

ГИПОТЕЗА ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ СЕРДЦА И КРОВООБРАЩЕНИЯ¹

Е.Е. Литасова, А.М. Караськов, Е.Н. Мешалкин, А.Е. Бакарев

Новосибирский научно-исследовательский институт патологии кровообращения им. акад. Е.Н. Мешалкина

crpsc@nriicp.ru

Ключевые слова: гидроакустическая функция сердца, инфразвук, кровообращение.

Система кровообращения является сложной автоколебательной системой (основной частотой для которой является частота сердечных сокращений), в которой генерируются и распространяются акустические волны в широком частотном диапазоне. Регистрация акустических проявлений сердечной деятельности широко используется в диагностике для получения сведений о нормальном и патологическом кровообращении. Инструментальные методы исследования механической активности сердца различаются типами используемых датчиков, методикой измерений и частотным диапазоном регистрируемых колебаний. В настоящее время распространение получили такие методы, как апекскардиография, кинетокардиография, баллистокордиография, динамокардиография. Наибольшее распространение получила фонокардиография – метод, регистрирующий акустические колебания в звуковом диапазоне. Большое внимание при этом уделяется получению фонокардиограммы «с характеристикой слуха», которая дает о звуках сердца представление, наиболее близкое к аускультативному [1–3, 10].

В кардиохирургической клинике, где концентрируются больные со всевозможными пороками сердца, группа аускультативных и фонокардиографических методик занимает важное место в диагностике и обосновании хирургического лечения. Безусловно, уже в поликлинике, выслушивая прекардиальную поверхность грудной клетки больного (особенно с помощью стереофонендоскопа) врач почти всегда безошибочно судит о характере поражения сердца: относит к группе приобретенных пороков или врожденных. При этом устанавливаются характерные признаки шлюзов, сбросов и их комбинации. Последующая регистрация звуковых феноменов документально подтверждает ориентировочный диагноз. Полное всестороннее обследование в клинике позволяет определить патологический стереотип, сложившийся вследствие длительной интракаузальной адаптации всей системы кровообращения к данному пороку: установить локализацию и тип порока, степень развития компенсации-паракомпенсации и способность боль-

ного к послеоперационной переадаптации. При этом в логических выводах врача значимость шумов, собственных пороков, превалирует над обычными тонами сердца, известными уже несколько столетий.

Литература, посвященная фонокардиографии, огромна. В нашем Институте регистрация сердечной деятельности осуществляется почти 40 лет. Сравнительная запись кривых давления в полостях сердца с записью фонокардиограмм и баллистокордиограмм мы обратили внимание на то, что при всех методиках запись осуществляется на фоне подавления (фильтрации) колебаний инфразвуковых (1–35 Hz) частот.

Так, на кривых записи давления в аорте, в систоле – в момент изгнания крови из левого желудочка – обычно выявляется неровность линии кривой систолического давления. Она исчерчена зубчиками. Это отмечается всегда, несмотря на то, что современные регистрирующие аппараты обладают весьма совершенными фильтрами, способными срезать все колебания более частые, чем один раз в секунду. И в диастоле также отмечаются неровные контуры кривой, несмотря на аппаратное подавление сигналов в инфразвуковом диапазоне.

Л.М. Фитилева [2] отмечает, что на нормальной фонокардиограмме регистрируются I и II тоны. Этот цикл тонов состоит из низко- и высокочастотных колебаний. В хорошо отрегулированном аппарате из всех низкочастотных колебания малой амплитуды срезаны, оставлены только очень крупные. В указанной монографии Л.М. Фитилева обратила внимание на амплитудную разницу колебаний во время I и II тонов сердца у гипертоников.

