

УДК 612.76:616.8-009.1:616.711.6-018.3:616.721.6-001.7)-089.22

КОЛЕСНИЧЕНКО В.А., ТЯЖЕЛОВ А.А., МА КОНГ, ЛИТВИНЕНКО К.Н.

ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов имени проф. М.И. Ситенко НАМН Украины», г. Харьков

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ У БОЛЬНЫХ ПОЯСНИЧНЫМ ОСТЕОХОНДРОЗОМ И ДЕГЕНЕРАТИВНЫМ ПОЯСНИЧНЫМ СПОНДИЛОЛИСТЕЗОМ НА ЭТАПАХ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ

Резюме. Цель: изучить взаимосвязь между параметрами позвоночно-тазового баланса и постурального контроля у больных поясничным остеохондрозом и дегенеративным поясничным спондилолистезом на этапах хирургического лечения.

Методы: 1) рентгенометрический с определением поясничного лордоза GLL и наклона крестца SS, 2) биомеханический с изучением параметров статического и динамического равновесия.

Результаты. В дооперационном периоде у больных поясничным остеохондрозом и дегенеративным спондилолистезом выявлен позвоночно-тазовый дисбаланс с уплощением сагиттального контура пояснично-крестцового отдела позвоночника по типу дегенеративной деформации flat back, нарушением постуральной стабильности и изменением локомоторной синергии. Улучшение сагиттального центрирования позвоночника после операции (задний спондилодез нижнепоясничных сегментов с транспедикулярной фиксацией) не сопровождалось восстановлением биомеханических параметров постурального контроля, а у пациентов с дегенеративным спондилолистезом баланс вертикальной позы ухудшился вследствие асимметричного расположения центра тяжести во фронтальной плоскости. Функциональный результат у данной категории больных на этапах хирургического лечения характеризовался сохранением несбалансированности и энергозатратности механизмов регуляции вертикальной позы. Такая ситуация, по нашему мнению, связана с наличием неустраненных антальгических реакций мышц пояснично-тазовой области с развитием мышечного дисбаланса, нарушением механизмов центральной и периферической нейромышечной регуляции с изменениями в системе двигательного контроля и формированием патологических двигательных стереотипов.

Ключевые слова: постуральный контроль, стаатография, поясничный остеохондроз, дегенеративный поясничный спондилолистез.

Введение

Болевые синдромы, сопутствующие дегенеративным заболеваниям позвоночника (в частности, поясничному остеохондрозу и дегенеративному поясничному спондилолистезу), зачастую сопровождаются нарушением постурального контроля с изменением биомеханических параметров, регулирующих эргономичность вертикальной позы. Среди последних наиболее информативными являются параметры качательных движений тела при двухопорном и особенно одноопорном стоянии — скорость, амплитуда, частота и площадь качания тела, а также экскурсия центра давления стоп на стабиллографическую платформу [8, 17, 19, 21, 23].

Один из главных факторов нарушения биомеханической регуляции ортоградной позы — изменение мышечного контроля вследствие активации ноци-

цептивных рецепторов [22], которые, в свою очередь, ингибируют афферентные проприоцептивные сигналы с мышечных веретен [12], пролонгируя латентный период мышечного сокращения [6]. Мы полагаем, что нарушение двигательного контроля может быть связано и с развитием дисбаланса мышц пояснично-тазовой области, который сопутствует позвоночно-тазовому дисбалансу, как правило, регистрируемому при дегенеративных заболеваниях позвоночника. Однако в доступной литературе не встретились работы по изучению взаимосвязи между параметрами сагиттального позвоночно-тазового баланса и постураль-

© Колесниченко В.А., Тяжелов А.А., Ма Конг, Литвиненко К.Н., 2013

© «Травма», 2013

© Заславский А.Ю., 2013

ного контролю. Такие исследования являются актуальными, так как биомеханическая дискордантность вертикальной позы уменьшает потенциал компенсаторных возможностей рецентрирования параметров позвоночно-тазового баланса в послеоперационном периоде и таким образом может ухудшать функциональные результаты хирургического лечения пациентов с поясничным остеохондрозом и дегенеративным поясничным спондилолистезом.

Материал и методы

Материалом исследования послужили протоколы клинико-рентгенологического обследования 42 больных с различными клиническими вариантами поясничного остеохондроза (грыжи межпозвоночных дисков, и/или нестабильность позвоночных сегментов, и/или спондилоартроз, и/или стеноз позвоночного канала) в возрасте 20–40 лет (средний возраст — $33,4 \pm 4,8$ года) — группа В и 10 пациентов с поясничным дегенеративным спондилолистезом малых (1–2-й) степеней в возрасте 46–65 лет ($55,4 \pm 7,8$ года) — группа С. Группой сравнения послужили 30 здоровых волонтеров в возрасте 20–30 лет ($22,4 \pm 2,6$ года) — группа А. Все участники исследования были мужского пола. Больные обследовались до операции и через 3, 6 мес., 1 год и более после хирургического лечения со средним сроком наблюдения $1,2 \pm 0,8$ года (6 мес. — 2 года). Всем пациентам был выполнен задний спондилодез L4–L5 и/или L5–S1 сегментов с использованием транспедикулярных конструкций в клинике вертебрологии ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко НАМНУ».

Критерии включения в исследование: для больных — отсутствие двигательных расстройств с парезами и/или парестезиями нижних конечностей; для волонтеров — отсутствие жалоб на боль в позвоночнике и суставах. Критерии исключения из исследования: системные заболевания, деформирующий артроз суставов нижних конечностей, переломы позвонков и костей нижних конечностей, а также операции на позвоночнике и нижних конечностях в анамнезе.

Проводилось стандартное клиническое обследование с изучением ортопедического статуса и характера неврологических радикулярных расстройств.

На поясничных спондилограммах в боковой проекции в положении стоя до операции и через 3 мес. после хирургического лечения измеряли величину позвоночного (поясничный лордоз GLL) и тазового (наклон крестца SS) параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса по методике J.R. Cobb [7] и G. Duval-Beaupre [9] соответственно. Нормальными значениями считали: $GLL = 61 \pm 10^\circ$; $SS = 48 \pm 8^\circ$ [9] (рис. 1).

