



БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ДЕКОМПРЕССИВНЫХ И СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПОЯСНИЧНОМ ОСТЕОХОНДРОЗЕ

А.Е. Симонович, А.В. Гладков, Е.А. Черепанов

Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии

Проведено описательное кинематическое спондилографическое исследование, в ходе которого изучены изменения формы, ориентации и функции поясничного отдела позвоночника в сагиттальной плоскости в результате различных оперативных вмешательств при лечении поясничного остеохондроза. Анализ литературы по данной проблеме свидетельствует о немногочисленных исследованиях, которые направлены на изучение формы позвоночника и статических взаимоотношений в позвоночно-двигательном сегменте после хирургического лечения. Комплексная оценка изменения формы позвоночника в сагиттальной плоскости, его пространственной ориентации и функции после различных видов хирургических вмешательств ранее не проводилась. Дан сравнительный кинематический компьютерный анализ пред- и послеоперационных спондилограмм поясничного отдела 157 пациентов, из них 62 пациентам проведены декомпрессивные вмешательства, 50 — задний межтеловой спондилодез, 45 — динамическая транспедикулярная фиксация. Установлено, что при всех видах хирургического лечения в сроки до трех лет после вмешательства отмечается уменьшение общего объема движений в поясничном отделе позвоночника, вмешательство на уровне L₅–S₁ сегмента является наиболее значимым с точки зрения биомеханических эффектов; декомпрессивные и стабилизирующие вмешательства на уровне L₅–S₁ сегмента способствуют восстановлению поясничного лордоза. Межтеловой спондилодез на уровне L₅–S₁ приводит к увеличению высоты межтелового промежутка и уменьшению сегментарного угла на уровне вмешательства. Межтеловой спондилодез на уровне L₄–L₅ приводит к увеличению объема движений на нижележащем двигательном сегменте; динамическая транспедикулярная фиксация оказывает минимальное воздействие на форму поясничного отдела позвоночника и взаимоотношения между позвонками, позволяет сохранить подвижность всех двигательных сегментов в рамках физиологической нормы.

Ключевые слова: клиническая биомеханика, позвоночник, поясничный остеохондроз, спондилография, микродискэктомия, задний межтеловой спондилодез, динамическая транспедикулярная фиксация.

BIOMECHANICAL EFFECTS OF DECOMPRESSING AND STABILIZING SURGERY FOR LUMBAR DEGENERATIVE DISEASE

A.E. Simonovich, A.V. Gladkov, E.A. Cherepanov

The paper presents a descriptive kinematic radiographic study of changes in a shape, orientation and function of the lumbar spine in the sagittal plane due to various surgical interventions for lumbar degenerative disease. Literature analysis evidences for only few studies of spine shape and static interrelations in a spinal motion segment after surgical treatment. Any complex assessments of changes in a spine shape in the sagittal plane, its spatial orientation and function after surgical intervention has not been performed. The study includes a comparative kinematic computer analysis of pre- and postoperative radiographs of the lumbar spine of 157 patients, including 62 patients after decompression, 50 after posterior interbody fusion, and 45 after dynamic transpedicular fixation. It was found that the overall range of motion has reduced during three years after any kind of surgical intervention; that surgery at the L₅–S₁ level takes the most significant biomechanical effect; and that decompressing and stabilizing procedures at the L₅–S₁ level facilitate a lumbar lordosis restoration. The L₅–S₁ interbody fusion results in interbody space increase and segmental angle decrease at the surgery level. The L₄–L₅ interbody fusion increases the range of motion in a subjacent motion segment; dynamic transpedicular fixation takes a minimal effect on a lumbar spine shape and vertebral interrelations and allows preserving the physiological mobility of all motion segments.

Key Words: clinical biomechanics, spine, lumbar degenerative disease, radiography of the spine, microdiscectomy, posterior interbody fusion, dynamic transpedicular fixation.

Hir. Pozvonoc. 2005;(2): 62–69.

Введение

По поводу дегенеративных поражений поясничного отдела позвоночника наиболее часто выполняют хирургические вмешательства на двух нижних поясничных уровнях. Именно за счет этих уровней формируется более чем половина поясничного лордоза [12], а также осуществляется значительный объем движений. Выбор метода хирургического лечения при дегенеративных поражениях позвоночника во многом обусловлен необходимостью внесения изменений в его биомеханические свойства, однако характер этих изменений изучен недостаточно. Проведено большое количество экспериментальных исследований, в которых моделируются хирургические вмешательства на позвоночнике и изучается их влияние на функцию оперированных сегментов, смежных с ними уровней и позвоночника в целом. Несмотря на всю ценность подобных исследований, данные, полученные при изучении биоманекенов, не всегда точно соответствуют эффектам, наблюдаемым в клинической практике.

Так, в исследовании Lazennec et al. [9] показано, что на исход стабилизирующего вмешательства влияет не только формирование надежного блока, но и правильное положение фиксированных позвонков. Установлено, что у пациентов с остаточным болевым синдромом в сравнении с пациентами, у которых после вмешательства боли отсутствуют, отмечается более вертикальная ориентация крестца, ретроверсия таза и поясничный гиполордоз. Связь между формой поясничного отдела позвоночника и болями в спине продемонстрирована в работах Jackson и McManus [6]. При наличии болевого синдрома отмечено уплощение поясничного лордоза и вертикальное положение крестца, что компенсируется за счет сгибания в тазобедренных суставах.

