

АНАТОМИЯ ЧЕЛОВЕКА / HUMAN ANATOMY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.21>

АНАТОМИЯ СОСОЧКОВЫХ МЫШЦ (MM. PAPILLARES) И СУХОЖИЛЬНЫХ ХОРД (CHORDAE TENDINEAE) ПРЕДСЕРДНО-ЖЕЛУДОЧКОВЫХ КЛАПАНОВ

Обзор

Северюгина Г.А.^{1,*}, Чемидронон С.Н.², Сытдыкова К.А.³, Дулкина М.Н.⁴^{1, 2, 3, 4} Самарский государственный медицинский университет, Самара, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (g.a.sevryugina[at]samsmu.ru)

Аннотация

В данном обзоре обсуждается роль сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae) в работе предсердно-желудочковых клапанов сердца. Подробно описана анатомия сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae), их анатомическая взаимосвязь со створками, варианты анатомии сосочковых мышц. Представлены современные представления о функциональной анатомии предсердно-желудочковых клапанов, функциональной единице «J-комплекс» (это не анатомическое, а функциональное образование, которое в литературе описано как условная непрерывная линия, проходящая через фиброзное кольцо, стенку левого желудочка и сосочковую мышцу), благодаря которой происходит координированное движение створок. Отмечено, что сосочковые мышцы (Mm. papillares) и сухожильные хорды (Chordae tendineae) играют важную роль в насосной функции желудочков, внося 10-20% вклад в ударный объем желудочка. Сделан вывод о том, что дальнейшее изучение функциональной анатомии с помощью визуализации «живого сердца» позволит изучить и смоделировать циклические деформации эластичных структур предсердно-желудочкового отверстия и лучше понять механизм влияния сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae) на работу створок. Приведены некоторые анатомические находки, полученные при кадаверном изучении сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae) предсердно-желудочковых клапанов на примере препаратов, подготовленных специалистами НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева.

Ключевые слова: функциональная анатомия, сосочковые мышцы (Mm. papillares) и сухожильные хорды (Chordae tendineae), предсердно-желудочковый клапан, сердце, двустворчатый клапан.

ANATOMY OF THE PAPILLARY MUSCLES (MM. PAPILLARES) AND TENDINOUS CHORDS (CHORDAE TENDINEAE) OF THE ATRIOVENTRICULAR VALVES

Review article

Sevryugina G.A.^{1,*}, Chemidronov S.N.², Sitdikova K.A.³, Dulkina M.N.⁴^{1, 2, 3, 4} Samara State Medical University, Samara, Russian Federation

* Corresponding author (g.a.sevryugina[at]samsmu.ru)

Abstract

This review discusses the role of papillary muscles (Mm. papillares) and tendinous chords (Chordae tendineae) in the atrial-ventricular valves of the heart. The anatomy of papillary muscles (Mm. papillares) and tendinous chords (Chordae tendineae), their anatomical relationship with the flaps, variants of papillary muscle anatomy are described in detail. Modern ideas about the functional anatomy of atrial ventricular valves, functional unit "J-complex" (it is not anatomical but functional formation, which is described in the literature as a conventional continuous line passing through the fibrous ring, left ventricular wall and papillary muscle), due to which the coordinated movement of the flaps occurs, are presented. It was noted that papillary muscles (Mm. papillares) and tendinous chords (Chordae tendineae) play an important role in ventricular pumping function, contributing 10-20% to the ventricular stroke volume. It is concluded that further study of the functional anatomy using "live heart" imaging will allow to study and model the cyclic deformations of the elastic structures of the atrial-ventricular orifice and to better understand the mechanism by which the papillary muscles (Mm. papillares) and tendinous chords (Chordae tendineae) influence the operation of the flaps. Some anatomical findings obtained during cadaveric study of papillary muscles (Mm. papillares) and tendinous chords (Chordae tendineae) of atrioventricular valves on the example of preparations prepared by the specialists of the A.N. Bakulev National Medical Centre of Cardiovascular Surgery are presented.

