

THE MECHANISMS OF DOSED FILLING OF ALL CHAMBERS OF THE HEART WITH BLOOD DURING EACH CARDIAC CYCLE

Kolesinskaya R.

MD, PhD, Associate Professor

*S.D. Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Ministry of Health
Of the Republic of Kazakhstan, Street Tole bi, 88, Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan*

МЕХАНИЗМЫ ДОЗИРОВАННОГО НАПОЛНЕНИЯ ВСЕХ КАМЕР СЕРДЦА КРОВЬЮ, ВКЛЮЧАЯ ПОЛОСТИ УШЕК СЕРДЦА, В ТЕЧЕНИЕ КАЖДОГО КАРДИОЦИКЛА

Колесинская Р.Д.

кандидат мед. наук, доцент

*РГППХВ «Казакский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова» Министертства здравоохранения Республики Казахстан,
ул. Толе би, 88, Алматы, 050000, Республика Казахстан
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10899398>*

Abstract

The research paper outlines findings of the cardiac cycle analysis (heart cycle). The cardiac cycle described in the paper demonstrates activity through curves reflecting pressure changes in the left and right heart cavities during one cardiac cycle. The research revealed that paired chambers are filled synchronically (simultaneously) in structures of each pair— left and right atria, left and right ventricles. The filling mechanisms differ for each pair.

Аннотация

В статье изложены результаты анализа сердечного цикла (кардиоцикла). Кардиоцикл в копии кимограммы показывает работу через кривых изменений давления в полостях левого и правого отделов сердца в течение одного кардиоцикла. Выявлено, что кровенаполнение парных камер осуществляется синхронно (одновременно) и в полости каждой пары: левое - правое предсердия; левый - правый желудочки; полости левого – правого ушек сердца. Механизмы кровенаполнения разные у каждой пары.

Keywords: adjacent chambers; septal motion; interventricular septum; pressure gradients.

Ключевые слова: смежные камеры; движения перегородок; межжелудочковая перегородка; градиенты давления.

Введение

Несмотря на колоссальное количество работ, посвященных исследованию деятельности сердца, нерешенные проблемы, связанные с работой данного органа, возникают вновь и вновь. Этот факт свидетельствует о том, что сердце уникальный орган. Нередко при внедрении новых приборов в клиническую практику открывались особенности изучаемых органов, о которых специалисты ранее не знали, или знали, но не придавали им должного значения. Так, хирурги-кардиологи, применив эхокардиографию (УЗИ сердца) с целью непрерывного наблюдения за состоянием сердца во время операции на этом органе, обнаружили, что причиной раннего послеоперационного осложнения является **остановка движений межжелудочковой перегородки (МЖП)** [1,2]. Доктора тут же разработали целенаправленное лечение и получили хороший результат.

Физиологи в ответ на данную информацию провели исследование по выявлению роли движений МЖП в здоровом сердце. Результаты исследования показали, что в течение кардиоцикла наблюдаются движения не только МЖП, но и обе атриовентрикулярные перегородки (АВП) смещаются в виде выпячивания или втягивания в сторону смеж-

ной камеры. В полости, куда смещается перегородка, ёмкость уменьшается, что сопровождается повышением давления, а в камере, из которой перегородка выпячивается, всё наоборот – ёмкость увеличивается, давление падает, возникает всасывательный эффект.

Согласно правилам смежных камер баланс между артериальным выбросом и венозным возвратом сохраняется даже в тех случаях, когда сила сокращения левого желудочка внезапно изменяется и соответственно изменяется величина его УО [3].

Однако при попытке выявить механизмы изучаемых процессов обнаружено, что механическая часть деятельности сердца мало изучена. В приведённом выше примере для выявления механизма формирования баланса между артериальным выбросом и венозным возвратом не достаёт информации о деятельности правого желудочка во время фазы изгнания. При изучении механизма наполнения парных камер сердца равными объёмами крови снова тормозил дефицит информации о кардиоцикле правого отдела сердца [4].

До настоящего времени при изучении кардиоцикла используются копии кимограмм, на которых цикл сердца представлен только левым отделом этого органа - учебное пособие «Функции сердца»

Г. Антони, 1986, [6, рис.17-25]. А так же классический учебник «Медицинская физиология» Артур Гайтон, Джон Холл, 2006 [5, рис. 9-5]. На обоих рисунках кроме регистрации кривых изменений давления в левом предсердии, левом желудочке, аорте и кривой изменения объёма левого желудочка, синхронно записаны ЭКГ и ФКГ, что позволило авторам – А. Гайтон и Д. Холл кардиоцикл ЛЖ в кимограмме разделить на фазы с помощью вертикальных линий.

Принятое в литературе описание последовательности фаз кардиоцикла приводится с указанием их длительности в долях секунды. При этом предполагается, что ПЖ якобы в точности дублирует действия ЛЖ, поэтому в описании кардиоцикла пишется часто не ЛЖ (единственное число), как это есть на самом деле, а желудочков. Кардиоцикл предсердий вовсе не упоминается и в таблицу не вставляется. На месте, где должно быть написано **систола предсердий**, пишется – период пресистолический – 0,1 сек. Время длительности систолы предсердий совпадает с написанным пресистолический, т.е. 0,1 сек.

Несмотря на общепринятое утверждение, что ПЖ якобы точно повторяет движения ЛЖ, в источниках учебной литературы появлялись в то время (1986) сообщения об особенностях цикла ПЖ. Так, в выше упомянутом учебном пособии описываются особенности цикла ПЖ и наличие фазовых расхождений между левым и правым желудочками, но в связи с тем, что, вероятно, значение и роль этих расхождений не были выявлены, то после описания особенностей цикла ПЖ, делается следующее заключение: «Все эти фазовые различия относительно невелики (порядка 10-30 мс) и практически не влияют на гемодинамику» [6, стр.77, рис.17-25]. Но если учесть, что эти различия не эпизодичны, а стационарные, т.е. переходят от цикла к циклу, то с данным заключением трудно согласиться. Тем не менее, чтобы принять или отклонить высказанное предположение необходимо тщательное изучение **полного кардиоцикла**. Следовательно, для этой цели требуется рисунок с синхронной (одновременной) записью показателей цикла не только левого отдела сердца, как на вышеописанных 2-ух рисунках, но и синхронная запись ещё 3-х показателей – кривые изменений давления в правом желудочке, правом предсердии и в лёгочной артерии, т.е. 3 показателя цикла правого отдела сердца. Итак, **необходима синхронная запись 9-ти элементов, характеризующих полный кардиоцикл, т.е. цикл всего сердца**. Такие записи кривых давления делаются с использованием катетеризации сердца и крупных сосудов.

Катетеризация сердца – это вставление катетера (полая гибкая трубка) в полость сердца через периферическую вену или артерию.

Впервые в мире в 1929 году выпускник Берлинского университета Вернер Форсман произвёл катетеризацию полости *собственного* правого предсердия. Катетер Форсман вставил в левую кубитальную вену и под контролем рентгена продвинул её до собственного правого предсердия. Применяя катетеризацию сердца на себе, а тем более на пациентах, Форсману категорически запретили, вплоть до увольнения с работы. Разработанный метод зондирования правого отдела сердца Форсман опубликовал. Применение катетеризации сердца по Форсману на пациентах начали американские физиологи в начале 40-х годов.

При катетеризации сердца катетер вставляется в периферическую вену и под контролем рентгена катетер доводят до правого предсердия, затем правый желудочек и лёгочный ствол. В левый желудочек катетер вводят через периферическую артерию в аорту, левый желудочек, левое предсердие, т.е. ретроградно.

