

ВСТАНОВЛЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ МОРФОЛОГІЧНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ ТА СТРУКТУРНИМИ ПОРУШЕННЯМИ КІСТОК НИЖНЬОЇ КІНЦІВКИ ПРИ ЇХ ТРАВМАХ

Савка І.Г.

Кафедра судової медицини та медичного правознавства
Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці

Резюме. Дослідження впливу структурно-функціональних особливостей окремих відділів довгих кісток нижньої кінцівки на формування морфологічних ознак переломів є основною метою даної роботи. Об'єктами досліджень виступили 576 зразків та 128 експертних випадків з ушкодженнями стегнової, великої та малої гомілкової кісток. Отримані дані піддані статистичній обробці з використанням однофакторного дисперсійного аналізу, попереднього аналізу з використанням тесту Кеттела та багатофакторного аналізу. Встановлено, що різні ділянки довгих трубчатих кісток нижньої кінцівки мають значну кількість структурно-функціональних особливостей. Це знаходить своє відображення у макро- та мікроархітектурі кістки і впливає на опірність до дії зовнішніх механічних сил та морфологічні характеристики переломів цих кісток. Визначення морфологічних ознак переломів довгих трубчастих кісток дає можливість ідентифікувати характер спричиненої травми та встановити механізм її виникнення. Серед макроархітектурних показників та морфологічних в зоні перелому особливу діагностичну цінність мають поздовжній діаметр кістки (як абсолютний, так і відносний), розміри медулярного каналу (у вигляді медулярного показника) та його площа і величина кута відходження клино-подібних тріщин.

Ключові слова: довгі трубчасті кістки, нижня кінцівка, переломи, морфологічні ознаки.

Вступ. Морфологічні особливості кістки створюють її фізіологічні якості – міцність, жорсткість, пружність та модуль еластичності. Відповідна комбінація анатомо-фізіологічних характеристик веде до формування біомеханічних змін під впливом зовнішніх сил. Ряд захисних механізмів, що протидіють формуванню перелому залежать саме від морфологічних особливостей кістки в ділянці дії травмуючої сили. До цих компонентів можна віднести перетинки із нерозірваних сполучнотканинних зв'язків, тріщини з прогинанням ділянок кістки, колагенові місточки, виникнення мікротріщин, по яким іде розсіювання енергії удару. Всі ці механізми пов'язані із мікроархітектурою кістки, з кількістю та складом її органічних компонентів. Не слід також забувати, що кістки мають навколо себе м'язово-фасціальний каркас, який впливає безпосередньо на особливості макроархітектури кістки і на характеристики переломів в результаті травм.

Тому, все більше закордонних науковців у своїх дослідженнях вказують на необхідність біомеханічних досліджень процесу руйнації довгих кісток нижньої кінцівки та впливу окремих морфологічних компонентів кісткової тканини на перебіг процесу їх руйнації: T.M. Keaveny, G.E. Sroga, C.J. Wang, X.Z. Yu, V. Kosmopoulos, S. Nagaraja, E.I. Waldorff та ін. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Як свідчить судово-медична практика, судові медики все частіше зустрічаються з атиповими випадками переломів, мінімальними травмами, невідомою етіологією та механізмом їх виникнення. На перше місце тут виступають взаємозв'язки між зовнішніми та внутрішніми чинниками, які і на сьогодні залишаються недостатньо вивченими.

Мета дослідження. Вивести взаємозв'язки між морфологічними особливостями та змінами у структурі окремих відділів довгих кісток нижньої кінцівки при травмах тупими предметами, для об'єктивного ретроспективного встановлення механізмів формування їх переломів.

Матеріал і методи дослідження. В якості матеріалу дослідження взяті 576 зразків стегнової, великої і малої гомілкової кісток, вилучені із 16-ти біоманекенів чоловічої та жіночої статей віком від 24 до 70 років без їх травматичних ушкоджень, видимих патологічних змін чи згадок про такі в анамнезі. Експертні дослідження охопили також 82 особи зі 128 ушкодженнями нижніх кінцівок: стегна – 40 випадків, великої гомілкової кістки – 46 випадків, малої гомілкової – 42 випадки. Переломи кожної кістки оцінювали за трьома зонами (третинами), що в сумі склало 9 зон. Отримані дані піддавали статистичній обробці з використанням однофакторного дисперсійного аналізу, попереднього аналізу з використанням тесту Кеттела та багатофакторного аналізу.

