

Морфометрическая характеристика и гистотопография стенок левого предсердия

А.А. Гапонов¹, А.А. Якимов^{1,2*}

¹Уральский государственный медицинский университет, г. Екатеринбург, Россия;

²Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

Реферат

Актуальность. Знание особенностей анатомии стенок левого предсердия позволит минимизировать осложнения при выполнении операции «лабиринт».

Цель. Выявить общие черты и локальные особенности анатомии передневерхней, латеральной и нижней стенок тела левого предсердия сердца взрослого человека.

Материал и методы исследования. Из 60 препаратов сердца мужчин и женщин 35–89 лет, умерших от причин, не связанных с болезнями сердца, изготовили 61 гистотопограмму и 180 анатомических срезов стенок левого предсердия. Использовали стереоскопический микроскоп (увеличение $\times 4,7\text{--}15$), гистологический микроскоп (увеличение $\times 40$), программу распознавания изображения. Применяли непараметрический дисперсионный, корреляционный, однофакторный регрессионный анализ. Значимость различий оценивали U-критерием Манна–Уитни. Результаты представлены в виде медиан.

Результаты. Анатомическими маркерами передневерхней стенки являются компактная группа поперечных волокон миокарда (передний межпредсердный пучок Бахмана) и истонченный участок нижней трети медиальной половины стенки. Особенностью латеральной стенки является группа косопродольных волокон миокарда (левый латеральный гребень). Для нижней стенки была характерна хорошо развитая подэпикардальная клетчатка. Тонкими стенками были передневерхняя в медиальном участке (5130 мкм) и латеральная (5243 мкм). Самой толстой была медиальная треть нижней стенки у венечной борозды (8864 мкм). Эпикард с подэпикардальной клетчаткой в медиальной части нижней стенки был толще (4750 мкм), чем в латеральной (2651 мкм) и передневерхней (2535 мкм) стенках. Миокард передневерхней стенки (2714 мкм) был толще миокарда как латеральной (2213 мкм), так и нижней стенки в её центральном (1947 мкм) и латеральном (1913 мкм) отделах. Медианы толщины эндокарда разных стенок варьировали от 335 до 426 мкм. Толщина стенок в верхней трети зависела, прежде всего, от толщины миокарда, а в нижней трети — от толщины эпикарда с подэпикардальной клетчаткой.

Вывод. Общим для стенок левого предсердия было их утолщение к венечной борозде за счёт подэпикардальной жировой ткани; особенности состояли в том, что стенки левого предсердия различались по толщине и имели уникальный паттерн анатомии миокарда.

Ключевые слова: анатомия сердца, миокард, эпикард, левое предсердие, морфометрия.

Для цитирования: Гапонов А.А., Якимов А.А. Морфометрическая характеристика и гистотопография стенок левого предсердия. *Казанский мед. ж.* 2022;103(3):434–444. DOI: 10.17816/KMJ2022-434.

ORIGINAL STUDY | DOI: 10.17816/KMJ2022-434

Morphometric characteristics and histotopography of the left atrium walls

A.A. Gaponov¹, A.A. Yakimov^{1,2*}

¹Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia;

²Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*Для переписки: ayakimov07@mail.ru

Поступила 05.03.2022; принята в печать 20.04.2022;

опубликована: 10.06.2022.

© Эко-Вектор, 2022. Все права защищены.

*For correspondence: ayakimov07@mail.ru

Submitted 05.03.2022; accepted 20.04.2022;

published: 10.06.2022.

© Eco-Vector, 2022. All rights reserved.

Abstract

Background. Knowledge of the anatomical features of the left atrium walls will minimize complications during the “Cox-Maze” surgery.

Aim. To clarify common features and local anatomical specificities of the anterosuperior, lateral and inferior walls of the left atrial body of the heart of an adult.

Material and methods. From 60 preparations of the hearts of men and women aged 35–89 years who died from non-cardiac causes, 61 histotopograms and 180 anatomical sections of the left atrium walls were made. A stereoscopic microscope ($\times 4.7$ –15 magnification), a histological microscope ($\times 40$ magnification), and an image recognition program were used. Nonparametric dispersion, correlation, one-way regression analysis were applied. The significance of differences was assessed by the Mann–Whitney U-test. The results were presented as medians.

Results. Anatomical markers of the anterosuperior wall were a compact group of transverse myocardial fibers (anterior interatrial Bachmann bundle) and a thinned section of the lower third of the medial half of the wall. A feature of the lateral wall was a group of oblique myocardial fibers (left lateral ridge). The inferior wall was characterized by well-developed subepicardial tissue. Anteroposterior wall in the medial area (5130 μm) and lateral wall (5243 μm) were thin. The epicardium with subepicardial tissue in the medial part of the inferior wall was thicker (4750 μm) than in the lateral (2651 μm) and anterosuperior (2535 μm) walls. The myocardium of the anteroposterior wall (2714 μm) was thicker than the myocardium of both the lateral (2213 μm) and inferior wall in its central (1947 μm) and lateral (1913 μm) sections. The median thickness of the endocardium of different walls varied from 335 to 426 μm . The wall thickness in the upper third mostly depended primarily on the myocardium thickness, and in the inferior third on the epicardium and subepicardial tissue thickness.

Conclusion. For the walls of the left atrium, their thickening towards the coronary sulcus was common due to the subepicardial adipose tissue. The peculiarities were the differences of the left atrium walls in thickness and their unique pattern of myocardial anatomy.

Keywords: heart anatomy, myocardium, epicardium, left atrium, morphometry.

For citation: Gaponov AA, Iakimov AA. Morphometric characteristics and histotopography of the left atrium walls. *Kazan Medical Journal*. 2022;103(3):434–444. DOI: 10.17816/KMJ2022-434.

Актуальность

Левое предсердие (ЛП) представляет собой камеру сердца, которая принимает кровь из лёгочных вен и далее направляет её в левый желудочек. ЛП состоит из трёх основных частей: тела ЛП, левого ушка сердца и преддверия митрального клапана [1, 2]. В современной кардиоморфологии у тела ЛП выделяют передневерхнюю, нижнюю, латеральную, медиальную стенки, а также заднюю стенку, или «крышу» ЛП. Если рассматривать сердце у живого человека, находящегося в ортоградном положении, то передневерхней стенкой будет та, которая обращена в поперечную пазуху перикарда; задняя стенка («крыша»), расположенная между наиболее удалёнными от её центра точками устьев лёгочных вен, обращена к заднему средостению; нижняя стенка — к диафрагме; латеральная стенка — к левому лёгкому; медиальная — к правому предсердию [3]. Место передненижней стенки занимает левое предсердно-желудочковое отверстие.

