

ВОЛГОГРАДСКИЙ НАУЧНО-МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ. 2023. Т. 20, № 4. С. 17–21.
 НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
 УДК 611.127

Андрей Аркадьевич Якимов^{1✉}, **Антон Александрович Гапонов**²

^{1,2} Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

¹ ✉ ayakimov07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8267-2895>

² gagaponov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6681-7537>

АНАТОМИЯ ЛЕВОГО ПРЕДСЕРДИЯ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА: АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ АНАТОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. Цель работы – выявить и проанализировать взаимосвязи между параметрами строения и локальной топографии тела левого предсердия (ЛП), левого ушка сердца (ЛУС) и основными компонентами миокарда ЛП. Изучили 68 препаратов сердца людей 35–89 лет, умерших от причин, не связанных с болезнями сердца. ЛП заполняли силиконом. После полимеризации силикона штангенциркулем измеряли размеры тела ЛП и ЛУС, параметры их топографии, препарировали миокард, определяли длину и ширину анатомических компонентов миокарда. Использовали U-критерий Манна – Уитни, кластерный и корреляционный анализ. В статье представлены значения длины, ширины и толщины тела ЛП и ЛУС. Корреляционные связи между значениями размеров тела ЛП и морфометрическими характеристиками ЛУС (размерами, количеством долей, параметрами локальной топографии) слабые или отсутствуют. Выявлены корреляционные связи средней силы между объемом ЛП и размерами ЛУС, между значениями некоторых параметров локальной топографии ЛП и размерами устья ЛУС. Установлено, что для крупных ЛП с телом в форме параллелепипеда характерны длинные трехдолевые ЛУС. Чем шире тело такого предсердия, тем чаще его ушко имело устье овальной формы, тем шире передний межпредсердный пучок миокарда и тем длиннее левый латеральный гребень.

Ключевые слова: анатомия сердца, левое предсердие, левое ушко сердца, миокард

VOLGOGRAD SCIENTIFIC AND MEDICAL JOURNAL. 2023. VOL. 20, NO. 4. P. 17–21.
 ORIGINAL ARTICLE

Andrei A. Iakimov^{1✉}, **Anton A. Gaponov**²

^{1,2} Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

¹ ✉ ayakimov07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8267-2895>

² gagaponov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6681-7537>

ANATOMY OF THE LEFT ATRIUM IN THE HUMAN HEART: ANALYZIS OF ANATOMICAL INTERRELATIONS

Abstract. Objective – to identify and analyze the interrelations of the structure and local topography of the body of the left atrium (LA), left atrial appendage (LAA), and the main myocardial components of the LA. We studied 68 hearts of adults aged 35–89 years who died from non-cardiac causes. We measured the dimensions and local topography of the LA body and LAA at the specimens filled with polymerized silicone. At the dissected specimens, we determined the length and width of the myocardial components. We used the Mann – Whitney U-test, cluster and correlation analysis. The article presents the values of the length, width and thickness of the LA body and LAA. Correlations between the values of the LA body dimensions and the parameters of the LAA such as size, number of lobes, parameters of local topography were weak or absent. The LA volume and the size of the LAA as well as the values of some parameters of the LA local topography and the size of the orifice of the LAA exhibited moderate correlations. Long three-lobed LAAs were discovered to be common for large atriums with a parallelepiped-shaped body. The wider the body of that atrium, its LAA commonly had an oval-shaped orifice, the wider the anterior interatrial myocardial bundle and the longer the left lateral crest.

Keywords: heart anatomy, left atrium, left atrial appendage, left atrial auricle, myocardium

Левое предсердие (ЛП) является камерой сердца, которая изучена в наименьшей степени [1]. Основными отделами ЛП являются его

тело и левое ушко сердца (ЛУС), эти термины закреплены в последней редакции Международной анатомической терминологии (2019)

[<https://fipat.library.dal.ca/TA2/> (дата обращения 14.06.2023)]. В связи с совершенствованием лучевой и ультразвуковой диагностики патологии ЛП, развитием рентгенэндоваскулярной кардиохирургии анатомические исследования ЛП приобретают особую актуальность [2, 3].

Актуален поиск и анализ взаимосвязей между размерами и параметрами топографии того или иного отдела ЛП и параметрами, которые характеризуют миоархитектонику и гистотопографию ЛП.

