

ВЛИЯНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ОСТЕОТОМИИ ТАЗА НА КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕЛЬВИОСАКРАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ: ИССЛЕДОВАНИЕ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ 3D-МОДЕЛИ

Хусаинов Н.О.¹, Кокушин Д.Н.¹, Познович М.С.¹, Хальчицкий С.Е.¹, Виссарионов С.В.¹

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, Пушкин, e-mail: nikita_husainov@mail.ru

В связи с возрастающим интересом к проблеме восстановления и сохранения сагиттального баланса при различных патологических состояниях позвоночного столба актуальным является пересмотр отношения к ряду из них через призму накопленных знаний. В частности, при такой патологии, как спондилолистез, наиболее вероятным этиологическим фактором может являться имеющееся нарушение параметров пельвиосакральных отношений. Ряд авторов демонстрируют существенные отличия значения PI (pelvic incidence) у пациентов данной группы в сравнении с популяцией. Кроме того, существует корреляция между значениями позвоночно-тазовых параметров и качеством жизни в послеоперационном периоде. Известно, что традиционно выполняемые хирургические вмешательства: декомпрессия, редукция и стабилизация – позволяют воздействовать на величину угла наклона таза (PT – pelvic tilt) и замыкательной пластинки крестца (SS – sacral slope), но значения PI при этом не изменяются. Учитывая имеющиеся данные, целесообразно рассмотреть такие виды хирургических вмешательств, которые позволили бы эффективно влиять на данный параметр. К ним относятся, в частности, остеотомии таза. В нашем экспериментальном исследовании была использована пластиковая 3D-модель таза реальной пациентки со спондилолистезом 3-й степени по Meyrding. Проводили рентгенографию и расчет основных параметров (PI, PT и SS) нативной модели, а также после выполнения 4 видов остеотомии таза. В результате ни один из вариантов остеотомии не позволил привести значение PI к норме. В исследовании продемонстрирована взаимосвязь между величиной PI и расстоянием между центром ротации головок бедер и замыкательной пластинкой S1. Одним из возможных вмешательств, направленных на изменение PI, может стать транспозиция вертлужной впадины после выполнения тройной остеотомии таза, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: спондилолистез, остеотомия таза, сагиттальный баланс, дети.

INFLUENCE OF PELVIC OSTEOTOMIES ON KEY SACROPELVIC PARAMETERS: STUDY WITH AN EXPERIMENTAL 3D MODEL

Khusainov N.O.¹, Kokushin D.N.¹, Poznovich M.S.¹, Khalchitskiy S.E.¹, Vissarionov S.V.¹

¹FSBI «H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery» of Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Pushkin, e-mail: nikita_husainov@mail.ru

Due to the rising interest on a problem of sagittal balance restoration and preservation in different types of spinal pathology the time has come for reevaluation of our view on some of those through the prism of accumulated knowledge. Particularly for such pathologic condition as spondylolisthesis there is no doubt that abnormal pelvi-osacral parameters might be one of the most probable etiologic factors. Several studies show that PI (pelvic incidence) values differ significantly in these patients as compared to healthy individuals. Moreover there is a correlation between post-operative values of sacropelvic parameters and health-related quality of life. It is well-known that traditional steps of surgical treatment such as decompression, reduction and fusion may influence only at PT (pelvic tilt) and SS (sacral slope) values but PI values remain unchanged. Taken into account this given information it is reasonable to review such surgical options which would allow one to effectively manage with this particular parameter. In example pelvic osteotomies can be such option. In our experimental study plastic 3D model of a real patient pelvis with high-grade (Meyrding 3) isthmic spondylolisthesis was used. Main sacropelvic parameters (PI, PT and SS) were calculated using x-ray data in a native model and after performing 4 different types of pelvic osteotomies. As a result none of the types of osteotomies performed allowed PI normalization. We were able to show correlation of PI value and the distance between center of the femoral head rotation and S1 plate. Transposition of the acetabulum after triple pelvic osteotomy may be one of the possible surgical techniques which potentially can change PI, but this requires further investigation.

