

Функциональные магнитно-резонансные исследования поясничного отдела позвоночника (обзор литературы)

А. В. Бажин*, Е. А. Егорова

ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России, кафедра лучевой диагностики

Functional Magnetic Resonance Imaging of the Lumbar Spine (Review)

A. V. Bazhin*, E. A. Egorova

Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokimov, Ministry of Healthcare of Russia, Department of Radiology

Реферат

Высокая распространенность дегенеративных изменений поясничного отдела позвоночника, значительная инвалидизация пациентов с хроническим болевым синдромом и вместе с этим низкая корреляция лучевой и клинической картин требуют поиска и внедрения в алгоритм диагностики новых методик обследования. Функциональные магнитно-резонансные исследования позволяют по-новому взглянуть на физиологию и патофизиологию процессов, происходящих при дегенеративных изменениях. Данные методики способны оценить практически все структуры позвоночно-двигательных сегментов и их взаиморасположение с образованиями позвоночного канала и межпозвоноковых отверстий. Кроме того, за счет исследования во время аксиальной нагрузки функциональные магнитно-резонансные методики позволяют определить признаки нестабильности мягкотканых структур позвоночника, а также наличие компрессии нервных структур.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография в вертикальном положении, поясничный отдел позвоночника, дегенеративные заболевания позвоночника.

Abstract

The high prevalence of the lumbar spine degenerative changes, significant disability of patients with chronic pain syndrome along with low correlation of radiological and clinical presentation requires searching and implementation of new survey techniques to the diagnostic algorithm. Functional magnetic-resonance

* **Бажин Александр Владимирович**, аспирант кафедры лучевой диагностики ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.

Тел.: +7 (495) 611-01-77. Электронная почта: avbazhin@yandex.ru

Bazhin Alexander Vladimirovich, Postgraduate of Department of Radiology, Moscow State Medical University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokoimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 127206, Russia, Moscow, Vucheticha ul., 9a.

Phone number: +7 (495) 611-01-77. E-mail: avbazhin@yandex.ru

imaging provides a new perspective to study the physiology and pathophysiology of degenerative processes. These techniques allow evaluating almost all the structures of the vertebral-motional segments and its positional relationship with anatomical structures of the vertebral canal and intervertebral foramen. In addition, functional magnetic resonance methods permit to detect the signs of instability of soft tissue structures of the spine and neural structures compression during the axial load researches.

Key words: Weight-Bearing Magnetic Resonance Imaging, Axial Load Magnetic Resonance Imaging, Lumbar Spine, Spine Degenerative Disease.

Актуальность

Дегенеративные изменения поясничного отдела позвоночника наиболее часто проявляются болью в спине. По данным эпидемиологических исследований в течение жизни хотя бы один эпизод люмбагии переносят 60–80 % населения, что является одной из самых частых причин обращения к врачам различных специальностей: невропатологам, ортопедам, хирургам, терапевтам. Боль в спине является второй по частоте причиной обращения к врачу после респираторных заболеваний и третьей причиной госпитализации пациентов. Учитывая, что наиболее часто клинически данная группа заболеваний проявляется у людей молодого и среднего возраста – 20–60 лет (чаще 30–50 лет), трудопотери от этой патологии занимают одно из ведущих мест [1–3].

У 10–20 % пациентов острая боль в спине трансформируется в хроническую. Именно эта группа пациентов характеризуется неблагоприятным прогнозом в плане выздоровления и высокой долей инвалидизации. При этом затраты на их лечение достигают 80 % всех расходов здравоохранения на терапию люмбагии [1, 2].

Актуальность данного вопроса и его значимость определяются необходимостью комплексного подхода в изучении различных аспектов как диагностики, так и лечения дегенеративных измене-

ний поясничного отдела позвоночника. Несмотря на высокую распространенность данных заболеваний среди населения и значительные успехи в их выявлении и терапии, остается высоким процент неудачных результатов хирургических вмешательств с рецидивированием корешковых болей. Это обусловило появление специфического термина «синдром неудачно оперированного позвоночника» [3].

