

CORRELATION BETWEEN THE ANATOMICAL STRUCTURE OF THE GENUS *BEGONIA* L. SPECIES' LEAF BLADE OF AND CLIMATE FEATURES OF NATURAL HABITATS IN THE N.N. GRISHKO NATIONAL BOTANICAL GARDEN

Bielaieva Ya. V.

Abstract. In current article climatic conditions of natural *Begonia*'s habitats and anatomical leaf blades' features were analyzed. On the basis of anatomical study and ecological analysis of climatic conditions at the natural habitat the adaptation mechanisms of eight *Begonia* species were established.

The range of seven species' distribution is limited to South America, *B. dregei* is distributed in tropical Africa. Mesophytes is predominate group among *Begonia*s in relation to the water regime. However, some species belong to hygrophytes or hygromesophytes and tend to places with highly moistened soils, among *Begonia*s there is also a group of xerophilous (succulents) species that store moisture in leaves and stems.

Nevertheless it was distinguished that a large number of *Begonia*s that have stomata collected in groups (stomata clusters), which is considered as an adaptive xeromorphic feature to growth in insufficient moisture conditions, do not have specialized organs of moisture storage.

The purpose of the article is to compile ecological climatic characteristics of *Begonia* species at the natural habitats using comparative anatomical analysis of the leaf blade surface to establish adaptive mechanisms of *Begonia*s to the influence of various environmental factors.

In the study of *Begonia*'s climatic conditions of natural habitats, data on average monthly effective precipitation were analyzed. The index of total transpiration was determined using the program CLIM WAT 2.0, Italy.

In current article the climatic conditions of the natural habitat were analyzed. After analyzing the numerical indicators of the moisture balance and moisture coefficients, it was found that the model species are characterized by periods of lack and accumulation of moisture. We discovered one continuous water deficient period from three to eleven months and short periods of water storage. Xeromorphic adaptations of *Begonia* species include the presence of specialized water storage organs and large epidermal cells. Beside that cuticle and trichomes play an important role in reducing the evaporation intensity from the leaf surface.

The study of ecological and climatic conditions of natural places of growth and anatomical structure of the leaf blade allows to deepen the ecological characteristics of the plant organisms and to reveal the degree of adaptation to artificially created conditions of the green house soils. The study of climatic conditions of *Begonia* natural habitats allows to analyze their origin, get an idea of the specialization range to different ecological conditions.

Key words: *Begonia*, leaf, climatic conditions, cuticle, trichomes, epidermis.

*Рецензент – проф. Небесна З. М.
Стаття надійшла 27.05.2020 року*

DOI 10.29254/2077-4214-2020-3-157-44-49

УДК 576.311. 347 : 611.127-018

*Загоруйко Г. Е., Марциновский В. П., *Загоруйко Ю. В., **Филатова В. Л., *Шмулич О. В.*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО АППАРАТА И НАРУЖНЫХ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ МЕМБРАН В 2я-КМЦ КОМПЛЕКСА (ЛЖ+МЖП) КРЫС W1STAR

Ровненский государственный гуманитарный университет (г. Ровно)

***Харьковский национальный медицинский университет (г. Харьков)**

****Украинская медицинская стоматологическая академия (г. Полтава)**

prof.zagoruykoGE@gmail.com

Связь публикации с плановыми научно-исследовательскими работами. Работа проведена в соответствии с темами НИР: «Теоретичні та прикладні аспекти розвитку біологічних наук» и «Анатомо-фізіологічні аспекти росту та розвитку людини і тварин», № государственной регистрации 0116U002990.

Вступление. Митохондрии (МХ) являются *полифункциональными* органеллами в клетках микромакроорганизмов эукариотов [1]. В строении МХ выделяют *четыре* основных компонента: митохондриальные мембраны *наружная* (НММ), *внутренняя* (ВММ), межмембранное пространство и матрикс. Каждый компонент МХ выполняет определенные функции. За последние годы ультраструктура и биологические функции ВММ и матрикса МХ исследованы довольно подробно. Результаты этих работ опубликованы в отечественных и зарубежных обзорах, научных монографиях [2,3]. Установлено, что ВММ и матрикс содержат различные фермен-

ты, которые обеспечивают окислительное фосфорилирование и биосинтез уникальных энергоемких молекул АТФ [4,5]. Количество энергии, запасенное в макроэргических связях (~) молекул АТФ, значительно больше, чем в химических связях других органических соединений. Молекулы АТФ являются универсальными *накопителями* и *переносчиками* энергии, которая используется для осуществления биосинтеза различных макромолекул, необходимых для жизнедеятельности клетки. В последние десятилетия пристальное внимание ученых направлено на исследование ультраструктуры и функций НММ. Это обусловлено тем, что НММ *отграничивают* и *защищают* МХ от содержимого цитоплазмы, обеспечивают *транспорт* во внутрь МХ O_2 , H_2O , ионов, *метаболитов* для окислительных процессов, а из МХ в цитоплазму – молекул АТФ и низкомолекулярных регуляторных биоорганических соединений. В НММ выявлены многочисленные *каналы* и *поры*, которые

