

DOI 10.29254/2077-4214-2021-1-159-134-138

УДК 576.311.347:611.127-018

Загоруйко Г. Є., Марциновський В. П., *Загоруйко Ю. В., **Філатова В. Л., *Шмуліч О. В.

КІНЕТИКА ЗРОСТАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ, ПЛОЩІ ЗРІЗІВ ПИТОМОЇ

І ЗАГАЛЬНОЇ ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ КАРДІОМІОЦИТІВ

У РАНЬОМУ ПОСТНАТАЛЬНОМУ ОНТОГЕНЕЗІ ЩУРІВ ВІСТАР

Рівненський державний гуманітарний університет (м Рівне)

*Харківський національний медичний університет (м. Харків)

**Українська медична стоматологічна академія (м. Полтава)

prof.zagoruykoGE@gmail.com

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами. Робота виконана відповідно до тем НДР: «Теоретичні та прикладні аспекти розвитку біологічних наук» та «Анатомо-фізіологічні аспекти росту та розвитку людини й тварин», № державної реєстрації 0116U002990.

Вступ. Серце починає функціонувати вже на початковому етапі ембріонального розвитку хребетних тварин та людини [1]. Серцевий м'яз (міокард) утворений значною кількістю кардіоміоцитів (КМЦ), які з'єднані в ділянці вставних дисків та формують в складі міокарду спіральні орієнтовані міокарді альні волокна [2, 3]. Структурну і функціональну цілісність міокарда забезпечують поздовжні і бічні з'єднання КМЦ. Латеральні з'єднання КМЦ сприяють поперечному розповсюдженню електричних імпульсів до товщі міокарду. Ритмічне скручування і розкручування м'язових волокон міокарду під час їхнього скорочення і розслаблення приводить до ротаційного руху лівого шлуночка (ЛШ) [4, 5]. При цьому відбувається наповнення та подальший викид із порожнини ЛШ крові у велике коло кровообігу. У міокарді ссавців у процесі кардіоміогенезу відбуваються інтенсивний ріст, проліферація, диференціація, утворення та накопичення двохядерних (2я) КМЦ [6–10]. Перераховані вище процеси супроводжуються активним транспортом метаболітів та іонів по обидві боки сарколеми КМЦ. Відомо, що перенесення речовин та іонів через клітинну плазмолему як тварин так і рослин відбувається пропорційно до площі їхньої поверхні. Сарколема КМЦ виконує не лише бар'єрну функцію. Вона регулює транспорт різних іонів і органічних молекул між саркоплазмою і зовнішнім середовищем. Сарколема КМЦ містить трансмембранні іонні канали, які беруть активну участь у генерації електричних потенціалів. Найважливішими є Na^{+1} і Ca^{2+} – канали. Na^{+1} – канали забезпечують збудливість КМЦ і ритм роботи серця, а Ca^{2+} – канали сприяють надходженню Ca^{2+} в саркоплазму м'язових клітин і активують скоротливу здатність КМЦ [11, 12]. Не викликає сумніву той факт, що лінійні розміри, об'єм, форма КМЦ і площа поверхні сарколеми взаємопов'язані між собою. Тому актуальне значення для визначення закономірностей постнатального розвитку міокарда ссавців і людини мають дослідження кінетики росту лінійних розмірів, об'єму і площі поверхні скоротливих КМЦ.

Мета роботи. Визначити закономірності кінетики росту лінійних розмірів, питомої і загальної площі

поверхні 2я-КМЦ в міокарді ЛШ білих щурів Wistar в процесі раннього постнатального онтогенезу тварин.