До 10 % больных из общего числа страдающих дегенеративными заболеваниями позвоночника становятся инвалидами, причем среди оперированных больных общий уровень утраты трудоспособности составляет не менее 70 %. Даже после микродискэктомий не более 61 % оперированных могут возвратиться к прежней работе [3].

Проблемы, связанные с распространенностью дегенеративных изменений, инвалидизацией трудоспособного населения и высоким процентом послеоперационного рецидивирования болевого синдрома, ставят во главу угла возможность максимальной объективизации клинических проявлений.

Лучевая диагностика на данный момент является наиболее безопасным и доступным для пациента средством визуализации анатомических структур позвоночника и их дегенеративных изменений.

Функциональные методики в исследовании поясничного отдела позвоночника

За последние 10 лет был совершен прорыв в лучевой диагностике, связанный с широким внедрением в клиническую практику новых высокотехнологичных методов и методик — мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ). Они позволили объективно оценить кроме костных также соединительнотканые и нервно-мышечные структуры позвоночника и позвоночного канала (ПК). В то же время особенность устройства стандартных аппаратов позволяла проводить исследования только в положении лежа. Это несколько дискредитировало высокотехнологичные методы, так как без прямых данных о наличии нестабильности структур позвоночно-двигательных сегментов (ПДС) исследование становилось неполноценным, а диагностическая эффективность его значительно снижалась. Более того, внедрение в практику МРТ и МСКТ в ряде случаев не позволило исключить из алгоритма диагностики функциональные методики при стандартной рентгенографии [14, 15].

Важность визуализации позвоночника под воздействием функциональной нагрузки подтверждается экспериментальными работами. Это обусловлено особенностями строения и свойствами ПДС. Даже нормальные межпозвонковые диски (МПД) реагируют на нагрузку в виде снижения высоты на 1,4 мм и увеличения ширины на 0,75 мм. При этом необходимо учитывать, что нормальный МПД может выдержать до 12 000 Н аксиальной нагрузки, в то время как позвоночник с признаками дегенеративных изменений и нестабиль-

ности только 100 Н. Из-за меньшей устойчивости к нагрузке дегенеративно измененных МПД и их реакции в виде снижения высоты и увеличения ширины стенозы поясничного отдела позвоночника в значительной степени зависят от позы [4]. Все это указывает на необходимость внедрения в алгоритм диагностики исследования позвоночника во время нагрузки с целью определения истинного взаимоотношения структур ПДС, ПК и межпозвонковых отверстий (МПО), а также выявления признаков нестабильности [16].

Первой методикой, способной оценить признаки нестабильности поясничного отдела позвоночника, была рентгенография с функциональной нагрузкой — в вертикальном положении, которая в дальнейшем расширилась функциональными пробами, т.е. исследованием в положении максимального сгибания и разгибания.

Данная методика была предложена еще в 1944 г. F. Knutsson и до недавнего времени являлась единственной, позволявшей определить наличие нестабильности ПДС. Обосновано это тем, что смещения позвонков являются самыми ранними признаками дегенеративных изменений, а нестабильность их — основной причиной клинической симптоматики [3].

Внедрение функциональной рентгенографии позволило отчасти решить проблему диагностики нестабильности, особенно при выявлении смещений позвонков. Использованию данной методики способствовало широкое распространение рентгеновских аппаратов и относительно простое ее воспроизведение. В то же время Н. N. Herkowitz et al. (2011) указывают на необходимость использования функциональных проб

при стандартной рентгенографии только при подозрении на нестабильность ПДС, так как применение данного исследования повсеместно не приводит к значительному повышению диагностической эффективности рентгенографии при значимом увеличении лучевой нагрузки.

