

Структурные перестройки позвоночно-двигательного сегмента при длительных динамических нагрузках

Андрей Сак
Раиса Антипова

Харьковская государственная академия физической культуры, Харьков, Украина

Цель: изучить структурные перестройки межпозвоночных дисков и смежных структур позвоночника крыс и возможности их сохранения в условиях длительных динамических нагрузок в эксперименте.

Материал и методы: исследование выполнено в эксперименте с 90 крысами-самцами линии Wistar, с применением тренировочного бега в линейном тредбане в течение 20 и 90 дней. На гистотопографических срезах, после инъекции в дугу аорты животных тушь-желатиновой массы, подсчитано количество капиллярных клубочков в субхондральных отделах тел позвонков. Методами стандартной гистологии изучены структурные изменения метафизарных хрящей, апофизов тел позвонков и межпозвоночных дисков поясничного отдела позвоночника.

Результаты: определены режимы бега, вызывающие повреждение различных структур позвоночника и, напротив, повышающие их надежность.

Выводы: установлено, что с возрастом количество кровеносных сосудов в телах позвонков и капиллярных клубочков в их субхондральных отделах постепенно снижается, что сопровождается уплотнением межпозвоночного диска и сопредельных структур. Различные по интенсивности и продолжительности физические нагрузки вызывают соответствующее изменение количества кровеносных сосудов в позвонках и, как следствие, уровня их кровоснабжения.

Ключевые слова: бег животных в тредбане, позвоночно-двигательный сегмент, межпозвоночный диск, капиллярные клубочки субхондральных отделов тел позвонков.

Введение

Вопросам адаптации биосистем к физическим нагрузкам уделяется большое внимание в физической культуре и спорте [1; 2; 4]. Физическая нагрузка – важнейший экзогенный фактор активации процессов метаболизма в клетке и мощный стимул адаптационных перестроек кости и хряща [2; 8; 16]. В рекордном спорте часто используют тренировочные нагрузки максимальной интенсивности, считая их лучшим способом повышения результатов. Тем не менее, миф о пользе таких тренировок постепенно развенчивается [9; 15]. Одним из тяжелых осложнений физических перегрузок являются дистрофические поражения суставов [7; 10] и межпозвоночных (МП) дисков [6; 12].

Сохранение и повышение структурной надежности вентрального отдела позвоночника в условиях динамических нагрузок является актуальным для физической культуры и спорта.

Среди заболеваний, поражающих позвоночно-двигательные сегменты, дегенеративные заболевания встречаются значительно чаще, чем новообразования, воспалительные заболевания и патологии развития, в связи с чем дегенеративные заболевания позвоночника приобретают первостепенное клиническое значение [3; 5; 18], в том числе в спорте [4; 6]. При этом именно аваскулярные хрящевые структуры позвоночника и брадитрофные структуры межпозвоночного диска особо повреждаются при физических перегрузках [13] и особенно у молодых особей [12; 17]. Что касается сравнительной реакции МП дисков на разные режимы динамических нагрузок, то эти исследования немногочисленны [11; 12].

МП диск является центральным звеном позвоночно-двигательного сегмента, поражение которого запуска-

ет дистрофические процессы сопредельных структурах позвоночника и ведет к развитию остеохондроза [3; 10; 19]. Остеохондроз позвоночника – мультифакторное деструктивно-дистрофическое заболевание, первично поражающее межпозвоночный диск, а затем и другие элементы позвоночника [3; 5; 10]. При этом МП диск постоянно адаптируется к новым видам и режимам двигательной активности [3; 4]. Практически важной является проблема "усталости" фиброзных структур и хряща [7]. При повышенных нагрузках на опорно-двигательный аппарат прочность МП дисков, капсул суставов, связок и других брадитрофных структур снижается, что вызывает их дистрофические повреждения [6; 10]. Симптомы перенапряжения структур позвоночника являются причиной болей в спине, а в спорте – причиной снижения спортивных результатов [1; 4; 9; 13]. Перегрузки и, как следствие, ускоренное старение суставов и МП дисков у спортсменов ряда спортивных специализаций нередко служат причиной преждевременного ухода из спорта [4; 6; 9].