По данным Umehara et al. [13], в результате транспедикулярной фиксации на двух уровнях ($L_4-L_5-S_1$) пояс-

ничный лордоз уплощается на 10° . При этом компенсаторно увеличиваются сегментарные углы на уровнях L_2-L_3 и L_3-L_4 на 2° , что может свидетельствовать об увеличении нагрузки на эти сегменты. Klemme et al. [7] показали, что задний межтеловой спондилодез с использованием кейджей приводит к уменьшению сегментарного угла в среднем на 3° . Одновременное использование заднего компенсирующего инструментария позволяет нормализовать сагиттальный контур поясничного отдела позвоночника. По данным Godde et al. [4], использование межтеловых кейджей прямоугольной формы приводит к уменьшению сегментарного лордоза, а применение клиновидных кейджей – к его усилению. Баланс поясничного отдела позвоночника остается неизменным за счет изменения наклона крестца. Diedrich et al. [3] не отметили достоверных различий влияния формы межтеловых кейджей (прямоугольных или клиновидных) на профиль поясничного отдела позвоночника в сагиттальной плоскости.

Korovessis et al. [8] исследовали влияние жесткой, полужесткой и динамической стабилизаций позвоночника на форму поясничного отдела позвоночника в ближайшем послеоперационном периоде. Авторы оценивали сегментарные углы и выраженность поясничного лордоза в целом. Вне зависимости от использованного инструментария воздействие его на форму пояснично-крестцового отдела было однотипным и заключалось в незначительном уплощении лордоза. Количество стабилизируемых уровней не влияло на выраженность поясничного лордоза. Goldstein et al. [5] сравнивали влияние переднего и заднего межтелового спондилодеза на форму позвоночника. Отмечено, что при выполнении заднего межтелового спондилодеза уплощается поясничный лордоз. Однако изменения были в пределах физиологических величин и не влияли на клинический исход. По данным Schiffmann et al. [11], при выполнении переднего межтелового спондилодеза

с использованием ВАК-кейджей происходят незначительные изменения сегментарного поясничного лордоза, которые не оказывают существенного влияния на форму поясничного отдела позвоночника. Luk et al. [10] исследовали влияние межтелового спондилодеза на объем движений в поясничном отделе позвоночника. Отмечено, что подвижность позвоночника уменьшалась после межтелового спондилодеза на одном уровне и еще больше – на двух уровнях. При этом на вышележащих сегментах, смежных с фиксированными, объем сегментарных движений также уменьшался и не выходил за рамки нормальных.

Таким образом, большинство исследований направлено на изучение статических взаимоотношений в позвоночно-двигательном сегменте после хирургического лечения по поводу дегенеративных изменений позвоночника. Многих ученых интересует влияние различных видов стабилизирующих вмешательств на выраженность поясничного лордоза. В то же время исследований по комплексной оценке изменения формы, ориентации и функции поясничного отдела позвоночника в сагиттальной плоскости в результате различных видов как декомпрессивных, так и стабилизирующих вмешательств в литературе мы не встретили.

Цель исследования – изучение изменения формы, ориентации и функции поясничного отдела позвоночника в сагиттальной плоскости в результате различных оперативных вмешательств при лечении поясничного остеохондроза.

Материал и методы

В сроки от двух до трех лет после операции ретроспективно проанализированы данные спондилографии 157 пациентов: 89 женщин и 68 мужчин в возрасте от 38 до 54 лет ($M = 46,7$ лет). Показаниями к хирургическому лечению являлись грыжи межпозвонковых дисков, дегенеративные стенозы позвоночного канала в сочетании с различными формами

сегментарной нестабильности. Распределение пациентов в зависимости от вида и уровня хирургического вмешательства было следующим: декомпрессивные вмешательства (микродискэктомия) выполнены 62 пациентам (на уровне L₄–L₅ – 35 случаев, L₅–S₁ – 27), декомпрессивно-стабилизирующие – 95. Из них 50 пациентам выполнен задний межтеловой спондилодез, в том числе на уровнях L₄–L₅ – 24, L₅–S₁ – 26; динамическая фиксация инструментарием DYNESYS произведена 45 пациентам, в том числе на уровнях L₃–L₄ – 2, L₄–L₅ – 20, L₅–S₁ – 19, L₄–S₁ – 4. Всем пациентам выполнялись в боковой проекции спондилограммы поясничного отдела в положении стоя в естественной позе, а также при максимальном сгибании и разгибании. Спондилография выполнялась с использованием отвеса, поскольку именно это положение позволяет наиболее адекватно оценить баланс поясничного отдела позвоночника [6]. Спондилограммы закрепляли на планшете дигитайзера (Drawing Board III 3400, производитель CalComp) таким образом, чтобы изображение отвеса было ориентировано строго вертикально. При помощи манипулятора дигитайзера регистрировали координаты замыкающей пластинки крестца и передних углов тел позвонков L₁–L₅.