различаются строением и биологическими функциями [6]. В формировании *пор* и *каналов* в НММ участвуют различные белки, в том числе *порины*. Искусственное блокирование *пориновых каналов* приводит к существенному снижению *функций* МХ вследствие *ограничения* транспорта в митохондриальное межмембранное пространство метаболитов. В ряде экспериментов было установлено, что при *закрытии* пориновых каналов наблюдается увеличение проницаемости НММ в результате образования «альтернативных» *пор* [6]. В составе НММ обнаружены *мегапоры*, которые проходят через НММ и ВММ [6,7]. *Мегапоры* обеспечивают *транспорт* «сигнальных» молекул, которые участвуют во внутриклеточной *сигнализации*, в реализации митохондриального *сигнального* пути *апоптоза* клеток [8]. Высказано предположение, что путем изменения *конформации* белков, образующих *мегапоры*, можно будет влиять на жизнедеятельность клеток [7,8]. Эти данные свидетельствуют о том, что кроме основной функции синтеза молекул АТФ, МХ с помощью *пор* и *каналов* в НММ участвуют в сложнейшей системе внутри- и межклеточной *сигнализации* [9,10]. В настоящее время исследуют закономерности *биогеनेза* МХ, механизмы *слияния* и *деления* этих органелл, строение и функции митохондриальной ДНК (мх-ДНК) [11-13]. Следовательно, исследование закономерностей развития *митохондриального аппарата* (МА), НММ и функций мх-ДНК в различных клетках, в том числе в двухъядерных кардиомиоцитах (2я-КМЦ), является актуальной задачей современной *митохондриологии* [14-16].

Цель работы. Определить закономерности постнатального морфогенеза МА, МХ, НММ в 2я-КМЦ комплекса (ЛЖ + МЖП) белых крыс Wistar.

Объект и методы исследования. При проведении экспериментов руководствовались принципами биоэтики, изложенными в Законе Украины «Про захист тварин від жорсткого поводження» (№ 1759 від 15.12.2009 р.) и правилами Европейской конвенции по защите позвоночных животных, которые используют в экспериментальных исследованиях. В работе использовали *самцов* крыс Вистар из питомника животных биологического факультета ХГУ (г. Харьков), содержащихся в стандартных условиях. В каждой возрастной группе было по 5–6 животных. Работы по забюю крыс и экстирпации сердца проводили утром в 8–10 часов. Были использованы: новорожденные (*n/p*), 1–45-ти суточные крысы Wistar. Известно, что к 45 суткам завершаются процессы постнатального *созревания* рабочих 2я-КМЦ [17]. *Объектом* электронно-микроскопического исследования *являлась* паренхима миокарда комплекса «левый желудочек + межжелудочковая перегородка» (ЛЖ+МЖП). Нами проведен *морфометрический анализ* серии негативов изображений ультраструктуры 2я-КМЦ, полученных при увеличении 2000 \times . Для морфометрии использовали оптико-механическое устройство УМА-1. Информация о методах гисто-, и ультраморфометрии миокарда и его компонентов изложена в работе [18]. Для определения *закономерностей* постнатального морфогенеза МА и НММ в 2я-КМЦ *исследовали:* *кинетику* роста абсолютного объема МА ($V_{ма}$, $\mu\text{км}^3$); *среднесуточную скорость* объемного роста МА ($\Delta V_{ма}/\text{сут}$, $\mu\text{км}^3/\text{сут}$); *суммарную*

площадь НММ в 2я-КМЦ ($\Sigma S_{нмм}$, $\mu\text{км}^2$); *площадь* НММ в 100 $\mu\text{км}^3$ 2я-КМЦ ($S_{нмм}$, $\mu\text{км}^2$); *суммарную численность* МХ ($\Sigma N_{мх}$) в 2я-КМЦ; *численность* МХ в 100 $\mu\text{км}^3$ 2я-КМЦ ($N_{мх}$); *средний объем одной* МХ ($\Delta V_{мх}$, $\mu\text{км}^3$) и его удельную *площадь* поверхности (S_v $\mu\text{мх}$, $\mu\text{км}^{-1}$). Определение цифровых значений морфометрических показателей ультраструктур в *единице* объема клеток равной 100 $\mu\text{км}^3$, позволяет проводить сравнительный анализ количественных данных независимо от объемных характеристик клеток *разных* размеров и формы. Это объясняется тем, что для *стандартного* клеточного объема 100 $\mu\text{км}^3$ цифровые значения относительного и абсолютного объемов исследуемых ультраструктур совпадают. Например, в эксперименте установлено, что *относительный* объем МХ в КМЦ равен 35%. Следовательно, в 100 $\mu\text{км}^3$ КМЦ *абсолютный* объем МХ равен 35 $\mu\text{км}^3$. Результаты морфометрического анализа МА, МХ и НММ в 2я-КМЦ обрабатывали графико – аналитическим методом и с помощью программ для персонального компьютера IBM – SigmaPlot for Windows 9.0.

