

**Деформация миокарда и  
насосная функция сердца**  
клиническая физиология кровообращения

***Фирма СТРОМ***

УДК 616-079 + 616.1  
ББК 54.10  
Д39

**Деформация миокарда и насосная функция сердца (клиническая физиология кровообращения).** Б.А. Константинов В.А. Сандриков Т.Ю. Кулагина

1-е издание – М.: ООО «Фирма СТРОМ», 2006 - 304с.: ил.

**ISBN 5-900094-22-7**

Монография посвящена вопросам теоретической и прикладной клинической физиологии кровообращения в норме и при патологии сердечно-сосудистой системы, выявлению и анализу механизмов динамики компенсации насосной функции сердца.

Анализируется функция сердца и оценка гемодинамики на основании анализа сердечного цикла и деформации миокарда. Представлены новые подходы исследования в клинической физиологии кровообращения в эксперименте и клинике при перегрузках сердца объёмом, сопротивлением и недостаточности венозного кровообращения.

Монография рассчитана на широкий круг читателей, занимающихся вопросами физиологии кровообращения, клинических физиологов, кардиологов, врачей функциональной и ультразвуковой диагностики, а также студентов биофака и медицинских институтов.

Ни одна из частей этой книги не может быть перепечатана в любом виде (электронном, механическом, фотографическом, письменном и др.) полностью или частями, без письменного разрешения авторов.

**ISBN 5-900094-22-7**

© Б.А. Константинов В.А Сандриков  
Т.Ю. Кулагина  
© ООО «Фирма СТРОМ», 2006

# Содержание

Предисловие . . . . .	7
Введение . . . . .	9
<i>Глава 1</i>	
Структура и функция сердца . . . . .	15
<i>Глава 2</i>	
Оценка насосной функции и производительности сердца . . . . .	23
2.1 Оценка насосной функции сердца . . . . .	23
2.2 Сердечный выброс и его регуляция . . . . .	28
<i>Фазовая структура механического цикла сердца</i> . . . . .	30
<i>Преднагрузка</i> . . . . .	37
<i>Постнагрузка</i> . . . . .	42
<i>Инотропизм</i> . . . . .	43
2.3 Потребление кислорода и показатели тканевого обмена. . . . .	46
<i>Глава 3</i>	
Современное представление о функции сердца в клинической практике . . . . .	51
<i>Глава 4</i>	
Регистрация и кондиционирование первичной информации . . . . .	57
4.1 Современные преобразователи давления . . . . .	57
4.2 Преобразователи линейной и объемной скоростей кровотока . . . . .	59
4.3 Регистрация сокращений миокарда . . . . .	62
<i>Измерение длины участка миокарда</i> . . . . .	64
<i>Оценка площади участка эпикарда</i> . . . . .	66
<i>Вариабельность эпикарда в зависимости от внутрисердечной гемодинамики</i> . . . . .	68
<i>Внутристенное миокардиальное давление и принципы инвазивной регистрации информации</i> . . . . .	71
<i>Оценка кардиореспираторной системы</i> . . . . .	77
4.4 Принципы и сравнительная характеристика миокардиографии. . . . .	81
4.5 Оценка деформации и производительности сердца у здоровых лиц. . . . .	97
4.6 Принципы кондиционирования первичной гемодинамической информации . . . . .	101
<i>Глава 5</i>	
Чтение и интерпретация диаграмм сердца в норме. . . . .	109
<i>«P-Q» диаграмма</i> . . . . .	109
<i>«P-V» диаграмма</i> . . . . .	111
<i>«P-L», «Q-L» и «E-L» диаграммы</i> . . . . .	113

## Глава 6

### Динамика сокращения миокарда при перегрузке

сердца сопротивлением и объемом . . . . .	125
6.1 Перегрузка сердца сопротивлением . . . . .	126
6.2 Перегрузка сердца объемом . . . . .	133
<i>Газотранспортная функция и гемодинамика у пациентов с дилатационной кардиомиопатией до операции . . . . .</i>	<i>135</i>
<i>Газотранспортная функция и гемодинамика у пациентов с ХСН на фоне дилатационной кардиомиопатии в отдаленном послеоперационном периоде . . . . .</i>	<i>156</i>

## Глава 7

### Характеристика показателей функции сердца

при различных видах перегрузок. . . . .	167
---	-----

## Глава 8

Диаграммный метод оценки операций на сердце . . . . .	181
---	-----

8.1 Врожденные и приобретенные пороки сердца . . . . .	184
--	-----

<i>Митральный порок с преобладанием стеноза. . . . .</i>	<i>185</i>
--	------------