Выбор наклона крестца SS в качестве изучаемого тазового параметра обусловлен тем, что в исследованиях последних лет именно позиция крестца определяет центрирование сегментов тела, являясь ключевой в позвоночно-тазовом балансе и составляя «неискажаемую часть» изгибов позвоночника [29]. Кроме того, наклон крестца можно рассматривать как

исходное значение в отношении уравнивания таза [10], так как $PI = PT + SS$ (где PI — угол отклонения таза от вертикали; PT — угол наклона таза к горизонтали), и морфологический параметр PI является неизменным для конкретно взятого индивида [9].

Биомеханические исследования проводились на платформе стаатографа. На стаатограммах определяли:

1) в статическом положении при удобном стоянии — положение проекции общего центра масс (ОЦМ) на площадь опоры в сагиттальной (ОЦМУ) и фронтальной (ОЦМХ) плоскостях;

2) в статическом положении в течение 30 с — амплитуду перемещения проекции ОЦМУ (т.е. амплитуду качания тела обследуемого в сагиттальной плоскости) при двухопорном (АК_ДО) и одноопорном стоянии. У волонтеров регистрировали качание с опорой на правую (АК_ОО_{пр}) и левую (АК_ОО_л) ногу; у больных — с опорой на ногу с отраженной болью (АК_ОО_{отп}) и на контралатеральной нижней конечности (АК_ОО) (рис. 2а);

3) в переходном процессе от двухопорного стояния к ходьбе [3] с ноги с отраженной болью у пациентов и с правой ноги у волонтеров — величину общей траектории L перемещения проекции ОЦМ (кривая ABCD) и ее отрезков АВ = L1, ВС = L2 и CD = L3 (рис. 2б). Последние соответствуют: L1 — траектории перемещения проекции ОЦМ в инерционную фазу цикла; L2 и L3 — в фазу переднего шага: L2 — в фазу переката с пятки на всю ступню; L3 — в фазу отталкивания ноги от опоры.

При статистических исследованиях определяли медиану с величиной стандартного отклонения,

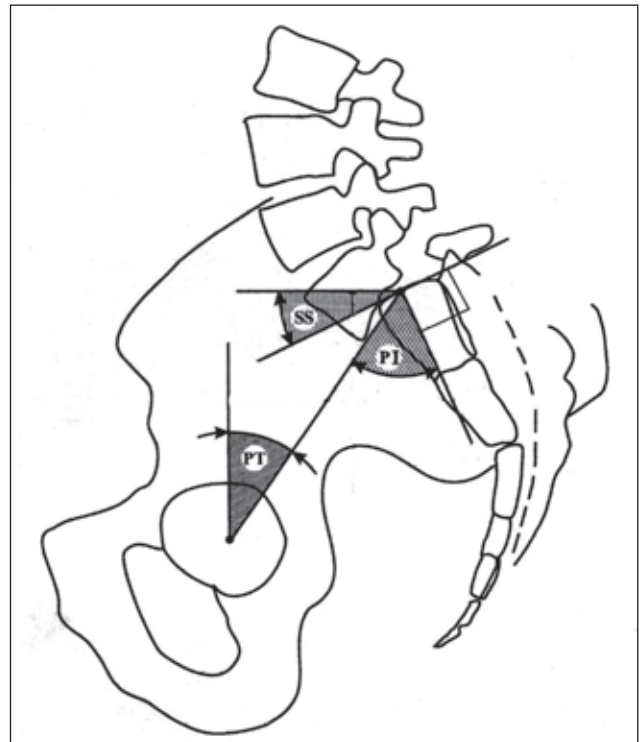


Рисунок 1. Схема измерений параметров позвоночно-тазового баланса: PI — отклонение таза; SS — наклон крестца; PT — наклон таза

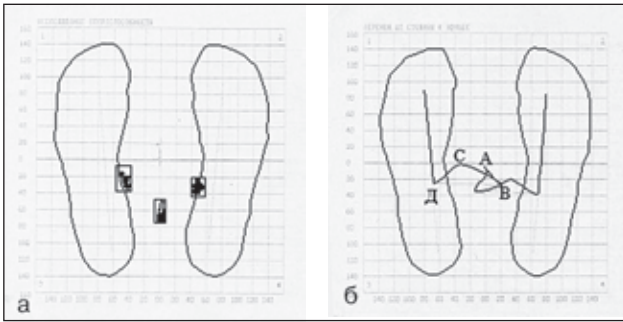


Рисунок 2. Статограммы при исследовании параметров пострурального контроля в статическом положении (а) и в переходном процессе от стояния к ходьбе (б) в норме

t-критерий по методу Стьюдента с уровнем значимости $p < 0,05$; проводили корреляционный анализ по Пирсону.

Биомеханические параметры пострурального контроля в норме

Постуральный контроль обеспечивает статическое (удержание ортоградной позы) и динамическое равновесие (равновесие при движении) тела человека.

Вертикальная поза человека в норме характеризуется гармоничным балансированием туловища над тазом с минимальными мышечными усилиями, что предполагает корреляцию между позвоночными и тазовыми параметрами позвоночно-тазового баланса, нормальную величину поясничного лордоза, нейтральное положение главных суставов нижних конечностей, прохождение проекции ОЦМ через диск L5–S1 [13]. Равновесие тела человека сохраняется без напряжения связочного аппарата и теоретически без напряжения мышц за счет уравновешивания сил, действующих на опорные сочленения (кроме голеностопного сустава). Устойчивое положение последнего обусловлено проецированием линии гравитации на 4 см кпереди от центра сустава [2]. Во фронтальной плоскости проекция ОЦМ на площади опоры располагается симметрично между стопами.

Фиксация голеностопного сустава сопровождается постоянной позиционной работой околоуставных мышц. Периодическая активность икроножной мышцы и ее антагонистов — мышц перонеальной группы — сопровождается качательными движениями тела в сагиттальной плоскости [2], которые минимизируют мышечные усилия, направленные на удержание вертикальной позы. Параметры качания тела (при двухопорном и особенно одноопорном стоянии) — скорость, амплитуда и частота качания, экскурсии центра давления стоп на стабилографическую платформу — считаются показателями пострурального контроля и стабильности вертикальной позы [8, 17, 19, 21, 23].

Динамическое равновесие тела человека обеспечивают локомоторные синергии: силовая часть — уступающей работой мышц-разгибателей, коррекционная часть — действием мышц-сгибателей. Один из основных динамических эффектов ходьбы — трансля-

ция, т.е. продвижение тела вперед — связан с перемещением проекции ОЦМ в горизонтальной плоскости. Эффективность ходьбы зависит также от вертикального перемещения проекции ОЦМ — подъема центра тяжести тела в двухопорную фазу с накоплением потенциальной энергии и опускание его в одноопорную фазу, когда накопленная потенциальная энергия превращается в кинетическую [1]. Коррекция непродолжительных перемещений тела происходит путем ротации таза и позвоночника, благодаря чему не только уменьшаются колебания тела, но также удлиняется шаг и ускоряется постановка стопы на опору.