Выявление таких взаимосвязей позволит создать «анатомические портреты» ЛП, которые будут включать в себя уникальные, количественно обоснованные сочетания вариантов строения и топографии отделов и структур ЛП. Это явится фундаментом для отыскания закономерностей функциональной анатомии ЛП, а также для создания математических моделей сердца. По совокупности количественных характеристик, заложенных в такую модель, можно будет прогнозировать персонифицированные особенности строения и топографии тех структур, прижизненная визуализация которых возможна лишь при помощи дорогостоящих вы-

сокотехнологичных методов либо вообще невозможна у живого человека.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выявить и проанализировать взаимосвязи между параметрами строения и локальной топографии тела ЛП, ЛУС и основными компонентами миокарда ЛП.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучены 68 препаратов сердец людей 35–89 лет, умерших от причин, не связанных с болезнями сердца. Исключали препараты массой свыше 400 г, с пороками, с патоморфологическими признаками осложнений ишемической болезни сердца, кардиомиопатий, воспалительных заболеваний сердца. Промежуточные задачи, необходимые для достижения цели настоящего исследования, а также методы, с помощью которых эти задачи были решены, представлены в табл. 1. Для морфометрии использовали электронный штангенциркуль ШЦЦ-1-200-0,01. Варианты формы ЛУС определяли в соответствии с количеством их долей: одно-, двух- и трехдолевые [4].

Таблица 1

Задачи исследования и морфологические методы, использованные для их решения

Задача	Метод
Получить данные о размерах и форме устья ЛУС	Морфометрия на влажных препаратах [5]
Получить данные о габаритных размерах тела ЛП и ЛУС, о расстояниях от основания ЛУС до устьев полых и легочных вен, до восходящей аорты, легочного ствола, овальной ямки	Заполнение жидким силиконом по способу [6] с последующей морфометрией
Изучить миоархитектонику стенок, получить данные о размерах важнейших макроанатомических структурно-функциональных единиц (компарментов) миокарда ЛП	Препарирование на слепке [7] с последующей морфометрией компарментов миокарда

Статистическую обработку результатов выполняли в программе Statistica 13.3.

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 и крайних значений. Значимость различий оценивали *U*-критерием Манна – Уитни, уровень значимости α принимали равным 0,05. Для корреляционного анализа использовали критерий Спирмена (*R_s*). Если *R_s* было менее 0,3, корреляционную связь считали несущественной. При *R_s* от 0,3 до 0,7 делали

заключение о корреляции средней силы, при *R_s* от 0,7 до 1,0 корреляцию считали сильной. Для выявления вариантов форм ЛП и ЛУС применяли иерархический кластерный анализ. В качестве основного правила объединения использовали метод полных связей («дальнего соседа»), а в качестве метрического расстояния – евклидово расстояние.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Габаритные размеры тела ЛП (длину, ширину, толщину) сопоставили с параметрами ЛУС (табл. 2).

Таблица 2

Габаритные размеры отделов левого предсердия

Отдел предсердия	Размер, мм		
	Длина	Ширина	Толщина
Тело левого предсердия	41,0 (30,0–65,8)	46,3 (32,0–70,0)	41,4 (28,7–56,0)
Левое ушко сердца	38,9 (22,3–57,5)	25,0 (15,7–47,2)	13,7 (6,5–37,0)

Примечание: результаты представлены в виде медианы и крайних значений.

Установлено, что сила корреляционных связей между морфометрическими параметрами ЛП и размерами ЛУС была неодинакова. Корреляция средней силы была отмечена между объемом ЛП и длиной ЛУС ($R_s = 0,4$; $p = 0,002$). Менее сильные корреляционные связи были выявлены между объемом ЛП, шириной ($R_s = 0,33$, $p < 0,005$) и толщиной ЛУС ($R_s = 0,35$, $p < 0,005$). При этом корреляционные связи между размерами ЛУС и размерами тела ЛП были слабыми. У пациентов с артериальной гипертензией и фибрилляцией предсердий методом эхокардиографии W. Du и соавт. (2020) обнаружили прямую слабую корреляцию между диаметром ЛП и объемом ЛУС [8]. Отсутствие сильных корреляционных связей между параметрами тела ЛП и ЛУС как при патологии сердца, так и без нее может объясняться тем, что эти отделы предсердия происходят из разных эмбриональных источников, а в сформированном сердце находятся в разных гемодинамических условиях [1]. Если в теле ЛП ток крови преимущественно ламинарный (от легочных вен к левому желудочку), то для ЛУС характерна двухфазная, а по некоторым данным четырехфазная гемодинамика [9]. Кроме того, получены данные о индивидуальной изменчивости формы тела ЛП. Тело ЛП могло иметь форму куба и форму параллелепипеда с длинной осью, расположенной параллельно венозной борозде [10].

