

## КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ ТА НОТАТКИ ІЗ ПРАКТИКИ

УДК 616.71.57.001.61.004.14

### БІОЛОГІЧНИЙ ЗАКОН ВІДПОВІДНОСТІ КІЛЬКОСТІ ТА ФУНКЦІЇ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ

А. Т. Бруско

ДУ “Інститут травматології та ортопедії АМН України”, м. Київ

#### **THE BIOLOGICAL LAW OF COMPLIANCE OF QUANTITY AND FUNCTION OF BONE TISSUE**

A. T. Brusko

*The concepts composed in the literature, own experimental and clinical observations about a close connection between the bone tissue structure and functional load conditions is interpreted as the biological law of compliance of the quantity and function of the bone tissue.*

*Key word: bone tissue, functional load, law.*

#### **БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЗАКОН СООТВЕТСТВИЯ КОЛИЧЕСТВА И ФУНКЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ**

А. Т. Бруско

*Сложившиеся в литературе представления, собственные экспериментальные и клинические наблюдения о тесной зависимости структуры костной ткани от условий функциональной загрузки квалифицируются как биологический закон соответствия количества и функции костной ткани.*

*Ключевые слова: костная ткань, функциональная нагрузка, закон.*

На підставі результатів численних експериментальних досліджень та клінічних спостережень з вивчення структурно-функціональної організації кісткової тканини в різних умовах функції, під якою слід розуміти опорно-рухове, або функціональне навантаження, виявили щільну взаємозалежність, за якою кісткові структури – остеони, трабекули та пластинки, утворюються переважно за напрямком дії основних механічних напружень: компресії та розтягнення. Ці дані стали підставою для формування функціонального напрямлення в остеології, біля джерел якого стояли П. Ф. Лесгафт [4] та Julius Wolf [8]. Згідно з цими уявленнями було сформульовано “закон трансформації кісткової тканини”, за яким кістка під впливом функціонального фактора постійно перебудовується завдяки паралельним процесам фізіологічного утворення (остеогенез) та розсмоктування (остеорезорбція) кісткової тканини [8].

Учення про трансформацію (J. Wolf) та функціональне пристосування кісток (П. Ф. Лесгафт) набуло однієї з теоретичних підстав у розвитку уявлень про адаптаційні та компенсаторні процеси в опорно-рухо-

вій системі в нормі та патології. Отже з середини ХІХ та впродовж ХХ ст. функціональне направлення стало провідним у біології та медицині, у тому числі в остеології, травматології й ортопедії.

У розвиток функціональної морфології опорно-рухової системи (ОРС), і не тільки, суттєвий внесок зробили і наші співвітчизники: В. Г. Кас'яненко (Київ), О. О. Корж (Харків), В. Г. Ковешніков (Луганськ), П. М. Мажуга, С. Ф. Манзій, В. І. Стецула, О. Я. Суслова, І. В. Шумада (Київ), Я. І. Федонюк (Тернопіль), П. П. Шапоренко (Вінниця) та ін.

У другій половині ХХ ст. почали формуватися уявлення про анатомо-функціональну відповідність, що є характерним для ОРС у нормі, та анатомо-функціональну невідповідність, яка є наслідком генетичних або набутих порушень процесів формування і росту кісток та суглобів, травм і захворювань [3, 7]. Приводом для цього були спроби пов'язати виникнення травм, насамперед спортивних [7], та розвиток деяких ортопедичних і травматологічних уражень, у першу чергу, дегенеративно-дистрофічних захворювань су-

глобів з наявністю анатомо-функціональної невідповідності ОРС [3].

Термін “трансформація” кісткової тканини сьогодні майже не застосовується, найбільш розповсюдженим стало словосполучення “фізіологічна регенерація” та “фізіологічна перебудова” [2].

Результати власних багаторічних експериментальних та клінічних спостережень не тільки підтвердили висновки знаменитих попередників про тісну взаємозалежність структурної організації та форми кісток від умов функціонального навантаження, а й уперше встановили, що механізм її реалізується через безпосередній вплив функції на внутрішньокісткове кровопостачання [1, 2, 6].