Keywords: spondylolisthesis, pelvic osteotomy, sagittal balance, children.

Изучение параметров позвоночно-тазовых соотношений в развитии заболеваний позвоночного столба, в частности спондилолистеза, имеет важное значение для определения

хирургической тактики и оценки результатов проведенного лечения. Многие авторы неоднократно демонстрировали значимые отличия от нормы основных параметров, характеризующих морфологию позвоночно-тазового комплекса и его пространственные особенности, у пациентов со спондилолистезом [1, 2]. Известно, что при отсутствии достижения нормальных значений параметров сагиттального баланса после выполнения хирургических вмешательств повышается частота развития таких осложнений, как формирование псевдоартроза, контактного кифоза и дестабилизация металлоконструкции [3]. При проведении оценки отдаленных результатов и сравнении качества жизни оперированных пациентов ряд авторов демонстрируют бóльшую удовлетворенность проведенным лечением среди пациентов с восстановленными параметрами сагиттального баланса [4–6].

Целями хирургического лечения пациентов со спондилолистезом традиционно являются: декомпрессия невральных структур, редукция (дискутабельно) и стабилизация позвоночно-двигательного сегмента [7]. Развитие хирургической техники и современных спинальных конструкций обеспечивает возможность достижения всех перечисленных целей, позволяя воздействовать на ряд параметров сагиттального баланса, таких как поясничный лордоз (LL), угол наклона крестца (SS), угол наклона таза (PT) [8]. Однако один из ключевых параметров *pelvic incidence* (PI), являющийся индивидуальным для каждого пациента, не изменяется в результате выполняемых манипуляций [9]. В связи с имеющимися данными о взаимосвязи между значением PI и наличием, а также степенью спондилолистеза логичным представляется выполнение таких хирургических вмешательств, которые позволили бы эффективно корректировать патологические значения PI. Различные варианты остеотомий таза потенциально должны приводить к изменению значения всех основных параметров позвоночно-тазовых соотношений, однако опыт их применения, согласно данным литературы, очень ограничен и не превышает нескольких наблюдений [10].

Целью нашего исследования явилось описание влияния выполнения различных остеотомий таза на экспериментальной 3D-модели на значения позвоночно-тазовых параметров, в частности PI.

Материалом для проведения исследования явилась модель таза и L5 позвонка пациентки, получавшей в отделении хирургическое лечение в связи с наличием спондилолистеза 3-й степени по Meyrding (IIb тип по классификации Wiltse, 6-й тип по классификации SDSG), изготовленная с применением аддитивных технологий на основании данных предоперационной МСКТ.

После изготовления и сборки были выполнены фотосъемка, а затем рентгенография полученного образца в боковой проекции с использованием цифрового рентгенодиагностического аппарата фирмы «Philips» для расчета исходных параметров.

Стабилизацию образца в пространстве обеспечивали с использованием пластикового бруска. По данным рентгенографии проводили измерение основных параметров: угла наклона таза (PT), угла наклона крестца (SS), pelvic incidence (PI). Также проводили измерение расстояния от центра ротации тазобедренных суставов до середины верхней замыкательной пластинки S1 (расстояние 1) и расстояния между центром ротации тазобедренных суставов и линией отвеса, опущенного от середины верхней замыкательной пластинки S1 (расстояние 2). Последние обозначенные величины позволили нам охарактеризовать изменение положения тазобедренных суставов относительно крестца.

Затем последовательно были выполнены различные варианты остеотомии таза билатерально с последующей фиксацией фрагментов таза спицами:

- остеотомия подвздошной кости по Salter с использованием трансплантата;
- остеотомия подвздошной кости без использования трансплантата с трансляцией дистального фрагмента дорсально;
- «обратная остеотомия по Salter» с внедрением трансплантата в зоне задней колонны тазового кольца;
- закрытоугольная остеотомия подвздошной кости с иссечением клина с основанием величиной 1,0 см, обращенным кпереди, и трансляцией дистального фрагмента дорсально.