По К. Хольдаку [1], частотный диапазон колебаний, составляющих первый тон, от 20 до 150 Гц. Форма тона и время его появления зависит от места регистрации, так, I тон, записанный с верхушки сердца, начинается примерно на 0,02 с раньше, чем при записи с основания, II тон состоит из колебаний с частотами около 100–120 Гц. Однако он записывается в частотном диапазоне 0–35 Гц. Сопоставление интенсивности II тона широко используется в клинике.

Известно, что человеческий организм обладает высокой чувствительностью к инфразвуковым колебаниям (вибрациям), так, порог вибрационной чувствительности человека при частоте 7 Гц составляет 2 мкм [9]. В диапазоне от 2 до 20 Гц расположены резонансные частоты отдельных частей тела челове-

¹ Авторский коллектив к статье «Гипотеза гидроакустической функции сердца и кровообращения» был определен академиком РАМН Е.Н. Мешалкиным.

ка (для грудной клетки человека характерны частоты 2–12 Гц) [8].

Нас, как кардиологов, интересует, а что это такое – **I и II тоны у здоровых лиц? Почему они возникают на сердце?** В современной медицинской литературе (Фитилева Л.М., Хольдак К., Вольф Д., Соловьев В.В., Кассирский Г.И.) [1–3] происхождение **I тона** объясняется как звучание сокращающейся сердечной мышцы, а **II тона как шум захлопывающегося аортального клапана**. И так, распространено довольно простое толкование, что мышца сердца не может в процессе сокращения не шуметь. Мышца, десять, сокращаясь, должна издавать тон, а звук, распространяясь во все стороны, достигает грудной стенки, где врач и выслушивает **I–II тоны и шумы**. И много лет клиницисты принимают это на веру!

Однако при систематической аускультации сердца нас постепенно начали волновать многие вопросы. Врач сталкивается, например, то с мускулистыми (атлетически сложенными) людьми, то, наоборот, с малым развитием скелетной мускулатуры. При просьбе к больному произвести вдох и выдох, поднять и опустить руки вы не слышите никаких шумов (даже если капсула фонендоскопа находится на мощной грудной мышце). Значит, концепция, объясняющая возникновение тонов сердца только как результат сокращения мышечной ткани сердца, не совсем точна.

Мышечные массивы человеческого тела достаточно крупны. Однако наши попытки при мышечном сокращении обнаружить где-либо на них звуковые явления (тон, шум) ни разу не увенчались успехом, хотя мы постоянно при аускультации сердца переносим капсулы фонендоскопа на крупные мышцы (*m-lus Pectoralis*; *m-lus Latissimus dorsi* и другие) и просим напрячь и расслабить эти мышцы. Даже массивы мощной *m-lus Gluteus* сокращаются беззвучно.

Так в нашем Институте возникла проблема изучения акустических феноменов сердца. Очевидно, **I тон**, выслушиваемый над сердцем, может иметь какой-то другой генез, связанный с особенностями анатомического строения самого сердца.

Известно, что мышца сердца имеет форму массивной спирали, охватывающей оба желудочка. Внутри спирали размещаются кровеносные полости обоих желудочков, отделенные друг от друга межжелудочковой перегородкой.

Примечательно, что вокруг генерирующих звук гортани и глотки тоже располагаются мышцы, спиралеобразно окружающие воздухонесущие полости. Есть еще одна мышца, которая спирально окружает самый конец пищеварительного тракта (прямую кишку, которая периодически наполняется газом). Во всех трех случаях эти анатомические особенности могут иметь прямую связь со звуком.

Мы пришли к предположению, что, по-видимому, именно кровеносные полости, которые имеются в сердце, в сочетании с циркулярно и спиралеобразно расположенными окружающими ее разветвлениями

мышц, являются тем комплексом, который порождает возможность акустического феномена (тона), возникающего, как мы полагаем, внутри сердца.

При изучении внутреннего пространства желудочков (рис. 1, а, б) [7] прежде всего обращают на себя внимание папиллярные мышцы, связанные одним концом с глубокими пластами миокарда, а также трабекулярные пучки мышц, постоянно находящиеся в потоке крови, лежащие субэндокардиально и образующие множество переплетений и углублений между ними (крипты). Подобная структура мышечных образований более нигде в организме человека не встречается.