Об'єкт і методи дослідження. У роботі використані щури самці Вістар у віці від народження (н/р) до 45 днів. Тварини були взяті з розплідника біологічного факультету ХДУ (м. Харків), утримувалися у стандартних умовах. Всі маніпуляції із щурами проводилися з ретельним дотриманням «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються в експериментах і наукових дослідженнях» (Directive 2010/63 / EU) і принципів біоетики, викладеними в Законі України «Про захист тварин від жорсткого поводження» (№ 1759 від 15.12.2009 р.). Зразки міокарда ЛШ фіксували, зневоднювали, просочували і клали у суміш іпоксидних смол епону і аралдиту за стандартними методиками [13]. Напівтонкі зрізи міокарду ЛШ одержували на ультратомі УМТП-6 і фарбували 1% розчином азурю 11. Морфометрію перетинів 2я-КМЦ в напівтонких зрізах міокарда проводили при збільшенні 1000^x світлового мікроскопу МБІ-15. Визначення лінійних розмірів зрізів 2я-КМЦ здійснювали за допомогою спірального окулярного мікрометра ОМС- 6. Проводили вимірювання меншого діаметра поперечних зрізів 2я-КМЦ (D , мкм) і довжину повздовжніх розмірів 2я-КМЦ (L , мкм) – відстань між протилежно розташованими вставними дисками КМЦ. Вимірювали тільки такі поперечні і поздовжні зрізи КМЦ, в перетинах яких було ядро міоциту. При проведенні обрахування вторинних морфометричних характеристик до яких відносять: площі поперечних і повздовжніх зрізів кардіоміоцитів, питомої і повної поверхні сарколеми – форму КМЦ м'язових клітин апроксимували за допомогою циліндра. Це дозволило значно полегшити отримання стереометричних показників КМЦ. Поверхневі характеристики КМЦ у формі циліндру легко обчислюються за наявності цифрових значень ширини і довжини зрізів КМЦ. За допомогою відповідних формул визначали показники: площу поздовжнього розміру КМЦ $S_{\square}=(D \times L)$ мкм², поперечного зрізу КМЦ $S_{\phi}=(0,785 \times D^2)$ мкм², площу бічної поверхні КМЦ за формулою $S_6=\pi \times D \times L$. Загальну площу поверхні КМЦ у формі циліндру обчислювали за формулою $SKMЦ=(S_6+2S_{\phi})$ мкм². Об'єм (V) і питому площу поверхні КМЦ (S_v) у формі циліндру визначали за формулами: $V_{KMЦ}=(S_{\phi} \times L)$ мкм³ і $S_v_{KMЦ}=(SKMЦ/V_{KMЦ})$ мкм⁻¹. Реальне (p) значення загальної площі поверхні КМЦ визначали за допомогою формули $S_{KMЦ}(p)=S_v_{KMЦ}(p) \times$

ВКМЦ. Цифрові значення морфометричного показника $S_{\sqrt{KМЦ}}(p)$ КМЦ визначали методом «випадкових ліній в комбінації з точковим методом» [14] при проведенні морфометричного аналізу напівтонких зрізів міокарду ЛШ. Для цього використовували окулярну вимірвальну вставку до біокуляру АУ-26. Отримані у процесі досліджень значення морфометричних показників D , L , S_{\square} і S_{\emptyset} були використані для обчислення середньодобових швидкостей росту лінійних розмірів КМЦ (ΔD мкм/добу, ΔL мкм/добу) і визначення площі перетинів КМЦ ΔS_{\emptyset} і ΔS_{\square} (мкм²/добу). Морфометричні значення опрацьовували графічно-аналітичним методом та за допомогою пакету програм для персонального комп'ютера IBM – SigmaPlot for Windows 9.0.

Результати досліджень та їх обговорення. У роботі наведені середні цифрові значення для вище перерахованих морфометричних показників зростання розмірів КМЦ. На рис. 1 наведено графік 1, який описує кінетику зростання діаметру поперечного перетину 2я-КМЦ в міокарді ЛШ. На протязі 45 діб значення показника D кмц монотонно зростають в 1,68 рази від 9,1 (н/р) до $15,3 \pm 0,5$ мкм. Графік 1 має вигляд S – подібної кривої, яка витягнута вздовж вісі часу. В інтервалі часу (н/р -5 доба) та (40-45) діб ми спостерігали сповільнене зростання цифрових значень D кмц відповідно: від 9,1 мкм до 9,3 мкм та від 14,9 до 15,3 мкм. В іншому інтервалі часу (5 – 40) діб визначалося активне зростання діаметру 2я-КМЦ від 9,3 до 14,9 мкм.

На графіку 1 розташована точка перегину «А» з координатами відповідно (13,3 мкм, 30 діб). Приведений графік 1 свідчать про те, що при $t \leq 30$ діб розвитку щурів відбувається прискорене зростання діаметру 2я-КМЦ, а при $t \geq 30$ діб – відбувається сповільнення. На рисунку 1 наведений графік 2 кінетики «зростання \rightarrow зменшення» середньодобової швидкості значень показника ΔD кмц. Графік 2 розташований асиметрично відносно вертикальної штрихової лінії, яка проходить через точку А і зміщений вправо вздовж вісі часу. Цей графік складається з двох періодів, тривалість яких становить «2:1». Перший період розвивається в інтервалі (н/р – 30 діб). Протягом цього періоду часу відбувається зростання в 6,25 рази значень показника ΔD кмц від 0,04 мкм/добу до максимального 0,25 мкм/добу. Другий період обмежений координатами (30 – 45) діб. На протязі цього часу відбувається швидке зменшення в 6,25 рази значень ΔD кмц від 0,25 мкм/добу до 0,04 мкм/добу на 45 день. Таким чином, при $t \leq 30$ діб, відбувається збільшення середньодобової швидкості росту діаметру КМЦ, а при $t \geq 30$ діб – зменшення. На рисунку 2 наведено графік 1 кінетики зростання цифрових значень площі поперечного перетину 2я-КМЦ - S_{\emptyset} кмц. Форма цього графіку мало відрізняється від форми графіка 1 на малюнку 1. Це обумовлено тим, що показники S_{\emptyset} кмц і D кмц пов'язані між собою залежністю S_{\emptyset} кмц = $0,785 \times D^2$ кмц. На протязі 45 діб значення S_{\emptyset} кмц зростають в 2,83 рази від 65 (н/р) до 184 ± 10 мкм². На графіку 1 розташована точка «А» з координатами (137 мкм², 30 діб). Це точка перегину графіку. Таким чином, при $t \leq 30$ діб, відбувається прискорене зростання значень S_{\emptyset} кмц, а при $t \geq 30$ діб – сповільнення. Графік 2 на рис. 2 описує кінетику «зростання \rightarrow зменшення» середньодобової

