm 3,2^\circ$ , а по основной дуге – в  $\pm 4,0^\circ$ , практически не уступает зарубежным аналогам.

Полученное значение ICC отечественной КП сравнялось с зарубежными данными, приведенными различными авторами, а также с данными отечественной КП до дообучения (табл. 3).

Если показатель КП1 по внутриклассовому коэффициенту корреляции по основной дуге входил в диапазон хорошей надежности (ICC = 0,9), то КП2 продемонстрировала отличную надежность, сравнимую с последними зарубежными исследованиями [17, 19, 20]. Отметим, что подсчет указанного коэффициента КП2 по всем дугам также подтверждает отличную надежность программы: ICC = 0,97.

Проведенное исследование показало, что отечественная КП после дообучения улучшила точность измерения в целом по дугам и типам сколиоза, превышая по показателю MAPE врача-рентгенолога без опыта в вертебрологии в 2 раза. В ней устранен ранее выявленный недостаток по измерению величины поясничной (пояс-



**Рис. 3**

Демонстрация работы компьютерной программы после дообучения (КП2): а, г – эталонные ручные измерения; б, д – измерения врача-рентгенолога без опыта в вертебрологии; в, е – автоматические измерения КП2

Таблица 3

Сравнение коэффициента корреляции в русской версии КП2 с зарубежными версиями КП и КП1 по определению угла Cobb основной дуги

Публикация	Значение ICC	Уровень надежности
Pan et al. [14]	0,854	Хороший
Prestigiacoio et al. [18]	0,864	Хороший
Caesarendra et al. [19]	>0,95	Отличный
Sun et al. [20]	0,994	Отличный
Wang et al. [17]	0,981	Отличный
КП первоначальная, Г.А. Леин с соавт. [8]	0,90	Хороший
КП после дообучения	0,95	Отличный

КП — компьютерная программа; КП1 — КП первоначальная; КП2 — КП после дообучения.

нично-крестцовой) дуги. Показатели КП2 имеют самую высокую корреляционную связь как с эталоном ( $R = 0,94$ ), так и с показателями ВРБО ( $R = 0,93$ ). Доказана отличная степень надежности программы ( $ICC = 0,95$  по основной дуге и  $0,97$  по всем дугам), сравнимая с зарубежными аналогами, а также подтверждено, что среднее абсолютное отклонение в  $\pm 3,2^\circ$ , а по основной дуге в  $\pm 4,0^\circ$  практически не уступает зарубежным аналогам и входит в диапазон клинической приемлемости [2, 3].

По выявленным недостаткам КП2 при редко встречающемся сколиозе типа E будет проведено дополнительное дообучение программы.

### Заключение

На основании изучения работоспособности и уровня надежности отечественной КП «Система поддержки принятия решений по определению степени тяжести сколиотической деформации позвоночника при анализе рентгенограмм» можно сделать

вывод о возможности ее валидации в клинической практике. Использование КП может быть рекомендовано для автоматизированного определения угла Cobb, так как доказано, что действующий алгоритм КП дает достаточно высокую клиническую точность по сравнению с эталонным измерением на уровне специалиста-рентгенолога с опытом в вертебродологии и несколько превосходит по точности врача-рентгенолога без опыта. Для широкого клинического использования валидированная КП размещена на сайте протезно-ортопедического центра «Сколиолджик.ру».

*Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.*

*Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.*

## Литература/References

- Srinivasalu S, Modi HN, Smehta S, Suh SW, Chen T, Murun T. Cobb angle measurement of scoliosis using computer measurement of digitally acquired radiographs: intraobserver and interobserver variability. Asian Spine J. 2008;290–93. DOI: 10.4184/asj.2008.2.2.90
- Kuklo TR, Potter BK, Schroeder TM, O'Brien MF. Comparison of manual and digital measurements in adolescent idiopathic scoliosis. Spine. 2006;31:1240–1246. DOI: 10.1097/01.brs.0000217774.13433.a7
- Wong JC, Reformat MZ, Parent EC, Stampe KP, Southon Hryniuk SC, Lou EH. Validation of an artificial intelligence-based method to automate Cobb angle measurement on spinal radiographs of children with adolescent idiopathic scoliosis. Eur J Phys Rehabil Med. 2023;59:535–542. DOI: 10.23736/S1973-9087.23.08091-7
- Zhang J, Lou E, Hill DL, Raso JV, Wang Y, Le LH, Shi X. Computer-aided assessment of scoliosis on posteroanterior radiographs. Med Biol Eng Comput. 2010;48:185–195. DOI: 10.1007/s11517-009-0556-7
- Langensiepen S, Semler O, Sobottke R, Fricke O, Franklin J, Schonau E, Eysel P. Measuring procedures to determine the Cobb angle in idiopathic scoliosis: a systematic review. Eur Spine J. 2013;22:2360–2371. DOI: 10.1007/s00586-013-2693-9
- Падалко М.А., Орлов С.В., Наумов А.М. Назариков С.И., Лушников А.А. Автоматическая система определения углов сколиотической деформации позвоночника человека // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. 2019. № 3. С. 55–68. [Padalko MA, Orlov SV, Naumov AM, Nazarikov SI, Lushnikov AA. Automatic system for determining the angles of scoliotic deformity of the human spine. Vestnik IKBFU. Physics, Mathematics, and Technology. 2019;(3):55–68].
- Леин Г.А., Нечаева Н.С., Мамедова Г.М., Смирнов А.А., Стаценко М.М. Автоматизация анализа рентгенограмм позвоночника для объективизации оценки степени тяжести сколиотической деформации при идиопатическом сколиозе (предварительное сообщение) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2020. Т. 8, № 3. С. 317–326. [Lein GA, Nechaeva NS, Mamedova GM, Smirnov AA, Statsenko MM. Automation analysis X-ray of the spine to objectify the assessment of the severity of scoliotic deformity in idiopathic scoliosis: A preliminary report. Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. 2020;8(3):317–326]. DOI: 10.17816/PTORS34150
- Леин Г.А., Нечаева Н.С., Демченко М.О., Коч Н.С., Левыкин А.Г. Исследование работоспособности системы поддержки принятия решений по определению степени тяжести сколиотической деформации позвоночника при анализе рентгенограмм // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2024. Т. 12, № 3. С. 307–316. [Lein GA, Nechaeva NS, Demchenko MO, Koch NS, Levykin AG. Efficiency of the decision support system for determining the severity of scoliotic spinal deformity by the analysis of radiographs. Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. 2024;12(3):307–316]. DOI: 10.17816/PTORS629748

9. **Rigo MD, Villagrasa M, Gallo D.** A specific scoliosis classification correlating with brace treatment: description and reliability. *Scoliosis*. 2010;5:1. DOI: 10.1186/1748-7161-5-1
10. Национальные клинические рекомендации «Идиопатический сколиоз» (одобренны Минздравом России). М., 2024. [Idiopathic Scoliosis: National Clinical Guidelines (approved by the Ministry of Health of Russia). Moscow, 2024].
11. **Koo TK, Li MY.** A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med*. 2016;15:155–163. DOI: 10.1016/j.jcm.2016.02.012
12. **Chaddock RE.** Principles and Methods of Statistics. Boston, New York, [etc.]; 1925.
13. **Wang J, Zhang J, Xu R, Chen TG, Zhou KS, Zhang HH.** Measurement of scoliosis Cobb angle by end vertebra tilt angle method. *J Orthop Surg Res*. 2018;13:223. DOI: 10.1186/s13018-018-0928-5
14. **Pan Y, Chen Q, Chen T, Wang H, Zhu X, Fang Z, Lu Y.** Evaluation of a computer-aided method for measuring the Cobb angle on chest X-rays. *Eur Spine J*. 2019;28:3035–3043. DOI: 10.1007/s00586-019-06115-w
15. **Zhang K, Xu N, Guo C, Wu J.** MPF-net: An effective framework for automated cobb angle estimation. *Med Image Anal*. 2022;75:102277. DOI: 10.1016/j.media.2021.102277
16. **Huang X, Luo M, Liu L, Wu D, You X, Deng Z, Xiu P, Yang X, Zhou C, Feng G, Wang L, Zhou Z, Fan J, He M, Gao Z, Pu L, Wu Z, Zhou Z, Song Y, Huang S.** The comparison of convolutional neural networks and the manual measurement of cobb angle in adolescent idiopathic scoliosis. *Global Spine J*. 2024;14:159–168. DOI: 10.1177/21925682221098672
17. **Wang MX, Kim JK, Choi JW, Park D, Chang MC.** Deep learning algorithm for automatically measuring Cobb angle in patients with idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2024;33:4155–4163. DOI: 10.1007/s00586-023-08024-5
18. **Prestigiacomo FG, Hulsbosch MHHM, Bruls VEJ, Nieuwenhuis JJ.** Intra- and inter-observer reliability of Cobb angle measurements in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2022;10:79–86. DOI: 10.1007/s43390-021-00398-0
19. **Caesarendra W, Rahmaniar W, Mathew J., Thien A.** Automated Cobb angle measurement for adolescent idiopathic scoliosis using convolutional neural network. *Diagnostics (Basel)*. 2022;12:396. DOI: 10.3390/diagnostics12020396
20. **Sun Y, Xing Y, Zhao Z, Meng X, Xu G, Hai Y.** Comparison of manual versus automated measurement of Cobb angle in idiopathic scoliosis based on a deep learning keypoint detection technology. *Eur Spine J*. 2022;31:1969–1978. DOI: 10.1007/s00586-021-07025-6

#### Адрес для переписки:

Нечаева Наталья Сергеевна  
 194356, Россия, Санкт-Петербург, Выборгское шоссе, 64,  
 Протезно-ортопедический центр «Сколиолджик.ру»,  
[n.nechaeva@scoliologic.ru](mailto:n.nechaeva@scoliologic.ru)

#### Address correspondence to:

Nechaeva Natalia Sergeyevna  
 Prosthetic and Orthopedic Center «Scoliologic.ru»,  
 64 Vyborgskoe Shosse, Saint Petersburg, 194356, Russia,  
[n.nechaeva@scoliologic.ru](mailto:n.nechaeva@scoliologic.ru)

Статья поступила в редакцию 07.11.2024

Рецензирование пройдено 18.04.2025

Подписано в печать 12.05.2025

Received 07.11.2024

Review completed 18.04.2025

Passed for printing 12.05.2025

Григорий Аркадьевич Леин, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, генеральный директор, протезно-ортопедический центр «Сколиолджик.ру», Россия, 194356, Санкт-Петербург, Выборгское шоссе, 64, ORCID: 0000-0001-7904-8688, [lein@scoliologic.ru](mailto:lein@scoliologic.ru);  
 Наталья Сергеевна Нечаева, врач-рентгенолог, руководитель рентгенологического отделения, протезно-ортопедический центр «Сколиолджик.ру», Россия, 194356, Санкт-Петербург, Выборгское шоссе, 64, ORCID: 0000-0003-3510-9164, [n.nechaeva@scoliologic.ru](mailto:n.nechaeva@scoliologic.ru);  
 Михаил Олегович Демченко, канд. экон. наук, советник генерального директора по стратегическим вопросам, протезно-ортопедический центр «Сколиолджик.ру», Россия, 194356, Санкт-Петербург, Выборгское шоссе, 64, ORCID: 0000-0002-8422-8779, [dmo@scoliologic.ru](mailto:dmo@scoliologic.ru);  
 Матвей Сергеевич Артамонов, врач-рентгенолог, Северо-Западный научно-практический центр реабилитации и протезирования «Орметика», Россия, 195253, Санкт-Петербург, ул. Стасовой, 16, ORCID: 0009-0005-6417-5998, [artamonov@scoliologic.ru](mailto:artamonov@scoliologic.ru).

