

Вікові особливості структурних перебудов хребетно-рухового сегменту в умовах обмеженої рухової активності

Андрій Сак
Раїса Антіпова

Харківська державна академія фізичної культури,
Харків, Україна

Мета: вивчити в віковому аспекті структурні зміни поперекових міжхребцевих дисків та суміжних структур хребта щурів при обмеженні рухової активності для з'ясування закономірностей їх перебудови в умовах експериментальної гіпокінезії.

Матеріал і методи: дослідження виконано в експерименті на щурах-самцях лінії Вістар різного віку. Режим гіпокінезії досягався утриманням тварин у клітках малого об'єму, що обмежувало рух. Методи дослідження включали морфометрію, макро- і мікроскопію, методи стандартної гістології з забарвленням препаратів гематоксилін-еозином і пікрофуксином по Ван Гизону, а також статистичний аналіз отриманих даних.

Результати: визначено, що обмеження рухомості сприяло зміні всіх відділів хребетно-рухового сегмента. Змінюється форма і лінійні розміри міжхребцевих дисків, знижується рівень його дифузного живлення з боку тіл хребців.

Висновки: встановлено, що відсутність механічної стимуляції міжхребцевих дисків, в режимі експериментальної гіпокінезії, знижує рівень метаболізму в клітинах, стримує процеси адаптивного ремоделювання тканин і сприяє порушенню інтактних структур.

Ключові слова: експериментальна гіпокінезія, хребетно-руховий сегмент, міжхребцевий диск.

Вступ

Стан недостатньої рухової активності організму або гіпокінезія є екстремальним фактором сучасного середовища. Зниження рухової активності має тенденцію до поширення у зв'язку з впровадженням прогресивних технологій та широкою механізацією і автоматизацією, що прийшли на зміну фізичній праці. Існують наукові свідчення, що в умовах гіпокінезії, яка викликана малорухливим способом життя сучасної людини, порушується структура суглобових та метафізарних хрящів (Б. А. Нікітюк, Б. И. Коган, 1974; Б. И. Коган, С. И. Ломинога, 1978; В. Г. Ковешников та ін., 1980; И. В. Хрусталева, Б. В. Криштофорова, 1987; L. A. Vieira et al., 2018). Щодо міжхребцевого диска (МД), то комплексна морфо-функціональна оцінка його перебудов при різних умовах гіпокінезії ще потребує свого вивчення. Міжхребцевий диск є центральною ланкою хребетно-рухового сегмента, ураження якого запускає дистрофічні процеси суміжних структур хребта і веде до розвитку остеохондрозу (В. Г. Колотуша та ін., 2005; M. De Christopher et al., 2018; H. N. Fernando et al., 2011).

Серед захворювань, що вражають хребетно-руховий сегмент, дегенеративні захворювання зустрічаються значно частіше, ніж новоутворення, запальні захворювання і патології розвитку, в зв'язку з чим дегенеративні захворювання хребта набувають першорядне клінічне значення (Vieira et al., 2018; В. Г. Колотуша та ін., 2005; Ю. Кремер, 2013; Hui Li et al., 2017; Justin A. Iorio et al., 2016), у тому числі у спорті (В. А. Колесниченко, В. А. Страуде, 2005; В. Н. Левенец, 2002).

У зв'язку з цим актуальним є з'ясування реакції системи МД на різні режими гіпокінезії.

Зв'язок дослідження з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано в рамках кафедральної теми науково-дослідної роботи "Медико-біологічне обґрунтування проведення відновлювальних

заходів і призначення засобів фізичної реабілітації для осіб молодого віку різного рівня тренуваності".

Мета дослідження: вивчити у віковому аспекті структурні зміни поперекових міжхребцевих дисків та суміжних структур хребта щурів при обмеженні рухової активності для з'ясування закономірностей їх перебудови в умовах експериментальної гіпокінезії.