В ~1948 г врач – хирург и рентгенолог Циммерман разработал одномоментную 4-камерную катетеризацию сердца. Через катетер вводят миниатюрные датчики давления: в правые желудочек и предсердие, в лёгочную артерию, а так же в левые желудочек и предсердие, аорту. Всего 6 датчиков, 7-ой датчик давления вводят в полость перикарда для регистрации кривой изменения объёма желудочков. Информация от датчиков по тонким проводкам направляется через усилитель в блок регистрации, где к 7-ми кривым изменения давления добавляют ещё 2-е записи, которые информацию о состоянии сердца снимают с помощью электродов с поверхности тела, - это ЭКГ и Фонокардиограмма. Их записывают, чтобы сопоставлять зубцы ЭКГ и колебания, вызванные тонами сердца на ФКГ с местом на кривых давления желудочков и временем открытия и закрытия полулунных клапанов аорты и лёгочной артерии.

Эти операции проводятся в специально оборудованных лабораториях, со строгим соблюдением специально разработанных правил. Выполняются эти операции с диагностической и лечебной целью. **У лиц со здоровым сердцем катетеризация этого органа не проводится**, согласно с морально этическими нормами. В тоже время кривые изменения давления и объёма для анализа нормального сердечного цикла должны быть записаны у пациента с заведомо здоровым сердцем, с синхронной регистрацией 9-ти показателей, характеризующих циклическую деятельность обоих отделов сердца. Эта процедура довольно рискованная и трудная, как с морально этической точки зрения, так и методической (технической) стороны.

Учитывая, описанные барьеры, которые выявлялись по мере разработки и применения разных способов катетеризации сердца, можно предположить, что копии кимограмм с синхронной записью 9-ти показателей цикла могут быть размещены в ранее изданных источниках научной и учебной литературы. Целенаправленный поиск дал быстрый результат. Рисунок с копией необходимой кимограммы нашёлся в учебнике «Физиология человека» Под редакцией чл-кор. АМН СССР Г.И. Косицкого издание третье, переработанное и дополненное (2-ое вышло в 1972 г.). Москва «Медицина» 1985. 544 с., ил.

В учебнике на стр. 252 расположен Рис. 125. В тексте учебника на той же 252 стр. написано: «Пример регистрации фаз сердечного цикла приведён на рис.125. Кривые записаны при частоте сердечных сокращений 75 в минуту. В этом случае общая длительность сердечного цикла – систола, диастола, пауза – равна 0,8 с.». Далее продолжается описание фаз сердечного цикла. На основании приведённых цитат можно заключить следующее: редакторы учебника довольно убедительно утверждают, что **рис.125 есть копия кимограммы с синхронной записью показателей цикла обоих отделов сердца.**

Измерив, длительность периодов и фаз, можно составить таблицу. Вооружившись составленной таблицей и копией кимограммы с синхронной записью циклов правого и левого отделов сердца, т.е. полного кардиоцикла, приступаем к анализу кимограммы, изучению механизмов регуляции процессов, происходящих в течение кардиоцикла. При работе над копией кимограммы, автор статьи ни минуты не сомневалась, что кимограмма, с копией которой проводится работа, изготовлена в специализированной, хорошо оборудованной лаборатории специалистами высокого класса. И что используемая копия кимограммы отвечает требованиям к материалам, применяемым для анализа цельного (полного) кардиоцикла. Но редакторы журнала отклонили возможность использования копии кимограммы, взятую из учебника, в качестве материала для исследования. Желание найти убедительную правду в изложенном решении редакции журнала, а также отсутствие возможности приобрести подобный материал для исследования не изученных механизмов деятельности здорового сердца послужили стимулом для изучения истории становления методов прижизненного внутрисердечного исследования с помощью зонда (катетера) в Московских лечебных заведениях. С помощью компьютера найдено, что в 1950-51 гг. была создана группа, проводившая данные исследования под руководством проф. А.Н. Бакулева при кафедре факультетской хирургии 2-го Московского медицинского института. В 1953 г. доктор Мешалкин Е.Н. на этом материале защитил диссертацию на тему: «Ангиография у больных с врождёнными пороками сердца». Примерно в 1952 г. к этой группе присоединился проф. Бабский Е.Б., который в это время руководил физиологической лабораторией Центрального научно-исследовательского института протезирования и протезостроения. В научные интересы профессора входило создание новых аппаратов и приборов, а так же усовершенствование действующих. Позднее лаборатория была преобразована в лабораторию клинической физиологии при кардиохирургической клинике, руководимой А.Н. Бакулевым. В 1956 г. создаётся Институт грудной хирургии на базе 1-ой Градской клинической больницы. Академик Бакулев – создатель Института, он же стал его первым директором. Группа по внутрисердечным исследованиям работу продолжает в Институте. К нему присоединяют лабораторию клинической физиологии. Проф. Бабский Е.Б.

возглавил работу по созданию новых методик и приборов для изучения состояния сердечнососудистой системы и для изучения опорно-двигательного аппарата. Вот тут-то, вероятно, группой исследователей под руководством проф. Бабского Е.Б. была собрана и заработала установка для одномоментной 4-камерной катетеризации сердца.

Следовательно, группой исследователей руководили двое крупных учёных – академик Бакулев А.Н. хирургической частью работ и профессор Бабский Е.Б. физиологическим комплексом этих исследований.

В 1959 г. доктор Савельев В.С. на этом материале защитил докторскую диссертацию на тему: «Гемодинамика при врождённых пороках сердца». Заглавие диссертации напрямую свидетельствует о том, что установка для синхронной регистрации 9-ти показателей для каждого сердечного цикла работает здесь. Данное утверждение подкрепляется следующими событиями

В 1966 г. в Москве на базе рентгенологического отделения института грудной хирургии открыли лабораторию внутрисердечных методов исследования. Спустя 5 лет, в 1971г. лабораторию переименовали в отделение рентгенохирургических методов исследования и лечения сердца и сосудов, что свидетельствует о росте данного заведения. В эти годы в Москве других лабораторий подобного профиля не обнаружено.

Важно отметить, что в том же 1966 г. издание «Медицина» Москва выпустило учебник «Физиология человека» под редакцией Е.Б. Бабского с со-редакторами. Это 1-ое издание учебника. В этой книге на одной из страниц размещён рис. с копией кимограммы с синхронной записью показателей цикла не только левого, но и правого отделов сердца. Подпись рис. и пояснения в тексте те же, что и приведёны выше в 3-ьем издании учебника. Спустя 6 лет после выхода 1-го издания, т.е. в 1972 г., вышло 2-ое издание учебника «Физиология человека» под ред. Бабского с со-редакторами с теми же, что и 1-ое и 3-ье издания. Последнее, переработанное и дополненное, вышло, спустя 13 лет после выхода 2-го изд., но под ред. профессора Косицкого Г.И. Фамилия Бабский Е.Б. в чёрной рамке стоит первой в списке соавторов учебника.

Во всех 3-х выше перечисленных изданиях учебника в главе по физиологии кровообращения имеется выше упомянутый рисунок с размещённой на нём копией кимограммы. Причем фазы правого и левого желудочков вертикальными линиями отделены друг от друга. Подписи в рис. и разъяснения в тексте во всех 3-х изданиях одинаковы.

Измерение длительности фаз сердечного цикла это лишь начало, вернее подготовка рисунка к его расшифровке. Рисунок с кривыми, характеризующими полный кардиоцикл, позволяет получить полную информацию о кардиоцикле; выявить точные сведения о работе каждого из 2-х желудочков сердца, детали их взаимодействия; в частности о значении их фазовых расхождений, а также решить ряд вопросов, которые не поддаются решению без данных о цикле правого отдела сердца. Например,

изучить гемодинамическую регуляцию процессов, протекающих в течение кардиоцикла; раскрыть до конца работу механизма, поддерживающего равенство между венозным возвратом (правое предсердие) и артериальным выбросом (ЛЖ); выявить механизмы, обеспечивающие мгновенную и адекватную реакцию сердца на запросы метаболизма. В общем кимограмма с синхронной записью цикла обоих желудочков у человека со здоровым сердцем и сосудами содержит большое количество информации о деятельности самого сердца и может значительно расширить знания о принципах непрерывной работы здорового сердца в течение всей жизни человека.