Результаты исследований и их обсуждение. В рабочих 2я-КМЦ *множество* МХ контактируют между собой, с миофибриллами, ядерной оболочкой, сарколеммой и *формируют* МА, который находится в непрерывном «*движении*» – *изменяет* свою пространственную форму и величину объема, локализацию в КМЦ, *площадь* поверхности НММ и может быть *целостным* ($n = 1$) или *дискретным* ($n > 1$). МА КМЦ обладает *объемом*, *площадью* боковой поверхности, но не имеет явно выраженных *линейных* размеров. Поэтому МА КМЦ относится к *фрактальным* объектам [19], которые характеризуются двумя основными показателями: *объемом* (абсолютным и относительным) и *площадью* поверхности (абсолютной, относительной и удельной). Эти количественные показатели нами использованы для определения закономерностей кинетики развития МА и его компонентов в 2я-КМЦ комплекса (ЛЖ+МЖП).

На **рис. 1** приведен **график 1** кинетики роста абсолютного объема МА ($V_{ма}$) в 2я-КМЦ.

В течение 45 суток постнатального развития крысят, значения показателя $V_{ма}$ в 2я-КМЦ монотонно и интенсивно возрастают от $450 \pm 30 \mu\text{км}^3$ (n/p) до $5600 \pm 100 \mu\text{км}^3$. График роста значений $V_{ма}$ имеет вид S-подобной кривой. На графике расположена точка «А» перегиба с координатами ($3680 \mu\text{км}^3$, 30 сут). Это свидетельствуют о том, что при $t \leq 30$ сут

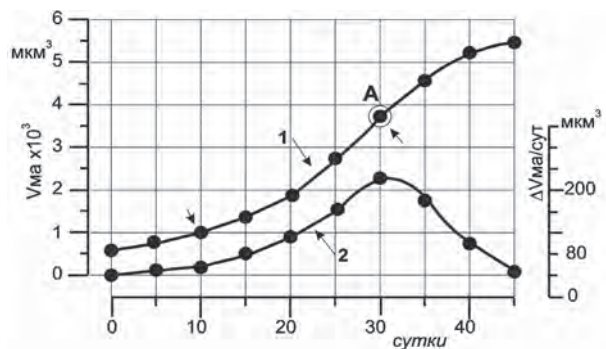


Рисунок 1 – Кинетики роста цифровых значений $V_{ма}$ (график 1) и $\Delta V_{ма}/\text{сут}$ (график 2) в 2я-КМЦ комплекса (ЛЖ + МЖП) в раннем постэмбриогенезе крыс Wistar. По оси абсцисс – сутки развития.

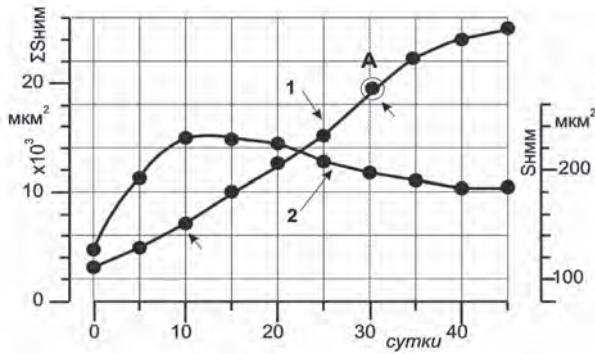


Рисунок 2 – Кинетика роста цифровых значений $\Sigma S_{нмм}$ в 2я-КМЦ (график 1) и $S_{нмм}$ в 100 мкм^3 2я-КМЦ (график 2) комплекса (ЛЖ + МЖП) в раннем постэмбриогенезе крыс Wistar. По оси абсцисс – сутки развития.

наблюдается ускорение роста объема МА, а при $t \geq 30$ сут – замедление роста объема МА. График без четко выраженных границ состоит из трех последовательно расположенных монотонных участков, которым соответствуют три периода роста объема МА. **Первый** период – медленного роста объема МА. Его продолжительность 10 суток (\downarrow). За это время объем МА увеличивается в 2,2 раза от 450 мкм^3 (н/р) до $(1000 \pm 50 \text{ мкм}^3)$. **Второй** период – интенсивного роста объема МА. Его продолжительность 20 суток и наблюдается в интервале времени (10 – 30) суток (\downarrow). К концу второго периода первоначальный объем МА в 2я-КМЦ возрастает в 8,1 раза до $(3680 \pm 100) \text{ мкм}^3$. **Третий** период – замедленного роста объема МА и наблюдается в интервале времени (30-45) суток. К концу третьего периода объем МА увеличивается до $(5600 \pm 100) \text{ мкм}^3$. Несмотря на интенсивный рост абсолютного объема МА в 12,4 раза от 450 до 5600 мкм^3 , относительный объем МА ($V_{ума}$, %) в 2я-КМЦ в течение 45 суток увеличивается в ≈ 2 раза от 21,3% (н/р) до 40,0% [16]. На рис. 1 приведен график 2, характеризующий кинетику среднесуточной скорости объемного роста МА ($\Delta V_{ума}/сут$). График расположен асимметрично относительно вертикальной штриховой линии (возраст крысят 30 суток) и смещен вправо вдоль оси абсцисс. На графике определяются два последовательных периода монотонного изменения значений $\Delta V_{ума}/сут$. **Первый** период ограничен временными координатами (н/р и 30 сут). В начале первого периода (н/р – 5 суток) среднесуточный прирост объема МА минимальный и составил всего $49 \text{ мкм}^3/сутки$. К концу 10-х суток после рождения крысят значения показателя $\Delta V_{ума}/сут$ медленно возрастают до $57,6 \text{ мкм}^3/сут$. К 20-м суткам значения $\Delta V_{ума}/сут$ увеличиваются до $108 \text{ мкм}^3/сут$, а к 30-м суткам – до $226 \text{ мкм}^3/сут$. Наибольший среднесуточный прирост объема МА определяется в интервале времени (25-30) суток с максимумом равным $226 \text{ мкм}^3/сут$. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в течение 30 суток после рождения крысят в 2я-КМЦ активизируется биосинтез митохондриальных белков, что приводит к росту абсолютного объема МА (см. График 1). **Второй** период ограничен временными координатами (30 – 45) суток. В это время наблюдается непрерывное монотонное уменьшение скорости объемного роста МА в 2я-КМЦ. Значения $\Delta V_{ума}/сут$ уменьшаются в 4,4 раза от максимума