Наиболее существенны для ходьбы инерционная фаза и фаза отталкивания ноги от опоры — основные моменты взаимодействия нижних конечностей с опорной поверхностью, когда большинство параметров приобретает экстремальное значение. В эти фазы регистрируется максимальная активность мышц — сгибателей и разгибателей туловища и нижних конечностей [1], а функцию коррекции осуществляют преимущественно мышцы пояснично-тазовой области и брюшные мышцы, регулируя параметры дистального звена биокинематической цепи и обеспечивая оптимальное динамическое равновесие тела человека.

Результаты и их обсуждение

При первичном обследовании до операции исследованные параметры позвоночно-тазового баланса (поясничный лордоз GLL и наклон крестца SS) в обеих группах больных В и С были статистически значимо меньше показателей в группе А волонтеров ($p < 0,001$) (табл. 1). Другими словами, у больных с поясничным остеохондрозом и дегенеративным поясничным спондилолистезом наблюдалось уплощение сагиттального контура пояснично-крестцового отдела позвоночника по типу дегенеративной деформации flat back с уменьшением глубины поясничного лордоза и вертикализацией крестца.

Также в обеих группах больных В и С выявлено статистически достоверное смещение проекции ОЦМУ кпереди ($p < 0,001$ и $p < 0,01$ соответственно) по сравнению со здоровыми волонтерами (табл. 1). В такой ситуации сохранение ортоградного положения требует избыточной поструральной работы мышц пояснично-тазовой области и нижних конечностей и в ряде случаев — формирования компенсаторных установок в тазобедренном суставе.

Проекция ОЦМХ на площади опоры располагалась практически симметрично у волонтеров и больных группы С, тогда как у ряда пациентов с поясничным остеохондрозом (группа В) наблюдалось смещение проекции ОЦМХ от срединной линии тела ($-0,22 \pm 0,22$ см), что может быть связано с наличием анталгических миотонических реакций с формированием асимметричных функциональных установок туловища — анталгического сколиоза и кифосколиоза (табл. 1, рис. 3).

Статистически достоверных различий между группами А, В и С при измерении амплитуды перемеще-

Таблиця 1. Параметри позвоночно-тазового балансу и биомеханические параметры стабиллографии у волонтеров (группа А) и больных поясничным остеохондрозом (группа В) и дегенеративным спондилолистезом (группа С) до операции

Параметры/группы	Группа А (n = 30)	Группа В (n = 42)	Группа С (n = 10)
GLL, град.	59,43 ± 1,19	15,31 ± 1,83***	21,43 ± 3,36***
SS, град.	39,93 ± 1,01	23,02 ± 2,16***	30,29 ± 2,48**
ОЦМХ, см	-0,02 ± 0,01	-0,22 ± 0,20	0,05 ± 0,29
ОЦМУ, см	0,16 ± 0,03	3,82 ± 0,22***	3,93 ± 0,38***
АК_ДО, см	1,36 ± 0,09	1,45 ± 0,07	1,70 ± 0,25
АК_ОО _{отр} , см	-	18,43 ± 1,36**	16,91 ± 1,59
АК_ОО, см	-	15,54 ± 0,98	17,03 ± 1,22*
АК_ОО _{пр} , см	14,03 ± 0,69	-	-
АК_ОО _л , см	13,44 ± 0,62	-	-
L	23,99 ± 0,64	24,03 ± 6,66	21,32 ± 8,62*
L1	13,82 ± 0,84	13,94 ± 1,07	9,40 ± 2,41
L2	38,51 ± 1,26	39,63 ± 2,19	46,45 ± 2,88
L3	47,51 ± 1,26	46,28 ± 2,86	44,00 ± 3,55

Примечания: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

ния проекции ОЦМУ при двухопорном стоянии не выявлено, хотя и прослеживалась тенденция к увеличению этого параметра в группе пациентов с дегенеративным спондилолистезом.

Иные результаты получены при изучении амплитуды перемещения проекции ОЦМУ при одноопорном стоянии. Максимальная амплитуда качания тела в сагиттальной плоскости наблюдалась у больных поясничным остеохондрозом при опоре на ногу с отраженной болью и у пациентов с дегенеративным спондилолистезом при опоре на интактную ногу, что оказалось достоверно больше показателей одноопорного качания тела в группе волонтеров ($p < 0,01$ и $p < 0,05$ соответственно). Различия в параметрах одноопорного качания между группами больных В и С (АК_ОО_{отр} и АК_ОО) и группой А волонтеров (АК_ОО_{пр} и АК_ОО_л) были недостоверными, тем не менее имелись определенные особенности постральной стабильности в каждой из групп. У волонтеров различия в показателях АК_ОО_{пр} и АК_ОО_л по t-критерию Стьюдента составили 0,63. У больных поясничным остеохондрозом различия между величинами АК_ОО_{отр} и АК_ОО были существенно больше ($t = 1,7$), тогда как у пациентов с дегенеративным спондилолистезом — существенно меньше ($t = 0,06$) (табл. 1).

Другими словами, у здоровых людей постральная стабильность при одноопорном стоянии на правой или левой ноге достигается сходными двигательными паттернами, отличия между которыми, по-видимому,