После выполнения каждого варианта остеотомии проводили фотосъемку, а затем рентгенографию образца в боковой проекции с использованием цифрового рентгенодиагностического аппарата фирмы «Philips» и вновь рассчитывали указанные параметры (рис. 1). Полученные результаты сравнивали между собой без проведения статистической обработки ввиду малого количества данных.

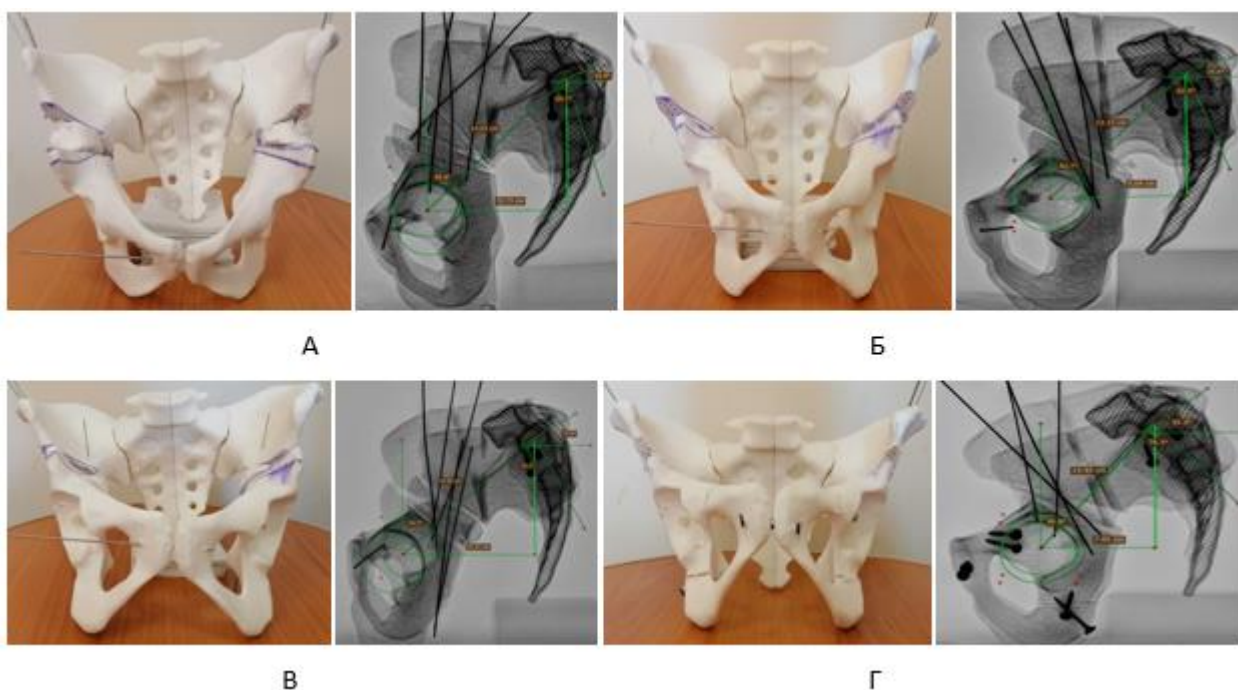


Рис. 1. А – фото и рентгенограмма модели после выполнения остеотомии таза по Salter;
 Б – фото и рентгенограмма модели после выполнения остеотомии без использования трансплантата с трансляцией дистального фрагмента дорсально; В – фото и рентгенограмма модели после выполнения «обратной остеотомии по Salter»; Г – фото и рентгенограмма модели после выполнения закрытоугольной остеотомии и трансляции дистального фрагмента дорсально

При сравнении результатов измерений, полученных на основании анализа рентгенограмм пациентки и рентгенограмм нативной 3D-модели, выявлено соответствие измеряемых параметров позвоночно-тазовых соотношений в обоих случаях, что позволило трактовать изготовленный образец как сравнимый с оригиналом (рис. 2).

