

УДК 611+612.13-092.9+616.13.002.2-004.6-005.2+612.66+57.017.67

ВОЗРАСТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АРТЕРИАЛЬНОГО ЗВЕНА МАЛОГО КРУГА КРОВООБРАЩЕНИЯ

© Светлана Александровна Андреева

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет.
194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., 2

Контактная информация: Светлана Александровна Андреева — к.м.н., доцент кафедры анатомии человека.
E-mail: andrejevasvetlana@mail.ru

Поступила: 25.02.2022

Одобрена: 17.03.2022

Принята к печати: 07.04.2022

РЕЗЮМЕ. Несмотря на то что артериосклероз является универсальной формой старения кровеносных сосудов [3], возрастные изменения артерий малого круга кровообращения имеют особый характер, что объясняется их морфофункциональной спецификой. Для изучения структуры легочных артерий был использован материал крыс-самцов линии Вистар молодого (5–6 месяцев) и старческого (24–25 месяцев) возрастов [6]. После стандартной гистологической обработки исследовали как внеорганные (легочный ствол и легочные артерии), так и внутриорганные артерии. Анализ полученных данных показал, что возрастные преобразования затронули различные слои сосудистой стенки на всех уровнях артериального звена малого круга кровообращения. В артериях эластического и мышечно-эластического типов они заключались, прежде всего, в деструкции эластического каркаса, неравномерном расширении мышечных промежутков между эластическими мембранами, коллагенизации оболочек. При переходе артерий из мышечно-эластического в мышечный тип наибольшие изменения были связаны с резким утолщением средней оболочки за счет миоцитов дополнительного спирального слоя. Значительное увеличение толщины средней оболочки было характерно и для артерий мышечного типа. Таким образом, несмотря на определенную однотипность возрастных преобразований, характер их во многом зависит от структурных особенностей артерий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: артерии малого круга кровообращения; возрастные изменения; деструкция эластического каркаса; коллагенизация сосудистой стенки.

AGE-RELATED TRANSFORMATION OF THE ARTERIAL PART OF THE LESSER BLOOD CIRCULATION

© Svetlana A. Andreeva

Saint-Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, Saint-Petersburg, Litovskaya str., 2

Contact information: Svetlana A. Andreeva — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Human Anatomy. E-mail: andrejevasvetlana@mail.ru

Received: 25.02.2022

Revised: 17.03.2022

Accepted: 07.04.2022

ABSTRACT. Despite the fact that arteriosclerosis is a universal form of aging of blood vessels [3], age-related changes in the arteries of the lesser blood circulation have a special character, which is explained by their morphofunctional specificity. To study the structure of the pulmonary arteries, the material of male Wistar rats of young (5–6 months) and senile (24–25 months) ages was used [6]. After standard histological processing, both non-organ (pulmonary trunk and pulmonary arteries) and intra-organ arteries were examined. Analysis of the data showed that age-related transformations affected various layers of the vascular wall at all levels of the arterial portion of the lesser blood circulation. In elastic and muscle-elastic types of arteries, they consisted, first of

all, in the destruction of the elastic frame, uneven expansion of the muscle gaps between elastic membranes, collagenization of the vessel wall. During the transition of the arteries from the musculoelastic to the muscular type, the greatest changes were associated with a sharp thickening of the middle tunic due to the additional spiral layer of myocytes. A significant increase in the thickness of the middle tunic was also characteristic of muscle-type arteries. Thus, it was noted that, despite a certain uniformity of age-related transformations, their nature largely depends on the structural features of the arteries.

KEY WORDS: arteries of the lesser blood circulation; age-related changes; destruction of the elastic frame; collagenization of the vascular wall.