Біомеханічні експерименти переконливо довели, що в основі цього механізму лежать еластичні деформації, які викликають у кістці, що деформується, гідродинамічні ефекти еластичних деформацій (ГЕЕД), міра прояву яких прямо залежить від величини механічних напружень [1, 2, 6].

Нами також показано, що в процесі філо- й онтогенезу людини та тварин установлюється певний рівень рухової активності, визначений нами як стереотип функціонального навантаження (СФН). При цьому маса кісткової тканини при СФН залишається постійною, оскільки фізіологічні процеси перебудови кісткової тканини – остеогенез та остеорезорбція зрівноважені. Збалансованість цих процесів порушується при формуванні нового рівня СФН, який відбувається тільки в умовах тривалого і сталого зменшення або збільшення рухової активності організму, та продовжується доти, поки не встановиться новий рівень СФН. Формування нового рівня СФН – це період тимчасової невідповідності кількості кісткової тканини функціональним навантаженням, яка, завдяки активізації фізіологічної або розвитку патологічної перебудови, поступово усувається, що викликає зміну кісткової маси адекватно до функції. При збільшенні рівня СФН кісткова маса зростає, а при його зниженні, відповідно – зменшується, що призводить до оптимізації механічних напружень у кістковій тканині.

Для фізичних тіл, у тому числі й для біологічних, притаманна здатність деформуватися при навантаженні. Для різних матеріалів існує певний діапазон оптимальних еластичних деформацій, при яких тіла після припинення силового впливу відновлюють структуру та форму, що особливо важливо для біологічних тканин, у тому числі й для кісткової.

Ураховуючи вікові та видові особливості будови та біомеханічні якості губчастої та компактної кісткової тканин, можна вважати, що кожній з них відповідає певний рівень механічних напружень. Оскільки діапазон величин еластичної деформації нормальної кісткової тканини постійний, то його збільшення або зменшення в процесі формування нового СФН відбувається в природних умовах завдяки активізації фізіологічної перебудови, яка спрямована на відновлення кількості кісткової тканини, тобто кісткової маси, адекватної діючим навантаженням.

При *стійкому зменшенні* величини та інтенсивності функціональної активності, оскільки кількість та структура кісткової тканини не відповідають навантаженню, пружні деформації послаблюються, що призводить до зниження ГЕЕД, погіршення мікроциркуляторного забезпечення кісткової тканини, зменшення рівня кісткового метаболізму та посилення резорбційних процесів.

При *стійкому збільшенні* функціональної активності в умовах недостатньої кількості кісткової тканини рівень еластичних деформацій та ГЕЕД є надмірними.

У *нормі*, у цих умовах, зростає синтетична та секреторна функції остеобластів, яка спрямована на усунення дефіциту кісткової тканини відповідно до діючих навантажень та становлення нового рівня СФН. Тільки при відповідності кількості кісткової тканини функціональному навантаженню стабілізуються ГЕЕД і мікроциркуляція та, відповідно, метаболізм, а процеси кісткоутворення та остеорезорбції набувають збалансованості. У зв'язку з цим оптимальні ГЕЕД залежать, насамперед, від величини механічних напружень у кістковій тканині під час опорно-рухового навантаження та кількості (або маси) кісткової тканини.

Показники механічних напружень при функціональному навантаженні визначаються площею поперечного розтину кістки. Залежність між механічним напруженням та еластичною деформацією кістки є лінійною й виражається законом Гука за формулою:

$$\Delta l = Fl/ES,$$

де  $l$  – довжина;  $S$  – площа поперечного розтину кістки при розтягненні поздовжньою силою  $F$ ;  $E$  – модуль еластичності (модуль Юнга).

Отже, стійке зростання функціональних навантажень вимагає збільшення кісткової маси, а зменшення, відповідно, – розсмоктування кісткової тканини та зменшення її кількості. При цьому збільшення кісткової маси призводить до зменшення рівня механічних напружень, а її зменшення, – до збільшення рівня механічних напружень. Завдяки цьому відбувається оптимізація показника механічних напружень у кістковій тканині, який є реальним природним регулятором адаптаційної чи компенсаторної фізіологічної перебудови кісток, у процесі якої змінюється кількість (маса) кісткової тканини.