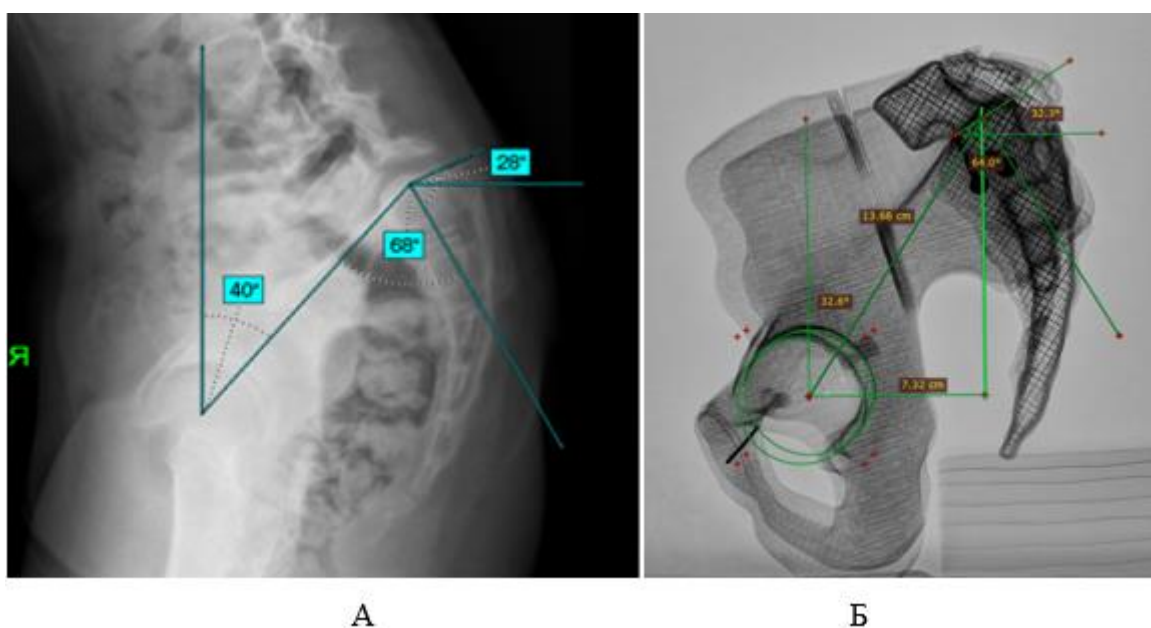


Рис. 2. А – рентгенограмма пациентки с расчетом основных параметров;
 Б – рентгенограмма нативной 3D-модели с расчетом исследуемых параметров

Полученные результаты измерений, проведенных после выполнения остеотомий таза, представлены в таблице.

Результаты измерения параметров позвоночно-тазовых соотношений на этапах выполнения исследования

Параметр	Нативная модель	Остеотомия по Salter	Остеотомия с трансляцией фрагмента дорсально	«Обратная остеотомия по Salter»	Закрытоугольная остеотомия с трансляцией фрагмента дорсально

PT (°)	32,6	46,8	42,7	49,5	36,8
SS (°)	32,3	16,8	19,6	29,4	39,3
PI(°)	64	64,7	62	79,1	76,3
Расстояние 1 (см)	13,68	14,63	13,33	16,08	13,45
Расстояние 2 (см)	7,32	10,73	9,04	12,21	7,95

После выполнения остеотомии подвздошной кости по Salter ввиду изменения формы модели потребовалось уменьшение высоты стабилизирующего бруска, в дальнейшем высоту бруска не меняли. Это значительным образом отразилось на величинах PT (46,8° vs 32,6°) и SS (16,8° vs 32,3°), кроме того, наблюдали заметное увеличение расстояния 2 (10,73 см vs 7,32 см), что объясняется изменением установки образца. Однако, несмотря на все вышеперечисленное, величина PI не изменилась (64,7° vs 64°), не наблюдали и значимого изменения расстояния 1 (14,63 см vs 13,68 см), что свидетельствовало о сохранении прежнего положения тазобедренных суставов относительно крестца.