Закономерности возрастного преобразования легочных артерий непосредственно связаны с их структурно-функциональными особенностями [2, 3, 6, 7]. В рамках данного исследования был проведен морфологический анализ артерий малого круга кровообращения у животных молодого и старческого возрастов. Для сравнительной оценки строения сосудов использовались молодые крысы-самцы линии Вистар в возрасте 5–6 месяцев и крысы старческого возраста (24–25 месяцев). После стандартной гистологической обработки в парафин-воск заливали части средостения, содержавшие легочный ствол и легочные артерии, а также доли легких. На микротоме готовили поперечные гистологические срезы сосудов толщиной 7–10 мкм. Из парафиновых блоков, содержащих доли легких, изготавливали серийные срезы перпендикулярно ходу

bronхо-сосудистого пучка, начиная от места вхождения его в долю. Препараты окрашивали гематоксилином и эозином, орсеином, пикрофуксином по методу ван Гизона и резорцин-фуксином по Вейгерту с докрасиванием пикрофуксином.

По результатам наших исследований, экстраорганные артерии малого круга кровообращения (легочный ствол и легочные артерии) молодых крыс по своим качественным и количественным характеристикам, конструкции стенки и эластического каркаса можно отнести к артериям эластического типа.

Внутренняя оболочка их представлена слоем эндотелиоцитов, лежащих на базальной мембране, и слабо выраженной соединительнотканной основой (субэндотелием), прилежащей к внутренней эластической мембране.

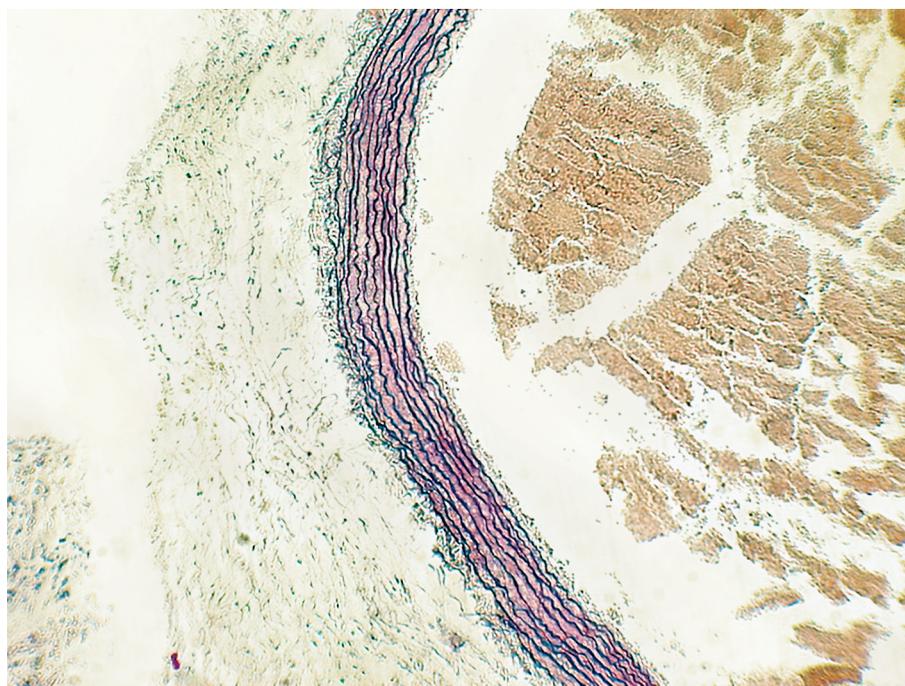


Рис. 1. Легочной ствол крысы молодого возраста. Окраска резорцин-фуксином. Об. 10, ок. 10

Средняя оболочка состоит из эластических волокон, которые сформированы в мембраны, имеющие циркулярное направление и четкие границы (рис. 1). Их количество в среднем составляет: в легочном стволе — 9–10, в правой легочной артерии — 4–5, в левой легочной артерии — 3–4. Между эластическими мембранами располагаются в один слой гладкомышечные клетки. Кроме того, в средней оболочке, преимущественно в слоях, прилежащих к адвентиции, имеется небольшое количество коллагеновых волокон.

Наружная оболочка представлена довольно компактно расположенной соединительной тканью с явным преобладанием в ней коллагеновых волокон и небольшим количеством эластических структур, клеточных элементов и *vasa vasorum*.