Grigory Arkadyevich Lein, MD, PhD, orthopedic traumatologist, General Director of Prosthetic and Orthopedic Center «Scoliologic.ru», 64 Vyborgskoe Shosse, Saint Petersburg, 194356, Russia, ORCID: 0000-0001-7904-8688, [lein@scoliologic.ru](mailto:lein@scoliologic.ru);  
 Natalia Sergeyevna Nechaeva, radiologist, Head of the Radiological Department of Prosthetic and Orthopedic Center «Scoliologic.ru», 64 Vyborgskoe Shosse, Saint Petersburg, 194356, Russia, ORCID: 0000-0003-3510-9164, [n.nechaeva@scoliologic.ru](mailto:n.nechaeva@scoliologic.ru);  
 Mikhail Olegovich Demchenko, PhD in Economics, adviser to General Director on strategic issues of Prosthetic and Orthopedic Center «Scoliologic.ru», 64 Vyborgskoe Shosse, Saint Petersburg, 194356, Russia, ORCID: 0000-0002-8422-8779, [dmo@scoliologic.ru](mailto:dmo@scoliologic.ru);  
 Matvey Sergeyevich Artamonov, radiologist of North-West Scientific and Practical Center for Rehabilitation and Prosthetics «Orthetika», 16 Stasovoy str., Saint Petersburg, 195253, Russia, ORCID: 0009-0005-6417-5998, [artamonov@scoliologic.ru](mailto:artamonov@scoliologic.ru).





## РЕЗОЛЮЦИЯ XIII съезда Российской ассоциации хирургов-вертебрологов

В Санкт-Петербурге 4–6 июня состоялся XIII съезд Российской ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS), которая объединяет специалистов, занимающихся хирургическим лечением заболеваний спинного мозга и позвоночника. В съезде приняли участие более 500 специалистов из разных регионов Российской Федерации, а также Беларуси, Казахстана, Узбекистана, Кипра и Ирландии.

Мероприятие прошло при поддержке Министерства здравоохранения Российской Федерации, Российской академии наук и Комитета по здравоохранению Правительства Санкт-Петербурга.

Организаторами съезда были Российская ассоциация хирургов-вертебрологов, ассоциация нейрохирургов России, ассоциация травматологов-ортопедов России, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова.

В формировании программы съезда и его подготовке приняли активное участие президент Российской ассоциации хирургов-вертебрологов д-р мед. наук С.В. Колесов, вице-президенты ассоциации академик РАН, проф. Н.А. Коновалов, проф. А.О. Гуца, проф. Д.А. Пташников, председатель правления д-р мед. наук В.В. Рерих, проф. А.Ю. Мушкин, проф. М.В. Михайловский, д-р мед. наук А.Г. Аганесов, чл.-корр. РАН, проф. А.А. Гринь, секретарь правления д-р мед. наук А.В. Крутько и другие члены правления ассоциации.

Место проведения съезда – Таврический дворец – знаковое сооружение, историческая достопримечательность Санкт-Петербурга.

В рамках съезда проведена отчетно-перевыборная конференция. Единогласно приняты в состав RASS 21 региональное представительство. Таким образом, в настоящее время в ассоциации представлены 46 субъектов России.

Прекратил полномочия президента RASS д-р мед. наук С.В. Колесов. Единогласным решением конференции президентом на срок 2025–2027 гг. утвержден д-р мед. наук, проф. В.А. Мануковский, вице-президентом избран д-р мед. наук, проф. А.Ю. Мушкин.

Научная программа съезда включала 2 пленарных заседания, 12 секционных заседаний, 2 круглых стола и 4 мастер-класса по основным направлениям вертебрологии. За время работы съезда прозвучало 219 докладов, из них 13 – пленарных. В рамках церемонии торжественного заседания съезда выступили с приветственными словами и докладами 5 академиков и 2 члена-корреспондента Российской академии наук, руководители ведущих научных и медицинских учреждений, ведущие российские ученые и врачи.

Программа съезда была сформирована по основным направлениям вертебрологии:

- дегенеративные поражения позвоночника;
- опухоли позвоночника;
- опухоли и патология спинного мозга;
- анестезиология в спинальной хирургии;
- травма позвоночника и спинного мозга;
- деформации позвоночника;
- диагностика в вертебрологии;
- инфекционно-воспалительные заболевания позвоночника и осложнения вертебральной хирургии.

### **Круглые столы**

#### *Клинические рекомендации по травме позвоночника и спинного мозга*

На заседании присутствовало более 60 участников. Накануне сессии был проведен интерактивный опрос респондентов по вопросам действующих клинических рекомендаций. В рамках круглого стола заслушаны 4 доклада и обнародованы результаты опроса. Отмечались высокая активность и заинтересованность аудитории. Согласовано продолжение совместной работы по улучшению качества действующих клинических рекомендаций в формате расширения категорий пострадавших, регламентации методов лечения, повышения уровня доказательности рекомендаций.

#### *Клинические рекомендации по дегенеративным поражениям позвоночника*

Обсуждение было проведено в неформальной обстановке. Отмечена необходимость взаимодействия со смежными специалистами, утверждены координационные группы для совершенствования клинических рекомендаций. Поддержано решение о формировании трех условных групп МКБ, где будет акцентировано внимание на видах лечения. Результатом обсуждения стало решение привести в соответствие коды МКБ и номенклатуру медицинских услуг, профессиональные стандарты требуют внимания ответственных профильных общественных организаций.

## Мастер-классы

### *Дегенеративные поражения позвоночника. Последние достижения и перспективы*

Модераторы: академик РАН, д-р мед. наук Н.А. Коновалов, чл.-корр. РАН, д-р мед. наук А.А. Гринь, д-р мед. наук А.В. Крутько

Прозвучали 4 доклада, в которых основательно разобраны возможные современные способы лечения дегенеративных заболеваний позвоночника начиная от эндоскопических методов, микрохирургических декомпрессий при стенозах позвоночного канала, стабилизаций и коррекций при спондилолистезе. Представлен новый способ вертебротомии из заднего доступа. Отмечены перспективы генетических исследований, наследования нейропатического болевого синдрома. Также большое внимание отведено персонализированному подходу при лечении данной группы пациентов. Отмечена возросшая роль изолированных микрохирургических декомпрессий, которая в ряде случаев позволяет решить большинство ортопедических задач. Предпочтение отдается минимально-инвазивным декомпрессиям и стабилизации.

### *Посттравматические деформации грудного и поясничного отделов позвоночника*

Модераторы: д-р мед. наук В.В. Рерих, д-р мед. наук С.Г. Млявых, д-р мед. наук И.В. Басанкин, д-р мед. наук А.А. Афаунов

Заслушаны 4 выступления ведущих экспертов по данному направлению, тематика всесторонне раскрыта. Разобраны показания к хирургическому лечению, сделан акцент на необходимость учета сагиттального баланса при коррекции локальной деформации. Разобраны вопросы классификации посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника и алгоритм предоперационного планирования.

### *Опухоли спинного мозга и позвоночника*

Модераторы: д-р мед. наук Д.Ю. Пташников, Н.С. Заборовский, Р.А. Коваленко, акад. РАН, д-р мед. наук Н.А. Коновалов, д-р мед. наук, проф. Г.Ю. Евзиков, д-р мед. наук В.С. Климов, канд. мед. наук Р.А. Оноприенко

На мастер-классе заслушано 4 доклада, присутствовало 102 участника. Обсуждены вопросы планирования, диагностики, лечения сосудистой патологии спинного мозга, интрамедуллярных и экстрамедуллярных опухолей спинного мозга, а также современные подходы к лечению менингиом спинного мозга. Рассмотрены результаты лечения пациентов с интрамедуллярными опухолями спинного мозга, осложненными гематомиелией. Представлены основные принципы лечения пациентов с опухолями по типу «песочных часов». При обсуждении вынесены решения по спорным вопросам: в частности, обсужден вопрос о целесообразности пересечения нервного корешка при удалении опухолей по типу «песочных часов»

### *Сколиоз – секреты мастерства*

Модераторы: д-р мед. наук С.В. Колесов, д-р мед. наук Д.А. Пташников, проф. М.В. Михайловский

Проведена насыщенная сессия, посвященная проблемам хирургического лечения деформаций позвоночника. В ходе заседания проанализировано развитие отечественной вертебрологии, обсуждены и актуализированы пути решения лечения пациентов с деформациями позвоночника. Рекомендовано более активно внедрять интраоперационный нейромониторинг для рутинного использования. Предложена новая классификация мальпозиций винтов. Намечены планы на продолжение улучшения качества оказания медицинской помощи, в том числе в рамках мультицентровых сотрудничеств. Намечены планы на разработку унифицированной классификации деформаций позвоночника. Рекомендовано проведение мультицентрового исследования «Оценка эффективности и безопасности системы вентральной динамической коррекции Flexis Spine (Конмет) при хирургическом лечении сколиоза», при этом основным методом лечения деформаций остается транспедикулярная фиксация. Озвучена проблема нейромышечных деформаций, хирургическое лечение которых не покрывается имеющимся финансированием. Предложено активно внедрять аддитивные технологии при планировании хирургического лечения и интраоперационно внедрять направляющие и шаблоны для персонализированной медицинской помощи.



В.А. Мануковский, С.В. Колесов, Н.А. Коновалов, А.Ю. Мушкин

### Дискуссионный клуб «За и против в спинальной хирургии»

Модераторы: акад. РАН, д-р мед. наук Н.А. Коновалов, д-р мед. наук С.В. Колесов, д-р мед. наук С.Г. Млявых, д-р мед. наук И.А. Кирилова.

