

1. П. С. РЕМОВ, 2. М. В. ОЛИЗАРОВИЧ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕНТГЕНОАТОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАДНЕГО ОПОРНОГО КОМПЛЕКСА ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ДОСТУПА

1 Гомельская областная клиническая больница, Гомель, Беларусь

2 Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь

Цель исследования. Анализ рентгеноанатомических параметров заднего опорного комплекса позвоночника на пояснично-крестцовом уровне и оценка возможности их использования при планировании хирургического доступа к пораженному позвоночно-двигательному сегменту (ПДС).

Материал и методы. В исследование включены 67 пациентов, оперированных по поводу дегенеративно-дистрофической патологии пояснично-крестцового отдела позвоночника. При помощи компьютерной программы Onis в трех ПДС исследованы рентгеноанатомические параметры остистых отростков, дуг позвонков, межостистых и междужковых промежутков. Для определения статистически значимых различий между изучаемыми ПДС использовали критерий Краскела — Уоллиса (K — W test). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. Выявлены существенные различия между тремя проанализированными ПДС по параметрам дуг ($p < 0,0001$), междужковых ($p < 0,001$) и межостистых ($p < 0,001$) промежутков. Разработана и апробирована методика использования изучаемых параметров при планировании хирургического доступа с использованием графической визуализации и средств интраоперационного сопровождения.

Заключение. Предложенная методика определения технических аспектов хирургического доступа основана на анализе рентгеноанатомии заднего опорного комплекса позвоночника и направлена на повышение точности и безопасности хирургических манипуляций, выполняемых в ходе доступа к заданному ПДС. Разработанные средства интраоперационного сопровождения обеспечивают реализацию расчетных данных, что дает возможность использовать методику в качестве альтернативы современным рентгеновским средствам идентификации необходимого уровня. Выявленные анатомические различия между исследованными уровнями свидетельствуют о необходимости индивидуального подхода к планированию объема интервенции на каждом из них.

Ключевые слова: технические аспекты хирургического доступа, рентгеноанатомические параметры, графическая визуализация.

Objective. Analysis of the x-ray anatomic parameters of the posterior support complex of the spine at the lumbosacral level and evaluation of their use possibility in planning a surgical access to the affected segment.

Materials and methods. The study group included 67 patients operated on for the degenerative-dystrophic pathology of the lumbosacral spine. The x-ray anatomical parameters of the spinous processes, arches of vertebrae, interspinous and interlaminar spaces were studied in three lumbar segments using the Onis program. Kruskal — Wallis test (K — W test) was used to determine the statistically significant differences between the studied segments. The differences were considered statistically significant at $P < 0.05$.

Results. The study revealed significant differences between three analyzed segments in the parameters of the arches ($P < 0.0001$), interspinous ($P < 0.001$), and interlaminar ($P < 0.001$) spaces. A technique for using the studied parameters for planning a surgical access using the graphic visualization data and the intraoperative support means was developed and tested.

Conclusion. The proposed technique of determining the technical aspects of a surgical access is based on the analysis of the x-ray anatomy of the posterior support complex and is aimed at increasing the accuracy and safety of surgical manipulations performed during accessing the targeted segment. The developed means of the intraoperative support ensure the calculation data implementation making possible the technique use as an alternative means to the modern x-ray identification tools.

Key words: surgical access technical aspects, x-ray anatomical parameters, graphic visualization.

HEALTHCARE. 2017; 11: 53—59.

APPLIANCE OF SPINE POSTERIOR SUPPORT COMPLEX X-RAY ANATOMIC PARAMETERS IN PLANNING SURGICAL ACCESS

P. S. Remov, M. V. Olizarovich

Рентгеновская компьютерная томография (РКТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) играют важнейшую роль как в диагностике, так и хирургическом лечении дегенеративно-дистрофи-

ческих заболеваний позвоночника [1]. Методы нейровизуализации наравне с анамнестическими и неврологическими данными являются ключевым звеном предоперационной подготовки [2].