Результати дослідження та їх обговорення.

Стать. Стать постраждалої особи не відіграє особливої ролі. Нами відмічені окремі корелятивні зв'язки, що відображають морфологічні особливості кісток у жінок. Зі статтю корелює менша товщина компактної кістки у медіальних відділах ($R=-0,20$, $p<0,05$), менший ступінь мінералізації кістки у задніх відділах ($R=-0,24$, $p<0,01$), менша протяжність зони пластичної деформації з боку стискання ($R=-0,20$, $p<0,05$). В цілому, характеристики травми у жінок мають ті ж риси, що й у чоловіків відповідного віку.

Вікова група. Впливу вікового цензу ми також не встановили, за винятком зменшення загальної щільності кісток (коефіцієнт кореляції $r=-0,21$, $p<0,05$). Всі інші морфологічні та біомеханічні показники не

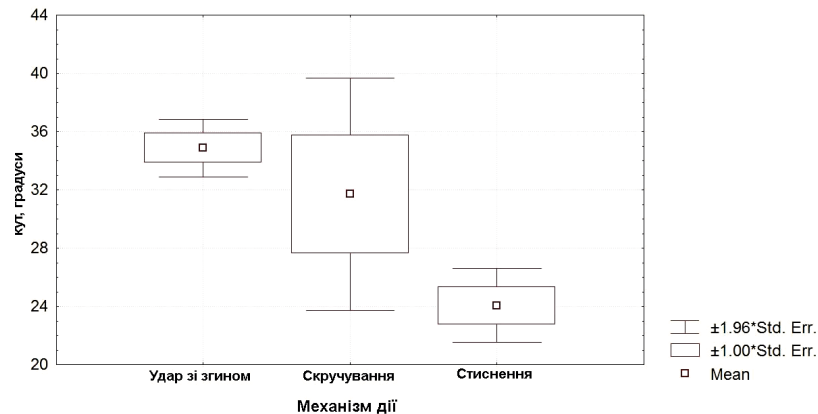
мали вірогідних кореляцій.

Вид дії фізичної сили. Аналіз різновиду фізичних сил, що спричинили переломи кісток включав чотири основних групи: дію ударів тупими предметами із виникненням деформації згину, скручування, стиснення та дії сили по осі кінцівки. Проведення дисперсійного аналізу показало, що вірогідну залежність із фактором виду дії мали поздовжній медулярний діаметр кістки ($p < 0,05$), поздовжній медулярний показник ($p < 0,01$) та загальна площа зрізу медулярного каналу ($p < 0,05$). Таким чином, саме медулярний канал, який має провідну роль у гемопоезі, є фактором послаблюючим механічну стійкість кістки до дії фізичних факторів із різними векторами її прикладання.

Серед морфологічних ознак перелому кістки найбільш вірогідно відображали характер різновиду фізичних сил, що спричинили переломи кісток два показники: кількість поздовжніх тріщин у зоні розриву ($F=5,28, p=0,002$) та кут відходження клиноподібних тріщин ($F=6,84, p=0,001$).

