

исследований, авторы проводили анализ морфометрических характеристик сердца плода не только в корреляции с формой сердца, но и с возрастом и размерами плода [8]. Установлено, что для формы и линейных размеров сердца характерна выраженная индивидуальная изменчивость, с этим согласуются полученные нами результаты.

ВЫВОДЫ

1. Для морфометрических параметров и формы сердца плодов характерна выраженная индивидуальная изменчивость.

2. У плодов 18–23 недель развития возможно выделить разные формы сердца.

3. В выборке из 30 сердец плодов (18–23 недель развития) самой многочисленной оказалась группа сердец переходной формы (46,7%), со значением ППИ от 0,80 до 0,95.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Christoffels V., Jensen B. Cardiac Morphogenesis: Specification of the Four-Chambered Heart / V. Christoffels, B. Jensen // *Cold Spring Harbour Perspectives in Biology*. – 2020 – V. 12, № 10. – P. 1–18.

2. Martinsen, B. J., & Lohr, J. L. Cardiac development / Martinsen // *Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices: Second Edition*. – 2005. – P. 23–32.

3. Малеева М. А. Морфометрические критерии гармоничности развития сердца человека в плодном периоде / М. А. Малеева // *FORCIPE*. – 2021. – Т. 4, Спецвыпуск. – С. 134.

4. Спирина, Г. А. Принципы структурной организации проводящей системы сердца плодов человека / Г. А. Спирина, К. А. Метелкина // *Forcipe*. – 2021. – Т. 4, № 4. – С. 4–8.

5. Сейидова, Э. И. Факторы риска формирования врожденных пороков сердца у плода / Э. И. Сейидова // *Вестник РГМУ*. – 2015. – № 2. – С. 42.

6. Тохирова, Ж. И. Лечение врожденным пороком сердца / Ж. И. Тохирова // *Internasional scientific journal*. – 2022. – № 3. – С. 346–350.

7. Автандилов, Г. Г. Медицинская морфометрия / Г. Г. Автандилов. – Москва: Медицина, 1990. – С. 202–214.

Сведения об авторах

Д. А. Пятыгина – студент

Н. В. Ялунин – кандидат медицинских наук, доцент

Information about the authors

D. A. Piatygina – student

N. V. Yalunin – Candidate of Sciences (Medicine), associate professor

***Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):**

piatygina.d@yandex.ru

УДК 611.068

К ВОПРОСУ О РОСТЕ ЛЕГКИХ ПЛОДОВ ЧЕЛОВЕКА

Анастасия Олеговна Сажина, Галина Алексеевна Спирина

Кафедра анатомии человека

ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения РФ
Екатеринбург, Россия

Аннотация

Введение. Измерение и сопоставление линейных параметров легких плодов человека является важным маркером, характеризующим их рост, а также инструментом в диагностике пренатальной патологии. **Цель исследования** - изучение особенностей строения и роста легких плодов человека с 13 по 40 недели развития. **Материал и методы.** Описаны и проанализированы морфометрические параметры 93 препаратов легких плодов различного гестационного возраста, изложены особенности соотношения его структурных элементов. **Результаты.** Получены значения относительной скорости роста, пульмо-фетального индекса (ПФИ), коэффициента асимметрии (Ka), объема долей, впервые соотнесены размеры долей легких, рассчитаны величины вурфов, определены особенности роста легких плодов человека. Автор попытался найти взаимосвязь установленных показателей с гипоплазией легких. **Выводы.** Сопоставление морфометрических параметров легких плода позволяет выявить и оценить степень отклонения строения легких от нормы. **Ключевые слова:** человек, плод, легкие, строение.

ON THE QUESTION OF THE GROWTH OF HUMAN LUNG FETUSES

Anastasia O. Sazhina, Galina A. Spirina

Department of Human Anatomy

Ural state medical university

Yekaterinburg, Russia

Abstract

Introduction. Measurement and comparison of linear parameters of human fetal lungs is an important marker characterizing their growth, as well as a tool in the diagnosis of prenatal pathology. **The purpose of the study** is to research the features of the structure and growth of human fetuses from the 13th to the 40th week of development. **Material and methods.** Morphometric parameters of 93 preparations of fetal lungs of various gestational ages are described and analyzed, the features of the ratio of its structural elements are described. **Results.** The values of the relative growth rate, the pulmo-fetal index (PHI), the coefficient of asymmetry (Ka), the volume of the lobes were obtained, the sizes of the lobes of the lungs were correlated for the first time, the values of the wурfs were calculated, and the features of the growth of human fetuses' lungs were determined. The author tried to find the relationship of the established indicators with hypoplasia of the lungs. **Conclusions.** Comparison of morphometric parameters of fetal lungs makes it possible to identify and assess the degree of deviation of the structure of the lungs from the norm.