При изучении внутрилегочных артерий малого круга кровообращения лабораторных крыс мы столкнулись с проблемой их классификации. Это связано с тем, что для долевых бронхов характерен магистральный тип ветвления [1, 4, 8, 9] и до сих пор остается спорным вопрос о выделении сегментов в легких, но в то же время установлено, что архитектура артериальных сосудов малого круга кровообращения повторяет структуру бронхиального дерева [5, 10, 11]. Эти данные о синхронности деления долевых бронхов и соответствующих сосудов мы и использовали для идентификации внутриорганных артерий,

в строении которых отмечался постепенный переход от мышечно-эластического типа в мышечный.

Изучение первой трети серийных срезов показало, что на этом уровне внутрилегочные артерии являются типичными сосудами мышечно-эластического типа. Внутренняя оболочка их представлена эндотелием и тонким субэндотелиальным слоем. В средней оболочке, как правило, обнаруживаются три эластические мембраны, между которыми располагаются гладкие миоциты, имеющие коспродольное направление. Здесь же в незначительном количестве содержатся и коллагеновые волокна. Внутренняя и наружная эластические мембраны мышечно-эластических артерий одинаково хорошо выражены, имеют однородную структуру и четкие контуры. С уменьшением диаметра сосуда эластические мембраны средней оболочки постепенно истончаются и, прерываясь, сливаются с наружной эластической мембраной. Адвентиция представляет собой соединительнотканную оболочку, состоящую в основном из коллагеновых и эластических волокон с явным преобладанием первых.

Последующая группа срезов продемонстрировала постепенный переход мышечно-эластических артерий в мышечные. Их особенностью является наличие дополнительного спиралевидного слоя гладкомышечных клеток. Он не сплошной и на поперечных

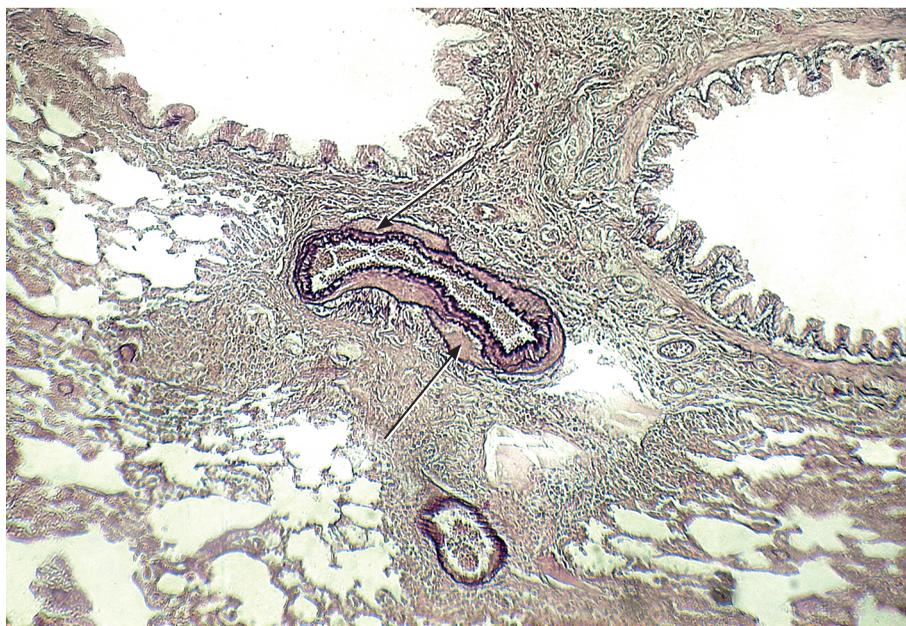


Рис. 2. Внутриорганный легочная артерия мышечно-эластического типа крысы молодого возраста. Подушкообразные утолщения обозначены стрелками. Окраска резорцин-фуксином. Об. 10, ок. 10