Кроме того, рентгенография не позволяла ответить на ряд важных вопросов из-за значительных ограничений. Во-первых, методика является проекционной, а следовательно, у нее выражен суммационный эффект, что затрудняет оценку всех структур ПДС. Во-вторых, на рентгенограммах из-за относительно низкого контрастного разрешения практически невозможна оценка соединительнотканых структур. В-третьих, исследование в крайних положениях позволяло выявлять нестабильность, в основном связанную с пассивной системой, что приводило к большому количеству ложноположительных результатов. Внедрение в клиническую практику других вариантов функциональных исследований практически никак не повлияло на диагностическую эффективность методики в целом. Использование контрастных исследований, таких, как миелография даже с функциональными пробами, также не позволяло оценить всю совокупность структур ПДС, а следовательно, и определить все признаки наличия нестабильности позвоночника. При перечисленных явных недостатках данные методики сопровождаются относительно высокой лучевой нагрузкой, а при миелографии — необходимостью инвазивного вмешательства [8]. Это привело к необходимости поиска других решений диагностики функциональных нарушений поясничного отдела позвоночника.

Для решения данной задачи было предложено 2 варианта проведения функциональных исследований при использовании высокотехнологичных методов диагностики.

Первый вариант — МР-томографы, способные проводить исследование в вертикальном положении [1, 16].

Второй вариант — аппараты дозированной аксиальной нагрузки, позволяющие имитировать вертикализацию при исследовании в лежачем положении [2, 16].

Внедрение вышеуказанных методик в клиническую практику за последние 10 лет в значительной степени изменило понимание нестабильности позвоночника и уточнило ее диагностические критерии. Однозначно это привело к изменению тактики лечения дегенеративных изменений поясничного отдела позвоночника. В частности, объем и вид нейрохирургических вмешательств сместились от удаления МПД в сторону установки различных аппаратов, компенсирующих потерянную при оперативном лечении функцию.

Первым аппаратом, позволяющим исследовать человека в вертикальном положении, был Stand-Up MRI (Fonar, США), выпущенный в 1996 г. Первые публикации, посвященные МРТ в вертикальном положении, были опубликованы Zamani et al. в 1998 г. [12]. Аппарат из-за использования электромагнита имел относительно низкую напряженность магнитного поля (0,6 Тл) и при этом довольно жесткие требования к своей установке и эксплуатации. Существующие аналоги, например G-Scan Brio (Esaote, Италия), основаны на постоянных магнитах, а следовательно, имеют более выраженные ограничения в возможности создания высокой напря-

женности магнитного поля с высокой его однородностью. Вышеперечисленные особенности приводят к снижению качества получаемых изображений и возможности исследования только позвоночника и крупных суставов. Учитывая указанные недостатки, данные аппараты могут быть востребованными только узкоспециализированными учреждениями [12, 15].

В то же время использование вертикального положения является естественным и не требует внесения поправок на методику исследования, что необходимо при его имитации. Более того, некоторые аппараты позволяют дополнительно проводить исследование в положении сидя и даже во время функциональных проб [10]. Однако в этом случае значимо увеличивается время, необходимое для получения изображений, что в условиях усиления болевого синдрома при наличии нестабильности приводит к снижению их качества. Отчасти данная проблема решается различными поддерживающими устройствами, что, по сути, приводит к дискредитации методики в силу существенного изменения характера нагрузки.

Для получения адекватной аксиальной нагрузки по данным экспериментальных исследований достаточным является поворот стола томографа под углом 82° по отношению к вертикали. Это также позволяет сохранить минимальную опору, что является важным, учитывая значительную продолжительность исследования [1].

Более гибкие возможности по внедрению в клиническую практику представляют приборы, имитирующие вертикальное положение за счет создания дозированной аксиальной нагрузки. Они представляют собой приставку к

деке стола томографа и соответственно могут использоваться со стандартными МСК- и МР-томографами. Это позволяет внедрять функциональные методики с меньшими затратами [6].

