

ИССЛЕДОВАНИЕ КРОВОТОКА ЧЕРЕЗ МИТРАЛЬНЫЙ КЛАПАН СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ КАРДИОТИПА И В СВЯЗИ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ НАГРУЗКАМИ



Е. А. Дудникова, А. Н. Игнатова, Л. И. Иржак, Н. Г. Русских, А. А. Фокин

Сыктывкарский государственный университет, Сыктывкар, Российская Федерация

Введение. Исследования сердечно-сосудистой системы находят свои корни еще в 60-х гг. прошлого столетия, в том числе работа П. О. Астранда, согласно которой при экстремальных функциональных нагрузках (ФН), сопровождающихся максимальной частотой сердечных сокращений (ЧСС), ударный объем (УО) снижается. Изучение механизма данного эффекта требует применения комплекса электро- и эхокардиографических методов.

Цель работы – определить зависимость показателей электро- и эхокардиографии от кардиотипа и ФН.

Материал и методы. В работе участвовали 30 человек мужского пола в возрасте от 18 до 32 лет. С учетом показателей ЧСС в контроле, которую определяли по электрокардиограмме (ЭКГ), участники были распределены на три группы: брадикардия (9 чел.) – 60 и менее уд/мин, нормокардия (9 чел.) – 61-80 уд/мин, тахикардия (12 чел.) – более 80 уд/минуту. Показатели снимали в положении обследуемых стоя (контроль) и после ФН (опыт), в качестве которой использовали приседания (по Мартине) в сочетании с произвольной остановкой внешнего дыхания на вдохе (по Штанге) до отказа.

Результаты. Общий объем транзитрального кровотока тем больше, чем ниже ЧСС. С повышением электрической диастолы (сегмента TP) понижается возбудимость миокарда. После ФН такая зависимость сохраняется. Длительность элемента PQ ЭКГ не различалась в группах и в зависимости от влияния ФН. Но объемы потока крови, проходящие за время длительности PQ, заметно различались. Во всех трех группах они увеличивались, что, вероятно, связано с увеличивающейся мощностью сокращения миокарда в период систолы предсердий.

Выводы. По абсолютной величине объем кровотока через митральный клапан сердца человека увеличен при брадикардии и уменьшен при тахикардии. По относительной величине в ряду от брадикардии к тахикардии и от условий без ФН к условиям с применением ФН нарастает доля потока А. Доля потока Е, соответственно, снижается.

Ключевые слова: митральный клапан, электрокардиограмма, эхокардиография, объем кровотока, кардиотип, функциональная нагрузка.

Для цитирования: Исследование кровотока через митральный клапан сердца человека с учетом кардиотипа и в связи с функциональными нагрузками / Е. А. Дудникова, А. Н. Игнатова, Л. И. Иржак, Н. Г. Русских, А. А. Фокин // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2023. Т. 21, № 2. С. 133-136. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2023-21-2-133-136>

Введение

Поток оксигенированной крови из левого предсердия (ЛП) обеспечивает, пройдя через митральный клапан (МК) в левый желудочек (ЛЖ), величину ударного объема (УО), и в конечном счете общее состояние организма [1, 2].

В 60-х годах прошлого столетия группа шведских ученых под руководством П. О. Астранда [3, 4] опубликовала результаты исследований, согласно которым при экстремальных функциональных нагрузках (ФН), сопровождающихся максимальной частотой сердечных сокращений (ЧСС), УО снижается. Проблема носит фундаментальный характер, где взаимодействуют хроно- и инотропные свойства миокарда на основе электрических свойств этого органа. Поэтому разработка данной проблемы требует применения комплекса электро- и эхокардиографических методов.

Недавними исследованиями [5, 6] показано, что механизм данного эффекта связан с уменьшением объема кровотока из ЛП через МК, т. е. со снижением пропускной способности митрального клапана (ПСМК). У взрослого человека этот эффект прослеживается, начиная с уровня ЧСС не менее 120 уд/минуту. В большинстве

работ с применением ФН наблюдения проводятся без учета исходного уровня ЧСС. Между тем, известна зависимость результата действия ФН от кардиотипа: бради-, нормо-, тахикардии [5].