Современные возможности РКТ позволяют детально оценить костные образования позвоночника с возможностью создания 3D-реконструкции необходимых ПДС [3]. При компьютерном измерении можно определить роль той или иной анатомической структуры в патогенезе дистрофического процесса, степень ее участия в компрессии нервных структур [4]. Анализ анатомических особенностей способствует нахождению безопасной зоны вмешательства, в то время как недооценка взаимоотношений нервных, костных и связочных структур в позвоночном канале приводит к выполнению недостаточного хирургического доступа либо к чрезмерной и необоснованной резекции костных структур [5, 6].

Несмотря на наличие исследований, посвященных изучению рентгеноанатомии позвоночника, мало внимания обращается на возможность ее использования для определения технических аспектов хирургического доступа в малоинвазивной хирургии поясничных компрессионных синдромов.

Цель исследования: анализ рентгеноанатомических параметров заднего опорного комплекса позвоночника на пояснично-крестцовом уровне и оценка возможности их использования при планировании хирургического доступа к пораженному позвоночно-двигательному сегменту (ПДС).

Материал и методы

В исследование включены 67 пациентов, оперированных по поводу дегенеративно-дистрофической патологии пояснично-крестцового отдела позвоночника (ПКОП) на базе нейрохирургического отделения № 1 Гомельской областной клинической больницы в 2015—2017 гг. Мужчин было 34 (50,7%), женщин — 33 (49,3%). Медиана возраста в исследованной выборке составила 47 [38; 53] лет.

Компьютерные измерения проводились при помощи программы «Onis Free Edition» версии 2.4 («DigitalCore Co., Ltd», Япония) в сегментах трех уровней: $L_{III}-L_{IV}$, $L_{IV}-L_{V}$, $L_{V}-S_1$ [7]. Программа оснащена возможностью реформации данных РКТ во фронтальной и сагиттальной проекциях. В ходе исследования использовали фронтальные, сагиттальные и аксиальные сканы. Исследованы рентгеноанатомические особенности остистых отростков, межостистых промежутков, дуг позвонков, междужковых промежутков.

При изучении остистых отростков измеряли их длину, ширину и расположение относительно сагиттальной плоскости. Длину определяли в сагиттальной или фронтальной проекции как расстояние между верхним и нижним краем отростка. Измерение ширины проводили в сагиттальной или аксиальной проекции в самом широком месте отростка.

Стоит отметить, что под длиной изучаемых анатомических структур понимали их краниально-каудальную протяженность.

Длину межостистого промежутка определяли как минимальное расстояние между нижним краем остистого отростка вышележащего позвонка и верхним краем остистого отростка нижележащего позвонка. Длину дуги (справа и слева) измеряли вдоль основания остистого отростка как расстояние между ее краниальным и каудальным краем.

Ширину междужкового промежутка (справа и слева) измеряли в его самом широком месте в аксиальной проекции как расстояние от места схождения листов желтой связки по заднему контуру дурального мешка до внутреннего края нижнего суставного отростка. Длину междужкового промежутка (справа и слева) измеряли в его медиальной части во фронтальной или сагиттальной проекции как расстояние между нижним краем дуги вышележащего позвонка и верхним краем дуги нижележащего позвонка. Техника измерения изучаемых параметров представлена на рис. 1.

Учитывая, что изучаемые параметры не подчинялись закону нормального распределения, при статистической обработке использовали непараметрические методы. Описательная статистика проводилась в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (25-я и 75-я перцентили). Для определения статистически значимых различий между тремя изучаемыми уровнями использовали критерий Краскела — Уоллиса ($K - W$ test). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Рентгеноанатомические параметры остистых отростков и межостистых промежутков. В табл. 1 представлены данные по анатомическим особенностям остистых отростков.

