

УДК 611-018.4:612.014.45]-08

ОЦІНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ ЩУРІВ ПІД ВПЛИВОМ ЗАГАЛЬНОЇ ВІБРАЦІЇ

Костишин Н. М., Гжегоцький М. Р., Серветник М. І.

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

Вступ. Тривалий вплив загальної вібрації здатний негативно впливати на кісткову тканину та організм в цілому, потенціюючи розвиток патологічних процесів, викликаних негативними впливами зовнішнього середовища. Цей екстремальний фактор може призводити до несприятливих наслідків для організму, таких як ушкодження хребта, розладів роботи органів черевної порожнини, неврологічних і серцево-судинних захворювань. Експериментальні дослідження, проведені на тваринах, повідомляють про зміни ремоделювання кісткової тканини у відповідь на низькочастотну загальну вібрацію, проте, є недостатньо даних про вплив вібрації з середньою та високою частотою. *Мета дослідження* – вивчення впливу вібраційних коливань різної частоти на структурно-функціональний стан та механізми ремоделювання кісткової тканини.

Матеріали та методи дослідження. Експериментальне дослідження проведено на зрілих щурах-самцях. Для гістологічного дослідження були взяті фрагменти стегнової кістки піддослідних тварин.

Результати. У всіх дослідних групах спостерігається зв'язок між силою вібраційних коливань та швидкістю метаболічних процесів у кістковій тканині. При гістологічному дослідженні препаратів стегнової кістки на 28 добу експерименту прослідковуються ознаки гострого пошкодження кісткової тканини та початкові прояви її ремоделювання. Процеси ремоделювання кістки у тварин та початкові прояви остеогенезу досягають максимальних значень після зупинки вібраційних впливів. На 56 добу експерименту процеси ремоделювання максимально виражені та проявляються посиленою регенерацією в зоні хрящової пластинки, підвищеною проліферативною активністю та гіперплазією хондроцитів, гіпертрофією відповідних зон хрящової тканини, зонами формування незрілої кісткової тканини з формуванням поодиноких гаверсових каналів у ділянках попередніх пошкоджень, вогнищевим замісним фіброзом та ангіоматозом.

Висновки. Отримані результати дають підставу вважати, що зі збільшенням частоти вібрації (з 15 до 75 Гц) зростає швидкість метаболізму кісткової тканини, прискорюються процеси активації остеобластів, посилюються ушкодження колагену та втрата кальцію, що ведуть до виникнення остеопорозу.

Ключові слова: загальна вібрація, кісткова тканина, ремоделювання кістки

Вступ

Кісткова тканина є метаболічно активною системою, її постійне функціонування забезпечується процесом ремоделювання, яке полягає в безперервній заміні кісткових пластинок, формуванні нових остеонів і трабекул на місці резорбованих. Моделювання, перебудова та репарація кісткової тканини є можливими завдяки підтримці рівноваги між процесами резорбції та кісткоутворення [3, 19, 20].

Оскільки кістка є механочутливою тканиною, її стан залежить від різних факторів – генетичних та імунних, особливостей харчування та способу життя, а також від екзогенних впливів, до яких належать вібраційні коливання [2, 5, 8, 9, 15].

У літературі описано дані, які показують, що постійний вплив механічних коливань на кістковий метаболізм проявляє катаболічний ефект та втрату кальцію кістками незалежно від віку. Сучасні імунологічні дослідження підтверджують, що хроніч-

ний вплив механічних коливань на організм призводить до активації CD⁴-лімфоцитів, підвищення синтезу прозапальних (TNF, IL₁, IL₆, IL₈) та зниження синтезу протизапальних цитокінів (IL₄, IL₁₀, IL₁₃). Це призводить до дисбалансу в системі RANKL/RANK/OPG, диференціації та активації остеокластів з подальшим підвищенням кісткової резорбції [6, 7, 10, 11, 17, 21].

У сучасній літературі переважна більшість досліджень присвячена вивченню впливу середньо- та високочастотної вібрації зі швидкістю віброприскорення ≤ 0,5 g. Зокрема, Rubin та McLeod довели високу чутливість кістки до механічних стимулів. Модулюючи загальні вібраційні коливання частотою 30 Гц з віброприскоренням 0,3 g по 5 хв щоденно протягом 30 днів, учені встановили наростання кісткової маси трабекулярного шару великогомілкової кістки в індіків [17]. Значно пізніше, Rubin et al. довели анаболічний вплив вищеописаних коливань

та сповільнення ремоделювання кісткової тканини за рахунок гальмування процесів остеокластогенезу (зниження експресії RANKL та цитокінів, причетних до остеокластогенезу) [18]. Встановлено, що корінцевий синдром, який є основною причиною хронічного болю в попереку, супроводжується втратою кісткової маси трабекулярного шару поперекових хребців у водіїв, спричинюється загальними вібраційними коливаннями, які передаються через опорні точки тіла та в більшості випадків призводять до втрати працездатності [16]. У літературі також зазначено, що значна кількість населення, яка працює в промисловості, піддається впливу загальної вібрації, що призводить до зростання кількості хворих з розладами опорно-рухового апарату [4, 22]. У результаті виникає гіпертрофія м'язової тканини, остеоартроз, остеопороз та утворення гіперкальцинатів хребців. Це в подальшому може призводити до розвитку вторинного корінцевого синдрому з трофічними розладами кінцівок. Такі зміни переважно можуть виникати протягом двох-п'яти років роботи в умовах постійної вібрації, яка перевищує гранично допустимі рівні [1, 12–14].