Цель настоящей работы – определить зависимость показателей электро- и эхокардиографии от кардиотипа и ФН.

Материал и методы

Обследованы 30 человек мужского пола в возрасте от 18 до 32 лет, по медицинским картам здоровы. Все участники подписали добровольное согласие на участие в исследовании. С учетом показателей ЧСС в контроле, которую определяли по электрокардиограмме (ЭКГ), участники были распределены на три группы: брадикардия (9 чел.) – 60 и менее уд/мин, нормокардия (9 чел.) – 61-80 уд/мин, тахикардия (12 чел.) – более 80 уд/минуту.

В настоящей работе используются показатели, получаемые двумя путями:

1. Путем измерений [7]:

- d, см – диаметр клапана при максимальном его раскрытии, см. Измеряется с помощью УЗИ.
- V лин., см/с – скорость линейная потоков Е и А через митральный клапан, см/с. Измеряется с помощью датчика Допплера.

- TP, с – длительность сегмента TP, с. Измеряется на основе ЭКГ.

- PQ, с – длительность интервала PQ, с. Измеряется на основе ЭКГ.

2. Путем расчета:

- S, см² – площадь клапана при максимальном его раскрытии, см². Рассчитывается по формуле $\pi \times D^2 / 4$.

- V об., см³/с – скорость объемная потоков E и A за 1 секунду, см³/с. Рассчитывается по формуле V лин. × S.

- Q1, см³ – объем крови через митральный клапан за время TP. Рассчитывается по формуле V об. × TP. Представлен с использованием интегрального показателя 0,3.

- Q2, см³ – объем крови через митральный клапан за время PQ. Рассчитывается по формуле V об. × PQ. Представлен с использованием интегрального показателя 0,3.

- Σ Q, см³ = суммарный объем крови через митральный клапан за время TP+PQ.

- МОК, л/мин = минутный объем крови. Рассчитывается по формуле Σ Q × ЧСС.

Показатели снимали в положении обследуемых стоя (контроль) и после ФН (опыт), в качестве которой использовали приседания (по Мартине) в сочетании с произвольной остановкой внешнего дыхания на вдохе (по Штанге) до отказа.

Результаты представлены в виде среднего арифметического показателя (M) и стандартного отклонения (SD). Значения рассчитывали при помощи пакета прикладных программ Excel 2018. При обработке результатов использовали метод парных сравнений по критерию знаков z. Уровень значимости различий $p \leq 0,05$ [8, 9].

Результаты и обсуждение

Результаты, полученные в контроле

Из таблицы видно, что диаметр (d) митрального клапана (см) на максимуме его раскрытия и площадь (S) митрального клапана (см²) нахо-

дятся практически на одном уровне в пределах ошибки метода.

Линейная скорость потока E до нагрузки колеблется в среднем от 65 до 68 см/с. То же самое относится и к линейной скорости форсированного потока A: в группах с проявлением бради- и нормокардии колеблется в пределах от 37 до 39 см/с. Однако в группе с тахикардией этот показатель выше примерно на 1/3. Объемные скорости потоков E и A находятся практически на одном уровне независимо от кардиотипа.

Сушественно от одной группы к другой снижаются длительности сегмента TP, который на ЭКГ отражает электрическую диастолу. Длительности интервала PQ, отражающего электрическую систолу ЛП, практически одинаковы во всех трех группах кардиотипов.

Как видно из таблицы, объем свободного потока E за время диастолы (сегмента TP) максимален при брадикардии и минимален при тахикардии.

Показатели объема форсированного потока A за время систолы ЛП (интервала PQ) находятся практически на одном уровне, независимо от кардиотипа. Таким образом, общий объем транзитного кровотока снижается обратно пропорционально увеличению ЧСС от брадикардии к тахикардии.

Представляет интерес вклад доли потоков E и A в общий поток (рисунок).

Из рисунка видно, что по мере увеличения ЧСС доля форсированного потока A возрастает. Соответственно, доля свободного потока E уменьшается.

Минутный объем кровотока (МОК) в группах с бради- и нормокардией находится на одном уровне, в то время как в группе с проявлением тахикардии этот показатель снижается в 1,5 раза.