Показано, что на всех исследованных уровнях преобладало расположение остистых отростков строго в сагиттальной плоскости. На уров-

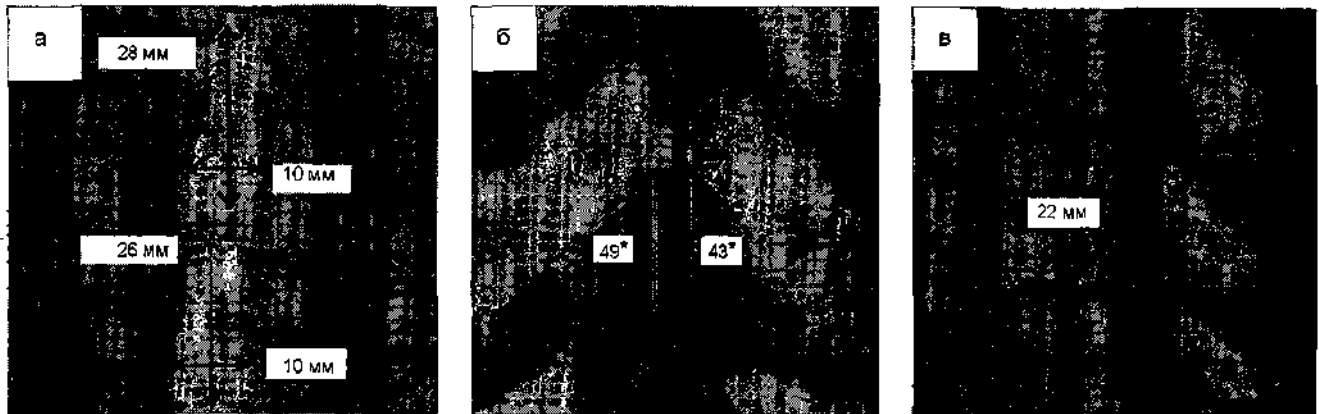


Рис. 1. Техника измерения рентгеноанатомических параметров: а — длина и ширина остистых отростков; б — угол отхождения дуг; в — длина дуги

Таблица 1

Анатомические особенности остистых отростков

Особенности расположения	Уровень					
	L_{III} (n=67)		L_{IV} (n=67)		L_V (n=67)	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Классическое расположение строго в сагиттальной плоскости	48	71,7	45	67,2	54	80,7
Отклонение всего отростка относительно сагиттальной плоскости	9	13,4	12	17,9	4	5,9
Отклонение краниального или каудального конца отростка относительно сагиттальной плоскости	4	5,9	6	9,0	5	7,5
Наличие остеофита	6	9,0	4	5,9	4	5,9

нях L_{III} и L_{IV} среди всех вариантов нетипичного расположения чаще наблюдалось отклонение всего остистого отростка относительно сагиттальной плоскости (13,4% и 17,9% соответственно).

В ходе исследования в 17 ПДС обнаружено сращение остистых отростков выше- и нижележащего позвонка. В сегменте $L_{III}-L_{IV}$ диагностировано 7 таких случаев, в сегменте $L_{IV}-L_V$ — 6, в L_V-S_1 — 4. Различные варианты анатомии остистых отростков представлены на рис. 2.

Медиана длины остистого отростка позвонка L_{III} составила 25 [23; 27] мм, L_{IV} — 24 [21; 25] мм, L_V — 17 [16; 19] мм. Различия между исследованными уровнями по данному параметру были статистически значимыми (во всех случаях $p < 0,0001$, H-критерий Краскела — Уоллиса). Медиана ширины остистого отростка L_{III} составила 11 [10; 12] мм, L_{IV} — 12 [11; 12] мм, L_V — 12 [10; 13] мм. При статистической обработке уровень L_{III} характеризовался более широким остистым отростком по сравнению с L_{IV} ($p < 0,05$). При сравнении уровней L_{III} и L_V , а также уровней L_{IV} и L_V достоверные различия по данному параметру не выявлены ($p > 0,05$).