Матеріал і методи дослідження

Дослідження виконано на щурах-самцях лінії Вістар трьох вікових груп: 1, 3 та 12-місячного віку. Робота з лабораторними тваринами проводилася відповідно до вимог "Європейської конвенції по захисту хребетних тварин, які використовуються в експериментальних та інших наукових цілях", 1986. Всього в досліді спостерігалися 90 тварин експериментальної серії (ЕС) та 90 тварин контрольної серії (КС).

Режим гіпокінезії тривав 23 години на добу і досягався утриманням тварин у клітках малого об'єму, що обмежувало їх рух. Харчування тварин відповідало стандартному раціону віварію.

Методи дослідження включали макроскопічну оцінку стану МД, вивчення судинного русла регіону хребців, який межує з МД, з наповненням судин туш-желатиною масою, методи гістологічного, гістоензимологічного, електронномікроскопічного досліджень, морфометрію, цитофотометрію та статистичний аналіз отриманих даних.

Макро- та мікроскопічні дослідження проведені за допомогою біокулярної лупи МБД-1; при цьому оцінювалися форма, колір, консистенція та ступінь збереження МД.

Для гістологічних досліджень матеріал фіксувався у 10% нейтральному формаліні і після загальноприйнятої обробки ущільнювався у целоїдині. Зрізи з тканин завтовшки 10–12 мкм фарбували гематоксилін-еозином та

пікрофуксином за Ван Гізоном.

Гістохімічний аналіз проведено після постановки на заморожених зрізах реакцій на певні ферменти циклу Кребса та гліколізу. Досліджено активність наступних ферментів циклу Кребса: малатдегідрогенази (КФ 1.1.1.37) (МДГ), сукцинатдегідрогенази (КФ 1.3.99.1) (СДГ); з ферментів гліколізу – альфа-гліцерофосфатдегідрогенази (КФ 1.1.1.8) (α-ГФДГ) і лактатдегідрогенази (КФ 1.1.1.27) (ЛДГ) та її ізоферментів.

Активність ферментів оцінювалась на двопробеновому скануючому цитоспектрофотометрі МУФ-5. Вимірювання проведено плаг-методом при робочій довжині хвилі 546 нм, діаметрі зонда 200 мкм та об'єктиві 50. Попередньо вивчалась придатність матеріалу до фотометричних робіт шляхом реєстрації спектра поглинання на об'єктах різної щільності.

Електронно-мікроскопічні дослідження проведено на електронному мікроскопі УЕМВ-100 БР зі збільшенням від 12000 до 30000.

Після застосування префіксатора (2,5% глютаральдегіда) і фізіологічного розчину матеріал фіксувався в осьмієвій кислоті, зневоднювався і ущільнювався в органічній смолі – дуркупані.

Для оцінки умов дифузійного живлення МД вивчено кровопостачання субхондральних відділів тіл хребців, що прилежать до МД. Наповнення судинного русла проведено 5% розчином туші з желатином із додатком гепарину. На просвітлених зрізах завтовшки 20 мкм підраховано кількість мікросудин в краніально і каудально розташованих хребцях відповідно чотирьом зонам хребтено-рухового сегмента:

- 1 зона – вентральна ділянка тіла краніально розташованого хребця;
- 2 зона – дорсальна ділянка тіла краніально розташованого хребця;
- 3 зона – вентральна ділянка тіла каудально розташованого хребця;
- 4 зона – дорсальна ділянка тіла каудально розташованого хребця.

Мікроморфометрія включала вимірювання краніо-каудального і вентро-дорсального діаметрів поперекових міжхребцевих дисків за допомогою окулярного гвинтового мікрометра МОГ-1-15 з розрахунком відносних розмірів цих діаметрів.

Оцінка статистичних відмінностей визначалася за допомогою критерію Стьюдента.

Результати дослідження

1. Перебудови макро- та мікроструктури міжхребце-

вих дисків в умовах гіпокінезії.