Несомненным преимуществом данных приборов является совместимость со стандартным оборудованием, используемым в общей практике. В то же время вертикальное положение в данных исследованиях имитируется, а следовательно, возникают сложности в получении качественных, правильных с методической стороны изображений. Изначальные модификации подобных устройств имели жесткий каркас, в котором для создания имитации вертикального положения вся нагрузка приходилась на надплечье. Это приводило к большому проценту неудачных исследований из-за двигательных артефактов, которые возникали вследствие усиления или появления болевого синдрома в области поясницы, а также неприятных ощущений от давления на надплечье [1].

В дальнейшем были разработаны аппараты более удобной конструкции, позволяющие равномерно распределить нагрузку на грудную клетку пациента. Это стало возможным благодаря использованию специальных мягких жилетов. К тому же данная модификация методики позволила уменьшить размеры оборудования, сделать его мобильным и более практичным в использовании. Единственным сертифицированным аппаратом из данной категории в настоящее время является DynaWell L-Spine (DynaWell Int. AB, Швеция), клиническое применение которого началось в 1999 г. [6].

По данным экспериментальных исследований, проведенных с использованием различных аппаратов дозиро-

ванной нагрузки, оптимальным для создания имитации вертикального положения является нагрузка в 50 % от массы тела пациента. При этом, учитывая, что МПД имеют упругоэластические свойства, экспозиция нагрузки перед исследованием должна составлять около 5 мин [2].

Реакция структур позвоночно-двигательных сегментов на аксиальную нагрузку

Первое, на что обратили внимание исследователи при использовании функциональных МР-методик, — это реакция поясничного отдела в целом и отдельных его элементов как следствие прямого воздействия на позвоночник аксиальной нагрузки. В частности, были отмечены характерные изменения статики позвоночника в виде усиления физиологического лордоза [15], данная реакция отмечалась как в норме, так и при дегенеративных изменениях [5]. А. В. Бажин и соавт. (2014, 2015) в своих исследованиях отмечали у пациентов наличие патологической реакции статики поясничного отдела позвоночника в виде уменьшения лордоза или формирования патологического кифоза, которая коррелировала с данными стандартной рентгенографии в вертикальном положении. Авторы также подчеркивали высокую воспроизводимость получаемых результатов.

Одним из важных вопросов диагностики изменений позвоночника является сколиотическая деформация. Для адекватного определения ее угла до сих пор используется рентгенография в прямой проекции в положении стоя. Функциональные методики МРТ за счет исследования во время аксиальной нагрузки также способны предоставить

информацию, связанную с искривлением оси позвоночника. В то же время данный метод не сопряжен с лучевой нагрузкой, что важно учитывать у пациентов молодого возраста, особенно при необходимости динамического наблюдения. Р. Knott et al. (2010) в своей работе указывает, что величина ошибки при измерении угла Кобба по данным классической рентгенографии и функциональной МРТ сопоставимы с ошибкой при повторной экспертной оценке рентгенограмм одного пациента другим специалистом. Однако оценка сложных статических деформаций, сопровождающихся выраженной торсией тел позвонков, затруднительна по плоскостным изображениям, отчасти эта проблема может быть решена при использовании мультипланарных реконструкций.

В оценке сколиотической деформации существуют также особенности, связанные с видом используемой методики. МРТ в вертикальном положении обладает рядом недостатков, связанных с физико-техническими особенностями томографа, в частности, относительно малой областью однородного магнитного поля. Это приводит к выраженным геометрическим искажениям по краям изображения, что отрицательно сказывается на качестве измерений, особенно при деформациях, выходящих за пределы поясничного отдела позвоночника.

По сравнению с МРТ в вертикальном положении методика с дозированной аксиальной нагрузкой из-за использования высокопольных томографов классической закрытой конструкции практически лишена вышеуказанного недостатка.