На основании зарегистрированных координат с использованием программного комплекса «АРМ вертебролога» рассчитывали две группы параметров, характеризующих форму и ориентацию поясничного отдела позвоночника в сагиттальной плоскости и сегментарные взаимоотношения. К первой группе параметров относятся центральный угол дуги поясничного отдела позвоночника, который позволяет оценить выраженность лордоза, и угол наклона хорды дуги к вертикальной оси, характеризующий баланс поясничного отдела позвоночника. Ко второй группе – высота вентрального отдела межтелового промежутка, угол наклона тела позвонка к вертикальной оси, угол между смежными позвонками и сме-

щение тела вышележащего позвонка относительно нижележащего в плоскости диска. Функцию поясничного отдела позвоночника при сгибании и разгибании оценивали как в целом (по изменению величины центрального угла поясничной дуги), так и на уровне сегментов (по изменению угла между смежными позвонками и по линейному смещению вышележащего позвонка относительно нижележащего). Подробно разработанная методика математического описания расположения и формы позвоночника в сагиттальной плоскости изложена нами в литературе ранее [1, 2] Статистический анализ выполнялся в программе SPSS 11.0. Влияние различных методов оперативного лечения на кинематические характеристики позвоночника оценивали с использованием парного критерия Стьюдента. Пациенты не отличались по полу и возрасту, так как показания к тому или иному виду оперативного вмешательства устанавливали в зависимости от особенностей патологического процесса, группы не были однородными. Поскольку не представляется возможным исключить систематические ошибки, сравнение групп между собой с использованием статистических методов является неуместным. Вследствие этого исследование носит описательный характер, приведенные данные характеризуют изменения, наблюдаемые после определенного вмешательства в каждой группе в отдельности.

Результаты

Табл. 1–3 отражают биомеханические изменения, наблюдаемые после удаления грыж дисков, заднего межтелового спондилодеза и динамической транспедикулярной фиксации системой DYNESYS соответственно.

Форма и баланс поясничного отдела позвоночника

Удаление грыжи диска. После декомпрессивного вмешательства отмечается усиление поясничного лордоза при вмешательстве как на уровне

L₄–L₅, так и L₅–S₁ дисков. Эти изменения были более значимы для вмешательства на уровне L₄–L₅ диска. Изменение положения хорды поясничной дуги, отражающей наклон поясничного отдела в сагиттальной плоскости, и положения крестца после удаления грыжи диска варьировало в широких пределах, определенной закономерности изменений выявить не удалось. Вне зависимости от уровня вмешательства средние величины наклона хорды поясничного отдела и наклона крестца после операции существенно не изменились.

Задний межтеловой спондилодез. Спондилодез на уровне L₄–L₅ сегмента не привел к значимым изменениям выраженности поясничного лордоза, при этом весь отдел позвоночника наклонился вперед вследствие усиления наклона крестца на $6,7^\circ \pm 3,1^\circ$. Задний межтеловой спондилодез на уровне L₅–S₁ сопровождался усилением поясничного лордоза в среднем на $10,2^\circ$. Отмечена тенденция к изменению положения крестца на более горизонтальное после межтелового спондилодеза на уровне L₄–L₅ диска и на более вертикальное после межтелового спондилодеза L₅–S₁.

Динамическая фиксация DYNESYS. В результате динамической транспедикулярной фиксации не выявлено значимых изменений поясничного лордоза, за исключением фиксации L₅–S₁ сегмента, при которой величина поясничного лордоза в большинстве случаев уменьшалась, что сопровождалось отклонением поясничного отдела позвоночника кзади, однако уровень значимости различий был недостаточен ($p = 0,08$). При одновременной фиксации двух уровней на протяжении L₄–S₁ происходил незначительный наклон поясничного отдела позвоночника вперед. Положение крестца не менялось.

Состояние двигательных сегментов на оперированных и смежных уровнях

Удаление грыжи диска. Различий в высоте дисков до и после оперативного вмешательства в сроки наблюде-