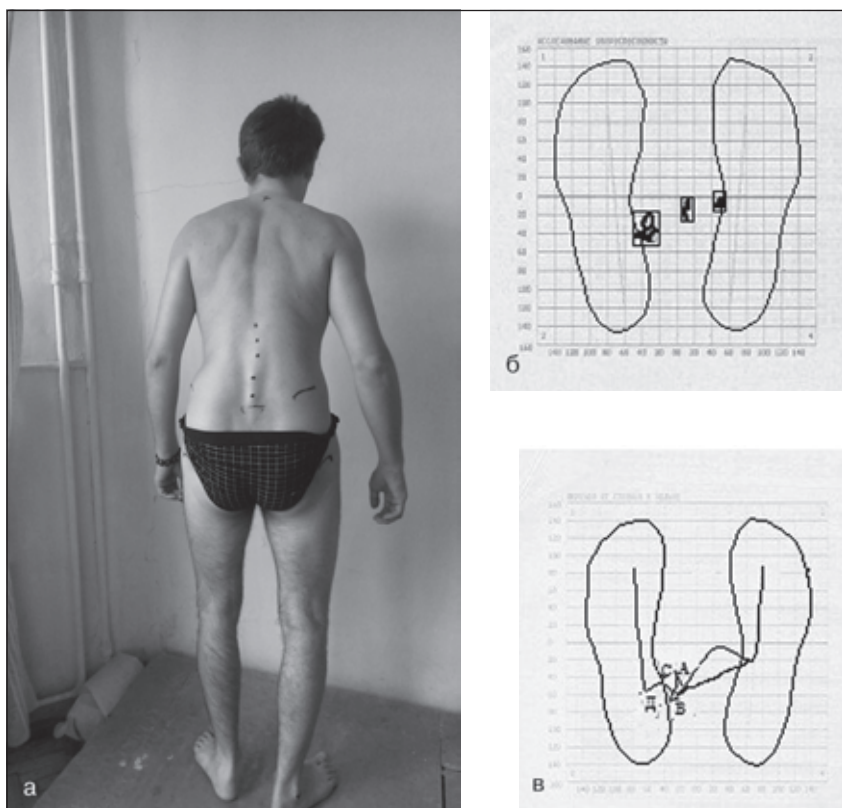


Рисунок 3. Фотоотпечаток больного с поясничным остеохондрозом (группа В) с анталгическим кифосколиозом (а) и его стадиограммы в статическом положении (б) и в переходном процессе от стояния к ходьбе (в)

обусловлены особенностями взаимодействия периартикулярных мышц при стабилизации суставов доминантной нижней конечности. У больных поясничным остеохондрозом с односторонней радикулопатией постуральный контроль одноопорного стояния может быть связан с различными двигательными стратегиями вследствие асимметричного гипертонуса мышц пояснично-тазовой области с развитием анталгической сколиотической деформации туловища. Пациенты с дегенеративным поясничным спондилолистезом и односторонней радикулопатией при одноопорном стоянии реализуют фактически одни и те же двигательные паттерны. Нарушение постурального контроля в данном случае может быть связано с мышечным дисбалансом в пояснично-тазовой области с изменением афферентации с периартикулярных тензо- и механорецепторов с последующим нарушением центральной регуляции двигательного контроля: изменением внутренней схемы тела в центре, контролирующей позу [20], истощением эфферентных сигналов, способных предвидеть возмущения в системе контроля позы [5], и формированием патологического двигательного стереотипа.

При переходном процессе от стояния к ходьбе изучалась горизонтальная составляющая перемещения проекции ОЦМ. Наиболее существенные различия в биомеханических параметрах двигательного равновесия отмечались у больных дегенеративным спондилолистезом (группа С). Величины общей траектории L перемещения ОЦМ, показатели перемещения ОЦМ в инерционную фазу (L1) и в фазу отталкивания ноги от опоры (L3) были существенно меньше, а в фазу переката стопы с пятки на всю ступню (L2) превышали аналогичные показатели в группах А и В. Различия между величинами L в группах А и С было статистически достоверным ($p < 0,05$) (табл. 1). Полученные данные свидетельствуют об уменьшении силы инерции и осевого поворота тела больных дегенеративным спондилолистезом с развитием у них компенсаторных приспособлений, направленных на ослабление опорных толчков, так как последние способствуют усилению вращательных движений таза и позвоночника.

Таким образом, в дооперационном периоде у больных поясничным остеохондрозом и дегенеративным поясничным спондилолистезом выявлены изменения биомеханических параметров постурального контроля с нарушением как статического, так и динамического равновесия. Избыточная позиционная активность мышц пояснично-тазовой области вследствие позвоночно-тазового дисбаланса сопровождается изменением двигательных паттернов, направленных на сохранение постуральной стабильности, а также ослаблением обеих (силовой и коррекционной) частей локомоторной синергии с замедлением поступательного движения и повышением энергозатратности ходьбы.

Увеличение нагрузки на антигравитационные мышцы при позвоночно-тазовом дисбалансе и связанное с этим усиление афферентации от мышечных

рецепторов изменяет также иннервационный стереотип ходьбы с нарушением фазности активации мышц-разгибателей дистальных и проксимальных суставов ноги в опорный период шага и фаз возбуждения мышц-сгибателей с несвойственным для них активным участием в силовой части локомоторной синергии [1].

Через 3 мес. после хирургического лечения в обеих группах В и С отмечено статистически достоверное увеличение глубины поясничного лордоза ($25,00 \pm 1,68^\circ$ и $26,9 \pm 3,0^\circ$ соответственно; $p < 0,05$) и статистически недостоверное уменьшение степени вертикализации крестца ($33,0 \pm 1,4^\circ$ и $36,0 \pm 4,0^\circ$ соответственно), хотя и после операции величины GLL и SS в каждой из групп больных оставались ниже нормы.

При динамическом наблюдении установлено постепенное уменьшение переднего смещения проекции ОЦМ в сагиттальной плоскости, особенно у больных дегенеративным спондилолистезом: ОЦМУ до операции — $3,93 \pm 0,38$ см; через 1 год и более после операции — $2,28 \pm 0,82$ см; $p < 0,05$. Таким образом, частичное восстановление поясничного лордоза сопровождалось улучшением рецентрирования вертикальной позы относительно линии гравитации с уменьшением нагрузки на опорные сочленения и уменьшением постуральной мышечной работы, необходимой для их стабилизации.

Существенных изменений в расположении проекции ОЦМ во фронтальной плоскости в послеоперационном периоде у больных поясничным остеохондрозом не произошло, тогда как у пациентов группы С отмечено асимметричное положение ОЦМХ, особенно через 6 мес. после операции (табл. 2). Ухудшение фронтального центрирования тела у больных дегенеративным спондилолистезом в послеоперационном периоде, по нашему мнению, связано с неустранимым дисбалансом мышц пояснично-тазовой области с патологическими двигательными стереотипами.

В группе В больных поясничным остеохондрозом на этапах послеоперационного периода значимых изменений параметров двухопорного качания тела АК_ДО и одноопорного качания как на ноге с отраженной болью АК_ОО_{отр}, так и на контралатеральной нижней конечности АК_ОО не выявлено.