Дорсальная трансляция дистального фрагмента таза после остеотомии также не привела к значимому изменению величины PI (62° vs 64°), параметров PT (42,7° vs 46,8° vs 32,6°) и SS (19,6° vs 16,8° vs 32,3°) в сравнении с нативной моделью и с предшествующим вариантом остеотомии – незначительные изменения, вероятно, были связаны с погрешностью при установке образца. Расстояние 1 и расстояние 2 также не изменились значительно.

После выполнения «обратной остеотомии по Salter» наблюдали наиболее заметные изменения всех оцениваемых параметров: увеличение расстояния 1 до 16,08 см, расстояния 2 до 12,21 см, увеличение PI до 79,1°, PT до 49,5° и SS до 29,4°. Отмеченные при данном варианте остеотомии изменения PI и расстояния 1 свидетельствовали о том, что нам удалось значимо повлиять на параметр PI, лишь удалив центр ротации тазобедренных суставов от крестца.

Последний вариант закрытоугольной остеотомии с трансляцией фрагмента таза дорсально был выполнен как попытка одновременного уменьшения угла наклона таза и приближения тазобедренных суставов к крестцу. Однако величина PI не только не нормализовалась, но, наоборот, увеличилась (76,3° vs 64°). Интересной особенностью явилось то, что, несмотря на наличие бруска прежней высоты, значения PT и SS приблизились к нативным: 36,8° и 39,3° соответственно. Величина расстояния 1 и расстояния 2 также не изменилась существенно в сравнении с исходными значениями: 13,45 см vs 13,68 см и 7,95 см vs 7,32 см.

В течение длительного времени спондилолистез рассматривали с механической точки зрения как заболевание, заключающееся в постепенном соскальзывании тела позвонка из-за недостаточности дорсальных структур вследствие их врожденного недоразвития. Позднее

Mall в 1906 г., а затем Roche и Rowe в 1951 г. опровергли эту теорию, проведя секционные исследования эмбрионов и мертворожденных детей. В литературе существует лишь 3 упоминания о наличии спондилолистеза у новорожденного, также известно, что данное заболевание не наблюдают у пациентов, лишенных возможности вертикализации. Таким образом, неоспорима связь развития спондилолистеза с фактом прямохождения. Разработка концепции сагиттального баланса позволила иначе взглянуть на некоторые нозологические единицы вертебральной патологии. Так, в настоящее время невозможно представить себе построение плана лечения с деформацией позвоночника без учета основных параметров позвоночно-тазовых соотношений. Однако эти параметры важны не только для планирования хирургического вмешательства. Особенности сагиттального баланса имеют и прогностическое значение. Современная классификация SDSG (Spine Deformity Study Group) выделяет 6 групп пациентов в зависимости не только от степени смещения, но и от величины PI, а также имеющихся нарушений баланса таза и позвоночника [11]. Отмечено, что у пациентов с более высоким значением PI можно ожидать дальнейшее прогрессирование спондилолистеза в связи с развитием деформации по механизму «shear force», в то время как при значении PI менее 40° реализуется механизм «nut-cracker», и пациент в течение длительного времени может оставаться стабильным. Стоит отметить, что И.М. Митбрейт еще в 1975 г. в предложенной им классификации предвосхитил то, что описали авторы SDSG: по сути, единственным отличием являлось то, что в классификации Митбрейта не было уделено внимания глобальному балансу туловища. К сожалению, данная классификация не позволяет определиться с выбором варианта хирургического вмешательства. Однако стало очевидно, что особенности пельвиосакральной морфологии могут являться определяющими для развития спондилолистеза. Одним из результатов работы SDSG явилось то, что удалось продемонстрировать значительные отличия значения PI у пациентов со спондилолистезом от условной нормы. Кроме того, была обнаружена прямая корреляция между величиной PI и степенью смещения тела позвонка – у пациентов с 4-й степенью смещения значения PI превышают в среднем 70° [2]. Результаты современных исследований подтверждают полученные ранее данные на примере изучения особенностей позвоночно-тазовых параметров у детей и подростков со спондилолизом и спондилолистезом.