Таблица 1

Изменения биомеханические параметров при декомпрессивных вмешательствах

Параметры	Вмешательство на уровне L ₄ -L ₅				Вмешательство на уровне L ₅ -S ₁			
	до операции	после операции	разница	p	до операции	после операции	разница	p
Центральный угол, град.	46,8 ± 19,1	53,1 ± 21,0	6,2 ± 10,8	0,14	31,5 ± 23,2	45,5 ± 15,2	14,0 ± 18,9	0,05
Угол наклона хорды поясничного отдела, град.	84,7 ± 3,4	84,9 ± 3,5	0,2 ± 3,6	0,41	88,6 ± 2,1	86,8 ± 3,7	-1,8 ± 4,9	0,58
Высота диска на уровне операции, мм	15,0 ± 4,5	14,1 ± 4,7	-0,8 ± 2,6	0,33	20,4 ± 2,8	19,7 ± 5,2	-0,7 ± 3,9	0,59
Сегментарный угол, град.								
L ₃ -L ₄	5,8 ± 6,7	9,2 ± 5,9	5,2 ± 1,7	0,08	—	—	—	—
L ₄ -L ₅	12,3 ± 7,1	14,9 ± 7,1	2,6 ± 2,0	0,23	14 ± 6,4	15,5 ± 4,4	1,4 ± 4,8	0,38
L ₅ -S ₁	16,7 ± 8,4	16,5 ± 9,1	-0,2 ± 6,4	0,93	16,6 ± 10,2	18,8 ± 5,9	2,2 ± 11,3	0,57
Линейное взаимоотношение, мм								
L ₃ -L ₄	0,9 ± 2,0	1,8 ± 2,0	0,8 ± 1,0	0,03	—	—	—	—
L ₄ -L ₅	—	—	0,1 ± 2,4	0,82	—	—	2,6 ± 2,3	0,42
L ₅ -S ₁	—	—	1,3 ± 4,4	0,39	—	—	3,3 ± 1,6	0,67
Положение крестца, град.	35,0 ± 9,5	38 ± 8,9	2,97 ± 1,1	0,26	33,0 ± 7,7	33,5 ± 3,1	0,5 ± 0,7	0,41
Сгибание в поясничном отделе, град.	20,6 ± 16,4	11,1 ± 3,9	-9,5 ± 19,1	0,23	14,8 ± 20,9	19,8 ± 19,5	5,0 ± 32,8	0,69
Разгибание в поясничном отделе, град.	7,6 ± 5,9	5,5 ± 3,9	-2,1 ± 4,6	0,23	3,1 ± 2,0	1,7 ± 2,6	-1,3 ± 2,8	0,19
Общий объем движений в поясничном отделе, град.	29,4 ± 20,8	15,5 ± 5,3	-13,9 ± 19,1	0,10	17,9 ± 21,0	21,1 ± 18,7	3,1 ± 33,9	0,8
Отношение сгибания к разгибанию	2,7	2,0	—	—	4,8	11,6	—	—
Сегментарная подвижность, град.								
L ₃ -L ₄	3,9 ± 4,6	5,6 ± 4,7	1,7	0,53	—	—	—	—
L ₄ -L ₅	1,7 ± 5,2	5,2 ± 4,3	3,4	0,12	5,7 ± 4,6	6,0 ± 4,9	0,3 ± 8,3	0,91
L ₅ -S ₁	2,9 ± 3,4	5,6 ± 5,1	2,7	0,77	0,7 ± 8,3	3,3 ± 4,1	2,5 ± 8,9	0,4
Линейные перемещения на уровне вмешательства, мм	0,7 ± 3,2	1,6 ± 2,1	0,9	0,64	1,0 ± 2,9	0,1 ± 5,1	0,9 ± 3,6	0,48

ния выявлено не было. Кроме того, удаление грыжи привело к статистически недостоверному усилению сегментарного угла как на уровне вмешательства, так и на смежном вышележащем уровне.

Задний межтеловой спондилодез. После спондилодеза на уровне L₄-L₅ диска статистически значимых изменений высот дисков и сегментарных углов не отмечено. На вышележащем сегменте L₃-L₄ отмечено незначительное смещение тела позвонка кзади. Межтеловой спондилодез L₅-S₁ привел к увеличению высоты диска, смещению кзади тела L₅ позвонка и уменьшению сегментарного лордоза на уровне операции, на вышележащих уровнях отмечено уси-

ние сегментарного лордоза, причем более выраженное на уровне L₃-L₄ диска.

Динамическая фиксация DYNESYS. Анализ изменения сегментарных параметров поясничного отдела позвоночника показал, что после динамической фиксации значимых изменений сегментарных углов на нижних поясничных уровнях не происходило (независимо от протяженности фиксации).

Функциональное состояние поясничного отдела позвоночника

Удаление грыжи диска. Объем движений в сагиттальной плоскости в поясничном отделе позвоночника после удаления грыжи диска изменялся в широких пределах как в сторону

увеличения, так и в сторону уменьшения. Наиболее значимые изменения отмечены после декомпрессивного вмешательства на уровне L₄-L₅ диска – в этой группе пациентов объем движений в сагиттальной плоскости уменьшился почти вдвое, в основном за счет ограничения сгибания, о чем свидетельствует уменьшение соотношения амплитуды сгибания к амплитуде разгибания. После удаления грыжи диска L₅-S₁ в среднем отмечалось незначительное увеличение объема движений в сагиттальной плоскости, которое, вследствие значительного разброса показателей, достоверным не являлось.

