

С.С. Кочкартаев¹, Е.А. Данилова², Ш.Ш. Шатурсунов¹, Н.С.Осинская²

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МЕЖПОЗВОНКОВЫХ ДИСКОВ ПРИ ОСТЕОХОНДРОЗЕ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

¹Республиканский научно - практический медицинский центр травматологии и ортопедии
Министерства Здравоохранения Республики Узбекистан, Ташкент²Институт ядерной физики Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент

Контактное лицо: Данилова Елена Артаваздовна: danilova49@mail.ru

РЕФЕРАТ

Прогрессирующая распространенность, существенные экономические потери, затраты по обязательному медицинскому страхованию и высокотехнологичной медицинской помощи превратили проблему поясничного остеохондроза в социально значимую. Актуальность данной проблемы продиктована необходимостью изучения этиопатогенеза течения дегенеративного изменения для комплексного подхода при выборе адекватного лечения. Существенным звеном этой проблемы является изучение механизма гистологических изменений в тканях межпозвонковых дисков при грыжах межпозвонковых дисков позвоночника, среди которых наименее исследованным являются вопросы строения межклеточного вещества и состояния химических элементов в ходе течения дегенеративного процесса.

Прогрессирование патологического процесса в позвоночнике в значительной степени способствует изменениям метаболизма соединительной ткани, которая тесным образом связана с нарушением микроэлементного баланса.

Цель: Оценка изменения гомеостаза межпозвонкового диска, в частности изучение микроэлементного состава межпозвонкового диска при различных стадиях развития грыж поясничного отдела позвоночника с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа.

Материал и методы: Изучаемый биоматериал получен интраоперационно, при традиционной микродискектомии при грыжах позвоночника на уровне VL3-4, VL4-5, VL5-S1. Методом инструментального нейтронно-активационного анализа проведено исследование биоматериалов, представленного фрагментами тканей удаленной части грыжи межпозвонкового диска, находящихся на разных стадиях дегенеративного процесса.

Результаты: Определено количественное содержание 22 макро- и микроэлементов в удаленных фрагментах. В результате полученных данных установлено, что в тканях межпозвонковых дисков происходит поэтапное изменение содержания ряда эссенциальных элементов в зависимости от стадии развития процесса дегенерации.

Заключение: Изменения микроэлементного состава свидетельствуют о нарушении метаболических процессов, происходящих в межпозвонковых дисках, а связь микроэлементного состава тканей диска и течения дегенеративного процесса может быть использована для прогнозирования состояния больного и выбора адекватного лечения.

Ключевые слова: остеохондроз, грыжа диска, межпозвонковые диски, нейтронно-активационный анализ, микроэлементы

Для цитирования: Кочкартаев С.С., Данилова Е.А., Шатурсунов Ш.Ш., Осинская Н.С. Изучение микроэлементного состава межпозвонковых дисков при остеохондрозе поясничного отдела позвоночника // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67. № 1. С. 83–86. DOI: 10.12737/1024-6177-2022-67-1-83-86

Investigation of the Microelement Content of Intervertebral Disc in Osteochondrosis of the Lumbar Spine

S.S. Kochkartaev¹, E.A. Danilova², Sh.Sh. Shatur sunov¹, N.S. Osinskaya²¹Republican Scientific and Practical Medical Center of Traumatology and Orthopedics, Tashkent, Uzbekistan²Institute of Nuclear Physics, Tashkent, Uzbekistan

Contact person: Danilova Elena Artovazdovna: danilova49@mail.ru

ABSTRACT

The progressive prevalence, significant economic losses, the cost of compulsory health insurance and high-tech medical care have turned the problem of lumbar osteochondrosis into a socially significant issue. The relevance of this problem is dictated by the need to study the etiopathogenesis of the course of degenerative changes for an integrated approach when choosing an adequate treatment.

The progression of the pathological process in the spine significantly contributes to changes in the metabolism of connective tissue, which is closely associated with the violation of microelements.