В процессе сокращения миокарда трабекулярные образования (как в звуковом диффузоре), возможно, также могут вибрировать, порождая инфразвуковые колебания, протекающих внутри струй крови (**I тон?**).

Среди анатомических особенностей межжелудочковой перегородки сердца привлекает внимание весьма богатое разветвление нейромышечного пучка. Конечных волокон этого пучка (п. Гиса) так много (рис. 2, а, б) [7], что почти к каждой трабекуле подходит из пучка отдельное волокно. Следовательно, возможно допустить принудительное возбуждение колебаний отдельных волокон (и вибрацию их) с задаваемой частотой импульсов (колебаний) вне зависимости от собственных длин волокон, образующих трабекулу.

В правом желудочке также видны подобные структуры. В предсердиях тоже есть мышечные балки, но их немного в сравнении с желудочками. Эти трабекулярные структуры, а также папиллярные мышцы и сухожильные нити также могут быть звуковоспроизводящими образованиями. Не здесь ли, именно в желудочках сердца, зарождается звук? Куда же он после транспортируется? Наружу – через миокард или нет?

Мы обнаружили, что на грудной клетке, стоит отклонить микрофон на 5 см в любую сторону от прекардиального пространства, тоны уже невозможно записать.

В клинике Новосибирского НИИ патологии кровообращения МЗ и МП РФ мы методом фонографии выявили феномен проведения тонов сердца по кровеносному руслу.

Нами для регистрации акустических колебаний использовался фонокардиограф *Mingograf-34* с частотным фильтром имеющим рабочий диапазон от 7 до 35 Гц. При этом **I и II тоны регистрировались не только** в области сердца, но и в удаленных областях тела человека. Коэффициент усиления фонокардиографа устанавливался равным 1/10 в области сердца и 1/20 в остальных случаях.

При записи фонокардиограмм, как обычно, использовались фильтры по Маасу и Веберу с частотным диапазоном от 7 до 35 Гц. **Оказалось, что у здоровых лиц** сердечные тона в инфразвуковом диапазоне не определяются не только в прекардиальных зонах, но проводятся по кровеносному руслу до мелких раз-

ветвлений артерий. Как оказалось, кроме комплексов тонов, кровеносное русло наполнено множеством низкочастотных колебаний.

Когда мы, взяв микрофон, приложили его к разным участкам артерий на теле человека (где артерии доступны), то обнаружили регистрируемые тоны, хорошо проводящиеся на сонные артерии, на артерии локтевого сгиба (рис. 3). Несмотря на более чем десятикратное уменьшение площади поперечного сечения артерии, тоны проводятся и на артерию бедра. Если же поставить микрофон на язык, который чрезвычайно богат сосудами, отходящими от наружных сонных артерий, то тоны не прослушиваются. Почему? Очевидно потому, что они гасятся в артериолах (капиллярах). Мы сделали вывод, что акустическая функция сердца направлена не наружу (на потребность врачам?!), а внутрь кровеносного русла.

Описанное в упомянутых выше работах [1–3] происхождение II тона, связываемое авторами с захлопыванием аортальных клапанов тоже вызывает большое сомнение, так как, например, деформация клапана аорты при эндокардитах может быть столь сильной, что клапан превращается в грубую, неподвижную диафрагму и источником тона быть не может. Тем не менее, и у этих больных на артериальных сосудах отчетливо записывается II тон в инфразвуковом диапазоне. При изучении фонозаписи на сосудах I и II тонов мы обнаружили такую большую схожесть частотной и амплитудной характеристик этих звуковых феноменов, что приходится думать об одинаковости генеза обоих тонов, т.е. что и II тон мышечного происхождения. Гипотетически можно допустить, что II тон возникает в момент расслабления напряженных папиллярных мышц, что происходит в конце систолы, и активного возбуждения колебаний мышечных трабекул с последующим расслаблением желудочков.