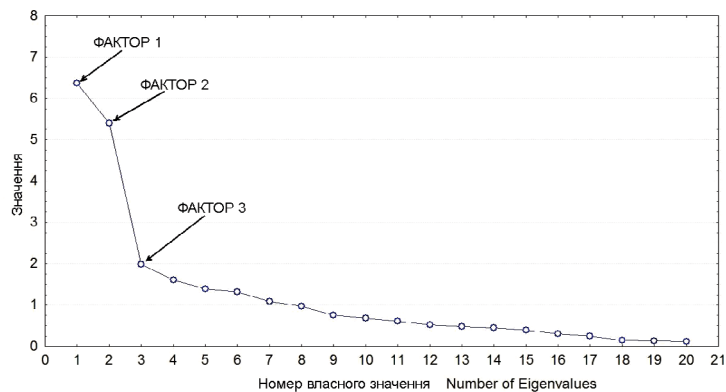
Кут відходження клиноподібних тріщин. Величина цього кута коливалася і мала кореляційні зв'язки з рядом морфологічних характеристик кістки. Величина кута асоціювала, перш за все, із мінеральною складовою кістки: із загальною мінеральною густиною коефіцієнт кореляції склав $r=0,27$, з коливаннями $r=0,18$ з медіального боку та $r=0,29$ з латерального; із мінеральною масою ділянки кістки – загальною $r=0,35$, медіальної ділянки $-r=0,28$, латеральної $r=0,35$ ($p < 0,05$).

Цей показник найбільш інформативно вказував на характер фізичної дії (мал. 1). При травмі викликаній ударом зі згином величина кута в середньому складала $34,9^\circ \pm 1,0^\circ$, дія сили зі скручуванням супроводжувалася виникненням клиноподібних тріщин під середнім кутом $31,7^\circ \pm 4,1^\circ$, а при дії на кістку стискаючої сили він був вірогідно найменшим - $24,1^\circ \pm 1,3^\circ$ ($p < 0,05$). Отже, цей показник має важливе діагностичне значення при визначенні характеру дії фізичної сили.



Мал. 1. Величина кута відходження клиноподібних тріщин залежно від виду фізичної дії (порівняння середніх).

Для встановлення взаємозв'язків між ушкоджуючими факторами, значною кількістю показників морфологічних особливостей кістки та характеристик переломів був використаний факторний аналіз. Було відібрано 20 найбільш суттєвих показників для групування їх у меншу кількість факторів. Попередній аналіз із використанням тесту Кеттела за допомогою графіка вказує, що найбільш ефективним є виділення трьох факторів (мал. 2), оскільки значення четвертого та наступних факторів мало різняться порівняно з фактором 3.



Мал. 2. Графічний тест Кеттела для вибору кількості узагальнюючих факторів.

Попереднє формування факторів із використанням графічного оформлення також вказує на необхідність вибору щонайменше трьох факторів.

Для аналізу було відібрано 20 показників, наведених у табл. 1.

Із наведеної таблиці видно, що **фактор 1** (загальна значимість якого складає 4,92) переважно включає морфологічні показники. Подальший аналіз його вказує на те, що він фактично описує **модуль пружності** кістки. Так, найбільш вагомими ознаками у його складі є загальна кількість пор та загальна частка органічних речовин у складі кістки. Мінеральна складова має дещо меншу вагу і вона включає мінеральну густину та відсоток мінеральної складової кістки. Важливим фактором є площа медулярного каналу, з яким пов'язана кількість тріщин від медулярного каналу з боку розтягу. Вага **фактора 2** у цьому відношенні значно менша (величина 3,59). Він описує біомеханічні закономірності ушкоджень, пов'язані з **модулем жорсткості** кістки. В цьому факторі ієрархічно виділяються найбільш важливі показники перелому: кількість тріщин (клиноподібних від долому, Х-У тріщин, поздовжніх та від медулярного каналу з боку стиску), довжина найбільшої клиноподібної тріщини, висота найбільшого гребеня в зоні долому, кількість зубців у зоні розриву, протяжність зони пластичної деформації з боку стискання, а також емпірична морфологічна ознака – площа медулярного каналу.