Медиана длины межостистого промежутка $L_{III}-L_{IV}$ составила 3 [2; 5] мм, $L_{IV}-L_V$ — 3 [2; 5] мм, L_V-S_1 — 5 [3; 9] мм. Длина межостистого промежутка на уровне L_V-S_1 была достоверно больше по сравнению с $L_{III}-L_{IV}$ и $L_{IV}-L_V$ ($p < 0,001$).

Рентгеноанатомические параметры дуг позвонков, междужковых промежутков. В табл. 2 представлены параметры междужковых промежутков.

Согласно данным табл. 2, междужковый промежуток L_V-S_1 характеризовался большей длиной (с обеих сторон) по сравнению с $L_{III}-L_{IV}$ и $L_{IV}-L_V$ ($p < 0,0001$), в то время как статистически значимой разницы между уровнями $L_{III}-L_{IV}$ и $L_{IV}-L_V$ не обнаружено ($p > 0,05$). При сравнении междужковых промежутков по ширине выявлено достоверное различие ($p < 0,001$) между всеми исследуемыми уровнями, при этом максимальная ширина промежутка наблюдалась на уровне L_V-S_1 , минимальная — на уровне $L_{III}-L_{IV}$.

Медиана длины дуги позвонка L_{III} (с обеих сторон) составила 23 [22; 25] мм, дуги позвонка L_{IV} 21 [19; 22] мм справа и 21 [19; 23] мм слева, L_V — 15 [14; 16] мм справа и 15 [13; 16] мм сле-

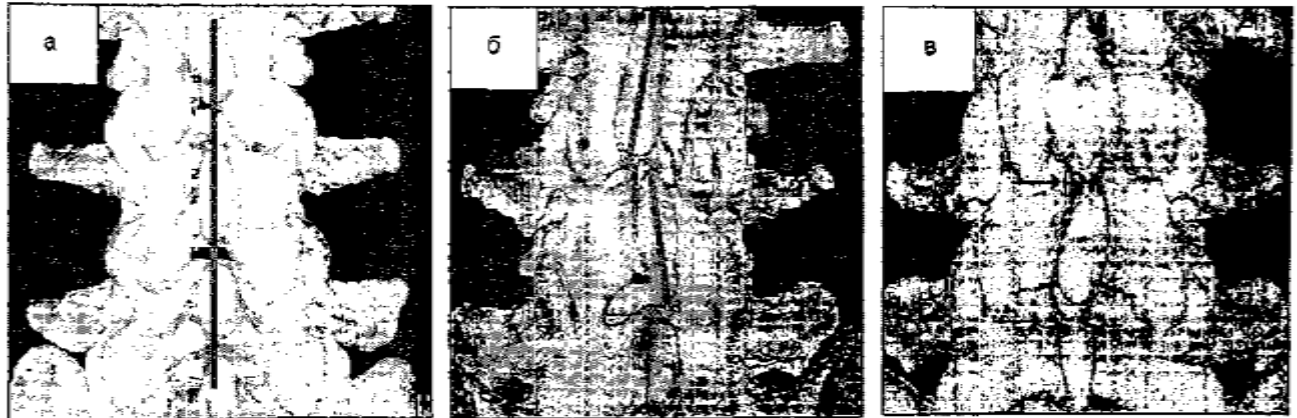


Рис. 2. Варианты анатомии остистых отростков: а — расположение остистых отростков строго в сагиттальной плоскости; б — отклонение остистых отростков относительно сагиттальной плоскости; в — сращение остистых отростков

Таблица 2

Параметры междужковых промежутков

Уровень	Длина междужкового промежутка, мм		Ширина междужкового промежутка, мм	
	справа	слева	справа	слева
L _{III} —L _{IV}	9 [7; 10]***	9 [7; 10]***	7 [5; 8]*	6 [5; 8]*
L _{IV} —L _V	9 [7; 10]**	9 [7; 10]**	9 [6; 11]**	9 [6; 11]**
L _V —S _I	11 [9; 12]	11 [10; 12]	13 [11; 14]***	12 [10; 14]***

*Достоверные различия ($p < 0,001$) между L_{III}—L_V и L_{IV}—L_V уровнями (H-критерий Краскела — Уоллиса); ** достоверные различия ($p < 0,0001$) между L_{IV}—L_V и L_V—S_I; ***достоверные различия ($p < 0,0001$) между L_{III}—L_{IV} и L_V—S_I уровнями.

