



ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВАЯ ФИКСАЦИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

М.С. Ветрилэ, А.А. Кулешов, С.Н. Макаров, И.Н. Лисянский, Н.А. Аганесов, В.Р. Захарин

Национальный медицинский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

Представлена вторая часть обзора литературы, посвященная современным методам выполнения позвоночно-тазовой фиксации при различных патологиях и повреждениях позвоночника и таза. Обзор носит несистематический характер и проведен с использованием источников из баз данных медицинской литературы и поисковых ресурсов PubMed и eLibrary. Освещены современные методики позвоночно-тазовой фиксации с использованием устанавливаемых в подвздошные кости винтов, анатомические и биомеханические особенности, клинические результаты ее применения, а также выполнения позвоночно-тазовой фиксации при опухолевых поражениях крестца, в том числе с использованием кастомизированных имплантатов, аддитивных технологий. Рассмотрены особенности хирургических техник (классической установки подвздошных винтов, установки методом S2AIS), оценены их преимущества и недостатки, возможные осложнения.

Ключевые слова: позвоночно-тазовая фиксация, пояснично-крестцовый отдел, деформация позвоночника, подвздошные винты, метод S2AIS, аддитивные технологии.

Для цитирования: Ветрилэ М.С., Кулешов А.А., Макаров С.Н., Лисянский И.Н., Аганесов Н.А., Захарин В.Р. *Позвоночно-тазовая фиксация: современные технические решения* // *Хирургия позвоночника*. 2021. Т. 18. № 4. С. 101–110.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.4.101-110>.

SPINOPELVIC FIXATION: MODERN TECHNICAL SOLUTIONS

M.S. Vetrile, A.A. Kuleshov, S.N. Makarov, I.N. Lisyansky, N.A. Aganesov, V.R. Zakharin

N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, Moscow, Russia

The paper presents the second part of literature review devoted to modern techniques of spinopelvic fixation for various pathologies of the spine and injuries to the spine and pelvis. The review is non-systematic and was conducted using PubMed and eLibrary databases of medical literature. Modern techniques of spinopelvic fixation using screws installed in the ilium are highlighted, including anatomical and biomechanical features, clinical results of application, as well as the implementation of spinopelvic fixation for tumor lesions of the sacrum, including the use of customized implants and additive technologies. The features of classical installation of iliac screws and installation by the S2AIS technique are considered, and their advantages and disadvantages and possible complications are evaluated.

Key Words: spinopelvic fixation, lumbosacral region, spinal deformity, iliac screws, S2AIS technique, additive technologies.

Please cite this paper as: *Vetrile MS, Kuleshov AA, Makarov SN, Lisyansky IN, Aganesov NA, Zakharin VR. Spinopelvic fixation: modern technical solutions. Hir. Pozvonoc. 2021;18(4):101–110. In Russian.*

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.4.101-110>.

Позвоночно-тазовая фиксация приобретает все большую актуальность в хирургической вертебрологии. Если ранее основными показаниями для нее были деформации, сопровождающиеся перекосом таза (нейромышечные сколиозы), то с расширением оперативной активности, ростом числа остеотомий позвоночника, коррекции сагиттального баланса туловища вопрос о выполнении позвоночно-тазовой фиксации приобрел особое значение. Характеристики анатомии пояснично-крестцового сочленения как переходной зоны, сложные биомеханические

взаимодействия, а также его ключевая роль для всего осевого скелета обуславливают важность позвоночно-тазовой фиксации. Актуальность вопроса отражает и нарастающее количество публикаций: по запросу «spinopelvic fixation» PubMed в 2019 г. предложил 40 статей, в 2020 г. – 50, в 2021 г. – уже 60.

Представляем продолжение несистематического литературного обзора по вопросам позвоночно-тазовой фиксации на основе анализа источников из баз данных PubMed и eLibrary по ключевым словам «spinopelvic fixation», «iliac screws»,

«S2AIS», «spinopelvic reconstruction», «sacroctomy».

Цель обзора – освещение современных методик позвоночно-тазовой фиксации с использованием устанавливаемых в подвздошные кости винтов, включая анатомические и биомеханические особенности, клинические результаты ее применения, а также выполнения позвоночно-тазовой фиксации при опухолевых поражениях крестца, в том числе с использованием кастомизированных имплантатов.

Позвоночно-тазовая фиксация с применением подвздошных винтов

Введение в оперативную практику подвздошных винтов явилось логическим продолжением и развитием методики Galvestone (рис. 1).

Проведен целый ряд морфометрических и экспериментальных работ для определения оптимальной траектории установки винтов и их размеров. Miller et al. [1] в 1990 г. опубликовали работу, основанную на изучении анатомии 72 тазовых блоков, в которой отметили определенные константные характеристики анатомии подвздошных костей и подтвердили мнение Allen и Ferguson, что подвздошная кость является лучшим местом фиксации для стержней к тазу при выполнении позвоночно-тазовой фиксации. При этом авторы отметили, что высверливание отверстия длиной в 110 мм в подвздошной кости, начиная от задней верхней ости, будет в 25 % случаев приводить к пене-трации вертлужной впадины, в связи с чем рекомендовали использовать винты длиной 90 мм максимально.

На основании анатомо-рентгенологических исследований таза Schildhauer et al. [2] и Berry et al. [3] определили важные анатомические характеристики относительно возможности применения подвздошных винтов. Авторы рассматривали два направления введения винтов – от задней верхней подвздошной ости к верхнему краю вертлужной впадины и передней нижней подвздошной ости соответственно (траектории А и В на рис. 2а). Ключевые моменты их работы:

- абсолютной минимальной безопасной длиной винтов при их установке в подвздошные кости над седалищной вырезкой является 80 мм у взрослых людей и мальчиков-подростков, 70 мм – у девочек-подростков;

- при направлении винтов в сторону передней верхней подвздошной ости длина винтов в 100 мм в большинстве случаев допустима;

- среднее значение диаметра подвздошной кости по траектории введения в наиболее узком месте составляет 13,2 мм у девочек-подростков и 17,3 мм у взрослых мужчин, что намного больше, чем диаметр используемых обычно имплантатов.

Выявлены два наиболее узких места в траектории проведения винта (на уровне подвздошно-крестцового сочленения и на уровне седалищной вырезки), при прохождении которых происходит фиксация винтов за кортикальную часть кости (рис. 2б). Zheng et al. [4] провели анатомическое и биомеханическое исследование и изучили зависимость глубины введения подвздошных винтов (по сути, их длины) и прочности фиксации. Биомеханическое исследование на трупных блоках

включало серии из трех исследований: на интактном пояснично-крестцовом отделе, после резекции крестца и выполнения фиксации короткими подвздошными винтами и длинными соответственно. Диаметр винтов во всех случаях был 7,5 мм. Длина винтов подбиралась следующим образом: в группе короткой фиксации так, чтобы конец винта располагался на 2 мм вентральнее большой седалищной вырезки, а в группе длинной фиксации – выходил на 2 мм за пределы костной ткани на уровне передней верхней подвздошной ости. При таком расположении винты в обеих группах проходили через оба узких места подвздошной фиксации.