Результаты, полученные в опыте

В отличие от контроля, ФН вносит существенное изменение в показатели работы сердца.

Линейная скорость свободного потока E при брадикардии увеличивается в 1,3 раза, при нормокардии – осталась на уровне контроля, при тахикардии – уменьшилась в 5 раз. Линейная скорость форсированного потока A увеличилась во всех трех группах: при брадикардии – в 1,3 раза, при нормокардии – в 1,8 раза, при тахикардии – в 2 раза. Объемные потоки повторяют динамику линейных скоростей.

С увеличением ЧСС наблюдается

Таблица – Объем кровотока через митральный клапан с учетом ФН и кардиотипа человека (M±SD)

Table – The volume of blood flow through the mitral valve, taking into account functional loads and the human cardiotype (M±SD)

Показатели	Брадикардия		Нормокардия		Тахикардия	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
d, см	2,7±0,3	2,7±0,3	2,78±0,17	2,78±0,17	2,5±0,5	2,5±0,5
V лин. E, см/с	65±9	85±24	65±13	59±45	68±22	13±30
V лин. A, см/с	37±9	49±22	39±12	73±23	51±13	98±29
TP, с	0,66±0,27	0,29±0,18	0,35±0,14	0,12±0,08	0,18±0,09	0,06±0,05
PQ, с	0,11±0,03	0,11±0,05	0,13±0,04	0,12±0,04	0,13±0,03	0,11±0,03
S, см ²	5,87±1,19	5,87±1,19	6,09±0,76	6,09±0,76	5,19±2,08	5,19±2,08
V об. E, см ³ /с	372±113	533±200	383±86	347±269	318±158	105±262
V об. A, см ³ /с	207±62	302±134	235±82	438±143	243±120	480±198
Q 1, см ³	72,9±32,1	39,6±20,7	42,6±23,7	16,5±16,8	18,3±15,6	3,6±8,4
Q 2, см ³	7,2±4,2	10,8±7,8	9,3±4,5	17,4±8,1	9,6±5,1	15,9±6,9
Σ Q, см ³	80,1±33,3	50,4±24,6	51,6±26,7	33,9±16,2	27,9±19,5	19,5±10,8
ЧСС уд/мин	50±10	90±27	74±12	112±17	100±19	139±23
МОК л/мин	4±0,4	4,5±0,8	3,8±0,3	3,7±0,4	2,7±0,4	2,7±0,3



Рисунок - Относительное значение потоков E и A (%) от общего потока

Figure - Relative value of flows E and A (%) of the total flow

снижение времени электрической диастолы (сегмента TP) во всех трех группах, в группе с проявлением тахикардии практически до нулевого уровня. Длительность электрической систолы (интервал PQ) осталась на уровне контроля независимо от кардиотипа.

Объем свободного потока E за время TP уменьшается в 1,8 раза при брадикардии, в 2,6 раза – при нормокардии, в 5 раз – при тахикардии. Объем форсированного потока A за время PQ увеличивается во всех случаях – в 1,5; 1,9 и 1,7 раза, соответственно. Общий объем кровотока за время диастолы и систолы уменьшается примерно в 1,5 раза во всех трех группах.

Доля свободного потока E в общем потоке практически исчезает (рисунок).

МОК после ФН остается на уровне контроля независимо от кардиотипа.

Таким образом, не только в контроле проявляется зависимость транспорта крови через ми-

тральный клапан, но и его изменение в ответ на ФН. Общий объем трансмитрального кровотока тем больше, чем ниже ЧСС. С повышением электрической диастолы (сегмента TP) понижается возбудимость миокарда. При ФН такая зависимость сохраняется. Длительность элемента PQ ЭКГ не различалась по группам и в зависимости от влияния ФН. Но объемы потока крови, проходящие за время длительности PQ, заметно различались. Во всех трех группах они (Q2) увеличивались, что, вероятно, связано с увеличивающейся мощностью сокращения миокарда в период систолы предсердий.