<i>Недостаточность митрального клапана . . . . .</i>	<i>192</i>
--	------------

<i>Стеноз аортального клапана . . . . .</i>	<i>197</i>
---	------------

<i>Недостаточность аортального клапана . . . . .</i>	<i>201</i>
--	------------

<i>Дефект межпредсердной перегородки . . . . .</i>	<i>206</i>
--	------------

<i>Дефект межжелудочковой перегородки . . . . .</i>	<i>210</i>
---	------------

<i>Тетрада Фалло . . . . .</i>	<i>219</i>
--------------------------------	------------

8.2 Ишемическая болезнь сердца . . . . .	227
--	-----

<i>Сокращения сердца при нарушениях коронарного кровообращения . . . . .</i>	<i>227</i>
--	------------

<i>Динамика сокращения миокарда у больных ишемической болезнью сердца . . . . .</i>	<i>236</i>
---	------------

## Глава 9

### Производительность сердца и центральная гемодинамика

при острой и хронической сердечной недостаточности. . . . .	259
---	-----

Заключение. . . . .	273
---------------------	-----

### Приложение: оборудование ведущих фирм для исследования

деформации миокарда и насосной функции сердца. . . . .	277
--	-----

Литература. . . . .	288
---------------------	-----

*Посвящается нашему Учителю  
Академику Борису Васильевичу Петровскому.*

*Выдающийся хирург, уникальный организатор здравоохранения Петровский Борис Васильевич один из первых, кто организовал и объединил два направления в медицине – диагностику и клиническую физиологию. Им впервые в стране создано отделение клинической физиологии на базе Научно-исследовательского института клинической и экспериментальной хирургии МЗ СССР в 1967 году. Петровский Б.В. рассматривал отдел клинической физиологии как научное подразделение в хирургии и диагностике. В настоящее время это направление широко развивается во всем мире, являясь неотъемлемой частью науки во всех разделах клинической медицины.*

## **Введение**

Оценка функции миокарда при клинико-физиологическом анализе динамики насосной функции сердца – задача не новая. Многочисленные попытки решить ее, не прибегая к прямым методам исследования сокращения сердца при помощи гемодинамических индексов, вторичных по отношению к сократительной функции, являлись, по сути, иллюзией успешного решения проблемы. Не отрицая познавательного значения индексов, приходится констатировать, что практическая ценность их невелика. Развитие прямых методов регистрации сократительной деятельности сердца дает перспективу разработки оценочных и диагностических критериев функции миокарда более надежных, чем применяющиеся в настоящее время.

Исследователь, занимающийся изучением функции сердца в современных условиях, сталкивается с рядом проблем, которые препятствуют быстрому продвижению вперед. Прежде всего это проблема измерений, понимаемая в узком смысле – чисто техническая, и в широком – методологическая. При довольно успешном развитии технических средств, регистрации изменений длины участка миокарда или одного из глобальных размеров сердца предполагает современный анализ и интерпретацию наблюдаемых феноменов в физиологическом и клиническом отношениях. Длина участка миокарда, измеренная сама по себе, смысловой нагрузки не несет. Смысловая нагрузка длины участка миокарда проявляется при понимании этого показателя как одной из детерминант функции сердца, взаимосвязанной с другими детерминантами: давлением в полостях сердца, объемами желудочка, миокардиальным кровотоком, перфузией, которые должны анализироваться под действием нагрузок, предъявляемых сердцу, и управляющими факторами. Иными словами, проблема измерений в методологическом смысле есть проблема аналитической оценки совместного действия многих факторов в реальном времени, подчас разнонаправленных и описываемых в отдельности как линейными, так и нелинейными процессами.

Другая сторона методологической проблемы – необходимость перехода от описания физиологических процессов терминами абстрактных моделей на язык терминов физиологии и клиники и, более того, создание нового языка, соответствующего задачам, решаемым клинической физиологией кровообращения.

Последние достижения в области изучения функции сердца позволяют по-новому рассматривать многие устоявшиеся положения физиологии кровообращения. Прежде всего, это относится к законам Франка-Старлинга и Лангендор-

фа, которые по традиции рассматриваются вне связи друг с другом. В то же время объединение их в рамках обобщенной концептуальной модели открывает возможность перехода с феноменологического уровня познания кровообращения на аналитический, а также к научно обоснованному выбору оптимальных совокупностей показателей деятельности сердца для каждой из конкретных ситуаций при внешнем управлении производительностью сердца. Мы рассматриваем развитие графоаналитического метода отображения физиологических закономерностей и диагностических признаков как одно из средств языка клинической физиологии. Рабочие диаграммы сердца в различных вариантах способны, по-видимому, служить в качестве емкой модели тех или иных процессов и использоваться как инструмент познания и, что не менее важно, быть оценочным или диагностическим критерием. Понимаемые в этом смысле диаграммы чрезвычайно удобны для анализа совокупностей разнородных показателей, изменяющихся одновременно в различных направлениях.