В результате длина установленных коротких винтов составила в среднем

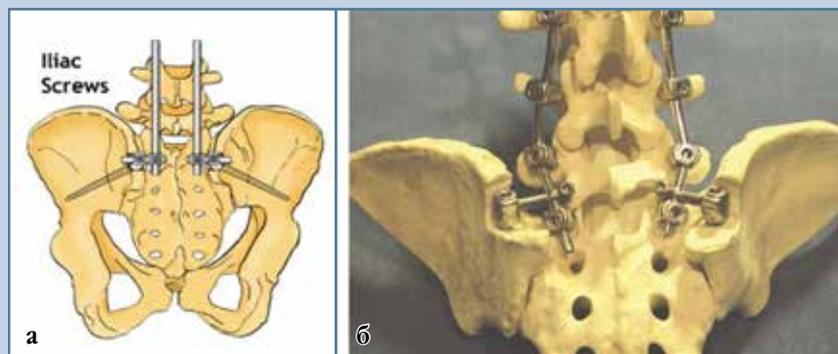


Рис. 1

Схема расположения подвздошных винтов [60] (а) и конструкция с подвздошными винтами на модели позвоночно-тазового комплекса [61] (б)

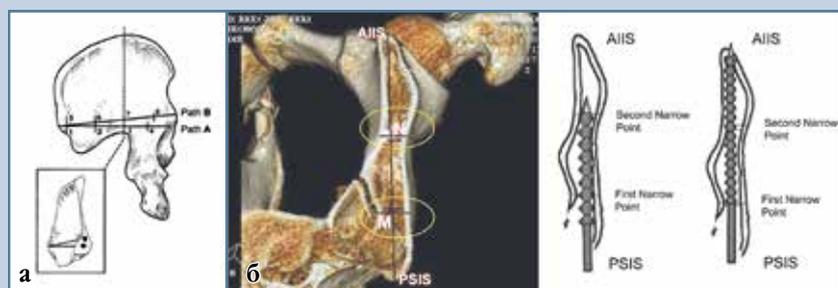


Рис. 2

Возможные траектории введения винтов в подвздошные кости [3] (а) и места сужений по ходу траектории винтов в подвздошных костях (б): AIIS – передняя нижняя подвздошная ость; PSIS – задняя верхняя подвздошная ость [4]

70 ± 2 мм против 138 ± 4 мм длинных, различаясь практически в 2 раза. Полученные результаты свидетельствовали о сопоставимой механической прочности фиксации короткими и длинными винтами при компрессионной и торсионной нагрузках, значимая разница была в пользу более длинных винтов только при тесте на вырывание. Таким образом, отмечено, что использование более коротких винтов для выполнения позвоночно-тазовой фиксации не имеет существенного влияния на стабильность, а риск осложнений, связанных с возможной мальпозицией винтов, при этом снижается.

Многочисленные клинические наблюдения подтверждают эффективность применения подвздошных винтов. Peelle et al. [5] анализировали результаты лечения 40 пациентов с нейромышечным сколиозом и провели сравнение в отдаленном периоде использования метода Galvestone и подвздошных винтов, отметив при этом хорошие результаты и сравнительно минимальное количество осложнений при применении винтов. Tumialan et al. [6] также отмечают преимущество подвздошных винтов при позвоночно-тазовой фиксации при деформациях. Tsuchiya et al. [7] проследили в отдаленном периоде (от 5 до 10 лет) результаты применения подвздошных винтов у 67 пациентов со сколиозом и спондилолистезом. Не отмечено ни одного случая нарушения фиксации винтов в S₁ позвонке. В пяти случаях отмечены переломы винтов в L₅ или L₄ позвонках и перелом стержня, причем в трех из пяти случаев межтеловой спондилодез изначально не проводился. В 7 (10,5 %) случаях были переломы подвздошных винтов. Признаки резорбции костной ткани вокруг подвздошных винтов на рентгенограммах зафиксированы в 43,3 % случаев. У 23 (34,3 %) пациентов через 2 года после операции пришлось удалить подвздошные винты с одной или обеих сторон из-за их подкожного выстояния. Выраженного влияния нестабильности подвздошных винтов на клини-

ческие результаты отмечено не было. Признаков остеоартрита и изменений подвздошно-крестцовых суставов не было ни в одном случае. Cho et al. [8] также отмечают, что отдаленные результаты через 2 года у пациентов с признаками резорбции костной ткани вокруг подвздошных винтов и без нее достоверно не различаются.

Проведение подвздошных винтов через S₂ позвонок и крылья крестца

Применение подвздошных винтов связано с рядом недостатков: необходимость широкого скелетирования, что повышает травматичность операции; удаление от оси позвоночника и оси основной фиксирующей системы требует применения дополнительных соединяющих узлов (коннекторов, пластин), что повышает высоту профиля металлоконструкции; малый объем мягких тканей в области их установки обуславливает их подкожное выстояние; связанный с этим дискомфорт и повышенный риск развития сером и инфицирования. Все это побудило к разработке в госпитале The Johns Hopkins University (США) нового способа установки винтов в подвздошные кости – через S₂ позвонок и крылья крестца, получившего название «S2 Alar Iliac Screws», сокращенно – методика S2AIS. O'Brien et al. [9] в 2009 г. опубликовали первые данные, полученные на основании анатомического исследования с использованием кадаверных блоков. Авторы определили точку ввода винтов на 1 мм ниже и кнаружи от дорсального фораминального отверстия S₁, использовали винты от 70 до 100 мм. В результате ни один из винтов не прошел внутрь таза и не представлял угрозу нервососудистых осложнений, 3 винта вышли из задней поверхности подвздошной кости, также не представляя угрозу осложнений. Головки всех винтов располагались на одной линии с головками винтов в S₁ позвонке (рис. 3). Авторы отмечают повреждение хрящевой поверхности подвздошно-крестцового сустава в 60 % случаев.

Проводилось также изучение данных КТ относительно установки винтов через S₂ позвонок в подвздошную кость [10]. Отмечено, что данная методика может обеспечивать стабильную позвоночно-тазовую фиксацию при деформациях позвоночника у взрослых. Начиная с подростков с завершенным костным ростом, оптимальная точка ввода винта находится на 25 мм ниже замыкательной пластики S₁ позвонка и на 22 мм латеральнее середины S₂ позвонка. Траектория винта в среднем на 40° отклонена каудально и латерально во фронтальной и сагиттальной плоскостях соответственно.