Зважаючи на дані фахових літературних джерел щодо досліджень впливу вібрації на кістковий метаболізм, виникає необхідність вивчати структурно-функціональні зміни, що можуть виникати в кістковій тканині опорно-рухового апарату організму в експериментальних умовах.

Мета дослідження – вивчення впливу вібраційних коливань різної частоти на структурно-функціональний стан та механізми ремоделювання кісткової тканини.

Матеріали та методи дослідження

Експериментальне дослідження проводили на 60 статевозрілих щурах-самцях масою 180–220 г. Тварини були розподілені на 5 груп, у кожній по 12 особин. Щурів чотирьох дослідних груп піддавали впливу вертикальних вібраційних коливань частотою 15, 25, 50 та 75 Гц відповідно 2 рази на 1 день по 20 хв протягом 28 днів.

По 6 тварин з кожної групи виводили з експерименту на 28 день дослідження шляхом швидкої декапітації з забором крові та наступною підготовкою гістологічних препаратів стегнової кістки щурів. Решту тварин продовжували утримувати в стандартних умовах віварію ЛНМУ імені Данила Галицького протягом наступних 28 днів, не піддаю-

чи їх впливу вібрації. На 56 день дослідження повторно проводили оцінку стану кісткової тканини експериментальних тварин.

Усі дослідження на тваринах проводили при дотриманні принципів біоетики відповідно до положень Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, яких використовують в експериментальних та інших наукових цілях (Страсбург, 1986 р.), Директиви Ради Європи 86/609/ЕЕС (1986 р.), Закону України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження», загальних етичних принципів експериментів на тваринах, ухвалених Першим національним Конгресом України з біоетики (2001 р.).

Вертикальні вібраційні коливання моделювали з використанням вібраційного насосу APC Rain-60, потужністю 250 Вт з максимальним тиском 7 бар. До штока вібраційного насоса кріпили вібраційну платформу з контейнером, де перебувала дослідна група щурів. Беручи до уваги, що у вібраційних насосах цього типу відсутні пружні підвіски резонансного налаштування, до електричної схеми живлення їхніх електромагнітів приводу введено регулятор частоти напруги моделі AFC-120, який дає змогу змінювати частоту притягування якоря електромагніту до його стартера, змінюючи тим самим частоту коливань прикріплених до штока якоря платформи. Амплітуду коливань контролювали силою струму з використанням лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) моделі АОСН-2. У всіх випадках вона дорівнювала 2 мм [2].

Рівень віброприскорення визначали за формулою:

$$a = \gamma \cdot F^2,$$

де a – рівень віброприскорення (м/с^2), γ – амплітуда коливань (мм), F – частота (Гц).

Параметри загальної вібрації та перевищення їхніх гранично допустимих рівнів (ГДР), що використовувалися в експериментальних умовах, наведено в таблиці.

Фрагменти стегнової кістки піддослідних щурів забирали для гістологічного дослідження. Для цього їх очищували від м'язової тканини та фіксували 10 % розчином формаліну протягом 24 год у герметичному контейнері для зберігання біологічного матеріалу. Декальцинацію хребців проводили розчином Rapid Decalcifier Kaltek s.r.l. (Italy) та заливали парафіново-восковою сумішшю. Повздовжні та поперечні зрізи тканин товщиною 7 мкм проводили санним мікротомом МС-2 (Україна). Для забарвлення отриманих зрізів

Таблиця

Параметри загальної вібрації, що використовувалися в експерименті

Дослідна група	Рівень віброприскорення, м/с ²	Частота вібрації, Гц	Гранично допустимий рівень загальної вібрації за ДСН 3.3.6.039-99, м/с ²	Перевищення гранично допустимого рівня	
				разів	дБ
I	0,45	15	0,63	-	-
II	1,25	25	1,0	1,25	2 дБ
III	5,0	50	2,0	2,5	8 дБ
IV	11,3	75	3,15	3,6	12 дБ
Контрольна	-	-	-	-	-

мікропрепаратів використовували стандартні розчини гематоксиліну та еозину. Опис фіксованих на предметному склі гістологічних препаратів проводили на мікроскопі — Nikon Eclipse E200, фотографії отримували за допомогою камери Nikon D5000.

Результати дослідження та їх обговорення

У результаті проведеного гістологічного дослідження кісткової тканини в щурів встановлено залежність прогресуючої втрати мінеральної щільності її від частоти вібрації. У всіх окремих дослідних групах тварин спостерігали подібні гістологічні прояви впливу вібрації на стан кісткової тканини, які представлені вибраними окремими рисунками. Зокрема, на 28 добу дослідження в стегновій кістці щурів I групи спостерігали зони витончення кісткової тканини з лінійною зоною фібриноїдного некрозу. Прослідковується також витончення кісткових трабекул та зменшення маси остеїду, розширення зони росту з великою кількістю хондроцитів (рис. 1.)

Кісткова тканина стегна щурів II дослідної групи характеризується наростанням проявів та домінуванням морфологічних змін, властивих для пошкодження. Ці зміни проявляються формуванням численних інтраоссальних порожнин, переважно овальної форми. У компактній кістковій тканині визначаються розповсюджені зони остеолізу. Хрящова пластинка — з хаотичним розташуванням хондроцитів, а подекуди він різко витончується та складається з трьох хондроцитів (рис. 2).