Связь исследования с научными программами, планами, темами. Исследование выполнено в рамках кафедральной темы научно-исследовательской работы "Медико-биологическое обоснование проведения восстановительных мероприятий и назначения средств физической реабилитации лицам молодого возраста разного уровня тренированности"

Цель исследования: изучить структурные перестройки МП дисков и смежных структур позвоночника крыс и возможности их сохранения в условиях длительных динамических нагрузок в эксперименте.

Материал и методы исследования

Исследование проведено на 90 белых крысах-самцах

трех возрастных групп: 1, 3 и 12 месяцев. Работа с лабораторными животными проводилась в соответствии с требованиями "Европейской конвенции по защите позвоночных животных, которые используются в экспериментальных и других научных целях" [14].

В эксперименте участвовали 2 группы крыс, трех возрастов, по 30 животных в каждой группе. Контрольную группу составили 30 животных тех же возрастов. Экспериментально подобрана оптимальная скорость движения ленты тредбана ($40 \text{ м}\cdot\text{мин}^{-1}$), которая позволила использовать в эксперименте длительный бег для всех возрастных групп. Нагрузка повышалась ступенчато по 6 минут ежедневного бега в первую неделю с последовательным увеличением на 6 минут в каждой следующей неделе тренировки. В результате крысы 1-й группы пробежали за 20 дней 10560 м, а крысы 2-й группы за 90 дней – 17280 м.

Материал исследован методами макро-микроскопии и стандартной гистологии с окраской препаратов гематоксилин-эозином и пикрофуксином по Ван Гизону.

Для оценки состояния источников диффузионного питания аваскулярных структур позвоночника (МП дисков, метафизарных хрящей, хрящевых апофизов тел позвонков) изучено кровоснабжение прилегающих к МП диску субхондральных отделов тел позвонков. Использован метод наливки сосудов 5% раствором туши с желатином. Наливка производилась шприцем в дугу аорты после вскрытия под эфирным наркозом грудной клетки. Подсчет капиллярных клубочков проведен на просветленных срезах нижнепоясничного двигательного сегмента (у крыс это L-5–L-6 сегмент). Число контрастированных тушью капиллярных клубочков подсчитывалось в субхондральных отделах тел позвонков в четырех зонах субхондральных отделов тел смежных позвонков:

1 зона – вентральный участок тела краниального расположенного позвонка;

2 зона – дорсальный участок тела краниально расположенного позвонка

3 зона – вентральный участок тела каудально расположенного позвонка

4 зона – дорсальный участок тела каудально расположенного позвонка.

Оценка статистических различий определялась с помощью критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

Возрастные изменения прослежены в поясничных МД дисках и смежных структурах вентрального отдела позвоночника. Видовой особенностью МП диска крысы является сохранение во всех исследованных возрастных группах студенистого ядра, представленного фрагментом дорсальной хорды.

У неполовозрелых 1-месячных крыс МП диски имели объемное студенистое ядро и пластинчатое фиброзное кольцо. Студенистое ядро содержало скопления нотохордальных клеток среди обильного матрикса. В телах позвонков определялось большое число сосудов, инъецированных тушь-желатиновой массой. У основания тел позвонков сосуды заканчивались терминальными микрососудами в виде капиллярных клубочков. Ни студенистое ядро, ни фиброзное кольцо МП дисков кровеносных сосудов не содержали. Наибольшее число клубочков отмечено у 1-месячных, наименьшее – у 12-месячных животных.

Под влиянием различной по продолжительности физической нагрузки наблюдалось изменение числа сосудов в структурах позвоночника.

После 20-дневного бега, у животных 1-й группы, по сравнению с контрольной группой, определялось увеличение количества капиллярных клубочков у основания тел позвонков. Структура апофизов тел позвонков, пластинок роста и МП дисков при этом не изменялась. В паравертебральных мышцах поясничного уровня увеличилось количество кровеносных сосудов, следовавших по направлению мышечных волокон. Повреждений сосудов не обнаружено.