При применении техники S2AIS головки винтов погружены в среднем на 2 см глубже от поверхности кожных покровов, по сравнению с подвздошными винтами [11], при этом нет необходимости в использовании дополнительных коннекторов для установки стержня.

Проведенные биомеханические исследования, сравнивающие стабильность S2AIS винтов с подвздошными винтами при различных нагрузках, выявили незначительное преимущество в жесткости фиксации при использовании техники S2AIS [12, 13]. Также эти данные подтверждены анализом методов конечных элементов [14].

Park et al. [15] провели кадаверное исследование для определения оптимального способа free-hand установки S2AIS винтов и подробно описали технику. Точка введения расположена на середине расстояния между S₁ и S₂ фораминальными отверстиями на 2 мм медиальнее латерального гребня крестца (рис. 3). Описано также мини-инвазивное введение винтов по методике S2AIS и применение робототехники [16–18], которые повышают точность установки винтов и снижают травматичность операции.

Клинические результаты применения методики S2AIS. Kebaish et al. [19, 20] описали результаты лечения 52 взрослых пациентов с деформациями позвоночника, средний срок наблюдения – 2,5 года. Осложнения, связанные с установкой винтов,

наблюдались в трех случаях (2 перелома винтов, 1 мальпозиция), костный блок L_4-S_1 – в 92 % случаев.

Sponseller et al. [21] сравнили результаты лечения детей и подростков с нейроргенным сколиозом с использованием методики S2AIS винтов и традиционно установленных подвздошных винтов. Отмечено, что коррекция угла деформации по Cobb сопоставима в обеих группах, тогда как коррекция перекоса таза статистически достоверна в группе S2AIS винтовой фиксации (67 % против 60 %; $p = 0,002$). В обеих группах было 2 случая рентгенологически выявленной резорбции костной ткани вокруг тазовых винтов. По данным КТ, у 18 пациентов с S2AIS винтами ни в одном случае не было внутритазовой протрузии винтов, в одном случае винт выходил кнаружи на 5 мм. В группе S2AIS винтов не было ни одного случая глубокой инфекции, подкожного выстояния имплантатов, отсроченных кожных трофических изменений над имплантатами и миграции винтов. В группе пациентов с традиционными подвздошными винтами в трех случаях отмечена глубокая раневая инфекция ($p = 0,09$), в трех – подкожное выступание имплантатов с локальными кожными проявлениями. Таким образом, авторы отмечают лучшую коррекцию

перекоса таза и меньшее число осложнений при использовании методики S2AIS.

Jain et al. [22] сообщили, что из 80 детей, которым выполняли крестцово-подвздошную фиксацию техникой S2AIS, только в трех (3,8 %) случаях потребовались ревизионные операции. В их исследовании техника фиксации S2AIS при деформациях позвоночника у детей и применение винтов диаметром менее 8 мм увеличивали риск их поломки.

Elder et al. [23] опубликовали в 2017 г. исследование, где сравнивали результаты применения S2AIS винтов и подвздошных винтов у взрослых пациентов с деформациями позвоночника. По их данным, клинические и функциональные результаты, частота псевдоартроза L_5-S_1 , боли в подвздошно-крестцовых суставах и проксимальный кифоз сопоставимы в обеих группах. В то же время в группе S2AIS винтов частота реопераций ниже (8,8 % против 48,0 %; $p < 0,001$), частота инфекционных осложнений также была значительно ниже (1,5 % против 44,0 %; $p < 0,001$), подкожное выступание металлоконструкции отсутствовало при использовании методики S2AIS (0,0 % против 12,0 %; $p = 0,02$).

Guler et al. [24] сообщили о более высокой частоте дестабилизации позвоночно-тазовой фиксации по методике S2AIS в сравнении с подвздошными винтами с использованием коннекторов. Остальные проанализированные публикации сравнительных исследований применения подвздошных винтов и винтов, установленных по методике S2AIS, свидетельствуют о меньшем количестве осложнений и реопераций при применении методики S2AIS [25–28].

Опубликованные в 2019 г. данные систематического и метаанализа, посвященных сравнению числа осложнений и ревизионных операций после выполнения позвоночно-тазовой фиксации у детей и взрослых при использовании винтов, установленных по методу S2AIS, демонстрируют, что применение подвздошных винтов сопряжено с большим количеством послеоперационных осложнений и ревизионных операций и более низким уровнем амбулаторного статуса в сравнении с применением методики S2AIS [29].

Модификация установки подвздошных винтов

Sohn et al. [30] с целью уменьшения профиля конструкции и исключения необходимости использования

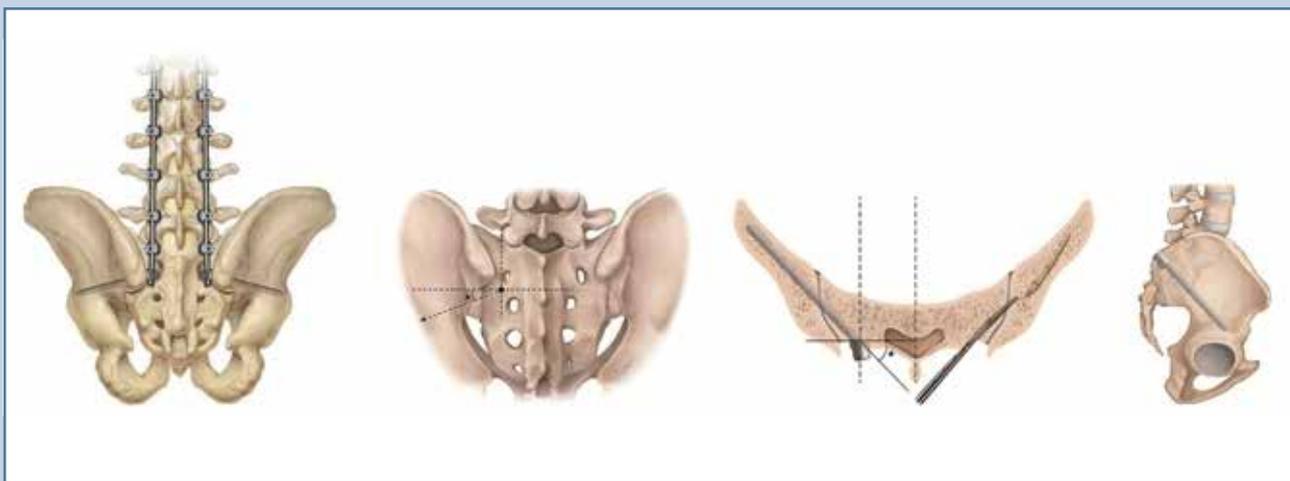


Рис. 3

Установка винтов по методике S2AIS [15]



Рис. 4

Установка подвздошных винтов по модифицированным методикам: а – по Sohn et al. [31]; б – по методике DVIP (Distal Ventral Iliac Pathway) [32]

соединяющих деталей предложили оригинальную модификацию техники установки подвздошных винтов. Точка ввода винта расположена на 1 см каудальнее и 1 см медиальнее задней верхней подвздошной ости, резекция подвздошной ости при этом не производится (рис. 4а). Проведенная авторами оценка данного способа путем применения метода конечных элементов показала преимущества распределения нагрузки на винты по сравнению с вариантом установки S2AIS [31]. Cady-McCrea et al. [32] описывают схожую методику, при этом выполняя частичную резекцию медиальной части задней верхней подвздошной ости. Авторы обозначают эту методику как «DVIP – Distal Ventral Iliac Pathway», а анализируя отдаленные результаты лечения у 128 пациентов отмечают достаточную техническую простоту и безопасность метода, возможность установки нескольких винтов, отсутствие необходимости в коннекторах и повреждение подвздошно-крестцового сочленения.