В диагностике листезов определяющим является наличие их нестабильности. До появления функциональных

МР-методик единственной возможностью определения данной характеристики была рентгенография с функциональными пробами – в положении максимального сгибания и разгибания. Данное исследование давало возможность дифференцировать стабильные смещения позвонков от таковых с наличием гипермобильности и нестабильности. Однако значительная лучевая нагрузка, отсутствие прямых данных о взаиморасположении мягкотканых структур при рентгенографии с функциональными пробами сильно ограничивало возможности методики и требовало использования в алгоритме диагностики высокотехнологичных методов. С появлением МРТ с функциональной нагрузкой возникла альтернативная методика оценки листезов позвонков. Так же как и при стандартной рентгенографии, во время сравнения исследований в положении лежа и во время аксиальной нагрузки отмечались характерные реакции в виде отсутствия изменений или увеличения степени смещения [12]. В ряде случаев это позволяло определить признаки их нестабильности, при увеличении листеза более чем на 3 мм [1, 2, 12].

По данным многочисленных исследований характерным изменениям подвергались и МПД. Во время нагрузки отмечалось уменьшение их высоты и снижение интенсивности сигнала на T2-ВИ [15]. Вторая характеристика, скорее всего, имеет в своей основе физико-технические особенности получения изображений, и каких-либо корреляций данных изменений со степенью дегенеративных изменений, нестабильностью структур выявлено не было [1].

Уменьшение высоты МПД отражает их прямой ответ на увеличение аксиаль-

ной нагрузки. Данный параметр имеет ограниченную значимость, так как не дает представления об изменении взаиморасположения мягкотканых структур ПДС с невральными структурами ПК и МПО. С этой целью в работах А. В. Бажина и соавт. (2014, 2015) были вычислены физиологические нормы динамики изменения сагиттального размера МПД. Отмечалась разница в величине данной характеристики в зависимости от уровня измерения, увеличивалась в каудальном направлении и имела прямую зависимость от величины нагрузки, приходящейся на данный ПДС.

Оценка физиологической нормы ответа МПД на нагрузку дала возможность определить наличие нестабильности при наличии дегенеративных изменений. Это важно при наличии протрузий и грыж, которые могут значительно изменять свои геометрические характеристики при нагрузке, а следовательно, уменьшать площадь ПК и МПО, приводя к сдавлению соответствующих невральных структур.

Определение динамики линейных размеров МПД имеет важное значение в оценке стабильности данных структур, однако имеет косвенный характер к определению признаков стеноза ПК. В последнее время большое внимание уделяется определению признаков компрессии невральных структур, для чего измерялась динамика сагиттального размера ПК [11]. Данный параметр довольно ограниченно отражает истинный ответ всех структур ПДС на нагрузку, и более широкое внимание было уделено определению площади поперечного сечения ПК [2]. По данным большинства исследований значимым было принято считать отрицательную динамику изменения площади ПК при функциональ-

ном исследовании более 15 мм². Однако в последних работах, проведенных на достаточном клиническом материале, данная величина значимо зависела от уровня измерения. Так, на уровне ПДС L1–2, L2–3, L3–4, L4–5 физиологическая реакция превышает общепринятую величину, а на уровне L5–S1 она практически на 1/3 меньше. Более адекватным при оценке значимости сокращения площади ПК в верхнепоясничных ПДС является величина 20 мм², на уровне пояснично-крестцового сегмента — 10 мм² [2].

Учитывая данные динамики изменения площади ПК, полученные в ходе исследований, проведенных на волонтерах, проводилась оценка адекватности ответа при дегенеративных изменениях. Так, чрезмерная реакция мягкотканых структур ПДС (МПД и желтые связки) приводила в ряде случаев к значимому сужению позвоночного канала — динамическому стенозу, или возникновению его во время функциональных исследований — скрытому стенозу. При этом отмечалась существенная разница во вкладе в уменьшение площади ПК различных составных частей ПДС. Чаще всего более значимым была реакция желтых связок, что отражает анатомические особенности их расположения — охватывают 2/3 периметра ПК [1, 2].