ва. При статистической обработке между всеми сравниваемыми уровнями обнаружено достоверное различие ($p < 0,0001$).

Заслуживают внимания данные по углу отхождения дуг исследованных позвонков. Так, медиана угла отхождения дуги позвонка L_{III} составила 25 [21; 33]° справа и 25 [20; 33]° слева, L_{IV} — 38 [29; 44]° и 37 [29; 45]° соответственно, дуги L_V позвонка — 56 [51; 62]° и 59 [54; 63]° соответственно. Между всеми сравниваемыми уровнями по данному параметру обнаружены достоверные различия при $p < 0,0001$ (H-критерий Краскела — Уоллиса).

Использование исследованных параметров при планировании и выполнении хирургического доступа. В рамках исследования с целью обеспечения максимальной визуализации зоны хирургического интереса и уменьшения травматизации мягких тканей разработана методика использования изучаемых рентгеноанатомических параметров при планировании доступа к пораженному ПДС.

Методика применялась следующим образом. На начальном этапе проводили измерение параметров остистых отростков, дуг позвонков, межостистых и междужковых промежутков. Далее осуществлялась графическая визуализация

необходимых ПДС с использованием программы VRRender 8-0 и базового редактора для обработки изображений. В графическом редакторе делали отметки точки отсчета (места перехода дуги вышележащего позвонка в его остистый отросток), границ костного окна, которое рассчитывали по разработанному ранее способу [8]. После этого определяли схему расположения ранорасширителя, обеспечивающую максимальный обзор зоны хирургического интереса. Для этого в рабочем окне редактора делали отметки локализации медиальной и латеральной браншей ранорасширителя, при этом учитывали длину, ширину и геометрическую форму планируемого костного окна, положение точки отсчета, необходимой для интраоперационной ориентировки, длину межостистого промежутка, остистого отростка, а также его положение относительно сагиттальной плоскости.

В ходе исследования использовали ранорасширитель собственной модификации со сменными браншами различной длины, ширины и углом изгиба. При подборе браншей учитывали параметры остистого отростка, межостистого промежутка, размеры планируемого костного окна. При подборе длины браншей определяли глубину хирургического доступа. Для этого в ак-

сиальной проекции рабочего окна программы Onis измеряли расстояние от точки отсчета до кожных покровов. На рис. 3 показана техника измерения глубины хирургического доступа.

На рис. 4 изображен позвоночный ранорасширитель собственной модификации и устройство для измерения параметров операционной раны.

На рис. 5 представлен расчет и интраоперационное применение схемы расположения ранорасширителя в случае отклонения от сагит-

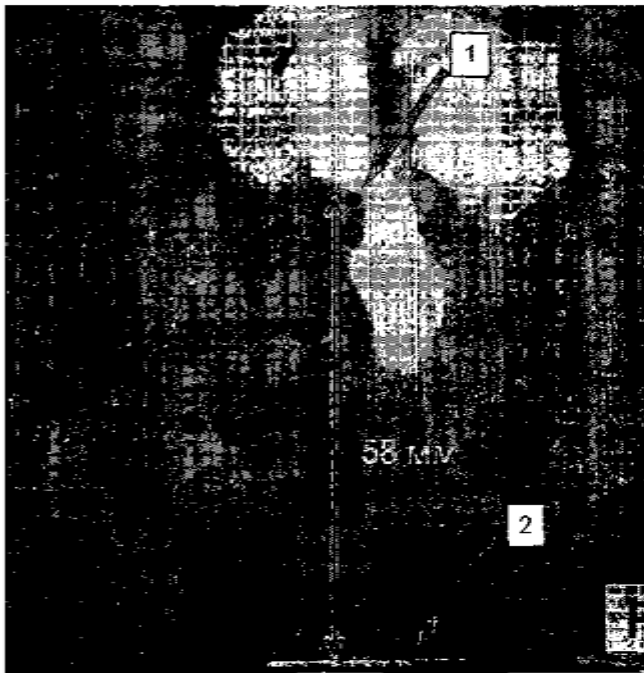


Рис. 3. Техника измерения глубины хирургического доступа: 1 — точка отсчета; 2 — линия кожи

тальной плоскости остистых отростков позвонков L_{III} и L_{IV} .