Keywords: human, fetus, lungs, structure.

ВВЕДЕНИЕ

Характер внутриутробного формирования органов в значительной мере влияет на состояние функциональных систем организма в постнатальном

периоде жизни человека. Патологии органов дыхательной системы занимают лидирующее положение. Среди наиболее значимых факторов, влияющих на распространение данных отклонений, следует выделить нарушения в процессе закладки и развития анатомических структур бронхолегочной системы. Адекватная оценка антенатального развития основывается на измерении и анализе биометрических параметров плода. Линейные параметры и характер роста легких являются ключевыми показателями в пренатальной диагностике, как для прогноза выживаемости недоношенных новорожденных, так и для новорожденных с патологиями, вызванными незрелостью легких. Динамика развития долей легких плодов на сегодняшний день недостаточно изучена [1].

Цель исследования – изучение особенностей строения и роста легких плодов человека 13-40 недель гестации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на аутопсийном архивном материале, представленном морфометрическими данными 93 пар препаратов легких плодов различного пола, полученных в результате медицинских абортов и мертворождений. Внимание автора было сосредоточено на динамике линейных показателей роста правого и левого легких в зависимости от гестационного возраста. Фетометрические параметры представлены данными о длине и массе тел плодов, массе правого и левого легких, показателях их длины - АВ (наибольший вертикальный размер), ширины - ВС (наибольший поперечный размер) и толщины - CD (передне-задний размер на уровне середины легкого).

Оценка степени развития легких проводилась на основании ПФИ, расчет произведен по формуле: **ПФИ = общий вес легких/вес плода * 100%**. Соотношение массы правого и левого легких определено при помощи Ка: **Ка = Масса правого легкого/масса левого легкого**. Для анализа и оценки темпов внутриутробного развития вычислялась абсолютная (АС) и относительная скорость (ОС) роста линейных и весовых размеров исследуемых органов. ОС позволяет установить периодичность изменения изучаемых параметров объекта, для вычисления использовалась формула: $C = ((L2 - L1) / L2 \times (t2 - t1)) \times 100\%$, где L1 и L2 - размеры в начальный (t1) и конечный (t2) моменты времени. АС и ОС роста были определены для длины, ширины, толщины, массы легких и массы плодов. На основании имеющихся биометрических данных был вычислен объем долей легких по формуле $V = (ДЛ \cdot ШЛ \cdot ПЗРЛ) / (2 \cdot 1000)$, мл [2], где V - объем легкого, мл; ДЛ - длина легкого, мм; ШЛ - ширина легкого, мм; ПЗРЛ – переднезадний размер легкого, мм. Для изучения взаимосвязей в структуре исследуемых органов автором проведены вычисления соотношений их линейных параметров. Одним из числовых выражений симметрии является пропорция «золотого сечения», равная 1.618, и вурф W [3], как частное выражение инвариантности симметричных трансформаций для трехчленных объектов. Формула расчета пропорций для левого легкого, как для двухдольной структуры: $(a + b) / a$, формула для выражения величины вурфов долей правого легкого, как трехдольной структуры, $W(a,b,c) = (a + b)(b + c) / b(a + b + c)$. Для расчета значений вурфов были выбраны сопоставимые признаки объектов, такие как длина, ширина, толщина долей каждого легкого в

отдельности. Отклонения от значения 1,309, названного «золотым вурфом» более, чем на 5% и более, чем на 7%, от «золотого сечения» свидетельствует о негармоничном соотношении частей и о возможном развитии патологии [3].