Позвоночно-тазовая фиксация с установкой двух винтов в подвздошные кости

Анатомические характеристики подвздошных костей делают возможным установку пары винтов с каж-

дой стороны соответственно. Yu et al. [33] доказали биомеханическое преимущество техники фиксации двумя подвздошными винтами по сравнению с фиксацией одним винтом при выполнении сакрэктомии. Авторы также провели исследование возможности проведения винтов в разных направлениях (рис. 5), полученные результаты биомеханического исследования свидетельствуют о большей стабильности фиксации двойной винтовой системой, зависимость

от ориентации подвздошных винтов при этом несущественна [33]. Основными показаниями к применению двухвинтовой подвздошной фиксации являются, прежде всего, тотальная резекция крестца [34], включая крестцово-подвздошные сочленения, частичная сакрэктомия, включающая резекцию более 50 % крестцово-подвздошных сочленений с обеих сторон, частичная сакрэктомия с односторонней полной резекцией крестцово-подвздошного сочленения

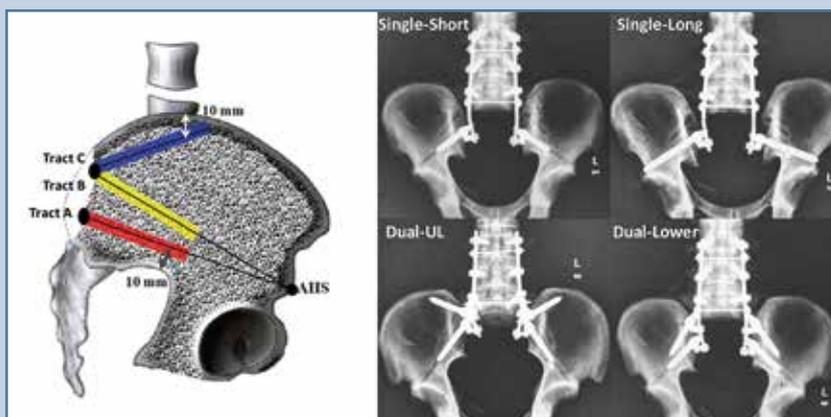


Рис. 5

Возможные траектории установки двух винтов одновременно в подвздошные кости [33] и рентгенограммы экспериментального изучения различных вариантов проведения подвздошных винтов [33]

[33]. Также данная методика используется при необходимости более жесткой фиксации при травматических повреждениях крестца [35], протяженных деформациях и выполнении корригирующих остеотомий крестца [36–39]. Систематический обзор литературы, проведенный Bourghli et al. [40], подтверждает, что двухвинтовая фиксация обладает преимуществом перед одновинтовой в сложных клинических ситуациях.

Многостержневая компоновка при выполнении позвоночно-тазовой фиксации

Установка пары подвздошных винтов позволяет выполнять многостержневую компоновку металлоконструкции. Shen et al. [41] описали новый метод четырехстержневой компоновки металлоконструкции (рис. 6), который успешно применили у пациента с хронической крестца. Mindea et al. [34] проводили кадаверное биомеханическое исследование, сравнивая различные методы позвоночно-тазовой фиксации после тотальной сакрэктомии.

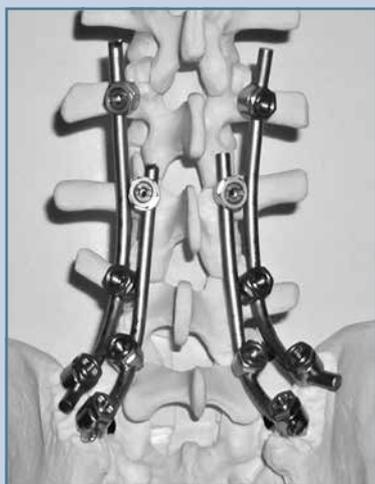


Рис. 6

Четырехстержневая компоновка металлоконструкции для выполнения позвоночно-тазовой фиксации с использованием парных подвздошных винтов [41]

Наибольшая прочность фиксации достигается, согласно полученным результатам, при установке двух подвздошных винтов и четырехстержневой компоновки металлоконструкции. Следующей по прочности фиксации была конструкция с использованием двух подвздошных винтов и двухстержневой компоновки.

Фиксация передней опорной колонны при позвоночно-тазовой фиксации

Значение межтелового спондилодеза при фиксации на уровне L_5-S_1 , тем более при протяженной в краниальном направлении, не вызывает сомнения – при его невыполнении или при несостоятельности костного блока риск перелома металлоконструкции многократно повышается. В случае, когда каудально фиксация заканчивается на уровне S_1 позвонка, чаще всего происходит перелом винтов в S_1 позвонке. Выполнение дополнительной фиксации подвздошными винтами значительно снижает нагрузку на винты в S_1 позвонке и предотвращает их перелом, что подтверждается биомеханическими исследованиями и методом конечных элементов [42,

43]. Также выявлено, что при уменьшении нагрузки на винты в S_1 позвонке возрастает нагрузка на стержень выше винтов в S_1 позвонке [43]. Анализ переломов металлоконструкции выше S_1 позвонка выявил его корреляцию с отсутствием или несостоятельностью переднего костного блока L_5-S_1 [44]. При этом несостоятельность фиксации ниже S_1 позвонка (перелом или нестабильность тазовых винтов) коррелирует с большей протяженностью фиксации и сагиттальным дисбалансом.

Позвоночно-тазовая фиксация при резекции крестца

Сложность восстановления опорной функции позвоночно-тазового комплекса при удалении опухолей крестца обусловлена применением различных реконструктивных методик позвоночно-тазовой фиксации, сочетающих как два подвздошных винта и многостержневые конструкции, так и различные методы чресподвздошной фиксации с использованием дополнительной опоры в кости таза кортикальными трансплантатами, раздвижными кейджами и цилиндрическими сетками mesh (рис. 7) [45–51].