Видно, что согласно расчету медиальная бранша ранорасширителя в ходе выполнения хирургического доступа должна располагаться под нижним концом остистого отростка позвонка L_{III} . Учитывая короткий межкостистый промежуток, в данном случае использовали медиальную браншу шириной 3 мм и углом наклона 90° . Рассчитанная и примененная схема расположения ранорасширителя позволила визуализировать область планируемой резекции нижнего суставного отростка позвонка L_{III} и верхней части дуги позвонка L_{IV} при выполнении доступа к межпозвонковой щели $L_{III}-L_{IV}$.

На следующем этапе анализировали параметры дуг позвонков и межпозвонковых промежутков. Измерение проводили в сегменте, где планировалось вмешательство, а также в выше- и нижележащем ПДС. В случаях, когда разница по длине дуги, длине и ширине межпозвонкового промежутка между оперируемым и смежным сегментом была существенной, данные параметры использовали в ходе выполнения доступа для идентификации необходимого уровня. Интраоперационную оценку размеров вышеперечисленных анатомических структур осуществляли с помощью разработанного устройства для измерения параметров операционной раны (см. рис. 4). Угол отхождения дуг использовали как дополнительный параметр для контроля попадания в нужный промежуток и оценивали визуально после скелетизации костных структур.

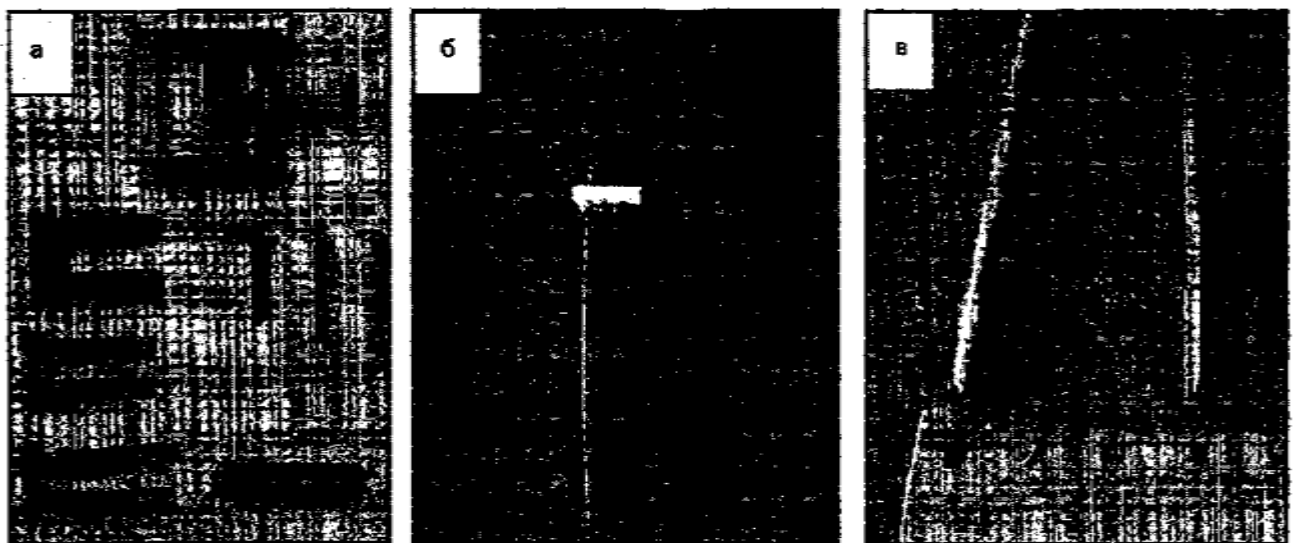


Рис. 4. Ранорасширитель со сменными браншами (а); устройство для измерения параметров операционной раны (б, в)