Таблиця 1

Багатофакторний аналіз зв'язків між видом дії та морфологічними ознаками зони перелому кісток

№ п/п	Ознака, показник	Номер фактору		
		Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
1	Характер дії травмуючої сили	0,135	0,086	0,571
2	Площа медулярного каналу	0,348	0,329	0,536
3	Протяжність зони пластичної деформації з боку розтягу	0,014	0,324	0,780
4	Кількість зубців у зоні розриву	0,233	0,407	0,010
5	Кількість деревоподібних тріщин з боку розтягу	0,207	0,270	-0,035
6	Кількість поздовжніх тріщин з боку розтягу	-0,100	-0,019	0,158
7	Кількість тріщин від медулярного каналу з боку розтягу	0,267	0,329	0,068
8	Протяжність зони пластичної деформації з боку стискання	-0,073	0,397	0,694
9	Висота найбільшого гребеня в зоні долому	-0,034	0,411	0,301
10	Кількість клиноподібних тріщин від долому	-0,076	0,662	0,098
11	Довжина найбільшої клиноподібної тріщини	0,125	0,588	0,513
12	Кут відходження клиноподібних тріщин	0,040	-0,165	0,642
13	Кількість тріщин від медулярного каналу з боку стиску	0,102	0,602	0,468
14	Кількість Х-У тріщин з боку стиску	0,066	0,651	0,278
15	Кількість поздовжніх тріщин з боку стиску	0,065	0,622	0,485
16	Загальна кількість пор, %	0,925	0,072	-0,061
17	Загальна органічна складова кістки, %	0,859	-0,375	0,034
18	Загальна мінеральна складова кістки, %	0,500	-0,429	0,323
19	Густина мінеральна	0,670	-0,589	0,239
20	Густина загальна	0,643	-0,575	0,165

Фактор 3 (величина 6,27) ієрархічно є найбільш вагомим. Він достатньо повно описує взаємодію травмуючої механічної сили із структурами кістки та її ушкодженнями, пов'язаними із **модулем міцності** кістки. Найважливішою ознакою у його складі є протяжність зон пластичної деформації з боку розтягу та з боку стискання. У попередньому аналізі звернув на себе увагу кут відходження клиноподібних тріщин, який і в складі фактора 3 займає провідне місце поряд із характером дії травмуючої сили. Значу вагу мають також площа медулярного каналу, довжина найбільшої клиноподібної тріщини, кількість поздовжніх тріщин та від медулярного каналу з боку стискання, загальна мінеральна складова кістки та висота найбільшого гребеня в зоні долому.

Висновки:

1. Вікові та статеві фактори не відіграють суттєвої ролі у формуванні морфологічних характеристик перелому. Права та ліва нога зазнають однакових ушкоджень та не мають різниці в морфологічних і біомеханічних показниках.

2. Різні ділянки довгих трубчатих кісток нижньої кінцівки мають значну кількість структурно-функціональних особливостей. Це знаходить своє відображення у макро- та мікроархітектурі кістки і впливає на опірність до дії зовнішніх механічних сил та морфологічні характеристики переломів цих кісток.

3. Визначення морфологічних ознак переломів довгих трубчастих кісток дає можливість ідентифікувати характер спричиненої травми та встановити механізм її виникнення. Залежно від ділянки кістки один і той же за характером дії вплив механічної сили веде до виникнення переломів із різними морфологічними характеристиками.

4. Серед макроархітектурних показників найбільш суттєво впливали на характер перелому поздовжній діаметр кістки (як абсолютний, так і відносний), розміри медулярного каналу (у вигляді медулярного показника) та його площа. Морфологічні ознаки перелому в зоні долому мають більше значення для встановлення механізму травми. Особливу діагностичну цінність має величина кута відходження клиноподібних тріщин.

Перспективи подальших досліджень полягають у поглибленому вивченні взаємозв'язків між основними структурними компонентами кісткової тканини та закономірностями формування морфологічних ознак при переломах різних кісток скелета людини.