У кістковій тканині III групи тварин, що піддавалися впливу вібрації частотою 50 Гц, у ході гістологічного дослідження виявлені морфологічні ознаки яскраво вираженого пошкодження. Компактна кісткова тканина — витончена, з множинними дрібними зонами остеолізу та остеопорозу. Кісткові

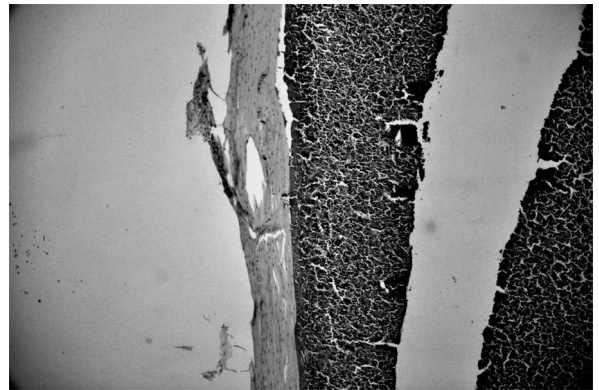


Рис. 1. Фрагмент стегнової кістки: компактна кісткова тканина різко витончена, у товщі численні щілоподібні зони пошкодження кісткової тканини та поодинокі ділянки остеолізу. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Збільшення $\times 100$

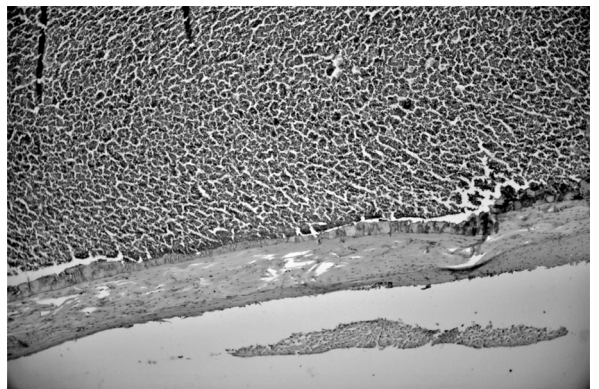


Рис. 2. Фрагмент стегнової кістки: компактна кісткова тканина різко витончена, з поодинокими кровоносними судинами дрібного калібру, у товщі численні щілоподібні та неправильної форми зони пошкодження кісткової тканини; вздовж внутрішньої поверхні кістки — лінійна зона депозитів солей кальцію. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Збільшення $\times 400$

балочки — різко атрофовані, фрагментовані, зі зменшеними депозитами остеїду. Зона наросткового хряща — нерівномірної товщини та поліморфна за складом. В окремих ділянках — вогнище, тотальне пошкодження компактної кісткової тканини з замісною проліферацією грубоволокнистої, гіалінізованої сполучної тканини, з масивними кальцинатами (рис. 3).

Кісткова тканина стегна щурів IV досліджуваної групи, що отримали максимальний вібраційний вплив, з яскраво вираженими, розповсюдженими та різноманітними проявами пошкодження. У різних ділянках кісткової тканини хребців визначали пошкодження, атрофію та фрагментацію трабекул, зменшення кількості остеїду. Зона наросткового хряща — з субтотальною атрофією, невеликою кількістю хондроцитів та незначною кількістю хондроїду. Визначено збільшення кількості поліморфних, неупорядковано розташованих хондроцитів, з відсутністю агрегації їх у стовпчики (рис. 4).

Патологічні зміни у трубчастих кістках проявляють тенденцію до наростання пропорційно збільшення частоти вібрації та віброприскорення. Вогнища остеолізу та остеопорузу з'являються вже в II групі, одночасно з процесами пошкодження кісткової тканини. Визначаються вже альтеративні зміни в зоні хрящової пластинки, розташованої між епіфізом та діафізом — витончення, втрата зональності та різке зменшення кількості хондроцитів, за рахунок яких у нормі відбувається ріст кісткової тканини. У III групі тварин у стегновій кістці поряд з альтеративними процесами визначаються локальні зміни, характерні для початкових проявів ремоделювання, а саме — варіабельна кількість поліморфних хондроцитів без ознак агрегації в стовпчики та зони замісної проліферації грубоволокнистої фібротизованої сполучної тканини з ознаками гіалінозу та масивними петрифікатами.

На 56 день експерименту динаміка зміни структури кісткової тканини в I дослідній групі тварин характеризується переважанням процесів репарації кісткової тканини та її ремоделювання, особливо вираженими в зоні хрящової пластинки. Ділянка епіфізарного хряща в усіх досліджуваних препаратах — розширена та збільшена за площею. Зональність будови хрящової пластинки є порушеною. Спостерігається різке витончення та, інколи, майже повна відсутність зони резервного хряща. Натомість, визначається розширення зони проліферації, яка представлена великою кількістю проліферуючих, невеликих за розмірами, з

гіперхромними ядрами хондроцитів, а також вираженою тенденцією до організації хондроцитів у численні тонкі стовпчики. Локально спостерігається потовщена зона гіпертрофії зі збільшеною кількістю великих за розмірами клітин, з округлими гіперхромними ядрами та просвітленою цитоплазмою. Не визначається зона кальцифікованого хряща. Компактна кісткова