Purpose: Evaluation of changes in the homeostasis of the intervertebral disc, in particular the study of the microelement composition of the intervertebral disc at various stages of development of hernias of the lumbar spine using instrumental neutron activation analysis.

Material and methods: The studied biomaterial was obtained intraoperatively, with traditional microdiscectomy in herniations of the spine at the level of VL3-4, VL4-5, VL5-S1. By the method of instrumental neutron activation analysis, a study of biomaterials, represented by tissue fragments of the remote part of the hernia of the intervertebral disc, located at different stages of the degenerative process, was carried out.

Results: The quantitative content of 22 macro- and microelements in the removed fragments was determined. As a result of the data obtained, it was found that in the tissues of the intervertebral discs, a gradual change in the content of a number of essential elements occurs, depending on the stage of development of the degeneration process.

Conclusion: Changes in the microelement composition indicate metabolic processes occurring in the intervertebral discs, and the relationship of the microelement composition of the disc tissue and the course of the degenerative process can be used to predict the condition of the patient and choose an adequate treatment.

Keywords: osteochondrosis, disc herniation, intervertebral discs, neutron activation analysis, microelements

For citation: Kochkartaev SS, Danilova EA, Shatur sunov ShSh, Osinskaya NS. Investigation of the Microelement Content of Intervertebral Disc in Osteochondrosis of the Lumbar Spine. Medical Radiology and Radiation Safety. 2022;67(1):83-86. DOI: 10.12737/1024-6177-2022-67-1-83-86

Введение

В настоящее время в мире отмечается рост стойкой утраты трудоспособности за счет патологических состояний позвоночного столба, объединенных термином «болезни цивилизации». Среди них одно из ведущих мест занимает поясничный остеохондроз, который в структуре первичной инвалидности при заболеваниях нервной системы занимает 3 место [1, 2].

Клинические проявления остеохондроза позвоночника составляют в структуре заболеваемости до 68 % всех заболеваний нервной системы. На фоне общего нарастания частоты остеохондроза позвоночника отмечается увеличение в 2,2 раза числа больных среди лиц моложе 25 лет [3, 4].

Этиопатогенез остеохондроза позвоночника у людей в настоящее время представляет собой одну из наиболее актуальных проблем, освещенную в научной литературе недостаточно. Существенным звеном этой проблемы является изучение механизма гистологических изменений в тканях межпозвоночных дисков при грыжах межпозвоночных дисков позвоночника, среди которых наименее исследованным являются вопросы строения межклеточного вещества и состояние химических элементов при течение дегенеративного процесса. Дегенерация дисков происходит гораздо раньше, чем других тканей опорно-двигательного аппарата, первые однозначные признаки дегенерации поясничных дисков видны в возрастной группе 11–16 лет [5–7].

Современные исследования свидетельствуют, что важнейшим звеном патогенеза является нарушение молекулярной структуры соединительной ткани, в которой происходят процессы ремоделирования, включающее как деградиацию, так и синтез внеклеточного матрикса, составляющего основу межпозвоночного хряща. Прогрессирование патологического процесса в позвоночнике в значительной степени способствует изменениям метаболизма соединительной ткани, которая тесным образом связана с нарушением микроэлементного баланса [5].

Известно, что целый ряд микроэлементов принимает участие в формировании структуры коллагена, эластина и их дефицит может привести к деминерализации костной и оксификации хрящевой ткани [8].

Микроэлементы связаны с основными функциями организма: обменными процессами, ростом и развитием, размножением, кроветворением. Они входят в состав витаминов, металлоэнзимов, участвуют в синтезе белков, в обмене нуклеиновых кислот [9].

В современном мире все большее значение приобретают открытия и исследования, совершаемые на стыке наук. Одним из наиболее перспективных в этом плане видится соединение биологических исследований и последних достижений в области физики. Получаемые результаты нередко приводят не только к переосмыслению концепций наук о живой природе, но и зачастую к значимым практическим результатам [3, 10].

Использование физико-химических методов исследования дает возможность получения данных в самых неожиданных областях медицинской биологии. В настоящее время в мировой практике применяются различные методы количественного определения химических элементов в биосубстратах человека.