Статистическая обработка результатов измерений проводилась в операционной системе Windows 11,0 с использованием встроенного пакета математического анализа Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Произведенными расчетами установлено, что тип роста легких плодов человека 13-40 недель гестации соответствует параболическому: по мере роста и увеличения массы плодов ОС роста параметров легких снижается. Данный тип наиболее характерен для процессов роста, сопровождаемого активной дифференцировкой клеток ткани [2]. Три исследуемых линейных параметра имеют собственные темпы развития: кривая ОС роста легких в длину образует 2 подъема с пиком в 17-20 и 29-32 недели, ширина и толщина легких совершают 3 подъема в одни и те же временные промежутки с пиками в 17-20, 25-28 и 37-40 недель. Следует отметить, что при наибольшем увеличении ОС роста одного параметра, скорость других несколько замедляется. Каждая из вершин верхнего графика рис. 1 соответствует наибольшей ОС роста легких в длину, ширину, толщину, последующее снижение которой совпадает с описанными в литературе критическими периодами [4], т.е. переходами в новую стадию развития органа, сопровождаемую интенсивной дифференцировкой клеток легких. Смена железистой стадии на каналикулярную происходит именно на 20-21 неделе гестации [5], так же на период с 25 по 26 недели приходится начало альвеолярной стадии. Длина левого легкого плодов всех изученных сроков гестации опережает длину правого, что связано с расположением развивающейся печени.