По результатам кластерного анализа ЛУС были разделены на две группы: большие и малые. Тело ЛП было более длинным на препаратах с более крупными ЛУС ($U = 279$, $p = 0,04$). ЛУС могло состоять из одной, двух или трех долей, что согласуется с данными литературы [4]. Чем больше долей имело ЛУС, тем больше был объем всего ЛП. Особенно сильно различался объем ЛП на препаратах с однодолевыми и трехдолевыми ЛУС ($U = 89,5$, $p = 0,003$). Достоверная корреляционная зависимость между количеством долей ЛУС и габаритными размерами тела ЛП не обнаружена.

Клинически важной анатомической структурой ЛП является устье ЛУС. Определенные особенности анатомии устья могут предрасполагать в одних случаях к застою крови в ЛУС и тромбообразованию, в других – к высокому риску тромбоэмболии из ЛУС. В большинстве случаев форма устья ЛУС овальная [5, 8]. Морфометрическими характеристиками устья овальной формы являются его длинная и короткая оси (диаметры). По данным компьютерной томографии обнаружена сильная взаимосвязь между объемом ЛУС и диаметрами устья ЛУС [3]. При сравнении размеров устья ЛУС у препаратов с разными вариантами формы тела ЛП отмечено, что длинная ось устья ЛУС у предсердий в форме параллелепипеда в 1,3 раза превышала аналогичный размер у предсердий в форме куба ($U = 212$, $p = 0,04$), тогда как величины коротких осей не различались. Размеры устья ЛУС можно прогнозировать по значениям некоторых параметров локальной топографии ЛУС. Значения длинной оси устья ЛУС коррелировали с расстояниями от основания ЛУС до легочного ствола ($R_s = 0,38$, $p < 0,005$), до устья верхней полой вены ($R_s = 0,33$, $p < 0,005$) и до овальной ямки ($R_s = 0,42$, $p < 0,001$).

Выявлена корреляционная зависимость между величиной длинной оси устья ЛУС и расстоянием от левой нижней легочной вены до левого фиброзного кольца ($R_s = 0,38$, $p < 0,005$). Значения короткой оси коррелировали с расстояниями от основания ЛУС до восходящей части аорты ($R_s = 0,3$, $p < 0,005$) и до устьев обеих левых легочных вен ($R_s = 0,45$, $p < 0,002$). Достоверных корреляционных связей между габаритными размерами ЛУС и топографическими расстояниями не выявлено.

Препарирование показало, что для миокарда тела ЛП характерно наличие структурно-функциональных единиц (компарментов), однако этими компарментами являются не слои, как традиционно принято считать, а миокардиальные пучки и компоненты. Это согласуется

с данными литературы [11, 12]. Практически постоянной анатомической структурой ЛП был передний межпредсердный пучок (ПМП). Он располагался поверхностно в передневерхних стенках обоих предсердий. Достигая ЛУС, ПМП делился на две части (ветви). Нижняя ветвь ПМП спускалась под основание ЛУС, а верхняя ветвь в латеральной стенке ЛП формировала левый латеральный гребень. Сложная гистото-

пография этого гребня предрасполагает к тому, что при фибрилляциях предсердий он часто является местом возникновения эктопического возбуждения по механизму микро-re-entry [1, 3]. При сопоставлении размеров тела ЛП с морфометрическими параметрами компартментов миокарда ЛП установлено, что в ряде случаев между ними существовали корреляционные связи (табл. 3).