Як свідчать результати досліджень, обмеження рухомості тварин зумовлює зміни структури МД. Ці зміни проходили на фоні достовірного зниження маси тіла щурів ($p < 0,005$). Після 30-добової гіпокінезії у 1-місячних щурів ЕС маса тіла зменшувалася щодо КС на 38,02%, у 3-місячних – на 27,06% і у 12-місячних – на 22,18% (таблиця 1).

В умовах тривалої 30-добової гіпокінезії МД втрачали характерну форму, колір і консистенцію. Вони відрізнялися від КС біло-сірим кольором і пастою. Поступово змінювалась форма МД: на сагітальних зрізах диск втрачав злегка клиноподібну форму і ставав більш прямокутним.

Після 30-добової гіпокінезії встановлено збільшення, щодо КС, краніо-каудального розміру МД та зменшення вентро-дорсального

Збільшення краніо-каудального розміру в порівнянні з КС дорівнювалось у 1-місячних щурів 33,22%, у 3-місячних – 9,42% і у 12-місячних – 12,22%, зменшення вентро-дорсального розміру відповідно складало 8,59%, 15,27% і 4,14%. Як наслідок, збільшувалися відносні величини двох лінійних розмірів диска; що дорівнювалось у 1-місячних щурів 1,27, у 3-місячних – 1,45, у 12-місячних – 1,93. Найбільші зміни лінійних розмірів та структури МД спостерігалися в V-VI поперекових сегментах (рис. 1).

Підрахунок кількості ін'єктованих тушшю мікросудин в субхондральних відділах суміжних тіл хребців доказав, що в умовах гіпокінезії зменшується їх кількість і, як наслідок,

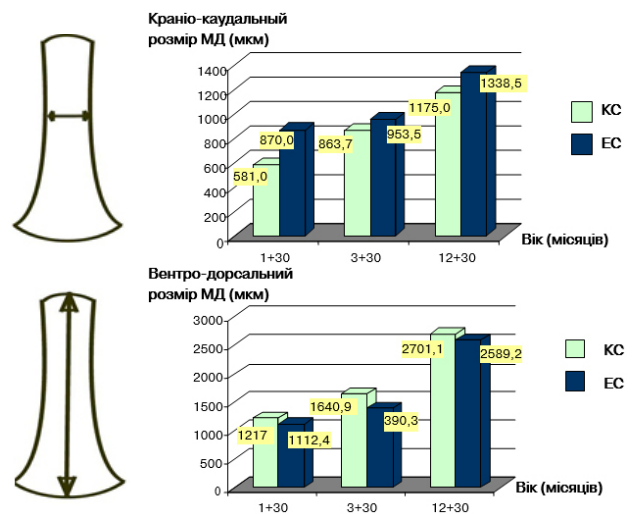


Рис. 1. Відносні зміни лінійних розмірів МД після 30-добової гіпокінезії

Таблиця 1

Зміни лінійних розмірів п'ятого міжхребцевого диска щурів в умовах експериментальної гіпокінезії у віковому аспекті

Серії експерименту	Розміри міжхребцевого диска				Оцінка статистичної значимості	
	Краніо-каудальний розмір (мкм)		Вентро-дорсальний розмір (мкм)		t	p
	КС $\bar{X}_1 \pm m_1$	ЕС $\bar{X}_2 \pm m_2$	КС $\bar{X}_3 \pm m_3$	ЕС $\bar{X}_4 \pm m_4$		
1+30	581,0±17,9	870,0±14,61	1217,0±11,07	1112,4±24,0	$t_{1,2}=12,51$ $t_{3,4}=3,96$	$p_{1,2}<0,001$ $p_{3,4}<0,001$
3+30	863,7±6,82	953,5±10,15	1640,9±17,06	1390,3±16,69	$t_{1,2}=7,34$ $t_{3,4}=10,5$	$p_{1,2}<0,001$ $p_{3,4}<0,001$
12+30	1175,0±5,99	1338,5±12,0	2701,1±17,95	2589,2±21,49	$t_{1,2}=12,19$ $t_{3,4}=3,99$	$p_{1,2}<0,001$ $p_{3,4}<0,001$

погіршуються умови дифузійного живлення МД. Найбільше зниження кількості мікросудин виявлено в каудально розташованих хребцях і, особливо, в їх дорсальному відділі (таблиця 2).