Сегментарные изменения после удаления грыжи диска характеризу-

Таблица 2

Изменения биомеханических параметров при заднем межтеловом спондилодезе

Параметры	Вмешательство на уровне L ₄ –L ₅				Вмешательство на уровне L ₅ –S ₁			
	до операции	после операции	разница	p	до операции	после операции	разница	p
Центральный угол, град.	27,7 ± 16,3	32,4 ± 10,0	4,7 ± 17,7	0,5	24,3 ± 14,0	34,8 ± 15,9	10,5 ± 16,3	0,07
Угол наклона хорды								
поясничного отдела, град.	85,0 ± 1,2	87,2 ± 1,0	2,2 ± 1,2	0,2	89,9 ± 1,6	87,2 ± 1,8	–2,7 ± 2,0	0,31
Высота диска на уровне операции, мм	18,9 ± 3,1	20,0 ± 3,0	1,1 ± 2,7	0,31	20,3 ± 5,0	24,9 ± 4,35	4,6 ± 3,2	0,001
Сегментарный угол, град.								
L ₃ –L ₄	5,7 ± 7,0	7,6 ± 3,4	1,9 ± 4,9	0,33	3,3 ± 4,7	6,4 ± 4,8	3,1 ± 3,6	0,01
L ₄ –L ₅	12,8 ± 10,3	13,7 ± 6,5	0,9 ± 4,4	0,58	8,8 ± 7,9	11,9 ± 9,9	2,9 ± 6,9	0,185
L ₅ –S ₁	16,6 ± 5,7	18,4 ± 5,8	1,8 ± 5,5	0,43	19,5 ± 3	13,6 ± 2,1	–5,9 ± 6,1	0,009
Линейное взаимоотношение, мм								
L ₃ –L ₄	2,6 ± 1,2	1,3 ± 0,7	–1,3 ± 0,9	0,01	2,2 ± 1,1	1,3 ± 1,8	–0,9 ± 2,3	0,2
L ₄ –L ₅	1,6 ± 1,3	1,3 ± 1,6	–0,3 ± 1,9	0,72	2,1 ± 2,3	1,8 ± 2,4	–0,3 ± 2,7	0,71
L ₅ –S ₁	1,1 ± 4,2	2,0 ± 4,4	0,9 ± 4,6	0,62	7,2 ± 2,1	2,1 ± 1,3	–5,1 ± 3,3	0,0004
Положение крестца, град.	32,8 ± 14,5	39,4 ± 6,1	–6,6 ± 11,3	0,17	29,5 ± 12,3	26,1 ± 7,6	–3,4 ± 9,3	0,25
Сгибание в поясничном отделе, град.	14,7 ± 22,0	7,1 ± 9,5	–7,6 ± 23,0	0,42	5,7 ± 12,3	9,7 ± 12,2	4,0	0,008
Разгибание в поясничном отделе, град.	2,2 ± 17,1	10,6 ± 9,2	8,4 ± 19,0	0,51	14,5 ± 11,3	7,0 ± 8,7	–7,5	0,05
Общий объем движений в поясничном отделе, град.	16,9 ± 24,6	17,7 ± 11,2	0,8	0,26	20,2 ± 12,6	16,7 ± 14,1	–3,5	0,12
Отношение сгибания к разгибанию	12,5	0,67	–	–	0,39	1,38	–	–
Сегментарная подвижность, град.								
L ₃ –L ₄	9,6 ± 5,4	30,3 ± 9,4	20,7 ± 10,1	0,03	9,0 ± 4,4	30,4 ± 8,4	21,4 ± 9,2	0,01
L ₄ –L ₅	4,9 ± 2,5	3,4 ± 3,6	–1,5 ± 5,5	0,4	4,4 ± 1,6	3,9 ± 3,5	–0,4 ± 3,0	0,6
L ₅ –S ₁	5,2 ± 5,2	0,9 ± 2,3	–4,3	0,04	3,4 ± 1,9	4,8 ± 2,8	1,4 ± 3,0	0,2
Линейные перемещения на уровне вмешательства, мм	3,8 ± 3,3	7,8 ± 3,8	4 ± 4,4	0,03	5,4 ± 3,8	0,5 ± 3,9	–4,9 ± 4,3	0,01

ются тенденцией к нарастанию объема движений на уровне вмешательства. На смежных с оперированными сегментами изменений как линейных величин, так и амплитуды угловых перемещений между позвонками не отмечено.

Задний межтеловой спондилодез. После выполнения спондилодеза объем движений в поясничном отделе позвоночника изменился несущественно. Проведение оценки влияния заднего межтелового спондилодеза L₄–L₅ на функцию поясничного отдела позвоночника не представилось возможным вследствие недостоверности полученных данных. Стабилизация на уровне L₅–S₁ сегмента привела к незначительному увеличению

объема движений в направлении сгибания и уменьшению объема разгибания. Вне зависимости от уровня стабилизации отмечено равномерное нарастание амплитуды движений в тазобедренных суставах.

Стабилизация привела к закономерному ограничению подвижности в оперированном сегменте. На вышележащем уровне, смежном с уровнем спондилодеза, значимых изменений амплитуды сегментарных движений не отмечено. Однако задний межтеловой спондилодез на уровне L₄–L₅ сегмента сопровождался увеличением амплитуды сегментарных движений на нижележащем уровне.