Наиболее используемыми методами являются метод атомно-абсорбционной спектроскопии, плазменная масс-спектрометрия и нейтронно-активационный анализ. Эти методы позволяют в одной пробе биосубстрата (кровь, волосы, ногти, моча) одновременно определять несколько микроэлементов, что очень важно для изучения взаимовлияния этих элементов. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки [11, 12].

Инструментальный нейтронно-активационный метод (ИНАА) – также многоэлементный метод, который позволяет определять значительное число элементов в различных биосубстратах с исключительно высокой чувствительностью. Важным достоинством метода является простая пробоподготовка, не требующая разложения пробы, отсутствие поправки на холостой опыт, малый расход пробы, высокая селективность и исключительно высокая производительность. Пределы обнаружения отдельных элементов достигают 1 нг/г.

Целью настоящего исследования явилась оценка изменения гомеостаза межпозвоночного диска, в частности изучение микроэлементного состава межпозвоночного диска при различных стадиях развития грыж поясничного отдела позвоночника с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа.

Материалы и методы

Забор биоматериала проводился интраоперационно, при традиционной микродискэктомии. С целью оценки изменений микроэлементного состава тканей межпозвоночного диска (МПД) при грыжах на уровне VL3-4, VL4-5, VL5-S1 весь биоматериал был разделен на 3 группы по стадиям развития грыжи диска и по возрастным особенностям. Первую группу (А) составили пациенты с начальной стадией развития дегенеративного процесса в дисках; вторую (В) группу пациентов – со средней стадией развития дегенеративного процесса в дисках и третью (С) группу – с третьей стадией развития дегенеративного процесса.

В первую группу вошли 8 фрагментов тканей удаленной части грыжи МПД, полученные интраоперационно, при традиционной микродискэктомии. Данную группу составили пациенты в возрасте от 24 до 36 лет (средний возраст 29,5 лет), у которых клинико-неврологический статус характеризовался нестойким болевым синдромом (боли уменьшались в покое и при ходьбе, но усиливались при нагрузках), развитием нервно-мышечнотоническим синдромом и нарушением ортопедического статуса в виде рефлекторно-анталгической установки поясничного отдела позвоночника. Инструментальные методы (Спондилография, МРТ, МСКТ) исследования указывали на начальные проявления остеохондроза, с развитием грыжи диска размерами от 3 до 5 мм [3, 10]. Удаленный фрагмент диска по консистенции был близок к нормальному, но творожистого характера, повышенного уровня гидрофильности ткани, фрагменты удалялись комочками в виде мелких фрагментов.

Вторую группу составили пробы полученные во время операции у 7 пациентов в возрасте от 37 до 44 лет (средний возраст составил 41 год). Клинико-неврологическая характеристика этих пациентов отмечалась стойким болевым синдромом при ходьбе с незначительным уменьшением болей в покое в вынужденной позе, а также ограничением движения в позвоночнике, развитием мышечно-тонического синдрома и симптомов натяжения нервов. В этой группе степень развития дегенерации диска оценивалась как средняя, интраоперационный биосубстрат соответствовал данным морфологического субстрата по МРТ исследованию. Рентгенологические данные указывали на развитие 2-ой – 3-ей степени развития остеохондроза [3, 10]. Удаленная часть грыжи – биопрепарат по консистенции напоминал ткань волокнисто-соединительного характера, эластичную, растягивающуюся, но при этом быстро рвущуюся, диски удалялись частями. Фрагменты диска отличались от проб I-ой группы меньшей гидрофильностью.

Третью группу полученных проб составили 7 биопрепаратов, полученных во время операции дискэктомии соответствующих пациентов. Средний возраст пациентов колебался от 45 до 60 лет (средний возраст пациентов составил 53 года). Клиническая характеристика этих пациентов сопровождалась сильными стойкими болями, не уменьшающимися даже в покое, резким ограничением движения, ярко выраженным мышечно-тоническим синдромом, симптомами натяжения нервов. Результаты инструментальных исследований констатировали 3–4 степень развития дегенеративно-деструктивного изменения позвоночно-двигательного сегмента позвоночника, с развитием грыжи межпозвоночных дисков интраканальной и подвздошной локализации.