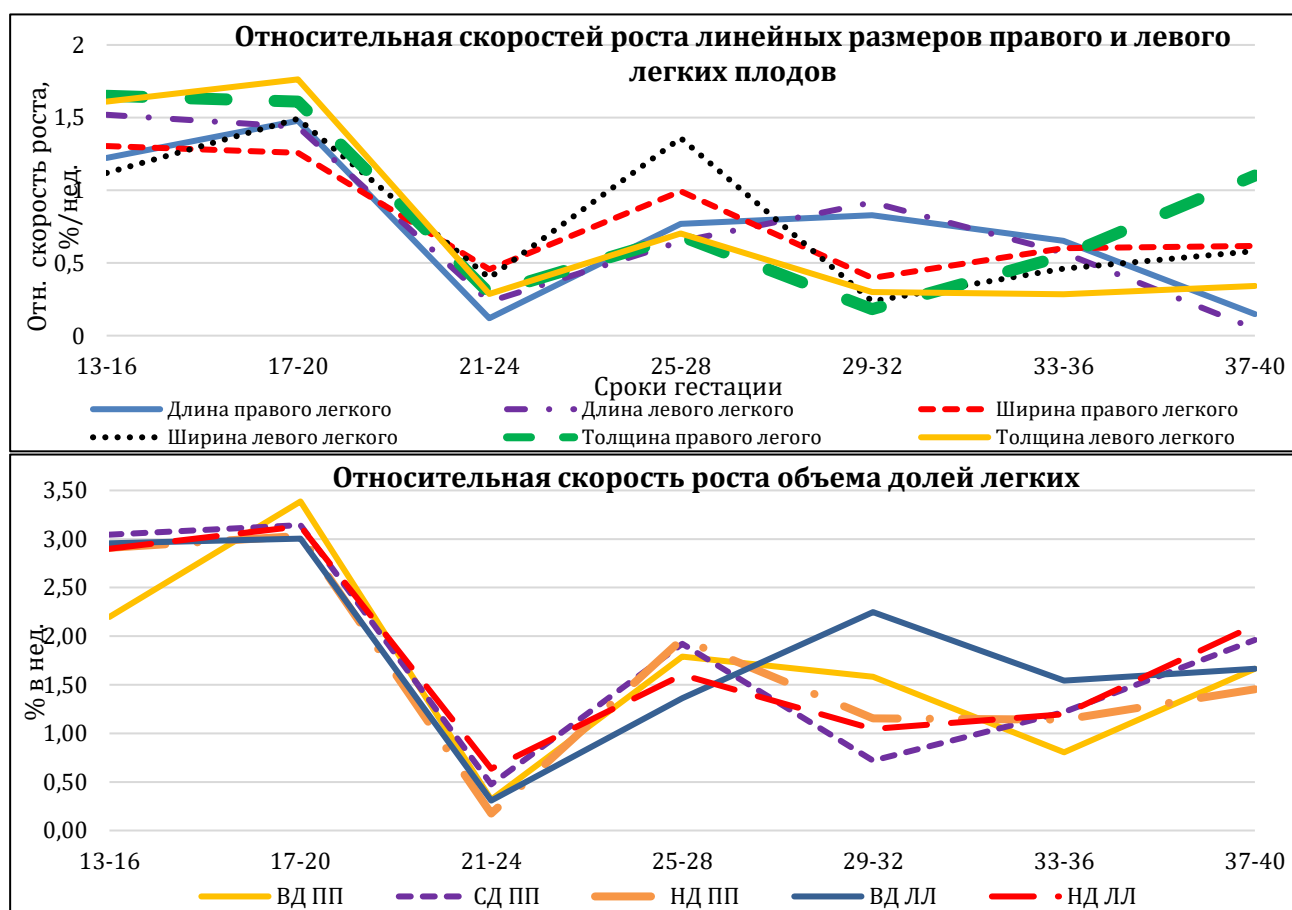


Рис. 1 Динамика АС и ОС роста линейных размеров легких плодов

Анализ линейных параметров долей свидетельствует о том, что рост каждого легкого на протяжении всего внутриутробного периода осуществляется за счёт поочередного роста его долей (Рис. 1). К 17-20 неделям максимальную ОС роста демонстрирует верхняя доля правого легкого, в 25-28 недель – нижняя и средняя доли правого легкого, с 29 по 32 недели опережающие темпы наблюдаются в росте верхней доли левого легкого на фоне значительного замедления роста других долей. К окончанию внутриутробного периода скачок роста отмечается в нижней доле левого легкого и средней правой. Таким образом, левое легкое увеличивается в длину за счет превалирующего роста верхней доли, правое легкое также демонстрирует лидерство верхней доли с небольшим отставанием нижней, что подтверждает описанный в литературе закон возникновения краниально-каудального градиента в пренатальном периоде. Сопоставление морфометрических данных позволяет утверждать, что изменение линейных параметров легких плодов с 13 по 40 недели происходит неравномерно, волнообразно и гетерохронно.

Левое и правое легкое имеют свойственные им пропорции как по отношению друг к другу, так и к параметрам тел плодов на протяжении всего исследуемого периода, о чем свидетельствует ПФИ и Ка. Анализ ПФИ и Ка, как методов оценки развития легких, следует проводить с учетом нижних и верхних возрастных границ [6]. В норме ПФИ у доношенных детей должен иметь значение от 0,018 до 0,022, при ПФИ от 0,010 до 0,017 имеется вероятность легочной гипоплазии. Величина ПФИ исследуемых плодов с 15 по 37 недели внутриутробного развития находится в пределах нормальных значений. С увеличением срока гестации наблюдается тенденция к уменьшению показателя до уровня ниже референсного диапазона с 37 по 40 недели (Рис. 2), что позволяет предположить недостаточное развитие органа. Ка, демонстрирующий степень различия массы правого и левого легких, является способом выявления гипо- и (или) гиперплазии одного из них. Ка, который в каждом исследуемом периоде больше единицы, свидетельствует о постоянно превышающем объеме правого легкого над левым, такая асимметрия обусловлена эволюционно. Однако значения коэффициента в период с 27 по 40 недели ниже нормативного диапазона, который находится в пределах от 1,2 до 1,8 [2], что дает право выявить начальную стадию гипоплазии правого и (или) гиперплазии левого легкого.