Мы полагаем, что основой акустического генератора в сердце являются трабекулы межжелудочковой перегородки, переходящие на стенки желудочков сердца и вовлекающие в процесс вибрации все трабекулы желудочков сердца (рис. 4). В этом случае гамма (набор частот) колебаний может быть достаточно велика для передачи информации.

Внутренняя архитектура левого желудочка (параболоид? гиперболоид?) позволяет ему играть роль концентратора колебаний и излучателя их в магистральный сосуд (аорту).

У гипертоников на фонокардиограмме отмечается большая амплитуда тонов на сосудах. Однако после верхушечно-перегородочного инфаркта ее величина резко уменьшается. Следует учесть, что при таких инфарктах предполагаемая нами зона, в которой генерируются сердечные тоны, уменьшается заминаясь позднее рубцом. Это подтверждает, что местом возникновения тонов может являться часть внутренней поверхности миокарда левого желудочка и прилегающей к нему межжелудочковой перегородки (у верхушки).

Впрочем, в наше время уже возможно объективное уточнение генеза I–II тонов, для чего необходимо осуществить регистрацию колебаний внутренних структур желудочков (с использованием кварцевых световодов в просвете внутри сердечного зонда) или путем апекскардиографии.

Необходимо также детальное изучение тонов и других звуков сердца в инфразвуковом диапазоне с использованием методов спектрального, фазового и корреляционного анализа. Необходимо также исследование роли колебательных процессов в гидродинамике системы кровообращения.

Мы пришли к выводу, что встретились с феноменом гидроакустической функции сердца, который требует тщательного изучения.

Возможно, тоны сердца необходимы для самой функции кровообращения. У нас возникло предположение, что сердце работает как инфразвуковой биологический эндосонар, «прозвучивая» (рис. 5) кровеносную систему с каждым сердечным циклом. Звук, возникший в сердце, направлен в аорту и сосуды и проводится по всей кровеносной системе. Возможно, что этот феномен возник в процессе эволюции, очень давно, еще у предков хордовых животных в океане [6].

В самом раннем периоде эволюции сформировавшееся первичное сердце не смогло бы осуществить адекватное кровообращение, если бы в то время уже не заложились артериальные жомы, которые точно дозируют потоки крови, переходящие в брюшную вену. У тех примитивных живых существ еще не было и вегетативной системы. Что же управляло и регулировало систему кровообращения? Может быть, ударный импульс? Когда сердце сокращается, ударная волна, пробегающая мимо всех этих образований, сама (?) открывает шлюзы артериол и пропускает кровь через капилляры. Но, возможно, что такое сердце уже могло подавать гидроакустические сигналы, регулирующие кровоток и обеспечивая императив единства кровообращения, а также для того, чтобы облегчить функцию управления артериолярным кровотоком. Возможно, что, когда инфразвук достигает их, кроме двух факторов управления жомами: температурного и фактора оксигенации крови, то есть рН, – к ним может присоединиться еще фактор инфразвуковой. Представим себе примитивное существо, у которого сердце, однако, издает инфразвуковые импульсы. Скорость движения звука в жидкости достигает 1 км/с, а «ударная» волна движется со скоростью 5 м/с, звук, движущийся со скоростью 1 000 м/с, обгоняет «ударную» волну. (Впрочем, до сих пор никто не определял скорость распространения звука в крови, находящейся в кровеносном русле, тем более в движении по кровеносным сосудам.)