Література

1. **Keaveny** T.M. Theoretical implications of the biomechanical fracture threshold / T. M. Keaveny, M. L. Bouxsein // *J. Bone Miner. Res.* – 2008. – Vol. 23, № 10. – P. 1541–1547.
2. **Biochemical** characterization of major bone-matrix proteins using nanoscale-size bone samples and proteomics methodology / [G. E. Sroga, L. Karim, W. Colón, D. Vashishth] // *Mol. Cell. Proteomics.* – 2011. – Vol. 10, № 9. – P. 110.
3. **Wang** C.J. The effects of extracorporeal shockwave on acute high-energy long bone fractures of the lower extremity / C. J. Wang, H. C. Liu, T. H. Fu // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* – 2007. – Vol. 127, № 2. – P. 137–142.
4. **Finite element** analysis of impact loads on the femur / X. Z. Yu, Y. M. Guo, J. Li [et. al.] // *Chin. J. Traumatol.* – 2007. – Vol. 10, № 1. – P. 44–48.
5. **Kosmopoulos** V. Predicting trabecular bone microdamage initiation and accumulation using a non-linear perfect damage model / V. Kosmopoulos, T.S. Keller // *Med. Eng. Phys.* – 2008. – № 30. – P. 725–732.
6. **Nagaraja** S. Trabecular bone microdamage and microstructural stresses under uniaxial compression / S. Nagaraja, T. L. Couse, R. E. Guldberg // *J. Biomech.* – 2005. – № 38. – P. 707–716.
7. **Waldorff** E.I. Age-dependent microdamage removal following mechanically induced microdamage in trabecular bone in vivo / E.I. Waldorff, S.A. Goldstein, B.R. McCreadie // *Bone.* – 2007. – Vol. 40. – № 2. – P. 425–432.

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ МОРФОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ И СТРУКТУРНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ КОСТЕЙ НИЖНЕЙ КОНЕЧНОСТИ ПРИ ИХ ТРАВМАХ

Савка И.Г.

Резюме. Исследование влияния структурно-функциональных особенностей отдельных отделов длинных костей нижней конечности на формирование морфологических признаков переломов является основной целью данной работы. Объектами исследований являются 576 образцов и 128 экспертных случаев поврежденных бедренной, большой и малой берцовой кости. Полученные данные статистически обработаны с помощью однофакторного дисперсионного анализа, предварительного анализа с использованием теста Кеттела и многофакторного анализа. Установлено, что отдельные участки длинных трубчатых костей нижней конечности обладают значительным количеством структурно-функциональных особенностей. Это отображается на особенностях макро- та микроархитектуре кости и влияет на сопротивление к действию внешних механических воздействий и морфологические характеристики переломов исследуемых костей. Определение морфологических признаков переломов длинных трубчатых костей предоставляет возможность идентифицировать характер травмы и установить механизм ее возникновения. Среди макроархитектурных показателей и морфологических в зоне перелома особою диагностическою ценностью обладают: продольный диаметр кости (абсолютный и относительный), размеры медулярного канала (в виде медулярного показателя) и его площадь и величина кута отхождения клинообразных трещин.

Ключевые слова: длинные трубчатые кости, нижняя конечность, переломы, морфологические признаки.

DETECTION OF INTERRELATIONS BETWEEN MORPHOLOGICAL PECULIARITIES AND STRUCTURAL DISORDERS OF THE LOWER EXTREMITY BONES IN CASE OF THEIR INJURIES

Savka I.G.

Summary. The objective of our work is to study the influence of structural-functional peculiarities of certain portions of long bones of the lower extremities upon the formation of morphological signs of fractures. The objects of our studies were 576 samples and 128 expert cases with injuries of the femoral bones, tibia and fibula. The data obtained were statistically processed with the use of single-factor dispersion analysis, primary analysis with Kettel's test

and multi-factor analysis. Various portions of the long tubular bones of the lower extremity were found to have a number of structural-functional peculiarities. It is presented in macro- and micro-architecture of the bone and influences upon the resistance to external mechanical forces and morphological characteristics of fractures of these bones. Detection of morphological signs of long tubular bones fractures enables to identify the character of the injury and find the mechanism of its occurrence. Among macro-architectural parameters and morphological signs in the area of fracture special diagnostic value belongs to the longitudinal diameter of the bone (both absolute and relative), the size of the medullar canal (medullar index) and its square and the value of emerging angle of wedge-shaped fissures.

Key words: long tubular bones, lower extremity, fractures, morphological signs.