У пациентов с дегенеративным поясничным спондилолистезом к отдаленному послеоперационному периоду (1 год и более после операции) отмечено статистически недостоверное уменьшение амплитуды постурального качания при двухопорном стоянии и статистически незначимое увеличение амплитуды качания тела при опоре на ногу с радикулопатией по сравнению с предоперационными показателями, тогда как величина АК_ОО существенно не изменялась. Другими словами, у больных обеих групп и в послеоперационном периоде сохранились нарушения статического равновесия ортоградной позы.

Статистически значимых изменений показателей переходного процесса от стояния к ходьбе в группах В

Таблица 2. Биомеханические параметры стабилотрафии у больных поясничным остеохондрозом (группа В) и дегенеративным спондилолистезом (группа С) в различные сроки послеоперационного периода

Сроки п/о/ параметры	ОЦМХ, см	ОЦМУ, см	АК_ДО, см	АК_ОО _{отр} , см	АК_ОО, см	L	L1	L2	L3		
3 мес. п/о	Группа В										
	0,25 ± 0,23	3,03 ± 0,56	1,48 ± 0,16	15,62 ± 1,13	15,61 ± 1,64	23,78 ± 0,64	12,77 ± 1,81	40,16 ± 1,67	48,54 ± 2,79		
	Группа С										
	0,32 ± 0,33	3,53 ± 0,38	1,41 ± 0,18	16,51 ± 1,79	16,53 ± 4,31	23,70 ± 0,16	30,80 ± 18,32	38,90 ± 3,21	30,17 ± 15,09		
	6 мес. п/о	Группа В									
		0,67 ± 0,19	-2,99 ± 0,43	1,19 ± 0,15	16,39 ± 3,22	15,75 ± 1,63	23,46 ± 0,17	15,70 ± 2,68	39,37 ± 4,57	44,78 ± 6,31	
Группа С											
0,90 ± 0,49		-3,87 ± 0,92	2,30 ± 1,11	18,39 ± 2,76	16,33 ± 2,44	19,26 ± 1,18	22,63 ± 8,64	38,84 ± 9,02	34,18 ± 10,12		
1 год и более п/о		Группа В									
		-0,14 ± 0,19	-2,88 ± 0,35	1,67 ± 0,17	16,23 ± 1,56	15,27 ± 1,00	22,80 ± 0,81	13,50 ± 1,46	41,35 ± 2,64	45,01 ± 3,85	
	Группа С										
	0,34 ± 0,28	-2,28 ± 0,82	1,41 ± 0,19	21,01 ± 3,30	17,59 ± 1,70	22,00 ± 1,10	11,63 ± 1,76	40,67 ± 3,00	47,57 ± 3,74		

и С на этапах послеоперационного периода не выявлено. Тем не менее в ближайшем послеоперационном периоде (через 3 мес. после операции) у пациентов с дегенеративным спондилолистезом прослеживалась тенденция к увеличению общей траектории перемещения проекции ОЦМ (L) и ее составляющих L1 и L2, тогда как величина показателя L3 стала меньше, чем до операции. В динамике показатель L, а также величины перемещения проекции ОЦМ в инерционную фазу (L1) и фазу переката стопы с пятки на всю ступню (L2) снижались, а в фазу отталкивания ноги от опоры (L3) увеличивались.

Корреляционный анализ подтвердил несбалансированность и незргономичность вертикальной позы обследованных больных на этапах хирургического лечения. Так, прямая сильная корреляция поясничного лордоза и наклона крестца — необходимое условие позвоночно-тазового баланса — прослеживалась лишь в группе пациентов с поясничным остеохондрозом до и через 6 мес. после операции (коэффициенты корреляции $k = 0,76$ и $k = 0,73$ соответственно). Между параметрами позвоночно-тазового баланса и величиной ОЦМУ наблюдалась прямая умеренная связь лишь в группе пациентов с дегенеративным спондилолистезом через 6 мес. после хирургического лечения ($k = 0,56$).

В переходном процессе от стояния к ходьбе корреляционная связь между общей траекторией перемещения проекции ОЦМ (L) и величиной последней в инерционную фазу (L1) в группе В к отдаленному послеоперационному периоду постепенно ослабевала (до операции $k = 0,84$; через 3 мес. после операции $k = 0,78$; через 6 мес. $k = 0,63$ и через 1 год и более после хирургического лечения $k = 0,53$). В группе С эти же параметры L и L1 коррелировали лишь в период до и через 1 год после хирургического лечения ($k = 0,84$ и $k = 0,66$ соответственно). К отдаленному послеоперационному периоду у больных обеих групп В и С проявилась обратная умеренная корреляционная связь между параметрами L и L2 ($k = -0,53$ и $k = -0,39$ соответственно), то есть продолжительность фазы переката стопы с пятки на всю ступню отрицательно влияла на поступательное движение тела, что изменяет оптимальный стереотип ходьбы. Нецелесообразная взаимосвязь указанных биомеханических параметров отражает нарушение динамического постурального равновесия с увеличением энергоёмкости ходьбы.

Таким образом, хирургическое лечение больных поясничным остеохондрозом и дегенеративным поясничным спондилолистезом (задний спондилодез нижнепоясничных сегментов с транспедикулярной фиксацией) позволило улучшить сагиттальное центрирование позвоночника. Вместе с тем существенного улучшения биомеханических параметров постурального контроля в группах больных В и С не отмечено, а у пациентов с дегенеративным спондилолистезом баланс вертикальной позы ухудшился вследствие асимметричного расположения центра тяжести во фронтальной плоскости. Такая ситуация, по

нашему мнению, связана с наличием неустранимых антальгических реакций мышц пояснично-тазовой области с развитием мышечного дисбаланса, нарушением механизмов центральной и периферической нейромышечной регуляции с изменением системы двигательного контроля и формированием патологических двигательных стереотипов.

Неблагоприятные результаты хирургического лечения в плане восстановления нарушенного постурального контроля у пациентов с отраженной болью оказались ожидаемыми в соответствии с предоперационной оценкой параметров нейромышечной регуляции вертикальной позы [18, 19, 27]. Несмотря на активное восстановительное лечение, не удалось достичь улучшения постурального контроля у больных с хорошими результатами хирургического лечения, а у пациентов с неблагоприятными результатами операций наблюдалось ухудшение постуральной стабильности в динамике [19]. Помимо этого, изменение параметров одноопорного стояния явилось неблагоприятным прогностическим фактором для развития люмбагии [27].