Таблица 3

Корреляционные взаимосвязи между габаритными размерами отделов левого предсердия и основными миокардиальными компартментами его стенок

Отдел левого предсердия	Габаритный размер	Передний межпредсердный пучок		Левый латеральный гребень
		длина	ширина	длина
Тело левого предсердия	Длина	–	0,37; 0,005	0,55; 0,002
	Ширина	0,37; 0,005	0,42; 0,001	0,55; 0,001
	Толщина	–	< 0,3	< 0,3
Левое ушко сердца	Длина	–	0,34; 0,005	
	Ширина	–	0,36; 0,005	
	Толщина	–	0,32; 0,005	

Примечания: значения представлены в виде коэффициентов корреляции Спирмена и уровня значимости α для него. Прочерк означает, что значимые корреляционные связи в паре признаков не были выявлены.

При рассмотрении вариантов соответствия формы тела ЛП и миоархитектоники ЛП было выявлено, что у ЛП в форме параллелепипеда длина ($U = 170$, $p = 0,01$) и ширина ПМП ($U = 138$, $p = 0,01$), а также длина левого латерального гребня ($U = 141$, $p = 0,003$) были больше, чем у ЛП кубической формы. Ширина ПМП зависела от всех трех размеров ЛУС, но зависимость не была сильной. Выявлены корреляции между шириной ПМП и размерами длинной ($R_s = 0,3$, $p < 0,005$) и короткой ($R_s = 0,46$, $p < 0,001$) оси устья ЛУС. При сопоставлении больших и малых ушек, выделенных по результатам кластерного анализа, выявлены различия в ширине ПМП. Ширина этого пучка была больше на препаратах с крупными ЛУС, чем у ЛУС, имевших небольшие размеры (15,6 мм vs 13,5 мм; $U = 199,5$; $p = 0,004$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корреляционные связи между значениями размеров тела левого предсердия и морфометрическими характеристиками левого ушка сердца (размерами, количеством долей, параметрами локальной топографии) слабые или отсутствуют.

Установлено, что для крупных левых предсердий с телом в форме параллелепипеда характерны длинные трехдолевые ушки. Чем ши-

ре тело такого предсердия, тем чаще его ушко имеет устье овальной формы, тем шире передний межпредсердный пучок миокарда и тем длиннее левый латеральный гребень.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Whiteman S., Saker F., Courant V. et al. An anatomical review of the left atrium. *Translational Research in Anatomy*. 2019;17:100052. doi: 10.1016/j.tria.2019.100052.
- Мартиросян Л. П., Баландина И. А. Параметры объема предсердий и левого желудочка у мужчин и женщин мезоморфного типа телосложения по результатам выполнения эхокардиографии. *Волгоградский научно-медицинский журнал*. 2020;2:58–61.
- Dudkiewicz D., Słodowska K., Jasińska K. A. et al. The clinical anatomy of the left atrial structures used as landmarks in ablation of arrhythmogenic substrates and cardiac invasive procedures. *Translational Research in Anatomy*. 2021;23:100102. doi: 10.1016/j.tria.2020.100102
- Veinot J. P., Harrity P. J., Gentile F. et al. Anatomy of the normal left atrial appendage: A quantitative study of age-related changes in 500 autopsy hearts: Implications for echocardiographic examination. *Circulation*. 1997;96(9):3112–3115. doi: 10.1161/01.cir.96.9.3112.
- Якимов А. А., Гапонов А. А. Вариантная морфометрическая анатомия устья левого ушка. *Казанский медицинский журнал*. 2022;103(1):69–78. doi: 10.17816/KMJ2022-69
- Гапонов А. А., Якимов А. А. Патент № 2766761С1 Российская Федерация, МПК G09B

23/30. Способ изготовления слепка левого предсердия в фазу диастолы : № 2021112528 : заявл. 28.04.2021: опубл. 15.03.2022.

7. Гапонов А. А., Носкова М. Е., Якимов А. А. Патент № 2786011C1. Российская Федерация, МПК G09B 23/30. Способ препарирования миокарда предсердий : № 2022104071 : заявл. 15.02.2022 : опубл. 15.12.2022.

8. W. Du, M. Dai, M. Wang et al. Large left atrial appendage predicts the ablation outcome in hypertensive patients with atrial fibrillation. *J Electrocardiol.* 2020;63:139–144. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2020.07.017.

9. Al-Saady N. M., Obel O. A., Camm A. J. Left atrial appendage: structure, function, and role in thromboembolism. *Heart.* 1999;82(5):547–555. doi: 10.1136/hrt.82.5.547.