Безусловно, это понимали и первообладатели обсуждаемого нами рисунка, но у них, вероятно, были другие цели и задачи, связанные с внутрисердечным исследованием гемодинамики. Об этом можно судить, исходя из названия тем, упомянутых выше, защищённых докторских диссертаций.

Выживаемость рисунка с синхронной записью 9-ти кривых.

Первообладатели этой чрезвычайно ценной записи поступили **исключительно мудро**. Они подготовили кимограмму к анализу, снабдили её временным масштабом и разместили как рисунок в учебнике. Учебник переиздавался, и рисунок переходил из одного издания в другое и, наконец, оказался *востребованным*. Мы **должны** с благодарностью принять этот ценный подарок и постараться оправдать надежды исследователей, сделавших синхронную запись цикла обеих половин сердца и сумевших размножить и сохранить её в течение 55-и лет, более чем полвека. Следует учесть, что сроки перехода рисунка с кривыми изменений давления из одного издания учебника в другое приходят к концу. Так, в 2003г. учебник снова переиздан под редакцией профессоров В.М. Покровского и Г.Ф. Коротько [7]. Рис. с кимограммой сохранился и в этой книге, но **без временного масштаба**, что осложняет возможность применения этой кимограммы для фазового анализа сердечного цикла. А в следующем издании может не быть и самого рисунка в переизданном, переработанном и дополненном учебнике.

Вот почему мы дорожим копией этой кимограммы, очень хотелось бы, что бы эксперты, внимательно осмотрев копию кимограммы, увидели бы в ней, то огромное богатство информации, каким она обладает. И признали бы эту копию ценным документом, вполне соответствующим для анализа полного кардиоцикла. «Полный» кардиоцикл мы понимаем как исключительно согласованное взаимодействие циклов обоих отделов сердца, создающее «единую функциональную систему, деятельность каждого элемента которой направлена на достижение конечного результата, полезного для системы и для всего организма» (П.К. Анохин, 1979.[8]). Согласованное взаимодействие обоих отделов сердца четко отражено в копии рисунка, который использовался для анализа. А в тексте дан-

ной работы просматривается расшифровка механизмов и процессов, с помощью которых происходит взаимодействие между левым и правым отделами сердца.

Итак, начиная от изучения роли движений МЖП в здоровом сердце, дошли до необходимости изучения процессов полного сердечного цикла, т.е. с участием и взаимодействием левого и правого отделов этого органа.

Цель исследования – изучить сердечный цикл (кардиоцикл), используя копию кимограммы, на которой синхронно зарегистрированы 9 кривых показателей кардиоцикла левого и правого отделов здорового сердца. На основе полученных данных составить таблицу. Пользуясь таблицей и приобретённой кимограммой, попытаемся выявить механизмы процессов, происходящих в течение одного кардиоцикла.

Материал. В качестве материала для исследования использована копия кимограммы (далее кимограмма), характеристика которой изложена выше во введении. Взята кимограмма из учебника «Физиология человека», где эта копия приведена как пример регистрации фаз сердечного цикла. В учебник кимограмму поместил проф. Е.Б. Бабский (с соредакторами) в 1966 году, это 1-ое изд. учебника. Затем книга переиздавалась, и рисунок с копией кимограммы на нём переходил из одного издания в другое без изменений.

Исторические данные, приведённые во введении статьи, убедительно доказывают, что кимограмма записана у взрослого человека со здоровым сердцем в хорошо оборудованной лаборатории с соблюдением всех её правил, и, что запись отвечает требованиям к материалу, используемому для исследования полного кардиоцикла.

Методы: при анализе кимограммы использовали правила смежных камер, какими являются камеры сердца; законы гидродинамики, где это можно; собственный многолетний опыт проведения острых экспериментов на животных с регистрацией нескольких (от 4-х до 8-ми) показателей сосудистой системы, дыхания, отметки раздражения и времени с последующим анализом кимограммы. Запись велась на ленте кимографа. Как методы научного исследования использовали приёмы индукции и дедукции, а также современные данные по изучению электрических свойств возбудимых тканей

Результаты: кимограмма с синхронной записью целого (полного) кардиоцикла, то есть с одновременной записью 9-ти кривых - показателей цикла обоих (левого и правого) отделов сердца, позволяет детально изучать процессы, составляющие кардиоцикл, и выявлять механизмы их осуществления.

В этом легко убедиться путем проведения фазового анализа кимограммы с 9-тью кривыми-показателями полного кардиоцикла и с временным масштабом в рисунке. Во время фазового анализа очень поможет таблица, изготовленная согласно данным анализируемого рисунка.

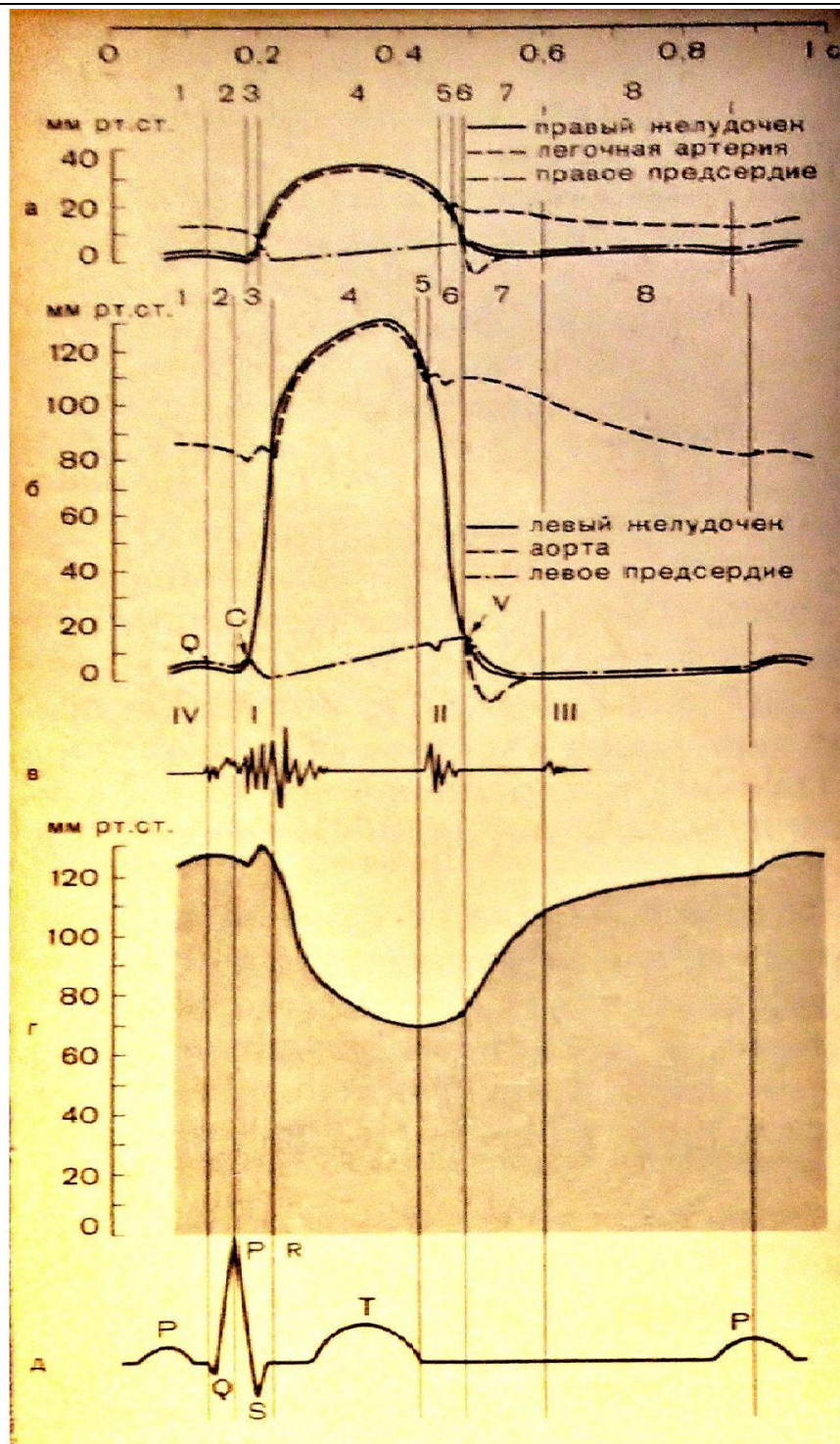


Рис.1. Схематизированные кривые изменений давления в правом (а) и левом (б) отделах сердца; тонов сердца (в); объема желудочков (г) и электрокардиограмма (д).