Keywords: functional anatomy, papillary muscles (Mm. papillares) and tendinous chords (Chordae tendineae), atrioventricular valve, heart, bicuspid valve.

Введение

В настоящее время до сих пор не изучена так называемая функциональная анатомия предсердно-желудочковых клапанов (valvulae atrioventriculares) [1]. Кадаверная анатомия не дает полного представления о связи между морфологией клапана и его функционированием [2]. На наш взгляд, есть несколько сложностей в понимании устройства предсердно-желудочковых клапанов: (1) предсердно-желудочковые клапаны не являются самостоятельными запирательными элементами, их функция зависит от работы окружающих структур, (2) высокая вариативность анатомии, особенно у трехстворчатого клапана, (3) малое количество описаний строения сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae) в мировой литературе [3].

Изучение анатомии сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae) является важным направлением в анатомии предсердно-желудочковых клапанов [4], [5]. Можно сказать, что эти структуры являются

«ключом к предсердно-желудочковому клапану» [6]. Без его функционирования невозможно обеспечение адекватной кооптации створок, низкий трансальвулярный градиент давления и в целом физиологичная гемодинамика [7].

Предсердно-желудочковые клапаны являются крайне сложными структурами, элементы которой необходимо продолжать изучать как в статическом, так и в функционирующем состоянии [8].

Таким образом, цель нашей работы заключается в критической оценке имеющейся литературы по теме «особенности функциональной анатомии сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae) предсердно-желудочковых клапанов». В своей работе мы будем останавливаться как на изучении двустворчатого, так и на изучении трехстворчатого клапана [9], [10], [11].

Анализ литературы

Анатомическая связь сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae) со створками двустворчатого клапана.

Классически устройство предсердно-желудочковых клапанов описывают следующим образом: по окружности предсердно-желудочкового отверстия (ostium atrioventriculare) прикрепляется клапан (valva), представленный дубликатурой эндокарда [12]. Выделяют правый (valva atrioventricularis dextra) и левый предсердно-желудочковые клапаны (valva atrioventricularis sinistra). Правый предсердно – желудочковый клапан называется трехстворчатым (valva tricuspidalis), левый двустворчатым (valva bicuspidalis) по количеству створок. Эпонимически левый предсердно-желудочковый предсердно-желудочковый клапан называется митральным по сходству с «митрой» – головным убором католического священника.

В силу сходства эмбрионального происхождения, устройство двустворчатого и трехстворчатого клапана схоже [13]. В связи с этим, продемонстрируем принципы организации предсердно-желудочковых клапанов на примере левого предсердно-желудочкового клапана на препарате (рисунок 1).



Рисунок 1 - Макроанатомия митрального клапана
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.21.1>

Примечание: снимок препарата выполнен в НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева

На представленном макропрепарате видна поверхность передней створки двустворчатого клапана (cuspid anterior). Свободные края створок фиксируются сухожильными хордами (chordae tendineae) различных порядков [14]. Сухожильные хорды с левой и правой половины створок сходятся в сухожильном центре на вершущке задней и передней сосочковых мышц соответственно (Mm. papillares).

Устройство сосочковых мышц крайне вариативно, особенно у трехстворчатого клапана [15]. Сосочковая мышца (Mm. papillares) может иметь от одной до нескольких головок, сходящихся к одному основанию. У левого предсердно-желудочкового клапана чаще все хорды сходятся к одной головке, которая плавно переходит в тело сосочковой мышцы и далее в основание. У правого предсердно-желудочкового клапана чаще всего сосочковые мышцы имеют несколько головок или даже имеется несколько самостоятельных сосочковых мышц [16]. Важной особенностью трехстворчатого клапана является то, что от свободного края перегородочной створки (cuspid septalis) хорды идут непосредственно к межжелудочковой перегородке (septum interventriculare) (рисунок 2).