Звук, возникая в сердце и распространяясь по сосудам, раньше всего достигает собственных коронарных сосудов сердца, затем следует фаза воздействия на сосуды головного мозга и сосуды брюшной полости. Следующая фаза – звук достигает сосудов та-

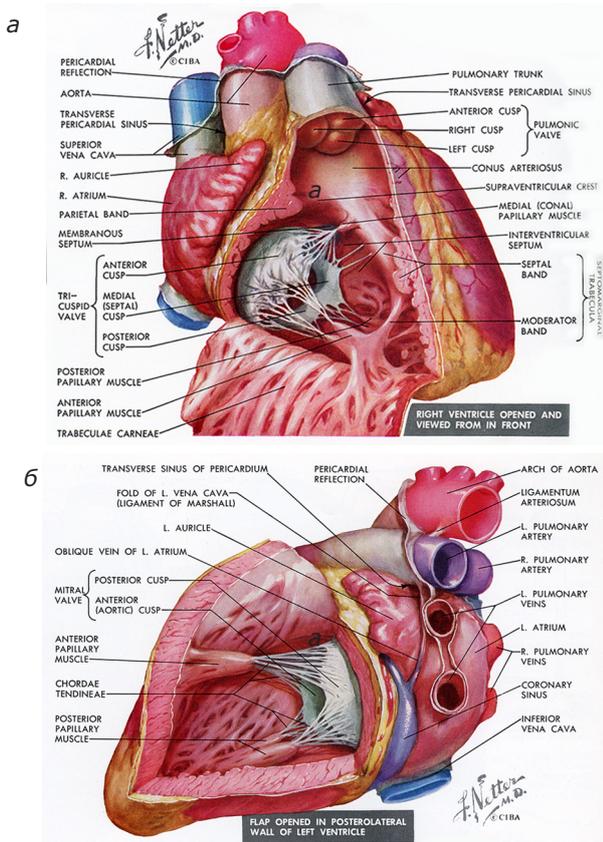


Рис. 1. Внутренняя архитектура правого (а) и левого (б) желудочка [по Netter].

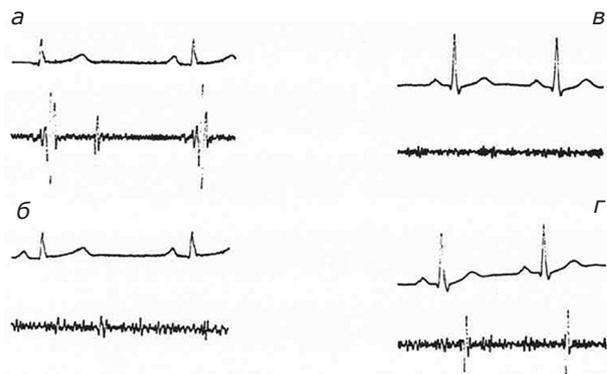


Рис. 3. Фонокардиограмма над: а – верхушкой сердца; б – левой сонной артерией; в – левой локтевой артерией; г – левой бедренной артерией (8/VIII-96, Ж., 28 лет, мужчина, здоровый).