Гіпокінезія обумовила розширення периваскулярних просторів і явища периваскулярного набряку. Мікроскопічні дослідження виявили також, що обмеження рухомості сприяє набряку тканин МД і порушенню гістотопографічних співвідношень його компонентів. Це проявлялося збільшенням, майже удвічі, об'єму драглистого ядра та розщодженням платівок фіброзного кільця.

Драглисте ядро займало в МД більш центральне положення, спостерігались структурні порушення його нотохордальних клітин. В обох шарах фіброзного кільця поширювалися явища дистрофії, збільшувалася наявність клітин з пікнотично зміненими ядрами. Ці зміни переважно відзначалися в V-VI поперекових міжхребетних дисках.

2. Ультраструктурні вікові особливості міжхребцевих дисків в умовах гіпокінезії.

Після 7-добової гіпокінезії встановлено зв'язок морфологічних свідочств процесу адаптації до стресового фактору з ознаками дистрофічних пошкоджень. Характерним було збільшення ядр клітин, просвітлення матриксу мітохондрій, нерівномірне розширення окремих каналців ендоплазматичного ретикулу та комплексу Гольджі.

30-добова гіпокінезія сприяла пошкодженню клітин і матриксу фіброзного кільця, що було найбільш вираженим у молодих тварин. Виявлено, що в цих умовах у 1-місячних щурів змінювалася форма ядр хондроцитів, з'являлись клітини з величезними ядрами незвичайної форми, підвищувалась наявність гетерохроматину навколомембранної локалізації. У цих клітинах мала місце значна вакуолізація цитоплазми, висока осьміофілія її ділянок та явища набряку органодів. Окремі збережені мітохондрії мали різко просвітлений матрикс та декілька скорочених крист. Повсючасною знахідкою були фрагменти ядерної субстанції, вільно розташовані в матриксі.

Морфологічними показниками пошкодження матриксу під впливом гіпокінезії були втрата зв'язків колагенових волокон у пучках, порушення періодичності структури колагену, поява поширених і витончених ділянок по ходу волокон, а також фрагментація деяких волокон.

МД 12-місячних щурів, за даними електронномікроскопічних досліджень, були більш стійкими в умовах навіть тривалої гіпокінезії. Однак, порівняно з контролем, в колагено-волоконних хрящах поширювалися процеси дистрофії клітин і матриксу та розвивалися явища деструкції тканини.

3. Гістохімічні вікові особливості міжхребцевих дисків в умовах гіпокінезії.

Гістохімічними дослідженнями доведено, що виявлені структурні зміни розгорталися на фоні падіння активності

ферментів окислюючого фосфорилування і гліколізу.

У 1-місячних щурів після 30-добової гіпокінезії активність малатдегідрогенази (МДГ) знижувалася відносно контролю на 13,4% при незначній зміні активності α -ГФДГ. Найбільш знижувалася активність лактатдегідрогенази (ЛДГ) – на 60,9% та її ЛДГ-1 ізоформи – на 81,5%.

У 3-місячних щурів активність МДГ знижувалася на 10,47%, α -ГФДГ – на 27,08%, ЛДГ – на 27,08%, ЛДГ-1 – на 74,96%.

Щодо 12-місячних щурів, то активність МДГ знижувалась тільки на 3,05%, α -ГФДГ – на 20,02%, ЛДГ – на 19,94%, ЛДГ-1 на 47,94%. Найбільш стійким до змін у всіх вікових групах був ЛДГ-4 ізофермент.