При изучении стенок ЛП основное внимание уделяют задней, медиальной стенкам и участкам стенок около устьев лёгочных вен. Меньшее количество работ посвящено анатомии других стенок: передневерхней, латеральной и нижней [1, 2]. Есть единичные данные о строении мио-

карда этих стенок ЛП и расположенных в них «слабых местах» (безмышечных и гипомускулярных участках) [1, 2, 4–6]. Насколько нам известно, до настоящего времени не было исследований, направленных на выявление общих закономерностей и специфических особенностей анатомии этих стенок. Детальное морфометрическое исследование локальных особенностей оболочек в каждой из указанных стенок ЛП также не проводили.

Возрастающее в последние годы внимание к анатомии ЛП, прежде всего, связано с развитием интервенционной кардиологии и рентгенэндоваскулярной кардиохирургии. Точные данные о размерах и локализации «слабых мест» стенок тела ЛП позволят свести к минимуму перфорацию этих мест при внутрисердечных манипуляциях. Знание локальных особенностей строения оболочек важно учитывать при установке окклюдера в устье левого ушка сердца для профилактики тромбоэмболий из него, а также выборе способа операции «лабиринт» при хирургическом лечении фибрилляции предсердий.

Цель

Цель исследования — выявить общие черты и локальные особенности анатомии передне-

верхней, латеральной и нижней стенок тела ЛП сердца взрослого человека. Дизайн исследования — поперечное наблюдательное, простое слепое (маскированное). Исследование выполняли на кафедре анатомии человека Уральского государственного медицинского университета (УГМУ) и в лабораториях Уральского федерального университета.

Материал и методы исследования

Материалом для исследования послужили анатомические препараты сердца мужчин и женщин 35–89 лет ($n=60$), полученные из патоморфологических отделений клинических баз УГМУ в соответствии с соглашениями о сотрудничестве. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом УГМУ (протокол №3 от 20 ноября 2020 г.).

Критерии включения в выборочную совокупность:

- 1) смерть от причин, не связанных с болезнями сердца;
- 2) внешне обычно сформированное леворасположенное сердце;
- 3) масса сердца 200–400 г.

Критерии исключения:

- 1) при аутопсии желудочков: макроскопические признаки осложнений ишемической болезни сердца, пороков сердца, поражений клапанов сердца, кардиомиопатий, перенесённых операций на сердце;

- 2) инсульт, при котором вскрывали ЛП и/или левое ушко сердца в поисках источника тромбоэмболии;

- 3) технические погрешности: повреждение, деформация стенки ЛП.

Отбор макропрепаратов производил патолог, который руководствовался этими критериями, но в исследовании не участвовал.

После того как макропрепараты были отмыты от сгустков крови и обсушены на воздухе, их взвешивали с точностью до 1 г, штангенциркулем ШЦ-2-250-0,05 измеряли ширину сердца между его лёгочными поверхностями тотчас ниже венечной борозды и параллельно ей и длину желудочкового комплекса от верхушки сердца до крайней правой точки восходящей части аорты. Затем желудочки отсекали тотчас ниже предсердно-желудочковых отверстий, иссекали «крышу» ЛП, расправляли боковые стенки ЛП и препараты погружали в 10% формалин так, чтобы полость ЛП была максимально наполнена фиксатором.

После фиксации материал делили на две группы, по 30 макропрепаратов в каждой. Из препаратов первой группы готовили анато-

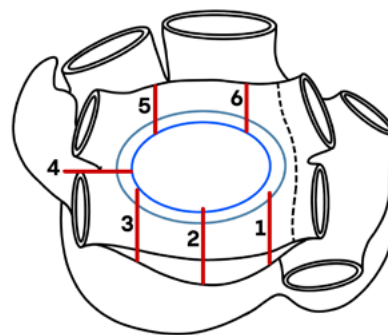


Рис. 1. Места вырезки кусочков для изготовления анатомических срезов стенок левого предсердия (схема, вид со стороны «крыши» левого предсердия). Границы иссечённой «крыши» показаны большим эллипсом, левое предсердно-желудочковое отверстие — малым эллипсом; 1, 2, 3 — соответственно медиальный, средний и латеральный участки нижней стенки; 4 — латеральная стенка; 5, 6 — латеральный и медиальный участки передневерхней стенки

мические срезы. Для этого из шести участков каждого макропрепарата ножом иссекали фрагменты стенок ЛП толщиной 4–5 мм, срезы делали перпендикулярно левому фиброзному кольцу и плоскости стенки ЛП. Каждый срез в расправленном виде помещали для дальнейшей фиксации и хранения в соответствующую ему по размеру ячейку пластикового органайзера, что предотвращало деформацию среза.

Для исследования срезов использовали стереоскопический микроскоп Olympus SZX2-ZB10 с zoom-системой от $\times 0,63$ до $\times 6,3$, окулярами $\times 10$ и объективом DFPL 0,75X-4 (Япония). Препараты рассматривали при общем увеличении от $\times 4,725$ до $\times 15,0$. Для фотографирования и морфометрии использовали тринокуляр SZX2-TR30, цифровую камеру TouPCam U31SPM18000KPA 5.1MP, персональный компьютер и программное обеспечение TouPView 3.5.

На трёх уровнях (в верхней, средней и нижней третях) в шести локализациях (рис. 1) измеряли общую толщину стенки, то есть кратчайшее расстояние от наружной поверхности эпикарда до внутренней поверхности эндокарда, а также толщину эндокарда, миокарда и эпикарда с подэпикардальной жировой клетчаткой. Всего на трёх уровнях 180 анатомических срезов, сделанных из 30 макропрепаратов, выполнено 2160 измерений.

Из препаратов второй группы готовили гистологические срезы. Для этого вырезали кусочки из передневерхней стенки ($n=21$), латеральной ($n=20$) и нижней ($n=20$) стенок ЛП. Материал фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина, проводили по батаре

изопропанолов, заключали в «Histomix extra» (БиоВитрум, Россия). Срезы толщиной 3 мкм делали на микротоме Thermo Scientific Microm HM 450 (США), окрашивали пикрофуксином по Ван-Гизону (Лабико, Россия).