С появлением в арсенале лучевой диагностики функциональных МР-методик исследования поясничного отдела позвоночника значительно изменилось понимание нестабильности. Рентгенография с функциональными пробами позволяла определить только общие признаки нестабильности в виде смещения позвонков. Однако изучение мягкотканых структур ПДС во время аксиальной нагрузки указывает на важ-

ное их значение в понимании возникновения клинических проявлений дегенеративных изменений поясничного отдела позвоночника.

Заключение

За 10 лет исследований возникли 2 конкурирующие методики, определение возможностей каждой из которых стало целью ряда научных работ. Однако до сих пор не определены относительные возможности функциональных исследований. Это важно, так как методики кардинально отличаются друг от друга способом достижения нагрузки: либо используется исследование в вертикальном положении, либо таковое имитируется с помощью специального устройства. В первом случае на первый план выходит физиологичность, однако это же приводит к техническим сложностям при создании томографов, а соответственно жестким ограничениям в качестве, длительности исследования и универсальности данных аппаратов. Во втором случае использование устройств по созданию дозированной нагрузки требует определения адекватности имитации вертикального положения.

Высокая распространенность дегенеративных заболеваний позвоночника и значительная инвалидизация пациентов с данной группой заболеваний, даже при использовании всего арсенала современной медицины, требуют изменения подходов в диагностике и лечении. Применение классических методик лучевой диагностики позволяет получить достоверную визуализацию всех анатомических структур поясничного отдела позвоночника. Однако информации только о морфологических изменениях при дегенеративных заболеваниях недостаточно, что подчеркивается высо-

ким процентом ложноположительных и ложноотрицательных результатов диагностики, даже с использованием высокотехнологичных методик, таких, как МРТ.

В настоящее время для объективизации клинической картины, а следовательно, и более адекватного выбора характера и объема медицинской помощи пациентам с хроническим болевым синдромом области поясницы в алгоритм диагностики необходимо внедрять функциональные МР-методики. Данные исследования дают возможность визуализации всех структур ПДС во время функциональной нагрузки. Это позволяет оценивать истинные взаимоотношения с невральными структурами, определять признаки динамических и скрытых стенозов, а также степень участия в данных процессах различных структур ПДС.

Список литературы

1. *Бажин А. В., Егорова Е. А., Козлов А. Э.* Применение магнитно-резонансной томографии в вертикальном положении при исследовании поясничного отдела позвоночника // Радиология – практика. 2014. № 2. С. 5–13.
2. *Бажин А. В., Егорова Е. А., Новоселова Е. В., Васильев Ю. А., Пахомов Г. А., Беркутов Е. С., Дуров А. Н.* Методика магнитно-резонансной томографии с аксиальной нагрузкой в оценке поясничного отдела позвоночника в норме и при дегенеративных изменениях // Мед. вестн. МВД. 2015. Т. 74. № 1. С. 49–54.
3. *Щедренко В. В., Яковенко И. В., Аникеев Н. В., Себелев К. И., Могучая О. В.* Малоинвазивная хирургия дегенеративных заболеваний позвоночника. СПб., 2011. 435 с.
4. *Ayturk U. M., Garcia J. J., Puttlitz C. M.* The micromechanical role of the annulus fibrosus components under physiological loading of the lumbar spine // J. of Biomech. Eng. 2010. V. 132. № 6. P. 061007.
5. *Hansen B., Bendix T., Grindsted J., Bliddal H., Hansen P., Christensen R., Riis R., Boesen M.* The effect of low back pain on positional changes in the lumbar lordosis: a cross-sectional comparison with healthy controls // Insights Imag. 2015. № 6. P. 368.
6. *Hebelka H., Brisby H., Hansson T.* Comparison between pain at discography and morphological disc changes at axial loaded MRI in patients with low back pain // Eur. spine J. 2014. V. 23. № 10. P. 2075–2082.
7. *Herkowitz H. N., Garfin S. R., Eismont F. J., Bell G. R., Balderston R. A.* Rothman-Simeone The Spine (6th ed.). Elsevier, 2011, 2000 p.
8. *Kapural L., Kim Ph., Deer T.* Diagnosis, Management, and Treatment of Discogenic Pain. Elsevier, 2011. P. 29–47.
9. *Knott P., Mardjetko S., Kim R., Cotter T., Techy F., Rollet M.* Comparing axial loaded MRI to standing radiographs in the evaluation of AIS // Scoliosis. 2010. № 5. P. O12.
10. *Lee S. H., Daffner S. D., Wang J. C.* Does lumbar disk degeneration increase segmental mobility in vivo? Segmental motion analysis of the whole lumbar spine using kinetic MRI // J. Spinal. Disord. Tech. 2014. V. 27. № 2. P. 111–116.
11. *Martins N., Nunes R. G., Ferreira H., Figueiredo J. P., Barroso L., Mineiro J. D.* Impact of patient positioning during MRI of the Lumbar Spine in patients with stenosis: changes in lordosis and canal dimensions // Insights Imag. 2015. № 6. P. 367–368.