Таким чином, адаптація до гіпокінезії у молодих і зрілих тварин має певну різницю, але в цілому більш чутливими до нерухомості були 1-місячні щури, що узгоджується з даними мікроскопічних досліджень.

Висновки / Дискусія

Морфології МД та його суміжних структур в умовах гіпокінезії присвячено невелика кількість робіт, в котрих ще відсутні комплексні дані про зміни всіх компонентів МД в умовах обмеженої рухомості (Т. А. Глушко та ін., 1987; В. Г. Ковешников, А. Е. Сак, 2005; А. Е. Сак, 2010).

Як свідчать представлені в роботі дані, в умовах гіпокінезії система зв'язку тіл хребців МД зазнає значних структурно-метаболических перебудов, що найперше може бути пов'язано з процесами набряку тканин і порушенням умов його дифузійного живлення.

Обмеження рухомості сприяє зміні всіх відділів МД. Змінюється форма та лінійні розміри МД, знижується рівень його дифузійного живлення з боку тіл хребців, змінюється активність метаболізму в клітинах. Ці зміни виявлялися вже після 7-добової гіпокінезії та були найбільш очевидні після 30-добової гіпокінезії.

В умовах гіпокінезії збільшувався краніо-каудальний діаметр МД, а у молодих тварин МД втрачав клиноподібну форму. Драглисте ядро займало в МД центральне положення і приймало сферичну форму. При збільшенні строку нерухомості щурів у фіброзному кільці знижувались метаболічні ресурси клітин і зростали дистрофічні пошкодження органодів і матриксу. Ці зміни переважали у п'ятому та шостому поперекових МД, що може бути пов'язано із різницею в кровопостачанні краніальних і каудальних частин поперекового відділу хребта. Крім того, при гіпокінезії виявлено затримку процесів осифікації хрящових апофізів тіл хребців, що також змінює хід вікових перебудов МД і хребтового сегмента в цілому.

Комплекс здобутих даних свідчить, що обмеження рухової активності є значним фактором, що ушкоджує МД. Основною причиною цього є відсутність в умовах гіпокі-

Таблиця 2
Вікові зміни щільності розподілу мікросудин, що були контрастовані тушшю, в поперекових хребцях в умовах гіпокінезії (X+S_x)

Експериментальні серії	Зони у тілах хребців			
	1	2	3	4
1 місяць +7 діб гіпокінезії	18,66±1,054	17,66±1,358	18,83±1,352	16,5±1,50
1 місяць +30 діб гіпокінезії	10,0±1,032	8,0±0,68	9,0±1,032	7,16±0,75
3 місяця +7 діб гіпокінезії	17,83±1,01	16,33±0,714	16,06±0,666	13,83±1,01
3 місяця+30 діб гіпокінезії	9,0±0,966	8,83±0,601	9,83±0,601	7,17±1,79
12 місяців+7 діб гіпокінезії	7,17±0,477	6,83±0,723	6,83±0,601	5,83±2,50
12 місяців+30 діб гіпокінезії	5,33±0,843	3,66±0,334	5,0±0,774	4,5±0,39

незії навантаження, необхідного для формування опорних структур МД. Відсутність механічної стимуляції МД знижує рівень метаболізму в клітинах, стримує процеси

адаптивного ремоделювання тканин і сприяє порушенню інтактних структур. Тривала гіпокінезія сприяє найбільшому пошкодженню структур МД у тварин молодого віку.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів, який може сприйматись таким, що може завдати шкоди неупередженості статті.

Джерела фінансування. Ця стаття не отримала фінансової підтримки від державної, громадської або комерційної організації.