### Секционные заседания

#### *Травма позвоночника и спинного мозга*

Модераторы: чл.-корр. РАН, д-р мед. наук А.А. Гринь, д-р мед. наук И.В. Басанкин, д-р мед. наук С.Г. Млявых, Д.М. Давыдов, д-р мед. наук В.В. Рерих, д-р мед. наук А.А. Афаунов, канд. мед. наук В.А. Мануковский, А.В. Ботов, А.Л. Боряк

Травме позвоночника и спинного мозга были посвящены два секционных заседания. Обсужден вопрос подходов к хирургическому лечению нижнешейного отдела позвоночника, возможные неудачи изолированной передней или задней фиксации. При этом должна быть учтена циркулярная стабилизация при повреждениях типа С, сопровождающихся дислокацией на фоне двусторонних переломов дугоотростчатых суставов. Рассмотрен актуальный вопрос реконструкции передней колонны при нестабильных переломах грудного и поясничного отделов позвоночника. Реконструкция должна проводиться с учетом биомеханической ситуации, минеральной плотности костной ткани с приоритетом сочетания задней и передней фиксации, что должно найти дополнительное отражение в клинических рекомендациях. Необходимо сохранять высокие требования к качеству имплантатов и материалов, из которых они изготовлены. При осложненных повреждениях использование нейростимуляции в системе реабилитации находит свое место среди других методов и требует дополнительных доказательных данных для ее применения. Также заслушаны доклады, связанные с вопросами оказания нейрохирургической помощи раненым с боевыми повреждениями позвоночника. Освещена проблема повреждения позвоночной артерии, представлен алгоритм диагностики и выбора тактики хирургического лечения при огнестрельных повреждениях позвоночной артерии с применением гибридных технологий – эндовасальной и открытой хирургии. Проведено сравнение огнестрельных и закрытых 3-колонных повреждений позвоночника. Выделен ряд особенностей, оказывающих влияние на выбор хирургической тактики при огнестрельных ранениях. Подчеркнута актуальность применения полученных данных в практической работе клиник, оказывающих специализированную помощь пациентам указанного профиля. Представлены статистические данные, описывающие структуру пациентов с боевыми повреждениями позвоночника. Представлены данные клинической картины и изменения неврологического статуса раненых, которым проводилось лечение на базе специализированного нейрохирургического центра. Выделены группы пациентов с различной эффективностью лечения. Проанализирован ряд факторов, оказавших влияние на исход, что может быть использовано в практической работе. Представлены результаты и предложены к обсуждению положения по созданию и внедрению новой тактической классификационной системы, применимой при нестабильных огнестрельных ранениях позвоночника. Данная классификация позволяет облегчить принятие решения о необходимости стабилизирующего вмешательства при огнестрельных переломах. Представлен опыт применения высокотехнологических операций по удалению осколков (инородных тел) из позвоночника с помощью нейроэндоскопии. Этот вид операций показал высокую эффективность, малую травматичность. Собраны и проанализированы данные диагностики и лечения раненых с осколочными ранениями. Выделена группа больных, которым может быть выполнен данный вид хирургического пособия. Показаны особенности техники выполнения эндоскопического удаления осколков.



Участники съезда



И.А. Кирилова, В.В. Рерих,  
С.Г. Млявых



Н.А. Коновалов, И.А. Кирилова





*Дискуссионный клуб «Хирургия позвоночника. Надо делать все или специализироваться на чем-то одном?»*

#### *Анестезиология в спинальной хирургии*

Модераторы: д-р мед. наук А.В. Губин, д-р мед. наук И.А. Кирилова

На данной секции представлены 13 докладов из основных научных центров Санкт-Петербурга, Москвы, Новосибирска и Тулы. У пациентов вертебрологического профиля обоснован персонифицированный подход к диагностике и лечению, что является мировой тенденцией. Анестезиологическая секция показала четкий тренд развития анестезиологии, направленный на повышение качества анестезиологического обеспечения операций вертебрологического профиля. Представленные работы показали эффективность опиоидсберегающих технологий, основанных на применении блокады мышц, выпрямляющих позвоночник.

#### *Опухоли и патология спинного мозга*

Модераторы секции: д-р мед. наук, проф. Д.А. Пташников, д-р мед. наук, проф. А.Ю. Мушкин, Р.А. Коваленко, Н.С. Заборовский, акад. РАН, д-р мед. наук, проф. Н.А. Коновалов, д-р мед. наук, проф. Г.Ю. Евзиков, канд. мед. наук Р.А. Оноприенко

На секции присутствовали 60 участников из пяти регионов Российской Федерации и представители Республики Беларусь. Заслушано 12 докладов, посвященных патологиям спинного мозга. Обсуждены вопросы планирования, диагностики, лечения опухолей и сосудистой патологии спинного мозга, а также современные подходы к лечению интрамедуллярных опухолей спинного мозга, в том числе возможности радиохирургического лечения. Доложены результаты традиционных методов лечения интрамедуллярных и экстрамедуллярных опухолей спинного мозга, эндоваскулярного лечения сосудистой патологии спинного мозга. Заслушан доклад по идиопатическим грыжам спинного мозга и современным методам их лечения. Представлены новые методики хирургического лечения посттравматической сирингомиелии. Отмечен ряд интересных работ по изучению редких опухолей спинного мозга, таких как пилоидные астроцитомы с агрессивным клиническим течением. При обсуждении вынесены решения по спорному вопросу влияния молекулярно-генетического профиля спинальных менингиом на рецидивирование и их отличие от менингиом интракраниальной локализации. В ходе дискуссии был разрешен вопрос о целесообразности рассечения рубцово-спаечного процесса при арахноидите спинного мозга. Таким образом, минимально-инвазивный метод хирургического лечения позволяет безопасно и эффективно осуществлять доступ к экстрамедуллярным опухолям, с минимальным риском развития послеоперационного неврологического дефицита, приводит к быстрому восстановлению пациентов и обладает минимальными осложнениями и экономической эффективностью. Лечение интрамедуллярных опухолей спинного мозга должно осуществляться только в нейрохирургических учреждениях, имеющих экспертных специалистов в данном направлении и соответствующее техническое оснащение.

#### *Инфекционно-воспалительные заболевания позвоночника и осложнения вертебральной хирургии*

Модераторы секции: д-р мед. наук, проф. А.Ю. Мушкин, д-р мед. наук И.В. Басанкин, д-р мед. наук С.О. Рябых

Заслушано 19 тематических докладов, на секции присутствовало более 60 участников с широкой географией регионов: Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Тюмень, Краснодар, Барнаул, Курган, Курск, Екатеринбург, Иркутск. Также принимали активное участие коллеги из Республики Беларусь и Узбекистана. Обсуждены вопросы диагностики, особенно ранней, алгоритмирования лечения, нерешенные вопросы инфекционных спондилитов и спондилодисцитов, оценки их исходов и последствий, стратификации осложнений, подходы к их предупреждению и ранней терапии. Рассмотрены результаты традиционных методов лечения, новых методов ранней диагностики и малоинвазивных хирургических технологий, варианты винтовой фиксации при острых неспецифических спондилодисцитах и их последствий, диагностика и лечение спондилонейроартропатии Шарко, имплантозависимых осложнений стабилизирующих операций на поясничном отделе позвоночника и спондилолистезах. Акцентировано внимание на новых аспектах лечения неспецифических спондилодисцитов, алгоритмировании тактики при ригидных постспондилитических деформациях шейного и грудного



отделов позвоночника, тактике при инфекции области хирургического вмешательства у ВИЧ-инфицированных с хроническим спондилитом, ранней диагностике вертебральной формы небактериального остеомиелита у детей, а также важности междисциплинарной преемственности между хирургами, ортопедами, ревматологами и педиатрами. Особое внимание привлекли представленные тактические алгоритмы при ригидных постспондилитических деформациях шейного и грудного отделов позвоночника, при инфекции области хирургического вмешательства у иммунокомпрометированных пациентов. Также большой интерес вызвали работы по применению пункционных и малоинвазивных хирургических технологий при острых неспецифических спондилодисцитах, особенно при генерализованной инфекции, варианты ревизионных вмешательств при мультирезистентной флоре и мультиочаговых поражениях.

Вынесены решения по некоторым спорным вопросам:

1. Расширение показаний для применения пункционных и малоинвазивных технологий лечения неспецифического спондилодисцита типов B.1 и B.2 по классификации E. Pola с соавт. (New Classification Pyogenic Spondylodiscitis (NCPS)).
2. Важность применения пункционных и малоинвазивных хирургических технологий при септических и мультиочаговых формах острых неспецифических спондилодисцитов.
3. Создание реестра пациентов с рецидивами и мультиочаговыми поражениями, оценкой эффективности терапии и исходами.
4. Отражение в проекте клинических рекомендаций «Воспалительные заболевания позвоночника» возможности применения транспедикулярной фиксации, в том числе в деструктивно измененных позвонках при спондилитах для стабилизации.
5. Необходимость превентивного ранжирования пациентов по микробиологическому профилю флоры для зонирования их в отделениях инфекционной остеологии.
6. Обязательная ранняя диагностика и визуализация поражений осевого и аппендикулярного скелета при вертебральной и мультиочаговых формах небактериального остеомиелита у детей методами МРТ и КТ в режиме «все тело».
7. Обязательная верификация флоры как цитологическими, так и микробиологическими методами, в том числе с исследованием чувствительности к антибактериальным препаратам.
8. Индивидуализированный выбор хирургических методов и схем антибактериальной терапии при лекарственной устойчивости.

Рекомендуется следующее:

1. Инициировать на уровне ассоциации создание реестра пациентов с небактериальными остеомиелитами.
2. Поддержать проспективное сравнительное исследование с применением пункционных и малоинвазивных технологий лечения неспецифического спондилодисцита типов B.1 и B.2 по классификации E. Pola с соавт. (New Classification Pyogenic Spondylodiscitis (NCPS)), а также при мультиочаговых поражениях и септических состояниях с последующим научным анализом и представлением материала.
3. При инфекционных и небактериальных поражениях позвоночника расширить научно-клиническое взаимодействие со смежными специальностями: нейрохирургами, хирургами, оториноларингологами, ревматологами, эндокринологами и реабилитологами путем совместных научно-образовательных мероприятий.
4. Необходимость превентивного ранжирования пациентов по микробиологическому профилю флоры на догоспитальном этапе для зонирования их в отделениях инфекционной остеологии, оценки медико-экономической эффективности и разработку предложений по организационным мерам для сокращения количества пациентов с мультирезистентными формами лекарственной устойчивости.

#### *Дегенеративные поражения позвоночника*

Модераторы: акад. РАН, д-р мед. наук Н.А. Коновалов, чл.-корр. РАН, д-р мед. наук А.А. Гринь, д-р мед. наук А.В. Крутько, М.Б. Мик, А.З. Лабазанов, д-р мед. наук С.В. Климов, д-р мед. наук А.Г. Аганесов, канд. мед. наук К.К. Тахмазян

Два секционных заседания, посвященные дегенеративным поражениям позвоночника, были одними из наиболее насыщенных. Общее количество участников – более 250. На секционном заседании «Дегенеративные поражения позвоночника-1» были представлены 19 докладов из основных научных центров России (Санкт-Петербурга, Москвы, Краснодара, Новосибирска), Беларуси и Узбекистана. Заседание в большей мере было посвящено сравнению результатов микрохирургической и эндоскопической декомпрессии интраканальных сосудисто-нервных образований. Отмечено, что объем декомпрессии при обеих методиках одинаков, клинические исходы сопоставимы, решающего преимущества эндоскопической визуализации не определено. Были продемонстрированы результаты полуригидной фиксации поясничного отдела позвоночника, доказательная база которых требует дополнительных исследований. При стабилизации позвоночника следует учитывать сегментарные взаимоотношения, по возможности их восстанавливать, учитывая плотность костной ткани. Представлены доклады о стабилизации сегмента, а также тактические алгоритмы, когда от стабилизации возможно отказаться. На секционном заседании «Дегенеративные поражения позвоночника-2» был представлен 21 доклад из основных научных центров Санкт-Петербурга, Москвы, Иркутска, Красноярска, Омска, Новосибирска, Казани, Чебоксар, Минска, Нижнего Новгорода, Кургана и Ярославля. На заседании секции присутствовало более 60 участников. В соответствии с мировыми тенденциями обсуждены актуальные вопросы спинальной хирургии, такие как лечение дегенеративных стенозов и нестабильности в поясничном отделе позвоночника, в том числе с позиции концепции fast-track и минимально-инвазивных технологий, применение эндоскопических технологий в лечении дегенеративных стенозов шейного отдела позвоночника. Отмечен ряд интересных работ по критериям предоперационного планирования у пациентов вертебрологического профиля, определению плотности костной ткани в единицах Хаунсфилда перед операциями с использованием металлоконструкций, рентгенологическим результатам передней ункофораминотомии и отдаленным клиническим результатам у пациентов с шейной миелопатией. Обсуждены новые возможности традиционных и минимально-инвазивных методов лечения пациентов со спондилолистезами. Отмечен ряд работ по организации оказания вертебрологической помощи в регионах и разработке биодеградируемых имплантатов.