Изменение постурального контроля при функциональной недостаточности поясничного отдела позвоночника рассматривается как мультифакториальное и обратимое состояние, связанное с мышечной ингибцией [4, 8, 11, 25]. Часто нарушение постуральной стабильности связывают с поясничной болью, в том числе с резидуальной послеоперационной болью [8, 23, 24]. В то же время в результатах других исследований отсутствует достоверная корреляция между отраженной послеоперационной болью и нарушением статического равновесия [21, 25].

В настоящее время в литературе представлены две основные конкурирующие теории взаимосвязи поясничной боли и нарушения постурального контроля. Одна из них, концепция дополнительной адаптации двигательной системы при боли [16], базируется на данных о сохранении граничного исходного усилия мышцы при экспериментальной боли за счет рекрутирования дополнительных неактивных двигательных единиц [30]. Соответственно, существенные изменения в двигательном контроле вертикальной позы и, в частности, в постуральном качании не наблюдаются.

В противоположность этому гипотеза постоянной болевой ингибции мотонейронного пула рассматривает «интерференцию боли» как преобладающий каузативный фактор [28] увеличения постурального качания у пациентов с поясничной болью [23, 24]. В частности, боли сопутствуют высокопороговые ноцицептивные сигналы в спинальном моторном тракте [22] и двигательной коре мозга [11], что может сочетаться как с увеличением пресинаптической ингибции мышечных афферентных сигналов [12], так и с нарушением центральной модуляции проприоцептивных мышечных веретен, вызывая пролонгирование латентного периода мышечного сокращения путем уменьшения обратной связи в мышечных веретенах [6].

Изменение постурального контроля у пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника связано, по нашему мнению, с нарушением функции мышц — локальных стабилизаторов поясничных сегментов (многораздельных мышц и поперечной мышцы живота), сопутствующих позвоночно-тазовому дисбалансу. Недостаточность стабилизирующего действия мышц может быть связана с формированием: 1) антальгических деформаций позвоночных сегментов вследствие развития миотонических синдромов; 2) дегенеративных деформаций поясничных сегментов (в частности, при уплощении сагиттального контура пояснично-крестцового отдела позвоночника) вследствие дистрофических изменений миофибрилл, а также биомеханической инсуффициентности мышц с изменением плечей мышечных сил и мгновенных центров вращения дугоотростчатых суставов. Сопутствующая утрата эластичности связочного аппарата и поясничных межпозвоночных дисков приводит к недостаточности и в системе собственной мышечно-скелетной стабильности позвоночника [26].

Подтверждением этому служат факты доказанного уменьшения жесткости позвоночника у пациентов с поясничной болью при инициации быстрых движений верхних и нижних конечностей за счет увеличения латентного периода сокращения поперечной мышцы живота [14, 15]. Мышечная боль может изменять стратегии двигательного контроля и различные паттерны мышечного взаимодействия не только при статических и динамических нагрузках, но и в горизонтальном положении [15].

Выводы

1. В дооперационном периоде у больных поясничным остеохондрозом и дегенеративным спондилolistезом выявлен позвоночно-тазовый дисбаланс с уплощением сагиттального контура пояснично-крестцового отдела позвоночника по типу дегенеративной деформации flat back, а также изменение биомеханических параметров постурального контроля с нарушением статического и динамического равновесия.

2. Улучшение сагиттального центрирования позвоночника после операции (задний спондилодез нижнепоясничных сегментов с транспедикулярной фиксацией) не сопровождалось восстановлением биомеханических параметров постурального контроля, в связи с чем функциональный результат у данной категории больных на этапах хирургического лечения характеризовался сохранением несбалансированности и энергозатратности механизмов регуляции вертикальной позы.

Список литературы

1. Витензон А.С. Исследование биомеханических и нейрофизиологических закономерностей нормальной и патологической ходьбы человека / А.С. Витензон: Автореф. дис... д-ра мед. наук: 14.00.21. — М., 1982. — 34 с.