У 1-месячных животных количество капиллярных клубочков в субхондральных отделах тел позвонков было наибольшим. При этом более высокое их содержание отмечено в 1 и 3 зонах, что соответствует вентральным отделам смежных позвонков. Количество капиллярных клубочков в 1-й зоне было больше чем во 2-й на 8,07%; а в 3-й зоне больше, чем в 4-й на 10,41%.

У 3-месячных животных по сравнению с 1-месячными число капиллярных клубочков уменьшалось одинаково во всех зонах. Разница в количестве клубочков в четырех зонах была небольшой. В 1-й зоне на 3,87% больше, чем во 2-й, в 3-й зоне на 3,32% больше, чем в 4-й.

У 12-месячных животных снижение числа капиллярных клубочков было более значительным. По сравнению

Таблица 1

Изменения числа капиллярных клубочков в субхондральных отделах тел позвонков в возрастном аспекте в условиях 20-дневной гиперкинезии, $\bar{X} \pm m$

Серии экспериментов	1 (n=10) Контроль	2 (n=10) Эксперимент	Оценка статистической значимости		
			t	p	
1+20	1	31,0±1,019	35,8±1,13	$t_{1,2}=4,95$	$p_{1,2}<0,001$
	2	28,5±1,056	33,0±1,46	$t_{1,2}=2,49$	$p_{1,2}<0,05$
	3	28,8±1,302	32,5±2,10	$t_{1,2}=1,48$	$p_{1,2}<0,2$
	4	25,8±1,195	28,5±1,58	$t_{1,2}=1,35$	$p_{1,2}<0,2$
3+20	1	25,8±2,309	28,5±1,40	$t_{1,2}=0,99$	$p_{1,2}>0,05$
	2	24,83±0,703	27,7±0,88	$t_{1,2}=2,52$	$p_{1,2}<0,05$
	3	25,0±1,602	30,0±1,46	$t_{1,2}=2,31$	$p_{1,2}<0,05$
	4	24,17±1,602	26,8±1,57	$t_{1,2}=1,17$	$p_{1,2}>0,05$
12+20	1	14,5±2,93	19,0±1,06	$t_{1,2}=1,44$	$p_{1,2}<0,2$
	2	11,06±0,919	18,2±1,22	$t_{1,2}=4,65$	$p_{1,2}<0,001$
	3	13,66±1,116	17,8±3,69	$t_{1,2}=1,08$	$p_{1,2}>0,05$
	4	9,5±0,763	17,5±0,99	$t_{1,2}=6,40$	$p_{1,2}<0,001$

с 1-месячными животными количество клубочков снижалось в 1-й зоне у 3-месячных крыс на 16,68%, у 12-месячных – на 53,22%.

После 20-дневного бега отмечалось увеличение числа капиллярных клубочков в 1-й зоне – у крыс серии 1+20 и 3+20 гиперкинезии, а у крыс серии 12+20 – во всех исследованных зонах (таблица 1).

После 90-дневного бега количество капиллярных клубочков у животных всех возрастных групп и, особенно, у старых животных, напротив, уменьшалось. Максимальное снижение числа клубочков отмечено в дорсальных зонах тел позвонков (2 и 4 зоны).

В целом, по сравнению с контрольными сериями, число капиллярных петель в каждой возрастной группе увеличивалось после 20-дневного бега, но снижалось после 90-дневного (рис. 1).