Исследование образцов биоматериала на содержание макро- и микроэлементов проводился в лаборатории активационного анализа Института ядерной физики АН Республики Узбекистан инструментальным нейтронно-активационным анализом и позволил определить содержание 22 микроэлементов в дегенеративно-деструктивно измененных тканях МПД.

Методика подготовки образцов

Полученные интраоперационные фрагменты межпозвоночного диска были промыты дистиллированной водой и высушены до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре не выше 60°С. Высушенные образцы растирали в фарфоровой ступке до однородной массы, затем взвешивали (по две навески: 40 мг – для анализа по короткоживущим радионуклидам и 80-90 мг – для анализа по средне- и долгоживущим радионуклидам) и упаковывали в маркированные полиэтиленовые пакеты.

Методика ИНАА определения элементов

Инструментальный нейтронно-активационный анализ позволяет определить в одном образце более 20 элементов. При этом для их определения приходится прибегать к многократному облучению и достаточно длительному времени измерения. Для определения содержания элементов по нуклидам с различными периодами полураспада приходится применять различные временные режимы анализа (время облучения, остывания, измерения). Разные режимы требуют либо отдельных навесок образцов, либо использования одной навески для повторных облучений, что увеличивает время проведения анализа из-за необходимости выжидания распада короткоживущих нуклидов после первого облучения.

Разработанная методика нейтронно-активационного определения элементов в исследуемых фрагментах МПД заключается в следующем:

- Определение короткоживущих радионуклидов. Образцы вместе с эталонами упаковывали в полиэтиленовый контейнер и облучали в вертикальном канале реактора потоком нейтронов 5×10^{13} нейтрон/см²·с в течение 15 сек. Измерение наведенной активности проводили дважды – через 15–10 мин после облучения для определения хлора и через 4 ч – для определения натрия, меди, калия и марганца;
- Определение среднеживущих радионуклидов. Для определения содержания кальция, брома, лантана, золота образцы заворачивали в алюминиевую фольгу и облучали в мокром канале реактора в течение 15 ч при том же потоке. Измерение наведенной активности проводили через 10 сут после облучения по γ -линиям соответствующих радионуклидов [13];
- Определение долгоживущих радионуклидов. Для определения содержания долгоживущих радионуклидов, облученные в течение 15 ч пробы, измеряли через месяц после облучения по соответствующим γ -линиям.

Для регистрации наведенной активности использовали детектор из германия высокой чистоты ($V=120 \text{ см}^3$) с разрешением 1,8 кэВ по γ -линии Co-60 и гамма-спектрометр с компьютерным программным обеспечением. Обработка данных проводилась по программе GENIE 2000. Максимальная погрешность активационного метода определения элементов не превышала 12 %. Проведенные исследования позволили определить более 20 химических элементов. Точность определения того или иного элемента проверяли сравнением, полученных данных с аттестованными значениями стандартных образцов сравнения МАГАТЭ (IAEA-336, IAEA-375) и NIST Standard Reference Material 1572 – CITRUS LEAVES.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного ИНАА изучен микроэлементный состав тканей при грыжах МПД поясничного отдела позвоночника и получены соответствующие количественные показатели содержания микроэлементов в исследуемых биосубстратах, представленные в табл. 1. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 6.0

Анализ количественных содержаний элементов позволил характеризовать изменение элементного состава тканей диска по мере развития дегенеративного процесса заболевания от одной группы к другой.

Сравнение изменений в содержание определенных элементов Au, Br, Cr, Hg, Hf, Ni, Sc, Fe и Co показало, что снижение содержания этих элементов в тканях диска происходит по мере развития дегенеративно-деструктивного процесса от 1-ой группы к третьей, и при этом увеличивается содержание калия, селена и цинка. Сравнивая данные этих элементов, можем сказать, что организм, теряя одни элементы (Fe, Cr, Br), замещает их увеличением других элементов (K, Zn).