Параметры пельвиосакральных отношений имеют важное значение и в оценке результатов проведенного хирургического лечения: так, отмечено, что удовлетворенность пациентов, качество жизни в послеоперационном периоде выше в том случае, если удалось нормализовать изменяемые позвоночно-тазовые параметры. В отличие от последних PI не поддается коррекции у пациентов в результате проведения хирургического лечения, даже при условии выполнения объемного реконструктивного вмешательства, в связи с тем, что этот

параметр в большей степени зависит от морфологии тазового кольца. Существуют единичные сообщения о незначительном уменьшении PI, которое объясняют имеющейся подвижностью в илиосакральных сочленениях, но в аспекте того, насколько сильно отличны значения PI в норме и при наличии спондилолистеза (практически в 2 раза), представленные данные несущественны для решения проблемы [12].

Для коррекции значения PI Ozturk с соавторами была предложена остеотомия крестца, однако, учитывая сложность ее выполнения и высокие риски, более привлекательной опцией выглядит применение остеотомии таза в известных вариантах. Существуют единичные сообщения о выполнении этого вида вмешательства у пациентов с нарушением баланса, развившимся на фоне анкилозирующего спондилита. Roussouly с соавторами сообщили об успешном выполнении билатеральной остеотомии таза по методике Salter для коррекции сначала в эксперименте, а затем и у нескольких пациентов с high-grade спондилистезом и высокими значениями PI [10]. Их результаты поддерживают данные Sembrano с соавторами, которые создали математическую модель, провели расчет параметров и подтвердили возможность изменения PI после выполнения остеотомии таза [13]. Однако, учитывая редкость выполнения данных вмешательств, необходимо большее число клинических наблюдений для того, чтобы делать определенные выводы. Современные аддитивные технологии при использовании в медицине позволяют воссоздать анатомический орган или область пациента для проведения вмешательств *in vitro*, что ранее не было возможным [14]. Это позволило нам в эксперименте воспроизвести различные виды остеотомии таза, используя модель реально существующего пациента с нарушенными значениями позвоночно-тазовых соотношений с целью попытки их нормализации. Пациентка, чьи лучевые данные были использованы для создания 3D-модели, попадала в группу 6 по классификации SDSG: это означает, что имел место high-grade листез, значение PI составляет более 60°, имеет место выраженная ретроверзия таза, нарушен баланс позвоночника. При поступлении пациентка находилась в состоянии листезного криза, проявлявшегося вынужденным положением сгибания в коленных суставах, наклоном туловища вперед и нарушением возможности самостоятельной ходьбы. Были выполнены оперативное вмешательство в объеме задней декомпрессии, редукции тела L5 позвонка и стабилизации сегментов L4 – S1 с позвоночно-тазовой фиксацией, передней межтеловой корпоротомией аутокостью. В результате удалось купировать имевшиеся жалобы: баланс туловища был восстановлен, нормализовалась походка, болевой синдром регрессировал. Однако, несмотря на это, ключевой параметр PI, в отличие от PT и SS, остался прежним.

Результаты нашего исследования отличаются от опубликованных ранее: выполнение билатеральной остеотомии таза по Salter не привело к изменению значения PI так же, как и

два других варианта остеотомии. Лишь в случае выполнения «обратной» остеотомии таза по Salter наблюдали существенное увеличение расстояния между центром ротации головок бедренных костей и линией отвеса, опущенного от середины верхней замыкательной пластинки S1 (расстояние 2), и значения PI. Вероятно, хирургическая коррекция, направленная на уменьшение этого расстояния, перспективна для изменения значения PI. Одним из возможных вариантов может стать выполнение тройной остеотомии таза [15], однако воспроизвести ее на имевшейся в наличии модели не представлялось возможным.