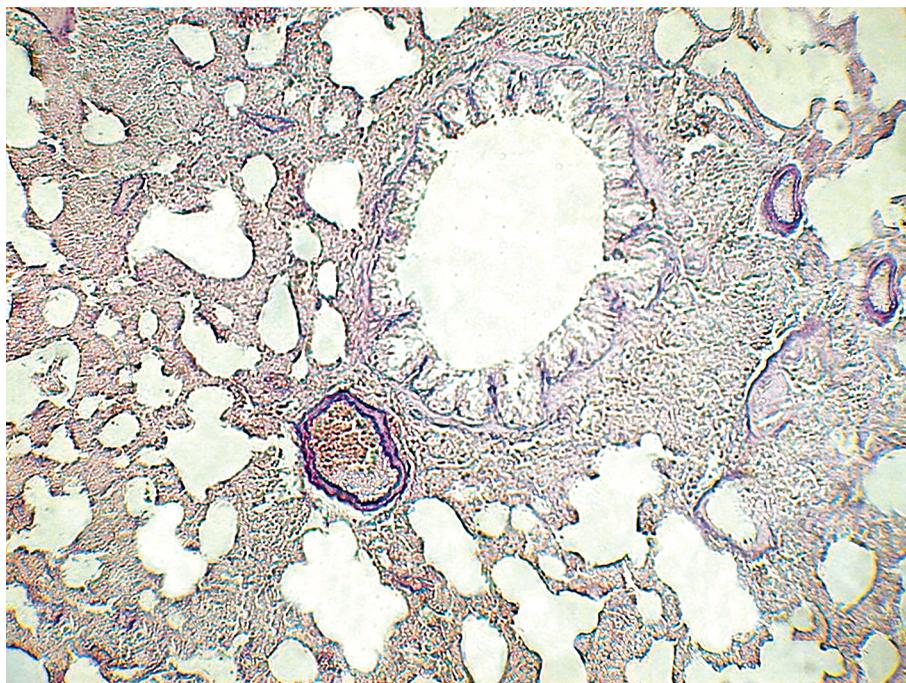


Рис. 3. Внутриорганный легочная артерия мышечного типа крысы молодого возраста. Окраска резорцин-фуксином. Об. 10, ок. 10

срезах сосудов представлен в виде отдельных подушкообразных утолщений средней оболочки, прилежащих к наружной эластической мембране со стороны адвентиции (рис. 2). Гладкие миоциты, составляющие основу слоя, имеют косоциркулярное расположение и плотно прилегают друг к другу. Вероятно, эти сегменты играют определенную роль в регуляции притока крови в легкие при переходе артерий мышечно-эластического типа в мышечный и являются своеобразными «кранами» малого круга кровообращения.

Последняя часть срезов представлена артериями наименьшего калибра, которые имеют типично мышечный тип строения. Основу их стенки также составляет средняя оболочка, построенная из гладкомышечных клеток, расположенных между четко контурированными внутренней и наружной эластическими мембранами (рис. 3). Интима представлена монослоем эндотелиоцитов, непосредственно прилежащим к внутренней эластической мембране, как таковой субэндотелиальный слой не визуализируется. Адвентиция не имеет четких наружных границ, так как непосредственно сливается с относительно рыхлыми соединительнотканными структурами наружной оболочки бронхов и стромы легкого.

При исследовании структуры артерий малого круга кровообращения у крыс двухлет-

него возраста было обнаружено, что морфологическим преобразованиям подвергаются все слои и элементы стенки сосудов.

Изменения в строении внутренней оболочки легочного ствола и легочных артерий характеризуются в основном увеличением содержания в ней коллагеновых волокон. Местами обнаруживаются участки полной коллагенизации интимы и нарушения целостности внутренней эластической мембраны.

Деструктивные процессы в средней оболочке легочного ствола и легочных артерий проявлялись постепенным уменьшением толщины эластических мембран от внутренних слоев к наружным. По мере приближения к адвентиции они постепенно истончаются и фрагментируются, а наружная эластическая мембрана теряет целостность, становясь разрыхленной и тонкой (рис. 4). Со стороны наружной оболочки между эластическими мембранами средней оболочки обнаруживались участки «прорастания» коллагеновых волокон, промежутки между мембранами были неравномерно увеличены, хотя гладкие миоциты располагались в один слой. Однако, несмотря на значительную структурную перестройку стенки магистральных артерий, достоверного изменения количества эластических мембран в средней оболочке выявлено не было.