Значительное место в монографии уделено связям миокардиальных и гемодинамических явлений, наблюдаемых как в экспериментальных, так и клинических условиях. Развиваемая на основании изученного материала концепция об универсальной, стандартной реакции нарушения функции миокарда при действии различных факторов, реализующейся в увеличении конечно-диастолического размера миокарда, постдиастолическом удлинении и постсистолическом укорочении, также является органическим следствием выработанных нами более общих представлений о связи поцикловой механики сердечных сокращений и производительности сердца.

Авторы далеки от мыслей о том, что результаты проведенных исследований возможно рассматривать как конечный продукт для оценки насосной функции сердца во всех случаях клинической и экспериментальной практики. Однако выделение класса явлений, характеризующихся стандартными внешними проявлениями со стороны миокарда, позволяет предположить, что возможно обнаружение других универсальных реакций, например сосудистых, непосредственно связанных с миокардиальными и существенно влияющих на производительность сердца. Целенаправленный поиск таких реакций и установление связей между ними позволит сформулировать общую теорию кровообращения, на основании которой возможен выбор оптимального варианта внешнего управления производительностью сердца.

Наши задачи были гораздо скромнее – корректная формулировка проблемы оценки динамики насосной функции сердца, обоснование путей ее разрешения и установление связей между миокардиальными и гемодинамическими явлениями, пригодными для поиска диагностических показателей. Очерченный круг вопросов представляет собой направление наших дальнейших исследований. Предварительные экспериментальные и клинические результаты показали, что в острых ситуациях и при перегрузках на фоне хронических заболеваний реакции сердечно-сосудистой системы не носят изолированный характер, а, как правило, вовлекают обе половины сердца и все механизмы регуляции сердечного дебита, одновременно изменяя периферическое кровообращение в малом и большом кругах, внешнее дыхание, а при определенной выраженности – и тканевой обмен. Этим

и объясняется предлагаемая нами целесообразность пересмотра таких устоявшихся диагностических категорий, как "сердечно-сосудистая недостаточность", "сердечная недостаточность" и других заведомо узких понятий в пользу представления о кислородтранспортной эффективности кардиореспираторной системы. Дальнейшее накопление фактического материала в различных ситуациях, в том числе в ответ на нагрузочные тесты, представляется нам крайне актуальным для понимания механизмов компенсации, управления ими, а также для объективного прогнозирования результатов терапевтического и хирургического лечения.

Следует подчеркнуть, что большинство наших данных получено в клинических условиях, где в отличие от эксперимента невозможно избирательно моделировать те или иные ситуации и изолированно оценивать различные факторы. Поэтому значение нагрузочных проб в исследованиях, подобных нашему, трудно переоценить. Необходима дальнейшая разработка теории и методики проведения физических и фармакологических нагрузок, направленных как на совокупность компенсаторных механизмов, так и на отдельные регуляторные звенья.

Мы отдаем себе отчет в том, что в монографии незаслуженно мало уделено внимания периферическому кровообращению. Вместе с тем, знакомясь с рядом специальных сообщений по этой проблеме, испытываешь известное разочарование, понимая несоответствие теоретических разработок в области клинической физиологии сосудистой патологии потребностям медицины. Недостает методов в практической оценке поведения артериального и венозного русла, критериев обобщенной оценки сосудов микроциркуляции или венозных сосудов в анализируемых здесь ситуациях. Методически исследователи только начинают применять мониторинг кровообращения с использованием не только инвазивных, но и неинвазивных методов, позволяющих оценивать региональное кровообращение у больных при изменениях производительности сердца и других видах патологии.

Давно сформулирована, но до конца не решена проблема связи функции органов и микроциркуляции в норме и обратимость структурных и функциональных нарушений при устранении патологии. Изучая эффекты острой перестройки кардиодинамики под воздействием коррегирующих операций, мы, как нам кажется, несколько приблизились к решению этой задачи на уровне системных сдвигов. В последующих работах представляется крайне актуальным с помощью клинико-инструментальных сопоставлений проследить за динамикой остаточных изменений кардиодинамики во временном аспекте, чтобы получить достоверную информацию об обратимости таких феноменов, как гипертрофия, патологический асинхронизм, повышенное сосудистое сопротивление и т. п. Помимо теоретического значения такие исследования помогут более точному прогнозированию результатов лечения.