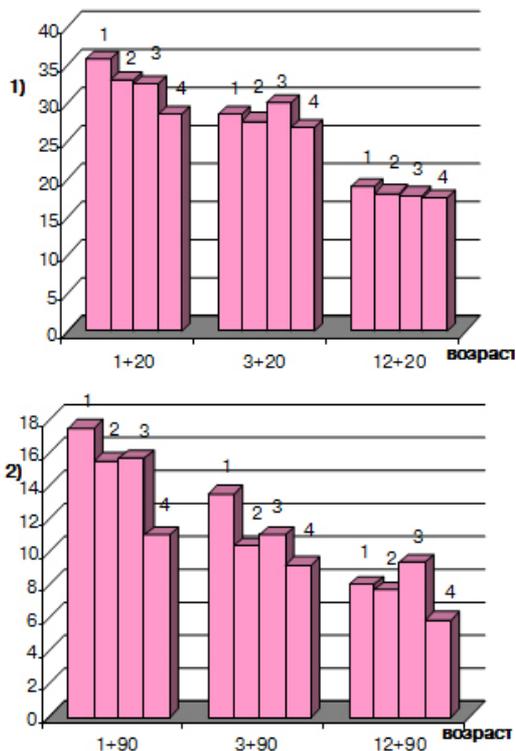


Рис. 1. Показатели числа капиллярных петель в субхондральных отделах тел позвонков, смежных с МП дисками, соответственно четырем зонам в условиях бега: 1 – после 20-дневного бега, 2 – после 90-дневного бега

Характерным было появление новообразованных кровеносных сосудов на территории фиброзного кольца, особенно в вентральных отделах дисков. Здесь определялись сети кровеносных сосудов, часть которых следовала между фиброзными пластинками диска.

В соответствии с изменением уровня диффузионно-

го питания изменялась структура дисков. Дистрофическим повреждениям тканей МП дисков предшествовало именно вращение в аваскулярный МП диск кровеносных сосудов, что нарушало тонкую структуру диска и потенцировало дистрофические изменения в его тканях.

На территории внутреннего слоя фиброзного кольца выявлялись многочисленные щели, окруженные бесклеточными участками и поврежденным матриксом. При этом отмечены признаки внутридисккового перемещения студенистого ядра, протрузии внутренних отделов фиброзного кольца к поверхности диска и разрывы коллагеновых волокон в вентральных отделах фиброзного кольца.

Эти изменения МП диска сопровождалось перестройками смежных хрящевых структур вентрального отдела позвоночника. Метафизарные хрящи (пластинки роста) теряли характерную зональность строения, в них расширялись бесклеточные участки. Апофизы тел позвонков подвергались деформации и неравномерной оссификации. В паравертебральных мышцах поясничного уровня нарушалась естественная геометрия хода сосудов, изменялся их диаметр.

Выводы

Диффузионное питание МП диска идет со стороны капиллярных клубочков кровеносных сосудов тел позвонков. С возрастом количество кровеносных сосудов в телах позвонков и капиллярных клубочков в их субхондральных отделах постепенно снижается, что сопровождается уплотнением межпозвонкового диска и сопредельных структур. Различные по интенсивности и продолжительности физической нагрузки вызывают соответствующее изменение количества кровеносных сосудов в позвонках и как следствие уровня их кровоснабжения.

После 20-дневного бега количество капиллярных клубочков увеличивалось, и более всего – в 1-й зоне тел позвонков (у вентральной поверхности), а у животных серии 12+20 гиперкинезии число сосудов повышалось во всех исследованных зонах. В этих условиях метафизарный хрящ сохранял зональность строения, а МП диск свою структурную целостность, без признаков повреждений.

После 90-дневного бега число капиллярных петель по сравнению с контрольными сериями, снижалось у животных всех возрастных групп, причем неравномерно в разных участках основания тел позвонков. Наиболее значительное снижение выявлено в дорсальных отделах оснований тел позвонков (2 и 4 зоны). Эти изменения сочетались с распространением дистрофических процессов в тканях МП дисков и смежных аваскулярных структурах, что свидетельствует о снижении уровня их диффузионного питания.

Перспективы дальнейших исследований. Целью дальнейших исследований является поиск путей репаративной регенерации структур позвоночного столба.

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что нет конфликта интересов, который может восприниматься как такой, что может нанести вред беспристрастности статьи.

Источники финансирования. Эта статья не получила финансовой поддержки от государственной, общественной или коммерческой организации.

Список использованной литературы

1. Лапутін, А.М. (2001), *Біомеханіка*, Олімпійська література, Київ.