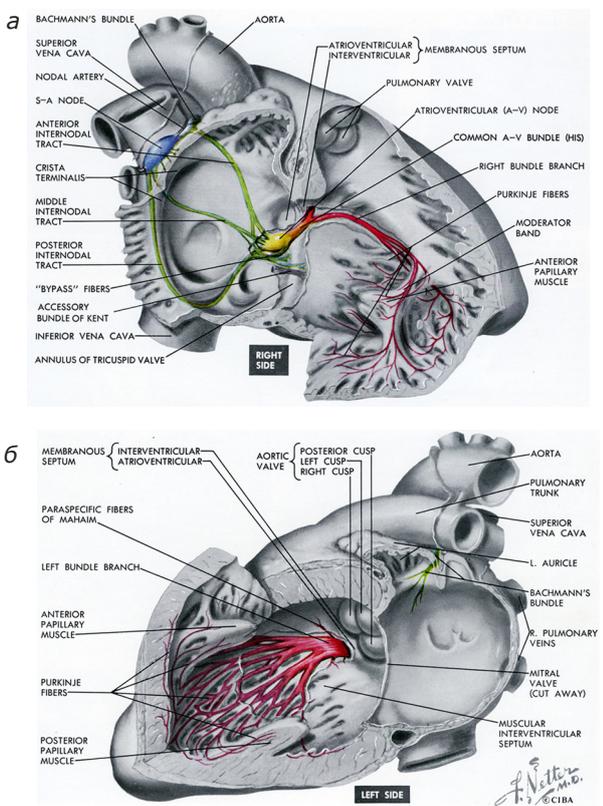


Рис. 2. Проводящая система правого (а) и левого (б) сердца [по Netter].

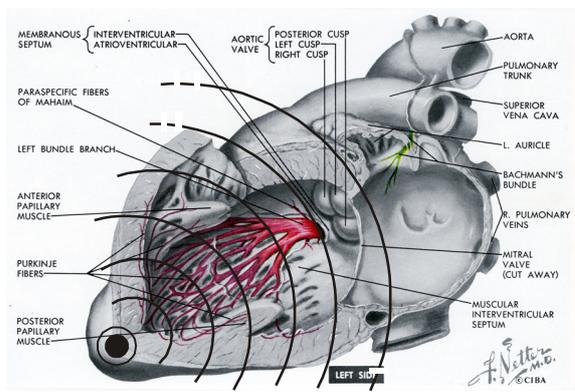


Рис. 4. Генерация инфразвуковых колебаний (I-II тонов) в левом желудочке (гипотетическая).

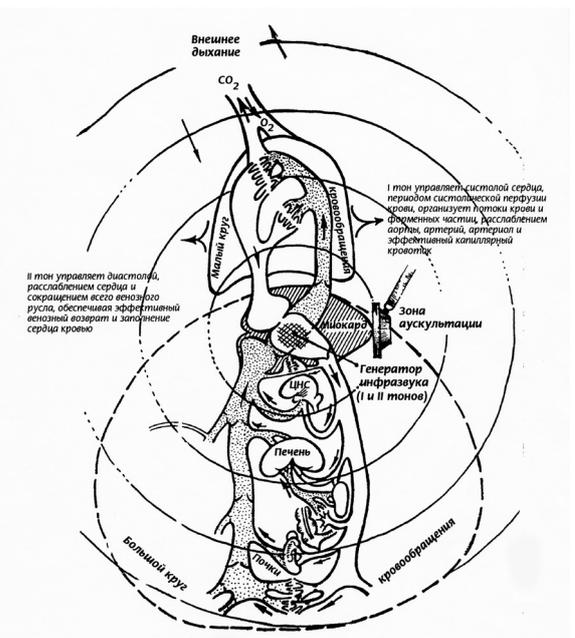


Рис. 5. Гипотетическая схема гидроакустической функции сердца и кровеносного русла.

за и кончиков рук. При этом прохождение по сосудам правой руки должно занять меньше времени, так как длина этого русла справа на 5 см меньше, чем слева. В ногах также звуковая волна достигает сначала конца кровеносного русла на правой ноге, где оно короче, чем слева. Не знаем, возникает ли отраженный импульс. Но, может быть, звук и не возвращается обратно. Зачем нужно возвращение, если сосудистое ложе в любом месте может быть приемником инфразвуковых импульсов? Мы назвали уже артериолярные жомы.