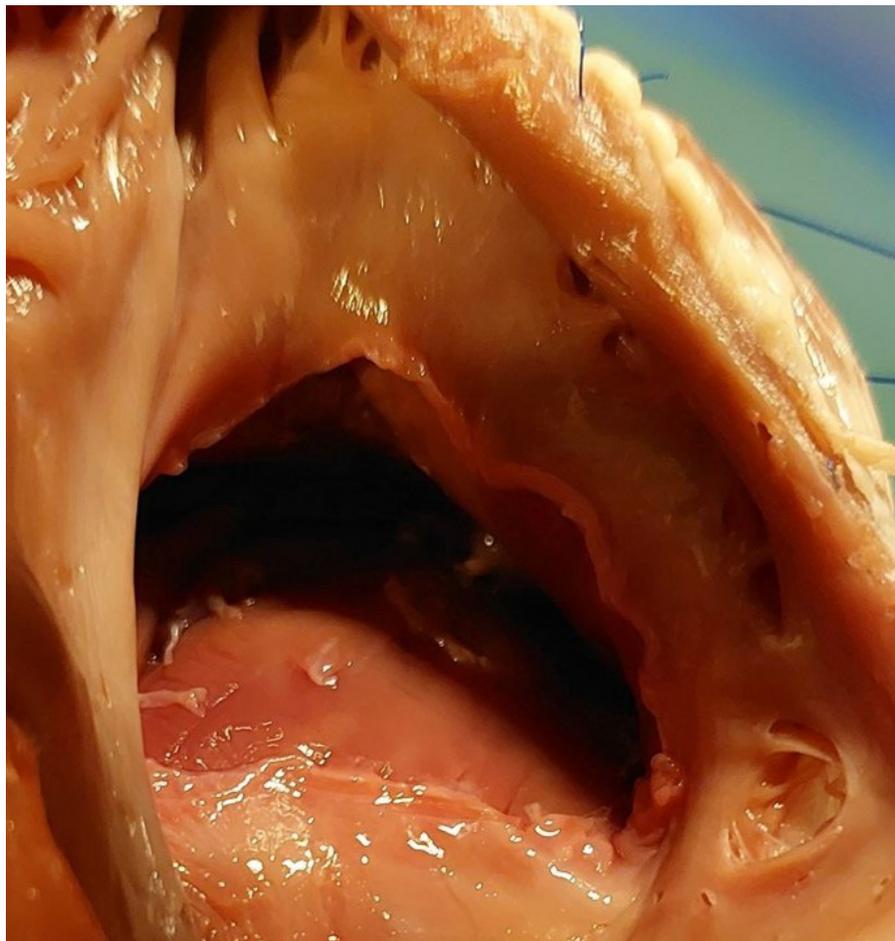


Рисунок 2 - Вид на правый желудочек со стороны правого предсердия
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.21.2>

Примечание: створки трехстворчатого клапана удалены. На межжелудочковой перегородке видны места отхождения хорд к септальной створке трикуспидального клапана. Снимок препарата выполнен в НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева

Сухожильные хорды (chordae tendineae)

Сухожильные хорды имеют бинарную древовидную структуру. Чаще всего, они делятся на 3 порядка. По точке крепления хорды делятся на базальные (прикрепление в области фиброзного кольца двустворчатого клапана – anulus fibrosus), промежуточные (прикрепление к центру створки) и маргинальные (прикрепление к свободному краю) [17]. Последние исследования показывают, что нет четкого анатомического строения хорд, но есть лишь паттерны прикрепления. Благодаря им наиболее равномерно и эффективно распределяется нагрузка на створку, достигается оптимальная кооптация передней створки с задней. В онтогенезе, вероятно, данные структуры строятся в соответствие

с пьезоэлектрическим эффектом натяжения и деформации коллагеновых волокон, благодаря которым формируются положительные и отрицательные заряды на поверхности коллагена [18]. Эти заряды служат сигналом для наращивания (фибробластами) или резорбции (фиброкластами) новых соединительнотканых тяжей. Исследования в данном направлении активно ведутся [19].

Сосочковые мышцы (Mm. papillares)

Анатомия сосочковых мышц впервые описана С. Асар. Предложено классифицировать их по сложности строения, количеству головок и типу прикрепления к стенке желудочка [20].