Таким чином, кількість кісткової тканини регулюється і величиною механічних напружень, при яких оптимум еластичних деформацій залежить від маси кісткової тканини. Тому чим більше маса кісткової тканини, тим більші механічні напруження потрібні, щоб викликати оптимальний рівень ГЕЕД і навпаки. Тобто щоб кістка могла виконувати своє функціональне призначення та забезпечувати функцію ОРС у різних умовах рухової активності організму, відбувається не тільки перебудова її структури, але змінюється й кількість кісткової тканини в одиниці її об'єму. Ці процеси характеризують пристосувальну спрямованість на оптимізацію тривкісних якостей та рівня механічних напружень у кістковій тканині. Саме показник тривкості кістки є інтегральним та основним у визначенні її здат-

ності витримувати ті чи інші механічні напруження в процесі функціонального навантаження.

Оскільки встановлений тісний зв'язок між кількістю та функцією кісткової тканини є необхідним, суттєвим, сталим і таким, що може повторюватися залежно від умов функціонального навантаження, його доцільно кваліфікувати як біологічний закон. Ці ознаки притаманні вимогам визначення Закону [5]. Відповідність кількості кісткової тканини функціональним навантаженням – це найбільш фізіологічний стан кісткової системи, при якому відбувається її оптимальна опорно-рухова функція. При відповідності кількості кісткової тканини та функціональних навантажень проявляються адекватні ГЕЕД, які є одним із фізіологічних механізмів забезпечення внутрішньокісткового кровопостачання та метаболізму – основи стабільної структурно-функціональної організації кістки.

Класичним прикладом закону біологічної відповідності кількості кісткової тканини функціональним навантаженням є всім відомі стани атрофії та гіпертрофії кісток. Відомо, що атрофія кісток виникає при недостатній, а гіпертрофія – при підвищеній функції опорно-рухової системи. При невідповідності кількості кісткової тканини функціональним навантаженням відбувається адаптаційна або компенсаторна перебудова кістки, спрямована на відновлення цієї відповідності.

Закон відповідності кількості кісткової тканини функціональним навантаженням є дійсним і для інших тканин та органів, але має свої відмінності, обумовлені їх анатомо-фізіологічними особливостями.

## Висновки

1. Відповідність кількості кісткової тканини функціональному навантаженню можна кваліфікувати як біологічний закон.

2. Тільки при відповідності кількості кісткової тканини функції відбуваються оптимальні механічні напруження в кістках, які викликають гідродинамічні ефекти, що сприяють забезпеченню нормального кровопостачання, трофіки та стабільної структурно-функціональної організації кісткової тканини.

3. Природним механізмом регуляції оптимальних механічних напружень у кістковій тканині є функціональна перебудова кісткової тканини, яка відбувається завдяки фізіологічним процесам остеогенезу та остеорезорбції.

## Література

1. Бруско А. Т. Изменения структурной организации длинных костей под влиянием функциональной перегрузки (экспериментально-клиническое исследование) : автореф. дис. на соискание ученой степени доктора мед. наук : спец. 14.00.22; 14.00.15. "Травматология-ортопедия"; "Патологическая анатомия" / А. Т. Бруско. – К., 1985. – 39 с.
2. Бруско А. Т. Функциональная перестройка костей и ее клиническое значение / А. Т. Бруско, Г. В. Гайко. – Луганск : Луганск. гос. мед. ун-т, 2005. – 212 с.
3. Диагностика и лечение дегенеративно-дистрофических поражений суставов // Шумада И. В., Сулова О. Я., Стецула В. И. [и др.]. – К. : Здоров'я, 1990. – 198 с.
4. Лесгафт П. Ф. О причинах, влияющих на форму костей / П. Ф. Лесгафт // Тр. общ-ва рус. врачей. – СПб., 1880–1881. – Т. 47. – С. 579–595.
5. Советский энциклопедический словарь. – Изд. 3-е. – М. : Сов. энцикл., 1985. – С. 446.
6. Стецула В. И. Биологическое значение упругих деформаций кости / В. И. Стецула, А. Т. Бруско. – Биомеханика. – Рига, 1975. – С. 78–83.
7. Франке К. Спортивная травматология / К. Франке; Пер. с нем. – М. : Медицина, 1981. – 352 с.
8. Wolf J. Das gesetz der Transformation der Knochen / J. Wolf. – Berlin : Hirschwald, 1892. – 248 p.