Динамическая фиксация DYNESYS. После проведенной динамической

фиксации одного или нескольких двигательных сегментов отмечено достоверное снижение общей амплитуды движений в поясничном отделе позвоночника в 1,5 раза по сравнению с исходными данными, однако во всех сегментах, в том числе стабилизированных, сагиттальная подвижность сохранилась. При этом амплитуда движений уменьшилась как на оперированном, так и на смежном с ним вышележащем сегменте. Ни в одном случае на уровне стабилизированного сегмента амплитуда движений не превысила 8°. В нескольких случаях при динамической фиксации L₄–L₅ или L₄–S₁ сегментов отмечено увеличение подвижности на уровне

Таблица 3

Изменения биомеханических параметров после динамической фиксации инструментарием DYNESYS

Параметры	До операции	После операции	Разница	p
Центральный угол, град.	37,8 ± 18,4	34,3 ± 16,2	-3,5 ± 11,3	0,2
Центральный угол при стабилизации L ₅ -S ₁ , град.	33,3 ± 19,6	23,0 ± 13,4	10,3 ± 16,1	0,08
Угол наклона хорды поясничного отдела, град.				
при стабилизации L ₄ -S ₁	83,2 ± 1,8	74,2 ± 6,6	-9,0 ± 7,2	0,24
при стабилизации L ₅ -S ₁	82,1 ± 1,1	86,5 ± 1,4	6,4 ± 1,7	0,12
Высота диска на уровне операции, мм	18,9 ± 3,1	20,0 ± 3,0	1,1 ± 2,7	0,31
Сегментарный угол, град.				
L ₃ -L ₄	5,7 ± 7,0	7,6 ± 3,4	1,9 ± 4,9	0,33
L ₄ -L ₅	12,8 ± 10,3	13,7 ± 6,5	0,9 ± 4,4	0,58
L ₅ -S ₁	16,6 ± 5,7	18,4 ± 5,8	1,8 ± 5,5	0,43
Линейное взаимоотношение, мм				
L ₃ -L ₄	1,4 ± 1,2	0,1 ± 0,3	-1,3 ± 0,9	0,01
L ₄ -L ₅	1,6 ± 2,1	1,3 ± 1,1	-0,3 ± 1,9	0,72
L ₅ -S ₁	1,1 ± 2,8	2,0 ± 3,1	0,9 ± 4,6	0,62
Положение крестца, град.	50,9 ± 11,2	52,7 ± 11,9	1,7 ± 6,2	0,23
Сгибание в поясничном отделе, град.	21,7 ± 20,1	11,2 ± 13,5	-10,5 ± 18,4	0,01
Разгибание в поясничном отделе, град.	3,4 ± 8,6	6 ± 10,8	2,6 ± 9,8	0,09
Общий объем движений в поясничном отделе, град.	25,6 ± 20,7	15,2 ± 11,9	-10,4 ± 19,1	0,04
Отношение сгибания к разгибанию	6,4	1,9	-	-
Сегментарная подвижность, град.				
L ₃ -L ₄	6,8 ± 3,8	5,3 ± 3,7	-1,5 ± 5,5	0,4
L ₄ -L ₅	8,3 ± 1,8	3,9 ± 1,4	-4,4 ± 5,2	0,01
L ₅ -S ₁	5,2 ± 5,2	6 ± 4,6	-0,7 ± 8,9	0,77
Подвижность фиксированного уровня, град.	7,9 ± 3,8	2,5 ± 1,4	-5,4 ± 4,1	0,001
Подвижность вышележащего уровня, град.	7,4 ± 4	5,6 ± 4,5	-1,7 ± 5,5	0,37

L₃-L₄ диска. Ни в одном случае при стабилизации L₅-S₁ уровня не отмечено нарастания подвижности в вышележащем L₄-L₅ сегменте.

Обсуждение

Проанализировано большое количество параметров, характеризующих статистические и динамические эффекты различных видов хирургических вмешательств при дегенеративных поражениях позвоночника. Мно-

гие показатели не претерпевают существенных изменений либо эти изменения статистически недостоверны, что связано со значительной вариабельностью нормальных характеристик биомеханических свойств позвоночника, характерной для популяции в целом. На фоне этой вариабельности наблюдаемые эффекты являются относительно малыми, а результат сравнительного анализа соответственно недостаточно достоверным. Результаты выполнения функци-

ональных исследований могут варьировать вследствие различной толерантности пациентов к болевому синдрому и зависят от качества выполнения ими проб. Тем не менее можно выделить ряд биомеханических эффектов, которые не зависят от вида оперативного вмешательства. Изменение формы позвоночника после декомпрессивных вмешательств заключается в усилении поясничного лордоза, что больше выражено после декомпрессии на уровне L₅-S₁ диска. Учитывая данные Lazenec et al. [9], Jackson и McManus [6] о более благоприятном течении заболевания в группе пациентов, у которых после хирургического вмешательства происходит усиление поясничного лордоза, эти изменения можно оценивать как нормализацию формы позвоночника, которая с большей вероятностью связана с купированием болевого синдрома и устранением защитного напряжения мышц. С этими же факторами можно связать увеличение амплитуды движений на оперированном сегменте, поскольку у дегенерированного межпозвонкового диска со сформированной грыжей биомеханические свойства обеспечиваются функцией фиброзного кольца, которое при рассматриваемом виде вмешательства практически не затрагивается. В послеоперационном периоде не отмечено явного снижения высоты диска, подвергнутого вмешательству, причина этого может заключаться как в действительном отсутствии подобного эффекта, так и в относительно малом сроке наблюдения. Следует отметить, что общая амплитуда движений в поясничном отделе позвоночника в среднем уменьшилась почти вдвое. Эти изменения статистически являются недостоверными по той причине, что до оперативного вмешательства амплитуда движений варьирует в значительных пределах – при средней амплитуде движений до операции 20,6 стандартное отклонение составило ±16,4°. После вмешательства стандартное отклонение существенно уменьшилось и средняя амплитуда

движений составила $11,1^\circ \pm 3,9^\circ$. Другими словами, чем больше у пациента была амплитуда движений в поясничном отделе позвоночника до операции, тем существеннее она уменьшилась.