Первый тип сосочковой мышцы характеризуется наличием одной головки, от которой отходит несколько пучков хорд, отходящей от массивного тела, второй тип – наличием нескольких головок, отходящих от одного тела, третий – тонкой сосочковой мышцей, от которой отходит один пучок хорд, четвертый – сосочковая мышца крепится к стенке желудочка по типу аркады, пятый – сосочковая мышца распластана на стенке желудочка [21].

Роль сосочковых мышц в насосной функции сердца

Так, оказалось, что сосочковые мышцы в среднем сокращаются на 20-30%, но с небольшим опозданием, т.е. после систолического сокращения основной массы миокарда. Данный механизм оказался важным в перераспределении нагрузки на хорды. Он предохраняет их от перерастяжения во время быстрого заполнения желудочка [22].

Сосочковые мышцы так же играют важную роль в сократительной функции желудочка. По разным данным они дают 10-20% вклад во фракцию выброса. При чем данная тенденция отмечается даже если сосочковые мышцы не имеют связи с фиброзным кольцом, а просто баллотируют [23].

В дальнейшем лишь подчеркнута важность сосочковых мышц в работе сердца в целом. Так в экспериментах Сагрантиг и соавторы проводили инъекцию детергента, чтобы вызвать некроз сосочковых мышц двустворчатого клапана или некроз стенки миокарда, к которой крепится сосочковая мышца [24].

Выяснилось, что некроз сосочковой мышцы почти не сказывался на запирающей функции двустворчатого клапана, в то время как разобщение связи сосочковой мышцы со стенкой миокарда левого желудочка значительно нарушало координированные движения полуокружности двустворчатого клапана, опирающейся на данную сосочковую мышцу [25].

Таким образом, было показано, что функционально предсердно-желудочковый клапан неразрывно связан с камерой сердца и образует единый функциональный комплекс. Выдвинута концепция J-комплекса (стоит отметить, что это не анатомическое, а функциональное образование, которое в литературе описано как условная непрерывная линия, проходящая через фиброзное кольцо, стенку левого желудочка и сосочковую мышцу). Данная структура замыкается створкой и хордами и имеет функциональное значение как для работы клапана, так и для насосной функции. Нарушение непрерывности J-комплекса (который состоит из фиброзного кольца, стенки левого желудочка и сосочковой мышцы) приводит к выраженной потере эффективности работы сердца [26].

Заключение

(1) «Статическая анатомия» предсердно-желудочковых клапанов достаточно подробно изучена, вместе с этим, крайне мало данных, касающихся функциональной анатомии.

(2) Функциональная анатомия предсердно-желудочковых клапанов в настоящее время продолжает изучаться. Вместе с тем, ясно, что предсердно-желудочковые клапаны являются сложными структурами, работа которых зависит от тесного взаимодействия с близлежащими структурами.

(3) Дальнейшее изучение функциональной анатомии с помощью визуализации «живого сердца» позволит изучить и смоделировать циклические деформации эластичных структур предсердно – желудочкового отверстия и лучше понять механизм влияния сосочковых мышц (Mm. papillares) и сухожильных хорд (Chordae tendineae) на работу створок (площадь кооптации, скорость открытия створок ...), что имеет большое практическое и теоретическое значение.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Абдувохидов Б.У. Хирургическая анатомия митрального клапана сердца при его врожденной органической недостаточности / Б.У. Абдувохидов, Т.В. Сухачева, А.И. Ким [и др.] // Детские болезни сердца и сосудов. — 2013.
2. Бокерия Л.А. Врожденная недостаточность митрального клапана / Л.А. Бокерия, И.И. Каграманов, Ю.И. Бондарев. — М.: НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН, 2003.
3. Фальковский Г.Э. Методика морфометрического исследования сердца / Г.Э. Фальковский, И.И. Беришвили, А.Ф. Синев // Кровообращение. — 1983. — 3: 3–8.
4. Бокерия Л. А. Нормативные параметры предсердно-желудочковых клапанов по результатам морфометрических исследований / Л.А. Бокерия, О.А. Махачев, М.С. Панова [и др.] // Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. — 2005. — 6 (1): 5–25