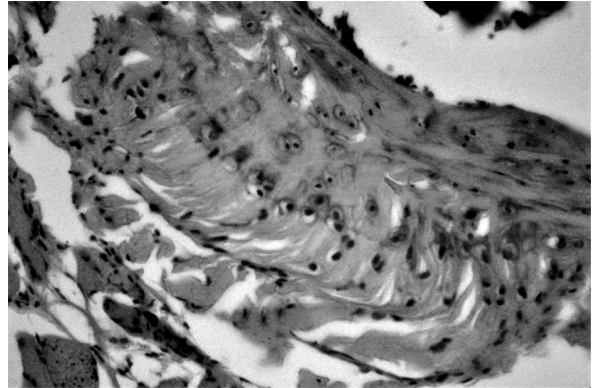


Рис. 3. Фрагмент стегнової кістки, зона хряща: витончення (атрофія) хрящової пластинки з тотальним порушенням зональності розташування хондроцитів; тонка зона резервного хряща з поодинокими, невеликими хондроцитами, без ознак проліферативної активності, та зона резорбції, яка межує з порожниною кісткового мозку. Забарвлення гематоксином та еозином. Збільшення $\times 400$

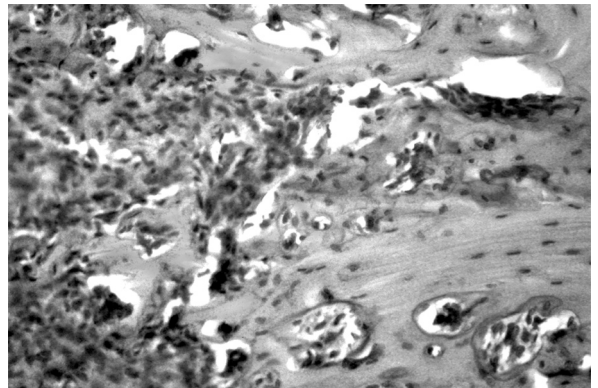


Рис. 4. Фрагмент стегнової кістки, зона хряща: порушення зональності хрящової пластинки, з хаотичним розташуванням окремих груп поліморфних хондроцитів; зона проліферації незрілих остеобласто-подібних клітин мезенхімального походження в зовнішньому пласті кісткової тканини; кісткові трабекули витончені, фрагментовані, з невеликою кількістю остеїду. Забарвлення гематоксином та еозином. Збільшення $\times 400$

тканина в зоні діяфізує незначно потовщеною. Остеоцити розташовані неупорядковано, хаотично, різноспрямовано, серед незначної кількості базофільного остеїдного екстрацелюлярного матриксу. Крім цього, у товщі кісткової тканини спостерігається велика кількість тонкостінних, з ділятованими просвітами, новоутворених кровоносних судин. Стінка цих судин складається лише з внутрішнього моношару ендотеліальних клітин типової гістоструктури та тонкої базальної мембрани (рис. 5).

Найяскравіші морфологічні прояви ремоделювання кісткової тканини групи II дослідних тварин, у першу чергу, локалізуються в зоні наросткового хряща епіфіза стегнової кістки. У більшості препаратів визначаються різко виражені артіфіційні зміни з різким розширенням ділянки епіфізарної хрящової пластинки та з тотальним порушенням її зональної будови. Визначається також повна відсутність зони резервного хряща. Різко розширена зона проліферації хондроцитів. Вказаний шар гіперцелюлярний, представлений множинними, невеликими за розмірами хондроцитами, які утворюють подовжені та, подекуди, завихрені стовпчикові структури. Визначалися поодинокі тонкі пласти кальцифікованих хрящів, які представлені окремими дрібними групами поліморфних хондроцитів, розташованих серед базофільного екстрацелюлярного матриксу (рис. 6).

Кісткова тканина III та IV груп тварин на 56 день експерименту також характеризується морфологічними ознаками процесів ремоделювання та репарації. На

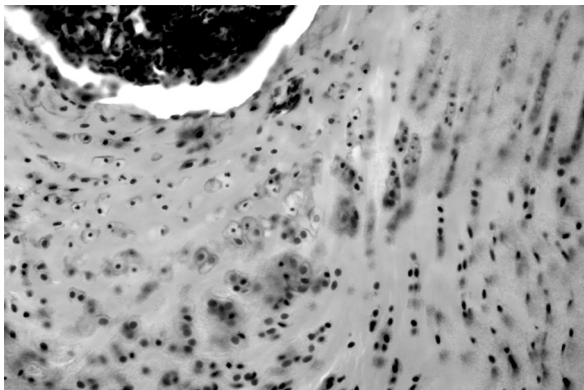


Рис. 5. Стегнова кістка, фрагмент епіфізу, зона хрящової пластинки: виражене розширення зони проліферації хряща зі збільшеною кількістю поліморфними хондроцитами та вираженою організацією клітин у стовпчики; хондроцити збільшені в розмірах, розташовуються у вигляді невеликих груп. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Збільшення $\times 400$

противагу першим двом дослідним групам, у ділянці хрящової пластинки стегнової кістки визначається розширена зона гіпертрофії, презентована великими за розмірами групами вакуолізованих хондроцитів, з просвітленою, майже оптично прозорою цитоплазмою. Також, на відміну від попередніх груп, у зоні епіфізарного хряща визначається доволі грубий пласт кальцифікованої хрящової тканини, представлений численними групами (по 2–3–4 клітини) поліморфних хондроцитів, розташованих серед значної площі базофільного екстрацелюлярного матриксу. Спостерігаються й початкові прояви остеогенезу у вигляді невеликих ділянок незрілої кісткової тканини, розташованої безпосередньо поруч із зоною кальцифікованого хряща. Кісткові трабекули — нерівномірно потовщені, побудовані з переважно незрілої кісткової тканини (рис. 7, 8).