I – IV – тоны ФКГ; 1- фаза систолы предсердий; 2 – фаза асинхронного проведения ПД к желудочкам по ПСС; 3 – фаза изоволюметрического напряжения желудочков; 4 – фаза изгнания; 5 – протодиастолический период; 6 – фаза изоволюметрического расслабления желудочков; 7 – фаза быстрого наполнения желудочков; 8 – фаза медленного наполнения желудочков.

Таблица 1

Длительность периодов и фаз в долях сек. кардиоцикла желудочков, левого и правого отдельно, и предсердий.

Периоды, фазы желудочков	желудочки		Периоды, фазы предсердий	Сек.
	Левый секунды	Правый секунды		
Пресистола желудочков: а) Проведение ПД от СА узла к АВ Узлу	ПД СА УЗЛА и рецепторов		Пресистола предсердий Возбуждение КМЦ УС и предсердий	0,03
	0,03	0,03		
б) Наполнение желудочков кровью за счёт энергии систолы предсердий	0,1	0,1	СИСТОЛА УС и предсердий	0,1
в) Асинхронное проведение возбуждения к желудочкам по ПСС	0,04	0,06	Протодиастола а) Расслабление б) Закрытие АВ клапанов.	0,04
СИСТОЛА желудочков:	0,28	0,3	ДИАСТОЛА предсердий:	0,72
1. Изоволюметрическое напряжение желудочков	0,06	0,02	Наполнение УС кровью Открытие полулунных клапанов ПЖ, затем ЛЖ	0,04 0,02
2. Изгнание крови из желудочков	0,22	0,28	Всасывание крови в предсердия	0,24
ДИАСТОЛА желудочков Протодиастола ЛЖ Продолжение изгнания крови из ПЖ	0,02	0,02+0,01	Всасывание крови в предсердия	0,02
Изоволюметрическое расслабление ЛЖ Протодиастола ПЖ Изоволюметрическое расслабление ПЖ	0,06	0,02 0,01	Всасывание крови в предсердия	0,06
Быстрое затем медленное наполнение сердца кровью	0,12 + 0,30	0,12 + 0,28	Быстрое затем медленное пассивное перетекание крови из предсердий в желудочки	0,12+ 0,28

ПД САУ – потенциал действия синоатриального узла; КМЦ – кардиомиоцит; УС – ушки сердца; ПСС – проводящая система сердца; АВ – атриовентрикулярный или предсердножелудочковый; ЛЖ – левый желудочек; ПЖ – правый желудочек

1. Фазовый анализ кимограммы с синхронной записью 9-ти показателей кардиоцикла обоих (левого и правого) отделов сердца

1.1. Систола предсердий и ушек сердца. 3-ий, заключительный этап наполнения желудочков кровью.

Первым процессом при каждом повторе кардиоцикла является систола предсердий и их ушек. Систола этих структур вызывается потенциалом действия (ПД), который формируется в пейсмекерных клетках САУ и распространяется в пресистолический период (табл.1) на рабочие КМЦ ушек сердца (УС) и предсердий. Сначала сокращается миокард УС, вызывая в их полостях повышение давления, при этом кровь изгоняется из ушек в соответствующие предсердия. При систоле предсердий кровь под давлением выбрасывается в желудочки, дополняя их до их КДО (конечного диастолического объёма). При этом полости предсердий и ушек сердца освобождаются для последующего их наполнения.

К моменту окончания систолы предсердий и УС начинается снижение давления в полостях этих

структур, что обусловлено не только уменьшением количества крови в них, но также свидетельствует о развитии протодиастолического периода.

1.2. Протодиастола ушек сердца и предсердий. Закрытие АВ клапанов.

Фаза протодиастолы характеризуется интенсивным расслаблением волокон миокарда, что сопровождается снижением давления в камерах и возникновением всасывательного эффекта в их полостях. Всё это притягивает кровь в предсердия и в УС не только из приносящих сосудов, но и из желудочков. Но ретроградный ток крови из желудочков в предсердия неизбежно поднимает створки АВ клапанов, **закрывая АВ отверстия в обеих АВ перегородках.** Створки АВ клапанов не могут открыться в сторону предсердий, так как удерживаются сухожильными нитями, идущими от сосочковых мышц, заложенных в миокарде желудочков, и плотно прикреплены другим концом к створкам клапана со стороны желудочков. Итак, АВ клапаны открываются под влиянием давления только со стороны предсердий, обеспечивая движение крови в сердце только в одном направлении от предсердий к желудочкам.

1.3. Фаза изоволюметрического (систолического) напряжения

систола левого желудочка. Синхронное и активное наполнение обоих ушек сердца

Почти одновременно с закрытием АВ-ых клапанов, но после полного завершения систолы предсердий и их ушек, начинается фаза систолического напряжения систолы пока только ЛЖ, так как ПД, приходит от САУ по проводящей системе сердца (ПСС) к рабочим КМЦ миокарда ЛЖ раньше, чем к ПЖ (**1-ое фазовое расхождение желудочков**).

Под влиянием ПД происходит возбуждение КМЦ, а вслед за ним первая фаза систолы левого желудочка – фаза изоволюметрического (систолического) напряжения. В это время оба желудочка наполнены кровью, а клапаны их все закрыты – АВ клапаны уже закрыты, полулунные клапаны ещё не открыты.

Кровь, будучи жидкостью, не сжимается, поэтому во время 1-ой фазы систолы желудочков кровь препятствует мышечным волокнам укорачиваться. Поэтому в 1-й фазе систолы желудочков, в фазе изоволюметрического напряжения вызванной ПД САУ, изменяется не столько длина мышечных волокон, сколько их толщина, т.е. в большей степени работает напряжение мышечных волокон, что сопровождается увеличением их толщины и увеличением давления в ЛЖ.

Увеличение напряжения мышечных волокон происходит за счёт уменьшения пространства между волокнами.

Напряжение мышечных волокон ЛЖ сопровождается повышением давления в его полости, при этом образуется положительный градиент давления между ЛЖ и смежными с ним камерами (левое предсердие и правый желудочек). Под влиянием разности давлений происходит быстрый сдвиг в виде смещения левой АВ перегородки в собственное предсердие, а МЖП выпячивается в правый желудочек, повышая в нём давление. Под влиянием повысившегося давления в ПЖ происходит сдвиг в виде выпячивания правой АВ перегородки в правое предсердие. В предсердиях под влиянием отмеченных сдвигов АВ перегородок повышается давление, что отражено в кимограмме на кривых давления обоих предсердий в виде волны «С» (рис.1). Кроме того, повышению давления в предсердиях способствует встречный кровоток, поступающей в предсердия крови по приносящим венам. Поднявшаяся волна крови в обоих предсердиях быстро заполняет ушки сердца через предсердно-ушковую щель.