### *Деформации позвоночника*

Модераторы: д-р мед. наук С.В. Колесов, д-р мед. наук Д.А. Пташников, д-р мед. наук В.В. Новиков, д-р мед. наук И.А. Норкин, д-р мед. наук В.С. Климов, С.В. Лихачев

Было проведено два секционных заседания, посвященных деформациям позвоночника. На заседании «Деформации позвоночника-2» было представлено 14 докладов из основных научных центров Санкт-Петербурга, Москвы, Краснодара и Кургана, присутствовало более 40 участников. Обсуждены актуальные вопросы хирургии деформаций позвоночника различного генеза, таких как интраоперационная нейровизуализация и нейромониторинг, ревматоидные поражения шейного отдела позвоночника и болезнь Бехтерева, истмический спондилолистез и посттравматические кифотические деформации. Отмечен ряд интересных работ по коррекции деформаций при анкилозирующем спондилите и аномалии Арнольда – Киари, дифференцированной хирургической тактике при спондилолизе поясничного отдела позвоночника. Обсуждены новые возможности традиционных и минимально-инвазивных методов лечения пациентов с истмическими спондилолистезами, особенности позвоночно-тазовой фиксации при травмах и заболеваниях позвоночника.

### *Диагностика в вертебродологии*

Модераторы: д-р мед. наук М.Н. Кравцов, канд. мед. наук В.А. Мануковский

На заседании присутствовали более 30 специалистов (нейрохирурги, травматологи) из Москвы, Санкт-Петербурга, Московской области, Нижегородского Новгорода, Иркутска, Йошкар-Олы, Уфы, Минска. Заслушано 14 докладов, посвященных интраоперационной диагностике в спинальной хирургии, вопросам формирования и оценки сагиттального баланса, инновационным технологиям в хирургии позвоночника, радиологической защите хирургов, реабилитации, оценке качества жизни пациентов. Обсуждены новые возможности современных методов диагностики и искусственного интеллекта на амбулаторном и стационарном этапах обследования и лечения пациентов с патологией позвоночника и спинного мозга. Отмечен ряд интересных работ по опыту применения аддитивных технологий в хирургии позвоночника в Российской Федерации (С.Н. Макаров, Москва), анализу соответствия клинических проявлений дегенеративной патологии позвоночника изменениям, регистрируемым по МРТ (О.Н. Леонова, Москва). Таким образом, рекомендовано расширить программу будущих съездов хирургов-вертебродологов докладами (секционными заседаниями) смежных специалистов: неврологов, рентгенологов, реабилитологов и др.

При поддержке компании «Госпиталь интенсив» проведен симпозиум «Философия эндоскопической хирургии позвоночника». Модераторы: Б.А. Сыченко, Ю.Е. Кубецкий, И.В. Волков.

Оргкомитет конференции



*Члены правления Российской ассоциации хирургов-вертебродологов*



## Жан Феликс Дюбуссе (1936–2025)

Из Франции пришла горестная весть: 5 мая не стало Жана Дюбуссе. Для любого, кто занимался патологией позвоночника и, в первую очередь, деформациями, эта фраза означает конец целой эпохи. Бог дал ему сил понять и сделать столько, что хватило бы на несколько жизней.

Жан Феликс Дюбуссе (Jean Felix Dubousset) родился 16 ноября 1936 г. в Монферране, его родителями были Marcel Dubousset и Jeanne Blanche Tomazet. Докторскую степень получил в университете Clermont Ferrand в Париже, с 1991 г. – профессор университета Rene Descartes.

Жан Дюбуссе был детским ортопедом широкого профиля, но основные его усилия были направлены в область вертебрологии. За исследование злокачественных опухолей позвоночника у детей он получил премию академии наук Франции, разработал оригинальный и эффективный метод лечения спондилолистеза. Но все же главное в его научной карьере – сколиоз. В конце 1982 г. Ив Котрель (Yves Cotrel) пригласил его к участию в работе по созданию принципиально нового эндокорректора, получившего название CDI (Cotrel–Dubousset Instrumentation). Это изобретение давно известно во всем мире, о нем написаны тысячи и тысячи страниц научных текстов, с помощью CDI и его последующих вариантов прооперировано не менее 1,5 миллиона пациентов на всех континентах. Оно перевернуло наши представления о планировании, технике и оценке результатов операций, поскольку базировалось на сформулированных Жаном Дюбуссе теоретических положениях о ТРЕХМЕРНОСТИ сколиотической деформации: СКОЛИОЗ – ЭТО ТОРСИЯ, сколиотическая деформация развивается и прогрессирует В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ.

Главной характеристикой научных трудов Дюбуссе был мультидисциплинарный подход – компьютерная техника, физика, биомеханика (знаменитый «конус экономии»), но во главе всего оставался больной с конкретной 3D-деформацией. Отсюда – метод симуляции коррекционных маневров на компьютерной модели. Для этого в сотрудничестве с лауреатом Нобелевской премии по физике Georges Sharpak был создан уникальный диагностический комплекс EOS.

Дюбуссе был первым, кто в сотрудничестве с инженерами разработал и применил в клинике магнитно-контролируемые дистракторы для лечения ранних сколиозов.

Его научные звания и награды настолько многочисленны и разнообразны, что достаточно выделить лишь основные. Жан Дюбуссе был членом двух французских академий – медицинской и хирургической. Он стал членом общества исследования сколиоза (Scoliosis Research Society – SRS) в 1985 г. Ему вручена золотая медаль хирургической академии Франции за разработку метода лечения, применяемого за пределами страны. Таких медалей на тот момент было всего четыре. SRS вручило ему специальный приз за исследования, проведенные в течение всей научной карьеры. В 2000 г. он был удостоен ордена Почетного легиона, высшей награды Франции. Перечислять можно еще долго.

Его жена, с которой он прожил всю жизнь (они поженились в 1959 г.), Anne-Marie Shognon, была детским анестезиологом. В бесконечных поездках она была рядом с супругом. У них родилось трое детей и 12 внуков.

Жан Дюбуссе любил Россию и приезжал к нам много раз для участия в съездах, чтения лекций и общения с молодыми специалистами, бывал в Москве, Санкт-Петербурге, Кургане. В 1995 г. он выполнил первую в нашей стране показательную операцию с применением CDI в детской клинике Новосибирского НИИТО.

Он был невероятно общителен, ничто не доставляло ему большего удовольствия, чем обсуждение научных вопросов. объехал весь мир, он был потрясающе эрудирован, знал всех и вся в нашем деле.

Жан Дюбуссе прожил большую и прекрасную жизнь, оставил потрясающее наследие. Его невозможно забыть, его труды обессмертили его имя.

*Ассоциация хирургов-вертебрологов России*

## Короткие воспоминания

Судьба подарила мне возможность в течение многих лет периодически встречаться и общаться с Жаном Дюбуссе. Этот великий французский хирург и ученый оставил после себя не только инструментарий, в названии которого есть его имя, но и результаты глубочайших исследований природы сколиоза, расширившие наши представления об этой болезни.

\*\*\*

Первая встреча с ним была в ноябре 1996 г. Мы к этому моменту уже выполнили две первые операции с использованием CDI, но разве это опыт? Директор Новосибирского НИИТО Н.Г. Фомичев поспособствовал приезду в Новосибирск Жана Дюбуссе. И он вместе с супругой Анн-Мари и д-ром Рейнхардом Зеллером добрался до столицы Сибири по довольно заковыристому маршруту: Париж – Токио (там Жан читал лекции) – Москва – Новосибирск. У нас должна была состояться показательная операция, мы готовились к ней самым тщательным образом. «Майкл, – сказал мне Фомичев, – ты же поедешь встречать их в аэропорт, хоть догадайся бабе цветы подарить». (Профессор Фомичев никогда не скрывал, что родился в сельской местности.) Я ударил себя по лбу, приобрел цветы, встреча в порту прошла на высоком уровне, но имела неожиданные последствия. В следующем году мы с Николаем Гавриловичем были гостями клиники Дюбуссе. Там мы узнали, что в силу сложности межличностных отношений знаменитый профессор Жан Дюбуссе даже не являлся главой клиники, что, как нам показалось, его не особенно мучило. Мы посидели с Жаном на приеме, попытались посмотреть операцию, но ее прервали из-за неожиданно большой кровопотери, и Жан пригласил нас на ланч в ближайшее кафе. Там он «огорошил» меня сообщением: «Моя жена не может тебя забыть». «Почему?!» – спросил я. Жан засмеялся: «Ты не знаешь женщин. Вспомни, она прилетела в Сибирь, это бог знает где, ночь, сугробы, собачий холод, а ей преподносят ее любимые розы. Она вспоминает тебя раз в неделю». Все последующие визиты супругов Дюбуссе в Новосибирск включали вручение букета роз. Операция прошла штатно, хотя Жан сделал мне замечание за слишком большой доступ, который я для него подготовил. Невероятно интересно было смотреть на его технику. Потом он читал лекции, обучая нас теоретическим основам применения инструментария Cotel – Dubousset. Естественно, было много вопросов. Жан ухватывал суть вопроса с первого слова и терпеливо ждал возможности ответить и растолковать. Он говорил на сравнительно простом английском с французским прононсом, понимать его было нетрудно.

\*\*\*

Второй его визит в Новосибирск состоялся в 2014 г. в связи с проведением первого в России лекционного курса SRS. Я встречал Жана и Анн-Мари в порту. Первое, что он произнес: «Майкл, ты только подумай, 18 лет прошло!» Курсы получились отличными, причем во многом благодаря участию Дюбуссе. Лекторы из США, Англии, Турции, все – превосходные специалисты, прекрасно знали основные работы Дюбуссе, хотя я не уверен, что все они были с ним знакомы лично. Он сделал два доклада, эти сообщения и ответы на многочисленные вопросы были настолько интересными, что после каждого последующего выступления председательствующий подходил к Жану с микрофоном и говорил: «Что вы думаете об этой проблеме?» Весь зал слушал затаив дыхание, мы все понимали, что участие Дюбуссе – огромная удача для всех нас.



*Жан Дюбуссе с супругой Анн-Мари*





\*\*\*

В 2008 г. исполнилось 25 лет первой операции с применением CDI – оперирован был подросток с деформацией позвоночника на почве болезни Фридрейха. Незадолго до этого Ив Котрель пригласил Жана Дюбуссе к совместной работе и апробации первого варианта инструментария, который впоследствии некоторые называли «классическим». На тот момент (2008 г.) в мире было выполнено уже более 400 000 операций с применением CDI. Было решено отметить эту дату, в Париж были приглашены хирурги (человек 100–120) со всего мира, мне посчастливилось попасть в их число и принять участие (в качестве одного из модераторов) в чрезвычайно интересной дискуссии, в ходе которой мы детально обсудили более 30 случаев применения CDI при различной патологии позвоночника. Дискуссия продолжалась два дня, но Ив Котрель принимал в ней участие в только в первой половине. На второй день его не было, вероятно, из-за плохого самочувствия. Всю дискуссию вел Жан в своей характерной очень активной манере. Но вот обсужден последний случай, программа исчерпана, Дюбуссе спустился с трибуны, а мы все встали с мест и подошли к нему. Он начал свое заключительное слово, но неожиданно из толпы вышел один из хирургов, очень известный специалист из Южной Кореи Ким Иль Сук, и произнес: «Подожди, Жан, сначала говорить будем мы». Он говорил об истинной значимости этой разработки, изменившей в корне технику и результаты оперативной коррекции деформаций позвоночника, о том, как это все повлияло на наше понимание вертебральной патологии, на нашу хирургическую ментальность, о том, что это было поистине великое изобретение. Он говорил, а я смотрел на Дюбуссе. Когда человека хвалят, он может покраснеть от удовольствия. Дюбуссе буквально побагровел, и я понял, насколько важна для него эта оценка их с Котрелем труда, насколько вообще значима оценка истинных профессионалов, не склонных к сантиментам и предельно объективных.