Для микроанатомического исследования использовали микроскоп Olympus CX31RTSF (Япония) и цифровую камеру ToupCam U31SPM 18000KPA. В программе ADF Image Capture 4.7 (2019) с помощью опции «сшивка» получали цифровые изображения интересующих полей зрения гистологического препарата (цифровые гистотопограммы, $n=61$).

Тезаурус статьи.

– Волокна (миокарда) — структурные единицы миокарда, визуально определяемые невооружённым глазом или на макромикрoанатомическом уровне (при увеличении операционного микроскопа), представляющие собой цепочки сонаправленных кардиомиоцитов, контактирующих друг с другом по типу «конец в конец», расположенных по одной длинной оси и отделённых от таких же цепочек кардиомиоцитов соединительной тканью.

– «Крыша» ЛП — задняя стенка ЛП, ограниченная условными линиями, проходящими через наиболее удалённые друг от друга участки устьев лёгочных вен в местах впадения этих вен в ЛП. У живого человека в сердце *in situ* «крыша» обращена не вверх, а назад, поэтому термин взят в кавычки.

– Толщиной эпикарда называли совокупную толщину собственно эпикарда (висцерального листка перикарда) и подэпикардиальных тканей, то есть расстояние от наружной поверхности висцерального листка перикарда до наиболее поверхностных волокон миокарда.

Для статистической обработки результатов и построения диаграмм использовали программу Statistica 13.3 (StatSoft Inc, США). Соответствие распределения значений нормальному закону оценивали с помощью W-критерия Шапиро–Уилка. Если хотя бы в одной из сравниваемых групп распределение отличалось от нормального, результаты представляли в виде медианы (Me), 25-го и 75-го перцентилей (p_{25} , p_{75}), крайних значений. Вычисляли коэффициент вариации CV. Для множественных сравнений использовали H-критерий Краскела–Уоллиса. Если критерий выявлял статистически значимые различия, переходили к процедуре попарного сравнения, для чего использовали U-критерий Манна–Уитни, в противном случае принимали нулевую гипотезу о равенстве средних. Для корреляционного анализа использовали критерий Спирмена (R_s). При выявлении

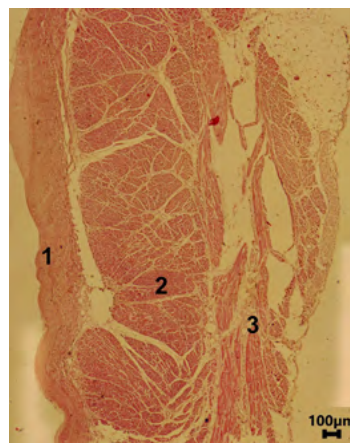


Рис. 2. Гистотопография передневерхней стенки левого предсердия, сагитальный срез; 1 — эндокард; 2 — передний межпредсердный пучок (Бахмана); 3 — поверхностные группы мышечных волокон, перемежающиеся подэпикардиальной соединительной тканью. Препарат №118. Пикрофуксин по Ван-Гизону

сильной ($R_s > 0,7$) корреляционной связи выполняли простой линейный регрессионный анализ и находили коэффициент детерминации r^2 , что позволяло оценить влияние значений толщины той или иной оболочки на толщину всей стенки. Уровень значимости α принимали равным 0,05, при множественных сравнениях корректировали поправкой Бонферрони.

Результаты

Гистотопография стенок. Стенки тела ЛП различались по выраженности в них миокарда и подэпикардиальной жировой ткани. Подэпикардиальная жировая ткань была максимально развита в нижних отделах нижней стенки, особенно в её медиальной части. В наименьшей степени эта ткань была развита в верхних третях передневерхней и латеральной стенок ЛП. Миокард тела ЛП был организован наиболее сложно в передневерхней стенке (рис. 2). В верхней и средней третях её медиальной части в 93% случаев выявлено компактное скопление поперечных волокон миокарда — пучок Бахмана. В латеральной части поперечные волокна приобретали косую ориентацию.

Глубже массива поперечных волокон находились волокна продольного направления (рис. 3).

В нижней трети этой стенки именно подэндокардиальные продольные волокна составляли основную массу миокарда, тогда как группа поперечных волокон была истончена или вовсе отсутствовала (рис. 4).

В латеральной стенке тела ЛП анатомический паттерн миокарда был наиболее изменчив. В верхней и средней третях этой стенки

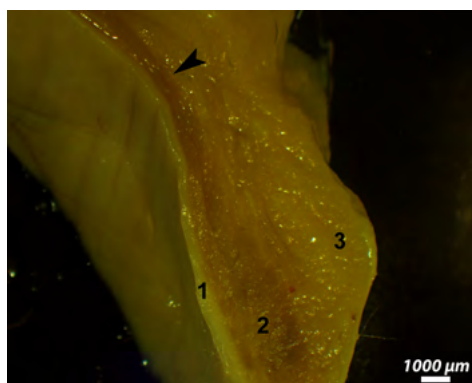


Рис. 3. Строение передневерхней стенки левого предсердия, сагиттальный анатомический срез; 1 — эндокард; 2 — миокард (пучок Бахмана); 3 — подэпикардиальная клетчатка. Чёрной стрелкой показаны глубокие продольные волокна миокарда, продолжающиеся на «крышу» левого предсердия. Препарат №133 (сердце мужчины 57 лет). Olympus SZX2-ZB10, об. $\times 0,75$, zoom $\times 0,63$

на одной группе препаратов миокард был очень компактен, его волокна были направлены косо-продольно и представляли собой единый мышечный массив, который нельзя было разделить на пучки или слои. На других препаратах волокна миокарда формировали редкие разрозненные пучки, которые шли в разных направлениях.

Миокард нижней стенки был устроен наиболее просто. На всём протяжении вдоль фиброзного кольца здесь был выявлен компактный массив поперечных волокон, который в нижней трети занимал всю толщу стенки от эпикарда до эндокарда. В верхней и средней третях нижней стенки выявлены волокна косо-направления, которые в медиальной части стенки переплетались с нижерасположенными поперечными волокнами. Важно отметить, что описанные скопления волокон миокарда не имели соединительнотканых футляров и не были разделены непрерывными прослойками жировой или рыхлой соединительной ткани, а различались лишь по ориентации волокон.