2. Гурфинкель В.С. Регуляция позы человека / В.С. Гурфинкель, Я.М. Коц, М.Л. Шик. — М.: Наука, 1965. — С. 7-27.
3. Пат. 58892 Україна. МКВ А61В 5/103. Спосіб непрямої оцінки функціонального стану опорно-рухового апарату людини / Карпінський М.Ю., Мітелєв Д.А., Радченко В.О. [та ін.] (UA); заявник і патентовласник Державна установа «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенко Національної академії медичних наук України» (UA) № u2002119151; Заявл. 18.11.2002; Опубл. 15.08.2003, Бюл. № 8.
4. Arendt-Nielsen L. Muscle pain: sensory implications and interaction with motor control / L. Arendt-Nielsen, T. Graven-Nielsen // Clin. J. Pain. — 2008. — Vol. 24. — P. 291-298.
5. Aruin A. Anticipatory postural adjustments associated with lateral and rotational perturbations during standing / A. Aruin, T. Ota, M.L. Latash // J. Electromyogr. Kinesiol. — 2001. — Vol. 11. — P. 39-51.
6. Capra N.F. Experimental muscle pain produces central modulation of proprioceptive signals arising from jaw muscle spindles / N.F. Capra, J.Y. Ro // Pain. — 2000. — Vol. 86. — P. 151-157.
7. Cobb J.R. Outline for the study of scoliosis / J.R. Cobb // Instruct. course lectures the Am. Acad. of orthop. surg. — 1948. — Vol. 5. — P. 261-275.
8. Comparison of postural control in unilateral stance between healthy controls and lumbar discectomy patients with and without pain / K. Bouche, V. Stevens, D. Cambier [et al.] // Eur. Spine J. — 2006. — Vol. 15. — P. 423-432.
9. Duval-Beaupere G. A barycentremetric study of the sagittal shape of the spine and pelvis / G. Duval-Beaupere, C. Schmidt, P.H. Cosson // Ann. Biomech. Eng. — 1992. — Vol. 20. — P. 451-462.
10. Duval-Beaupere G. Composante sagittale de la statique rachidienne / G. Duval-Beaupere, J. Legaye // Rev. Rhum. — 2004. — Vol. 71. — P. 105-119.
11. Early somatosensory processing during tonic muscle pain in humans: relation to loss of proprioception and motor «defensive» strategies / S. Rossi, della R. Volpe, F. Ginanneschi [et al.] // Clin. Neurophysiol. — 2003. — Vol. 114. — P. 1351-1356.
12. Effects of postural anxiety on the soleus H-reflex / K.M. Sibley, M.G. Carpenter, J.C. Perry [et al.] // Hum. Mov. Sci. — 2007. — Vol. 26. — P. 103-112.
13. Gravity line analysis in adult volunteers. Age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters and foot position / F. Schwab, V. Lafage, R. Boyce [et al.] // Spine. — 2005. — Vol. 31. — P. E959-E967.
14. Hodges P.W. Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb / P.W. Hodges, C.A. Richardson // J. Spinal Disord. — 1998. — Vol. 11. — P. 46-56.
15. Hodges P.W. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis / P.W. Hodges, C.A. Richardson // Spine. — 1996 (Phila Pa 1976). — Vol. 21. — P. 2640-2650.
16. Hodges P.W. Pain and motor control: from the laboratory to rehabilitation / P.W. Hodges // J. Electromyogr. Kinesiol. — 2011. — Vol. 21. — P. 220-225.
17. Karimi A. A review of relationship between fear avoidance beliefs and postural stability in non specific chronic low back pain / A. Karimi, M. Saeidi // Spine. — 2013. — Vol. 2, iss. 4. — 1000139.
18. Leinonen V. Neuromuscular control in lumbar disorders // J. Sports Sci. & Med. — 2004. — Suppl. 4. — P. 1-31.
19. Luoto S. One-footed and externally disturbed two-footed postural control in patients with chronic low back pain and healthy control subjects. A controlled study with follow-up / S. Luoto, H. Aalto, S. Taimela [et al.] // Spine. — 1998. — Vol. 23. — P. 2081-2089.
20. Massion J. Postural control system / J. Massion // Curr. Opin. Neurobiol. — 1994. — Vol. 4. — P. 877-887.
21. Mazaheri M. Low back pain and postural sway during quiet standing with and without sensory manipulation: a systematic review / M. Mazaheri, P. Coenen, M. Parnianpour [et al.] // Gait. Posture. — 2013. — Vol. 37. — P. 12-22.
22. Rossi A. Presynaptic excitability changes of group Ia fibres to muscle nociceptive stimulation in humans / A. Rossi, B. Decchi, F. Ginanneschi // Brain Res. — 1999. — Vol. 818. — P. 12-17.
23. Ruhe A. Altered postural sway in patients suffering from non-specific neck pain and whiplash associated disorder — A systematic review of the literature / A. Ruhe, R. Fejer, B. Walker // Chiropr & Man. Ther. — 2011. — Vol. 19. — P. 127-134.
24. Ruhe A. Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared to healthy controls: a systematic review of the literature / A. Ruhe, R. Fejer, B. Walker // Eur. Spine J. — 2011. — Vol. 20. — P. 358-364.
25. Ruhe A. Is there a relationship between pain intensity and postural sway in patients with non-specific low back pain? / A. Ruhe, R. Fejer, B. Walker // BMC Musculoskelet. Disord. — 2011. — Vol. 12. — P. 162-169.
26. Spinal lordosis optimize the requirements for a stable erect posture / H. Wagner, A. Liebetau, D. Schinowski [et al.] // Theoretical biology and medical modeling. — 2012. — Vol. 9. — P. 3-15.
27. Takala E.P. Do functional tests predict low back pain? / E.P. Takala, E. Viikari-Juntura // Spine. — 2000. — Vol. 25. — P. 2126-2132.
28. The disruptive nature of pain: an experimental investigation / G. Crombez, C. Eccleston, F. Baeyens [et al.] // Behav. Res. Ther. — 1996. — Vol. 34. — P. 911-918.
29. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients / C. Marty, B. Boisaubert, H. Descamps [et al.] // Eur. Spine J. — 2002. — Vol. 11. — P. 119-125.
30. Tucker K.J. Motoneurone recruitment is altered with pain induced in non-muscular tissue / K.J. Tucker, P.W. Hodges // Pain. — 2009. — Vol. 141. — P. 151-158.

Получено 29.11.13 □

Колесніченко В.А., Тяжелов А.А., Ма Конг, Литвиненко К.М.

ДЗ «Інститут патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків

БІОМЕХАНІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПОСТУРАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ У ХВОРИХ НА ПОПЕРЕКОВИЙ ОСТЕОХОНДРОЗ ТА ДЕГЕНЕРАТИВНИЙ ПОПЕРЕКОВИЙ СПОНДИЛОЛІСТЕЗ НА ЕТАПАХ ОПЕРАТИВНОГО ЛІКУВАННЯ

Резюме. Мета: дослідити взаємозв'язок між параметрами хребтотно-тазового балансу та постурального контролю у хворих із поперековим остеохондрозом і дегенеративним поперековим спондилолістезом на етапах хірургічного лікування.

Методи: 1) рентгенометричний з визначенням попереково-лордозу GLL і нахилу крижів SS, 2) біомеханічний з вивченням параметрів статичної та динамічної рівноваги.

Результати. В доопераційному періоді у хворих із поперековим остеохондрозом і дегенеративним спондилолістезом виявлено хребтотно-тазовий дисбаланс зі сплюсненням сагітального контуру попереково-крижового відділу хребта за типом дегенеративної деформації flat back, порушенням постуральної стабільності та змінами локомоторної синергії. Покращення сагітально-центрування хребта після операції (задній спондилолістез нижньоперекових сегментів) не супроводжувалось відновленням

біомеханічних параметрів постурального контролю, а у пацієнтів із дегенеративним спондилолістезом баланс вертикальної пози погіршився внаслідок асиметричного розташування центру ваги у фронтальній площині. Функціональний результат у даної категорії хворих на етапах хірургічного лікування характеризувався збереженням несбалансованості та енерговитратності механізмів регуляції вертикальної пози. Така ситуація, на наш погляд, пов'язана з наявністю неусунених анталгічних реакцій м'язів попереково-тазової ділянки з розвитком м'язового дисбалансу, порушенням механізмів центральної та периферичної нейром'язової регуляції зі змінами в системі рухового контролю і формуванням патологічних рухових стереотипів.

Ключові слова: постуральний контроль, статографія, поперековий остеохондроз, дегенеративний поперековий спондилолістез.

Kolesnichenko V.A., Tyazhelov A.A., Ma Cong, Litvinenko K.N.

SI «Institute of Spine and Joints Pathology named after prof. M.I. Sitenko of NAMS of Ukraine», Kharkiv, Ukraine

POSTURAL CONTROL BIOMECHANICAL PARAMETERS IN PATIENTS WITH LUMBAR OSTEOCHONDROSIS AND DEGENERATIVE LUMBAR SPONDYLOLISTHESIS DURING SURGICAL TREATMENT

Background. Low back pain may be accompanied by postural control disorders. We assume that motor control disorders may be associated with the development of the lumbar-pelvic muscle imbalances, which accompanies spinal-pelvic imbalance in patients with degenerative disc diseases.