У результаті проведеного дослідження можна зробити висновок, що тривалий вплив загальної вібрації здатний негативно впливати на кісткову тканину та організм в цілому, потенціюючи розвиток патологічних процесів, викликаних негативними впливами зовнішнього середовища [6].

За сучасних умов проблема адаптації організму до середовища перетворилася на проблему адаптації до

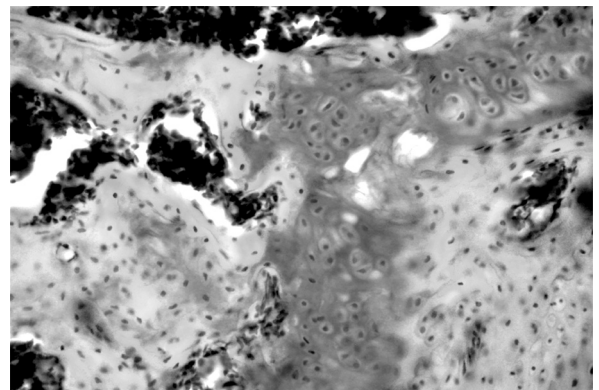


Рис. 6. Стегнова кістка, зона хрящової пластинки: порушення зональності епіфізарного хряща з розширенням ділянки кальцифікованої хрящової тканини; по центру препарату визначається пласт компактно розташованих невеликих груп поліморфних хондроцитів серед базофільного матриксу; зліва в препараті — ділянка незрілої кісткової тканини з великою кількістю неупорядковано розташованих остеоцитів серед еозинофільного матриксу; кісткові трабекули розширені, потовщені. Забарвлення гематоксиліном та еозином. Збільшення $\times 400$

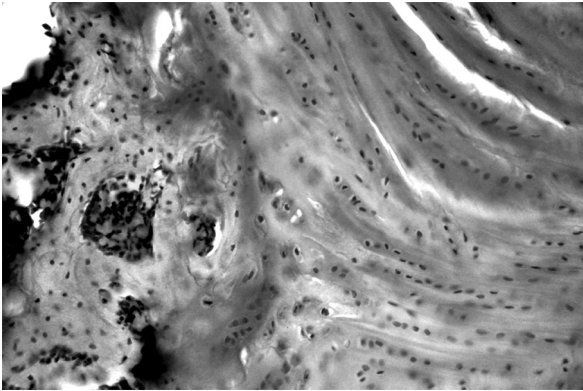


Рис. 7. Зона хрящової пластинки з незначними порушеннями зональності хряща, розширенням ділянки проліферації, широкою зоною гіпертрофії та вираженою зоною кальцифікованого хряща. Забарвлення гематоксином та еозином. Збільшення $\times 400$

екологічно зміненого середовища. У цьому розумінні присутність фізичних чинників у виробничому середовищі та довкіллі неминуче зумовлює необхідність модифікації гігієнічної норми з огляду на відносну сталість техногенного забруднення середовища та принципову допустимість впливу на організм людини певних рівнів вібраційних коливань. Такі дані представлені в Державних санітарних нормах виробничої загальної та локальної вібрації: ДСН 3.3.6.038-99, (2000) та Міжнародних санітарних нормах ISO 5349-1 (2001) та ISO 2631-1(E), 2: 1985, (1997). Якщо при цьому якість нормативів можна вважати стандартом, то фізіологічно переконливими показниками здоров'я асимптомних пацієнтів можуть бути тільки узгоджені з прийнятими нормативами діагностично доказові, прийнятні рівні вібрації. В іншому разі, постає потреба в перегляді раніше встановлених гранично допустимих рівнів вібрації, а тому й дотримання санітарних норм загальної вібрації не є автоматично бездоганим свідченням відсутності небажаного впливу нормованих рівнів вібраційних коливань на здоров'я людини.

Висновки

1. Патологічні зміни в кістковій тканині у вигляді різноманітних варіантів пошкодження проявляють тенденцію до наростання, що корелюють з частотою вібрації та рівнем віброприскорення, як у I дослідній групі, так і в інших групах тварин, де ГДР загальної вібрації перевищували встановлені допустимі норми.