Приведенные в работе результаты исследований внутрисердечного кровотока свидетельствуют о зависимости важнейших свойств сердечной мышцы от кардиотипа и действия ФН. Хронотропные свойства проявляются в динамике ЧСС, инотропные – в сократительной работе левого предсердия, электрические свойства – в длительности элементов ЭКГ.

Скоростные и объемные показатели внутрисердечного кровотока отчетливо демонстрируют зависимость от нейрогуморальных влияний с преобладанием парасимпатических в случае брадикардии и с преобладанием симпатических при тахикардии и ФН. Наиболее ярким примером этих взаимосвязей служат показатели электрических свойств миокарда – длительности сегментов TP и интервалов PQ.

Выводы

1. По абсолютной величине объем кровотока через митральный клапан сердца человека увеличен при брадикардии и уменьшен при тахикардии.
2. По относительной величине в ряду от брадикардии к тахикардии и от условий без ФН к условиям с применением ФН нарастает доля потока E. Доля потока E, соответственно, снижается.

Литература

1. Агаджанян, Н. А. Проблемы адаптации и учение о здоровье / Н. А. Агаджанян, Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – Москва : Изд-во РУДН, 2006. – 284 с.
2. The Cardiovascular System : Basic Science and Clinical Conditions / A. Noble [et al.]. – 2nd ed. – Edinburgh : Elsevier Churchill Livingstone, 2010. – 184 p.
3. Cardiac Output During Submaximal and Maximal Work / P. O. Astrand [et al.] // J Appl Physiol. – 1964. – Vol. 19, № 2. – P. 268-274. – doi:10.1152/jap-1964.19.2.268.
4. Textbook of Work Physiology : Physiological Bases of Exercise / P. O. Astrand [et al.]. – 4th ed. – Champaign, IL : Human Kinetics, 2003. – 650 p.
5. Действие физической нагрузки на объем кровотока через митральный клапан сердца человека / Л. И. Иржак [и др.] // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2: Биология. Геология. Химия. Экология. – 2023. – № 1 (25). – С. 6-11.
6. Спицин, А. П. Особенности центральной гемодинамики у лиц молодого возраста в зависимости от отличий фактической частоты сердечных сокращений / А. П. Спицин, Н. Е. Кушкова, Е. В. Колодкина // Здоровье населения и среда обитания. – 2018. – № 7 (304). – С. 27-30. – doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-27-30. – edn: XUZYYP.
7. Шиллер, Н. Б. Клиническая эхокардиография / Н. Б. Шиллер, М. А. Осипов. – Москва : МЕДпресс-информ, 2021. – 344 с.
8. Z-критерий, как оптимальный параметр оценки эхокардиографических размеров корня аорты в норме и патологии / А. С. Рудой [и др.] // Медицинский журнал. – 2015. – № 1 (51). – С. 132-139. – edn: TJXLQL.
9. Унгурияну, Т. Н. Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях / Т. Н. Унгурияну, А. М. Гржибовский // Экология человека. – 2011. – № 5. – С. 55-60. – edn: NRDBMN.

References

1. Agadzhanjan NA, Baevskij RM, Berseneva AP. *Science about health and adaptation problems*. Moscow: RUDN Publisher; 2006. 284 p. (Russian).
2. Noble A, Johnson R, Thomas A, Bass P. *The Cardiovascular System: Basic Science and Clinical Conditions*. 2nd ed. Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone; 2010. 184 p.
3. Astrand PO, Cuddy TE, Saltin B, Stenberg J. Cardiac Output During Submaximal and Maximal Work. *J Appl Physiol*. 1964;19(2):268-274. doi:10.1152/jap-1964.19.2.268.
4. Astrand PO, Rodhal K, Dahl HA, Stromme SB. *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2003. 650 p.
5. Irzhak LI, Russkikh NG, Ignatova AN, Dudnikova EA. Deystvie fizicheskoy nagruzki na obem krovotoka cherez mitralnyj klapan serdca cheloveka. *Syktvykar university bulletin. Series 2: Biology. Geology. Chemistry. Ecology*. 2023;1(25):6-11. (Russian).
6. Spitsyn AP, Kushkova NE, Kolodkina EV. Features of central hemodynamics of young adults depending on variations of actual heart rate. *Public Health and life environment*. 2018;7(304):27-30. doi: 10.35627/2219-5238/2018-304-7-27-30. edn: XUZGYP. (Russian).
7. Shiller NB, Osipov MA. *Clinical echocardiography*. Moscow: MEDpress-inform; 2021. 344 p. (Russian).
8. Rudoy AS, Uryvayev AM, Litvinenko AM, Deneshchtsuk YuS. Z-criteria as evaluation parameter as optimal echocardiographic aortic root size norm and pathology. *Medical journal*. 2015;1(51):132-139. edn: TJXLQL. (Russian).
9. Unguryanu TN, Grijbovski AM. Brief recommendations on description, analysis and presentation of data in scientific papers. *Human Ecology*. 2011;5:55-60. edn: NRDBMN. (Russian).