$226 \text{ мкм}^3/сут$ до $51,2 \text{ мкм}^3/сут$ к 45 суткам. Следовательно, при $t \leq 30$ сут наблюдается непрерывное увеличение скорости объемного роста МА, а при $t \geq 30$ сут – непрерывное уменьшение скорости объемного роста МА в 2я-КМЦ.

На рис. 2 приведен график 1 кинетики роста суммарной площади поверхности НММ в 2я-КМЦ.

В течение 45 суток постнатального развития крысят значения $\Sigma S_{нмм}$ в 2я-КМЦ монотонно возрастают в 9 раз от 2800 (н/р) до $25200 \pm 200 \text{ мкм}^2$. График роста значений $\Sigma S_{нмм}$ имеет вид S-подобной кривой. На графике расположена точка «А» перегиба с координатами (19700 мкм^2 , 30 сут). Это свидетельствует о том, что при $t \leq 30$ сут наблюдается ускорение роста площади НММ, а при $t \geq 30$ сут – замедление роста площади НММ. На графике можно условно выделить три последовательных монотонных участка, которым соответствуют три периода роста суммарной площади НММ. **Первый** период – медленного роста значений $\Sigma S_{нмм}$ продолжительностью 10 суток (\downarrow). За это время площадь НММ увеличивается в 2,26 раза от 2800 (н/р) до $(7400 \pm 100) \text{ мкм}^2$. В начале периода (н/р – 5 суток) среднесуточный прирост площади НММ минимальный и составил всего $356 \text{ мкм}^2/сутки$. **Второй** период – интенсивного роста площади НММ. Его продолжительность 20 суток и наблюдается в интервале времени (10 – 30) суток (\downarrow). К концу второго периода первоначальная площадь НММ в 2я-КМЦ возрастает в 7 раз до $(19600 \pm 100) \text{ мкм}^2$. Наибольшая среднесуточная скорость роста значений $\Sigma S_{нмм}/сут$, равная $1000 \text{ мкм}^2/сут$, наблюдается в интервале времени (25 – 30) суток. **Третий** период – замедленного роста площади НММ. Наблюдается в интервале времени (30-45) суток. К концу третьего периода площадь НММ увеличивается до $(25200 \pm 200) \text{ мкм}^2$. Наименьшая среднесуточная скорость роста значений $\Sigma S_{нмм}/сут$, равная $160 \text{ мкм}^2/сут$, определяется в интервале времени (40 – 45) суток. Из графика следует, что при $t \leq 30$ сут происходит непрерывное увеличение среднесуточной скорости роста суммарной площади НММ, а при $t \geq 30$ сут – уменьшение среднесуточного прироста суммарной площади НММ в 2я-КМЦ.

На рис. 2 приведен график 2 кинетики «роста \rightarrow убыли» в течение 45 суток цифровых значений площади НММ ($S_{нмм}$) в стандартном объеме 2я-КМЦ, равном 100 мкм^3 . На этом графике без четко выраженных границ определяются три последовательных периода монотонного изменения цифровых значений $S_{нмм}$. **Первый** период – интенсивного роста значений $S_{нмм}$, ограничен временными координатами (н/р и 10 сут). В продолжении 10 суток наблюдается непрерывный рост значений $S_{нмм}$ в $\approx 1,8$ раза от 134,0 (н/р) до максимального, равного $(237 \pm 15) \text{ мкм}^2$ со среднесуточной скоростью роста $10,6 \text{ мкм}^2/сут$. **Второй** период – стабильных значений $S_{нмм}$. Ограничен временными координатами (10 и 20) суток. В это время цифровые значения показателя $S_{нмм}$ стабильно высоки ($237...240) \text{ мкм}^2$. **Третий** период наблюдается в интервале (20 и 45) суток и характеризуется постепенной монотонной убылью цифровых значений показателя $S_{нмм}$ от 240 до $(182 \text{ мкм}^2 \pm 15) \text{ мкм}^2$.

На рис. 3 представлен график 1 кинетики «роста ↔ убыли» суммарной численности МХ (ΣN_{mx}) в 2я-КМЦ в течение 45 суток развития крысят.