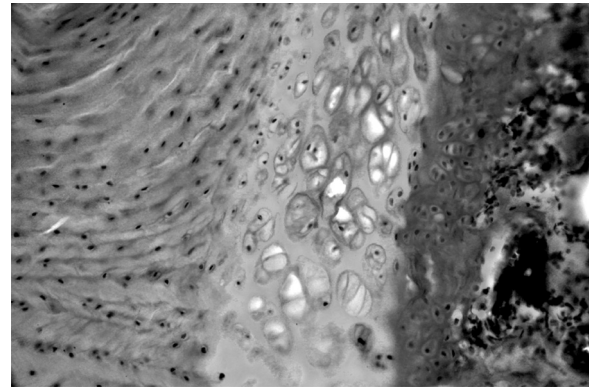


Рис. 8. Стегнова кістка, зона хрящової пластинки: порушення зональності епіфізарного хряща з розширенням ділянки проліферації, значною кількістю невеликих хондроцитів, орієнтованих у численні стовпчики; широка зона гіпертрофії з численними групами великих за розмірами хондроцитами, із оптично прозорою, вакуолізованою цитоплазмою, розташованих у лакунах по 2–4 клітини. Забарвлення гематоксином та еозином. Збільшення $\times 400$

2. При гістологічному дослідженні препаратів стегнової кістки на 28 добу експерименту в усіх дослідних групах чітко прослідковуються ознаки гострого пошкодження кісткової тканини та початкові прояви її ремоделювання, спупінь яких корелює з рівнем віброприскорення та частотою вібрації.
3. Процеси ремоделювання кістки у тварин та початкові прояви остеогенезу досягають максимальних значень після зупинки вібраційних впливів. На 56 добу процеси ремоделювання досягають максимального ступеня вираженості, особливо в III та IV дослідних групах. Це проявляється посиленою регенерацією в зоні хрящової пластинки, підвищеною проліферативною активністю та гіперплазією хондроцитів, гіпертрофією відповідних зон хрящової тканини, зонами формування незрілої кісткової тканини з формуванням поодиноких гаверсових каналів у ділянках попередніх пошкоджень, вогнищевим заміним фіброзом та ангіоматозом.
4. Встановлено, що зі збільшенням рівня віброприскорення та частоти вібрації (з 15 Гц до 75 Гц) зростає швидкість метаболізму кісткової тканини, прискорюються процеси активації остеобластів, посилюються ушкодження колагену та втрата кальцію, що ведуть до виникнення остеопору.

Література

1. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації: ДСН 3.3.6.038-99 / укл.: О. О. Меньшов В. І. Чернюк, В. І. Назаренко [та ін.]. – Київ, 2000. – 46 с.
2. Костишин Н. М. Оцінка мінеральної щільності та метаболізму кісткової тканини щурів під впливом різних параметрів вібрації / Н. М. Костишин, М. Р. Гжегоцький // Експериментальна та клінічна фізіологія і біохімія. – № 2 (74). – С. 5–14.
3. Щуцька Г. В. Особливості ремодельовання кісткової тканини в умовах гіпокінетичного остеопору та політравми в експерименті / Г. В. Щуцька, А. А. Гудима, Р. М. Борис // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2013. – № 1. – С. 112–117.
4. Bovenzi M. An update review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain / M. Bovenzi, C. Hulshof // International Arch. Occupational Environmental Health. – 1999. – № 72. – P. 351–365.
5. Effect of Low-Magnitude Whole-Body Vibration Combined with Alendronate in Ovariectomized Rats: A Random Controlled Osteoporosis Prevention Study / Chen Guo-Xian, Zheng Shuai, Qin Shuai [et al.] // PLoS ONE. – 2014. – V. 9, № 5. – P. 1–8.
6. Christiansen B. A. Constrained tibial vibration does not produce an anabolic bone response in adult mice / B. A. Christiansen, A. A. Kotiya, M. J. Silva // Bone. – 2009. – V. 45. – P. 750–759.
7. Effect of whole-body vibration on bone properties in aging mice / K. H. Wenger, J. D. Freeman, S. Fulzele [et al.] // Bone. – 2010. – V. 47, № 4. – P. 746–755.
8. Effects of whole body vibration on bone mineral density and falls: results of the randomized controlled ELVIS study with postmenopausal women / S. Von Stengel, W. Kemmler, K. Engelke, W. Kalender // Osteoporosis Int. – 2011. – V. 22, № 1. – P. 317–325.
9. Frequency-dependent effects of vibration on physiological systems: experimental with animals and other human surrogates / K. Krainak, D. Riley, J. Wu [et al.] // Industrial health. – 2012. – V. 50. – P. 343–353.
10. Judex S. Is bone formation induced by high-frequency mechanical signals modulated by muscle activity? / S. Judex, C. Rubin, S. Judex // J. Musculoskeletal Neuronal. Interact. – 2010. – V. 10, № 1. – P. 3–11.
11. Lynch M. A. Skeletal effects of whole-body vibration in adult and aged mice / M. A. Lynch, M. D. Brodt, M. J. Silva // J. Orthop Res. – 2010. – V. 28. – P. 241–247.
12. Mechanical Vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand transmitted vibration, Part 1: General Requirements Medicine. Mechanical Vibration and Shock / International Organization for Standardization (ISO) 5349-1. – London (British standart), 2001. – P. 24.
13. Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration—Part1: General Requirements / International Organization for Standardization (ISO) 2631-1: 1985 (E). – Geneva, Switzerland, 1997. – P. 28.
14. Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration – Part2: Continuous and shock induced vibration in buildings (1 to 80 Hz) / International Organization for Standardization (ISO) 2631-2: 1985 (E). – Geneva, Switzerland, 1997. – P. 10.
15. Ozcivici E. Mechanical signals as anabolic agents in bone / E. Ozcivici, Y. Luu, B. Adler // Nat Rev Rheumatology. – 2010. – V. 6, № 1. – P. 50–59.
16. Paschold H. W. Whole-body vibration: Building Awareness in SH&E / H. W. Paschold, A. G. Mayton // American Society of Safety Engineers. Occupation Hazards. – 2011. – V. 54, № 4. – P. 30–35.
17. Rubin C. Promotion of bony ingrowth by frequency-specific, low-amplitude mechanical strain / C. Rubin, K. McLeod // Clinical Orthopedy. – 1994. – V. 298. – P. 165–174.
18. Low mechanical signals strengthen long bones / C. Rubin, S. Turner, S. Bain [et al.] // Nature. – 2001. – № 412. – P. 603–604.
19. Seibel M. P. Dynamics of bone and cartilage metabolism 2nd Edition / M. P. Seibel, S. P. Robins, J. P. Belezikian. – New York : Elsevier, 2006. – P. 919.
20. Effects of low-magnitude, high-frequency mechanical stimulation in the rat osteopenia model / S. Schmisch, R. Galal, L. Kolio, [et al.] // Osteoporosis Int. – 2009. – V. 20. – P. 1999–2008.
21. The predominant role of collagen in the nucleation, growth, structure and orientation of bone apatite / Y. Wang, T. Azais, M. Robin [et al.] // Nature Materials. – 2012. – V. 11. – P. 724–733.
22. Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training / A. F. Abercromby, W. E. Amonette, C. S. Layne [et al.] // Med. Sci. Sports Exercises. – 2007. – V. 39. – P. 1794–1800.