Морфометрическая характеристика стенок. При сравнении толщины стенок тела ЛП между собой были выявлены различия ($N=9$, $p=0,005$). На основании оценки значимости различий этого параметра с учётом поправки на множественные сравнения выявлено два типа стенок: тонкие и толстые. Тонкими стенками, как правило, были передневерхняя в её медиальном участке ($Me=5130$ мкм) и латеральная ($Me=5243$ мкм, $p=0,45$). Самой толстой была нижняя стенка (рис. 5). Наибольшая вариация значений толщины была характерна для передневерхней стенки ($CV=38$), а также для нижней стенки в её средней ($CV=36,6$) и медиальной ($CV=28,5$) частях.



Рис. 4. Истончённый участок передневерхней стенки левого предсердия («незащищённая пластинка» по W. McAlpine), сагиттальный срез на уровне нижней трети медиальной части стенки; 1 — эндокард; 2 — продольные волокна миокарда; 3 — эпикард. Эллипсом показан безмышечный участок. Препарат №113. Пикрофуксин по Ван-Гизону.

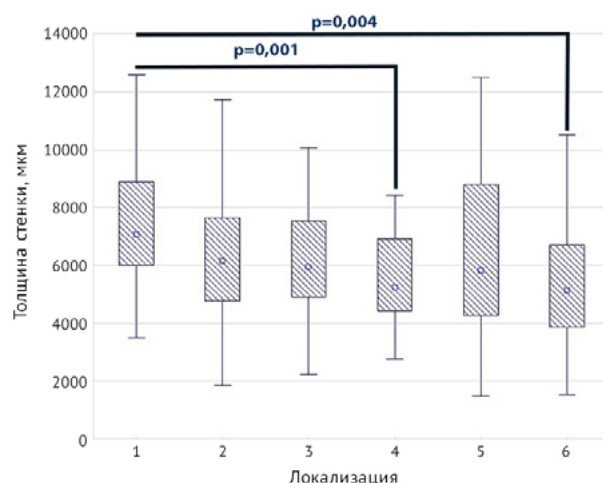


Рис. 5. Толщина стенок левого предсердия в разных локализациях. Локализации обозначены в соответствии с рис. 1. Результаты представлены в виде медиан (точки в «ящиках»), диапазонов $r25-r75$ («ящики») и вариации от минимального до максимального значения («усы»)

При анализе топоспецифических особенностей оболочек ЛП установлено, что толщина эндокарда в разных стенках и локализациях была одинакова ($N=9$; $p=0,119$). Однако выявлены различия толщины эпикарда ($N=18$; $p=0,003$) и миокарда ($N=14$, $p=0,017$) разных стенок в разных локализациях (табл. 1).

Толщина эпикарда медиальной части нижней стенки была больше, чем аналогичный параметр латеральной стенки ($U=255$; $p=0,004$) и передневерхней стенки в её околоушковом (латеральном) ($U=283$; $p=0,02$) и медиальном ($U=195$; $p=0,0002$) отделах. В свою очередь, эпикард передневерхней стенки был толще, чем та же оболочка в центральном ($U=296$ $p=0,023$) и латеральном ($U=279$; $p=0,012$) отде-

Таблица 1. Значения толщины оболочек в разных участках стенок левого предсердия, мкм

Стенка, её участок	Статистический параметр	Эпикард	Миокард	Эндокард
Нижняя стенка, медиальный участок (локализация 1)	Медиана	4750	2250	357
	25-й и 75-й процентиля	2578; 5739	1841; 2984	266; 434
	Крайние значения	1679; 10129	1439; 5082	181; 626
Нижняя стенка, середина (локализация 2)	Медиана	3541	1947	358
	25-й и 75-й процентиля	1879; 5071	1416; 2610	302; 419
	Крайние значения	406; 8480	992; 4688	162; 542
Нижняя стенка, латеральный участок (локализация 3)	Медиана	3793	1918	335
	25-й и 75-й процентиля	2483; 4875	1565; 2644	281; 500
	Крайние значения	738; 7592	637; 4834	204; 610
Латеральная стенка (локализация 4)	Медиана	2651	2213	348
	25-й и 75-й процентиля	1642; 4656	1772; 2665	281; 413
	Крайние значения	663; 6318	943; 3378	201; 561
Передневерхняя стенка, латеральный участок (локализация 5)	Медиана	2535	2714	426
	25-й и 75-й процентиля	1248; 4921	1496; 3302	334; 517
	Крайние значения	386; 15962	948; 6245	212; 621
Передневерхняя стенка, медиальный участок (локализация 6)	Медиана	2167	2676	349
	25-й и 75-й процентиля	933; 3740	2199; 3186	290; 449
	Крайние значения	240; 7000	868; 5425	159; 553

Таблица 2. Значения толщины оболочек левого предсердия на разных уровнях, мкм

Уровень измерения	Статистический параметр	Эпикард	Миокард	Эндокард	Вся стенка
Верхняя треть	Медиана	1153 [#]	1808 ^{**&}	223 [@]	3263
	25-й и 75-й процентиля	841; 1353	1397; 2385	272; 379	2759; 3892
	Крайние значения	312; 1963	932; 2916	223; 559	1387; 4646
Средняя треть	Медиана	2611 ^{*#}	2954 ^{**s}	399 [@]	5832
	25-й и 75-й процентиля	2086; 3441	2389; 3498	340; 450	5012; 7063
	Крайние значения	1242; 5437	1497; 5385	261; 520	2652; 8800
Нижняя треть	Медиана	6640 [*]	2087 ^{s&}	363	8864
	25-й и 75-й процентиля	5401; 7864	1849; 3031	323; 400	7651; 9766
	Крайние значения	2808; 10405	1142; 4179	199; 539	5099; 12806

Примечание: *U=34, p=0,000; [#]U=35, p=0,000; **U=96, p=0,000; ^sU=240, p=0,002; &U=283, p=0,014; @U=245, p=0,0025, где U — критерий Манна-Уитни.