5. Khalili O. Fluid-structure interaction and structural simulation of high acceleration effects on surgical repaired human mitral valve biomechanics / O. Khalili, M. Asgari // *Proc Inst Mech Eng H*. — 2023 Nov;237(11). — 1248-1260. — DOI: 10.1177/09544119231200367. — Epub 2023 Oct 17. — PMID: 37846647.
6. Rich N.L. Anatomy, Thorax, Heart Papillary Muscles. 2023 Jul 24 / N.L. Rich, Y.S. Khan // In: *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan*. — PMID: 32491734.
7. Марченко С.П. Хирургическая анатомия митрального клапана / С.П. Марченко // *Грудная и сердечно-сосудистая хирургия*. — 2007. — 1: 11–5.
8. Faletra F.F. Morphology of Mitral Annular Disjunction in Mitral Valve Prolapse / F.F. Faletra, L.A. Leo, V.L. Paiocchi [et al.] // *J Am Soc Echocardiogr*. — 2022 Feb;35(2). — 176-186. — DOI: 10.1016/j.echo.2021.09.002. — Epub 2021 Sep 8. PMID: 34508838.
9. Oliveira D. Geometric description for the anatomy of the mitral valve: A review / D. Oliveira, J. Srinivasan, D. Espino [et al.] // *J Anat*. — 2020 Aug;237(2):209-224. — DOI: 10.1111/joa.13196. Epub 2020 Apr 3. — PMID: 32242929; PMCID: PMC7369193
10. Robinson S. The assessment of mitral valve disease: a guideline from the British Society of Echocardiography / S. Robinson, L. Ring, D.X. Augustine [et al.] // *Echo Res Pract*. — 2021. — Sep 27;8(1):G87-G136. — DOI: 10.1530/ERP-20-0034. — PMID: 34061768; PMCID: PMC8495880.
11. Sweeney J. Variations in Mitral Valve Leaflet and Scallop Anatomy on Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography / J. Sweeney, T. Dutta, M. Sharma [et al.] // *J Am Soc Echocardiogr*. — 2022. — Jan;35(1):77-85. — DOI: 10.1016/j.echo.2021.07.010. — Epub 2021 Jul 24. PMID: 34311062.
12. Rottländer D. Anatomy and Topography of Coronary Sinus and Mitral Valve Annulus in Functional Mitral Regurgitation / Rottländer M. Saal A. Ögütçü [et al.] // *Front Cardiovasc Med*. — 2022 Apr 22;9:868562. — DOI: 10.3389/fcvm.2022.868562. PMID: 35528836; PMCID: PMC9072628.
13. Chaudhari S.S. Mitral Valve Insufficiency. 2023 May 1 / S.S. Chaudhari, Mani B. Chokkalingam // In: *StatPearls. Treasure Island (FL)*. — StatPearls Publishing; 2024 Jan. — PMID: 32491821.
14. Ho S.Y. Anatomy of the mitral valve / S.Y. Ho // *Heart*. — 2002 Nov;88 Suppl 4(Suppl 4):iv5-10. — DOI: 10.1136/heart.88.suppl_4.iv5. — PMID: 12369589; PMCID: PMC1876279.
15. Komarov R.N. Mitral homograft in tricuspid position: indications for implantation and surgical technique / R.N. Komarov, M.D. Nuzhdin, V.A. Belov [et al.] // *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. — 2023;12(2):173-182. — DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-2-173-182 [in Russian]
16. Степанчук А.П. Морфометрические исследования предсердно-желудочковых клапанов в норме / А.П. Степанчук // *Вісник проблем біології і медицини*. — 2012. — №3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/morfometricheskie-issledovaniya-predserdno-zheludochkovyh-klapanov-v-norme> (дата обращения: 11.03.2024).
17. Шатов Д.В. Анатомия клапанов сердца / Д.В. Шатов, И.Х. Гасанова // *Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины*. — 2019. — №1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/anatomiya-klapanov-serdtsa> (дата обращения: 11.03.2024).
18. Barlow C.W. Functional anatomy and surgical principles of mitral repair for the Barlow valve: Past legacy guides the future / C.W. Barlow, H. Ali-Ghosh, S. Sajiram // *JTCVS Tech*. — 2021. — Sep 15;10:58-63. — DOI: 10.1016/j.jtc.2021.08.046. — PMID: 34977705; PMCID: PMC8691771.
19. Khalighi A.H. Mitral Valve Chordae Tendineae: Topological and Geometrical Characterization / A.H. Khalighi, A. Drach, C.H. Bloodworth [et al.] // *Annals of Biomedical Engineering*. — 2016. — 45(2). — 378–393. — DOI:10.1007/s10439-016-1775-3
20. Acar C. Homograft replacement of the mitral valve: graft selection, technique of implantation, and results in forty-three patients / C. Acar, M. Tolan, A. Berrebi [et al.] // *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. — 1996. — 111(2). — 367–380. — DOI: 10.1016/S0022-5223(96)70446-4.
21. Нуждин М. Технические аспекты и результаты применения клапанных гомографтов в хирургии атриовентрикулярных клапанов сердца: систематический обзор / М. Нуждин, Р. Комаров, Д. Мацуганов [и др.] // *Патология кровообращения и кардиохирургия*. — 27(2). — 42–53. — 2023. — DOI: 10.21688/1681-3472-2023-2-42-53
22. Topilsky Y. Mitral Regurgitation: Anatomy, Physiology, and Pathophysiology-Lessons Learned From Surgery and Cardiac Imaging / Y. Topilsky // *Front Cardiovasc Med*. — 2020. — May 29;7:84. — DOI: 10.3389/fcvm.2020.00084. — PMID: 32548127; PMCID: PMC7272584.
23. Nogara A. Functional anatomy and echocardiographic assessment in secondary mitral regurgitation / A. Nogara, A. Minacapelli, G. Zambelli [et al.] // *J Card Surg*. — 2022. — Dec;37(12):4103-4111. — DOI: 10.1111/jocs.16863. — Epub 2022 Aug 23. PMID: 35998280.
24. Карпантье А. Реконструктивная хирургия клапанов сердца по Карпантье: от анализа клапана к его реконструкции / А. Карпантье, Д.Г. Адамс, Ф. Филсуфи, пер. с англ.; под ред. И.И. Скопина, С.П. Глянцева. — М.: Логосфера, 2019. — 416 с.
25. Sengupta A. Imaging the mitral valve: a primer for the interventional surgeon / A. Sengupta, S.L. Alexis, S. Zaid [et al.] // *Ann Cardiothorac Surg*. — 2021. — Jan;10(1):28-42. — DOI: 10.21037/acs-2020-mv-16. — PMID: 33575173; PMCID: PMC7867432.
26. Silbiger J.J. Contemporary insights into the functional anatomy of the mitral valve / J.J. Silbiger, R. Bazaz // *American Heart Journal*. — 158(6). — 887–895. — 2009. — DOI:10.1016/j.ahj.2009.10.014