Дополнительно проведенные морфометрические измерения позволили уточнить ранее полученные данные о кинетики роста численности МХ в 2я-КМЦ в интервале времени (25-45) суток [13]. График состоит из 3-х последовательных периодов монотонности. Естественными границами этих периодов являются точки экстремума на временной шкале с координатами максимума значений $N_{mx} = 8050$ на 15-е сутки и минимума значений $N_{mx} = 4300$ на 25-е сутки. **Первый** период соответствует интервалу времени ($n/p - 15$) суток. В течение этого времени происходит интенсивное увеличение в $\approx 2,1$ раза значений ΣN_{mx} в 2я-КМЦ от **3800** (n/p) до максимума **8050 ± 150**. Среднесуточный прирост численности МХ в 2я-КМЦ, в этот период времени, составляет **283 мх/сут** или **12 мх/час**. Рост численности МХ происходит в результате **деления** этих органелл. **Второй** период ограничен точками экстремума и соответствует интервалу времени (15 – 25) суток. На протяжении этого времени наблюдается уменьшение численности МХ в 2я-КМЦ от **8050** до **4300 ± 150**. Среднесуточная убыль численности МХ в этот период времени составляет **375 мх/сут** или \approx **16 мх/час**. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в интервале времени (15 – 25) суток в 2я-КМЦ происходит интенсивное **слияние** МХ и уменьшение их численности в 1,9 раза. **Третий** период соответствует интервалу времени (25 – 45) суток. На протяжении этого времени наблюдается постепенное монотонное увеличение численности МХ в 2я-КМЦ **1,42** раза от **4300** до **6100 ± 150** в результате **деления** МХ. **Наименьшая** среднесуточная частота деления МХ определяется в интервале времени (40-45) суток и составляет **60 мх/сут** или **2,5 мх/час**.

На рис. 3 приведен график 2 кинетики «роста → убыли» в течение 45 суток численности МХ (N_{mx}) в стандартном объеме 2я-КМЦ равном **100 мкм³**. Рост численности МХ в $\approx 1,2$ раза от 177 (n/p) до **220 ± 15** происходит только на протяжении **5-ти суток** после рождения крысят. При $t \geq 5$ сут наблюдается непрерывная убыль численности МХ в **100 мкм³** 2я-КМЦ от 220 до **43 ± 3** к 45 суткам. **Наибольшая** среднесуточная убыль значений $\Delta N_{mx}/сут$, равная \approx **8,4 мх/сут**, определяется в интервале (10 – 25) суток. **Наименьшая** среднесуточная убыль значений $\Delta N_{mx}/сут$ равная \approx **0,8 мх/сут** определяется в интервале (40 – 45) суток. При $t \geq 30$ сут определяется постепенная стабилизация численности МХ в **100 мкм³** 2я-КМЦ ($N_{mx} = 43...45$).

На рис. 4 представлен график 1 кинетики роста среднего объема одной МХ (ΔV_{mx} , **мкм³**) в 2я-КМЦ в процессе постнатального развития крысят.

В течение 45 суток значения показателя ΔV_{mx} монотонно и интенсивно возрастают в $\approx 7,7$ раза, от **0,12 мкм³** (n/p) до **0,92 ± 0,05 мкм³**. График роста значений ΔV_{mx} имеет вид S-подобной кривой. На графике расположена точка «А» перегиба с координатами (**0,70 мкм³**, **30 сут**). При $t \leq 30$ сут наблюдается ускорение роста среднего объема МХ, а при $t \geq 30$ сут – замедление роста объема МХ. На этом графике можно условно выделить три последовательных участка

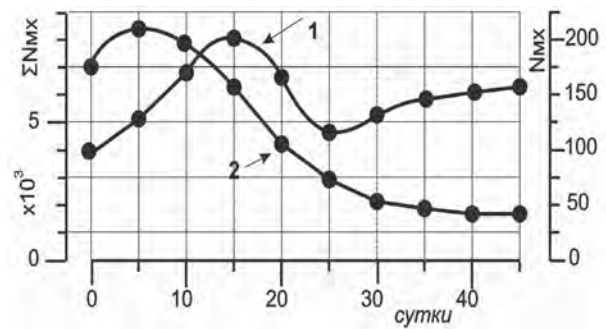


Рисунок 3 – Кинетика «роста ↔ убыли» суммарной численности МХ (ΣN_{mx}) в 2я-КМЦ (график 1) и численности МХ (N_{mx}) в **100 мкм³** 2я-КМЦ (график 2) комплекса (ЛЖ + МЖП) в раннем постэмбриогенезе крыс Wistar. По оси абсцисс – сутки развития.

монотонности, которым соответствуют три периода роста среднего объема одной МХ. **Первый** период – медленного роста ΔV_{mx} продолжительностью 10 суток (↓). За это время значения ΔV_{mx} увеличиваются в 1,3 раза от **0,12** до **0,16 мкм³**. Среднесуточный прирост объема МХ минимальный и составил **0,0040 мкм³/сутки**. **Второй** период – интенсивного роста ΔV_{mx} наблюдается в интервале времени (10 – 30) суток. Значения ΔV_{mx} возрастают в 4,4 раза от **0,16** до **0,70 ± 0,05 мкм³**. Во втором периоде среднесуточный прирост объема одной МХ составляет **0,027 мкм³/сутки**. **Третий** период -замедленного роста значений ΔV_{mx} ограничен временными координатами (30-45) суток. Значения ΔV_{mx} возрастают в 1,3 раза от **0,70** до (**0,92 ± 0,05 мкм³**). В третьем периоде среднесуточный прирост объема одной МХ составляет \approx **0,015 мкм³/сутки**. **Наименьшее** значение показателя $\Delta V_{mx}/сут$ определяется в интервале времени (40-45) суток и составляет **0,0040 мкм³/сутки**. Следует отметить, что значения минимального прироста среднего объема МХ в начале первого и в конце третьего периодов роста значений ΔV_{mx} практически равны между собой (**0,0040 мкм³/сутки**).