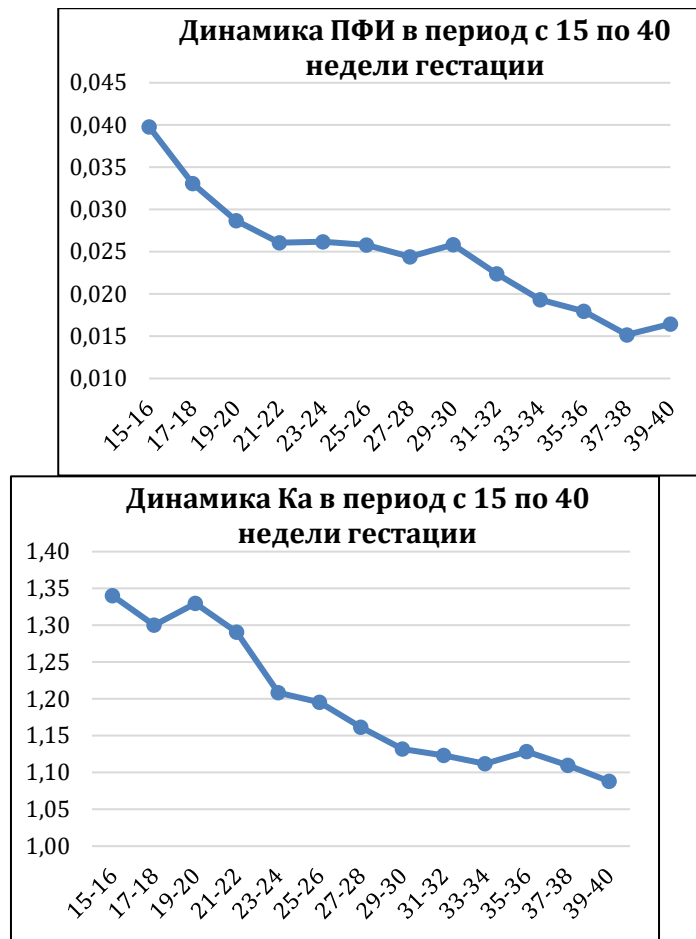


Рис. 2 Соотношение массы плодов и массы легких

При исследовании параметров долей легких автором было сделано следующее наблюдение: длина долей левого легкого, равно, как и ширина, и толщина, соотносятся между собой в пропорции, близкой к «золотому вурфу» - 1,309. Две доли левого легкого имеют соотношение, близкое к точке золотого сечения, равной 1,618, значения для каждого возрастного периода изображены на рис. 3. Отклонения значений вурфов правого легкого более 5%, как и отклонения значений соотношения долей левого легкого от «золотого сечения» более 7% наблюдается в 13-16, 25-28 недель, в периоды выраженной пролиферации в легких, а также в 37-40 недель (в соотношении долей левого легкого). В целом, сохранение пропорций органов с 13 по 40 недель, позволяет говорить о гармоничной лобуляции и взаимосвязанном развитии его долей.

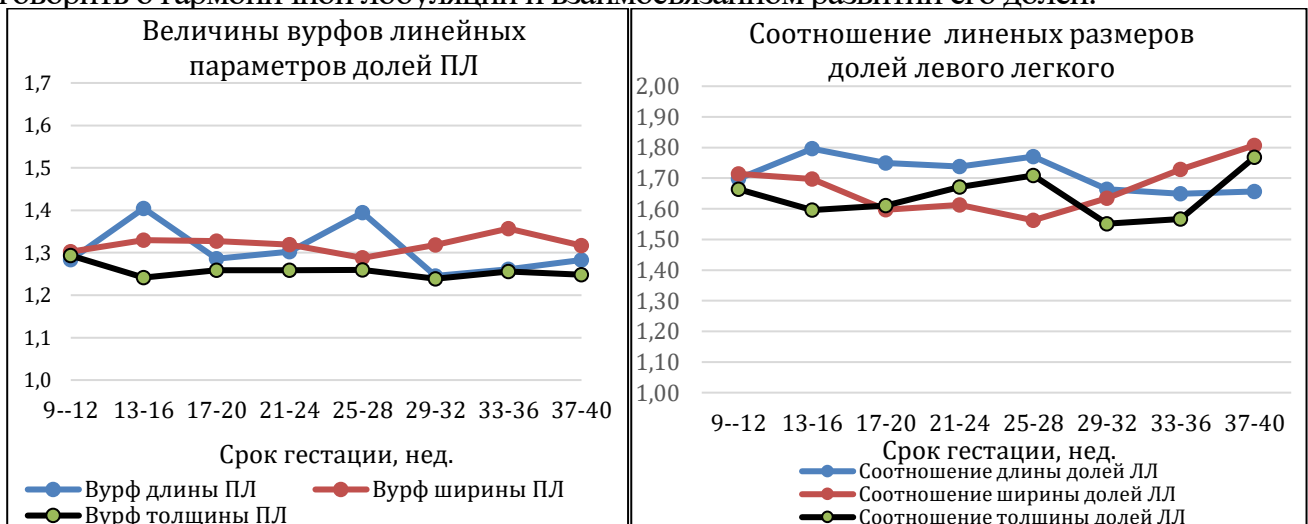


Рис. 3 Соотношение линейных размеров долей правого и левого легких

ОБСУЖДЕНИЕ

Тип роста легких плодов человека 13-40 недель гестации соответствует параболическому, что наиболее характерно для процессов роста, сопровождаемых активной дифференцировкой клеток [7]. Развитие легких в длину, ширину и толщину происходит неравномерно и гетерохронно: увеличение в длину осуществляется в 2 этапа с интервалом в 3 месяца, тогда как в ширину и толщину – в 3 этапа протяженностью в 2 месяца. Наибольшая ОС роста линейных параметров легких отмечается в 17-20, 25-28 и 29-32 недель сменяется резким замедлением, что совпадает с описанными в литературе критическими периодами развития органа, связанными с наиболее выраженной пролиферацией клеток [5].