лах нижней стенки. Миокард передневерхней стенки был толще по сравнению с миокардом как латеральной (U=278; p=0,011), так и нижней стенки в её центральном (U=244; p=0,002) и медиальном (U=284; p=0,014) отделах. Также миокард был толще в медиальной части нижней стенки по сравнению с её центральной частью (U=300; p=0,03).

Медианы толщины всех оболочек значимо различались между собой не только при сравнении разных стенок, но и на разных уровнях в пределах одной и той же стенки (N=69, p=0,000). При сравнении толщины одной и той

же оболочки в верхней, средней и нижней третях стенки установлено, что значения толщины эпикарда (N=73, p=0,000), миокарда (N=29, p=0,000) и эндокарда (N=9, p=0,01) на разных уровнях различались (табл. 2).

Корреляционный и регрессионный анализ. Медианное значение массы сердца составило 356 г (244–400 г), длина и ширина желудочкового комплекса — 101 мм (76–124 мм) и 98 мм (80–123 мм) соответственно. При анализе зависимостей толщины оболочек тела ЛП от размеров сердца существенные корреляционные взаимосвязи выявлены только между

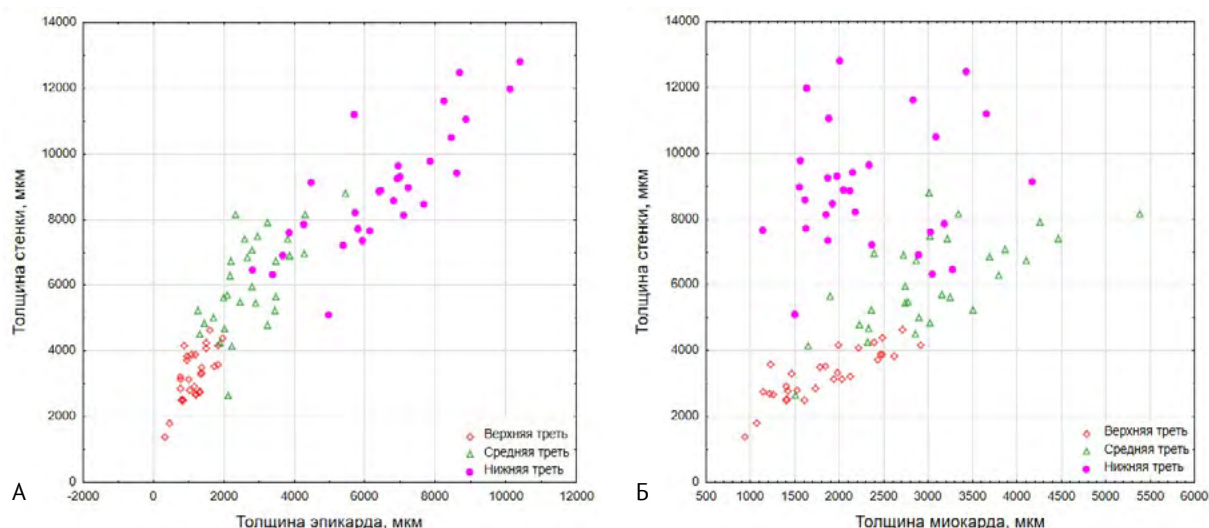


Рис. 6. Зависимость значений толщины стенок левого предсердия от толщины эпикарда (А) и миокарда (Б) в верхней, средней и нижней третях стенок

толщиной миокарда, длиной ($R_s=0,38$) и шириной ($R_s=0,44$) желудочкового комплекса. Для значений толщины стенки ЛП и миокарда также были характерны связи средней силы. Наибольшие R_s обнаружены в корреляционных парах значений толщины передневерхней и латеральной стенок ($R_s=0,61$ и $R_s=0,57$; $p=0,41$), наименьшие были характерны для нижней стенки ($R_s=0,31$). Существенно более сильная корреляционная связь существовала между значениями толщины стенки и эпикарда в одной и той же локализации. Наибольшая зависимость между этими параметрами была характерна для центральной части нижней стенки ($R_s=0,92$), наименьшая ($R_s=0,78$) — для латерального (околоушкового) отдела передневерхней стенки (различия значимы при $p=0,025$).

Для верхней трети стенок была характерна явная зависимость толщины стенок от толщины миокарда ($R_s=0,78$), а в нижней трети стенок основной вклад в толщину вносил эпикард с подэпикардиальной клетчаткой ($R_s=0,91$; рис. 6).

Зависимость между усреднёнными значениями толщины разных участков стенок ЛП (Т) и эпикарда (Х) описывалась уравнением линейной регрессии, где $T=2756,8+0,9607X$; $r^2=0,84$. Достоверные корреляционные связи между значениями толщины стенок в верхней, средней и нижней третях не обнаружены ($R_s \leq 0,39$). Корреляционные связи между значениями толщины каждой оболочки в каждой трети стенок также не выявлены ($R_s \leq 0,3$). Установлено, что утолщение эпикарда в верхней трети стенки влекло за собой увеличение толщины эндокарда на этом уровне ($R_s=0,42$), при этом связи значений толщины этих оболочек и миокарда

были слабыми. Примечательно, что взаимозависимость толщины эпикарда и эндокарда была специфичной только для верхней трети стенок.

Обсуждение

Принципиально новым в настоящем исследовании по сравнению с другими работами о ЛП, известными нам из литературы, считаем следующее. Впервые на аутопсийном материале комплексно изучены разные участки передневерхней, латеральной и нижней стенок тела ЛП на разных уровнях (верхнем, среднем, нижнем). На анатомических срезах в каждом участке измерены все три оболочки стенки ЛП, на гистотопограммах изучена их микроанатомия. Дополнение анатомических срезов данными, полученными при изучении гистотопограмм, позволило понять, какими тканевыми компонентами и микроанатомическими структурами обусловлены различия значений толщины стенок. Результаты морфометрии сопоставлены между собой, подвергнуты корреляционному и регрессионному анализу.

Сравнив стенки тела ЛП и их различные участки между собой, мы пришли к заключению, что одни стенки можно было условно называть тонкими, другие толстыми. Различия толщины стенок ЛП и их разных участков были показаны в других работах [1, 7–10], но данные, представленные в этих статьях, касались лишь латеральной и задней стенок ЛП, а также зон вокруг устьев лёгочных вен.