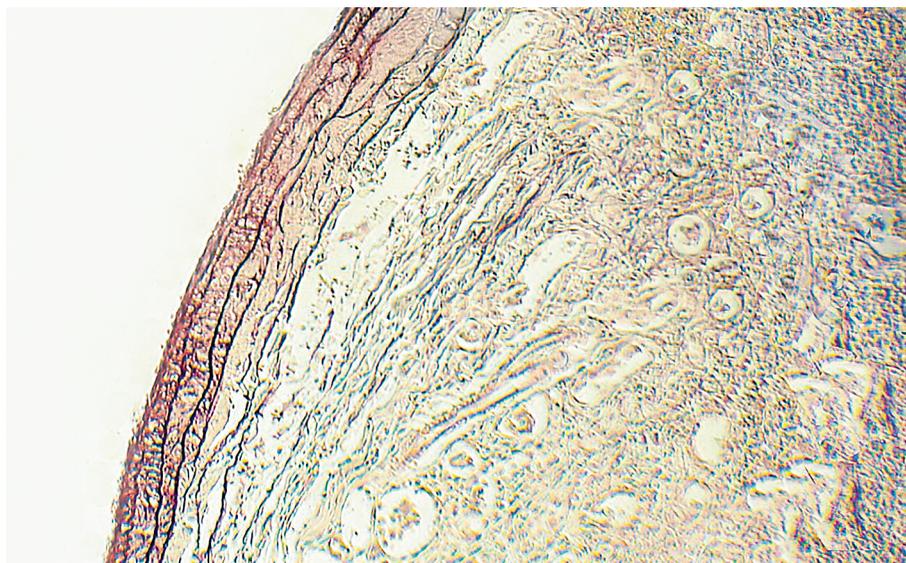
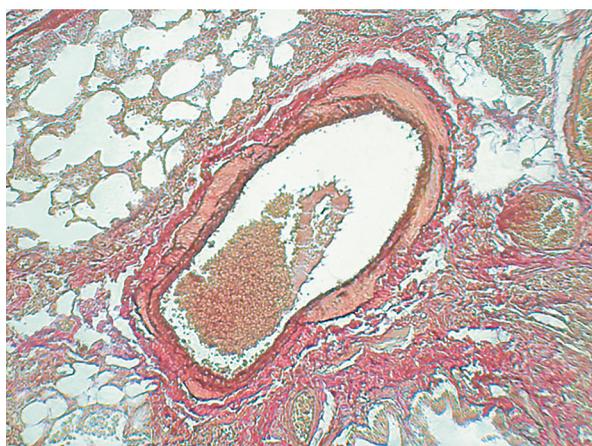
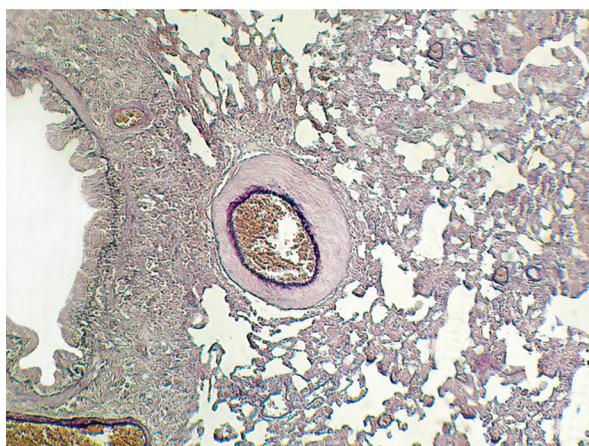


Рис. 4. Левая легочная артерия крысы старческого возраста. Деструкция эластического каркаса средней оболочки, неравномерность мышечных промежутков между мембранами. Окраска орсеином. Об. 40, ок. 10



a



б

Рис. 5. Внутриорганный легочная артерия крысы старческого возраста: *a* — мышечно-эластического типа, очаговое утолщение средней оболочки (окраска резорцин-фуксином и пикрофуксином, об. 10, ок. 10); *б* — мышечного типа, кольцевидная форма неравномерно утолщенной средней оболочки, истонченная наружная эластическая мембрана (окраска резорцин-фуксином, об. 10, ок. 10)

В адвентиции внеорганных артерий также преобладают коллагеновые волокна, хотя в артериях значительно увеличилось количество эластических волокон и клеточных элементов, особенно вокруг *vasa vasorum*. Коллагеновые волокна представляются толстыми, аморфными, создавая более гомогенную и в то же время компактную конструкцию наружной оболочки.