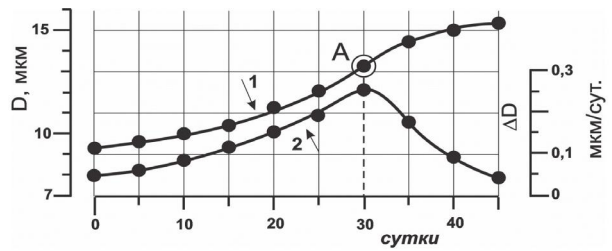


Рисунок 1 – Кінетика росту цифрових значень D кмц (графік 1) і «зростання \rightarrow зменшення» значень ΔD кмц (графік 2). По вісі абсцис – доба розвитку.

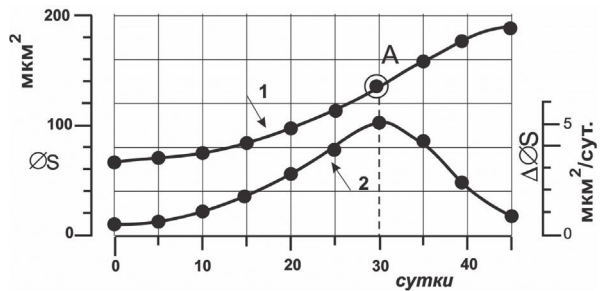


Рисунок 2 – Кінетика росту значень S_{\emptyset} кмц (графік 1) і «зростання \rightarrow зменшення» значень ΔS_{\emptyset} кмц (графік 2). По вісі абсцис – доба розвитку.

швидкості значень показника ΔS_{\emptyset} кмц. Графік розташований асиметрично відносно вертикальної штрихової лінії, яка проходить через точку «А» і зміщений вправо вздовж вісі часу.

Графік складається з двох послідовних періодів, тривалість яких становить «2:1». Перший період розвивається в інтервалі (н/р – 30 діб). На протязі цього часу відбувається зростання в 9,4 рази значень ΔS_{\emptyset} кмц від 0,55 (н/р) до максимуму 5,20 мкм²/добу. Другий період обмежений координатами (30 – 45) діб. Протягом цього часу відбувається швидке зменшення в 5,2 рази значень ΔS_{\emptyset} кмц від 5,2 мкм²/добу до 1,0 мкм²/добу. На рисунку 3 наведено графік 1, який описує кінетику збільшення поздовжнього розміру 2х-КМЦ - L кмц. Протягом 45 діб значення показника L кмц зростають в 3,24 рази від 25 мкм (н/р) до 81 ± 5 мкм. З даних графіку випливає, що на протязі перших 10 діб після народження щурят, поздовжній розмір КМЦ швидко збільшується в 2 рази від 25 мкм до 50 мкм. На графіку 1 розташована точка перегину «А» з координатами відповідно (39 мкм, 5 діб). Ліворуч від точки «А» ділянка графіку 1 випукла донизу (\downarrow), а праворуч точки «А» – випукла догори (\uparrow). Це свідчить, що при $t \leq 5$ діб, спостерігається прискорене зростання довжини КМЦ, а при $t \geq 5$ діб – сповільнення.

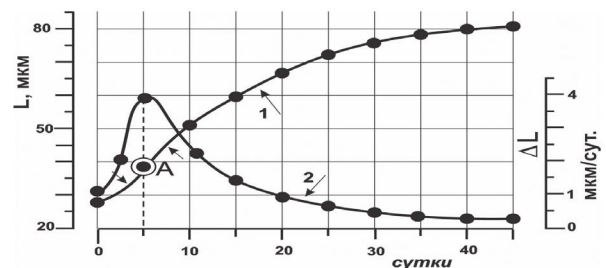


Рисунок 3 – Кінетика росту цифрових значень L кмц (графік 1) і «зростання \rightarrow зменшення» значень ΔL кмц (графік 2). По вісі абсцис – доба розвитку.