\*\*\*

Еще один маленький эпизод «из той же оперы». Очередной обучающий приезд Дюбуссе в Новосибирск. Я встретил их с Анн-Мари в порту, мы едем в гостиницу и болтаем обо всем и ни о чем. Неожиданно Жан сообщает, что французская академия наградила его золотой медалью за разработку метода лечения, который применяется повсеместно за пределами Франции. Потом добавляет: «Жена очень гордится». Я смотрю на Анн-Мари, она внимательно изучает темноту за окном, и не без доли схищства думаю: «Можно полагать, ты сам не гордишься, ведь упомянул, что подобных медалей было вручено всего четыре». Маленькие слабости великих...

\*\*\*

Однажды спросил Жана, как он относится к Наполеону. Ответ удивил: «Плохо!» Спрашиваю: «Почему?» «А как иначе относиться к человеку, который уничтожил целое поколение европейцев?» И ведь не поспоришь...

\*\*\*

Говорили о науке, и я задал очередной вопрос: «Почему ты не пишешь книги? Руководство по лечению деформаций позвоночника, вышедшее из-под пера одного из создателей CDI, да еще с результатами его исследований и размышлений запоем читал бы весь «позвоночный» мир в течение еще многих и многих лет». Ответ: «Мне это неинтересно, мне необходимо живое общение». Можно было бы и поспорить, но я не стал. Во-первых, кто я, что бы перечислять Жана Дюбуссе, во-вторых, это тоже интереснейшая характеристика.

\*\*\*

В ходе первого из учебных визитов в Новосибирский НИИТО мы провели совместный клинический разбор. Ребята подготовили интересные случаи, подготовились сами (все вдруг заговорили на английском), волновались. Было потрясающе интересно, все обсудили детальнейшим образом. Жан не давал нам спуска, жестко указывая на ошибки. Он вытаскивал заветную флешку со своими презентациями, иллюстрируя каждое положение и растолковывая все до деталей. Все откровенно ловили кайф, мы – от уровня знаний и опыта, с какими встречаться ранее не доводилось, он – видя, как это все нам интересно. Разбор длился три часа, которые пролетели махом. Выйдя из ординаторской, Жан сказал: «Отличная у тебя команда!» И было видно, что это не просто вежливость. На следующий день картина полностью повторилась в клинике нейроортопедии, которой тогда руководил Саша Крутько.

\*\*\*

Когда мы проводили в НИИТО лекционный курс SRS (2014 г.), директора института М.А. Садового посетила отличная идея – принять профессора Жана Дюбуссе на работу и организовать раз в три месяца его визиты в институт с лекциями, дискуссиями и всем прочим. Когда идея была озвучена в ходе прощального застолья, Жан отвел меня в сторону и задал короткий вопрос: «Тебе это нужно?» Было ясно как божий день, что подобные экзерсисы для почти 80-летнего профессора – нелегкое испытание. И что я должен был ответить? Спасибо, не стоит? Но мне по понятным причинам это было очень надо, я честно сказал: «Да». Жан кивнул – нет проблем. Конечно, приезжать каждые

три месяца было нереально, но в течение трех лет он приезжал каждые полгода, каждый визит его был событием. Принять его в штат НИИТО не удалось по каким-то бюрократическим причинам, но это никого не волновало. Жан приезжал на 4–5 дней и работал как заведенный. Часть его лекций я позднее свел вместе, мы издали небольшую книгу «Сколиоз и гармония». Тираж был скромный, но я искренне рад за тех, у кого эта книга есть. Жан отнес ее в хирургическую академию Франции, где она и хранится. Аналогично он поступил с двумя нашими совместными монографиями «Сколиоз. История болезни» и «Болезнь Шейерманна». О такой чести даже мечтать не доводилось.

\*\*\*

Кстати, о болезни Шейерманна. У Дюбуссе к ней было особое отношение. Он был категорически уверен, что исправлять юношеские кифозы хирургическим путем нужно очень редко и по строжайшим показаниям (каким – читайте в его публикациях). Он говорил неоднократно, что сам он это делал считанное количество раз, правда, само это количество в его рассказах варьировало от 9 до 20 с чем-то. Один из его визитов мы подгадали к короткому курсу усовершенствования по хирургии деформаций позвоночника, и несколько счастливых из разных городов России сподобились его видеть и слышать его лекции. Говоря о болезни Шейерманна, он неожиданно спросил, сколько я сделал таких операций. Пришлось ответить честно: примерно две сотни. Новый вопрос: за сколько лет? Примерно за двадцать. Жан произвел в уме вычисления и кивнул – типа «ничего, приемлемо». У меня с души несколько отлегло.

Дальше было хуже – в какой-то момент ему стало резко плохо с сердцем. Благо мы находились в медицинском учреждении, в минуту водрузили его на каталку, доставили в реанимацию и привели в порядок. Ощувив улучшение, он немедленно собрался обратно. Мы хором просили не спешить, но он с криком «I must return to the meeting» все-таки добился своего. Такая порода...

\*\*\*

В одном из разговоров речь зашла о спорте, и выяснилось, что в молодости Жан играл в регби. Насколько я знаю эту игру, каждый из ее участников габаритами напоминает платяной шкаф, чего сказать о Дюбуссе совершенно невозможно. Может быть, это было связано с характером? Так или иначе, удивительно.

\*\*\*

Заговорили о транспедикулярном синтезе. Жан хорошо знал лично Раймона Руа-Камий и рассказал об одном их разговоре, в котором Раймон поведал об обстоятельствах этого изобретения. Он оперировал молодую женщину, уже прооперированную ранее в другом госпитале по поводу повреждения поясничного отдела позвоночника, причем часть костных структур в результате этой операции отсутствовала. Руа-Камий, по его словам, «провалился» инструментом в корень резецированной дужки, тут-то его и осенило. Все гениальное просто или кажется таковым.

\*\*\*

Нельзя не упомянуть супругу Жана Анн-Мари. Удивительная женщина. Она всегда была рядом с мужем, кроме тех случаев, когда он находился на трибуне, а она в зале. Жан, насколько я могу судить, просто не мог без нее существовать. Она была рядом во всех поездках, на съездах и т.д. Когда Жан проводил длительные клинические разборы в нашем институте, она была здесь же и, что удивительно, внимательно слушала. Не читала, не вязала носок, не копалась в телефоне, а слушала. Слушала то, что, вероятно, знала наизусть. Видимо, просто не могла иначе.

В первый приезд с лекциями было организовано застолье где-то за городом. Прозвучало множество тостов, Анн-Мари тоже попросила слова и завершила свое выступление, сообщив, что этот день для нее особый – годовщина свадьбы. М. Садовой мигнул кому надо и через 10 минут вручил ей букет белых роз. Она была очень довольна.

Один только раз я видел ее озабоченной. В один из приездов в последний день визита мы все участвовали в институтской еженедельной конференции, причем Жан сразу обратился в слух и погрузился в обсуждение клинических случаев, а Анн-Мари поведала мне о том, что паспорта и авиабилеты пропали. Пропали, и все. Некоторые из ребят вместе с Анн-Мари пошли в номер и вернулись ни с чем. Хорошенькое дело! Сегодня пятница, им в воскресенье улетать! Выручил начальник охраны Е. Беляев. Услышав вопли, он выяснил ситуацию, схватил бедную и сильно погрузневшую Анн-Мари и снова отправился в гостиницу, где обнаружил билеты и паспорта в кармане куртки, висевшей на стене... Интересно, что Жан во всей этой кутерьме не принимал ни малейшего участия, хотя был в курсе и сохранял ледяное спокойствие.

\*\*\*

В ходе каждого визита мы водили чету Дюбуссе в театр или на концерты. Мне казалось, им это очень нравится. Один из их сыновей – музыкант и дирижер, поэтому Жан сохранял программки, спрашивал меня, что где написано – это могло быть интересно сыну.

\*\*\*

Котрель и Дюбуссе основали небольшое научное сообщество – GICD (Group International Cotrel–Dubousset), которое проводило свои митинги, может быть, не самые многолюдные, но очень интересные. Один из них, кстати, проходил в Санкт-Петербурге – Дюбуссе хотел увидеть этот город. Другой проходил в Риме, и все были удивлены отсутствием Жана Дюбуссе, который появился с большим опозданием и в несколько неожиданном виде. На нем был белый джинсовый костюм и кроссовки – для научного собрания как-то не очень. Жан, однако, вышел на сцену и начал вести дискуссию. Увидев несколько удивленных взглядов, сказал очень просто: «Не обращайтесь внимания, у меня пропал багаж». Судя по всему, это обстоятельство волновало его в последнюю очередь.

\*\*\*

Только раз я видел Жана рассерженным, хотя он явно старался скрыть свое настроение. Его пригласили в один город, располагающий знаменитым НИИ ортопедотравматологического профиля. Местные хирурги разработали метод оперативной коррекции деформаций позвоночника, действие этого инструментария было основано на принципах, в вертебрологии малоприменимых. Жан сказал об этом четко и, пожалуй, даже жестко. Каждая фраза его выступления начиналась словами «I don't understand». На хозяев эти слова, по-моему, впечатления не произвели.

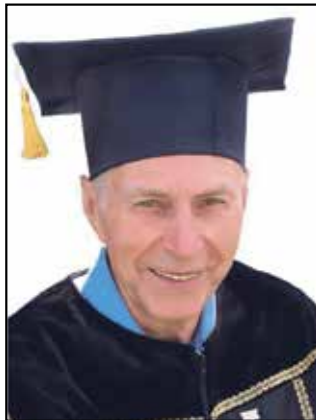
\*\*\*

Так всегда бывает – со смертью близкого человека из жизни уходит что-то очень важное. Я осмелился представить коллегам фрагментарные и весьма поверхностные заметки, потому что иначе уже не смогу выразить свое восхищение этим человеком, которое с каждой нашей встречей только росло. Для меня он был другом, учителем и старшим братом. Мир праху его...

*Проф. М.В. Михайловский*



*Жан Дюбуссе с сотрудниками Новосибирского НИИТО*



### Эдуард Владимирович Ульрих (1937–2025)

2 июня 2025 г. скоропостижно скончался величайший детский хирург, один из основоположников отечественной хирургической вертебологии, основатель Санкт-Петербургской школы детских хирургов-вертебрологов д-р мед. наук, проф. Эдуард Владимирович Ульрих. Ему было всего 87 лет. Всего – потому что его ясный и острый ум, крепкое рукопожатие, блестящая эрудиция, нестигаемая воля, колоссальная работоспособность, беззаветная преданность любимому делу и интуиция в определении передовых трендов спинальной хирургии не зависели от возраста.