Понижение содержания большинства элементов возможно в связи с тем, что основным переносчиком кислорода в клетки является железо, содержание которого по мере нарастания стадии заболевания уменьшается. Вместе с кислородом в клетки межпозвоночных дисков доставляются вода и элементы.

Содержание Na меняется по мере развития заболевания, при этом этот элемент, как известно, является важнейшим внеклеточным катионом, участвующим в регу-

Таблица 1

Содержание элементов в межпозвоночных дисках в зависимости от стадии заболевания, мкг/г
The content of elements in intervertebral discs depending on the stage of the disease, $\mu\text{g/g}$

Эл-т	Все	I Группа (A)	II Группа (B)	III Группа (C)
Ag	0,040±0,0062	0,046±0,016	0,031±0,0030	0,042±0,0086
Au	0,0059±0,00056	0,0072±0,0014	0,0055±0,00024	0,0048±0,00058
Br	12±1,6	18±3,2	7,1±0,79	9,2±0,54
Ca	3500±1100	3400±1100	1700±290	5500±3300
Cl	1200±280	1400±610	1000±310	1200±520
Co	0,076±0,0092	0,093±0,015	0,063±0,011	0,069±0,020
Cr	0,62±0,060	0,78±0,13	0,53±0,06	0,52±0,044
Eu	0,0017±0,00023	0,0012±0,00023	0,0017±0,00054	0,0023±0,00035
Fe	46±4,4	52±9,2	48±4,9	36±7,0
Hf	0,0062±0,0012	0,0077±0,0031	0,0070±0,00027	0,0036±0,0015
Hg	0,015±0,0028	0,021±0,0065	0,010±0,0025	0,013±0,0039
K	860±120	760±240	870±120	950±230
La	0,015±0,0030	0,018±0,0075	0,012±0,0021	0,014±0,0039
Mn	1,3±0,2	1,3±0,36	0,98±0,22	1,6±0,43
Na	6200±670	6100±1500	5600±670	6900±1100
Ni	17±5,8	26±16	11±0,56	14±4,9
Rb	0,76±0,090	0,72±0,020	0,83±0,13	0,74±0,14
Sb	0,032±0,0041	0,036±0,0059	0,033±0,0085	0,026±0,0074
Sc	0,0052±0,00071	0,0065±0,0015	0,0059±0,00096	0,0030±0,00049
Se	0,34±0,028	0,30±0,025	0,36±0,073	0,37±0,041
Sr	5,4±1,4	11±2,8	1,4±0,36	7,5±2,5
Zn	16±0,80	15±0,90	14±1,1	19±1,5

ляции распределения воды в организме. От натрия зависит транспорт аминокислот, сахаров, различных неорганических и органических ионов через мембраны клеток, он играет роль при механизмах возбуждения и сокращения [12]. Во второй группе содержание натрия резко снижается, а в третьей группе оно также резко повышается, тем самым можно предположить, что происходит нарушение гомеостаза тканевой распределением водного баланса. За счет этого содержание эссенциального элемента хлора (Cl) незначительно уменьшается, точнее, происходят колебательные изменения количественного состава по группам. Это, видимо, возможно из-за включения компенсаторного механизма работы организма в регуляции кислотно-щелочного равновесия в тканях.

Следует обратить внимание на ряд элементов, содержание которых в начале развития дегенеративного процесса снижается (группа В), а затем повышается. К таким элементам относятся Mn, Br, Ca, Sr, Ni. Их содержание в группе В понижается от 25 до 60 % для некоторых элементов.

Что касается кальция, то во второй группе содержание кальция резко снижается, практически в 2 раза, а потом повышается почти в 3 раза. Вероятно, в начальный период заболевания происходит вымывание кальция из костной составляющей межпозвонкового диска, но по мере развития болезни и перехода в более тяжелую стадию происходит кальцинирование мягких тканей диска.