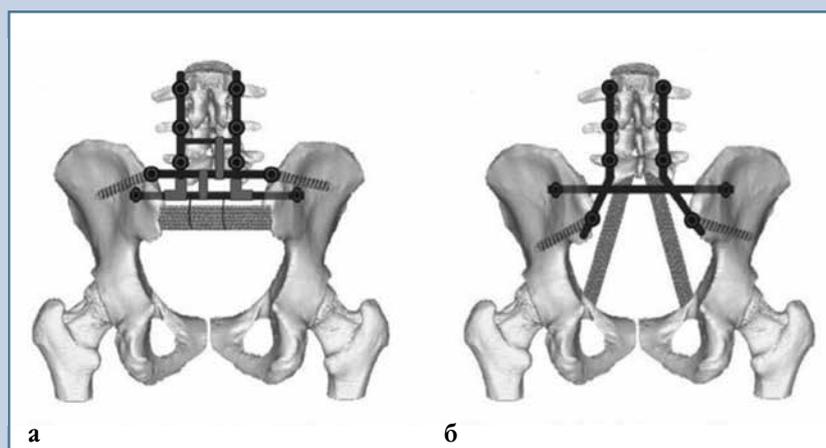


Рис. 7

Различные варианты позвоночно-тазовой реконструкции после сакрэктомии [46]: **а** – по методу John Hopkins University; **б** – с использованием кортикальных трансплантатов и чресподвздошного стержня

Позвоночно-тазовая фиксация с применением персонифицированных имплантатов

Современные технологии позволяют проектировать индивидуальные имплантаты для позвоночно-тазовой фиксации, замещения резецированных костных структур. Изготовленные с помощью аддитивных технологий кастомизированные имплантаты используются для позвоночно-тазо-

вой фиксации и реконструктивно-корректирующих операций в сложных клинических случаях, когда применение стандартных методик затруднено или невозможно.

Wuisman et al. [52] применяли кастомизированный имплантат для выполнения позвоночно-тазовой реконструкции у пациента с остеосаркомой крестца с вовлечением подвздошно-крестцовых сочленений. После резекции крестца и части под-

вздошных костей реконструкция осуществлена индивидуально изготовленным имплантатом (рис. 8а).

Dalbayrak et al. [53] описали 4 случая, в том числе сакрэктомии и дестабилизацию предшествующей позвоночно-тазовой фиксации. Реконструкция осуществлялась П-образными оригинальными пластинами, упирающимися в гребни подвздошных костей и соединяющимися со стандартной транспедикулярной конструкцией поясничного отдела (рис. 8б).

А.А. Кулешов с соавт. [54, 55] рассказали об успешном применении кастомизированных опорных пластин с опорой на гребни подвздошных костей, анатомически повторяющих форму подвздошных костей, и соединяющихся в краниальном направлении со стандартными транспедикулярными фиксаторами (рис. 8в). Joukar et al. [56] проводили биомеханическую оценку методом конечных элементов позвоночно-тазовой фиксации с помощью оригинальной пластины-камертона. По полученным ими данным, фиксация сопоставима по стабильности с применением двух подвздошных винтов, но при этом нагрузка на металлоконструкцию несколько ниже при использовании пластины-камертона, что, возможно, позволит избежать поломки металлофиксаторов.

Wei et al. [57, 58] сообщают о хорошем отдаленном результате применения протезов крестца, изготовленных методом 3D-печати (рис. 9), после тотальной сакрэктомии. Авторы описывают 10 случаев и сообщают о меньшем количестве осложнений по сравнению с винтовой фиксацией.

Опубликованный в 2020 г. систематический обзор литературы о применении индивидуально изготовленных имплантатов в хирургии позвоночника показал, что персонифицированный подход и изготовление имплантатов методом 3D-печати в сложных клинических случаях имеют преимущества перед стандартным инструментарием, тем не менее большинство имеющихся работ представляют только описание серии клинических

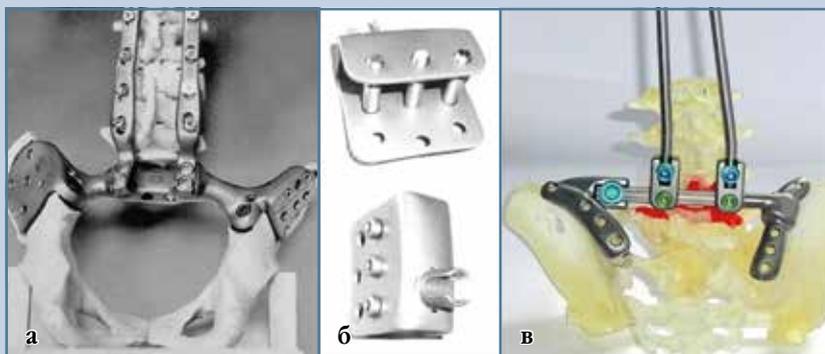


Рис. 8

Различные варианты кастомизированных имплантатов для позвоночно-тазовой фиксации: а – индивидуальная конструкция для позвоночно-тазовой фиксации [52]; б – П-образные пластины на подвздошные крылья [53]; в – опорные пластины на подвздошные крылья [54, 55]



Рис. 9

Протез части крестца, изготовленный методом 3D-печати [58]

случаев, поэтому необходимо проведение более доказательных клинических и биомеханических исследований [59].

Заключение

Применение подвздошных винтов является в настоящий момент основным методом выполнения позвоночно-тазовой фиксации. Установка подвздошных винтов возможна различными способами: предпочтительнее методики, обеспечивающие более

низкий профиль конструкции и отсутствие дополнительных соединяющих элементов. Для предотвращения дестабилизации фиксации важным является выполнение спондилодеза передней опорной колоны. При сложных клинических случаях, требующих более жесткой фиксации (например, сакрэктомии), достичь ее можно путем установки нескольких подвздошных винтов с каждой стороны и многостержневой компоновки металлоконструкции. Применение касто-

мизированных имплантатов позволяет восстанавливать опорную функцию позвоночно-тазового комплекса в сложных клинических случаях.