Список литературы на английском языке / References in English

1. Abduvokhidov B.U. Hirurgicheskaya anatomiya mitral'nogo klapano serdca pri ego vrozhdennoj organicheskoj nedostatochnosti [Surgical anatomy of the mitral valve of the heart in its congenital organic failure] / B.U. Abduvohidov, T.V. Suhacheva, A.I. Kim [et al.] // Detskie bolezni serdca i sosudov [Children's heart and vascular diseases]. — 2013 [in Russian]
2. Bockeria L.A. Vrozhdannaya nedostatochnost' mitral'nogo klapano [Congenital mitral valve insufficiency] / L.A. Bokeriya, I.I. Kagramanov, YU.I. Bondarev. — M.: NTSSKh named after A.N. Bakulev RAMS, 2003. [in Russian]
3. Falkovsky G.E. Metodika morfometricheskogo issledovaniya serdca [Method of morphometric study of the heart] / G.E. Fal'kovskij, I.I. Berishvili, A.F. Sinev // Krovoobrashchenie [Circulation]. — 1983. — 3:3-8. [in Russian]
4. Bockeria L. A. Normativnye parametry predserdno-zheludochkovykh klapanov po rezul'tatam morfometricheskikh issledovanij [Standard parameters of atrioventricular valves based on the results of morphometric studies] / L.A. Bokeriya, O.A. Mahachev, M.S. Panova [et al.] // Byulleten' NCSSKH im. A.N. Bakuleva RAMN [Bulletin of the Scientific Center for Agricultural Sciences named after A.N. Bakulev RAMS]. — 2005. — 6(1):5-25 [in Russian]
5. Khalili O. Fluid-structure interaction and structural simulation of high acceleration effects on surgical repaired human mitral valve biomechanics / O. Khalili, M. Asgari // Proc Inst Mech Eng H. — 2023 Nov;237(11). — 1248-1260. — DOI: 10.1177/09544119231200367. — Epub 2023 Oct 17. — PMID: 37846647.
6. Rich N.L. Anatomy, Thorax, Heart Papillary Muscles. 2023 Jul 24 / N.L. Rich, Y.S. Khan // In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan. — PMID: 32491734.
7. Marchenko S.P. Hirurgicheskaya anatomiya mitral'nogo klapano [Surgical anatomy of the mitral valve] / S.P. Marchenko // Grudnaya i serdechno-sosudistaya hirurgiya [Thoracic and cardiovascular surgery]. — 2007. — 1:11-5. [in Russian]
8. Faletta F.F. Morphology of Mitral Annular Disjunction in Mitral Valve Prolapse / F.F. Faletta, L.A. Leo, V.L. Paiocchi [et al.] // J Am Soc Echocardiogr. — 2022 Feb;35(2). — 176-186. — DOI: 10.1016/j.echo.2021.09.002. — Epub 2021 Sep 8. PMID: 34508838.
9. Oliveira D. Geometric description for the anatomy of the mitral valve: A review / D. Oliveira, J. Srinivasan, D. Espino [et al.] // J Anat. — 2020 Aug;237(2):209-224. — DOI: 10.1111/joa.13196. Epub 2020 Apr 3. — PMID: 32242929; PMCID: PMC7369193
10. Robinson S. The assessment of mitral valve disease: a guideline from the British Society of Echocardiography / S. Robinson, L. Ring, D.X. Augustine [et al.] // Echo Res Pract. — 2021. — Sep 27;8(1):G87-G136. — DOI: 10.1530/ERP-20-0034. — PMID: 34061768; PMCID: PMC8495880.
11. Sweeney J. Variations in Mitral Valve Leaflet and Scallop Anatomy on Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography / J. Sweeney, T. Dutta, M. Sharma [et al.] // J Am Soc Echocardiogr. — 2022. — Jan;35(1):77-85. — DOI: 10.1016/j.echo.2021.07.010. — Epub 2021 Jul 24. PMID: 34311062.