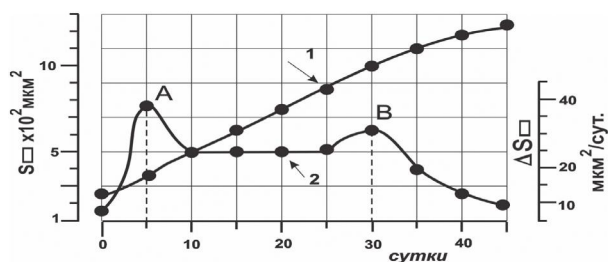


Рисунок 4 – Кінетика збільшення значень показника $S_{\square\text{кмц}}$ (графік 1) і коливання значень $\Delta S_{\square\text{кмц}}$ (графік 2). По вісі абсцис – доба розвитку.

Максимальний приріст довжини КМЦ, який дорівнює 14 мкм, спостерігається на протязі 5 діб після народження щурів. Мінімальний приріст довжини КМЦ у 1,0 мкм відбувається в інтервалі часу (40 – 45) діб. Форма графіку $L_{\text{кмц}}$ суттєво відрізняється від форми графіка $D_{\text{кмц}}$. Це обумовлено різною залежністю показників $L_{\text{кмц}}$ і $D_{\text{кмц}}$ від швидкості процесу їх «зростання → зменшення». Протягом 45 діб після народження щурів, співвідношення показників L/D збільшується від 2,75 (н/р) до 5,3. На рис. 3 представлений графік 2 з метою визначення середньодобової швидкості «зростання → зменшення» цифрових значень показника $\Delta L_{\text{кмц}}$. Графік розташований асиметрично відносно вертикальної штрихової лінії, яка проходить через точку перегину «А» і доволі «різко» зміщений ліворуч вздовж вісі часу. Графік 2 складається з двох послідовних періодів, тривалість яких «1:8». Перший період обмежений інтервалом (н/р – 5 діб). У цей час відбувається швидкий ріст в 4 рази значень $\Delta L_{\text{кмц}}$ від 1,0 (н/р) до максимальних показників – 4,0 мкм/добу. Другий період обмежений координатами (5 – 45) діб. В інтервалі часу (5 – 25) діб відбувається швидке зменшення в 6,7 рази значень $\Delta L_{\text{кмц}}$ від 4,0 мкм/добу до 0,6 мкм/добу. У подальшому, при $t \geq 25$ діб, цифрові значення показника $\Delta L_{\text{кмц}}$ зменшуються до 0,2 мкм/добу на 45 день. Отже, при $t \leq 5$ діб після народження щурів відбувається збільшення середньодобової швидкості росту довжини 2я-КМЦ до максимуму, а при $t \geq 5$ діб – зменшення.

На рисунку 4 представлений графік 1 кінетики зростання площі поздовжнього розміру 2х-КМЦ – $S_{\square\text{кмц}}$. Протягом 45 діб значення показника $S_{\square\text{кмц}}$ зросли в 5,5 рази від 227 (н/р) до 1240 ± 2 мкм². В інтервалі часу (10 – 25) діб форма участку графіка являє собою пряму лінію. Потім, при $t \geq 30$ діб, форма графіка «викривляється», спостерігається сповільнення зростання значень $S_{\square\text{кмц}}$, особливо в інтервалі часу (40 – 45) діб від 1190 до 1240 ± 20 мкм².

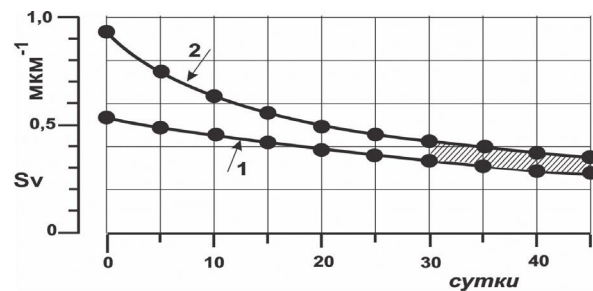


Рисунок 5 – Кінетика зменшення розрахункових значень $S_{\nu\text{кмц}}$ (графік 1) і реальних значень $S_{\nu\text{кмц}}(p)$ (графік 2). По вісі абсцис – доба розвитку.