Какую характеристику может данный звук сообщить о кровеносном русле? Возможно, звук не только обгоняет «ударную» волну и устраняет механическое препятствие артериолярных жомов. Почему бы не подумать, что инфразвук может одновременно ориентировать эритроциты крови еще внутри левого желудочка сердца в определенном порядке? Почему этим должны заниматься электромагнитные волны, а не инфразвук, который, может быть, выстраивает эритроциты цепочками, легко «проскакивающими» через капилляры? Возможно, инфразвук организует ламинарное и волновое движение потоков крови в кровеносном русле. Может быть, он несет информацию и о многих других параметрах крови, в частности о ее температуре и оксигенации, вязкости, плотности и др. Следует обратить внимание на сеть многочисленных симпатических волокон, которые оплетают все периферические сосуды. Думаем, что этот акустический импульс гасится в артериолах и через капилляры не проводится. Но можно также предположить возникновение обратной иррадиации импульсов, которые тоже могут быть информативными. Тогда, например, коронарные сосуды будут дважды претерпевать воздействие инфразвуковых колебаний, усиленных в результате интерференции: в момент систолы и в начале диастолы.

Последовательность возникновения инфразвука и распространения его может быть таковым: прежде всего, это, конечно, само сердце, затем голова, потом грудная клетка и верхняя часть брюшной полости, потом таз и периферические сосуды. Далее бегущая инфразвуковая волна достигает артериол конечностей. Когда закончилась систола и началась диастола, полость левого желудочка оказывается изолированной от аорты. Тогда, возможно, звуковые колебания могут распространяться только по коронарным сосудам.

Итак, мы позволяем себе выдвинуть следующую гипотезу.

1. Инфразвук, широко распространенный в океане, мог иметь важное значение на заре эволюции и уже в это время мог использоваться первичными организмами для сбора и передачи информации, в том числе внутри организма.

2. Инфразвук способен непосредственно воздействовать на живые ткани, на жидкости и клетки, взвешенные в жидкостях, заполняющих сосудистое русло, на самые стенки этих русел.

3. С ранних этапов эволюции могли возникнуть внутриорганизменные биогенераторы инфразвука. В частности, основной движитель крови – сердце – способно к воспроизводству инфразвуков.

4. Гидроакустическая функция сердца у человека имеет место. Этот феномен не известен и не описан в биологии, медицине, физике. Она могла возникнуть на очень древней стадии эволюции системы кровообращения у первичных хордовых, раньше возникновения регулирующей вегетативной нервной системы.

5. Гидроакустические инфразвуковые импульсы, очевидно, возникают внутри сердца, возможно, генерируются в трабекулярном аппарате межжелудочковой перегородки и стенок желудочков. Их характеристика обуславливается регулирующей функцией автономной проводящей системы сердца. «Набор» частот (преимущественно инфразвуковых), предположительно, задается импульсами нейромышечного аппарата узла Ашоф-Тавара и пучка Гиса, которые обеспечивают управляемую частоту колебаний мышечных волокон внутри желудочковых групп мышц.

6. Направленность возникающих инфразвуковых посылок – внутрь кровеносного русла. Расшифровка «языка» этой функции весьма сложна, требует накопления большого числа клинических наблюдений и займет много времени, но в наш «компьютерный век» – осуществима.

7. Возможно, что первичная функция этих гидроакустических «посылок» в процессе эволюции была утрачена или снижена, но, возможно, сохранилась до нашего времени у человека как первичная команда готовности кровеносного русла к приему систолического объема крови и диастолическому заполнению желудочков.

8. Во всяком случае, гидроакустический феномен мог в онтогенезе явиться самым древним фактором императива единства системы кровообращения [4, 5], которая в наш век локалистических взглядов недопустимо раздроблена на изолированные регионы (малый круг, коронарный, церебральный и др.), несмотря на то, что вся система кровообращения целостна, едина.

9. Инфразвуковые импульсы, генерируемые сердцем, являются энергетическим фактором, организующим процессы кровообращения (движения жидкостей) во всем организме. Возможно, они вызывают волновые и вихревые потоки крови, ламинарное движение, сепарацию форменных элементов крови, облегчают «проскальзывание» форменных элементов через капиллярные сети без лишних энергозатрат.