Костышин Н. М., Гжегоцький М. Р., Серветник М. И.

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ КРЫС ПОД ВЛИЯНИЕМ ОБЩЕЙ ВИБРАЦИИ

Львовский национальный медицинский университет имени Данила Галицкого

Введение. Длительное воздействие общей вибрации способно отрицательно влиять на костную ткань и организм в целом, потенцируя развитие патологических процессов, вызванных негативными воздействиями внешней среды.

Этот экстремальный фактор может привести к неблагоприятным последствиям для организма, таких как повреждение позвоночника, нарушения работы органов брюшной полости, неврологических и сердечно-сосудистых заболеваний. Экспериментальные исследования, проведенные на животных, сообщают об изменениях ремоделирования костной ткани в ответ на низкочастотную общую вибрацию, однако недостаточно данных о влиянии вибрации средней и высокой частоты.

Цель исследования – изучить влияние вибрационных колебаний различной частоты на структурно-функциональное состояние и механизмы ремоделирования костной ткани.

Материалы и методы исследования. Экспериментальное исследование проводили на зрелых крысах-самцах. Для гистологического исследования были взяты фрагменты бедренной кости подопытных животных.

Результаты. Во всех экспериментальных группах наблюдали связь между силой вибрационных колебаний и скоростью метаболических процессов в костной ткани. При гистологическом исследовании препаратов бедренной кости на 28 день эксперимента прослеживали признаки острого повреждения костной ткани и начальные проявления ее ремоделирования. Процессы ремоделирования кости у животных и первоначальные проявления остеогенеза достигают максимальных значений после остановки вибрационных воздействий. На 56 день процессы ремоделирования достигают максимальной степени выраженности и проявляются усиленной регенерацией в зоне хрящевой пластинки, повышенной пролиферативной активностью и гиперплазией хондроцитов, гипертрофией соответствующих зон хрящевой ткани, зонами формирования незрелой костной ткани с формированием одиночных гаверсовых каналов в участках предыдущих повреждений, очаговым заместительным фиброзом и ангиоматозом.

Выводы. Полученные результаты дают возможность считать, что с увеличением частоты вибрации (с 15 до 75 Гц) увеличивается скорость метаболизма костной ткани, ускоряются процессы активации остеобластов, усиливается повреждение коллагена и потеря кальция, ведущих к возникновению остеопороза.

Ключевые слова: общая вибрация, костная ткань, ремоделирование кости

Kostyshyn N. M., Grzegotsky M. R., Servetnyk M. I.

EVALUATION OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL STATE OF RAT'S BONE TISSUE UNDER WHOLE BODY VIBRATION

Danylo Halytsky Lviv National Medical University

Introduction. The influence of whole body vibration can affect the bone tissue and the body in general, intensifying the development of pathological processes, caused by the negative effect of the environment. Vibration exposure can result in adverse health effects such as spinal injuries, abdominal, neurological and cardiovascular disorders. Experiments on animals show remodeling bone changes in response to the low-frequency whole body vibration, but the data on the middle and high frequency of occupational vibration are limited.

Purpose of the study was to conduct studying the effect of whole body vibration of different frequencies on the structural and functional state and on mechanisms of bone remodelling in rats.

Materials and methods. An experimental study was conducted on mature male rats. Fragments of rats' femoral bone were taken for histologic examination.

Results. In all experimental groups the relationship between the power of the vibration stimulus and the level of the metabolism of bone tissue was found. In the course of the histological study of specimens of the bone tissue on the 28th day of the experiment acute damages in the bone tissue and initial signs of its remodeling have been seen. The remodelling processes in the bone and initial manifestations of the osteogenesis reach their maximum in animals after ceasing the vibration exposure. The remodeling processes were represented by enhanced regeneration in the zone of the cartilage plate, increased proliferation activity and hyperplasia of chondrocytes, hypertrophy in the respective zones of the cartilage tissue, by zones of forming immature bone tissue in areas of the previous damage, focal replacement fibrosis and angiomatosis.