Список посилань

1. Глушко, Т.А., Гусакова, В.А., Малова, Н.Т. (1987), "Изменения тканей диска после гипокинезии у крыс разного возраста", *Архив анатомии*, Т. 43, № 1, С. 50-55.
2. Ковешников, В.Г., Федонюк, Я.И., Украинский, А.В. и др. (1980), "Влияние гипокинезии на рост и строение длинных трубчатых костей животных, адаптированных к физическим нагрузкам", *Матер. I съезда анатомов, гистологов, эмбриологов Украины*, Винница, С. 93.
3. Коган, Б.И., Ломинога, С.И. (1978), "Морфология скелета инбредных крыс при гипокинезии и вариантах ее реабилитации", *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*, Т. 86, № 7, С. 99-101.
4. Ковешников, В.Г., Сак, А.Е. (2005), "Ультраструктурные изменения клеток и межклеточного матрикса МД при различных режимах гипокинезии в возрастном аспекте", *Український морфологічний альманах*, Т. 3, № 4, С. 108-112.
5. Колесниченко, В.А., Страуде, В.А. (2005). "Вертеброгенные аспекты спортивного отбора и ориентации спортсменов", *Спортивная медицина*, Т.1, С. 171-174.
6. Колотуша, В.Г., Руденко, А.Е., Кадырова, Л.А. (2005), *Остеохондроз поясничного отдела позвоночника*, Киев.
7. Кремер, Ю. (2013), *Заболевания межпозвоночных дисков*, Медпресс-информ, Москва.
8. 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.
9. Никитюк, Б.А., Коган, Б.И. (1974), "Генотипические особенности формообразования скелета задней конечности инбредных животных при гипо-, нормо- и гипердинамии", *Ортопедия, травматология*, № 12, С. 27-30.
10. Радченко, В.О., Петренко, И.В., Голубева, Л.М., Бенгус, Д.Е. (2008), "Актуальные проблемы артрологии и вертебрологии", *Матер. междунар. 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. (2010), "Изменения кровоснабжения вентрального отдела позвоночника в условиях экспериментальной гипокинезии", *Український морфологічний альманах*, Т. 8, № 2, С. 182-184.
12. Хрусталева, И.В., Криштофорова, Б.В. (1987), "Возрастные изменения суставных и метафизарных хрящей в условиях гиподинамии", *Матер. симпозиума ESOA "Деструкция суставов"*, Сочи, С. 69.
13. Christopher M. De GeerDC, MSc. (2018), "Intervertebral Disk Nutrients and Transport Mechanisms in Relation to Disk Degeneration: A Narrative Literature Review", *Journal of Chiropractic Medicine*, No. 17(2), pp. 97-105.
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. Fernando, H.N., Czamanski, J., Yuan, T.Y., Gu, W., Salahadin, A. & Huang, C.Y. (2011), "Mechanical loading affects the energy metabolism of intervertebral disc cells", *Journal of Orthopaedic Research*, No. 29(11), pp. 1634-1641.
16. 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.169-173
17. Justin A. Iorio, Andre M. Jakoi & Anuj Singl (2016), "Biomechanics of Degenerative Spinal Disorders", *Asian Spine Journal*, No. 10(2), pp. 377-384.
18. Vieira, L.A., Dos Santos, A.A., Peluso, C., Barbosa, C.P., Bianco, B., Rodrigues, L.M.R. (2018), "Influence of lifestyle characteristics and VDR polymorphisms as risk factors for intervertebral disc degeneration: a case-control study", *European Journal of Medical Research*, No. 23(1), pp. 11.
19. Zhu, Q., Jackson, A.R. & Gu, W.Y. (2012), "Cell viability in intervertebral disc under various nutritional and dynamic loading conditions: 3d finite element analysis", *Journal of Biomechanics*, No. 45(16), pp. 2769-2777.

Стаття надійшла до редакції: 21.02.2019 р.

Опубліковано: 30.04.2019 р.