10. Гапонов А. А., Носкова М. Е., Якимов А. А. Морфометрическая характеристика левого предсердия взрослого человека. *Казанский медицинский журнал.* 2021;102(5):678–686. doi: 10.17816/KMJ 2021-678.

11. Якимов А. А., Дмитриева Е. Г., Федосеев П. В. Архитектоника миокарда предсердий взрослого человека: предварительное сообщение. *Бородинские чтения : матер. Междунар. науч-практ. конф., посе. 90-летию акад. РАН Ю. И. Бородина.* Новосибирск: НГМУ, 2019:379–384.

12. Ho S. Y., Sánchez-Quintana D. The importance of atrial structure and fibers. *Clin Anat.* 2009;22(1):52–63. doi: 10.1002/ca.20634.

REFERENCES

1. Whiteman S., Saker E., Courant V. et al. An anatomical review of the left atrium. *Translational Research in Anatomy.* 2019;17:100052. doi: 10.1016/j.tria.2019.100052.

2. Martirosyan L. P., Balandina I. A. Parameters of volume of the atria and left ventricle in men and women of the mesomorphic body type according to the results of performing echocardiography. *Volgogradskii nauchno-meditsinskii zhurnal = Volgograd Journal of Medical Research.* 2020;2:58–61. (In Russ.).

3. Dudkiewicz D., Słodowska K., Jasińska K. A. et al. The clinical anatomy of the left atrial structures used as landmarks in ablation of arrhythmogenic sub-

strates and cardiac invasive procedures. *Translational Research in Anatomy.* 2021;23(3):100102. doi: 10.1016/j.tria.2020.100102.

4. Veinot J. P., Harrity P. J., Gentile F. et al. Anatomy of the normal left atrial appendage: A quantitative study of age-related changes in 500 autopsy hearts: Implications for echocardiographic examination. *Circulation.* 1997;96(9): 3112–3115. doi: 10.1161/01.cir.96.9.3112.

5. Iakimov A. A., Gaponov A. A. Anatomical and morphometric variation of the orifice of the left atrial appendage. *Kazanskii meditsinskii zhurnal = Kazan Medical Journal.* 2022;103(1):69–78. (In Russ.). doi:10.17816/KMJ2022-69.

6. Gaponov A. A., Iakimov A. A. Patent 2766761C1 Russian Federation, Int Cl. G09B 23/30. Method for making cast of left atrium in diastole phase. 2021112528: registration date 15.03.2021 : application 28.04.2021. (In Russ.).

7. Gaponov A. A., Noskova M. E., Yakimov A. A. Patent 2786011C1. Russian Federation, IPC G09B 23/30. Method of preparation of the atrial myocardium : 2022104071 : application 15.02.2022 : publ. 15.12.2022. (In Russ.).

8. Du W., Dai M., Wang M. et al. Large left atrial appendage predicts the ablation outcome in hypertensive patients with atrial fibrillation. *J Electrocardiol.* 2020;63:139–144. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2020.07.017.

9. Al-Saady N. M., Obel O. A., Camm A. J. Left atrial appendage: structure, function, and role in thromboembolism. *Heart.* 1999;82(5):547–555. doi: 10.1136/hrt.82.5.547.

10. Gaponov A. A., Noskova M. E., Iakimov A. A. Morphometrical observation on the left atrium in human adults. *Kazanskii meditsinskii zhurnal = Kazan Medical Journal.* 2021;102(5):678–686. (In Russ.). doi: 10.17816/KMJ2021-678.

11. Iakimov A. A., Dmitrieva E. G., Fedoseev P. V. Architecture of the atrial myocardium in human adults: preliminary report. *Borodin readings : Proceed. of Int Sci Pract Conf dedicated to the 90th anniv.* Novosibirsk, 2019:379–384. (In Russ.).

12. Ho S. Y., Sánchez-Quintana D. The importance of atrial structure and fibers. *Clin Anat.* 2009;22(1):52–63. doi: 10.1002/ca.20634.

Информация об авторах

А. А. Якимов – кандидат медицинских наук, доцент

А. А. Гапонов – магистр биологии

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 13.06.2023; одобрена после рецензирования 14.07.2023; принята к публикации 14.08.2023.

Information about the authors

A. A. Iakimov – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor

A. A. Gaponov – Master of Biology

The authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 13.06.2023; approved after reviewing 14.07.2023; accepted for publication 14.08.2023.