УДК: 612.12-001.45:340.624

ОЦІНКА УРАЖАЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КУЛІ ТРАВМАТИЧНОЇ (НЕСМЕРТЕЛЬНОЇ) ДІЇ ПАТРОНА «ТЕРЕН-12П» НА ОСНОВІ РОЗРАХУНКІВ ДОВЖИНИ СПРИЧИНЕНОГО НЕЮ РАНОВОГО КАНАЛУ

В.В. Сапелкін

Харківське обласне бюро судово-медичної експертизи

Резюме. Зважаючи на неоднозначність і неспроможність застосування існуючої енергетичної концепції оцінки вражаючих властивостей куль травматичної (несмертельної) дії, запропоновано використовувати в якості критерію такої оцінки глибину ранового каналу, що дозволило отримати досить простий і універсальний метод, придатний не тільки для зазначених куль, але і для інших видів кінетичних снарядів. Вперше застосовано для дослідження і оцінки вражаючих властивостей куль набоїв 12-го калібру «Терен-12П», що підтвердило її актуальність і ефективність. Визначено доцільність застосування такого критерію при комплексних судово-медичних і балістичних дослідженнях.

Ключові слова: куля травматичної (несмертельної) дії, кінетичний снаряд, уражаючі властивості, в'язко-пружне середовище, коефіцієнт сили опору середовища, глибина ранового каналу, патрон «Терен-12П», балістичний пластилін, імітатор біологічних тканин.

ВСТУП. Існуюча енергетична концепція ураження цілі не в повній мірі відображає феноменологію (фізику) взаємодії кінетичного снаряда (кулі) травматичної (несмертельної) дії із тканинами біологічного об'єкта і не може бути визнана придатною для оцінки відповідних характеристик означених уражаючих елементів. Це пов'язано із положенням щодо спроможності нанесення кінетичним снарядом проникаючого поранення в одну із порожнин людського тіла (в порожнину черепа, грудну або черевну порожнини). Критерієм цього є перевищення граничного значення питомої кінетичної енергії, яке дорівнює $0,5 \text{ Дж/мм}^2$ [1–3]. Цей енергетичний критерій позиціонується як універсальний та придатний для оцінки уражаючих властивостей усіх видів кінетичних снарядів. Однак з появою патронів травматичної (несмертельної) дії, які споряджаються еластичними кулями, ситуація із визначенням їх спроможності до нанесення проникаючих поранень не отримала остаточного вирішення через особливості механізму взаємодії еластичних куль із біологічними тканинами. Під час зіткнення і куля і тканини суттєво деформуються, що призводить до збільшення контактної зони через що зменшуються питомі показники кінетичної енергії та поперечного навантаження і, як наслідок, це призводить до зменшення глибини проникнення у перешкоду. Таким чином, реальне значення цього показника може бути значно менше розрахункового, що може призвести до необгрунтованої оцінки результатів стрільби щодо спроможності нанесення досліджуванним кінетичним снарядом проникаючих поранень тіла того чи іншого ступеня тяжкості.

Мета дослідження - визначити альтернативний критерій оцінки уражаючих властивостей куль травматичної (несмертельної) дії, встановити його параметри та їх граничне значення. Він повинен урахувати не тільки специфіку ударно-контактної взаємодії кулі із в'язко-пружним середовищем (біологічними тканинами), але й особливості конструкції куль (їх форми, особливо головної частини), нутаційні коливання куль та їх положення у момент зустрічі із ціллю.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Основним методом проведення досліджень є прямий динамічний метод, який дозволяє отримати результати експериментальних стрільб у реальних умовах із досить високою достовірністю та з урахуванням варіабельності початкових умов. У якості імітатора біологічних тканин використовувався балістичний пластилін «Beschussmasse 6287156» виробництва німецької фірми «Weible». Визначення швидкостей польоту куль здійснювалося за допомогою двох оптоелектронних комплексів «ИБХ-732».

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ознайомлення із результатами натурних випробувань та матеріалами, представленими у спеціалізованих наукових роботах [3 – 8] показало, що найбільш точно визначити спроможність того чи іншого уражаючого елемента спричинити проникаючі поранення можливо лише на основі одного параметру – глибини ранового