Наполнению ушек сердца (УС) кровью способствует также ряд обстоятельств, имеющих в момент наполнения этих структур. К ним относятся: - диастолическое расслабление миокарда предсердий и ушек сердца, что **понижает давление в их полостях**; 2. Гребёчатые мышцы ушек, расслабляясь, увеличивают ёмкость полости ушек, что ещё больше снижает в них давление и создаёт в ушках всасывательный эффект [9], [10]. Все перечисленные факторы способствуют наполнению кровью ушек сердца и предсердий.

1.4. Фаза изоволюметрического напряжения систолы правого желудочка. Открытие полулунного клапана лёгочной артерии, что вынуждает ПЖ к мгновенному переходу на фазу изгнания крови из его полости в МКК

На фоне продолжающейся фазы изоволюметрического напряжения систолы ЛЖ к миокарду ПЖ по ПСС подходит ПД САУ и распространяется на рабочие КМЦ ПЖ, активируя их. При начавшейся систоле в ПЖ давление в нём быстро повышается, что отчетливо видно на кривой изменения давления в ПЖ на рис.1, цифрой 3 между вертикальными линиями обозначена фаза изоволюметрического (систолического) напряжения. Длится она в ПЖ всего лишь 0,02 с, тогда как эта фаза в ЛЖ забирает ~0,06 с, то есть фаза систолического напряжения в ЛЖ длится более, чем в 2 раза дольше, чем в ПЖ

Большая разница во времени протекания систолической фазы в желудочках объясняется тем, что до начала обсуждаемой фазы давление в ПЖ уже было несколько повышено за счёт градиента давления, образованного ранее ЛЖ. Поэтому в начале систолы в ПЖ давление в нём, повышаясь, быстро доходит до уровня, превышающего величину давления в лёгочной артерии. Под влиянием разности давлений полулунный клапан лёгочной артерии быстро открывается (вынужден открыться) и кровь из ПЖ выбрасывается в эту артерию, по ней кровь направляется к центру Малого (Лёгочного) Круга Кровообращения (МКК), т.е. к альвеолам лёгких.

Итак, укорочение фазы напряжения в ПЖ, даёт ему (ПЖ) возможность (это единственный выход для ПЖ) перейти с фазы напряжения на фазу изгнания, **опережая ЛЖ**, что чрезвычайно важно, и вот почему. В противном случае ЛЖ со своим мощным миокардом подавил бы активность ПЖ.

1.5. Фаза изгнания в систоле правого желудочка. Синхронное кровенаполнение обоих предсердий.

С открыванием полулунного клапана в ПЖ начинается фаза изгнания крови из него в МКК. Миокард ПЖ **с силой, соответствующей величине заряда ПД**, выбрасывает кровь в лёгочный ствол (лёгочную артерию). В ЛЖ продолжается фаза систолического напряжения – **это 2-ое фазовое расхождение желудочков**.

Поскольку кровь из сосуда с большим поперечным сечением (желудочек) попадает под давлением в сосуд с меньшим поперечным сечением (лёгочный ствол), то, согласно уравнению Бернулли [9], кровь, попав в лёгочный ствол, течёт в нём с ускорением. С увеличением скорости течения крови в лёгочном стволе давление крови на стенки сосуда падает, создавая **отрицательный градиент давления** между выносящим сосудом и желудочком. Под влиянием этого градиента кровь из желудочка как бы вытягивается с определённой силой, которую можно назвать **силой тяги**, из желудочка в сосуд, «увлекая» за собой перегородки смежных камер – МЖП и обе АВП. Последние вместе с кровью сдвигаются в соответствующие желудочки,

при этом в предсердиях снижается давление и возникает **всасывательный эффект**, благодаря которому оба предсердия начинают наполняться кровью с одинаковой скоростью.

В то же время АВ перегородки, выпятившись вместе с кровью в соответствующие желудочки, повышают в них давление за счёт уменьшения их ёмкостей (площади поперечного сечения), что увеличивает скорость движения крови в лёгочной артерии и тем самым повышает силу тяги. Повышение давления происходит не только в ПЖ, но и в ЛЖ тоже, так как МЖП оттягивается (выпячивается) в сторону ПЖ под влиянием силы тяги, образовавшейся, (как выше отмечено) в этом желудочке.

В ЛЖ (он всё ещё находится в фазе систолического напряжения и наполняет синхронно оба ушка сердца – это продолжение **2-го фазового расхождения желудочков**). Давление в ЛЖ повышаясь за счёт погружения в него левой АВ перегородки, достигает уровня, превышающего уровень диастолического давления в аорте. Под влиянием этой разницы давлений открывается полулунный клапан аорты и ЛЖ, наконец, переходит с фазы систолического напряжения на фазу изгнания крови из ЛЖ в БКК. Такая же фаза в ПЖ продолжается.

1.6. Подключение фазы изгнания систолы левого желудочка к продолжающейся такой же фазе систолы правого желудочка. Продолжение синхронного наполнения обоих предсердий

С открыванием аортального клапана ЛЖ переходит на фазу изгнания вслед за ПЖ. С полной силой сокращения мышечных волокон миокарда ЛЖ начинает выброс крови в аорту. Далее происходят события по такому же ритму, как и в ПЖ, но с большей силой. Быстрое движение крови, выбрасываемой ЛЖ в аорту, порождает отрицательный градиент давления, сила тяги которого превышает аналогичную силу, сформированную правым отделом сердца. Поэтому дальнейшее наполнение обоих предсердий переходит за счёт энергии сокращения миокарда обоих желудочков, величина давления которых заставляет МЖП двигаться до тех пор, когда давление в желудочках определит равновесное состояние, т.е. оно становится одинаковым в каждом из желудочков. Его можно вычислить математически. В сердце равновесное состояние находит сама МЖП путём изменения величины сдвига.

По мере выброса кровь в желудочках убывает, давление в ЛЖ начинает снижаться раньше, чем в ПЖ, так как ЛЖ со своим мощным миокардом быстрее выбрасывает кровь в БКК и раньше ПЖ переходит на фазу протодиастолы.

1.7. Фаза протодиастолы левого желудочка. Закрытие аортального клапана

ЛЖ, опережая ПЖ, переходит на протодиастолический период – **4-ое фазовое расхождение желудочков**. В течение этого периода давление в ЛЖ начинает снижаться интенсивнее, а через $\sim 0,02$ с давление в аорте превышает давление в ЛЖ. Кроме того, мышечные волокна миокарда ЛЖ в этот период начинают расслабляться, создавая в желудочке отрицательное давление с появлением всасы-

вательного эффекта. Положительный градиент давления со стороны аорты и всасывательный эффект в ЛЖ **создают условия** для заполнения кармашков полулунного клапана аорты кровью, что оттягивает открытую вверху стенку карманчика к центральной части просвета аорты. Здесь оттянутые стенки каждого кармашка, которые, встречаясь друг с другом в центре просвета аорты, закрывают аортальный клапан. С закрытием аортального клапана **ЛЖ переходит на фазу -го расслабления**. В эту фазу 3 клапана сердца (оба АВ плюс аортальный клапаны) закрыты. В открытом состоянии остаётся лишь пульмональный клапан (он же правый полулунный клапан или клапан лёгочного ствола), через который ПЖ продолжает выбрасывать оставшуюся порцию крови в МКК.

В это же время ЛЖ переходит, как отмечено выше, на фазу диастолического расслабления – это **5-ое фазовое расхождение желудочков**. Но, спустя $\sim 0,02$ с в ПЖ начинается протодиастолический период на фоне фазы диастолического расслабления в ЛЖ – это **6-ое фазовое расхождение желудочков**. В ПЖ во время фазы протодиастолы изгнание крови в МКК продолжается до закрытия полулунного клапана общей лёгочной артерии (лёгочного ствола).