Material and methods. Group B involved 42 patients aged 20–40 years old (mean age 33.4 ± 4.8 years old) with lumbar osteochondrosis, group C included 10 patients aged 46–65 years old (55.4 ± 7.8 years old) with lumbar degenerative spondylolisthesis of low (1–2) degrees; a comparison group A included 30 healthy volunteers aged 20–30 years old (22.4 ± 2.6 years old). All study participants were male. Patients were examined before and after 3 months, 6 months, 1 year or more after surgery with a mean follow-up of 1.2 ± 0.8 years (6 months — 2 years). All patients were undergone lumbar fusion L4-L5 and/or L5-S1 segments using transpedicle constructions in the Vertebrology Clinical Hospital of SI «Institute of Spine and Joint Pathology named after M.I. Sitenko of NAMS».

Studied: 1) the amount of spinal (the global lumbar lordosis, GLL) and pelvic (the sacral slope, SS) parameters of the sagittal spinal-pelvic balance by procedure Cobb [7] and Duval-Beaupre [9] respectively at the lateral lumbar spondylograms in the upright position comfortably before surgery and 3 months after surgery; 2) statograph parameters: a) in standing comfortably static position — the position of the center of gravity projection (CGP) on the statograph platform in the sagittal (CGPY) and frontal (CGPX) planes, and b) in a static position for 30 seconds (movement amplitude of the CGPY with doubly and singly-standing); c) during the transient process from the doubly standing to walking off with the foot with reflected pain from patients and with right foot from volunteers — the total value of moving CGP L and its segments L1 (corresponds to the path of the CGP in the inertial phase of the cycle), L2 (phase transition from heel to whole foot) and L3 (phase in push from the supporting leg).

During the statistical research we used the t-criteria (Student's method), during the analysis the Pearson's method was used.

Results. Before surgery in both groups B and C SS and GLL values were significantly less compared to volunteers in group A ($p < 0.001$); as well as both groups B and C showed a significant CGPY anterior displacement ($p < 0.001$, and $p < 0.01$, respectively) compared with healthy volunteers. Statistically significant differences between groups A, B and C as measured amplitude CGPY displacement with doubly standing is not revealed. When standing singly, the maximum amplitude of the postural swing was observed in the group B while relying on the pace with the reflected pain, and in patients of the group C, while relying on the intact leg ($p < 0.01$ and $p < 0.05$, respectively). In transient from standing to walking the most significant changes were observed in the patients of the group C. Parameters L, L1 and L3 were significantly less, and L2 ones were much more similar items in groups A and B.

3 months later after surgery both groups B and C demonstrated significantly increased depth of lumbar lordosis (25.0 ± 1.68 and 26.9 ± 3.0 , respectively; $p < 0.05$), and a statistically significant decrease in the degree of sacrum verticalization (33.0 ± 1.4 and 36.0 ± 4.0 , respectively), although after operation GLL and SS values in each of the patients group remained lower than normal ones. Dynamic observation found a gradual decrease in CGPY anterior displacement and the asymmetric CGPX, especially in group C. There were no significant changes in the parameters of postural sway in singly- and doubly-standing, as well as indicators of transition from standing to walking in groups B and C on postoperative stages were observed.

Direct strong correlation of lumbar lordosis and sacral slope — a sagittal spinal-pelvic balance necessary condition — can be traced only in the bpatients with lumbar osteochondrosis before and after 6 months after surgery (correlation coefficients $k = 0.76$ and $k = 0.73$, respectively). There was a direct moderate correlation between the parameters of the spinal-pelvic balance and CGPY value only in patients with degenerative spondylolisthesis in 6 months after surgery ($k = 0.56$).

In the transition process from standing to walking correlation between the total value of moving CGP (L) and the amount of the path

of the CGP in the inertial phase (L1) in the group B of the late postoperative period gradually weakened (before operation $k = 0.84$; in 3 months after operation $k = 0.78$; in 6 months after surgery $k = 0.63$ and in a year or more after surgery $k = 0.53$). In the group C the same parameters L and L1 correlated only in the period before and in 1 year after surgery ($k = 0.84$ and $k = 0.66$, respectively). On the late postoperative period in both groups B and C manifested moderate negative correlation between the parameters L and L2 ($k = -0.53$ and $k = -0.39$, respectively), i.e. the duration of the phase transition from heel to whole foot negatively affects the forward movement of the body that changes the optimal walking stereotype.

Conclusions. In the preoperative period in patients with lumbar osteochondrosis and degenerative spondylolisthesis there were revealed spinal-pelvic imbalance, as well as the change of postural control biomechanical parameters with static and dynamic equilibrium impaired. After surgery (posterior lumbar fusion with transpedicle fixation) improving the spinal sagittal alignment was not accompanied by the restoration of the postural control biomechanical parameters. Therefore the functional outcome in these patients on the surgical treatment stages is characterized by the imbalance and energy-intensive of vertical posture regulation mechanisms.

Summary. Purpose is to examine the relationship between the parameters of the spinal-pelvic balance and postural control in patients with lumbar osteochondrosis and degenerative lumbar spondylolisthesis on the surgical treatment stages. Methods: 1) the roentgenometric research of the total lumbar lordosis (GLL) and sacral slope (SS), 2) biomechanical investigation for the study of static and dynamic equilibrium. Results. In the preoperative period the patients with lumbar osteochondrosis and degenerative spondylolisthesis were found to have spinal-pelvic imbalance with flattening of the lumbosacral spine sagittal contour as degenerative deformation «flat back», as well as the postural stability and the locomotor synergy disorder. After surgery (posterior lumbar fusion with transpedicle fixation) improving the spinal sagittal alignment was not accompanied by the restoration of the postural control biomechanical parameters, and patients with degenerative spondylolisthesis vertical posture balance deteriorated due to asymmetric center of gravity in the frontal plane. The functional outcome in these patients on the surgical treatment stages is characterized by the imbalance and energy-intensive of vertical posture regulation mechanisms. This situation, in our opinion, related to the uncorrected antalgic muscle reactions in the lumbar-pelvic region with the development of muscle imbalance, impaired mechanisms of central and peripheral neuromuscular regulation, changes in the motor control system and the formation of abnormal movement stereotypes.