10. При определенных условиях (гипертонические кризы, стрессы) инфразвуковая активность сердца может превысить допустимый для человеческого организма уровень и порождает мощные инфразвуковые импульсы, вызвать в организме резонансные явления, особенно опасные для сердца в диапазоне 8–12 Гц, способные вызвать фибрилляцию сердца (внезапная смерть).

11. Первый тон является импульсом, возникающим одновременно с систолой желудочков, регулирующим систолическое расслабление аорты, артерий, артериол (всего артериального русла). Второй тон является импульсом, возникающим одновременно с диастолой, регулирующим активное расслабление в этом периоде миокарда и активное уменьшение емкости венозного русла и наполнение полостей сердца кровью.

12. Необходимо в наше время сосредоточение усилий исследователей как в клинике, так и на разных уровнях экспериментальных работ в условиях компьютерной регистрации и обработки наблюдений у различных контингентов больных для биологического осмысления этого феномена.

Сформулирована гипотеза гидроакустической функции здорового сердца. Звуковые комплексы организуются узлом Ашоф-Тавара и пучком Гиса, генерируются в систолу субэндокардиальными тяжами, их сплетениями, концентрируются в полостях желудочков, излучаются в аорту и артерии и по потокам крови (звукопроводы) достигают концевых артериол и капилляров. Впервые в науке сердце рассматривается как биологический инфразвуковой эндосонар, организующий кровообращение в целом. Функция его отражает императив единства кровообращения и направлена на информацию о состоянии внутрисосудистой циркуляции, а, возможно, и на регулирование ее. Явление, ранее не известное в медицине, биологии, физике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холльдак К., Вольф Д. *Атлас и руководство по фонокардиографии*. М.: Медицина, 1964.
2. Фитилева Л.М. *Краткое руководство по фонокардиографии*. М.: Медицина, 1962.
3. Соловьев В.В., Кассирский Г.И. *Атлас клинической фонокардиографии*. М.: Медицина, 1983.
4. Литасова Е.Е., Мешалкин Е.Н. Динамизм пороков сердца как интракаузальная адаптация // *Бюл. СО РАМН*. 1995. № 4. С. 15–20.
5. Литасова Е.Е., Мешалкин Е.Н. Императив единства (неразделимости) системы кровообращения в экстракаузальной и интракаузальной адаптации // *Бюл. СО РАМН*. 1996. № 2. С. 38–43.
6. Селезнев В.П., Селезнева Н.В. *Навигационная бионика*. М.: Машиностроение, 1987.
7. Netter F.H. *Ciba the Collection of medical illustrations*. New York: Heart, 1969. V. 5. P. 8, 9, 13.
8. *Вибрации в технике: Справочник: В 6 т.* М.: Машиностроение, 1978–1981. Т. 6.
9. Ефимов В.В. *Биофизика для врачей*. М.: Медгиз, 1952.
10. *Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы: Справочник / под ред. Т.С. Вионоградовой*. М.: Медицина, 1986.

A HYPOTHESIS OF A HYDROACOUSTIC CARDIAC/CIRCULATION FUNCTION

E.Ye. Litasova, A.M. Karaskov, Ye.N. Meshalkin, A.Ye. Bakarev

The authors have challenged the traditional theories of cardiac sound genesis and found out that cardiac sounds could be detected on carotid, ulnar and even femoral arteries, whereas it is harder to detect them in the thoracic wall zone.

The authors have put forward a hypothesis of genesis of the 1st and 2nd cardiac sounds as a result of active oscillations of subendocardial fibers of the intraventricular septum and the ventricles caused by organized pulses going via the His bands and in the node of Aschoff and Tawara. They also believe that the 1st and 2nd cardiac sounds function as circulation-organizing impulses, the 1st cardiac sound directs blood in the systole, thus debilitating arteriolar sphincters and perfusion of capillaries, while the 2nd cardiac sound debilitates and fills the ventricles with blood in the diastole. The heart itself operates as an acoustic endosonar. Key words: hydroacoustic function of the heart, infrasound, circulation.