2. Корнилов, Н.И., Аврунин, А.С. (2001), *Адаптационные процессы в органах скелета*, MOR-SAR AV, СПб.
3. Кремер, Ю. (2013), *Заболевания межпозвоночных дисков*, пер. с англ. Под. ред. В.А. Широкова, МЕДпресс-информ, Москва.
4. Колесниченко, В.А., Страуде В.А. (2005), "Вертеброгенные аспекты спортивного отбора и ориентации спортсменов", *Спортивная медицина*, Т. 1, С. 171-174.
5. Колотуша, В.Г., Руденко, А.Е., Кадырова, Л.А. (2005), *Остеохондроз поясничного отдела позвоночника*, Киев.
6. Левенец, В.Н. (2002), "Спортивный травматизм – диагностика, клиника и лечение", *Матер. I Всеукр. з'їзду фахівців із спортивної медицини і ЛФК з міжнародною участю*, Одеса, С. 32-35.
7. Михайлов, А.Н. (2013), "Организационные и клинические аспекты профилактики и диагностики усталостных (стрессовых) переломов костей у спортсменов", *Вопросы организации и информатизации здравоохранения*, № 2, С. 63-71.
8. Пикалюк, В.С., Чернов, А.Т. (2005), "Изменение ростовых показателей костей крыс разных возрастных групп под влиянием гипергравитации", *Український медичний альманах*, Т. 8, № 1, С. 137-142.
9. Платонов, В.П. (2004), *Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и её практические приложения*, Олимпийская литература, Киев.
10. Радченко, В.О., Петренко, Д.Е., Голубева, И.В., Бенгус, Л.М. (2008), "Актуальные проблемы артрологии и вертебрологии" (по материалам Международной конференции, посвященной 100-летию со дня основания Государственного учреждения "Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко АМН Украины", *Ортопедия, травматология и протезирование*, № 1, С. 111-117.
11. Сак, А.Е. (2005), "Возрастные различия реакции позвоночного столба на высокие динамические нагрузки", *IX Міжнародний науковий конгрес "Олімпійський спорт і спорт для всіх" 20–23 вересня 2005 р.*, Київ, С. 830.
12. Сак, А.Е. (2007), "Особенности реакции на физичні навантаження структур хребта з різним рівнем кровопостачання", *Biomedical and Biosocial Anthropology*, № 9, С. 268-269.
13. Чертенкова, Е.В. (2006), "Механосенситивность хряща", *Ортопедия, травматология и протезирование*, № 3, С. 124-129.
14. Council of Europe (1986), *European convention for the protection of vertebral animals used for experimental and other scientific purpose*, 18.03.1986, Strasbourg.
15. Petitbois, C., Cazorla, G., Poortmans, J.R. & Deleris, G. (2002), "Biochemical aspects of overtraining in endurance sports", *Sports Med*, Vol. 32 (13), pp. 867-878.
16. Weineck, J. (1996), *Sportbiologie*, Balingen: Perimed-spitta, Med. Verl. Ges.
17. Weinstein, S.L. (2003), *The Pediatric Spine. Principles and Practice*, Raven Press, New York.
18. Iorio, J.A., Jakoi, A.M. & Singl, A. (2016), "Biomechanics of Degenerative Spinal Disorders", *Asian Spine J*, No. 10(2), pp. 377-384.
19. Hui Li, Jia-zhi Yan, Yong-jie Chen, Wei-bo Kang & Jia-xi Huang (2017), "Non-invasive quantification of age-related changes in the vertebral endplate in rats using in vivo DCE-MRI", *Journal of Orthopedic Surgery and Research*, No. 12(1), pp. 169.

Стаття надійшла до редакції: 17.01.2018 р.
Опубліковано: 28.02.2018 р.

Анотація. Андрій Сак, Раїса Антипова. Структурні перебудови хребетно-рухового сегмента при тривалих динамічних навантаженнях. Мета: вивчити структурні перебудови МП дисків і суміжних структур хребта щурів і можливості їх збереження в умовах тривалих динамічних навантажень в експерименті. **Матеріал і методи:** дослідження виконано в експерименті, на 90 щурах-самцях лінії Wistar, із застосуванням тренувального бігу в лінійному тредбане протягом 20 і 90 днів. На гістотопографічних зрізах, після ін'єкції в дугу аорти тварин туш-желатинової маси, підраховано кількість капілярних клубочків у субхондральних відділах тіл хребців. Методами стандартної гістології вивчені структурні зміни метафізарний хрящів, апофізов тіл хребців і міжхребцевих дисків поперекового відділу хребта. **Результати:** визначено режими бігу, що викликають пошкодження різних структур хребта і, навпаки, підвищують їх надійність. **Висновки:** встановлено, що з віком кількість кровоносних судин в тілах хребців і капілярних клубочків в їх субхондральних відділах поступово знижується, що супроводжується ущільненням міжхребцевого диска і суміжних структур. Різні по інтенсивності фізичного навантаження викликають відповідну зміну кількості кровоносних судин в хребцях і як наслідок рівня їх кровопостачання.