Обращает на себя внимание содержание марганца и цинка, которые являются синергистами и участвуют в конформации молекул РНК. По мере развития заболевания содержание этих элементов снижается, но в дальнейшем их содержание повышается и приближаются к значениям группы А, что возможно, объяснимо адаптационными процессами, происходящими в организме человека.

Отметим поведение стронция (Sr) в процессе заболевания. До настоящего времени точно не установлена роль этого элемента как жизненно необходимого. Но доказано,

что стронций играет важную роль в образовании и прочности эмали зубов, в процессах костеобразования. Этот микроэлемент оказывает цитопротективный эффект при костеобразовании. Он является остеотропным микроэлементом, участвующим в физиологических и морфологических процессах кости. А также хондропротекторным действием, играющим важнейшую роль в патоморфологических преобразованиях МПД при остеохондрозе [10]. В первой группе больных содержание стронция высокое ($11,0 \pm 2,8$ мкг/г), в процессе развития дегенеративного процесса во второй группе содержание его резко уменьшается ($1,4 \pm 0,4$ мкг/г), что объясняется естественной реакцией стронция на происходящие в тканях изменения. По мере продолжения роста развития заболевания в третьей группе больных количество стронция повышается, но все равно его содержание меньше, хотя и приближается к первоначальным значениям, что также возможно вследствие включения адаптационных процессов.

Выводы

Методом инструментального нейтронно-активационного анализа определено содержание 22 макро- и микроэлементов в тканях межпозвонковых дисков при дегенеративно-дистрофических процессах. Установлено, что в процессе развития дегенерации в тканях межпозвонковых дисков происходит изменение содержания ряда эссенциальных элементов. Так, изменение в содержании натрия, калия, хлора приводит к нарушению регуляции кислотно-щелочного равновесия в тканях. Уменьшение содержания железа к уменьшению поступления кислорода в ткань межпозвонкового диска. В то же время снижение кальция в начале дегенеративного процесса, а затем резкое его повышение свидетельствуют о кальцинировании мягких тканей диска.

Таким образом, изменения микроэлементного состава свидетельствуют о нарушении метаболических процессов, происходящих в межпозвонковых дисках, и требуют дальнейшего изучения данной проблемы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дривотинов Б.В., Бань Д.С. Роль реактивно-воспалительного и рубцово-спаечного процесса в патогенезе, клинике и лечении неврологических проявлений поясничного остеохондроза // Медицинский журнал. (Минск). 2006. № 2. С. 21-23.
2. Журавлев Ю.И., Назаренко Г.И., Черкашов А.М. и др. Прогнозирование исходов хирургического лечения дегенеративной болезни межпозвонковых дисков пояснично-крестцового отдела позвоночника // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2009. № 1. С. 42-47.
3. Корж Н.А., Продан А.И., Барыш А.Е. Дегенеративные заболевания позвоночника и их структурно-функциональная классификация. // Украинский нейрохирургический журнал. 2004. № 3. С. 27-30.
4. Jiil P.G., Urban and Sally Roberts. Degeneration of the Intervertebral Disc. Arthritis Research Therapy. 2003. V.5, No. 3. P. 120-130.
5. Васильева И.Г., Хижняк М.В. и др. Дегенерация межпозвонковых дисков и методы ее биологической коррекции. // Украинский нейрохирургический журнал. 2010. № 1. С. 16-23.
6. Зайдман А.М., Филиппова Г.Н. Структурно-метаболические особенности межпозвонкового диска при остеохондрозе и возможности его коррекции. // Патология позвоночника. Л., 1980. С. 88-94.
7. Цивьян Я.Л., Райхинштейн В.Е. Межпозвонковые диски: некоторые аспекты физиологии и биомеханики. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1977. 165с.
8. Авцын А.П., Жаворонков А.А. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 496 с.
9. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества. М., 1922.
10. Byvaltsev V., Belykh E., Panasenkov S., et al. Nanostructural Changes of Intervertebral Disc After Diode Laser Ablation. World Neurosurgery. 2012. V.77, No. 1. P. 6-7.
11. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: Оникс 21 век, Мир, 2004. 272 с.
12. Бабенко Г.А., Решеткина А.П. Применение микроэлементов в медицине. Киев, 1971. 311 с.
13. Меднис И.В. Гамма-излучение радионуклидов, применяемых в нейтронно-активационном анализе. Справочник. Рига.: Зинатне, 1987. 212 с.
14. Подколзин А.А., Донцов В.И. Иммуитет и микроэлементы. М., 1994. 144 с.