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

Литература/References

1. Miller F, Moseley C, Koreska J. Pelvic anatomy relative to lumbosacral instrumentation. J Spinal Disord. 1990;3:169–173.
2. Schildhauer TA, McCulloch P, Mann JR. Anatomic and radiographic considerations for placement of transiliac screws in lumbopelvic fixations. J Spinal Disord Tech. 2002;15:199–205. DOI: 10.1097/00024720-200206000-00005.
3. Berry JL, Stahurski T, Asher MA. Morphometry of the supra sciatic notch intrailiac implant anchor passage. Spine. 2001;26:E143–E148. DOI: 10.1097/00007632-200104010-00002.
4. Zheng ZM, Yu BS, Chen H, Aladin DMK, Zhang KB, Zhang JF, Liu H, Luk KDK, Lu WW. Effect of iliac screw insertion depth on the stability and strength of lumbopelvic fixation constructs: an anatomical and biomechanical study. Spine. 2009;34:E565–E572. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181ac8fc4.
5. Peelle MW, Lenke LG, Bridwell KH, Sides B. Comparison of pelvic fixation techniques in neuromuscular spinal deformity correction: Galveston rod versus iliac and lumbosacral screws. Spine. 2006;31:2392–2398. DOI: 10.1097/01.brs.0000238973.13294.16.
6. Tumialan LM, Mummanen PV. Long-segment spinal fixation using pelvic screws. Neurosurgery. 2008;63(3 Suppl):183–190. DOI: 10.1227/01.NEU.0000320431.66632.D5.
7. Tsuchiya K, Bridwell KH, Kuklo TR, Lenke LG, Baldus C. Minimum 5-year analysis of L5–S1 fusion using sacropelvic fixation (bilateral S1 and iliac screws) for spinal deformity. Spine. 2006;31:303–308. DOI: 10.1097/01.brs.0000197193.81296.f1.
8. Cho W, Mason JR, Smith JS, Shimer AL, Wilson AS, Shaffrey CI, Shen FH, Novicoff WM, Fu KMG, Heller JE, Arlet V. Failure of lumbopelvic fixation after long construct fusions in patients with adult spinal deformity: clinical and radiographic risk factors: clinical article. J Neurosurg Spine. 2013;19:445–453. DOI: 10.3171/2013.6.SPINE121129.
9. O'Brien JR, Yu WD, Bhatnagar R, Sponseller P, Kebaish KM. An anatomic study of the S2 iliac technique for lumbopelvic screw placement. Spine. 2009;34:439–442. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181a4e3e4.
10. Chang T-L, Sponseller PD, Kebaish KM, Fishman EK. Low profile pelvic fixation: anatomic parameters for sacral alar-iliac fixation versus traditional iliac fixation. Spine. 2009;34:436–440. DOI: 10.1097/brs.0b013e318194128c.
11. Matteini LE, Kebaish KM, Volk WR, Bergin PF, Yu WD, O'Brien JR. An S2 alar iliac pelvic fixation: Technical note. Neurosurg Focus. 2010;28:E13. DOI: 10.3171/2010.1.FOCUS09268.
12. O'Brien JR, Yu W, Kaufman BE, Bucklen B, Salloum K, Khalil S, Gudipally M. Biomechanical evaluation of S2 alar-iliac screws: effect of length and quad-cortical purchase as compared with iliac fixation. Spine. 2013;38: E1250–E1255. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31829e17ff.
13. Hoernschemeyer DG, Pashuck TD, Pfeiffer FM. Analysis of the S2 alar-iliac screw as compared with the traditional iliac screw: does it increase stability with sacroiliac fixation of the spine? Spine J. 2017;17:875–879. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.02.001.
14. Shin JK, Lim BY, Goh TS, Son SM, Kim HS, Lee JS, Lee CS. Effect of the screw type (S2-alar-iliac and iliac), screw length, and screw head angle on the risk of screw and adjacent bone failures after a spinopelvic fixation technique: A finite element analysis. PLoS One. 2018;13:e0201801. DOI: 10.1371/journal.pone.0201801.
15. Park JH, Hyun SJ, Kim KJ, Jahng TA. Free hand insertion technique of S2 sacral alar-iliac screws for spino-pelvic fixation: Technical note, a cadaveric study. J Korean Neurosurg Soc. 2015;58:578–581. DOI: 10.3340/jkns.2015.58.6.578.
16. Laratta JL, Shillingford JN, Meredith JS, Lenke LG, Lehman RA, Gum JL. Robotic versus freehand S2 alar iliac fixation: in-depth technical considerations. J Spine Surg. 2018;46:638–644. DOI: 10.21037/jss.2018.06.13.
17. Laratta JL, Shillingford JN, Lombardi JM, Allrabra RG, Benkli B, Fischer C, Lenke LG, Lehman RA. Accuracy of S2 alar-iliac screw placement under robotic guidance. Spine Deform. 2018;6:130–136. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.08.009.
18. Tanasansomboon T, Tejapongvorachai T, Yingsakmongkol W, Limthongkul W, Kotheeranurak V, Singhatanadgige W. Minimally invasive percutaneous modified iliac screw placement using intraoperative navigation: a technical note. World Neurosurg. 2021;146:240–245. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.11.112.
19. Kebaish KM, Gunne AP, Mohamed AS, Zimmerman R, Ko PS, Skolasky RL, O'Brien JR, Sponseller PD. A new low profile sacro-pelvic fixation using S2 alar iliac (S2AI) screws in adult deformity fusion to the sacrum: a prospective study with minimum two-year follow-up. In: SRS 44th Annual Meeting and Course. San Antonio, Texas, September 23–26, 2009. E-Poster #21. 2009:170.
20. Kebaish KM, Pullter Gunne AF, Mohamed AS, Ko PS, Skolasky RL, O'Brien JR, Sponseller PD. A new low profile sacro-pelvic fixation using S2 Alar Iliac (S2AI) screws in adult deformity fusion to the sacrum: a prospective study with minimum two-year follow-up. In: North American Spine Society Annual Meeting; November 10–14, 2009; San Francisco, CA; 2009.
21. Sponseller PD, Zimmerman RM, Ko PS, Gunne AFP, Mohamed AS, Chang TL, Kebaish KM. Low profile pelvic fixation with the sacral alar iliac technique in the pediatric population improves results at two-year minimum follow-up. Spine. 2010;35:1887–1892. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181e03881.