Внутрилегочные артерии малого круга кровообращения крыс старческого возраста по своим структурным особенностям в целом со-

храняют мышечно-эластический и мышечный типы строения. Артерии мышечно-эластического типа характеризуются увеличением содержания в интиме и медиэе коллагеновых волокон. В средней оболочке по-прежнему являются три эластические мембраны с расположенными между ними гладкомышечными клетками, хотя средняя и наружная мембраны частично фрагментированы, имеют неодинаковую толщину и неравномерную извитость. Между фрагментами наружной эластической мембраны со стороны адвентиции заметно

проращение в среднюю оболочку коллагеновых волокон. Для наружной оболочки артерий этого типа характерно преобладание пучков коллагеновых волокон, а также наличие в большем количестве, по сравнению с молодыми животными, эластических волокон и клеточных элементов.

Значительным преобразованиям подвергается и дополнительный спиралевидный мышечный слой, который обнаружен при переходе артерий из мышечно-эластического в мышечный тип (рис. 5, а). По сравнению с молодыми животными площадь его поперечного сечения значительно увеличивается. Постепенно с уменьшением калибра сосуда он становится сплошным, заменяя основные слои средней оболочки и оттесняя их к внутренней эластической мембране.

В результате этого средняя оболочка мышечных артерий представлена в основном увеличенными в размерах пучками косоциркулярно расположенных миоцитов, которые сливаются в один сплошной слой в виде кольца (рис. 5, б). Кроме гладкомышечных клеток в состав меди входит небольшое количество волокнистых структур. Отдельные эластические волокна располагаются во внутренних слоях этой оболочки и являются, по-видимому, фрагментами наружной эластической мембраны сосуда. Внутренняя эластическая мембрана хорошо выражена, имеет одинаковую толщину. В то же время наружная эластическая мембрана истончена, представлена в основном отдельными волокнами, между которыми имеются участки проращения коллагеновых волокон в среднюю оболочку из адвентиции. Последняя, относительно тонкая, не имеет четких границ и состоит в основном из коллагеновых волокон и небольшого количества эластических.

Таким образом, можно отметить, что в процессе старения структурные изменения в легочных артериях захватывают все слои сосудистой стенки. В эластических и мышечно-эластических артериях они заключались, прежде всего, в деструкции эластического каркаса и коллагенизации оболочек. В артериях переходного типа наибольшие преобразования связаны с резким утолщением средней оболочки за счет миоцитов дополнительного спирального слоя. В результате значительного увеличения толщины средней оболочки мышечные артерии приобрели кольцевидную форму. Таким образом, несмотря на универсальность возрастной перестройки сосудов, форма ее во многом зависит от морфологической характеристики артерий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.Н., Хубулава Г.Г., Леванович В.В. Тканеинженерные сосудистые трансплантаты. Педиатр. 2015; 6(1): 87–95. DOI: 10.17816/PED6187-95.
2. Валькович Э.И., Батюто Т.Д., Кожухарь В.Г. и др. Общая и медицинская эмбриология. СПб.: Фолиант; 2003.
3. Голубев А.Г. Биология продолжительности жизни и старения. СПб.: Н-Л; 2009.
4. Добровольский Г.А. Ветвление бронхиального дерева у лабораторных животных. Российские морфологические ведомости. 1995; 3: 33–9.
5. Есипова И.К., Кауфман О.Я. Постнатальная перестройка малого круга кровообращения и ателектаз новорожденных. Л.: 1968.
6. Западнюк И.П., Западнюк В.И., Захария Е.А., Западнюк Б.В. Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте. Киев: Вища школа; 1983.
7. Зимбалевская Ч.М. Морфологические особенности артериальных сосудов малого круга кровообращения в процессе старения у человека и некоторых экспериментальных животных. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Киев; 1972.
8. Ноздрачев А.Д. Анатомия крысы (лабораторные животные). СПб.: Лань; 2001.
9. Петренко В.М. Анатомия легких у белой крысы. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013; 10-3: 414–7. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=4220> (дата обращения: 20.05.2022).
10. Уэйр Е.К., Ривс Дж. Т. Физиология и патофизиология легочных сосудов. М.: Медицина; 1995.
11. Хайцев Н.В., Васильев А.Г., Трашков А.П. и др. Влияние возраста и пола на характер ответных реакций белых крыс при действии хронической гипоксической гипоксии. Педиатр. 2015; 6(2): 71–7. DOI: 10.17816/PED6271-77.