Начало профессионального пути Эдуарда Владимировича состояло из череды испытаний. Детство пришлось на время блокады Ленинграда и эвакуации, отец был репрессирован в сталинские годы и реабилитирован только в 2011 г. К слову, на это Эдуард Владимирович потратил 12 лет. Выбор профессии предопределили военные годы и наблюдение за эвакуогоспиталями, однако даже после успешной сдачи вступительных экзаменов у комиссии возникли вопросы к сыну репрессированного с немецкой фамилией. Приказ о зачислении подписал первый ректор Ленинградского педиатрического медицинского института (ЛПМИ) проф. Ю.А. Менделев после очного собеседования. После окончания ЛПМИ в 1961 г. он два года работал хирургом в районной больнице Архангельской области. Позже вспоминал это время как один из периодов профессионального счастья, когда работал с опытными операционными сестрами, прошедшими Великую Отечественную войну, и на практике знал «отличие кружки Эсмарха от маски Эсмарха». Вернувшись в Ленинград в 1963 г., навсегда связал свою жизнь с кафедрой детской хирургии ЛПМИ, пройдя путь от аспиранта и ассистента до заведующего.

В 1967 г. под руководством известного детского хирурга, члена-корреспондента академии медицинских наук Г.А. Баирова защитил кандидатскую диссертацию «Хирургическое лечение посттравматических деформаций костей верхних конечностей у детей». В период, когда детская хирургия требовала универсальности, он занимался экстренной и плановой торакальной и абдоминальной хирургией, вопросами детской анестезиологии и колопроктологии. В 70-е гг. XX в. Эдуард Владимирович начинает заниматься абсолютно в то время неизвестной темой – врожденными деформациями позвоночника, и в 1985 г. защищает докторскую диссертацию «Хирургическое лечение пороков развития позвоночника у детей». В условиях еще не появившихся компьютеров он систематизирует данные более чем о 500 пациентах и создает классификацию врожденных аномалий позвоночника и позвоночного канала. Когда специальный спинальный инструментарий в нашей стране был недоступен, Эдуард Владимирович по своим чертежам создает первые авторские металлоконструкции для коррекции деформаций позвоночника у детей раннего возраста, разрабатывает уникальные операции при полупозвонках, нарушениях сегментации позвонков, синдромах торакальной недостаточности и расщеплении спинного мозга, основное внимание уделяя поиску методов коррекции пороков. В этот же период инициируются исследования по сочетанной экстравертебральной патоло-







гии, методам контрастирования позвоночного канала и анестезиологической защиты спинного мозга – и все это происходит в те годы, когда КТ и МРТ еще только внедряется в лечебную практику и большинство хирургических решений принимается только на основании рентгеноспондилографии. Он опережает свое время, когда в середине 1990-х гг. организует первый в России учебный курс по детской вертебрологии (о появлении этой специальности только начинают говорить) и выдвигает идею создания в Санкт-Петербурге специализированной службы экстренной вертебрологии, но не находит поддержки у медицинской администрации города (спустя почти 10 лет эта идея все-таки будет реализована директором детского ортопедического института им. Г.И. Турнера А.Г. Баиндурашвили уже в рамках регионального центра повреждений позвоночника у детей).

Его заслуги признают ведущие мировые специалисты, в 1999 г. совместно с профессором J. Dubousset (Франция), с которым он долгие годы дружил, Эдуард Владимирович организует в Санкт-Петербурге конгресс GICD (группы Котреля – Дюбуссе), в котором участвует более 100 вертебрологов из Европы, Азии и Африки. В начале 2000-х гг. под его руководством формируется комплексная программа, объединившая научных работников, врачей и педагогов медицинских вузов, фактически определившая создание школы детских вертебрологов Санкт-Петербурга, из которой вышли многие специалисты, ныне возглавляющие ведущие медицинские центры, институты и клиники нашей страны.

Его активная жизненная позиция отражается и в продвижении знаний, и в обучении молодежи. В 2004 г. он становится первым лауреатом вновь учрежденной премии «За заслуги в области детской хирургии им. С.Д. Терновского», тогда же входит в состав вновь созданного научно-практического журнала «Хирургия позвоночника», публикуя в первом же номере совместно с Р. Винтером и Дж. Лонштейном статью, посвященную классификации аномалий позвонков. Он является членом редколлегии нескольких хирургических и травматолого-ортопедических журналов, автором 7 монографий, руководителем и научным консультантом трех докторских и 19 кандидатских диссертаций, многочисленных патентов.

С возрастом, постепенно ограничивая для себя практическую работу, он остается человеком, к которому каждый, независимо от количества прожитых лет и опыта, мог обратиться за помощью. Любой, кому посчастливилось с ним общаться, запомнил ту искреннюю радость, которую он испытывал, говоря об идеях и успехах коллег и учеников. Его присутствие в операционной, спокойный голос и практический совет заставляли работать уверенней, позволяя ставить казавшиеся недостижимыми цели и решать самые нестандартные ситуации.

Эдуард Владимирович Ульрих ушел в возрасте 87 лет – но остался в нашей памяти мудрым Учителем, Коллегой, Ученым и Человеком с большой буквы. Спасибо Вам за то, что все эти годы мы имели счастье быть рядом с Вами...

*Проф. А.Ю. Мушкин, проф. А.В. Губин, д-р мед. наук С.О. Рябых, ученики*



*Проф. Э.В. Ульрих, проф. Э.А. Рамих, О.Э. Костокова, проф. А.Ю. Мушкин*

## ФОРУМЫ ДЛЯ ВЕРТЕБРОЛОГОВ

КОНГРЕССЫ, СИМПОЗИУМЫ,  
КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ

## ХИРУРГИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

[www.spinesurgery.ru](http://www.spinesurgery.ru)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



5-я ежегодная конференция  
Азиатско-Тихоокеанской секции Общества  
минимально-инвазивной хирургии позвоночника  
5th Annual Conference of SMISS Asia/Pacific  
Время проведения: 10–13 июля 2025 г.

Место проведения: Мумбаи, Индия  
Контактная информация:  
<https://smisstmumbai2025.com>

Ежегодная научно-практическая конференция  
с международным участием «Вреденовские чтения»  
Время проведения: 21–22 августа 2025 г.

Место проведения: Санкт-Петербург, Россия  
Контактная информация:  
[www.vredenreadings.org](http://www.vredenreadings.org)

VIII съезд травматологов-ортопедов  
Дальневосточного федерального округа  
Время проведения: 28–30 августа 2025 г.

Место проведения: Якутск, Россия  
Контактная информация:  
<https://ator.su/280825>

45-й Всемирный конгресс Международного  
общества травматологов-ортопедов (SICOT)  
Société Internationale de Chirurgie Orthopédique  
et de Traumatologie)  
Время проведения: 3–5 сентября 2025 г.

Место проведения: Мадрид, Испания  
Контактная информация:  
<https://sicot-congress.com/SICOT2025>

6-й продвинутый семинар по хирургии грудного,  
поясничного и позвоночно-тазового отделов  
6th Advanced Workshop on Thoracic Lumbar  
and Spinopelvic Surgery  
Время проведения: 5–6 сентября 2025 г.

Место проведения: Янина, Греция  
Контактная информация:  
<https://www.eurospine.org/events/event-calendar/6th-advanced-workshop-on-thoracic-lumbar-and-spinopelvic-surgery>

60-я ежегодная конференция Общества  
исследования сколиоза (SRS)  
The SRS 60th Annual Meeting  
Время проведения: 16–20 сентября 2025 г.

Место проведения: Шарлотт, Северная Каролина, США  
Контактная информация:  
<https://www.srs.org/Meetings-Conferences/Annual-Meeting/AM25>

Межрегиональная научно-практическая  
конференция с международным участием  
«Актуальные вопросы современной травматологии  
и ортопедии», посвященная 140-летию  
со дня рождения профессора А.Г. Школьников  
Время проведения: 26–27 сентября 2025 г.

Место проведения: Новокузнецк, Россия  
Контактная информация:  
<https://info.ngiuv.ru> <https://info.ngiuv.ru>

Ежегодная научно-практическая конференция  
с международным участием, посвященная  
актуальным вопросам травматологии и ортопедии  
детского возраста, «Турнеровские чтения»  
Время проведения: 2–3 октября 2025 г.

Место проведения: Санкт-Петербург, Россия  
Контактная информация:  
<https://turnerreadings.org/story>

Ежегодный форум Общества  
минимально-инвазивной хирургии позвоночника  
SMISS Annual Forum 2025  
(Society for Minimally Invasive Spine Surgery)  
Время проведения: 2–4 октября 2025 г.

Место проведения: Лас-Вегас, США  
Контактная информация:  
<https://www.smissmeeting.org>

## ФОРУМЫ ДЛЯ ВЕРТЕБРОЛОГОВ

КОНГРЕССЫ, СИМПОЗИУМЫ,  
КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ

## ХИРУРГИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

[www.spinesurgery.ru](http://www.spinesurgery.ru)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



Конгресс Европейской ассоциации  
нейрохирургических обществ  
EANS 2025  
Время проведения: 5–9 октября 2025 г.

Место проведения: Вена, Австрия  
Контактная информация:  
<https://eanscongress.org>

64-я ежегодная научная конференция  
Международного общества спинного мозга  
совместно с 19-й двухгодичной научной  
конференцией Скандинавского общества  
спинного мозга  
64th International Spinal Cord Society (ISCoS)  
Annual Scientific Meeting (ISCoS 2025), combined  
with the 19th Nordic Spinal Cord Society (NoSCoS)  
Biennial Scientific Meeting  
Время проведения: 8–11 октября 2025 г.

Место проведения: Гётеборг, Швеция  
Контактная информация:  
<https://iscosmeetings2025.org>

X Международный Пироговский форум  
травматологов-ортопедов  
Время проведения: 16–17 октября 2025 г.

Место проведения: Самара, Россия  
Контактная информация:  
<https://pirogovforum.com>

EUROSPINE 2025  
Время проведения: 22–24 октября 2025 г.

Место проведения: Копенгаген, Дания  
Контактная информация:  
<https://www.eurospine.org/events/annual-meeting/2025>

Научно-практическая конференция  
«Актуальные вопросы травматологии  
и ортопедии мирного и военного времени»  
Время проведения: 23–24 октября 2025 г.

Место проведения: Донецк, Россия  
Контактная информация:  
[rtc-dnr.gosuslugi.ru](http://rtc-dnr.gosuslugi.ru)

Научно-практическая конференция «Актуальные  
вопросы травматологии и ортопедии»  
Время проведения: 23–24 октября 2025 г.

Место проведения: Тюмень, Россия  
Контактная информация:  
[rtc-dnr.gosuslugi.ru](http://rtc-dnr.gosuslugi.ru)

Сибирский форум («Цивьяновские чтения»)  
Время проведения: 31 октября – 1 ноября 2025 г.

Место проведения: Новосибирск, Россия  
Контактная информация:  
<https://niitoconf.ru/>

III Межрегиональная научно-практическая  
конференция «Колокольцевские чтения»  
Время проведения: 7 ноября 2025 г.

Место проведения: Нижний Новгород, Россия  
Контактная информация:  
<https://nn-terra.ru/index.php?id=1246&idx=print-event>

IV научно-практический форум «Огнестрельная  
рана. Хирургия повреждений»  
Время проведения: 20–21 ноября 2025 г.