Аннотация. Андрей Сак, Раиса Антипова. **Возрастные особенности структурных перестроек позвоночно-двигательного сегмента в условиях ограниченной двигательной активности.** *Цель:* изучить в возрастном аспекте структурные изменения поясничных межпозвоночных дисков и смежных структур позвоночника крыс при ограничении двигательной активности для выяснения закономерностей их перестройки в условиях экспериментальной гипокинезии. **Материал и методы:** исследование выполнено в эксперименте на крысах-самцах линии Вистар разного возраста. Режим гипокинезии достигался содержанием животных в клетках малого объема, что ограничивало движение. Методы исследования включали морфометрию, макро- и микроскопию, методы стандартной гистологии с окраской препаратов гематоксилин-эозином и пикрофуксином по Ван Гизону, а также статистический анализ полученных данных. **Результаты:** определено, что ограничение подвижности способствовало изменению всех отделов позвоночно-двигательного сегмента. Меняется форма и линейные размеры межпозвоночных дисков, снижается уровень его диффузного питания со стороны тел позвонков. **Выводы:** установлено, что отсутствие механической стимуляции межпозвоночных дисков, в режиме экспериментальной гипокинезии, снижает уровень метаболизма в клетках, сдерживает процессы адаптивного ремоделирования тканей и способствует нарушению интактных структур.

Ключевые слова: экспериментальная гипокинезия, позвоночно-двигательный сегмент, межпозвоночный диск.

Abstract. Andrii Sak & Raisa Antipova. **Age features of structural rearrangements of the vertebral motor segment in conditions of limited motor activity.** *Purpose:* a study in the age aspect structural changes of the lumbar intervertebral discs and adjacent structures of the spine of rats with limited motor activity to determine the patterns of their restructuring under conditions of experimental hypokinesia. **Material & Methods:** study was performed in an experiment on male Wistar rats of different ages. The hypokinesia regimen was achieved by keeping animals in small cells, which restricted movement. The research methods included morphometry, macro- and microscopy, standard histology methods with hematoxylin-eosin and picrofuchsin staining according to Van Gieson, as well as statistical

analysis of the data were obtained. **Results:** it is determined that the restriction of mobility contributed to the change of all parts of the vertebral motor segment. The shape and linear dimensions of the intervertebral discs change, the level of its diffuse feeding from the vertebral bodies decreases. **Conclusions:** it has been established that the absence of mechanical stimulation of intervertebral disks, in the mode of experimental hypokinesia, reduces the level of metabolism in cells, inhibits the processes of adaptive tissue remodeling and contributes to the disruption of intact structures.

Keywords: experimental hypokinesia, vertebral motor segment, intervertebral disk.