Conclusion. It has been determined that with the increase of the vibration frequency (from 15 Hz to 75 Hz) the velocity of the bone tissue metabolism increases, osteoblasts' activation processes are observed, the impairment of collagen and calcium losses is increased, leading subsequently to the osteoporosis occurrence.

Key words: whole body vibration, bone tissue, bone remodeling

References

1. Chernyuk, V. I., Nazarenko, V. I. 2000. State sanitary standards on industrial general and local vibration: 3.3.6.038-99. Kyiv, 46 p. (in Ukrainian).

2. Kostyshyn, N. M., Gzhegotsky, M. R. 2016. «Evaluation of mineral density and bone tissue metabolism in rats under various vibration parameters», *Experimental and Clinical Physiology and Biochemistry*, v. 74, no. 2, pp. 5–14 (in Ukrainian).

3. Schutska, H. V., Hudyma, A. A., Boris, R. M. 2013, «Peculiarities of the bone tissue remodeling in conditions of hypokinetic osteoporosis and polytrauma in the experiment», Actual problems of transport medicine, v. 31, no. 1, pp. 112–117 (in Ukrainian).
4. Bovenzi, M., Hulshof, C. 1999, «An update review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain», International Arch. Occupational Environmental Health, no. 2, pp. 351–365.
5. Chen Guo-Xian, Zheng Shuai, Qin Shuai et al. 2014, «Effect of Low-Magnitude Whole-Body Vibration Combined with Alendronate on Ovariectomized Rats: A Random Controlled Osteoporosis Prevention Study», PLoS ONE, v. 9, no. 5, pp. 1–8.
6. Christiansen, B. A., Kotiya, A. A., Silva, M. J. 2009, «Constrained tibial vibration does not produce an anabolic bone response in adult mice», Bone, v. 45, pp. 750–759.
7. Wenger, K. H., Freeman, J. D., Fulzele, S. et al. 2010, «Effect of whole-body vibration on bone properties in aging mice», Bone, v. 47, no. 4, pp. 746–755.
8. Von Stengel, S., Kemmler, W., Engelke, K. et al. 2011, «Effects of whole body vibration on bone mineral density and falls: results of the randomized controlled ELVIS study with postmenopausal women», Osteoporosis Int., v. 22, no. 1, pp. 317–325.
9. Krainak, K., Riley, D., Wu, J. et al. 2012, «Frequency-dependent effects of vibration on physiological systems: experiments with animals and other human surrogates», Industrial health, v. 50, pp. 343–353.
10. Judex, S., Rubin, C., Judex, S. 2010, «Is bone formation induced by high-frequency mechanical signals modulated by muscle activity?», J. Musculoskelet Neuronal Interact, v. 10, no. 1, pp. 3–11.
11. Lynch, M. A., Brodt, M. D., Silva, M. J. 2010, «Skeletal effects of whole-body vibration in adult and aged mice», J Orthop Res., v. 28, pp. 241–247.
12. Mechanical Vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand transmitted vibration, Part 1: General Requirements Medicine. Mechanical Vibration and Shock. 2001, International Organization for Standardization (ISO) 5349-1., London (British standard), 24 p.
13. Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part1: General Requirements. 1997, International Organization for Standardization (ISO) 2631-1: 1985 (E), Geneva, Switzerland, 28 p.
14. Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part 2: Continuous and shock induced vibration in buildings (1 to 80 Hz). 1997, International Organization for Standardization (ISO) 2631-2: 1985 (E), Geneva, Switzerland, 10 p.
15. Ozcivici, E., Luu, Y., Adler, B. 2010, «Mechanical signals as anabolic agents in bone», Nat Rev Rheumatology, v. 6, no. 1, pp. 50–59.
16. Paschold, H. W., Mayton, A. G., 2011, «Whole-body vibration: Building Awareness in SH&E», American Society of Safety Engineers. Occupation Hazards, v. 54, no. 4, pp. 30–35.
17. Rubin C., McLeod K. 1994, «Promotion of bone ingrowth by frequency-specific, low-amplitude mechanical strain», Clinical Orthopedy, Vol. 298, pp. 165 – 174.
18. Rubin, C., Turner, S., Bain, S. C. et al. 2001, «Low mechanical signals strengthen long bones», Nature, no. 412, pp. 603–604.
19. Seibel, M. P., Robins, S. P., Belezikian, J. P. 2006, Dynamics of bone and cartilage metabolism, 2nd Edition. New York : Elsevier, 919 p.
20. Sehmisch, S., Galal, R., Kolios, L. et al. 2009, «Effects of low-magnitude, high-frequency mechanical stimulation in the rat osteopenia model», Osteoporosis Int., v. 20, pp. 1999–2008.
21. Wang, Y., Azais, T., Robin, M. et al. 2012, «The predominant role of collagen in the nucleation, growth, structure and orientation of bone apatite», Nature Materials, v. 11, pp. 724–733.
22. Abercromby, A. F., Amonette, W. E., Layne, C. S. et al. 2007, «Vibration exposure and biodynamic responses during whole-body vibration training», Med. Sci. Sports Exercises, v. 39, pp. 1794–1800.

Надійшла: 12 березня 2017 р.

Контактна особа: Костишин Назар Михайлович, аспірант, кафедра нормальної фізіології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, буд. 69, вул. Пекарська, м. Львів, 79010. Тел.: + 38 0 67 41 86 220. Електронна пошта: kostyshyn.nm@gmail.com