1.8 Фаза диастолического расслабления левого желудочка. Продолжение синхронного наполнения обоих предсердий и поддержания в открытом состоянии полулунного клапана ПЖ за счёт энергии расслабления миокарда ЛЖ.

В ЛЖ продолжается фаза диастолического расслабления. При этом в ЛЖ оба клапана (аортальный и левый АВ) закрыты, мышечные волокна миокарда ЛЖ интенсивно расслабляются, создавая отрицательное давление в желудочке, при этом возникает, как известно, всасывательный эффект. Под влиянием данного эффекта перегородки смежных камер (левая АВП и МЖП), часть их, втягиваются в полость ЛЖ, уменьшая в нём поперечное сечение. Вслед за МЖП в полость ПЖ втягивается правая АВ перегородка. Под влиянием перегородок, которые смещаются в сторону соответствующих желудочков, ёмкость желудочков (их поперечное сечение) уменьшается, а давление в них повышается. Повышение давления в ПЖ **поддерживает** в открытом состоянии полулунный клапан ПЖ, в результате поддерживается выброс крови из ПЖ в МКК.

В то же время смещение АВ перегородок в сторону желудочков сопровождается увеличением поперечного сечения (ёмкости) предсердий, что сохраняет в них всасывательный эффект – минимальная сила тяги. В результате, оба предсердия продолжают наполняться равными объёмами крови до конца фазы диастолического расслабления миокарда желудочков и начала фазы быстрого их наполнения.

В ПЖ скорость падения давления увеличивается с переходом его на фазы диастолы, что обусловлено началом расслабления мышечных волокон миокарда этого желудочка. Поэтому через короткий промежуток времени, равный $\sim 0,02$ с,

уровень давления в ПЖ становится ниже, чем в лёгочном стволе, что вызывает ретроградный ток крови в лёгочной артерии и закрытие полулунного клапана ПЖ. С закрытием полулунного клапана ПЖ переходит на фазу диастолического расслабления. ПЖ герметически закрыт, мышечные волокна миокарда ПЖ интенсивно расслабляются, при этом давление в ПЖ снижается, приближаясь к нулевой отметке, это и есть фаза изоволюметрического (диастолического) расслабления.

В результате, оба желудочка сошлись на одной фазе – окончание фазы диастолического (изоволюметрического) расслабления желудочков. У ПЖ эта фаза длится всего лишь $\sim 0,01$ с. Тогда как в ЛЖ длительность этой фазы составляет $\sim 0,06$ с.

Следовательно, в ПЖ удлиняется фаза изгнания крови за счёт укорочения в нём фазы диастолического (изоволюметрического) расслабления. Следует отметить, что время изгнания крови из ПЖ удлиняется ещё и потому, что ПЖ фазу изгнания начинает раньше ЛЖ, а завершает её позже ЛЖ. Важно отметить, что давление в обоих желудочках приближается к нулю, т.е. примерно одинаково.

В то же время оба предсердия с их ушками к концу этой же фазы, наполняются, как было отмечено выше, значительным количеством крови. В предсердиях давление становится выше, чем в желудочках. В силу разности давлений открываются АВ клапаны, и кровь из предсердий **пассивно** переливается в желудочки под влиянием собственной силы тяжести и подталкивания сзади кровью, притекающей по приносящим венам. Это происходит во время фазы 1.9.

1.9. Фаза быстрого наполнения желудочков.

В течение этой фазы оба желудочка наполняются примерно равными объемами крови. Наполнение желудочков в эту фазу происходит кровью из предсердий, где она накапливалась во время предыдущих фаз кардиоцикла. При анализе кимограммы выявлено, что в 4-х фазах (1.5 – 1.8) происходит синхронное наполнение обоих предсердий, в одной фазе (1.3) наполняются одновременно оба (левое и правое) ушки сердца. Вся кровь, наполнившая полости парных органов предназначена для пассивного синхронного и быстрого наполнения ею обоих желудочков сердца.

Следовательно, в фазу 1.9 быстрого наполнения желудочки получают кровь: левый желудочек из левого предсердия артериальную кровь, правый желудочек из правого предсердия венозную кровь. Оба желудочка наполняются примерно одинаковым количеством крови. В то же время предсердия и их ушки оказались опустевшими.

Но кардиоцикл ещё продолжается и желудочкам предстоят ещё 2 этапа (фазы) наполнения. Пассивное наполнение желудочков продолжается во время фазы медленного наполнения и, наконец, 3-ий активный этап наполнения желудочков осуществляется за счет энергии систолы предсердий. Под давлением, созданным систолой предсердий, желудочки наполняются до конечного диастолического объёма.

1.10. Фаза медленного наполнения желудочков кровью.

Стенки предсердия, будучи тоньше, чем у желудочка, по мере поступления крови в правое предсердие растягивают в нём мышечные элементы рабочих клеток, т.е. КМЦ миокарда правого предсердия, с его ушком, что повышает давление в данных структурах. Когда давление в правом предсердии достигает пороговой величины для пейсмекерных клеток синоатриального узла (САУ), клетки возбуждаются, то есть свойство возбудимости клеток превращается в процесс возбуждения. Возбуждение, в виде потенциалов действия (ПД), вылетает (вырывается) из пейсмекерных клеток (генераторов ПД), и эта энергия распространяется во все стороны, преимущественно на рабочие клетки - кардиомиоциты (КМЦ) миокарда сначала ушек сердца и предсердий, а за тем и желудочков. Но это уже новое повторение кардиоцикла. Начинается повтор кардиоцикла с систолы правого предсердия, как и у всех других участников циклической деятельности сердца. Оставим пока правое предсердие в качестве организатора нового повтора кардиоцикла и перейдём к итогам фазового анализа полного кардиоцикла.

1.11. Итог фазового анализа кимограммы с синхронной записью 9-ти кривых изменений давления в правом и левом отделах сердца.

Оба желудочка работают в рамках собственных программ. Но в тесном взаимодействии, взаимопомощи и согласованности.

Желудочковые расхождения обеспечивают возможность одновременного наполнения обоих парных органов за счёт одного источника энергии

С первых шагов анализа кимограммы становится понятным, что оба желудочка сердца работают в рамках собственных программ, о чём свидетельствуют 6 фазовых расхождений желудочков из 8 в течение кардиоцикла. Фазовые расхождения желудочков проявляются в том, что они начинают или оканчивают работу в разное время в одной фазе (фаза 1.4). Другой вид расхождения: – в одно и то же время параллельно желудочки работают в разных фазах (фазы 1.3 и 1.5).

Благодаря межжелудочковым расхождениям становится возможным: синхронное (одновременное) наполнение обоих ушек сердца за счёт энергии давления образованного в ЛЖ положительного градиента давления (ф. 1.3). Одновременное наполнение предсердий тоже равными объёмами крови обеспечивается силой тяги (1.5; 1.6) которая формируется в выносящих артериях (лёгочный ствол - ПЖ, аорта – ЛЖ) при образовании в них отрицательного градиента давления во время фазы изгнания в желудочках (ф.ф. 1.5; 1.6). Все описанные варианты легко координируют последовательность и удачно экономят время кардиоцикла. Кроме того, работа «распределяется» между желудочками сердца с учётом возможностей миокарда каждого из них. Такое распределение обязанностей между желудочками под силу лишь эволюционному развитию с участием естественного отбора.