На рисунку 4 наведено графік 2, який характеризує середньодобову швидкість змін цифрових значень $\Delta S_{\square\text{кмц}}$. Цей графік має складну форму і два максимуми з координатами відповідно А є (5 діб, 38,4 мкм²/добу) і В є (30 діб, 32 мкм²/добу). Складна форма графіку 2 обумовлена тим, що показник $S_{\square\text{кмц}}$ є функцією двох змінних величин $L_{\text{кмц}}$ і $D_{\text{кмц}}$, кінетика зростання яких істотно відрізняється одна від одної (дивись рис. 1 графік 1 і рис. 3 графік 1). Наближена формула для визначення значень $\Delta S_{\square\text{кмц}}$ має такий вигляд: $\Delta S_{\square\text{кмц}} \approx (L_{\text{кмц}} \times \Delta D_{\text{кмц}}) + (D_{\text{кмц}} \times \Delta L_{\text{кмц}})$ і дозволяє оцінити внесок кожного доданку в кінцевий результат – величину показника $\Delta S_{\square\text{кмц}}$. В першому інтервалі (н/р – 5 діб) значення показника $\Delta S_{\square\text{кмц}}$ зростають в 6 разів! від 6,4 до 38,4 мкм²/добу. У другому інтервалі (5 – 10) діб значення $\Delta S_{\square\text{кмц}}$ зменшуються до 25 мкм²/добу. У третьому інтервалі (10 – 25) діб ділянка графіка має прямолинійний вигляд, для якого буде характерно $\Delta S_{\square\text{кмц}} \approx \text{const} \approx 25$ мкм²/добу. Це пояснюється тим, що в інтервалі часу (10 – 25) діб, зменшення значень $(L_{\text{кмц}} \times \Delta D_{\text{кмц}})$ одночасно компенсується зростанням значень $(D_{\text{кмц}} \times \Delta L_{\text{кмц}})$. В четвертому інтервалі (25 – 30) діб, значення показника $\Delta S_{\square\text{кмц}}$ зростають від 25 до 32 мкм²/добу. В п'ятому інтервалі значення $\Delta S_{\square\text{кмц}}$ зменшуються від 32 до 6,4 мкм²/добу на 45 день після народження щурів.

На рисунку 5 представлений графік 1 кінетики зменшення значень $S_{\nu\text{кмц}}$ – питомої площі поверхні 2я-КМЦ, форма яких апроксимована круговим циліндром. На протязі 45 діб значення $S_{\nu\text{кмц}}$ зменшуються в 1,8 рази від 0,52 (н/р) до 0,286 мкм⁻¹. На рисунку 5 зображений графік 2 кінетики поступового зменшення реальних (р) значень питомої площі поверхні 2я-КМЦ – $S_{\nu\text{кмц}}(p)$. Протягом 45 діб значення показника $S_{\nu\text{кмц}}(p)$ зменшуються у 2,68 рази від 0,93 (н/р) до 0,347 мкм⁻¹. В інтервалі часу (н/р – 15) діб цифрові значення показників $S_{\nu\text{кмц}}(p)$ і $S_{\nu\text{кмц}}$ істотно відрізняються. При $t \geq 30$ діб спостерігається повільне і монотонне наближення ділянок графіків 1 і 2.

На рисунку 6 наведені графіки кінетики зростання цифрових значень $SK_{\text{кмц}}$ – загальної площі поверхні КМЦ, форма яких апроксимована циліндром це (графік 1) і графік 2 $SK_{\text{кмц}}(p)$, цифрові значення для якого визначали за формулою

$$SK_{\text{кмц}}(p) = S_{\nu\text{кмц}}(p) \times VK_{\text{кмц}}.$$

За 45 діб значення показника $SK_{\text{кмц}}$ (графік 1) зросли у 5 разів від 845 (н/р) до 4260 ± 200 мкм², а значення показника $SK_{\text{кмц}}(p)$ збільшилися у 3,5 рази від 1470 до 5170 ± 200 мкм². На графіку 2 розташовані дві точки перегину з координатами А є (5 діб, 2130 мкм²) і В є (30 діб, 4300 мкм²), в яких локальні ділянки графіку випуклі догори (↑).

Поява локальних зон перегину графіка обумовлено різним за часом початком активації процесів росту поздовжнього і поперечного розмірів КМЦ. Максимальна середньодобова швидкість росту поздовжнього розміру 2я-КМЦ визначається у міокарді 5-ти добових щурів, а максимальна середньодобова швидкість росту поперечного розміру 2я-КМЦ – у віці 30 діб. На рисунку 6 представлений графік 3 кінетики зменшення цифрових значень показника $k = SK_{\text{кмц}}(p)/SK_{\text{кмц}}$. Коефіцієнт «к» показує у скільки разів реальна площа поверхні КМЦ більше

площі поверхні КМЦ у формі циліндру. Найбільша швидкість зменшення значень k визначається в інтервалі часу (н/р – 15) діб. За цей період цифрові значення k зменшуються в 1,4 рази від 1,79 (н/р) до 1,28. Після 15 діб значення k повільно асимптотично наближаються при $t \rightarrow 45$ діб, до числа 1,2.