Место проведения: Москва, Россия  
Контактная информация:  
<https://ognestrel-conf.ru/>

Региональная научно-практическая конференция  
«Классические и инновационные решения  
в лечении травматолого-ортопедических больных»  
Время проведения: 28 ноября 2025 г.

Место проведения: Самара, Россия  
Контактная информация:  
<https://mbfrazvitie.ru/>

III Межрегиональный форум  
по травматологии и реабилитации  
Время проведения: 28–29 ноября 2025 г.

Место проведения: Челябинск, Россия  
Контактная информация:  
<https://travma-rehab.ru/>

## ФОРУМЫ ДЛЯ ВЕРТЕБРОЛОГОВ

КОНГРЕССЫ, СИМПОЗИУМЫ,

КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ

## ХИРУРГИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

[www.spinesurgery.ru](http://www.spinesurgery.ru)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



**ХII Всероссийский Приоровский форум,  
посвященный 140-летию со дня рождения  
Н.Н. Приорова**

**Время проведения: 12–13 декабря 2025 г.**

**Место проведения:** Москва, Россия

**Контактная информация:**

<https://www.cito-priorov.ru/science/nauchno-obrazovatelnye-seminary-i-konferentsii.php>

**Ежегодная конференция Международного  
общества изучения поясничного отдела  
позвоночника (ISSLS)**

**ISSLS Annual Meeting 2026 International Society  
for the Study of the Lumbar Spine**

**Время проведения: 11–15 мая 2026 г.**

**Место проведения:** Кейптаун, Южно-Африканская  
республика

**Контактная информация:**

<https://www.issls.org/2026-annual-meeting>



## КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

## ХИРУРГИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

[www.spinesurgery.ru](http://www.spinesurgery.ru)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



**Баланс позвоночника при хирургическом лечении  
идиопатического сколиоза: учебное пособие**  
В.В. Белозеров, М.В. Михайловский,  
А.В. Пелеганчук, В.В. Новиков, В.В. Рерих

Новосибирск: ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна»  
Минздрава России, 2025  
49 с.



Пособие предназначено для врачей-травматологов-ортопедов, врачей-нейрохирургов, врачей других профилей, аспирантов, клинических ординаторов, студентов. Освещены современные методы расчета параметров фронтального и сагиттального баланса позвоночника при идиопатическом сколиозе. Описаны основные проблемы и послеоперационные осложнения, связанные с послеоперационным дисбалансом позвоночника. Даны практические рекомендации по расчету параметров баланса с целью проведения предоперационного планирования хирургической коррекции сколиоза. Распространяется бесплатно.

**Методологические основы проведения научных  
исследований в медицине: учебное пособие**  
И.Ю. Бедорева, А.Ф. Гусев, И.А. Кирилова

Новосибирск: ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна»  
Минздрава России, 2025  
47 с.



Пособие предназначено для ординаторов, аспирантов, научных сотрудников, врачей всех специальностей, планирующих проведение научных исследований. Распространяется бесплатно.



**Хирургия позвоночника:  
Общие положения и основные концепции.  
SFCR Expert, Том 1  
Spine Surgery:  
General Considerations and Fundamental Concepts.  
SFCR Expert Series, Vol. 1  
Ed. by. Cedric Y. Barrey**



**Springer Cham, 2025**

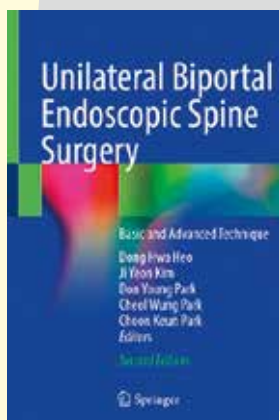
**181 с.**

«SFCR Experts Series» представляет собой серию книг под эгидой Французского общества хирургии позвоночника (SFCR), посвященную спинальной хирургии. Цель первого тома – объединить все основные концепции хирургии позвоночника и предложить хирургу-вертебрологу современный обзор достижений в этой области.

Чтобы понять настоящее и предвидеть будущее, важно знать прошлое. Поэтому том начинается с истории хирургии позвоночника с описанием наиболее значимых вех развития этой дисциплины. Затем следует обсуждение настоящего состояния хирургии позвоночника, в том числе эпидемиологии спинальной практики и всего спектра спинальных патологий.

«Сердце» книги – это основы хирургии позвоночника, включающие хирургическую анатомию, биомеханику, спинальный инструментарий и биоматериалы, биологию сращения костей и их заменителей, травмы и регенерацию спинного мозга, представленные и проиллюстрированные известными экспертами. Экономическая среда важна для спинальной хирургии, обсуждаются проблемы рынка хирургии позвоночника. Наконец, раздел об управлении данными, искусственном интеллекте, инновациях и новых технологиях представит читателю перспективы и будущее спинальной хирургии. Первый том «SFCR Experts Series» наверняка будет высоко оценен нейрохирургами и ортопедами как важный вклад в современные знания о спинальной хирургии.

**Односторонняя бипортальная эндоскопическая  
хирургия позвоночника:  
Базовый и усовершенствованный методы  
Unilateral Biportal Endoscopic Spine Surgery:  
Basis and Advanced Technique  
Ed. by. D.H. Heo, J.Y. Kim, D.Y. Park,  
C.W. Park, C.K. Park**



**Springer Singapore, 2025**

**2-е изд., 426 с.**

Бипортальная эндоскопическая хирургия позвоночника в последние годы привлекла значительное внимание и получила распространение в области хирургии позвоночника благодаря своей минимально-инвазивной природе и преимуществам, которые она предлагает. Эта методика становится все более популярной среди хирургов-вертебрологов при лечении различных заболеваний позвоночника, таких как грыжи межпозвонкового диска, стеноз позвоночного канала и спондилолистез. Ее минимально-инвазивный подход позволяет делать меньшие разрезы, меньше нарушать работу мышц, снижать интенсивность послеоперационной боли и сокращать время восстановления по сравнению с традиционной открытой хирургией. Многочисленные исследования сообщают о благоприятных результатах бипортальной эндоскопической хирургии позвоночника, включая сокращение времени операции, более низкие показатели осложнений и повышение удовлетворенности пациентов. Эти результаты способствуют ее постоянному распространению. Инновации, вероятно, еще больше утвердят бипортальную эндоскопическую хирургию в качестве стандартной практики для соответствующих заболеваний позвоночника. В книге представлены фундаментальные концепции эндоскопической анатомии и основные характеристики эндоскопического оборудования и методов. Включены подробные описания бипортальных эндоскопических процедур с пошаговой демонстрацией выполнения, включая настройку, точки входа и использование инструментов.

## КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

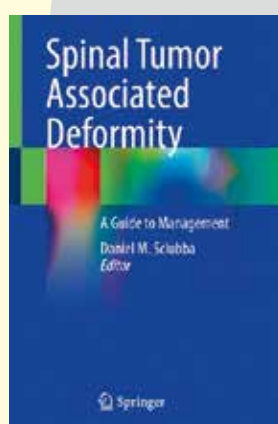
## ХИРУРГИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

[www.spinesurgery.ru](http://www.spinesurgery.ru)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



**Деформации позвоночника, вызываемые опухолями:  
Руководство по лечению  
Spinal Tumor Associated Deformity:  
a Guide to Management  
Ed. by D.M. Scuibba**



**Springer Cham, 2025  
200 с.**

Существует множество публикаций по лечению деформаций позвоночника и ряд публикаций по лечению опухолей позвоночника, но до сих пор каждая из этих патологий рассматривалась отдельно, что ставит перед врачами и студентами сложные задачи, поскольку им необходимо изучать обе области для адекватного лечения пациентов. Так как деформация позвоночника часто возникает при первоначальном проявлении спинальных опухолей (особенно в педиатрии и при синдромных опухолевых состояниях), а также после операции или облучения или при прогрессировании опухоли, издание на эту тему является своевременным. Врачи, изучающие деформации, упускают эти состояния, а врачи, изучающие опухоли, часто не понимают проблем коррекции деформации при поиске контроля над опухолью. Объединяя новейшие методы и стратегии лечения, эта книга заполняет данный пробел, чтобы обеспечить комплексный подход к двум взаимосвязанным проблемам. Главы книги посвящены деформациям, связанным с первичными опухолями, метастатическими опухолями, и ятрогенным деформациям, развивающимся в результате лечения опухолей позвоночника. Представлены такие конкретные темы, как нейрофиброматоз, остеонидная остеома, кифоз и сколиоз, спондилолистез, а также синдром подбородка на груди, синдром плоской спины и патологические переломы в результате лечения. Предлагая уникальный подход, объединяющий деформацию и опухоль позвоночника в единую парадигму лечения, данное издание является потрясающим ресурсом для хирургов-ортопедов, хирургов-вертебрологов и нейрохирургов.

**Деформации позвоночника: полный обзор  
Spinal Deformities: The Comprehensive Text  
Ed. by Christopher DeWald, Ronald DeWald**



**Thieme, 2024  
878 с.**

Предлагается второе издание книги под редакцией известных хирургов Кристофера Дж. ДеВальда и его отца Рональда Л. ДеВальда, занимающихся деформациями позвоночника. В первом издании учебника под редакцией была предпринята попытка формирования основного учебного курса по деформациям позвоночника Общества исследования сколиоза (SRS), соответствующего образовательным потребностям как начинающих, так и опытных хирургов, занимающихся деформациями позвоночника. Второе издание, расширяет и реорганизует основную концепцию учебного курса. В книге отражены более глубокое понимание механики коррекции, новых имплантатов и методик, улучшающих трехмерную коррекцию, появление инновационных растущих конструкций для лечения сколиоза с ранним началом, а также внедрение минимально-инвазивных доступов и технологий без спондилодеза. Учебник разделен на 6 обширных разделов: «Анатомия позвоночника и оценка его состояния», «Патологии позвоночника», «Деформация позвоночника у детей и подростков», «Деформация позвоночника у взрослых», «Спондилолистез», «Хирургические рекомендации и осложнения». Авторы делятся стратегиями повышения безопасности пациентов и оптимизации результатов хирургических вмешательств на всем протяжении лечения, от периперационного ведения до интраоперационных методов нейромониторинга.

**Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии им. Я.А. Цивьяна  
проводит индивидуальное тематическое обучение на рабочем месте  
в виде краткосрочных курсов повышения квалификации  
по следующим циклам:**

1. Эндопротезирование и эндоскопическая хирургия суставов конечностей (80 ч).
2. Современная диагностика, консервативное и хирургическое лечение деформаций позвоночника детского возраста (144 ч).
3. Хирургия заболеваний и повреждений позвоночника (144 ч).
4. Дегенеративные заболевания позвоночника (80 ч).
5. Артроскопия плечевого сустава (80 ч).