При жесткой стабилизации позвоночно-двигательного сегмента следует ожидать более существенных изменений биомеханических свойств позвоночника. В ряде исследований показано, что использование заднего межтелового спондилодеза приводит к сглаживанию как сегментарного [4, 7], так и общего поясничного лордоза [5]. Однако в нашем исследовании, как и в исследовании Schiffmann et al. [11], уменьшения выраженности поясничного лордоза при межтеловом спондилодезе не отмечено. Более того, стабилизация на уровне L₅–S₁ сегмента привела к усилению общего лордоза. Сегментарная кифотизация на уровне заднего межтелового спондилодеза, отмечаемая многими авторами, обнаружена при стабилизации L₅–S₁ сегмента. Уменьшение сегментарного угла L₅–S₁ частично происходит за счет вертикального разворота крестца. При вмешательстве на указанном уровне также отмечено достоверное увеличение высоты межтелового промежутка. Увеличение высоты межтелового промежутка после стабилизации L₄–L₅ сегмента менее выражено и не является статистически значимым. Различие эффектов можно объяснить тем, что межтеловой эндофиксатор в продольном разрезе имеет прямоугольную форму. Поскольку межпозвонковый диск L₄–L₅ изначально характеризуется большей высотой и менее выраженной клиновидностью, чем нижележащий диск, межтеловой эндофиксатор в меньшей степени оказывает влияние на сегментарные взаимоотношения на уровне L₄–L₅. Значительное восстановление высоты межтелового промежутка L₅–S₁ и одновременно сохранение более функционально активного диска L₄–L₅ обуславливает более значимые изменения формы и ориентации позвоночника в сагиттальной плоскости после вмешательства на уровне

L₅–S₁. В результате заднего межтелового спондилодеза амплитуда движений в поясничном отделе позвоночника в среднем не меняется и остается ограниченной, при этом, как и после декомпрессии, уменьшается разброс показателей за счет ограничения подвижности у тех пациентов, у которых изначально амплитуда движений была выше. Мы не отметили значимого увеличения сегментарной подвижности на вышележащих уровнях, смежных с уровнем спондилодеза, что свидетельствовало бы о явной компенсаторной перегрузке этих сегментов, и это согласуется с данными Luk et al. [10]. Более того, вне зависимости от уровня спондилодеза на L₃–L₄ сегменте отмечается незначительное уменьшение амплитуды движений. Сложно найти доказательное объяснение причины более чем двукратного увеличения амплитуды сегментарных движений на уровне L₅–S₁ при спондилодезе L₄–L₅ сегмента. Эти изменения могут быть объяснены компенсаторной перегрузкой, хотя наиболее широко распространено представление о перегрузке вышележащих сегментов. Следует отметить, что опыт выполнения протяженных спондилодезов при деформациях позвоночника показывает, что развитие клинически значимой дегенерации даже одного функционирующего диска ниже уровня спондилодеза не является закономерным последствием. Можно предположить, что увеличение мобильности L₅–S₁ сегмента связано с восстановлением нормальной подвижности. Так как в норме при сгибании туловища поясничные сегменты включаются в движение поочередно сверху вниз, то при патологических изменениях на уровне L₄–L₅ гипомобильность нижележащего диска может быть обусловлена преждевременным прекращением движения. Ограниченная подвижность компенсируется за счет увеличения амплитуды сгибания в тазобедренных суставах при наклоне вперед. Увеличение амплитуды движений в тазобедренных суставах после заднего межтелового спонди-

лодеза мы связываем с устранением болевого синдрома, вызывающего нарушение баланса мышц туловища и подвздошных мышц.

Основной вывод из наблюдения за результатами динамической транспедикулярной фиксации заключается в том, что ее воздействие на биомеханические свойства поясничного отдела позвоночника как в целом, так и на уровне сегментов является минимальным. Большинство наблюдаемых изменений незначительны и не являются достоверными. Наиболее существенное изменение заключается в уменьшении общей амплитуды движений в поясничном отделе позвоночника, преимущественно за счет сгибания. При этом, в отличие от жесткой стабилизации с использованием межтеловых кейджей, удается сохранить сегментарную подвижность на уровне вмешательства, ограничив ее в пределах нормальных значений. Существенных изменений подвижности смежных уровней не наблюдалось. Следует отметить, что ранее нами было проведено исследование небольшой группы пациентов – 12 человек, подвергшихся динамической транспедикулярной фиксации. В этом исследовании показано, что в отдаленном периоде как в оперированном, так и в вышележащем сегменте отмечается постепенное нарастание амплитуды движений (в среднем на 54 %), суммарная амплитуда движений на двух сегментах приближается к дооперационному уровню, но при этом функциональная нагрузка на сегменты распределяется более равномерно. Независимо от характера поражения изменение сегментарного угла на оперированном уровне сопровождается компенсаторным обратным изменением сегментарного угла на вышележащем уровне.