22. Jain A, Kebaish KM, Sponseller PD. Sacral-alar-iliac fixation in pediatric deformity: radiographic outcomes and complications. *Spine Deform.* 2016;4:225–229. DOI: 10.1016/j.jspd.2015.11.005.
23. Elder BD, Ishida W, Lo SFL, Holmes C, Goodwin CR, Kosztowski TA, Bydon A, Gokaslan ZL, Wolinsky JP, Sciubba DM, Witham TF. Use of S2-alar-iliac screws associated with less complications than iliac screws in adult lumbosacropelvic fixation. *Spine.* 2017;42:E142–E149. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001722.
24. Guler UO, Cetin E, Yaman O, Pellise F, Casademut AV, Sabat MD, Alanay A, Grueso FS, Acaroglu E. Sacropelvic fixation in adult spinal deformity (ASD); a very high rate of mechanical failure. *Eur Spine J.* 2015;24:1085–1091. DOI: 10.1007/s00586-014-3615-1.
25. Cottrill E, Margalit A, Brucker C, Sponseller PD. Comparison of sacral-alar-iliac and iliac-only methods of pelvic fixation in early-onset scoliosis at 5.8 years' mean follow-up. *Spine Deform.* 2019;7:364–370. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.08.007.
26. Shillingford JN, Laratta JL, Tan LA, Sarpong NO, Lin JD, Fischer CR, Lehman RA Jr, Kim YJ, Lenke LG. The free-hand technique for S2-alar-iliac screw placement. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100:334–342. DOI: 10.2106/JBJS.17.00052.
27. Ishida W, Elder BD, Holmes C, Lo SL, Goodwin CR, Kosztowski TA, Bydon A, Gokaslan ZL, Wolinsky JP, Sciubba DM, Witham TF. Comparison between S2-alar-iliac screw fixation and iliac screw fixation in adult deformity surgery: reoperation rates and spinopelvic parameters. *Global Spine J.* 2017;7:672–680. DOI: 10.1177/2192568217700111.
28. Shabtai I, Andras LM, Portman M, Harris LR, Choi PD, Tolo VT, Skaggs DL. Sacral alar iliac (SAI) screws fail 75% less frequently than iliac screws in neuromuscular scoliosis. *J Pediatr Orthop.* 2017;37:e470–e475. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000720.
29. Keorochana G, Arirachakaran A, Setrkraising K, Kongtharvonskul J. Comparison of complications and revisions after sacral 2 alar iliac screw and iliac screw fixation for sacropelvic fixation in pediatric and adult populations: systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg.* 2019;132:408–420.e1. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.08.104.
30. Sohn S, Chung CK, Kim YJ, Kim CH, Park SB, Kim H. Modified iliac screw fixation: technique and clinical application. *Acta Neurochir (Wien).* 2016;158:975–980. DOI: 10.1007/s00701-016-2772-x.
31. Sohn S, Park TH, Chung CK, Kim YJ, Jang JW, Han IB, Lee SJ. Biomechanical characterization of three iliac screw fixation techniques: A finite element study. *J Clin Neurosci.* 2018;52:109–114. DOI: 10.1016/j.jocn.2018.03.002.
32. Cady-McCrea CI, Visco ZR, Lavelle WF, Tallarico RA. Distal ventral iliac pathway for spinopelvic fixation: technique description and case series. *Int J Spine Surg.* 2021;8:116. DOI: 10.14444/8116.
33. Yu BS, Zhuang XM, Zheng ZM, Li ZM, Wang TP, Lu WW. Biomechanical advantages of dual over single iliac screws in lumbo-iliac fixation construct. *Eur Spine J.* 2010;19:1121–1128. DOI: 10.1007/s00586-010-1343-8.
34. Mindea SA, Chinthakunta S, Moldavsky M, Gudipally M, Khalil S. Biomechanical comparison of spinopelvic reconstruction techniques in the setting of total sacrectomy. *Spine.* 2012;37:E622–E627. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31827619d3.
35. Acharya NK, Bijukachhe B, Kumar RJ, Menon VK. Ilio-lumbar fixation-The Amrita technique. *J Spinal Disord Tech.* 2008;21:493–499. DOI: 10.1097/BSD.0b013e31815b5cc4.
36. Ebata S, Ohba T, Oba H, Haro H. Bilateral dual iliac screws in spinal deformity correction surgery. *J Orthop Surg Res.* 2018;13:260. DOI: 10.1186/s13018-018-0969-9.
37. Bodin A, Roussouly P. Sacral and pelvic osteotomies for correction of spinal deformities. *Eur Spine J.* 2014;24(Suppl 1):72–82. DOI: 10.1007/s00586-014-3651-x.
38. Ozturk AK, Sullivan PZ, Arlet V. Sacral pedicle subtraction osteotomy for an extreme case of positive sagittal balance: case report. *J Neurosurg Spine.* 2018;28:532–535. DOI: 10.3171/2017.8.SPINE17550.
39. Czyz M, Forster S, Holton J, Shariati B, Clarkson DJ, Boszczyk BM. New method for correction of lumbo-sacral kyphosis deformity in patient with high pelvic incidence. *Eur Spine J.* 2017;26:2204–2210. DOI: 10.1007/s00586-017-5205-5.
40. Bourghli A, Boissiere L, Obeid I. Dual iliac screws in spinopelvic fixation: a systematic review. *Eur Spine J.* 2019;28:2053–2059. DOI: 10.1007/s00586-019-06065-3.
41. Shen FH, Harper M, Foster WC, Marks I, Arlet V. A novel “four-rod technique” for lumbo-pelvic reconstruction: theory and technical considerations. *Spine.* 2006;31:1395–1401. DOI: 10.1097/01.brs.0000219527.64180.95.
42. Lebowhl NH, Cunningham BW, Dmitriev A, Shimamoto N, Gooch L, Devlin V, Boachie-Adjei O, Wagner TA. Biomechanical comparison of lumbosacral fixation techniques in a calf spine model. *Spine.* 2002;27:2312–2320. DOI: 10.1097/00007632-200211010-00003.
43. Galbusera F, Casaroli G, Chande R, Lindsey D, Villa T, Yerby S, Mesiwala A, Panico M, Gallazzi E, Brayda-Bruno M. Biomechanics of sacropelvic fixation: a comprehensive finite element comparison of three techniques. *Eur Spine J.* 2020;29:295–305. DOI: 10.1007/s00586-019-06225-5.
44. Park SJ, Park JS, Nam Y, Yum TH, Choi YT, Lee CS. Failure types and related factors of spinopelvic fixation after long construct fusion for adult spinal deformity. *Neurosurgery.* 2021;88:603–611. DOI: 10.1093/neuros/nyaa469.
45. Newman CB, Keshavarzi S, Aryan HE. En bloc sacrectomy and reconstruction: technique modification for pelvic fixation. *Surg Neurol.* 2009;72:752–756. DOI: 10.1016/j.surneu.2009.02.008.
46. Varga PP, Szoverfi Z, Lazary A. Surgical resection and reconstruction after resection of tumors involving the sacropelvic region. *Neurol Res.* 2014;36:588–596. DOI: 10.1179/1743132814Y.0000000370.
47. Gallia GL, Haque R, Garonzik I, Witham TF, Khavkin YA, Wolinsky JP, Suk I, Gokaslan ZL. Spinal pelvic reconstruction after total sacrectomy for en bloc resection of a giant sacral chordoma. Technical note. *J Neurosurg Spine.* 2005;3:501–506. DOI: 10.3171/spi.2005.3.6.0501.
48. Bederman SS, Shah KN, Hassan JM, Hoang BH, Kiester PD, Bhatia NN. Surgical techniques for spinopelvic reconstruction following total sacrectomy: a systematic review. *Eur Spine J.* 2014;23:305–319. DOI: 10.1007/s00586-013-3075-z.
49. Gallia GL, Suk I, Witham TF, Gearhart SL, Black JH 3rd, Redett RJ, Sciubba DM, Wolinsky JP, Gokaslan ZL. Lumbopelvic reconstruction after combined L5 spondylectomy and total sacrectomy for en bloc resection of a malignant fibrous histiocytoma. *Neurosurgery.* 2010;67:E498–E502. DOI: 10.1227/01.NEU.0000382972.15422.10.
50. Gillis CC, Street JT, Boyd MC, Fisher CG. Pelvic reconstruction after subtotal sacrectomy for sacral chondrosarcoma using cadaveric and vascularized fibula autograft. *J Neurosurg Spine.* 2014;21:623–627. DOI: 10.3171/2014.6.SPINE13657.
51. Choi MK, Jo DJ, Kim SB. Pelvic reconstruction surgery using a dual-rod technique with diverse U-shaped rods after posterior en bloc partial sacrectomy for a sacral tumor: 2 case reports and a literature review. *World Neurosurg.* 2016;95:619.e11–619.e18. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.08.022.
52. Wuisman P, Lieshout O, van Dijk M, van Diest P. Reconstruction after total en bloc sacrectomy for osteosarcoma using a custom-made prosthesis. *Spine.* 2001;26:431–439. DOI: 10.1097/00007632-200102150-00021.
53. Dalbayrak S, Yilmaz M, Kaner T, Gokdag M, Yilmaz T, Sasani M, Oktenoglu T, Ozer AF. Lumbosacral stabilization using iliac wings: A new surgical technique. *Spine.* 2011;36:E673–E677. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181f8fa7c.
54. Кулешов А.А., Ветрилэ М. С., Шкарубо А. Н., Доценко В. В., Еськин Н. А., Лисянский И. Н., Макаров С. Н. Аддитивные технологии в хирургии деформаций позвоночника // Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова. 2018. № 4. С. 19–29. [Kuleshov AA, Vetrile MS, Shkarubo AN, Docenko VV, Es'kin NA, Lisyanskiy IN, Makarov SN. Additive technologies in surgical treatment of spinal de-