**Занятия проводятся по мере поступления заявок.  
После прохождения курсов выдается свидетельство о повышении квалификации.**

**E-mail: [niito@niito.ru](mailto:niito@niito.ru)**

**Тел.: 8 (383) 363-39-81**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Новосибирский научно-исследовательский институт  
травматологии и ортопедии им. Я.А. Цивьяна»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации**

**Объявляет конкурсный прием**

**в ординатуру по специальностям «травматология и ортопедия», «нейрохирургия»,  
«анестезиология-реаниматология» и в аспирантуру по направлению «Клиническая  
медицина» по специальностям «травматология и ортопедия», «нейрохирургия»,  
«анестезиология-реаниматология»**

**Контактная информация: [niito@niito.ru](mailto:niito@niito.ru)  
Тел.: 8 (383) 363-39-81**



# Хирургия ПОЗВОНОЧНИКА

Russian Journal of Spine Surgery



ПОДПИШИТЕСЬ СЕЙЧАС  
www.spinesurgery.ru



Форма № ПД -4	
Извещение	УФК по НСО (ИНН 5406011563, ФГБУ ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна, л/с 20516Х89550) (наименование получателя платежа)
	5406102179 № 40501810700042000002 (ИНН получателя платежа) (номер счета получателя платежа)
Кассир	В ГРКЦ ГУ Банка России по Новосибирской области (наименование банка получателя платежа)
	БИК 045004001 № — (номер кор./сч. банка получателя платежа)
Квитанция Кассир	Подписка на журнал «Хирургия позвоночника» (наименование платежа)
	Сумма платежа _____ руб. _____ коп. Сумма платы за услуги _____ руб. _____ коп. Итого _____ руб. _____ коп.





## Редакционная подписка

Объем издания 100–150 страниц. Периодичность 4 раза в год. Журнал содержит специализированную информацию, посвященную проблемам хирургии позвоночника и смежным дисциплинам.

### Стоимость годовой подписки по России:

для физических лиц – 4800 р., для организаций – 6400 р.

### Стоимость годовой подписки по странам зарубежья:

для физических лиц – 6400 р., для организаций – 7200 р.

Организациям для подписки необходимо отправить заявку на требуемое количество комплектов, а также реквизиты для выставления счета по e-mail: [MBedulina@niito.ru](mailto:MBedulina@niito.ru).

Подписчикам журнала предоставляется доступ к полным версиям статей на сайте [www.spinesurgery.ru](http://www.spinesurgery.ru).  
Архивные номера журнала можно приобрести в редакции.



С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т. ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г. \_\_\_\_\_  
(подпись плательщика)

Информация о плательщике:

\_\_\_\_\_  
(Ф. И. О., адрес плательщика)

\_\_\_\_\_  
(ИНН)

№ \_\_\_\_\_  
(номер лицевого счета (код) плательщика)

С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т. ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка, ознакомлен и согласен

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г. \_\_\_\_\_  
(подпись плательщика)

Информация о плательщике:

\_\_\_\_\_  
(Ф. И. О., адрес плательщика)

\_\_\_\_\_  
(ИНН)

№ \_\_\_\_\_  
(номер лицевого счета (код) плательщика)



Копию платежного документа направляйте в редакцию по e-mail: [MBedulina@niito.ru](mailto:MBedulina@niito.ru).  
или по адресу: 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17, редакция.  
Тел.: 8-383-363-12-91, факс: 8-383-363-39-73.

Научно-практический журнал «Хирургия позвоночника» – регулярное печатное издание для клиницистов, научных работников и руководителей органов здравоохранения. Журнал публикует оригинальные статьи по теоретическим, клиническим и экспериментальным исследованиям, случаи из практики, дискуссии, обзоры литературы, информационные материалы, посвященные актуальным проблемам вертебродологии. Журнал «Хирургия позвоночника» включен в международную библиографическую и реферативную базу данных Scopus, Российский научный индекс цитирования RSCI на платформе Web of Science и в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий России, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по специальностям «травматология и ортопедия» (3.1.8.) и «нейрохирургия» (3.1.10.).

Решение о публикации статей принимается редакционной коллегией на основании мнения независимых рецензентов – специалистов по проблеме при условии соответствия исследований этическим требованиям, а также требованиям к оформлению рукописи. В качестве базового способа рецензирования применяется двойное слепое (рецензент не знает автора, автор не знает рецензента) с привлечением двух экспертов. В случае непредоставления экспертного мнения в течение четырех недель статья направляется другим рецензентам. На повторное рецензирование отводится 2 недели. В спорных ситуациях (при расхождении мнения рецензентов о принятии/отклонении статьи) привлекаются дополнительные рецензенты. Окончательное решение о публикации статьи принимает главный редактор. Публикации в журнале бесплатны. Редакция оставляет за собой право редактировать стиль изложения и оформление статьи. Тексты всех статей, поступающих в журнал, проходят обязательную проверку на уникальность с помощью системы «Антиплагиат». При оригинальности текста менее 85 % рукопись отклоняется от публикации.

#### О соответствии этическим нормам

При направлении статьи в редакцию рекомендуется руководствоваться правилами, составленными с учетом «Единых требований к рукописям, представляемым в биомедицинские журналы» ([www.icmje.org/index.html](http://www.icmje.org/index.html)), которые разработаны Международным комитетом редакторов медицинских журналов, а также Рекомендациями COPE, изданными Комитетом по издательской этике (<http://publicationethics.org/about>). Проведение и описание всех клинических исследований должно полностью соответствовать стандартам CONSORT ([www.consort-statement.org](http://www.consort-statement.org)).

При описании исследований с участием людей необходимо указать, соответствовали ли исследования стандартам биоэтического комитета, входящего в состав учреждения, в котором выполнялась работа, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными приказом Минздрава России от 19.06.2003 г. № 266. Все лица, участвующие в исследовании, должны дать информированное согласие на участие. В статьях, описывающих эксперименты на животных, необходимо указать, что они проводились в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.1977 г. № 755). В обоих случаях необходимо указать, был ли протокол исследования одобрен этическим комитетом (с приведением названия соответствующей организации, ее расположения, номера протокола и даты заседания комитета).

#### Оформление рукописи

**Общие правила.** Рукопись должна быть направлена в редакцию по электронной почте ([spine.surgery@mail.ru](mailto:spine.surgery@mail.ru)) или через систему электронной редакции на сайте журнала. К статье прилагаются **направления к публикации** на бланках всех учреждений с экспертным заключением об отсутствии в материале сведений, не подлежащих опубликованию, с указанием, что данный материал не был опубликован в других изданиях, и **письмо-сопровождение**, подтверждающее передачу прав на публикацию, с подписями всех авторов.

**Формат.** Текст статьи следует предоставлять в текстовом редакторе Word, с размером полей не менее 2,5 см, через 1,5 междустрочных интервала, используя шрифт Times New Roman, размер 12. Страницы должны быть пронумерованы арабскими цифрами в нижнем правом углу, начиная с титульной. Графики предоставляются в формате Microsoft Excel. Общий объем оригинальной статьи не должен превышать 12 страниц, обзорной работы – 16, кратких сообщений – 4.

**Титульный лист** должен содержать название статьи; имена, отчества и фамилии авторов с указанием высших из имеющихся у них ученых степеней (званий) и должности, которую они занимают; полное название учреждения(ий), где выполнялась работа; контактную информацию (e-mail, тел.) всех авторов, личные международные идентификаторы ORCID и eLibrary SPIN всех авторов (обязательно) для опубликования в журнале. Всю информацию необходимо предоставить на русском и английском языках.





**Авторство.** Данные об авторах указываются в последовательности, которая определяется их совместным решением и подтверждается подписями на титульном листе. Кроме того, следует указать вклад каждого автора в исследование (в словесном и процентном выражении). Иные лица, внесшие вклад в выполнение работы, недостаточный для признания авторства (не могущие принять на себя ответственность за содержание работы, но оказавшие техническую, финансовую, интеллектуальную помощь), должны быть перечислены (с их письменного согласия) в разделе «Выражение признательности» после текста статьи.

**Резюме и ключевые слова.** В структурированном резюме (на русском и английском языках) объемом не менее 200 слов должны быть отражены предмет исследования (наблюдения), цель, материал и методы, основные результаты, область их применения и выводы, приведены 3–8 ключевых слов (словосочетаний).

**Рубрикация.** Оригинальная статья обычно имеет следующую композицию: введение, методы (материал и методы), результаты, обсуждение, заключение (выводы). В больших статьях главы «Результаты» и «Обсуждение» могут иметь подзаголовки. В обзорах, описаниях случаев возможна другая структура текста. Во вводной части статьи следует указать тип публикации и уровень доказательности исследования.

**Библиографические ссылки** должны быть сверены с оригиналами и приведены по мере цитирования под заголовком «Литература». В тексте ссылки нумеруются в квадратных скобках: [1], [3–6], [8, 9]. В названиях журналов следует пользоваться сокращениями, принятыми в Index Medicus. В оригинальных статьях рекомендуется использовать литературные источники последних 10 лет. Не рекомендуется ссылаться на материалы конференций, на диссертации и авторефераты диссертаций. Если по исследуемой теме у одних и тех же авторов имеется несколько публикаций, ссылаться рекомендуется на последнюю из них.

Список литературных источников на русском языке должен быть представлен и в транслитерированном виде. Библиографическое описание на русском языке выполняется на основе ГОСТ Р 7.0.5–2008 («Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления»). Англоязычная часть библиографического описания должна соответствовать формату, рекомендуемому Американской национальной организацией по информационным стандартам (National Information Standards Organisation – NISO), принятому National Library of Medicine (NLM) для ее баз данных (Library's MEDLINE/PubMed database: [www.nlm.nih.gov/citingmedicine](http://www.nlm.nih.gov/citingmedicine)). В библиографическом описании приводятся фамилии всех авторов. Указание DOI приветствуется.

**Иллюстрации.** Рисунки, графики, схемы, фотографии нумеруются и подписываются фамилией первого автора и началом названия статьи. В тексте указываются ссылки на каждый рисунок в соответствии с первым упоминанием. Иллюстрации должны быть четкими, пригодными для воспроизведения, в формате TIF или JPG с разрешением 300 точек; их количество, включая а, б и т.д., – не более восьми. Для ранее опубликованных иллюстраций необходимо указать оригинальный источник и предоставить письменное разрешение на воспроизведение от их автора (владельца).

**Таблицы** нумеруются, если их число более одной, и последовательно цитируются в тексте (приемлемо не больше пяти). Каждый столбец должен иметь краткий заголовок, пропуски в строках обозначаются знаком тире. Для данных из других источников необходима ссылка на эти источники. Дублирование сведений в текстах, графиках, таблице недопустимо.

**Сокращения.** Следует ограничиться общепринятыми сокращениями (ГОСТ 7.12–93 для русского и ГОСТ 7.11–78 для иностранных европейских языков), избегая новых без достаточных на то оснований. Аббревиатуры расшифровываются при первом использовании терминов и остаются неизменными по всему тексту. Сокращения, аббревиатуры в таблице разъясняются в примечании к ней.

### Английский язык и транслитерация

При транслитерации рекомендуется использовать стандарт BGN/PCGN (United States Board on Geographic Names/Permanent Committee on Geographical Names for British Official Use), рекомендованный международным издательством Oxford University Press как British Standard. Для транслитерации текста в соответствии со стандартом BGN можно воспользоваться ссылкой <http://ru.translit.ru/?account=bgn>. Англоязычное название статьи должно быть грамотно с точки зрения языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию. Фамилию, имя и отчество необходимо писать в соответствии с заграничным паспортом или так, как в ранее опубликованных статьях. Авторам, публикующимся впервые и не имеющим заграничного паспорта, следует воспользоваться стандартом транслитерации BGN/PCGN. Необходимо указывать официальное англоязычное название учреждения. Полный список названий учреждений и их официальные англоязычные версии можно найти на сайте РУНЭБ [eLibrary.ru](http://elibrary.ru). Англоязычная версия резюме статьи должна по смыслу и структуре полностью соответствовать русскоязычной. Для выбора ключевых слов на английском следует использовать тезаурус Национальной медицинской библиотеки США – Medical Subject Headings (MeSH).