Величина ПФИ исследуемых плодов до 37 недели внутриутробного развития находится в пределах нормы. С увеличением срока гестации наблюдается тенденция к уменьшению показателя, с 37 недели значения ниже референсного диапазона, что может служить маркером недостаточного развития органа. Как свидетельствует о постоянно превышающем объеме правого легкого над левым, что эволюционно детерминировано, плавно уменьшается на протяжении всего срока гестации. После 27 недели показатель несколько ниже нормативных значений, это может свидетельствовать о начальной стадии гипоплазии правого и (или) гиперплазии левого легкого.

Размеры долей легких подтверждают нормативное соотношение краниального и каудального отделов в пренатальном периоде, с превалированием верхней доли. Впервые установлено: длина каждой из трех долей правого легкого, как и ширина, и толщина соотносятся в пропорции, близкой к «золотому сечению». Две доли левого легкого имеют соотношение, близкое к значению «золотого сечения». Приведенные расчёты, подтверждающие стремление организма к проявлению симметрии, говорят о гармоничной лобуляции и взаимосвязанном развитии долей легких. Наибольшее отклонение значений соотношения долей легких от «золотого сечения» и «золотого сечения» наблюдается в критические периоды внутриутробного развития легких в 13-16 и 26-28 недель [5], а также в 37-40 недель (левое легкое).

ВЫВОДЫ

1. Динамика внутриутробного развития легких плода подчиняется принципам параболического роста: по мере роста и увеличения массы плодов ОС роста параметров легких снижается.

2. В процессе роста долей легких проявляются законы чередования. Увеличение морфометрических параметров происходит неравномерно и гетерохронно: для роста долей каждого легкого в длину, ширину и толщину периоды интенсивного и замедленного роста чередуются, интенсификация развития одного из параметров происходит на фоне более сдержанного роста других.

3. Размеры долей легких подтверждают описанное в литературе явление краниально-каудального градиента в пренатальном периоде, с превалированием верхней доли.

4. В органогенезе легких реализуется закон пропорций и принципы конформной симметрии. Левое и правое легкое имеют свойственные им пропорции как по отношению друг к другу, так и к параметрам тел плодов на протяжении всего исследуемого периода. Впервые обнаружено значение вурфа, близкое к «золотому» для соответствующих линейных размеров долей правого легкого и близость значений к «золотому сечению» для левого. Наибольшее отклонение от эталонных значений наблюдается в критические периоды развития органа.

5. Исследуемые морфометрические параметры (линейные размеры легких, ПФИ, Ка, соотношение размеров долей) являются чувствительными маркерами в оценке нормального развития плода и обнаружении зарождающейся патологии, связанной с легочной гипоплазией.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мухина, Н.Н. Морфометрическая характеристика и строение легких человека в пренатальном периоде развития: специальность 14.00.02 – «Анатомия человека», 03.00.25 – «Гистология, цитология, клеточная биология» : диссертация кандидата мед. наук / Мухина Наталья Николаевна ; Уральский государственный медицинский университет. – Екатеринбург, 2003. – 147 с.
2. Стыгар, А.М. Способ ультразвуковой диагностики нарушений развития легких плода / А. М. Стыгар, Н. И. Кохно // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2006. - № 5. - С. 31-39.
3. Чермит, К. Д. Прогностические возможности вурфа / К. Д. Чермит, Е. К. Аганянц, А. В. Шаханова // Проблемы физиологии человека. – 2005. – С. 9-19.
4. Спирина, Г.А. Закономерности роста легких плодов человека / Г.А. Спирина, Н.Н. Мухина // Фундаментальные исследования. – 2005. – № 9. – С. 89-90.
5. Пренатальный морфогенез лёгких и предпосылки для развития РДС у недоношенных новорождённых / С.А. Перепелица, А.М. Голубев, В.В. Мороз, М.А. Шмакова // Общая реаниматология. 2010. – т. VI. - № 6. – С.53-58.
6. Щеголев, А.И. Гипоплазия легких: причины развития и патологоанатомическая характеристика / А.И. Щеголев, У.Н. Туманова., В.М. Ляпин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 4-3. – С. 530-534.

Сведения об авторах

А.О. Сажина* – студент

Г.А. Спирина – д.м.н., профессор

Information about the authors

A.O. Sazhina – student

G.A. Spirina – Doctor of Science (Medicine), Professor

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author):
sao3009@yandex.ru