На рис. 4 приведен график 2 кинетики «роста ↔ убыли» в течение 45 суток удельной площади поверхности (**Sv мх, мкм⁻¹**) среднего объема одной МХ. На этом графике определяются два периода изменений значений показателя Sv мх. **Первый** период продолжительностью 10 суток характеризуется непрерывным ростом значений Sv мх в **1,17** раза от **6,30 мкм⁻¹** (n/p) до максимума равного **7,40 мкм⁻¹**. **Второй** период продолжительностью 35 суток ограничен временными координатами (10-45) суток. В течение 35 суток значения Sv мх убывают в **1,63** раза от **7,40 мкм⁻¹** до **4,55 мкм⁻¹** (45-е сутки). Из рис. 4 следует, что при $t \leq 10$ суток между участками графиков 1 и 2 наблюдается прямая зависимость. Рост значений среднего объема МХ сопровождается увеличением его удельной площади поверхности ($\Delta V_{mx} \uparrow \rightarrow Sv_{mx} \uparrow$). Этот факт объясняется тем, что на протяжении 10 суток в 2я-КМЦ выявляются многочисленные МХ эллипсоидной (вытянутой) формы. При $t \geq 10$ суток, между участками графиков 1 и 2 наблюдается обратная зависимость. Рост значений среднего объема МХ сопровождается убылью его удельной площади поверхности ($\Delta V_{mx} \uparrow \rightarrow Sv_{mx} \downarrow$). Такая зависимость между показателями ΔV_{mx} и Sv_{mx} свидетельствует об изменении эллипсоидной формы большинства

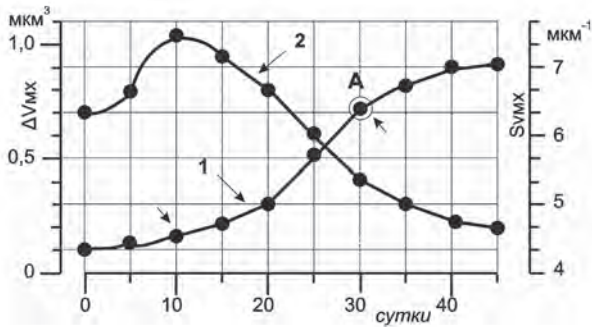


Рисунок 4 – Кинетика роста среднего объема одной МХ (ΔV_{mx}) (график 1) и удельной площади поверхности одной МХ ($S_{v_{mx}}$) (график 2) в 2я-КМЦ комплекса (ЛЖ + МЖП) в раннем постэмбриогенезе крыс Wistar. По оси абсцисс – сутки развития.

МХ в начале фазы постнатального созревания КМЦ на округлую и овальную при $t \geq 10$ суток. Изменение формы МХ (эллипсоид \rightarrow овал) наиболее характерно для субпопуляции МХ, расположенных в парануклеарной зоне 2я-КМЦ.

Выводы

1. Результаты проведенных морфометрических исследований позволили установить закономерности кинетики развития МА, определить внутриклеточные механизмы, с помощью которых реализуются генетические программы роста: V_{ma} , ΔV_{mx} и ΣS_{HMM} в процессе постнатального созревания 2я-КМЦ.

2. В течение 45 суток в 2я-КМЦ происходит непрерывный рост абсолютного (V_{ma}), относительного (V_{vma}) объемов МА, суммарной площади поверхности ΣS_{HMM} и среднего объема одной МХ (ΔV_{mx}). Графики роста значений V_{ma} , ΣS_{HMM} и ΔV_{mx} имеют вид S-подобной кривой, что свидетельствует о наличии трех последовательных периодов монотонного развития МА и его компонентов.

3. Первый период ограничен временным интервалом (н/р – 10) суток. Характеризуется медленным

ростом значений V_{ma} , ΣS_{HMM} и ΔV_{mx} в 2я-КМЦ. Второй период развивается в интервале времени (10 – 30) суток. Характеризуется интенсивным ростом значений V_{ma} , ΣS_{HMM} и ΔV_{mx} в 2я-КМЦ. Третий период определяется в интервале времени (30 – 45) суток. Характеризуется замедлением роста и постепенной стабилизацией цифровых значений V_{ma} , ΣS_{HMM} и ΔV_{mx} в 2я-КМЦ.

4. В процессе раннего постнатального морфогенеза МА в 2я-КМЦ реализуется биологический закон «деление \leftrightarrow слияние». Суть этого закона состоит в том, что онтогенетическая регуляция численности МХ в 2я-КМЦ осуществляется двумя биологическими механизмами: делением МХ, которое приводит к увеличению численности этих органелл в КМЦ и слиянием МХ в результате которого уменьшается численность органелл, но увеличивается объем каждой МХ.