References

1. Glushko, T.A., Gusakova, V.A. & Malova, N.T. (1987), "Changes in disc tissues after hypokinesia in rats of different ages", *Arkhiv anatomii*, Vol. 43, No. 1, pp. 50-55. (in Russ.)
 2. Koveshnikov, V.G., Fedonyuk, Ya.I. & Ukrainskiy, A.V. etc. (1980), "The Effect of Hypokinesia on the Growth and Structure of Long Tubular Bones of Animals Adapted to Exercise", *Mater. I sezda anatomov, gistologov, embriologov Ukrainy*, Vinnitsa, pp. 93. (in Russ.)
 3. Kogan, B.I. & Lominoga, S.I. (1978), "Morphology of the skeleton of inbred rats during hypokinesia and its rehabilitation options", *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny*, Vol. 86, No. 7, pp. 99-101. (in Russ.)
 4. Koveshnikov, V.G. & Sak, A.Ye. (2005), "Ultrastructural changes in the cells and the intercellular matrix of MD in different modes of hypokinesia in the age aspect", *Ukrainskiy morfologichniy almanakh*, Vol. 3, No. 4, pp. 108-112. (in Russ.)
 5. Kolesnichenko, V.A. & Straude, V.A. (2005). "Vertebral aspects of athletic selection and orientation of athletes", *Sportivna meditsina*, Vol. 1, pp. 171-174. (in Russ.)
 6. Kolotusha, V.G., Rudenko, A.Ye. & Kadyrova, L.A. (2005), *Osteokhondroz poyasnichnogo otdela pozvonochnika* [Osteochondrosis of the lumbar spine], Kiev. (in Russ.)
 7. Kremer, Yu. (2013), *Zabolevaniya mezhpozvonkovykh diskov, Medpress-inform* [Intervertebral disc diseases], Moscow. (in Russ.)
 8. Levenets, V.N. (2002), "Sports Injuries - Diagnosis, Clinic and Treatment", *Mater. I vseukr. z'їzdu fakhivtsiv iz sportivnoї meditsini i LFK z mizhnarodnoyu uchastyu*, Odesa, pp. 32-35. (in Russ.)
 9. Nikityuk, B.A. & Kogan, B.I. (1974), "Genotypic features of the formation of the skeleton of the hind limb in inbred animals with hypo-, normo- and hyperdynamic", *Ortopediya, travmatologiya*, No. 12, pp. 27-30. (in Russ.)
 10. Radchenko, V.O., Petrenko, I.V., Golubeva, L.M. & Bengus, D.Ye. (2008), "Actual problems of arthrology and vertebralogy", *Mater. mezhdunar. konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya osnovaniya Gosudarstvennogo uchrezhdeniya "Institut patologii pozvonochnika i sustavov im. prof. M.I. Sitenko AMN Ukrainy. Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie*, No. 1, pp. 111-117. (in Russ.)
 11. Sak, A.Ye. (2010), "Changes in the blood supply to the ventral spine under conditions of experimental hypokinesia", *Ukrainskiy morfologichniy almanakh*, Vol. 8, No. 2, pp. 182-184. (in Russ.)
 12. Khrustaleva, I.V. & Krishtoforova, B.V. (1987), "Age-related changes of articular and metaphyseal cartilage under hypodynamic conditions", *Mater. simpoziuma ESOA "Destruktsiya sustavov"*, Sochi, pp. 69. (in Russ.)
- Christopher M.De GeerDC, MSc. (2018), "Intervertebral Disk Nutrients and Transport Mechanisms in Relation to Disk Degeneration: A Narrative Literature Review", *Journal of Chiropractic Medicine*, No. 17(2), pp. 97-105.
1. Council of Europe (1986), *European convention for the protection of vertebral animals used for experimental and other scientific purpose*, 18.03.1986, Strasbourg.
 2. Fernando, H.N., Czamanski, J., Yuan, T.Y., Gu, W., Salahadin, A. & Huang, C.Y. (2011), "Mechanical loading affects the energy metabolism of intervertebral disc cells", *Journal of Orthopaedic Research*, No. 29(11), pp. 1634-1641.
 3. 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.169-173
 4. Justin A. Iorio, Andre M. Jakoi & Anuj Singl (2016), "Biomechanics of Degenerative Spinal Disorders", *Asian Spine Journal*, No. 10(2), pp. 377-384.
 5. Vieira, L.A., Dos Santos, A.A., Peluso, C., Barbosa, C.P., Bianco, B., Rodrigues, L.M.R. (2018), "Influence of lifestyle characteristics and VDR polymorphisms as risk factors for intervertebral disc degeneration: a case-control study", *European Journal of Medical Research*, No. 23(1), pp. 11.
 6. Zhu, Q., Jackson, A.R. & Gu, W.Y. (2012), "Cell viability in intervertebral disc under various nutritional and dynamic loading conditions: 3d finite element analysis", *Journal of Biomechanics*, No. 45(16), pp. 2769-2777.

Received: 21.02.2019.

Published: 30.04.2019.

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

ORCID.ORG/0000-0002-7172-4597

E-mail: antipowaraja@i.ua