В монографии много внимания уделено условиям формирования ударного выброса и оценке производительности сердца. Отдавая отчет в том, что выделение составляющих его регуляции в виде факторов пред- и постнагрузки и сократимости абсолютно необходимо для понимания возможностей внешнего управления сердечным выбросом, мы вместе с тем убедились, что их изолированная оценка (особенно сократимости) с помощью различных индексов по результатам инвазивных и неинвазивных измерений фактически себя исчерпала.

Более перспективной, на наш взгляд, является разработка способов углубленного изучения функциональной анатомии сокращающегося сердца инвазивными и неинвазивными методами с анализом фазовой структуры сердечного цикла, планиметрическим и стереометрическим количественным отображением кардиомеханики в реальном времени соотношенные к объемам сердца. В этом отношении приоритет, несомненно, принадлежит современным технологиям и созданию новых программ для обработки получаемой информации. Такие исследования в настоящее время уже проводятся.

Без современных методик развитие теоретической и прикладной физиологии кровообращения сегодня невозможно. Для этого должны быть привлечены компьютерная и ультразвуковая томографии, лазерная техника, голография и др. С этих позиций попытки двух- и трехмерного анализа и построения поверхностей типа пространство-сила-время для характеристики функции сердца, несомненно, перспективны. Целью этих исследований должны стать контроль соответствия кардиомеханики уровню тканевого обмена, выявление резервных возможностей кислородтранспортной функции кардиореспираторной системы и управление ими.

Когда артериальное давление, частота пульса и т.п. берутся изолированно, находятся в физиологических границах, они не дают достаточного представления о состоянии кровообращения и адекватности кислородного обмена, а также о степени напряженности механизмов регуляции насосной функции сердца. В практике, ориентируясь только на эти показатели, можно упустить время для принятия правильных решений и не использовать всего арсенала лечебных мероприятий для перехода в компенсацию кровообращения.

Наше привычное понятие о сердечно-сосудистой и других системах в некоторой мере искусственно продиктовано методическими соображениями. Очевидна взаимосвязь кровообращения с другими функциями и, в первую очередь, с внешним и тканевым дыханием. Однако в повседневной практике мы нередко пытаемся судить об эффективности кровообращения без учета газообмена и метаболизма. Определение же только сердечного выброса и его оценка изолированно от показаний внешнего и тканевого дыхания не позволяют говорить о кислородтранспортной адекватности кровообращения.

Понятием, отражающим взаимосвязь между потреблением кислорода, сердечным выбросом и тканевым дыханием, может являться, например, транспортная эффективность кардиореспираторной системы. Как известно, при выполнении физической работы потребление кислорода ( $PO_2$ ) растет вместе с минутным объемом (МО) в линейной зависимости от увеличения физической нагрузки, но такой рост не может быть беспредельным. Лимитирующим фактором в нормальных условиях и при подавляющем большинстве патологических состояний оказывается сердечный выброс, максимальное значение  $PO_2$ , по сравнению с состоянием покоя, отражает резерв кардиореспираторной системы организма.

Методы определения (причем в динамике)  $PO_2$ , МО,  $AO_{2(a-b)}$  стали сегодня доступными методами. Но, несмотря на это, работ, посвященных изучению производительности сердца при острой и хронической недостаточности кровообращения, при наиболее распространенных заболеваниях сердца, у послеопераци-

онных больных, а также исследований по прогностической оценке этих параметров на основе использования нагрузочных тестов в отечественной литературе крайне немного. В связи с этим одной из основных задач данной монографии является обобщение накопленного авторами опыта по изучению динамики производительности сердца при различных острых и хронических перегрузках.

Самым сложным для изучения и оценки оказывается "собственная" сократимость миокарда, которая в своих проявлениях "замаскирована" ауторегуляцией, тесным сопряжением нагнетательной функции сердца с влиянием сосудистого русла, нейрогуморальной регуляцией и другими факторами. Многочисленные показатели сократимости миокарда, претендующие на "чистое", т.е. избирательное, отражение этого показателя, подвергаются серьезной и справедливой критике. За неимением других они продолжают использоваться в физиологическом эксперименте в клинике, а мы не смогли избежать соблазна проверить их информативность. Забегая вперед, следует констатировать наше разочарование в их универсальности и, следовательно, в диагностической ценности. Поэтому мы попытались найти выход из создавшегося общего малоудовлетворительного положения: прибегли к поцикловому анализу механики сердца.