- mities. N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics. 2018;(4):19–29. In Russian]. DOI: 10.17116/vto201803-04119.
55. **Ветрилэ М.С., Кулешов А.А., Макаров С.Н., Лисянский И.Н., Кокорев А.И., Аганесов Н.А., Захарин В.Р.** Особенности позвоночно-тазовой фиксации при деформациях и травматических повреждениях позвоночника // Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова. 2021. Т. 28. № 1. С. 17–27. [Vetrile MS, Kuleshov AA, Makarov SN, Lisyansky IN, Kokorev AI, Aganesov NA, Zakharin VR. Peculiarities of spinopelvic fixation in deformations and traumatic injuries of the spine. NN Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics. 2021;(1):17–27. In Russian]. DOI: 10.17816/vto63954.
56. **Joukar A, Mehta J, Goel VK, Marks DS.** Biomechanical analysis of the tuning fork plate versus dual pelvic screws in a sacrectomy model: a finite element study. Global Spine J. Published online 2021:1–8. DOI: 10.1177/2192568220983792.
57. **Wei R, Guo W, Ji T, Zhang Y, Liang H.** One-step reconstruction with a 3D-printed, custom-made prosthesis after total en bloc sacrectomy: a technical note. Eur Spine J. 2017;26:1902–1909. DOI: 10.1007/s00586-016-4871-z.
58. **Wei R, Guo W, Yang R, Tang X, Yang Y, Ji T, Liang H.** Reconstruction of the pelvic ring after total en bloc sacrectomy using a 3D-printed sacral endoprosthesis with re-establishment of spinopelvic stability: a retrospective comparative study. Bone Joint J. 2019;101-B:880–888. DOI: 10.1302/0301-620X.101B7.BJJ-2018-1010.R2.
59. **Burnard JL, Parr WCH, Choy WJ, Walsh WR, Mobbs RJ.** 3D-printed spine surgery implants: a systematic review of the efficacy and clinical safety profile of patient-specific and off-the-shelf devices. Eur Spine J. 2020;29:1248–1260. DOI: 10.1007/s00586-019-06236-2.
60. **Dayer R, Ouellet JA, Saran N.** Pelvic fixation for neuromuscular scoliosis deformity correction. Curr Rev Musculoskelet Med. 2012;5:91–101. DOI: 10.1007/s12178-012-9122-2.
61. **Moshirfar A, Rand FF, Sponseller PD, Parazin SJ, Khanna AJ, Kebaish KM, Stinson JT, Riley LH 3rd.** Pelvic fixation in spine surgery. Historical overview, indications, biomechanical relevance, and current techniques. J Bone Joint Surg Am. 2005;87 Suppl 2:89–106. DOI: 10.2106/JBJS.E.00453.

Адрес для переписки:

Ветрилэ Марчел Степанович
127299, Россия, Москва, ул. Приорова, 10,
Национальный медицинский центр травматологии
и ортопедии им. Н.Н. Приорова,
vetrilams@cito-priorov.ru

Address correspondence to:

Vetrile Marchel Stepanovich
N.N. Priorov National Medical Research Center
of Traumatology and Orthopaedics,
10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia,
vetrilams@cito-priorov.ru

Статья поступила в редакцию 27.10.2021

Рецензирование пройдено 17.11.2021

Подписано в печать 19.12.2021

Received 27.10.2021

Review completed 17.11.2021

Passed for printing 19.12.2021

Марчел Степанович Ветрилэ, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, старший научный сотрудник, Национальный медицинский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0001-6689-5220, vetrilams@cito-priorov.ru;
Александр Алексеевич Кулешов, д-р мед. наук, врач-травматолог-ортопед, заведующий отделением вертебрологии, Национальный медицинский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0002-9526-8274, cito-spine@mail.ru;
Сергей Николаевич Макаров, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0003-0406-1997, moscow.makarov@gmail.com;
Игорь Николаевич Лисянский, канд. мед. наук, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0002-2479-438, lisiornik@list.ru;
Николай Александрович Аганесов, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0001-5383-6862, kolyanzer@yandex.ru;
Виталий Романович Захарин, врач-травматолог-ортопед, Национальный медицинский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0003-1553-2782, zakbvit@gmail.com.

Marchel Stepanovich Vetrile, MD, PhD, traumatologist-orthopedist, senior researcher, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0001-6689-5220, vetrilams@cito-priorov.ru;
Alexander Alekseyevich Kuleshov, DMSc, traumatologist-orthopedist, head of Vertebrology Department, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0002-9526-8274, cito-spine@mail.ru;
Sergey Nikolayevich Makarov, MD, PhD, traumatologist-orthopedist, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0003-0406-1997, moscow.makarov@gmail.com;
Igor Nikolayevich Lisyansky, MD, PhD, traumatologist-orthopedist, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0002-2479-438, lisiornik@list.ru;
Nikolay Aleksandrovich Aganesov, traumatologist-orthopedist, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0001-5383-6862, kolyanzer@yandex.ru;
Vitaly Romanovich Zakharin, traumatologist-orthopedist, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, 10 Priorova str., Moscow, 127299, Russia, ORCID: 0000-0003-1553-2782, zakbvit@gmail.com.