REFERENCES

1. Drivotinov B.V., Ban D.S. The Role of the Reactive-Inflammatory and Scar-Adhesive Process in the Pathogenesis, Clinic and Treatment of Neurological Manifestations of lumbar osteochondrosis. Meditsinskiy zhurnal. Minsk. 2006;2:21-23 (In Russ.).
2. Zhuravlev Yu.I., Nazarenko G.I., Cherkashov A.M., et al. Prediction of the Outcome of Surgical Treatment of Degenerative Disease of the Intervertebral Discs of the Lumbosacral Spine. Voprosy neyrokhirurgii im. N.N. Burdenko. 2009;1:42-47 (In Russ.).
3. Korzh N.A., Prodan A.I., Barysh A.E. Degenerative Diseases of the Spine and Their Structural and Functional Classification. Ukrainian Neurosurgical Journal. 2004;3:27-30 (In Ukr.).
4. Jiil P.G., Urban and Sally Roberts. Degeneration of the Intervertebral Disc. Arthritis Research Therapy. 2003;5:3:120-130.
5. Vasilyeva I.G., Khizhnyak M.V., et al. Degeneration of Intervertebral Discs and Methods for its Biological Correction. Ukrainian Neurosurgical Journal. 2010;1:16-23 (In Ukr.).
6. Zaydman A.M., Filippova G.N. Strukturno-Metabolicheskiye Osobennosti Mezhpозvонkovogo Diska pri Osteokhondroze i Vozmozhnosti Yego Korrektsii = Structural and Metabolic Features of the Intervertebral Disc in Osteochondrosis and the Possibility of its Correction. Patologiya Pozvonochnika. Leningrad Publ., 1980. P. 88-94 (In Russ.).
7. Tsivyan YA.L., Raykhinshteyn VYE. Mezhpозvонkovyye Diski: Nekotoryye Aspekty Fiziologii i Biomekhaniki = Intervertebral Discs: Some Aspects of Physiology and Biomechanics. Novosibirsk, Nauka. Sib. Otdeleniye Publ., 1977. 165 p. (In Russ.).
8. Avtsyn A.P., ZHavoronkov A.A. Mikroelementozy Cheloveka = Microelements of a Person. Moscow, Meditsina Publ., 1991. 496 p. (In Russ.).
9. Vernadskiy V.I. Khimicheskiy Sostav Zhivogo Veshchestva = The Chemical Composition of Living Matter. Moscow Publ., 1922. (In Russ.).
10. Byvaltsev V., Belykh E., Panasenkov S., et al. Nanostructural Changes of Intervertebral Disc after Diode Laser Ablation. World Neurosurgery. 2012;77;1:6-7.
11. Skalnyy A.V., Rudakov I.A. Bioelementy v Meditsine = Bioelements in Medicine. Moscow, Oniks 21 vek, Mir Publ., 2004. 272 p. (In Russ.).
12. Babenko G.A., Reshetkina A.P. Primeneniye Mikroelementov v Meditsine = The Use of Trace Elements in Medicine. Kiev Publ., 1971. 311 p. (In Russ.).
13. Mednis I.V. Gamma-Izlucheniye Radionuklidov, Primeniyayemykh v Neytронно-Aktivatsionnom Analize = Gamma Radiation of Radionuclides Used in Neutron Activation Analysis. Directory. Riga, Zinatne Publ., 1987. 212 p. (In Russ.).
14. Podkolzin A.A., Dontsov V.I. Immunitet i Mikroelementy = Immunity and Microelements. Moscow Publ., 1994. 144 p. (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 17.07.2021. Принята к публикации: 05.09.2021.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 17.07.2021. Accepted for publication: 05.09.2021