Полноценность диагностики нарушений центральной или периферической гемодинамики зависит от объема зарегистрированной информации, способа ее обработки для выявления значимых признаков клинико-физиологического содержания и формы отображения признаков, подлежащих анализу. Традиционные приемы диагностики заключаются в анализе особенностей формы зарегистрированных первичных кривых и некоторых числовых индексов. Стремление расширить объем информации за счет увеличения числа регистрируемых показателей приводит к необходимости отображать и оценивать значительный массив цифрового материала, многократно превышающий число первичных признаков. Необходимость повышения оперативности и точности клинической диагностики требует поиска более рациональных способов обработки и отображения информации, регистрируемой стандартными способами. Этому способствует и поцикловый анализ механики сердца.

Поцикловый анализ сердечной механики – это более емкое понятие по сравнению с анализом внутрисердечной гемодинамики. Он подразумевает не только временной анализ собственно движения крови, но включает в себя также механику сокращения и расслабления стенок сердца, изменения его объемов и геометрии наружной и внутренней поверхности во всех периодах кардиоцикла. Для поциклового анализа механики сердца мы применили новый метод регистрации деформаций эпикарда и создали автоматизированный метод построения рабочих диаграмм сердца (P-V, P-Q,  $\Delta S$ -P и т. д.). Эти методы были проверены при различной патологии сердечно-сосудистой системы и оказались высокоинформативными во многих клинических ситуациях. В частности, при оценке защиты миокарда от гипоксии в ходе операции, при оценке адекватности хирургической коррекции пороков, для дифференцировки "миокардиального" от других факторов острой сердечно-сосудистой недостаточности, при внешнем управлении кислородтранспортной функцией кардиореспираторной системы. Метод поциклового анализа механики сердца вполне, с нашей точки зрения, себя оправ-

дывает. Построение двух- и трехмерных поцикловых рабочих диаграмм, фактически впервые вводимое нами в отечественную клиническую практику, помогает визуализировать насосную функцию сердца, включая его сократимость, что, с нашей точки зрения, является удачной и очень перспективной альтернативой широко распространенному, но малопригодному вычислению различных "насосных" и "инотропных" коэффициентов.

Помимо нагрузочных тестов, в настоящей работе были использованы радиоизотопные способы изучения центральной гемодинамики, красочный метод для определения сердечного выброса, электромагнитные и ультразвуковые расходомеры для определения линейной и объемной скоростей кровотока. Производилась регистрация внутрисстенного миокардиального давления специально разработанными датчиками, электроманометрия полостей сердца и магистральных сосудов с регистрацией давления и записью производных от внутрижелудочкового давления и кровотока в аорте. Велось определение газового состава артериальной и "смешанной" венозной крови и кислотно-основного равновесия, оценка потребления кислорода на фоне выполнения нагрузочных тестов. Были использованы катетеры Свана-Ганца для регистрации газового состава и давления в правых и левых отделах сердца во время проведения мониторинга в операционной и отделении реанимации под влиянием нагрузок объемом, оценивалась фармакологическая и электрокардиостимуляционная терапия. Это позволило более полноценно оценить кислородтранспортную эффективность кардиореспираторной системы. Производные от регистрируемых параметров и статистическую обработку материала мы получали с помощью современных программ.

В основу данной работы положены наблюдения более чем за 4000 больными, оперированными на сердце в условиях искусственного кровообращения по поводу острой и хронической сердечной недостаточности с ишемической болезнью, приобретенными и врожденными пороками сердца, дилатационной кардиомиопатией.

Из этого числа более 800 пациентов были изучены с применением указанных методик на всех этапах пребывания больных в стационаре. Кроме того, для выявления степеней корреляции показателей, получаемых разными методами, а также для выяснения некоторых принципиальных вопросов патогенеза и количественной оценки изменений в механике сердца при острой сердечно-сосудистой недостаточности нами было поставлено более 100 острых опытов на животных.

Данная работа выполнена в отделе хирургии сердца (руководитель – академик РАМН, профессор Константинов Б.А.) и отделе клинической физиологии (руководитель – член-корреспондент РАМН, профессор Сандриков В.А.) Российского научного центра хирургии им. академика Б.В. Петровского РАМН.

При выполнении отдельных исследований в работе принимали участие многие сотрудники лабораторий Центра и мы сердечно благодарим за это своих коллег, а также выражаем признательность компаниям **GE Healthcare**, **SIEMENS** и **ALOKA** за помощь в издании данной монографии.