Если сопоставить наши данные с результатами морфометрии «крыши» ЛП, которые известны из литературы, очевидно, что «крыша» — самая тонкая стенка тела ЛП. Результаты этого

исследования, будучи проанализированы совместно с данными большинства авторов [7, 11–13], позволяют утверждать, что самый тонкий участок «крыши» расположен по линии, которая проходит по передним точкам устьев верхних лёгочных вен.

Латеральная и особенно передневерхняя стенки отличались выраженной вариабельностью толщины и по сравнению с «крышей» были более толстыми. Однако в определённых местах передневерхняя и латеральная стенки, особенно околоушковая зона, имели безмышечные и гипомускулярные участки [6, 9]. Самой толстой была нижняя стенка, особенно в нижних отделах.

В нашей работе показан большой (до 84%) вклад подэпикардиальной жировой клетчатки в усреднённое значение толщины стенок ЛП. И в передневерхней, и в нижней стенках доля клетчатки увеличивалась сверху вниз. Оценить процентный вклад клетчатки в стенку ЛП можно, если сравнить результаты работ [7] и [11], выполненных на трупном материале. Р. Platonov и соавт. (2008) установили, что максимальная толщина стенки была равна $2,9 \pm 1,3$ мм, тогда как по данным D. Sanchez-Quintana и соавт. (2005) толщина той же стенки составляла $6,5 \pm 2,5$ мм и варьировала от 2,8 до 12,0 мм. Различия обусловлены тем, что D. Sanchez-Quintana и соавт. (2005) при измерениях учитывали подэпикардиальный жир, а Р. Platonov и соавт. (2008) его из измерений исключали [7, 11].

Подэпикардиальная жировая ткань за счёт выделения адипокинов оказывает местное паракринное, в частности профибротическое действие, способствует ремоделированию миокарда предсердий. Увеличение толщины этой ткани сопровождается изменением секреции адипокинов и влечёт за собой повышенный сердечно-сосудистый риск. С другой стороны, подэпикардиальный жир обеспечивает механическую и термическую защиту кардиомиоцитов, а секретируемый им адипонектин опосредует противовоспалительные эффекты [14]. По этой причине считаем, что при морфометрии структур сердца жировую ткань следует принимать во внимание.

По данным литературы, толщина передневерхней стенки варьировала от 1,5 до 4,8 мм [1] и в самом толстом участке составляла $2,6 \pm 0,85$ мм [12]. Это согласуется с теми значениями, которые были получены в нашем исследовании при измерениях латерального и медиального участков передневерхней стенки и находятся в интервале от 25-го до 75-го перцентилей (см. табл. 1).

В передневерхней стенке обнаружен очень тонкий участок, который, как показало изучение гистотопограмм, мог быть полностью лишён миокарда. Типичной локализацией этой «незащищённой зоны» [1, 4] была нижняя треть, реже средняя треть медиальной половины передневерхней стенки (см. рис. 4). Клиническое значение этого участка состоит в том, что он, как и тонкие места левой половины «крыши» ЛП, представляет собой одно из мест возможной перфорации при выполнении операции «Лабиринт» (Cox-Maze).

Нередко значения толщины передневерхней стенки превышали аналогичные значения, известные из литературы [1, 9, 12]. Это обусловлено двумя анатомическими причинами.

Во-первых, существенный вклад в строение передневерхней стенки вносила подэпикардиальная клетчатка, более всего она была развита в нижней трети латеральной части этой стенки, толщина всего комплекса тканей от эпикарда до эндокарда могла достигать здесь 15,9 мм (см. табл. 1). В медиальном направлении толщина клетчатки несколько уменьшалась. Подэпикардиальная клетчатка играет защитную роль для передневерхней стенки ЛП и проходящей рядом левой венечной артерии, выступая в качестве амортизатора при систолической пульсации корней аорты и лёгочного ствола.

Вторая причина — анатомические компоненты миокарда. На анатомических срезах и гистотопограммах передневерхней стенки ЛП мы обнаружили компактную группу поперечных волокон миокарда — передний межпредсердный пучок (пучок Бахмана). Наши данные о высокой частоте наличия этого пучка полностью согласуются с данными литературы о том, что пучок Бахмана — типичная структура предсердного комплекса [4].

Некоторый вклад в утолщение передневерхней стенки вносили косые волокна миокарда, которые перемежались с волокнами пучка Бахмана, но чаще располагались в верхней трети стенки поверх него. Эти волокна как самостоятельный анатомический компартмент миокарда впервые были описаны J. Perez более 100 лет назад как «септопульмональный пучок» [1, 4]. В латеральном направлении этот пучок расширялся, уплощался, приобретал веерообразный вид, поэтому он вносил наибольший вклад в толщину верхней трети медиальной, но не латеральной части передневерхней стенки тела ЛП.

Независимо от того, была стенка толстой или тонкой, значения толщины одной и той же стенки в верхней, средней и нижней третях различались. Все изученные нами стенки утол-

щались сверху вниз. Большие значения толщины стенок в нижней трети были обусловлены, прежде всего, эпикардом с подэпикардиальной клетчаткой и, в меньшей степени, миокардом. Наибольший вклад подэпикардиальная клетчатка вносила в общий показатель толщины медиального участка нижней стенки в его нижней трети, в области венечной борозды, что согласуется с данными А. Becker (2004). Кроме большого количества жировой клетчатки, утолщение стенки в этой области было связано с тем, что по мере приближения к митральному кольцу миокард нижней стенки всё более отдалялся от эпикарда, а в клетчатке между ними находился конечный, наиболее широкий участок венечного синуса [15]. Участок стенки ЛП, смежный с локализацией венечного синуса, был самым толстым. Это было обусловлено как миокардом, так и обилием «фиброзно-жировой» ткани [11].

На значения толщины нижних отделов нижней стенки влияла и форма, которую имел венечный синус на поперечном сечении. В сердцах, у которых венечный синус был уплощён в верхненижнем (базоапикальном) направлении, стенка была более толстой, чем там, где синус был уплощён в переднезаднем направлении. Вариации положения огибающей артерии рядом с венечным синусом также могли влиять на толщину всего комплекса от эпикарда до эндокарда [16].