Однако сердцу удалось это сделать с помощью координации, направленной на предоставление ПЖ с его слабым миокардом фаз или процессов, которые для своего исполнения не требуют сравнительно больших затрат физической энергии. Те процессы, которые для воспроизводства требуют больше физических усилий, выполняются ЛЖ с его мощным миокардом

Во время проведения фазового анализа кимограммы с синхронно записанными кривыми изменений давления в полостях структур всего сердца (полный кардиоцикл), чётко выявляются внутрисердечные регулируемые и регулирующие процессы: непрерывный однонаправленный ток крови в сердце; положительный (один) и отрицательные (три остальные) градиенты давления, а также жесткая координация последовательности процессов кардиоцикла. Особенно важна чёткая последовательность процессов в каждой из фаз в течение одного кардиоцикла, а ещё важнее и труднее, но необходимое 2-ухразовое изменение последовательности вхождения желудочков в фазу изгнания крови из желудочков в период непрерывной деятельности этой фазы.

Фазовый анализ кардиоцикла, процессы которого с синхронной записью 9-ти показателей кардиоцикла всего сердца убедительно доказывает и демонстрирует рисунок с синхронно записанными показателями кардиоцикла всего сердца, а не только левого его отдела. Что, в свою очередь, свидетельствует о том, что изготовлена она (кимограмма) специалистами высочайшего класса и в помещении, специально оборудованном для этой цели.

Значение жесткой координации последовательностей вхождения желудочков в фазы систолы желудочков.

Основой внутрисердечной гемодинамики являются градиенты давления и структуры необходимые для формирования и работы градиента давления.

К структурам, которые необходимы для воспроизведения процессов кардиоцикла относятся: 4 камеры – 2 предсердия и 2 желудочка, которые отделены друг от друга перегородками. Перегородка, общая для 2-ух соседних камер, объединяет эти структуры под названием **смежные камеры**. Каждая перегородка имеет своё название в зависимости от места её расположения, она (перегородка) имеет своё предназначение и вносит определённый вклад в осуществление процессов кардиоцикла. В сердце имеется 4 перегородки, как и камер. 3 из них – это 2-е (левая и правая) АВ перегородки и плюс к ним межжелудочковая перегородки (МЖП) обладают подвижностью. 4-ая перегородка межпредсердная (МПП) подвижностью не обладает, она стационарная.

Под подвижностью перегородок понимается их кратковременное смещение в виде выпячивания под влиянием более высокого давления в одной из смежных камер. При смещении перегородки давление в обеих смежных камерах изменяется на одинаковую величину, но с противоположными знаками:

– в камере, куда сместилась перегородка, давление повышается, что обусловлено уменьшением поперечного сечения (ёмкости) камеры; а в камере, из которой выдвинулась перегородка, давление снижается, так как ёмкость этой камеры увеличивается. Лишь межпредсердная перегородка (МПП), не обладающая подвижностью, не сдвигается, не выпячивается даже при большой разнице давлений в смежных предсердиях. Но благодаря стабильности МПП и мобильности остальных 3-х перегородок становится возможной передача энергии давления от ЛЖ сразу на обе АВ перегородки. Как это происходит, например, при синхронном наполнении обоих ушек сердца во время фазы изоволюметрического напряжения систолы ЛЖ. При этом происходит почти одновременный сдвиг обеих АВ перегородок в собственные предсердия, что вызывает повышение давления в этих камерах и, как следствие, синхронное наполнение кровью примерно равными объёмами обоих ушек сердца. (Подробности в 1.3). Сначала повтор нового кардиоцикла синхронно и примерно одинаковым количеством крови наполняются оба ушка сердца (фаза 1.3). В последующих фазах (фазы 1.5 – 1.8) наполняются кровью оба предсердия тоже синхронно и тоже примерно равными объёмами. Затем накопленная в предсердиях и в ушках сердца кровь переливается пассивно в желудочки (фаза 1.9). Во всех случаях кровенаполнения камер сердца этот процесс происходит синхронно в правой и левой камерах, за счёт энергии одного из желудочков, преимущественно левого желудочка. При этом парные камеры, в том числе и ушки сердца, (левое и правое) наполняются: правое предсердие и его ушко венозной кровью, левое предсердие и левое ушко примерно таким же количеством артериальной кровью. Таким образом, оба желудочка приходят к заключительной фазе медленного наполнения желудочков уже частично наполненными примерно одинаковыми объёмами крови.

Внутрисердечная гемодинамика в совокупности с градиентами давления и энергией возбуждения (ПД) клеток САУ запускают кардиоцикл желудочков, ПД к желудочкам приходят раздельно.

Обеспечивают синхронное наполнение парных камер сердца 1 положительный градиент давления и три отрицательных градиентов давления. Координация определяет последовательность вхождения желудочков в фазу изгнания их систолы, а также способствуют каждому желудочку раздельно переходить из одной фазы на другую.

В указанных фазах раздела 1.«Фазовый анализ кимограммы ...» подробно описаны градиенты давления и механизмы процессов наполнения вышеуказанных камер, включая ушки сердца. При этом обнаруживается, что формирование градиентов давления и механизмы самого кровенаполнения предсердий и ушек сердца значительно отличаются друг от друга. Этот факт позволяет считать, что в

процессе эволюционного развития отшлифовалось соответствие каждой из структур к определённому виду градиента давления.

Результаты анализа рисунка показывают, что координация последовательности вступления желудочков в очередную фазу кардиоцикла, в частности в фазы напряжения и изгнания систолы желудочков строго соблюдается. Данная координация возникает спонтанно, т.е. самопроизвольно, и вызывается она не внешними воздействиями, а внутренними причинами, которые повторяются от цикла к циклу. Действительно, внутренняя причина, а именно более слабый миокард ПЖ по сравнению с миокардом ЛЖ, определил, какому из желудочков начинать раньше фазу изгнания в период систолы желудочков. ПЖ первым начинает эту фазу.

Итак, согласно слагающейся ситуации (фаза 1.4) полулунный клапан в ПЖ открывается раньше, чем в ЛЖ. Поскольку открытие полулунного клапана сопровождается началом фазы изгнания из соответствующего желудочка, то можно считать, что и выброс крови из ПЖ в МКК опережает выброс её из ЛЖ в БКК. И это не случайно. Будь это наоборот, т.е. открылся аортальный клапан раньше лёгочного (пульмонального), то ЛЖ, имея мощный миокард, подавил бы активность ПЖ со слабым миокардом, что помешало бы работе МКК и сердце не начало бы работать. Видимо, оно так и было в течение эволюции.

Данная последовательность сформирована в процессе эволюционного развития с использованием естественного отбора, т.е. закреплена генетически.

Поэтому вариант открывания полулунного клапана раньше в ПЖ, т.е. до открывания его в ЛЖ, выдержал естественный отбор и укрепился генетически в ритме кардиоцикла.

Фаза медленного наполнения камер сердца кровью.

В эту фазу кровь по приносящим венам непрерывно поступает в предсердия. Какие либо косвенные влияния на кровоток в виде, например, всасывательного эффекта, в этот период не наблюдается. Поэтому **энергия притока венозной крови, оттекающей от всех органов и тканей по полым венам в правое предсердие, отображает (в частности, линейная и объёмная скорости кровотока) уровень метаболизма в организме и соответственно запросы метаболизма в текущий момент** (Гайтон А., Холл Дж.[11]).

Итак, во время фазы медленного наполнения желудочков кровь, втекающая по полым венам в правое предсердие, а затем в желудочек, несёт правому отделу сердца информацию об уровне метаболизма в организме и о запросах метаболизма в текущий момент.