Ограничения исследования связаны прежде всего с неоднородностью наблюдаемых групп. Неодинаковые эффекты различных видов хирургических вмешательств могут быть связаны с исходными особенностями пациентов в различных группах. Наиболее достоверные изменения отмече-

ны для следующих параметров: центральный угол дуги поясничного отдела позвоночника, наклон хорды, угловые сегментарные взаимоотношения между позвонками, положение крестца, амплитуда движений в поясничном отделе позвоночника, угловая сегментарная подвижность и амплитуда движений в тазобедренных суставах. Поскольку выявленные после хирургического вмешательства изменения в значительной мере отличаются у разных пациентов, представляется целесообразным оценить их клиническую значимость. В частности, для оценки перегрузки смежных уровней после различных видов хирургических вмешательств необходимо не только определить их биомеханические эффекты, но и проследить в динамике частоту возникновения

клинически значимых дегенеративных изменений.

Выводы

1. Вмешательство на уровне L₅–S₁ сегмента, независимо от вида хирургического лечения, является наиболее значимым с точки зрения биомеханических эффектов.
2. Декомпрессивные и стабилизирующие вмешательства на уровне L₅–S₁ сегмента способствуют восстановлению поясничного лордоза.
3. Межтеловой спондилодез приводит к возникновению костного блока на уровне вмешательства и к ограничению объема движений в поясничном отделе позвоночника.
4. Спондилодез на уровне L₅–S₁ вызывает увеличение высоты межте-

лового промежутка и уменьшение сегментарного угла на уровне вмешательства.

5. Спондилодез на уровне L₄–L₅ приводит к увеличению объема движений на нижележащем двигательном сегменте.
6. Динамическая транспедикулярная фиксация оказывает минимальное воздействие на форму поясничного отдела позвоночника и взаимоотношения между позвонками и позволяет сохранить подвижность всех двигательных сегментов в рамках физиологической нормы.
7. При всех видах хирургического лечения в сроки до трех лет после вмешательства отмечается уменьшение общего объема движений в поясничном отделе позвоночника

Литература

1. **Гладков А.В., Пронских И.В.** Геометрия позвоночного столба: Актуальные вопросы вертебрыологии. Л., 1988.
2. **Гладков А.В.** Клинико-биомеханический анализ в оптимизации диагностики и лечения деформаций позвоночника: Дис. ... д-ра мед. наук. Новосибирск, 1997.
3. **Diedrich O., Perlick L., Schmitt O., et al.** Radiographic spinal profile changes induced by cage design after posterior lumbar interbody fusion preliminary report of a study with wedged implants // *Spine*. 2001. Vol. 26. P. E274–280.
4. **Godde S., Fritsch E., Dienst M., et al.** Influence of cage geometry on sagittal alignment in instrumented posterior lumbar interbody fusion // *Spine*. 2003. Vol. 28. P. 1693–1699.
5. **Goldstein J.A., Macenski M.J., Griffith S.L., et al.** Lumbar sagittal alignment after fusion with a threaded interbody cage // *Spine*. 2001. Vol. 26. P. 1137–1142.
6. **Jackson R.P., McManus A.C.** Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study // *Spine*. 1994. Vol. 19. P. 1611–1618.
7. **Klemme W.R., Owens B.D., Dhawan A., et al.** Lumbar sagittal contour after posterior interbody fusion: threaded devices alone versus vertical cages plus posterior instrumentation // *Spine*. 2001. Vol. 26. P. 534–537.
8. **Korovessis P., Papazisis Z., Koureas G., et al.** Rigid, semirigid versus dynamic instrumentation for degenerative lumbar spinal stenosis: a correlative radiological and clinical analysis of short-term results // *Spine*. 2004. Vol. 29. P. 735–742.
9. **Lazennec J.Y., Ramare S., Arafati N., et al.** Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain // *Eur Spine J*. 2000. Vol. 9. P. 47–55.
10. **Luk K.D., Chow D.H., Evans J.H., et al.** Lumbar spinal mobility after short anterior interbody fusion // *Spine*. 1995. Vol. 20. P. 813–818.
11. **Schiffman M., Brau S.A., Henderson R., et al.** Bilateral implantation of low-profile interbody fusion cages: subsidence, lordosis, and fusion analysis // *Spine J*. 2003. Vol. 3. P. 377–387.
12. **Schuler T.C., Subach B.R., Branch C.L., et al.** Segmental lumbar lordosis: manual versus computer-assisted measurement using seven different techniques // *J. Spinal Disord Tech*. 2004. Vol. 17. P. 372–379.
13. **Umehara S., Zindrick M.R., Patwardhan A.G., et al.** The biomechanical effect of postoperative hypolordosis in instrumented lumbar fusion on instrumented and adjacent spinal segments // *Spine*. 2000. Vol. 25. P. 1617–1624.

Адрес для переписки:

Симонович Александр Евгеньевич
630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,
НИИТО,
ASimonovich@niito.ru