12. Rottländer D. Anatomy and Topography of Coronary Sinus and Mitral Valve Annulus in Functional Mitral Regurgitation / Rottländer M. Saal A. Ögütçü [et al.] // Front Cardiovasc Med. — 2022 Apr 22;9:868562. — DOI: 10.3389/fcvm.2022.868562. PMID: 35528836; PMCID: PMC9072628.
13. Chaudhari S.S. Mitral Valve Insufficiency. 2023 May 1 / S.S. Chaudhari, Mani B. Chokkalingam // In: StatPearls. Treasure Island (FL). — StatPearls Publishing; 2024 Jan. — PMID: 32491821.
14. Ho S.Y. Anatomy of the mitral valve / S.Y. Ho // Heart. — 2002 Nov;88 Suppl 4(Suppl 4):iv5-10. — DOI: 10.1136/heart.88.suppl_4.iv5. — PMID: 12369589; PMCID: PMC1876279.
15. Komarov R.N. Mitral homograft in tricuspid position: indications for implantation and surgical technique / R.N. Komarov, M.D. Nuzhdin, V.A. Belov [et al.] // Complex Issues of Cardiovascular Diseases. — 2023;12(2):173-182. — DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-2-173-182 [in Russian]
16. Stepanchuk A.P. Morfometricheskie issledovaniya predserdno-zheludochkovykh klapanov v norme [Morphometric studies of atrioventricular valves are normal] / A.P. Stepanchuk // Visnik problem biologii i medicini [Bulletin of problems of biology and medicine]. — 2012. — No. 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/morfometricheskie-issledovaniya-predserdno-zheludochkovykh-klapanov-v-norme> (accessed: 03.11.2024). [in Russian]
17. Shtatov D.V. Anatomiya klapanov serdca [Anatomy of heart valves] / D.V. Shtatov, I.H. Gasanova // Krymskij zhurnal eksperimental'noj i klinicheskoy mediciny [Crimean Journal of Experimental and Clinical Medicine]. — 2019. — No. 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/anatomiya-klapanov-serdtsa> (accessed: 03.11.2024). [in Russian]
18. Barlow C.W. Functional anatomy and surgical principles of mitral repair for the Barlow valve: Past legacy guides the future / C.W. Barlow, H. Ali-Ghosh, S. Sajiram // JTCVS Tech. — 2021. — Sep 15;10:58-63. — DOI: 10.1016/j.xjtc.2021.08.046. — PMID: 34977705; PMCID: PMC8691771.
19. Khalighi A.H. Mitral Valve Chordae Tendineae: Topological and Geometrical Characterization / A.H. Khalighi, A. Drach, C.H. Bloodworth [et al.] // Annals of Biomedical Engineering. — 2016. — 45(2). — 378-393. — DOI:10.1007/s10439-016-1775-3
20. Acar C. Homograft replacement of the mitral valve: graft selection, technique of implantation, and results in forty-three patients / C. Acar, M. Tolan, A. Berrebi [et al.] // The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. — 1996. — 111(2). — 367-380. — DOI: 10.1016/S0022-5223(96)70446-4.
21. Nuzhdin M. Tekhnicheskie aspekty i rezul'taty primeneniya klapanovykh gomograftov v hirurgii atrioventrikulyarnykh klapanov serdca: sistematicheskij obzor [Technical aspects and results of valve homografts in atrioventricular heart valve surgery: a systematic review] / M. Nuzhdin, R. Komarov, D. Macuganov [et al.] // Patologiya krovoobrashcheniya i kardiohirurgiya [Circulatory Pathology and Cardiac Surgery]. — 27(2). — 42-53. — 2023. — DOI: 10.21688/1681-3472-2023-2-42-53 [in Russian]