12. *Niggemann P., Kuchta J., Beyer H. K. et al.* Spondylolysis and spondylolisthesis: prevalence of different forms of instability and clinical implications // *Spine*. 2011. V. 36. № 22. P. 1463–1468.
13. *Ottonello C., Giardino A., Giuliani P., Messina C., Di Leo G., Sardanelli F.* Differences between supine and orthostatic positions in facet joint (FJ) fluid and spondylolisthesis at lumbar-spine MRI // *Insights Imag*. 2015. № 6. P. 368.
14. *Segebarth P. B., Kurd M. F., Haug P. H., Davis R.* Routine Upright Imaging for Evaluating Degenerative Lumbar Stenosis: Incidence of Degenerative Spondylolisthesis Missed on Supine MRI // *J. Spinal. Disord. Tech*. 2014. doi: 10.1097/BSD.0000000000000205.
15. *Shymon S. J., Yaszay B., Dwek J. R., Proudfoot J. A., Donohue M., Hargens A. R.* Altered disc compression in children with idiopathic low back pain: an upright magnetic resonance imaging backpack study // *Spine*. 2014. V. 39. № 1. P. 243–248.
16. *Yoder J. H., Peloquin J. M., Song G., Tustison N. J., Moon S. M., Wright A. C., Vresilovic E. J., Gee J. C., Elliott D. M.* Internal three-dimensional strains in human intervertebral discs under axial compression quantified noninvasively by magnetic resonance imaging and image registration // *J. Biomech. Eng*. 2014. V. 136. № 11. doi: 10.1115/1.4028250.
3. *Shchedrenok V. V., Yakovenko I. V., Anikeev N. V., Sebelev K. I., Moguchaya O. V.* Minimally invasive surgery of degenerative diseases of the spine. St. Petersburg, 2011. 435 p.
4. *Ayturk U. M., Garcia J. J., Puttlitz C. M.* The micromechanical role of the annulus fibrosus components under physiological loading of the lumbar spine. *Journal of Biomechanical Engineering*. 2010. V. 132. No. 6. P. 061007.
5. *Hansen B., Bendix T., Grindsted J., Bliddal H., Hansen P., Christensen R., Riis R., Boesen M.* The effect of low back pain on positional changes in the lumbar lordosis: a cross-sectional comparison with healthy controls. *Insights Imaging*. 2015. No. 6. P. 368
6. *Hebelka H., Brisby H., Hansson T.* Comparison between pain at discography and morphological disc changes at axial loaded MRI in patients with low back pain. *European Spine Journal*. 2014. V. 23. No. 10. P. 2075–2082.
7. *Herkowitz H. N., Garfin S. R., Eismont F. J., Bell G. R., Balderston R. A.* Rothman-Simeone. *The Spine* (6th ed.). Elsevier, 2011. 2000 p.
8. *Kapural L., Kim Ph., Deer T.* *Diagnosis, Management, and Treatment of Discogenic Pain*. Elsevier, 2011. P. 29–47.
9. *Knott P., Mardjetko S., Kim R., Cotter T., Techy F., Rollet M.* Comparing axial loaded MRI to standing radiographs in the evaluation of AIS. *Scoliosis*. 2010. No. 5. P. O12.
10. *Lee S. H., Daffner S. D., Wang J. C.* Does lumbar disk degeneration increase segmental mobility in vivo? *Segmental magnetic resonance imaging with axial load for assessment of lumbar spine under normal and degenerative changes*. *MIA Medical Bulletin*. 2015. V. 74. No. 1. P. 49–54.