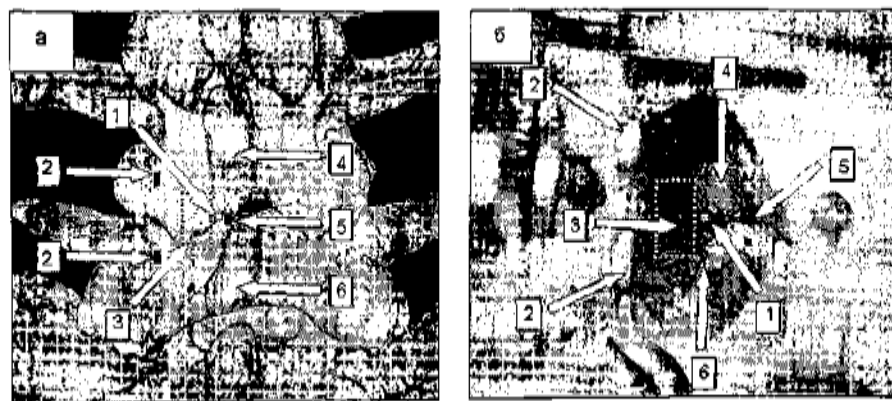


Рис. 5. Расчет схемы расположения ранорасширителя в рабочем окне графического редактора (а) и интраоперационное применение расчетных данных (б): 1 — точка отсчета; 2 — латеральные ветви ранорасширителя; 3 — костное окно; 4 — остистый отросток вышележащего позвонка; 5 — медиальная ветвь ранорасширителя; 6 — остистый отросток нижележащего позвонка

Параметры междужкового промежутка также использовали для выбора хирургического инструментария, необходимого для входа в позвоночный канал. При длине и/или ширине междужкового промежутка менее 3 мм, а также в случае полностью замкнутого промежутка на начальных этапах костной резекции использовали высокоскоростной бур, затем, при необходимости, выполняли дополнительную резекцию кусачками Керрисона. При промежутке длиной и шириной более 3 мм ограничивались использованием кусачек Керрисона.

Анализ рентгеноанатомических параметров позвоночника является неотъемлемой частью современных методик предоперационного планирования, позволяющих повысить эффективность хирургических вмешательств. При этом большинство публикаций акцентированы на изучении параметров остистых, суставных отростков, тел позвонков, межкостистых промежутков в свете возможности их использования в педункулярной хирургии при расчете технических аспектов стабилизирующих операций. В зарубежной литературе есть данные об измерении параметров межпозвоночных отверстий при планировании трансфораминальных доступов [5, 9, 10]. В то же время вопрос об использовании рентгеноанатомии заднего опорного комплекса при планировании микрохирургических вмешательств с минимальной резекцией костных структур не находит достаточного внимания.

Проведенное исследование выявило существенные различия между тремя проанализи-

рованными уровнями по параметрам дуг (при $p < 0,0001$), междужковых (при $p < 0,001$) и межкостистых промежутков (при $p < 0,001$), что представляет собой не только анатомический интерес, но и свидетельствует о необходимости индивидуального подхода при планировании объема интвенции на каждом из этих уровней.

Несмотря на бурное развитие навигационных систем и иных средств виртуальной поддержки оперативных вмешательств, следование костно-топографическим ориентирам

остается важнейшим условием корректной работы высокоспециализированного оборудования и безопасного выполнения манипуляций в позвоночном канале [5, 6, 11]. Одним из основных ориентиров на пояснично-крестцовом уровне является линия Якоби. Однако вариабельность ее расположения, а также трудности пальпаторной идентификации подвздошных гребней у тучных пациентов подчеркивают необходимость использования дополнительных анатомических ориентиров для снижения риска попадания в неправильный промежуток [12].