22. Topilsky Y. Mitral Regurgitation: Anatomy, Physiology, and Pathophysiology-Lessons Learned From Surgery and Cardiac Imaging / Y. Topilsky // *Front Cardiovasc Med.* — 2020. — May 29;7:84. — DOI: 10.3389/fcvm.2020.00084. — PMID: 32548127; PMCID: PMC7272584.
23. Nogara A. Functional anatomy and echocardiographic assessment in secondary mitral regurgitation / A. Nogara, A. Minacapelli, G. Zambelli [et al.] // *J Card Surg.* — 2022. — Dec;37(12):4103-4111. — DOI: 10.1111/jocs.16863. — Epub 2022 Aug 23. PMID: 35998280.
24. Carpentier A. Реконструктивная хирургия клапанов сердца по Карпантие: от анализа клапана к его реконструкции [Reconstructive heart valve surgery according to Carpentier: from valve analysis to valve reconstruction] / A. Carpentier, D.G. Adams, F. Filsufi, transl. from English; ed. by I.I. Skopin, S.P. Glyantsev. — Moscow: Logosphere. — 2019. — 416 p. [in Russian]
25. Sengupta A. Imaging the mitral valve: a primer for the interventional surgeon / A. Sengupta, S.L. Alexis, S. Zaid [et al.] // *Ann Cardiothorac Surg.* — 2021. — Jan;10(1):28-42. — DOI: 10.21037/acs-2020-mv-16. — PMID: 33575173; PMCID: PMC7867432.
26. Silbiger J.J. Contemporary insights into the functional anatomy of the mitral valve / J.J. Silbiger, R. Bazaz // *American Heart Journal.* — 158(6). — 887–895. — 2009. — DOI:10.1016/j.ahj.2009.10.014