Фаза медленного наполнения желудочков является продолжением фазы быстрого наполнения этих камер или вторым этапом их наполнения. Кровь по приносящим венам поступает в предсердия, затем, из предсердий транзитом через открытые АВ клапаны течёт в желудочки, дополняя их до

уровня, **приблизённого** к конечному диастолическому объёму (КДО). По мере наполнения желудочков кровь начинает задерживаться в предсердиях, наполняя их. При наполнении кровью стенки предсердий, будучи тоньше, чем у желудочков, начинают растягиваться, создавая давление в предсердиях. Как только давление в правом предсердии достигает пороговой величины для наиболее чувствительных пейсмекерных клеток, в этих клетках происходит резкий переход свойства возбудимость в распространяющийся **процесс** возбуждения (импульс, ПД). В правом предсердии начинается систола – сокращение миокарда данного предсердия. С этого момента процессы, связанные с систолой и диастолой в предсердиях и желудочках относятся к новому повтору кардиоцикла.

При окончании переливания крови из предсердий в желудочки, кровонаполнение желудочков переходит, как отмечено выше, с фазы быстрого наполнения на фазу медленного наполнения. В эту фазу кровь поступает по приносящим сосудам в предсердия и, не задерживаясь в них, вливается через открытые АВ клапаны в желудочки.

Однако кровь, протекая через правое предсердие, омывая его стенки изнутри, должна иметь контакт с цитоплазматической мембраной пейсмекерных клеток САУ (синоатриального узла). И она (кровь) его имеет. Во-первых, кровоток становится адекватным стимулятором для пейсмекерных клеток САУ [17]. Во-вторых, мембрана пейсмекерных клеток САУ в текущий момент находится в состоянии медленной диастолической деполяризации (МДД). Когда кровь, притекающая в правое предсердие, начинает задерживаться в нем, небольшое количество ионов, в основном Na^+ , но и немного Ca^{++} , перемещаются из крови предсердий в медленные управляемые каналы и через них поступают внутрь пейсмекерных клеток САУ. Данный факт свидетельствует о том, что скорость МДД увеличивается, а время достижения критического уровня деполяризации (КУД) уменьшается, а это является началом формирования нового кардиоцикла.

Данный участок сердца, где осуществляется активность полного кардиоцикла, может стать очень удобным местом для выявления механизмов сопряжения 2-ух или нескольких разных энергий. Например, это механическая энергия (рабочие КМЦ, волокна скелетных мышц) и электрическая энергия – это нервный импульс и ПД.

Список литературы:

1. Бокерия Л.А., Алшибая М.М., Мерзляков В.Ю., Сокольская Н.О., Копылова Н.С., Скрипник Е.В. Интраоперационная чреспищеводная эхокардиография у больных с различными формами ишемической болезни сердца. Клиническая физиология кровообращения. 2016; 13 (3); 139-47.
2. Бокерия Л.А., Никитин Е.С., Лобачева Г.В., Бахгадзе З.Ш., Сайдалиева З.О., Макрушин И.М. Роль межжелудочковой перегородки в развитии правожелудочковой недостаточности в ближайшем послеоперационном периоде у пациентов, перенес-

ших вмешательство на сердце в условиях искусственного кровообращения. Клин. физиол. Кровообращения 2012; 3; 17-22.

3. Бокерия Л.А.; Никитин Е.С.; Лобачева Г.В.; Бахгадзе З.Ш. Межжелудочковые взаимоотношения в ближайшем послеоперационном периоде у пациентов, перенесших вмешательство на сердце в условиях искусственного кровообращения. Клин физиол. кровообр. 2013; 1; с. 51-54.

4. Колесинская Р.Д. Роль движений межжелудочковой и правой предсердножелудочковой перегородки в механизмах кровенаполнения правого отдела сердца и сохранения баланса между объемами артериального выброса и венозного возврата. Клиническая физиология Кровообращения 2014; 4; 25-29.

5. Гайтон А.К., Холл Д.Э. Медицинская физиология. Пер. с англ. Под ред. В.И. Кобрин В.И. Москва. Логосфера; 2008. С.120.

6. Антони Г. Функция сердца. Кн. «Физиология человека» в 4-х томах, т.3. Под ред. Шмидта Р. и Текса Г. Перевод с англ. Москва «Мир» 1986.

7. Покровский В.М., Коротко Г.Ф. Физиология человека. Издание 2-е, переработанное и дополненное. Москва «Медицина» 2003.

8. Анохин П.К. От Декарта до Павлова // В кн.: Избранные труды. Системные механизмы высшей нервной деятельности. – М.: Наука. – 1979. – с. 100 – 186.

9. Бородин Г.Н., Высоцкий Ю.А., Лебединский В.Ю. Роль ушек сердца в диастолическом кровенаполнении предсердий. //Морфология. – 2006, - №4.-С.-26.

10. Черкашина А.Л. Закономерности формирования и изменчивость ушек сердца в филогенезе. 2007.

11. Косицкий Г.И. Аfferентные системы сердца. Москва, Медицина; 1975.

12. В.М., Коротко Г.Ф. редакторы учебника «Физиология человека» - издание второе, переработанное и дополненное. Москва. Медицина. 2003.

13. Ткаченко Б.И. (ред.). Движение крови по венам. В кн.: Физиология кровообращения. Физиология сосудистой системы. Рук. по физиологии. Л.: Наука. 1984.

14. Козлов В.А. Прикладная анатомия сердца. /Днепропетровск. 1996 – 173. Сперелакис Н. Физиология и патофизиология сердца. /Москва. Медицина, 1997 Т. 2 – 62.

15. Степанчук А.П., Тихонова О.А., Солдатов А.К. Строение ушек сердца в норме и при комбинированном митральном пороке. Вісник проблем біології і медицини 2012- Вип. 2, том 1 (92).

16. Бородин Г.Н., Лебединский В.Ю., Высоцкий Ю.А. Морфологические основы гемодинамики в ушках сердца. //Медицина и образование в Сибири. Сетевое научное издание НГМУ, Новосибирск, 2014. №2. 4 с.

17. Судаков К.В. Нормальная физиология. Учебник для студентов медицинских вузов. Медицинское информационное агентство (МИА). Москва. 2006. См.стр.323 (МДД)

18. Косицкий Г.И., Дьяконова И.Н., Червова И.А. Внутрисердечная нервная система. Статья в Большой Медицинской Энциклопедии.

19. Проводящая система сердца. Атлас анатомии человека. Академик. https://anatomy_atlas.Academic.ru/1558/.

20. Топография ушек сердца. <https://meduniver.com/M.edical/Anatom/259.html> .

21. Межклеточные соединения, их типы и структурно-функциональная характеристика. <http://studopedia.org/8-160728.html>

22. Строение стенки сердца. Атлас анатомии человека. Академик. Мышечная оболочка, или миокард. https://anatomy_atlas.academic.ru/1559/

23. Проводящая система сердца. Ножки пучка Гиса

24. http://diabetgiper-tonia.ru/ekg/01_provodjashaja_sistema_serdsa.html
Закон Архимеда. На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости.

25. Полости сердца. <http://doctor-v.ru/med/po-losti-serdca/> Уравнение Бернулли : $V_1/V_2=S_2/S_1$, где V-скорость, S-площадь поперечного сечения.

26. Косицкий Г.И. Аfferентные системы сердца. М., Медицина; 1975.

27. Покровский В.М., Косицкий Г.И. Внутрисердечные регуляторные механизмы. Внутрисердечные периферические рефлексy. Гл.6. Крово- и лимфообращение. Авторы: Покровский В.М., Косицкий Г.И. В учебнике «Физиология человека». Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротко. Москва, «Медицина» - 2003.

28. Шенгелия Л.Д. Рецензия на статью Р.Д. Колесинской «Механизмы дозированного наполнения всех камер сердца кровью в течение каждого кардиоцикла». Клин. физиол. кровообращения 2016; 13 (3); 166-68.

29. Колесинская Р.Д. Механизмы дозированного наполнения всех камер сердца кровью в течение каждого кардиоцикла. Клин. физиол. кровообр. 2016; 13 (3); 154-65.

30. Косицкий Г.И. Регуляция деятельности сердца. Лекция к актовому дню института. Москва,1980