Выводы

Существует зависимость между значениями пельвиосакральных параметров и наличием, а также степенью спондилолистеза. Классические этапы хирургического лечения пациентов данной группы не позволяют изменить значение ключевого параметра PI. Выполнение остеотомий таза в описанных в нашей работе вариантах также не дает возможности нормализовать значение PI, что не согласовывается с представленными ранее литературными данными.

Список литературы

1. Oh Y.M., Choi H.Y., Eun J.P. The comparison of sagittal spinopelvic parameters between young adult patients with L5 spondylolysis and age-matched control group. *Journal of Korean Neurosurgical Society* 2013. vol. 54. no. 3. P. 207-210.
2. Labelle H., Roussouly P., Berthonnaud E., Transfeldt E., O'Brien M., Chopin D., Hresko T., Dimnet J. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004. vol. 29. no. 18. P. 2049–54.
3. Sebaaly A., Gehrchen M., Silvestre C., Kharrat K., Bari T.J., Kreichati G., Rizkallah M., Roussouly P. Mechanical complications in adult spinal deformity and the effect of restoring the spinal shapes according to the Roussouly classification: a multicentric study. *European Spine Journal*. 2020. vol. 29. P. 904–913
4. Harroud A., Labelle H., Joncas J., Mac-Thiong J.M. Global sagittal alignment and health-related quality of life in lumbosacral spondylolisthesis. *Eur Spine J*. 2013. vol. 22. no. 4. P. 849–856.
5. Ochtman A.E., Kruyt M.C., Jacobs W.C., Kersten R.F., le Huec J.C., Öner F.C., van Gaalen S.M. Surgical restoration of sagittal alignment of the spine: correlation with improved patient-reported outcomes: a systematic review and meta-analysis. *JBJS Rev*. 2020. vol. 8. no.8 P. e1900100.
6. Yoshihar H., Hasegaw K., Okamoto M., Hatsushikan S., Watanabe K. Relationship between sagittal radiographic parameters and disability in patients with spinal disease using 3D standing analysis. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*. 2018. vol. 104. no. 7. P. 693

7. Wollowick A.L., Sarwahi V. Spondylolisthesis. Springer Science + Business Media. 2015. P. 7-13.
8. Faldini C., Di Martino A., Perna F., Martikos K., Greggi T., Giannini S. Changes in spino-pelvic alignment after surgical treatment of high-grade isthmic spondylolisthesis by a posterior approach: a report of 41 cases. *Eur Spine J.* 2014. vol. 23. no. 6. P. 714-9.
9. Martikos K., Greggi T., Faldini C. High grade isthmic spondylolisthesis; can reduction always re-align the unbalanced pelvis? *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2019. vol. 20. P. 499.
10. Bodin A., Roussouly P. Sacral and pelvic osteotomies for correction of spinal deformities. *Eur Spine J.* 2015. vol. 24. no. 1. P. S72-82
11. Tebet M.A. Current concepts on the sagittal balance and classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Rev Bras Ortop.* 2014. vol. 49. no. 1. P. 3–12.
12. Place H.M., Hayes A.M., Huebner S.B., Hayden A.M., Israel H., Brechbuhler J.L. Pelvic incidence: a fixed value or can you change it? *Spine J.* 2017. vol. 17. no. 10. P. 1565-1569.
13. Zarei V., Yson S.C., Bechtold J.E., Sembrano J.N. Predicting the effect of bilateral pelvic osteotomy on sagittal alignment correction and surrounding muscles: a mathematical model. *Advances in Orthopedics.* 2019. DOI: 10.1155/2019/3041359.
14. Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Овечкина А.В., Хусаинов Н.О. Применение шаблонов-направителей при хирургическом лечении детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2020. Т. 8. №3. С.305-316.
15. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., Барсуков Д.Б., Познович М.С. Влияние тройной остеотомии таза на позвоночно-тазовые соотношения у детей с диспластическим подвывихом бедра // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2019. Т.7. Вып.2. С.5–16.