Висновки. Результати проведених морфометричних досліджень дозволили встановити, що у процесі постнатального дозрівання 2я-КМЦ, в інтервалі часу (н/р – 45) діб, збільшується довжина КМЦ від 25 (н/р) до 81 ± 5 мкм, зростає діаметр поперечного перетину міоцитів від 9,1 (н/р) до $15,3 \pm 0,5$ мкм, збільшується площа поверхні сарколеми КМЦ від 1470 (н/р) до 5170 ± 200 мкм². У процесі постнатального кардіоміогенезу складна форма поверхні 2я-КМЦ поступово набуває прямої форми. Найбільша активність у процесу випрямлення (згладжування) сарколеми і збільшення площі її поверхні, спостерігається на протязі перших 30 діб після народження щурят. Це обумовлено інтенсивним зростанням лінійних розмірів 2я-КМЦ. До 30-ї доби закінчується формування вставних дисків і реальна форма більшості 2я-КМЦ наближається до форми кругового циліндру. Це дає можливість визначити реальну (p) площу поверхні 2я-КМЦ за допомогою емпіричної формули $SKMЦ(p) \approx SKMЦ \times k$. У цій формулі $SKMЦ$ – загальна площа поверхні 2я-КМЦ апроксимованих круговим циліндром, у якого D і L відповідно, ширина і довжина КМЦ. Критерієм наближення значень $SKMЦ \rightarrow SKMЦ(p)$ є показник « k » – коефіцієнт апроксимації. Цифрові значення k визначають за формулою $k = S_{\nu, KМЦ(p)} / S_{\nu, KМЦ}$. У наведеній формулі $S_{\nu, KМЦ}$ – питома площа поверхні

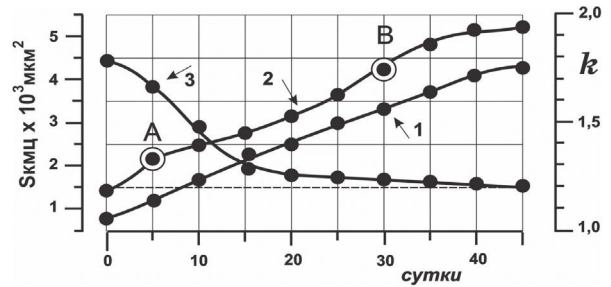


Рисунок 6 – Кінетика росту значень SKMЦ міоцитів у формі циліндру (графік 1) і реальних значень SKMЦ(p) (графік 2). Кінетика зменшення значень показника $k = SKMЦ(p)/SKMЦ$ (графік 3). По вісі абсцис – доба розвитку.

кругового циліндру. Цифрові значення показника $S_{\nu, KМЦ(p)}$ визначають при морфометрії напівтонких зрізів міокарда ЛШ методом «випадкових ліній в комбінації з точковим методом», використовуючи квадратну решітку в окулярі світлового мікроскопу. У результаті проведених досліджень нами було встановлено, що при $t \geq 30$ діб, апроксимація форми 2я-КМЦ круговим циліндром цілком виправдано і дозволяє з достатньою точністю визначати значення $SKMЦ(p)$ за коефіцієнтом апроксимації « k ». Запропонований нами метод визначення цифрових значень $SKMЦ(p)$ скоротливих КМЦ цілком об'єктивний, начиний і простий в процесі проведення обчислювальних процедур.

Перспективи подальших досліджень. Полягають у проведенні морфометричного дослідження закономірностей кінетики постнатального розвитку міофібрил в КМЦ міокарда ЛШ серця щурів Wistar.