Ключові слова: біг тварин в тредбані, хребетно-руховий сегмент, міжхребцевий диск, капілярні клубочки субхондральних відділів тіл хребців.

Abstract. Andrii Sak & Raisa Antypova. Structural rearrangements of the spinal-motor segment with prolonged dynamic loads. Purpose: to study structural rearrangements of intervertebral discs and adjacent structures of the spine of rats and the possibility of their preservation under conditions of prolonged dynamic loads in the experiment. **Material & Methods:** study was performed in an experiment with 90 male rats of the Wistar line, using a training run in a linear treadmill for 20 and 90 days. On the histotopographic sections, after injection into the aortic arch of the animal mascara-gelatin mass, the number of capillary glomeruli in the subchondral parts of the vertebral bodies was counted. Using standard histology methods, structural changes in metaphyseal cartilages, apophyses of vertebral bodies and intervertebral discs of the lumbar spine. **Results:** the running regimes are defined that cause damage to various structures of the spine and, on the contrary, increase their reliability. **Conclusion:** it is established that with age the number of blood vessels in the bodies of the vertebrae and capillary glomeruli in their subchondral regions gradually decreases, which is accompanied by a tightening of the intervertebral disk and contiguous structures. Different in intensity and duration of physical activity cause a corresponding change in the number of blood vessels in the vertebrae and, as a consequence, the level of their blood supply.

Keywords: running of animals in the treadmill, vertebral-motor segment, intervertebral disc, capillary glomeruli of subchondral parts of vertebral bodies.

References

1. Laputin, A.M. (2001), *Biomekhanika* [Biomechanics], Olimpiiska literatura, Kyiv. (in Ukr.)
2. Kornilov, N.I. & Avrunin, A.S. (2001), *Adaptatsionnye protsessy v organakh skeleta* [Adaptation processes in the organs of the skeleton], MOR-SAR AV, SPb. (in Russ.)
3. Kremer, Yu. (2013), *Zabolevaniya mezhpozvonkovykh diskov* [Intervertebral disc diseases], trans. with English, V.A. Shirokova (red.), MYeDpress-inform, Moscow. (in Russ.)
4. Kolesnichenko, V.A. & Straude V.A. (2005), "Vertebrogenic aspects of athletic selection and orientation of athletes", *Sportivna meditsina*, Vol. 1, pp. 171-174. (in Russ.)
5. Kolotusha, V.G., Rudenko, A.Ye. & Kadyrova, L.A. (2005), *Osteokhondroz poyasnichnogo otdela pozvonochnika* [Osteochondrosis of the lumbar spine], Kiev. (in Russ.)
6. Levenets, V.N. (2002), "Sports injuries – diagnosis, clinic and treatment", *Mater. I Vseukr. z'їzdu fakhivtsiv iz sportyvnoi medytsyny i LFK z mizhnarodnoiu uchastiu* [Materials I Allukr. the Congress of Sports Medicine Specialists and Excellence with International Participation],

Odesa, pp. 32-35. (in Russ.)

7. Mikhaylov, A.N. (2013), "Organizational and clinical aspects of the prevention and diagnosis of fatigue (stressful) bone fractures in athletes", *Voprosy organizatsii i informatizatsii zdravookhraneniya*, No. 2, pp. 63-71. (in Russ.)

8. Pikalyuk, V.S. & Chernov, A.T. (2005), "Changes in bone growth indexes in rats of different age groups under the influence of hypergravity", *Ukrainskiy medichniy almanakh*, Vol. 8, No. 1, pp. 137-142. (in Russ.)