Латеральная стенка ЛП имеет сложную анатомию, что считают одной из причин возникновения здесь триггеров предсердных аритмий [17]. Участок этой стенки от латерального края устья левого ушка сердца и левого предсердно-желудочкового отверстия до устьев левых лёгочных вен включает такие структуры, как левый латеральный предсердный гребень и связка Маршалла (облитерированная косая вена левого предсердия), окружённая большим количеством подэпикардиальных нервов и нервных ганглиев.

Наши данные согласуются с данными литературы в том, что толщина латеральной стенки ЛП весьма вариабельна и неодинакова в разных участках этой стенки [9, 18, 19]. Siew Yen Ho и соавт. (2012) на препаратах, фиксированных в формалине, установили, что толщина латеральной стенки составляла $3,9 \pm 0,7$ мм и варьировала от 2,5 до 4,9 мм. Это превышало результаты прижизненных измерений, выполненных лучевыми методами [8, 10, 20], но было меньше, чем наши данные, полученные при морфометрии той же стенки.

В состав этой стенки входит латеральный митральный перешеек — участок от ми-

трального кольца до устья левой нижней лёгочной вены. Толщина этого перешейка варьировала в разных местах: в верхней трети $1,9 \pm 1$ мм, в середине $3,0 \pm 1,5$ мм, в нижней трети $2,7 \pm 1,3$ мм [5, 21]. Середина перешейка (его самый толстый участок) соответствовала локализации левого латерального предсердного гребня. M. Boussoussou и соавт. (2022) измеряли толщину этого гребня на 5 мм медиальнее устья левой верхней лёгочной вены и нашли, что эта зона ЛП была толще ($p < 0,01$) всех других мест «крыши» и митрального перешейка [10]. Это заключение о толщине гребня согласуется с выводами [8] и [20], полученными при компьютерной томографии, и с данными [9], полученными на трупном материале.

В работе K. Piatek-Koziej и соавт. (2020) установлено, что совокупная толщина всех оболочек латеральной стенки в зоне левого латерального предсердного гребня была больше на уровне устья левой нижней, чем левой верхней лёгочной вены ($6,2 \pm 3,5$ против $4,3 \pm 1,8$ мм, $p < 0,001$). Примечательно, что для толщины миокарда был отмечен противоположный тренд: миокард был толще на уровне устья левой верхней лёгочной вены и по направлению вниз истончался ($3,1 \pm 1,4$ против $1,9 \pm 0,9$ мм, $p < 0,001$) [19].

Известно, что для левого участка околоушной зоны типичны истончённые (безмышечные и гипомускулярные) участки [6], тогда как участок латеральной стенки ЛП между устьями левого ушка сердца и левой верхней лёгочной веной наиболее компактен [10]. Как показало проведённое исследование, в одних случаях миокард латеральной стенки был компактен на всём её протяжении, в других случаях его волокна формировали редкие разрозненные пучки, перемежавшиеся соединительной тканью. Такую анатомию миокарда, по-видимому, можно рассматривать как два варианта структурной организации левого латерального предсердного гребня: компактный и дисперсный.

Ограничения исследования

В соответствии с требованиями доказательной морфологии на всех этапах выполнения работы мы стремились следовать алгоритму планирования и проведения анатомических исследований AQUA (от англ. anatomical quality assurance [22]). Однако считаем необходимым отметить ряд моментов, которые могли повлиять на результаты исследования и их интерпретацию.

1. При распределении макропрепаратов по подгруппам для изготовления анатомических либо гистологических срезов мы не использовали рандомизацию.

2. Толщину стенок измеряли на влажных анатомических срезах, фиксированных в 10% формалине. На макропрепаратах усадка миокарда при формалиновой фиксации не превышает пределы статистической значимости различий, но есть данные, что такая фиксация может вызвать набухание препарата [12].

3. Мы не сопоставляли полученные данные о строении стенок левого предсердия с соматотипом, ростом и массой тела умерших, препараты сердца которых изучали. Возможно, результаты были бы другими, если бы мы учитывали соматотип, площадь поверхности тела и/или индекс массы тела.

Выводы

1. Общим для изученных стенок было их утолщение к венечной борозде за счёт подэпикардальной жировой ткани.

2. Особенности состояли в том, что стенки различались по толщине и имели уникальный паттерн анатомии миокарда.

Участие авторов. А.А.Г. — разработка концепции и дизайна исследования, информационный поиск, изготовление препаратов, выполнение измерений, анализ данных; А.А.Я. — руководство работой, разработка концепции и дизайна исследования, информационный поиск, написание текста статьи.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.

ЛИТЕРАТУРА

- Ho SY, Cabrera JA, Sanchez-Quintana D. Left atrial anatomy revisited. *Circ Arrhythmia Electrophysiol.* 2012;5(1):220–228. DOI: 10.1161/CIRCEP.111.962720.
- Whiteman S, Saker E, Courant V, Salandy S, Gielecki J, Zurada A, Loukas M. An anatomical review of the left atrium. *Transl Res Anat.* 2019;17:100052. DOI: 10.1016/j.tria.2019.100052.
- Mori S, Tretter JT, Spicer DE, Bolender DL, Anderson RH. What is the real cardiac anatomy? *Clin Anat.* 2019;32(3):288–309. DOI: 10.1002/ca.23340.
- Ho SY, Sánchez-Quintana D. The importance of atrial structure and fibers. *Clin Anat.* 2009;22(1):52–63. DOI: 10.1002/ca.20634.
- Dudkiewicz D, Słodowska K, Jasińska KA, Dobrzynski H, Hołda MK. The clinical anatomy of the left atrial structures used as landmarks in ablation of arrhythmogenic substrates and cardiac invasive procedures. *Transl Res Anat.* 2021;23:100102. DOI: 10.1016/j.tria.2020.100102.
- Гапонов А.А., Якимов А.А. Анатомия гипомускулярных и безмышечных участков в зоне устья левого ушка сердца. *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.* 2021;15(4):89–93. [Gaponov AA, Yakimov AA. Anatomy of hypomuscular and non-muscular sites in the area of the left ear of the heart. *Vestnik novykh*

meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie. 2021;15(4):89–93. (In Russ.)] DOI: 10.24412/2075-4094-2021-4-3-3.

7. Platonov PG, Ivanov V, Ho SY, Mitrofanova L. Left atrial posterior wall thickness in patients with and without atrial fibrillation: Data from 298 consecutive autopsies. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2008;19(7):689–692. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2008.01102.x.