Малоинвазивные вмешательства, постоянно расширяющие свою нишу в хирургии позвоночника, нуждаются в интраоперационной поддержке рентгеновским оборудованием (рентгеноскопия, интраоперационная РКТ). Главные недостатки такого сопровождения — лучевая нагрузка на пациента и медицинский персонал, сложность эксплуатации и высокая стоимость аппаратуры [5, 12].

Таким образом, предлагаемая методика определения технических аспектов доступа основана на анализе рентгеноанатомических параметров заднего опорного комплекса посредством простого и доступного программного обеспечения. Разработанные устройства интраоперационного сопровождения позволяют реализовать предоперационный расчет, повысить качество и безопасность хирургического доступа, что дает право считать методику достойной альтернативой современным рентгеновским средствам идентификации необходимого уровня.

Контактная информация:

Ремов Павел Сергеевич — ассистент кафедры неврологии и нейрохирургии.

Гомельский государственный медицинский университет.

246000, г. Гомель, ул. Ланге, д. 5; e-mail:

neuro_ugokb2013@mail.ru.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: П. С. Р., М. В. О.

Сбор и обработка материала: П. С. Р.

Статистическая обработка данных: П. С. Р., М. В. О.

Написание текста: П. С. Р.

Редактирование: М. В. О.

Конфликт интересов отсутствует.

REFERENCES

1. Truumees E. A. History of lumbar disc herniation from Hippocrates to the 1990s. *Clin. Orthop.* 2015; 473(6): 1885—95.
2. Bodiu A. Diagnosis and operatory treatment of the patients with failed back surgery caused by herniated disk relapse. *J. Med. Life.* 2014; 7(4): 533—7.
3. Sobolevskiy B. M., Podchaynov V. S. Variant anatomy of the articular processes of the lumbar facet joints according to radiological methods of investigation. *Sovremennye problemy nauki i obrozovaniya.* 2013; 4: 1—6. (in Russian)
4. Mahato N. Pars inter-articularis and laminar morphology of the terminal lumbar vertebra in lumbosacral transitional variations. *N. Am. J. Med. Sci.* 2013; 5(6): 357—61.
5. Polishchuk N. E., Slynko A. V., Muravskiy I. S., Brinkach I. S. Topographical and anatomic principles of microdiscectomy for lumbar disks. *Ukrainskiy nevrokhirurgicheskiy zhurnal.* 2001; 3: 44—51. (in Russian)
6. Lien S., Liou N., Wu S. Analysis of anatomic morphometry of the pedicles and the safe zone for through-pedicle procedures in the thoracic and lumbar spine. *Eur. Spine J.* 2007; 16(8): 1215—22.
7. Site of DigitalCore, Co. Ltd (2009). Available at: <http://www.onis-viewer.com>.
8. Olizarovich M., Remov P. Microsurgical interventions on the spine using computer calculations and graphical visualization. *Novosti khirurgii.* 2016; 24: 592—600. (in Russian)
9. Yao Q., Wang S., Shin S., et al. Motion characteristics of the lumbar spinous processes with degenerative disc disease and degenerative spondylolisthesis. *Eur. Spine J.* 2013; 22(12): 2702—9.
10. Elizabeth Y., Sefdar N. Does less invasive spine surgery result in increased radiation exposure? *Clin. Orthop.* 2014; 472(6): 1738—48.
11. Tjardes T., Shafizadeh S., Rixen D., et al. Image-guided spine surgery: state of the art and future directions. *Eur. Spine J.* 2010; 19(1): 25—45.
12. Yurkovskiy A. M., Anikeyev O. I. Sonographic examination of the posterior ligamentous complex at the lumbar level: topographo-anatomic and methodical aspects. *Problemy zdoroviya i ekologii.* 2012; 32: 45—51. (in Russian)

Получена 07.06.17.