9. Platonov, V.P. (2004), *Sistema podgotovki sportsmenov v olimpiyskom sporte. Obshchaya teoriya i ee prakticheskie prilozheniya* [System of training athletes in the Olympic sport. General theory and its practical applications], Olimpiyskaya literatura, Kiev. (in Russ.)

10. Radchenko, V.O., Petrenko, D.Ye., Golubeva, I.V. & Bengus, L.M. (2008), "Actual problems of arthrology and vertebratology" (based on the materials of the International Conference dedicated to the 100th anniversary of the establishment of the State Institution "Institute of Spine and Joint Pathology named after Prof. M.I. Sitenko of the Academy of Medical Sciences of Ukraine", *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie*, No. 1, pp. 111-117. (in Russ.)

11. Sak, A.Ye. (2005), "Age differences in the response of the spinal column to high dynamic loads", *IX Mizhnarodniy naukoviy kongres "Olimpiyskiy sport i sport dlya vsikh" 20-23 veresnya 2005 r.* [IX International Scientific Congress "Olympic Sport and Sport for All" September 20-23, 2005], Kiiv, pp. 830. (in Russ.)

12. Sak, A.E. (2007), "Peculiarities of the reaction to physical load of the spine structures with different levels of blood supply", *Biomedical and Biosocial Anthropology*, No. 9, pp. 268-269. (in Ukr.)

13. Chertenkova, Ye.V. (2006), "Mechanosensitivity of cartilage", *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie*, No. 3, pp. 124-129. (in Russ.)

14. Council of Europe (1986), *European convention for the protection of vertebral animals used for experimental and other scientific purpose*, 18.03.1986, Strasbourg.

15. Petibois, C., Cazorla, G., Poortmans, J.R. & Deleris, G. (2002), "Biochemical aspects of overtraining in endurance sports", *Sports Med*, Vol. 32 (13), pp. 867-878.

16. Weineck, J. (1996), *Sportbiologie, Balingen: Perimed-spitta*, Med. Verl. Ges.

17. Weinstein, S.L. (2003), *The Pediatric Spine. Principles and Practice*, Raven Press, New York.

18. Iorio, J.A., Jakoi, A.M. & Singl, A. (2016), "Biomechanics of Degenerative Spinal Disorders", *Asian Spine J*, No. 10(2), pp. 377-384.

19. Hui Li, Jia-zhi Yan, Yong-jie Chen, Wei-bo Kang & Jia-xi Huang (2017), "Non-invasive quantification of age-related changes in the vertebral endplate in rats using in vivo DCE-MRI", *Journal of Orthopedic Surgery and Research*, No. 12(1), pp. 169.

Received: 17.01.2018.

Published: 28.02.2018.

Відомості про авторів / Information about the Authors

Сак Андрій Євгенович: к. б. н., доцент кафедри спортивної медицини, біохімії і анатомії; Харківська державна академія фізичної культури: вул. Клочківська 99, м. Харків, 61058, Україна.

Сак Андрей Евгеньевич: к. б. н., доцент кафедры спортивной медицины, биохимии и анатомии; Харьковская государственная академия физической культуры: ул. Клочковская 99, г. Харьков, 61058, Украина.

Andrii Sak: PhD (Biological); Kharkiv State Academy of Physical Culture: Klochkivska str. 99, Kharkiv, 61058, Ukraine.

ORCID.ORG/0000-0002-8491-3434

E-mail: sak_andrei@i.ua

Антипова Раїса Василівна: викладач кафедри спортивної медицини, біохімії і анатомії; Харківська державна академія фізичної культури: вул. Клочківська 99, м. Харків, 61058, Україна.

Антипова Раиса Васильевна: преподаватель кафедры спортивной медицины, биохимии и анатомии; Харьковская государственная академия физической культуры: ул. Клочковская 99, г. Харьков, 61058, Украина.

Raisa Antypova: Kharkiv State Academy of Physical Culture: Klochkivska str. 99, Kharkiv, 61058, Ukraine.

ORCID.ORG/0000-0002-7172-4597

E-mail: antipowaraja@i.ua