8. Beinart R, Abbasa S, Blum A, Ferencik M, Heist K, Ruskin J, Mansour M. Left atrial wall thickness variability measured by CT scans in patients undergoing pulmonary vein isolation. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2011;22(11):1232–1236. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2011.02100.x.

9. Słodowska K, Hołda J, Dudkiewicz D, Malinowska K, Bolechała F, Kopacz P, Koziej M, Hołda MK. Thickness of the left atrial wall surrounding the left atrial appendage orifice. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2021;32(8):2262–2268. DOI: 10.1111/jce.15157.

10. Boussousou M, Szilveszter B, Vattay B, Kolossváry M, Vecsey-Nagy M, Salló Z, Orbán G, Péter P, Katalin P, Vivien NK, István O, Maurovich-Horvat P, Merkely B, Gellér L, Szegedi N. The effect of left atrial wall thickness and pulmonary vein sizes on the acute procedural success of atrial fibrillation ablation. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2022. DOI: 10.1007/s10554-022-02533-y.

11. Sánchez-Quintana D, Cabrera JA, Climent V, Farré J, De Mendonça MC, Ho SY. Anatomic relations between the esophagus and left atrium and relevance for ablation of atrial fibrillation. *Circulation.* 2005;112(10):1400–1405. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.551291.

12. Hall B, Jeevanantham V, Simon R, Filippone J, Vorobiof G, Daubert J. Variation in left atrial transmural wall thickness at sites commonly targeted for ablation of atrial fibrillation. *J Interv Card Electrophysiol.* 2006;17(2):127–132. DOI: 10.1007/s10840-006-9052-2.

13. Varela M, Morgan R, Theron A, Dillon-Murphy D, Chubb H, Whitaker J, Henningsson M, Aljabar P, Schaeffter T, Kolbitsch C, Aslanidi OV. Novel MRI technique enables non-invasive measurement of atrial wall thickness. *IEEE Trans Med Imaging.* 2017;36(8):1607–1614. DOI: 10.1109/TMI.2017.2671839.

14. Учасова Е.Г., Груздева О.В., Дылева Ю.А., Акбашева О.Е. Эпикардальная жировая ткань: патофизиология и роль в развитии сердечно-сосудистых заболеваний. *Бюллетень сибирской медицины.* 2018;17(4):254–263. [Uchasova EG, Gruzdeva OV, Dyleva YuA, Akbasheva OE. Epicardial adipose tissue: pathophysiology and role in the development of cardiovascular diseases. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2018;17(4):254–263. (In Russ.)] DOI: 10.20538/1682-0363-2018-4-254–263.

15. Becker AE. Left atrial isthmus: Anatomic aspects relevant for linear catheter ablation procedures in humans. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2004;15(7):809–812. DOI: 10.1046/j.1540-8167.2004.03651.x.

16. Dmitrieva EG, Gaponov AA, Khatsko SL, Iakimov AA. The coronary sinus and adjacent structures in human adult hearts: morphometrical cadaveric anatomy. *Eur J Anat.* 2022;26(1):3–17. DOI: 10.52083/BNUM8219.

17. Miyazaki S, Hasegawa K, Yamao K, Mukai M, Aoyama D, Sekihara T, Nodera M, Eguchi T, Iesaka Y, Tada H. High-resolution mapping and ablation of atrial tachycardias involving the lateral left atrium. *J Am Heart Assoc.* 2021;10(20):1–12. DOI: 10.1161/jaha.121.022384.

18. Cabrera JA, Ho SY, Climent V, Sánchez-Quintana D. The architecture of the left lateral atrial wall: A particular anatomic region with implications for ablation of atrial fibrillation. *Eur Heart J.* 2008;29(3):356–362. DOI: 10.1093/eurheartj/ehm606.

19. Piątek-Koziej K, Hołda J, Tyrak K, Bolechała F, Strona M, Koziej M, Lis M, Jasińska KA, Hołda MK. Anatomy of the left atrial ridge (coumadin ridge) and possible clinical implications for cardiovascular imaging and invasive procedures. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2020;31(1):220–226. DOI: 10.1111/jce.14307.
20. Nakamura T, Kiuchi K, Fukuzawa K, Takami M, Watanabe Y, Izawa Y, Takemoto M, Sakai J, Yatomi A, Sonoda Y, Takahara H, Nakasone K, Yamamoto K, Suzuki Y, Kono A, Tani K, Ashihara T, Negi N, Hirata KI. The impact of the atrial wall thickness in normal/mild late-gadolinium enhancement areas on atrial fibrillation rotors in persistent atrial fibrillation patients. *J Arrhythmia.* 2022;00:1–11. DOI: 10.1002/joa3.12676.
21. Hołda MK, Hołda J, Strona M, Koziej M, Klimek-Piotrowska W. Blood vessels and myocardial thickness within the left atrial appendage isthmus line. *Clin Anat.* 2018; 31(7):1024–1030. DOI: 10.1002/ca.23242.
22. Дыдыкин С.С., Заднипряный И.В., Третьякова О.С. AQUA — anatomical quality assurance (обеспечение качества в анатомических исследованиях): обзор опыта иностранных коллег. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал).* 2017;1(1):14–19. [Dydykin SS, Zadnipyryanyi IV, Tretyakova OS. AQUA (anatomical quality assurance): A review of the experience of foreign colleagues. *Russian journal of operative surgery and clinical anatomy.* 2017;1(1): 14–19. (In Russ.)] DOI: 10.17116/operhirurg20171114-19.

Сведения об авторах

Гапонов Антон Александрович, аспирант, асс., каф. анатомии человека, ФГБОУ ВО Уральский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия; gagaponov@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6681-7537>

Якимов Андрей Аркадьевич, канд. мед. наук, доц., каф. анатомии человека, ФГБОУ ВО Уральский государственный медицинский университет Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия; доц., каф. медицинской биохимии и биофизики, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия; ayakimov07@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8267-2895>

Author details

Anton A. Gaponov, Postgrad. Stud., Assistant, Depart. of Human Anatomy, Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia; gagaponov@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6681-7537>

Andrei A. Iakimov, M.D., Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Depart. of Human Anatomy, Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia; Assoc. Prof., Depart. of Medical Biochemistry and Biophysics, Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia; ayakimov07@mail.ru; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8267-2895>