Література

1. Procaк TV, Zabrodskа OS. Osoblivosti embriogenezu sercyа ta jogo struktur. Visnik probl. biol. i med. 2018;3(145):38-41. [in Ukrainian].
2. Unasheva AI. Mekhanika levogo zheludochka u zdorovyh detej i podrostkov, rozhdyonnyh donoshennymi [dissertaciya]. Tomsk: Federal'noye gosudarstven. byudzhethnoye nauchnoye uchrezhdeniye «Tomskiy natsion. issledov. meditsinskij tsentr Rossiyskoj akadem. nauk»; 2021. 179 s. [in Russian].
3. Bokeriya OL, Averina II. Dvizhenie serdca v norme i pri razlichnoj patologii, opredelenie rotacii, tvista i skruchivaniyaю. Byullet. NCSKSH im. AN.Bakuleva . 2014;15(4):11-23. [in Russian].
4. Lin CI, Lin CY, Chen CH. Partitions the heart: mechanisms of cardiac septation and valve development. Development. 2012;139:3277-3299.
5. Torrent-Guasр F, Buckberg MJ, Kosica A. Systolic ventricular filling. Eur. J. Cardiothorac Surg. 2004;25(3):376-386
6. Suslonova OV, Roshchevskaya IM, Rasputina AA. Morfometriya zheludochkov serdca kryс linii NISAG v period rannego postnatalnogo razvitiya. Izvestiya Komi nauch. Centra UrO RAN. 2016;1(25):45-50. [in Russian].
7. Gorelova NI. Harakteristika gistogenetichnih procesiv u serci lyudini na rannih etapah kardiogenezu. Morfologiya. 2007;1(1):59-62. [in Ukrainian].
8. Tverdohlib IV. Zakonomirnosti formuvannya geterogennosti sercyа v rannomu ontogenezi [dissertaciya]. Harkiv: Kharkiv. derzh. med universytet 1996. 371 s. [in Ukrainian].
9. Zahoruiko GE, Zahoruiko YuV, Shmulich OV. Kinetika processov rosta linejnyh razmerov i chislennosti kardiomiocitov v miokarde kompleksа (LZH+MZHP) do i posle rozhdeniya kryс. Vis. probl. biol. i med. 2018;1(146):36-9. [in Russian].
10. Zahoruiko YuV, Zahoruiko GE, Martynovskii VP, Filatova VL. Zakonomirnosti kardiomiogeneza u kryс Wistar: rost symmarnoi chislennosti kardiomiocitov i obrazovanie popyliatsii dviyadernyх miocitov v parenhime miokarda kompleksа (LZH +MZHP). Visnik probl. biol. i med. 2019;2(149):70-5. [in Russian].
11. Kodirov SA, ZHuravlev VL, Safonova TA. Ionnye kanaly v kardiomiocitah mlekopitayushchih. Klinicheskaya farmakologiya i lekarstvennaya terapiya. 2004;3(4): 27-41. [in Russian].
12. Bogucka KI. Klitinna biofizika: strukturna organizaciya ta biofizichni vlastivosti membran. Kiiv; 2020. 50 s. [in Ukrainian].
13. Morozova KN. Elektronnaya mikroskopiya v citologicheskikh issledovaniyah: metodicheskoe posobie. NNIGU: Novosibirsk, 2013. 85 s. [in Russian].
14. Avtandilov GG. Osnovy kolichestvennoy patologicheskoy anatomii. M.: Meditsina; 2002. 240 s. [in Russian].

КІНЕТИКА ЗРОСТАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ, ПЛОЩІ ЗРІЗІВ, ПИТОМОЇ І ЗАГАЛЬНОЇ ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ КАРДІОМІОЦИТІВ У РАНЬОМУ ПОСТНАТАЛЬНОМУ ОНТОГЕНЕЗІ ЩУРІВ ВІСТАР

Загоруйко Г. Є., Марциновський В. П., Загоруйко Ю. В., Філатова В. Л, Шмуліч О. В.

Резюме. На протязі 45 діб після народження щурів в міокарді ЛШ відбуваються безперервні процеси зростання довжини і ширини 2я – КМЦ відповідно від 25 до 81 ± 5 мкм та від 9,1 (н/р) до $15,3 \pm 0,5$ мкм. Площі повздовжнього і поперечного зрізів КМЦ зростають відповідно від 227 (н/р) до 1240 ± 20 мкм² та від 65 до 184 ± 10 мкм². За цей період часу реальна площа поверхні КМЦ зростає від 1470 до 5170 ± 200 мкм². У процесі постнатального кардіоміогенезу складчаста форма поверхні 2я-КМЦ поступово набуває прямої форми. Най-

більш активний процес випрямлення (згладжування) сарколеми і збільшення площі її поверхні, спостерігається на протязі перших 30 діб після народження щурят. Це зумовлено інтенсивним збільшенням лінійних розмірів 2я-КМЦ. До 30-ї доби закінчується формування вставних дисків і реальна форма більшості 2я-КМЦ наближається до форми кругового циліндру. Це дозволяє визначати реальну (р) площу поверхні 2я-КМЦ за допомогою емпіричної формули $SKMЦ(p) \approx SKMЦ \times k$. У цій формулі SKMЦ – загальна площа поверхні 2я-КМЦ апроксимованих круговим циліндром, у якого D і L, відповідно, ширина і довжина КМЦ. Критерієм наближення значень $SKMЦ \rightarrow SKMЦ(p)$ є показник «к» – коефіцієнт апроксимації. Цифрові значення «к» визначають за формулою $k = S_{\nu}KMЦ(p) / S_{\nu}KMЦ$. У наведеній формулі $S_{\nu}KMЦ$ – питома площа поверхні кругового циліндру. Цифрові значення показника $S_{\nu}KMЦ(p)$ визначають при морфометрії напівтонких зрізів міокарду ЛШ методом «випадкових ліній в комбінації з точковим методом». Для цього потрібно використовувати квадратну решітку в окулярі світлового мікроскопа. В результаті проведених досліджень нами було встановлено, що при $t \geq 30$ діб, апроксимація форми 2я-КМЦ круговим циліндром цілком виправдано і дозволяє з достатньою точністю визначати значення $SKMЦ(p)$ за допомогою коефіцієнта апроксимації «к». Запропонований метод визначення цифрових значень $SKMЦ(p)$ скоротливих КМЦ цілком об'єктивний, наочний і простий в процесі проведення обчислювальних процедур.