STUDY OF BLOOD FLOW THROUGH THE MITRAL VALVE OF THE HUMAN HEART WITH CONSIDERATION OF CARDIOTYPE AND IN CONNECTION WITH FUNCTIONAL LOADS

E. A. Dudnikova, A. N. Ignatova, L. I. Irzhak, N. G. Russkikh, A. A. Fokin
Syktvykar State University, Syktvykar, Russian Federation

Background. Studies of the cardiovascular system originated in the 60s of the last century, including the work of P. O. Astrand, according to which, with extreme functional loads (FL), accompanied by maximum heart rate, stroke volume (SV) decreases. The study of the mechanism of this effect requires the use of a complex of electro- and echocardiographic methods.

The purpose of this work is to determine the dependence of electrocardiographic and echocardiographic parameters on cardiotype and physical activity.

Material and methods. The study involved 30 males aged 18 to 32 years. Based on the heart rate indicators in the controls, which were determined by the electrocardiogram (ECG), the participants were divided into three groups: bradycardia (9 people) – 60 or less beats/min, normocardia (9 people) – 61-80 beats/min, tachycardia (12 people) – more than 80 beats/min. The indicators were taken in the standing position (controls) and after exercise (experimental group) – squats (according to Martine) in combination with an arbitrary cessation of external respiration on inspiration (according to Stange) as long as one could.

Results. The lower was the heart rate, the greater was the total volume of the transmitral blood flow. With an increase in electrical diastole (TR segment), myocardial excitability decreased. With FL, this dependence persisted. The duration of the PQ ECG element did not differ between groups and depending on the effect of physical activity. But the volumes of blood passing during the duration of PQ varied markedly. In all three groups, they increased, which was probably due to the increasing power of myocardial contraction during atrial systole.

Conclusions. In terms of absolute value, the volume of blood flow through the mitral valve of the human heart is increased in bradycardia and reduced in tachycardia. In terms of relative value, in the series from bradycardia to tachycardia and from conditions without exercise to conditions with the use of exercise, the proportion of flow A increases. The share of flow E decreases accordingly.

Keywords: mitral valve, electrocardiogram, echocardiography, blood flow volume, cardiotype, functional load.

For citation: Dudnikova EA, Ignatova AN, Irzhak LI, Russkikh NG, Fokin AA. Study of blood flow through the mitral valve of the human heart with consideration of cardiotype and in connection with functional loads. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2023;21(2):133-136. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2023-21-2-133-136>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Соответствие принципам этики. Исследование одобрено локальным этическим комитетом.

Conformity with the principles of ethics. The study was approved by the local ethics committee.

Об авторах / About the authors

Дудникова Екатерина Александровна / Dudnikova Ekaterina, e-mail: dudka81@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2347-309X

Игнатова Александра Николаевна / Ignatova Alexandra, e-mail: sandraign@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7297-3395

*Иржак Лев Исакович / Irzhak Lev, e-mail: irzhak31@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3459-7848

Русских Надежда Геннадьевна / Russkikh Nadezhda, e-mail: rung76@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4413-8258

Фокин Андрей Александрович / Fokin Andrey, e-mail: fokin.90@inbox.ru, ORCID: 0000-0002-2038-2515

* – автор, ответственный за переписку / corresponding author

Поступила / Received: 23.01.2023

Принята к публикации / Accepted for publication: 21.03.2023