REFERENCES

1. Aleksandrov V.N., Hubulava G.G., Levanovich V.V. Tkaneinzhenernye sosudistye transplantaty [Tissue-engineered vascular grafts]. *Pediatr.* 2015; 6(1): 87–95. DOI: 10.17816/PED6187-95. (in Russian)
2. Val'kovich E.I., Batyuto T.D., Kozhuhar' V.G. i dr. Obshchaya i medicinskaya embriologiya [General and medical embryology]. Sankt-Peterburg: Foliant Publ.; 2003. (in Russian)
3. Golubev A.G. Biologiya prodolzhitel'nosti zhizni i starenija [Biology of life expectancy and aging]. Sankt-Peterburg: N-L Publ.; 2009. (in Russian)
4. Dobrovol'skij G.A. Vetvlenie bronhial'nogo dereva u laboratornykh zhivotnykh [Branching of the bronchial tree in laboratory animals]. *Rossijskie morfologicheskie vedomosti.* 1995; 3: 33–9. (in Russian)

5. Esipova I.K., Kaufman O.Ja. Postnatal'naja perestrojka malogo kruga krovoobrashhenija i atelektaz novorozhdennyh [Postnatal restructuring of the pulmonary circulation and neonatal atelectasis]. Moskva: 1968. (in Russian)
6. Zapadnjuk I.P., Zapadnjuk V.I., Zaharija E.A., Zapadnjuk B.V. Laboratornye zhivotnye. Razvedenie, sodержanie, ispol'zovanie v jeksperimente [Laboratory animals. Breeding, maintenance, use in the experiment]. Kiev: Vishha shkola Publ.; 1983. (in Russian)
7. Zimbalevskaja Ch.M. Morfologicheskie osobennosti arterial'nyh sosudov malogo kruga krovoobrashhenija v processe starenija u cheloveka i nekotoryh jeksperimental'nyh zhivotnyh [Morphological features of arterial vessels of the pulmonary circulation during aging in humans and some experimental animals]. Avtoref. dis. ...kand. med. nauk. Kiev; 1972. (in Russian)
8. Nozdrachev A.D. Anatomija krysy (laboratornye zhivotnye) [Anatomy of a rat (laboratory animals)]. Sankt-Peterburg: Lan' Publ.; 2001. (in Russian)
9. Petrenko V.M. Anatomija legkih u beloj krysy [Anatomy of the lungs in a white rat]. Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2013; 10-3: 414–7. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=4220> (data obrashhenija: 20.05.2022). (in Russian)
10. Ujejr E.K., Rivs Dzh. T. Fiziologija i patofiziologija legochnykh sosudov [Physiology and pathophysiology of pulmonary vessels]. Moskva: Medicina Publ.; 1995. (in Russian)
11. Hajcev N.V., Vasil'ev A.G., Trashkov A.P., Kravcova A.A., Balashov L.D. Vliyanie vozrasta i pola na harakter otvetnyh reakcij belyh krysov pri dejstvii hronicheskoj gipoksicheskoj gipoksii [Influence of age and gender on the nature of responses of white rats under the action of chronic hypoxic hypoxia]. Pediatr. 2015; 6(2): 71–7. DOI: 10.17816/PED6271-77. (in Russian)