Ключові слова: кардіогенез, морфометрія, кардіоміоцит, сарколема.

KINETICS OF GROWTH OF LINEAR SIZES, AREA OF SECTIONS, SPECIFIC AND TOTAL SURFACE OF CARDIOMYOCYTES IN EARLY POSTNATAL ONTOGENESIS OF VISTAR RATS

Zagoruiko G. E., Martsinovsky V. P., Zagoruiko Yu. V., Filatova V. L., Shmulich O. V.

Abstract. The presented data of morphometric studies indicate that in the process of postnatal maturation of CMC, in the time interval (n-b – 45) days, the length of the CMC increases from 25 (n-b) to $81 \pm 5 \mu\text{m}$, the cross-sectional diameter of myocytes increases from 9.1 (n-b) up to $15.3 \pm 0.5 \mu\text{m}$. The values of the L / D index increase from 2.75 (n-b) to 5.3 by 45 days. The complex folded and convoluted shape of the CMC surface in newborn rat pups gradually straightens out during postnatal ontogenesis. The most active process of straightening (smoothing) sarcolemma CMC and an increase in its surface area observed within 30 days after birth of rat pups. This is due to the intensive growth at the beginning of the longitudinal size and then the transverse size of the cardiac left ventricular cardiac muscle. By the 30-th day after birth of rat pups, the formation of intercalated discs ends. The presented data indicates that at $t \geq 30$ days, the approximation of the spatial form of the 2c-CMC LV by a circular cylinder is quite justified and allows us to determine the values of the real surface area of CMC according to the approximate formula $Scmc(r) \approx Scmc \times k$. In this formula: Scmc – total surface area of a circular cylinder, $k \approx 1.2$. The criterion for the optimality of the approximation $Scmc \rightarrow Scmc(r)$ is the index $k = Svcmc(r) / Svcmc$. The Svcmc(r) values are determined by the “random secant combined with the point method” method. Svcmc is the specific surface area of a CMC in the form of a cylinder. At $t \geq 30$ days, the approximation of the CMC is shaped by a circular cylinder allows the values of Scmc(r) to be determined with sufficient accuracy using the coefficient k. The proposed method for determining the values of Scmc(r) is simple in the objectivity, clarity and simplicity of the computational procedures.

Key words: cardiogenesis, cardiomyocyte, morphometry, approximation.

*Рецензент – проф. Небесна З. М.
Стаття надійшла 15.12.2020 року*

DOI 10.29254/2077-4214-2021-1-159-138-143

УДК 504.53 + 630*1

Стрижак О. В., Земляний О. А., Ломига Л. Л.

**ЕКОЛОГО-МІКРОМОРФОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ҐРУНТОТВОРНИХ ПРОЦЕСІВ
БІОГЕОЦЕНОЗІВ ВЕРХНЬОЇ ТРЕТИНИ БАЙРАКУ ГЛИБОКОГО
ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України» (м. Дніпро)**

istrizhak_ol@ua.fm

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами. Робота виконувалася в рамках держбюджетної теми «Теоретичне обґрунтування впровадження у степу України лісотипологічних принципів з метою відновлення лісів, зупинення деградації ґрунтів та запобігання опустелюванню». Номер державної реєстрації 0115U002398.

Вступ. Територія Степового Придніпров'я має значний природно-ландшафтний потенціал, який є базисом для збереження та відновлення біорізноманіття. Особливе значення для степової зони України мають лісові біогеоценози, які є унікальними азональними та інтразональними екосистемами з максимальною концентрацією видового, ценотичного, ґрунтового та ландшафтного різноманіття. Їх стале функціонування та охорона є невід'ємною частиною збереження

біорізноманіття, а також запобігання спустелюванню природних ресурсів України, що має не тільки велике державно-господарське значення, а й меліоративне, рекреаційне і, нарешті, загальнолюдське, що впливає на менталітет населення країни [1, 2, 3].

Лісові екосистеми у степовій зоні України перебувають в умовах географічної невідповідності, отже вони надзвичайно чутливі до негативних екологічних змін. У сучасний період територія Степового Придніпров'я зазнає значного антропо-техногенного тиску, зумовленого високою концентрацією промислових об'єктів, інтенсивним розвитком аграрного сектора, вирубуванням лісів з подальшою зміною цільового призначення земель, знищенням захисних насаджень та неконтрольованою забудовою тощо. Все це викликає значний дисбаланс у біоценозах та