5. Целесообразность «слияния \leftrightarrow деления» МХ в процессе онтогенеза КМЦ заключается в следующем. При делении увеличивается численность МХ и, одновременно увеличивается количество в 2я-КМЦ копий мх-ДНК. При слиянии МХ происходит удвоение числа копий мх-ДНК в каждой МХ, которая образовалась после слияния двух предшествующих органелл.

6. Удвоенное содержание мх-ДНК в МХ 2я-КМЦ коррелирует с увеличением размеров МХ, численности крист в этих органеллах и площади НММ. Слияние МХ в 2я-КМЦ наблюдается в интервале времени (15-30) суток. Это период интенсивного роста объема 2я-КМЦ и МА. Он совпадает с третьим периодом удвоения массы тела белых крыс и активизацией их двигательной активности.

Перспективы дальнейших исследований. Будет проведено исследование закономерностей кинетики постнатального развития миофибриллярного аппарата в рабочих КМЦ миокарда комплекса (ЛЖ + МЖП) крыс Wistar.

Литература

- Mazunin IO, Volodko NV. Mitochondrii: zhizn v kletke i ee posledstviya. Priroda. 2010;10:3-14. [in Russian].
- Vekshin NL. Biofizika mitohondriy. OOO Foton vek Puschino; 2019. 264 s. [in Russian].
- Ong S-B, Hausenloy DJ. Mitochondrial morphology and cardiovascular disease. J. Cardiovasc. Res. 2010;88:16-29.
- Holmuhamedov EL. Rol mitohondriy v obespechenii normalnoj zhiznedeyatel'nosti i vyzhivaniya kletok mlekopitayushchih [dissertatsiya]. Biofizika. Pushchino; 2009. 160 s. [in Russian].
- Skulachev VP, Bogachev AV, Kasparinskij FO. Membrannaya bioenergetika, izd. MGU. Moskva; 2010. 368 s. [in Russian].
- Murakov SV, Vospelnikov ND. Mitohondrialnye megapory v zhizni kletki. Vopr. biol., med. i farm. himii. 2006;2:44-50. [in Russian].
- Naryjnaia NV, Maslov LN, Lishmanov IB. Pora, izmeniaiyaya pronitsaemost mitohondrii – regulyator ystoichivosti serdtsa k deistviyu reperfyzi. Russian J. of Physiol. 2018;104(3):272-90. [in Russian].
- Orlova DD, Tribulovich VG, Garabadzhiu AV. Rol mitohondrialnogo morfogeneza v regulyacii apoptoza. Citologiya. 2015;57(3):184-90. [in Russian].
- Lukjanova LD. Signalnaja rol mitohondriy pri adaptatsii k gipoksii. Fiziol. zhurn. 2013;59(6):141-54. [in Russian].
- Lukjanova LD. Signalnaja mehanizmu hipoksii. M.: RAN. 2019. 215 s. [in Russian].
- Chan DC. Mitochondrial Fusion and Fission in Mammals. Ann. Rev. Cell Dev. Biol. 2006;22:79-99.
- Patryshev MV, Mazynin IO, Vinogradova EN. Sliianie i delenie mitohondrii. Obzor. Biohimia. 2015;80(11):1745-54. [in Russian].
- Zagoruiko GE, Marcinovskij VP, Zagoruiko YuV, Filatova VL, Shmulich OV. Kinetika razvitiya mitohondrioma i dinamika chislennosti mitohondriy v kardiomiocitah kompleksa (LZH+MZHP) v rannem postnatal'nom ontogeneze krysa Wistar. Visnik probl. biol. i med. 2020;1(155):67-72. [in Russian].
- Panov AV. Prakticheskaya mitohondriologiya. Novosibirsk: NGMU; 2015. 239 s. [in Russian].
- Ryan M Whitaker, Daniel Corum, Craig C Beeson, Rick G Schnellmann. Mitochondrial Biogenesis as a Pharmacological Target: A New Approach to Acute and Chronic Diseases. Ann Rev Pharmacol Toxicol. 2016;56:229-49.
- Diaz-Juárez J, Suarez J. Mitochondrial dynamics and cardiac function in metabolic disorders. J. Metabolic Syndr. 2017;10. Available from: <https://www.omicsgroup.org/journals/mitochondrial-dynamics-and-cardiac-function-in-metabolic-disorders-2167-0943-1000e121.pdf>
- Zagoruiko GE, Zagoruiko YuV. Morfometricheskij analiz prenatalnogo i postnatalnogo sozrevaniya kardiomiocitov krysa. Visnik probl. biol. i med. 2017;2(136):290-4. [in Russian].
- Avtandilov GG. Osnovy kolichestvennoj patologicheskoy anatomii. M.: Meditsina; 2002. 240 s. [in Russian].
- Zagoruiko GE, Skidan IG. Problemy i perspektivy razvitiya metodov kolichestvennogo analiza raktal'nyh biologicheskikh struktur. Visnik probl. biol. i med. 2007;2:102-7. [in Russian].

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ МІТОХОНДРІАЛЬНОГО АПАРАТУ І ЗОВНІШНІХ МІТОХОНДРІАЛЬНИХ МЕМБРАН В 2А-КМЦ КОМПЛЕКСУ (ЛШ+МЖП) ЩУРІВ W1STAR**Загоруйко Г. Е., Марциновський В. П., Загоруйко Ю. В., Філатова В. Л., Шмуліч О. В.**

Резюме. Протягом 45 днів в 2а-КМЦ відбувається безперервне зростання абсолютного (V_{ma}), відносного (V_{vma}) об'ємів МА, сумарною площею поверхні ΣS_{nmm} і середнього об'єму однієї МХ (ΔV_{mx}). Графіки зростання значень V_{ma} , ΣS_{nmm} і ΔV_{mx} мають вигляд S-подібної кривої, що свідчить про наявність трьох послідовних періодів монотонного розвитку МА і його компонентів.

Ключові слова: постнатальний кардіоміогенез 2а-КМЦ, мітохондріальний апарат, розподіл і злиття мітохондрій.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ МИТОХОНДРИАЛЬНОГО АППАРАТА И НАРУЖНЫХ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ МЕМБРАН В 2я-КМЦ КОМПЛЕКСА (ЛЖ+МЖП) КРЫС W1STAR**Загоруйко Г. Е., Марциновский В. П., Загоруйко Ю. В., Филатова В. Л., Шмулич О. В.**

Резюме. В течение 45 суток в 2я-КМЦ происходит непрерывный *рост* абсолютного (V_{ma}), относительного (V_{vma}) объемов МА, суммарной площади поверхности ΣS_{nmm} и среднего объема одной МХ (ΔV_{mx}). Графики роста значений V_{ma} , ΣS_{nmm} и ΔV_{mx} имеют вид S-подобной кривой, что свидетельствует о наличии *трех* последовательных *периодов* монотонного развития МА и его компонентов.

Ключевые слова: постнатальный кардиомиогенез 2я-КМЦ, митохондриальный аппарат, деление и слияние митохондрий.

REGULARITIES OF THE DEVELOPMENT OF THE MITOCHONDRIAL APPARATUS AND EXTERNAL MITOCHONDRIAL MEMBRANES IN THE 2nd CMC COMPLEX (LV+ISH) OF W1STAR RATS**Zagoruiko G. E., Martsinovsky V. P., Zagoruiko Yu. V., Filatova V. L., Shmulich O. V.**

Abstract. Within 45 days in the 2nd-CMC there is a continuous increase in the absolute (V_{ma}), relative (V_{vma}) MA volumes, the total surface area ΣS_{nmm} and the average volume of one MX (ΔV_{mt}). The graphs of the growth of V_{ma} , ΣS_{nmm} and ΔV_{mt} values have the form of an S-like curve, which indicates the presence of three consecutive periods of monotonic development of MA and its components. In the process of postnatal morphogenesis of MA in the 2n-CMC, the biological law "division \leftrightarrow fusion" is realized. The essence of the law is that the ontogenetic regulation of the MT number in the 2n-CMC is carried out by two biological mechanisms: the division of MT, which leads to an increase in the number of organelles in the CMC, and the fusion of MT, as a result of which the number of organelles decreases, but the volume of each MT increases. The expediency of "fusion \leftrightarrow division" of MC in the process of ontogenesis of CMC is as follows. During division, the number of MT increases and, at the same time, the number of copies of mt-DNA in 2n-CMC increases. Intensive division of MC occurs in the time interval (n / p -15) days. When MT fusion occurs, duplication of mt-DNA copies occurs in each MT, which was formed after the fusion of two previous organelles. The doubled content of mx-DNA in MT 2n-CMC correlates with an increase in the number of cristae in these organelles and the area of NMM. The fusion of MT is observed in the time interval (15-30) days. This is a period of intensive growth of MA 2n-CMC, which coincides with the third period of doubling the body weight of white rats and the activation of their motor activity.

Key words: postnatal cardiomyogenesis of the 2n-CMC, mitochondrial apparatus, mitochondrial division and fusion.

*Рецензент – проф. Білаш С. М.
Стаття надійшла 19.08.2020 року*

DOI 10.29254/2077-4214-2020-3-157-49-53

УДК 612.3:591.39:661.852:661.782-092.9

Колосова І. І., Шаторна В. Ф.

ВПЛИВ СОЛЕЙ КАДМІЮ (ХЛОРИДУ ТА ЦИТРАТУ)**НА ПОКАЗНИКИ ЕМБРІОГЕНЕЗУ ЩУРІВ****ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України» (м. Дніпро)****verashatornaya67@gmail.com**

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами. Експериментальне дослідження виконано у рамках науково-дослідної роботи кафедри медичної біології, фармакогнозії та ботаніки ДЗ «ДМА» «Біологічні основи морфогенезу органів та тварин під впливом мікроелементів та ультрамікроелементів в експерименті» (№ державної реєстрації 0118U006635).

Вступ. Забруднення довкілля становить небезпеку для людини. Частота та тяжкість екологізалежних захворювань, що виникають в результаті антропо-

генного забруднення біосфери, свідчать про актуальність проблеми мікроелементозів.

Одне з перших місць серед хімічних забруднювачів займають важкі метали, які характеризуються широким спектром негативного впливу на організм людини. Кадмій широко відомий як токсичний елемент. Основні проблеми, пов'язані у людства з цим елементом, зумовлені техногенним забрудненням навколишнього середовища та його токсичністю для живих організмів уже за низьких концентрацій. В атмосферу Кадмій потрапляє при промисловому виробництві даного металу, продукції нікель-кад-