References

- motion analysis of the whole lumbar spine using kinetic MRI. *J. Spinal. Disord. Tech.* 2014. V. 27. No. 2. P. 111–116.
11. *Martins N., Nunes R. G., Ferreira H., Figueiredo J. P., Barroso L., Mineiro J. D.* Impact of patient positioning during MRI of the Lumbar Spine in patients with stenosis: changes in lordosis and canal dimensions. *Insights Imaging.* 2015. No. 6. P. 367–368.
 12. *Niggemann P., Kuchta J., Beyer H. K. et al.* Spondylolysis and spondylolisthesis: prevalence of different forms of instability and clinical implications. *Spine.* 2011. V. 36. No. 22. P. 1463–1468.
 13. *Ottonello C., Giardino A., Giuliani P., Messina C., Di Leo G., Sardanelli F.* Differences between supine and orthostatic positions in facet joint (FJ) fluid and spondylolisthesis at lumbar-spine MRI. *Insights Imaging.* 2015. No. 6. P. 368.
 14. *Segebarth P. B., Kurd M. F., Haug P. H., Davis R.* Routine Upright Imaging for Evaluating Degenerative Lumbar Stenosis: Incidence of Degenerative Spondylolisthesis Missed on Supine MRI. *J. Spinal. Disord. Tech.* 2014. doi: 10.1097/BSD.0000000000000205.
 15. *Shymon S. J., Yaszay B., Dwek J. R., Proudfoot J. A., Donohue M., Hargens A. R.* Altered disc compression in children with idiopathic low back pain: an upright magnetic resonance imaging backpack study. *Spine.* 2014. V. 39. No. 1. P. 243–248.
 16. *Yoder J. H., Peloquin J. M., Song G., Tustison N. J., Moon S. M., Wright A. C., Vresilovic E. J., Gee J. C., Elliott D. M.* Internal three-dimensional strains in human intervertebral discs under axial compression quantified noninvasively by magnetic resonance imaging and image registration. *J. Biomech. Eng.* 2014. V. 136. No. 11. doi: 10.1115/1.4028250.

Сведения об авторах

Бажин Александр Владимирович, аспирант кафедры лучевой диагностики ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.

Тел.: +7 (495) 611-01-77. Электронная почта: avbazhin@yandex.ru

Bazhin Alexander Vladimirovich, Postgraduate of Department of Radiology, Moscow State Medical University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokoimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: Vucheticha ul., 9a, Moscow, 127206, Russia.

Phone number: +7 (495) 611-01-77. E-mail: avbazhin@yandex.ru

Егорова Елена Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор кафедры лучевой диагностики ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова» Минздрава России.

Адрес: 127206, г. Москва, ул. Вучетича, д. 9а.

Тел.: +7 (495) 611-01-77. Электронная почта: tylsit@mail.ru

Egorova Elena Alekseevna, M. D. Med., Professor of Department of Radiology, Moscow State Medical University of Medicine and Dentistry named after A. I. Evdokoimov, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: Vucheticha ul., 9a, Moscow, 127206, Russia.

Phone number: +7 (495) 611-01-77. E-mail: tylsit@mail.ru

Финансирование исследования и конфликт интересов.

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов.