

Н. С. ДЖАВАДЯН, Р. П. ДЖАВАХЯН

ПРЯМОЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ МАССАЖ СЕРДЦА

(Обзор литературы)

Остановка сердца в виде асистолии его желудочков, слабых сокращений, недостаточных для поддержания удовлетворительного кровообращения, так называемая функциональная остановка сердца, или фибрилляция, имеют место при общехирургических операциях, даче наркоза, приеме ряда сердечных препаратов, электротравме, утоплении, кровопотере и т. д. Она особенно часто наблюдается в грудной хирургии при катетеризации полостей сердца и магистральных сосудов и при операциях на сердце. Случаи внезапной остановки сердца и фибрилляции при операциях на нем наблюдаются в среднем в 80—100 раз чаще, чем при других видах хирургических вмешательств, даче наркоза и т. д. По статистическим данным, при наркозе и при операциях на других органах случаи остановки сердца наблюдаются сравнительно редко—1 на 1500—2500 операций, тогда как при операциях на сердце случаи остановки сердца составляют 5—10%.

В комплексе мероприятий по поддержанию удовлетворительного кровообращения при слабой деятельности сердца или его остановке массаж сердца занимает исключительно важное место. В зависимости от клинической ситуации, характера и условий остановки сердца и других факторов применяют наружный (трансторакальный), брюшной (поддиафрагмальный или чрездиафрагмальный) и прямой (торакальный) массаж сердца. Наружный и прямой массаж сердца выполняются как вручную, так и специальными аппаратами, так называемыми «механическими массажерами сердца».

Как в экспериментальных исследованиях, так и в условиях клиники и скорой помощи наиболее широкое распространение получил прямой массаж сердца, предложенный впервые Шиффом [7] в 1874 г. Накопленный большой клинический и экспериментальный опыт по применению прямого ручного массажа сердца [3] позволяет указать на его положительные и отрицательные стороны. К положительным сторонам прямого ручного массажа сердца можно отнести следующее:

1. Быстрота его осуществления, т. к. массаж должен быть осуществлен не позже, чем через 3—5 мин. после прекращения деятельности сердца.
2. При ручном массаже хирург непосредственно ощущает ответную реакцию мышцы сердца на массаж и имеет возможность визуально наблюдать за ритмом сердца, интенсивностью его работы, наличием фибрил-

ляции и т. д. 3. Ручной массаж удобен при наличии спаек между сердцем и окружающими его тканями, образованных в результате ранее произведенных операций в полости грудной клетки, при слипчивом перикардите и т. д. 4. Для прямого ручного массажа сердца требуется значительно меньший разрез грудной клетки, чем это требуется для осуществления механического массажа сердца.

К отрицательным сторонам прямого ручного массажа сердца относятся следующее: 1. Травмирование сердца, которое при ручном массаже в основном объясняется неравномерным распределением усилия руки хирурга на поверхность сердца и которое прогрессивно нарастает по мере удлинения продолжительности массажа. Степень сжатия сердца носит субъективный характер и зависит от утомления руки хирурга. При ручном массаже нередко наблюдаются кровоизлияния, различной степени повреждения нервно-сосудистого аппарата и мышцы сердца, вплоть до разрыва сердца (преимущественно стенки предсердий и ушка сердца). Повреждающее влияние ручного массажа на ткани сердца и его нервно-сосудистый аппарат, очевидно, является одним из факторов, способствующих большому проценту смертности больных. 2. При ручном массаже максимальное систолическое давление крови в магистральных сосудах не превышает 60—80 мм рт. ст. даже при приложении на сердце максимального усилия. 3. Ручной массаж не обеспечивает воспроизведения физиологической картины изменения давления в полостях сердца во время систолы и диастолы, изменения давления крови в зависимости от частоты сердцебиения, а также естественной разницы давлений как между полостями предсердий и желудочков, так и между полостями желудочков. 4. Частота, ритмичность, интенсивность сжатий и расслаблений сердца, взаимоотношение между скоростью и длительностью этих фаз не поддаются точному регулированию при ручном массаже, особенно при его длительном применении. Установлено, что ритмичный, равномерный ручной массаж сердца при частоте 80—120 сжатий в минуту можно осуществить не более, чем в течение 30 мин., в дальнейшем по мере утомления руки хирурга нарушается как ритмичность, так и усилие сжатий сердца [10]. 5. При нормальной сердечной деятельности одностороннее пульсирующее движение крови в замкнутой сердечно-сосудистой системе обеспечивается последовательными разновременными и различной длительности сокращениями и расслаблениями предсердий и желудочков. Ручной массаж резко нарушает указанные условия работы сердца, что особенно отрицательно отражается на притоке крови к предсердиям.

Для устранения указанных недостатков прямого ручного массажа и для осуществления процедуры массажа в более продолжительное время рядом авторов были предложены различные способы прямого механического массажа сердца, сконструированы для этой цели и опробованы в эксперименте соответствующие аппараты.

По данным В. А. Неговского [3], в 1938 г. В. П. Демиховым был предложен аппарат для прямого механического массажа сердца. Этот аппарат состоит из двух отсасывающих лапок, приводимых в движение спе-

циальным рычажным механизмом. Отсасывающие лапки снаружи металлические, а внутренняя прилегающая к сердцу сторона выполнена в виде металлической сетки, через которую производится отсасывание воздуха из пространства между лапками и сердцем. Нагнетание крови из желудочков (систола) производится при сближении лапок, а при их удалении (диастола) полости желудочков благодаря отсосу эффективно расширяются, вследствие чего обеспечивается диастолическое наполнение сердца кровью. Ритм массажа можно регулировать вручную в пределах от 60 до 120 сжатий в минуту. Недостатком аппарата является травмирование сердца при длительном массаже, вследствие контакта его с металлической сеткой.

В 1949 г. Бек и Ранд [4] предложили комбинированный аппарат для прямого механического массажа и для электродефибрилляции сердца. Аппарат состоит из двух круглых отсасывающих лапок (чашки), кото-

рые служат также электродами для электродефибрилляции (рис. 1) и механизма привода. Для проведения массажа отсасывающие лапки накладываются вручную к желудочкам и включается механизм привода. Принцип расслабления и сжатия желудочков лапками подобен действию мехов. Отсос обеспечивается специальным вакуумным устройством. Привод дает возможность изменить ритм массажа в пределах от 40 до 120 сжатий в минуту. Металлические кольца по окружности лапок служат электродами для электродефибрилляции, вследствие чего электрический контршок можно подавать во время массажа. Основным преимуществом аппарата является обеспечение активной диастолы и совмещение электродов для дефибрилляции с массажером.

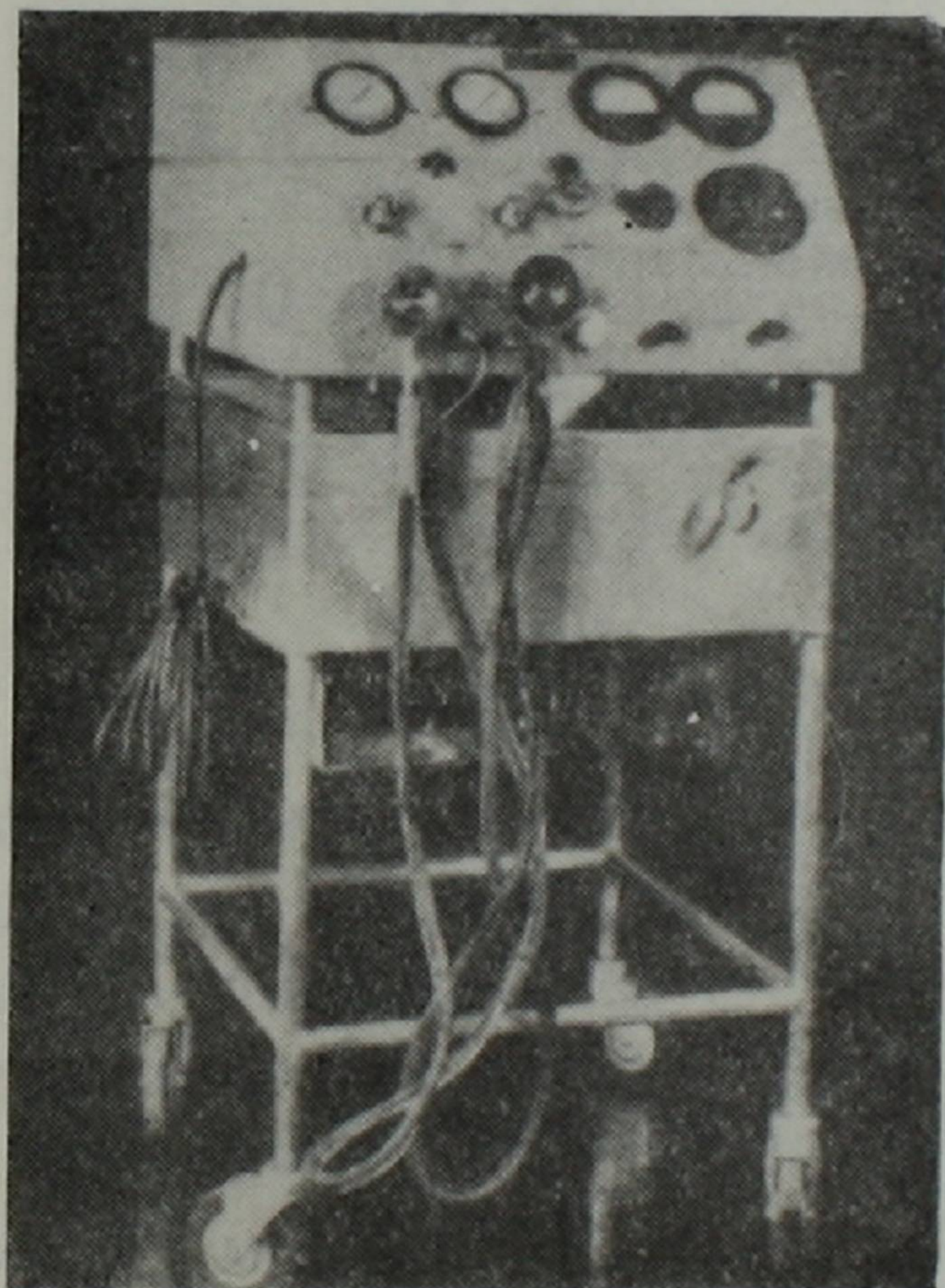


Рис. 1. Аппарат Бека и Ранда.

В 1956 г. Бенчини и Парола [5] разработали пневматический метод массажа сердца, используя при этом перикард. Пневмомассаж заключается в ритмичном наполнении внутриперикардиальной полости газом (воздухом или кислородом). Так как перикард является довольно неэластичной мембраной, то увеличение давления в его полости приводит к сжатию сердца. Устройство для осуществления пневмомассажа состоит из системы для ритмического наполнения внутриперикардиальной полости газом (рис. 2) и специальной металлической канюли (рис. 3). Канюля вводится в маленькое отверстие в перикарде и удерживается при помощи полого винта. Система наполнения газом представляет собой резиновую грушу с эластичными стенками, которая сжимается вручную,

или кислородный баллон, из которого кислород выходит по Т-образной стеклянной трубке. Этот метод имеет два недостатка. Во-первых, ввиду одновременного сжатия всех полостей сердца значительно увеличивается давление в предсердиях, что отрицательно действует на их наполнение кровью и вызывает обратный поток крови к венам, во-вторых, так как сжатие и расслабление резиновой груши осуществляется вручную, то

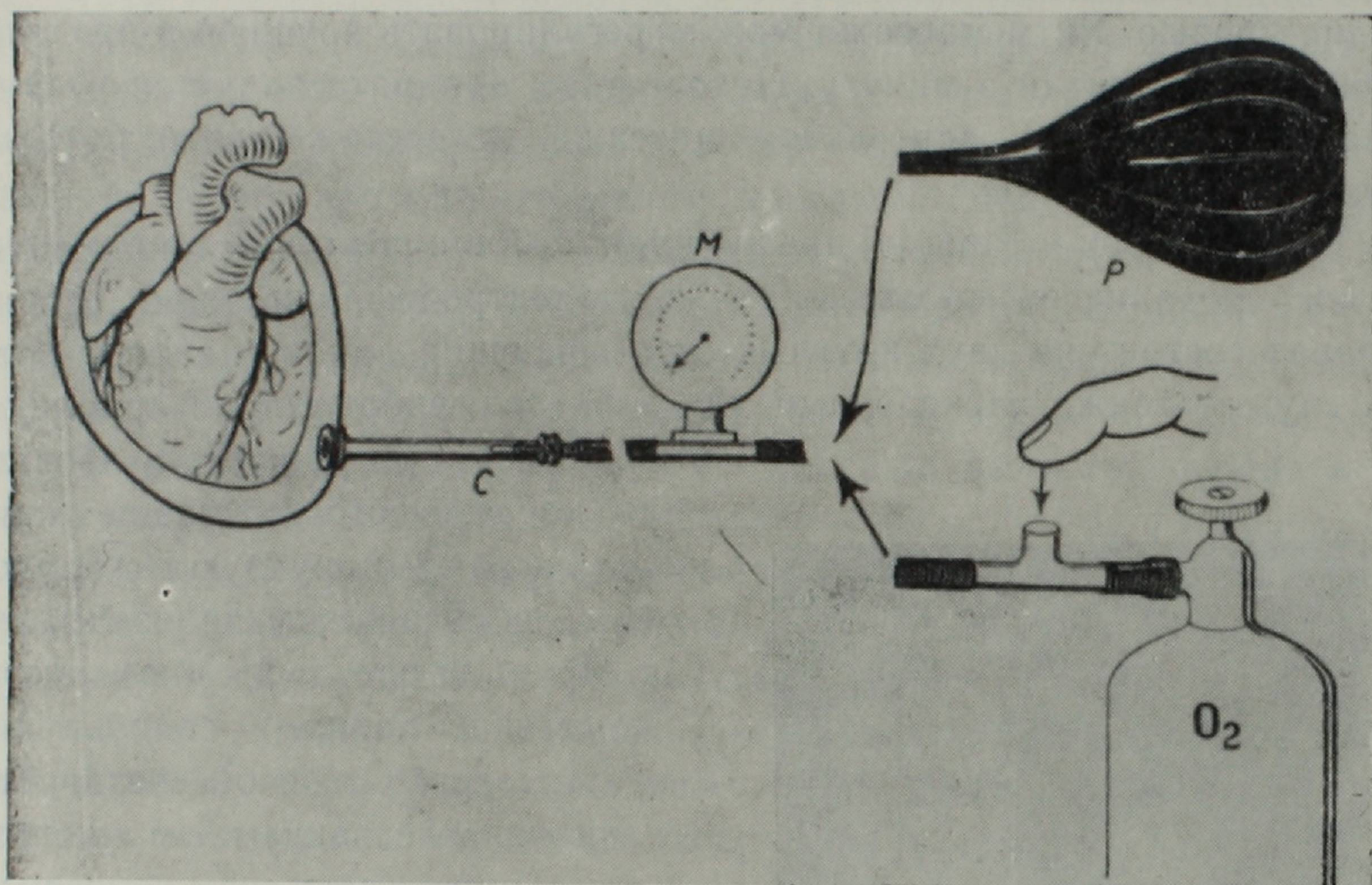


Рис. 2. Схема пневмомассажа по Бенчини и Парола.

давление и ритм сокращений не удерживаются на определенном уровне. Однако по сравнению с ручным массажем он обладает тем преимуществом, что обеспечивает равномерное распределение давления на наружную поверхность сердца. Кроме того, устройство имеет очень простую конструкцию, и применение его возможно в любой клинике.

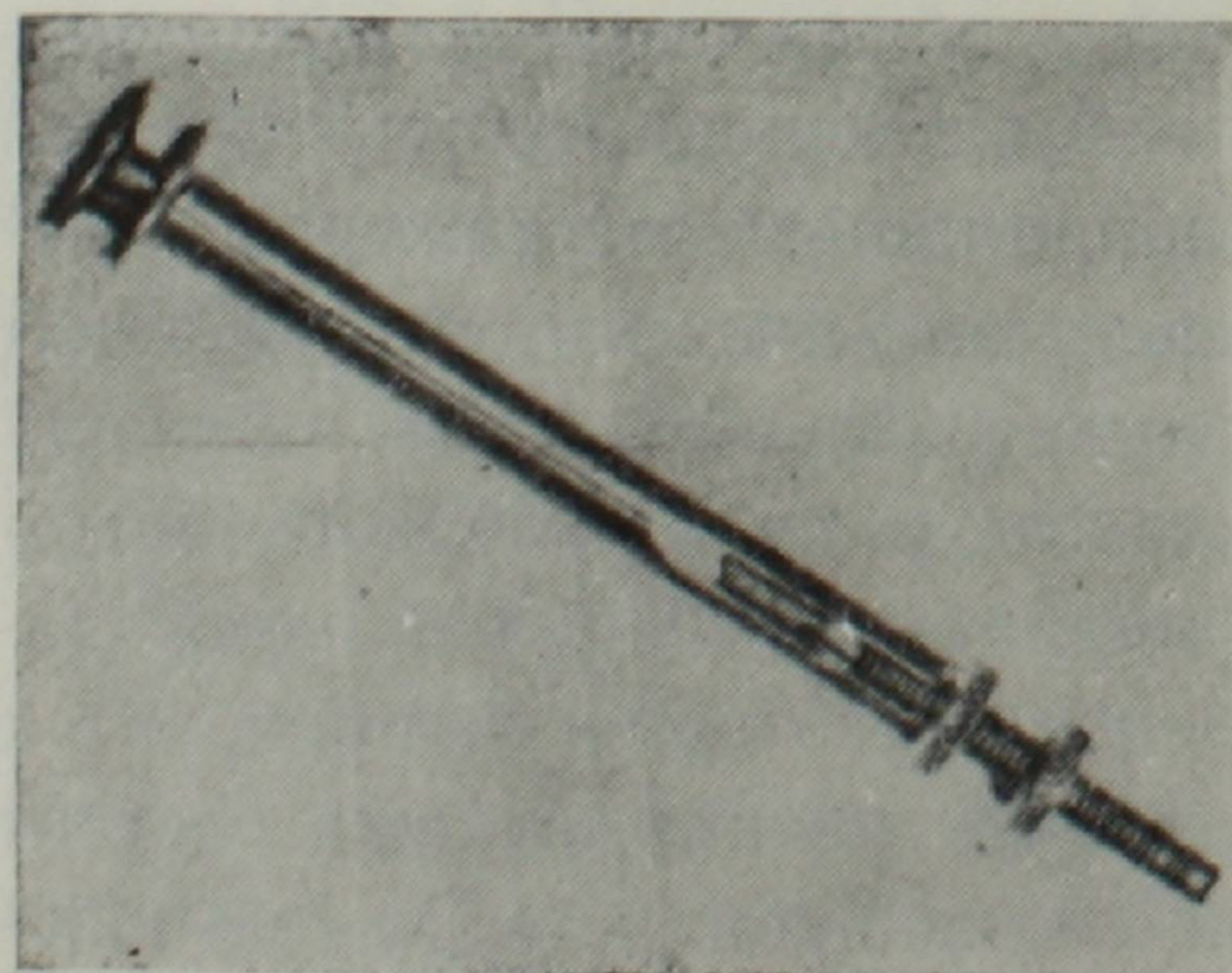


Рис. 3. Металлическая канюля.

В 1957 г. Вайнбергом [9] был предложен новый метод механического массажа сердца с помощью так называемого «искусственного перикарда». Аппарат Вайнберга состоит из механического массажера и насосного механизма. Механический массажер (рис. 4) состоит из нейлонового мешка (10), овальных мембран (16а, 16b), образующих упругие камеры, и полый жесткой оболочки (20), две половинки которой соединяются шарнирно (22) или щипцами. В дальнейшем автором

была предложена новая конструкция массажера, состоящего из нерастя-

жимого нейлонового мешка с двумя пришитыми квадратными мембранами. Насосный механизм состоит из поршневого насоса (30) (рис. 5), который приводится в движение кулачковым механизмом. Кулачок (38) профилирован так, что обеспечивает соотношение времен прямого (систола) и обратного (диастола) ходов как 1 : 2. Ход поршня и ритм сокращений регулируются вручную.

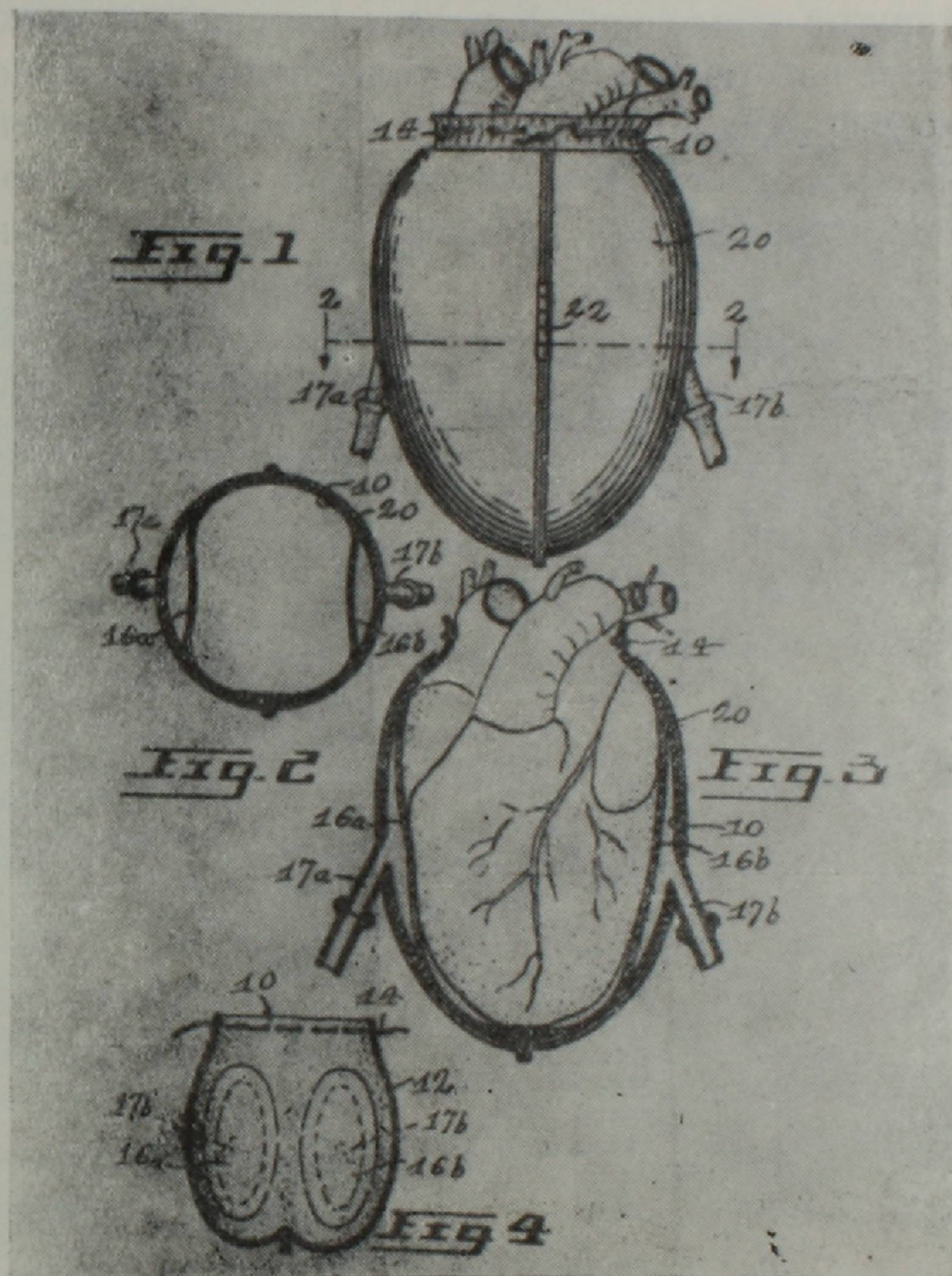


Рис. 4. Сердечный мешок массажера Вайнберга.

Основным преимуществом этого аппарата является сжатие и расслабление желудочков по определенному предварительно заданному закону. Однако и этот метод обладает рядом недостатков. Во-первых, при одновременном сжатии и расслаблении предсердий и желудочков (I модель мешка) не обеспечивается удовлетворительное возвращение венозной крови к сердцу и его полноценное наполнение; во-вторых, при сжатии только желудочков (II модель мешка) не обеспечивается необходимая разница давлений в желудочковых камерах; в-третьих, внутри одного сердечного цикла не обеспечивается физиологическое соотношение времен систолы и диастолы желудочков (1 : 2 вместо 3 : 5); в-четвертых, затягивающие шнуры, оболочки, молнии слишком громоздки и не позволяют быстро наложить мешок на сердце, не говоря о том, что они могут повредить прилегающие структуры.

Аппарат Уолькота и Уерри, предложенный в 1960 г. [10], состоит из пневмоманжеты и привода. Пневматическая сердечная манжета состоит из наружного металлического цилиндра и внутренней эластичной резины (рис. 6). Привод состоит из центробежного насоса, приводимого в движение электродвигателем мощностью 1/3 л. с. Сжатие и расслабление сердца осуществляется путем создания с помощью насоса положительного и отрицательного давления воздуха в полости между жестким цилиндром и упругой оболочкой. Клапаны на положительное и отрицательное давление насоса управляются соленоидом. Давление в сердечной манжете и ритм массажа регулируются вручную, соответственно в пределах 53,5—740 мм рт. ст. и 40—140 сжатий в минуту. Отношение систолы к диастоле составляет 1 : 1. Массажер снабжен эпикардиальным

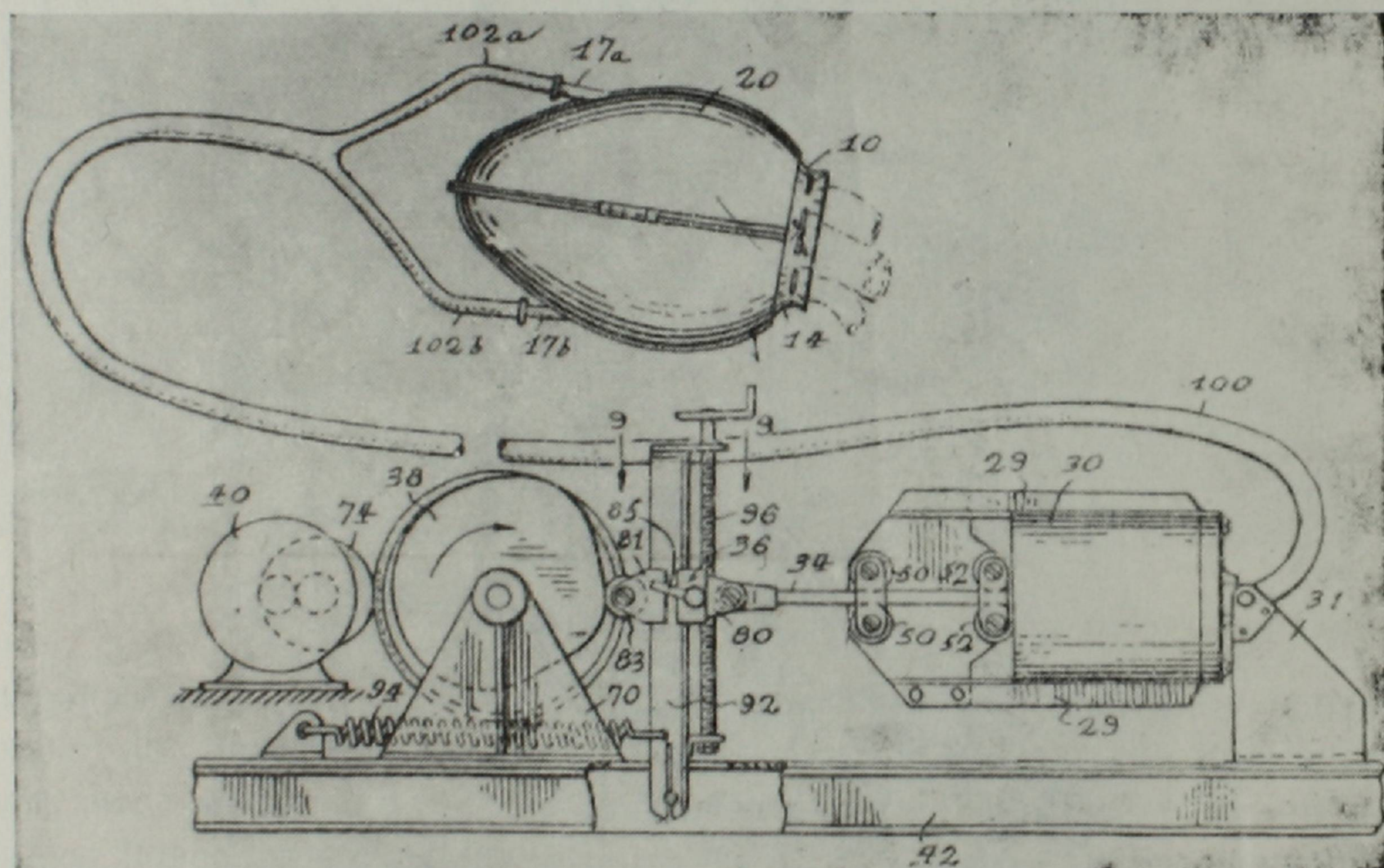


Рис. 5. Привод массажера Вайнберга.

электродом, который служит как для регистрации ЭКГ, так и для синхронизации работы массажера с ритмом слабоработающего сердца с помощью импульсов ЭКГ, а также для электрической стимуляции сердца. Преимуществами указанного аппарата являются: возможность быстрого наложения манжеты на сердце и снятия ее, возможность использования манжеты для различных размеров сердца, проведение электро-стимуляции сердца без прекращения массажа, синхронизация ритма массажера с ритмом сердца. К отрицательным сторонам аппарата относятся: осуществление сжатия с помощью лишь одной упругой камеры, что приводит к сжатию межжелудочковой перегородки, и изменение при проведении массажа естественного положения сердца, что приводит к искажению сечений крупных сосудов, на которых висит сердце.

Как видно из изложенного, в указанных выше способах механического массажа сердца есть еще элементы ручного массажа, заключаю-

щиеся или в ручном поддержании приложенных к сердцу отсасывающих лапок [4], или же в ручной подаче в полость перикарда сжатого воздуха [5]. Поэтому недостатки ручного массажа в той или иной степени присущи и этим способам механоручного массажа. В указанных массажерах или сжимаются только желудочки [4, 9, 10], или же предсердия и желудочки вместе, причем с одной и той же силой и продолжительностью [5, 9]. В первом случае затрудняются условия полноценного диастолического наполнения желудочков, чем и объясняется сравнительно низкое систо-

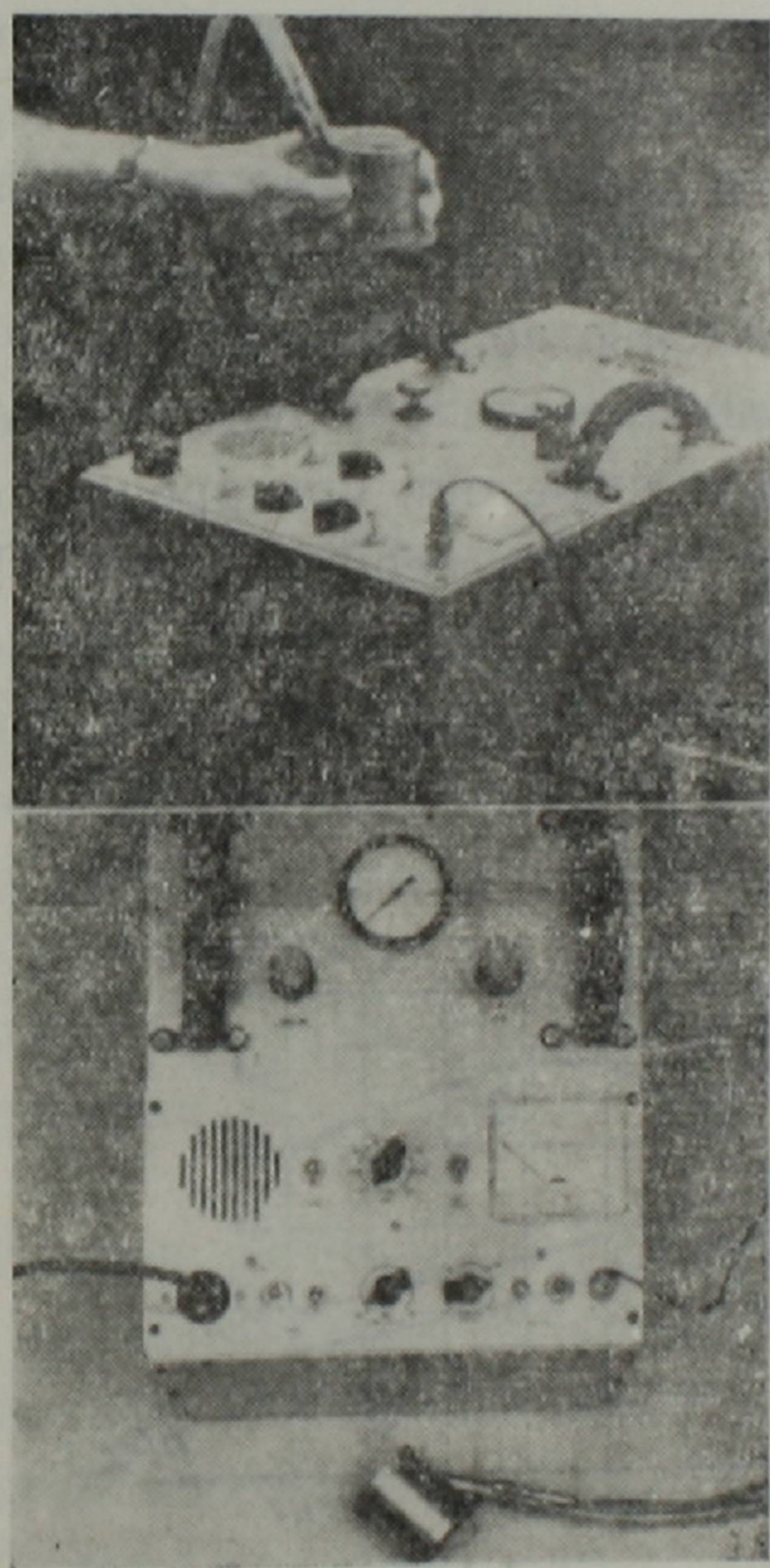


Рис. 6. Общий вид массажера Уолькота и Уерри.

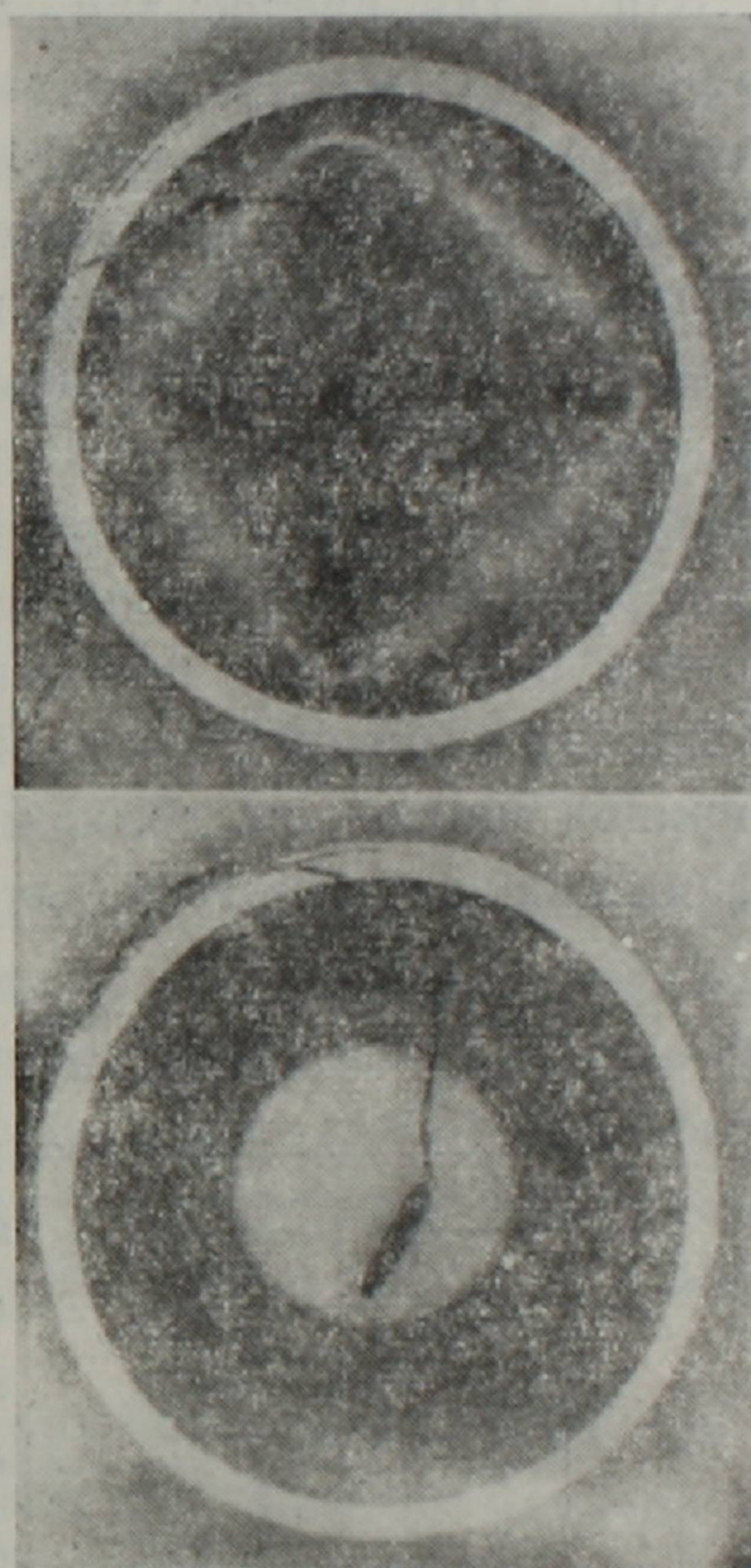


Рис. 7. Пневмоманжета массажера Уолькота и Уерри при положительном и отрицательном давлении; виден эпикардальный электрод.

лическое давление крови, достигаемое при этих способах массажа; во втором случае затрудняются нормальные условия кровообращения. Одновременное массажирование всех полостей сердца не может быть эффективным по той причине, что оно не обеспечивает физиологической разницы сил и периодов сокращений между предсердиями и желудочками, а также силой сокращения между желудочками. С этой точки зрения естественно, что наиболее эффективным окажется массаж сердца, проведенный по циклограмме нормальной работы сердца и обеспечивающий разницу сил сжатий предсердий и желудочков. Механический массаж сердца, кроме удовлетворения указанных условий, не должен оказывать

повреждающего влияния на сердце, особенно на предсердия. Поэтому проблема конструирования охватывающей сердце части массажера представляет особую трудность в создании аппаратов для механического массажа. В целях наименьшего травмирования сердца, очевидно, наиболее перспективным может являться массаж сердца при помощи упругих камер, через которые пульсационное движение жидкости или газа может передаваться к сердцу. Для обеспечения разновременности, разности длительностей и сил массажирования отдельных полостей сердца необходимо, чтобы сердечная сумка имела минимум три отдельные камеры, одну—для предсердий, две—для желудочков. Поскольку желудочки работают синхронно и разница заключается лишь в неравенстве давлений в них, то можно камеры для обоих желудочков привести в движение одним насосом (при этом необходимо предусматривать в системе устройство, обеспечивающее разные давления в желудочковых камерах в условиях равного расхода жидкости к ним) или же двумя насосами с общим приводом.

Очень важно иметь в виду и то обстоятельство, что давление в полостях сердца, его ударный объем и соотношение длительностей систолы и диастолы не являются постоянными величинами, они при прочих разных условиях изменяются в зависимости от частоты сердцебиения. Поэтому привод массажера должен обеспечивать воспроизведение этих физиологических зависимостей, которые приведены на рис. 8. С достаточной

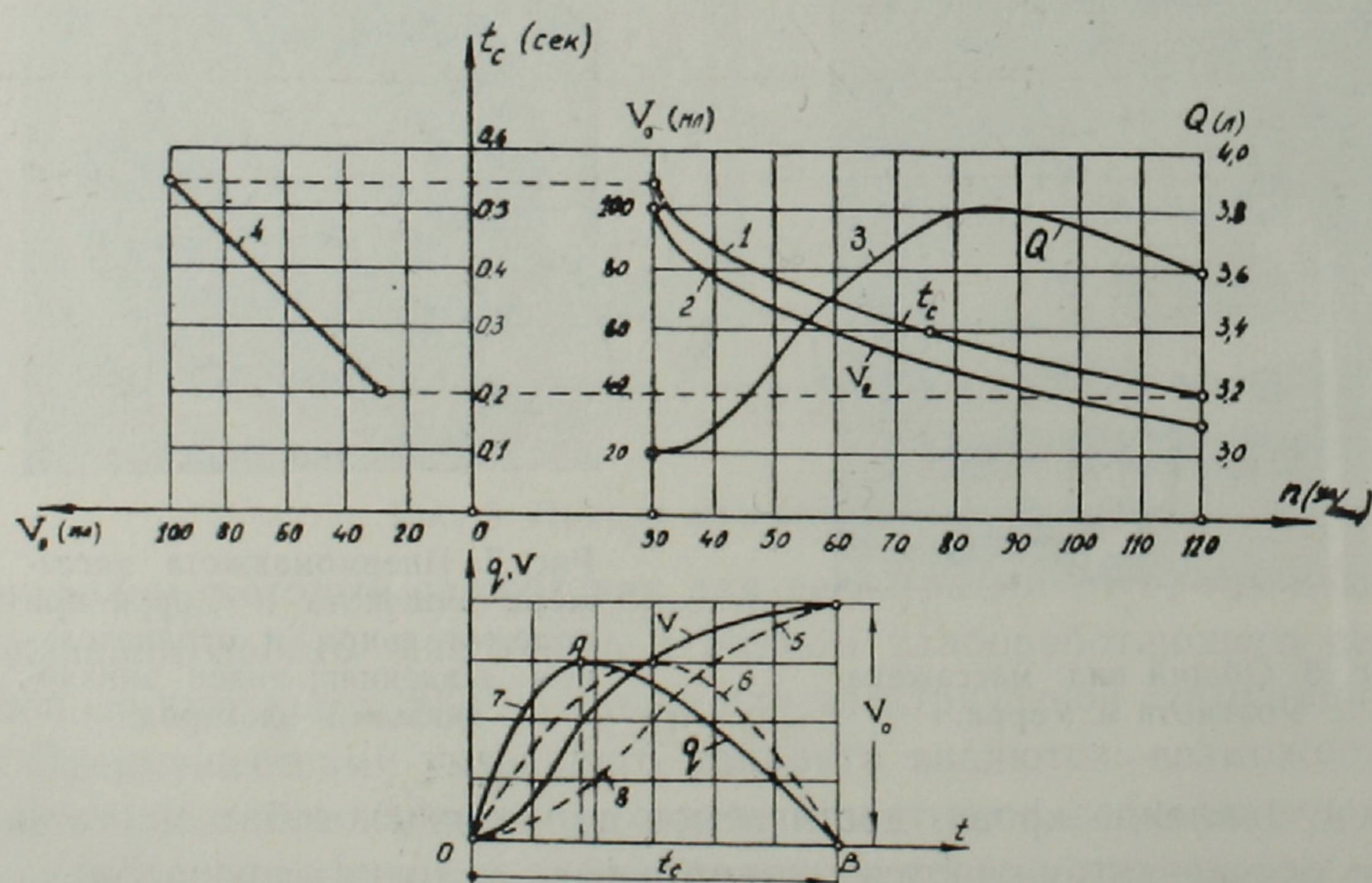


Рис. 8. Кривые, характеризующие нормальную работу сердца при различных числах его сокращения.

для практики точно изменение продолжительности t_c (в сек.) систолы желудочков и ударного объема V_0 (в мл) сердца в зависимости от частоты n сердцебиения (на участке $n=30 \div 120$ уд./мин.) можно описать уравнениями квадратных парабол (кривые 1, 2).

$$t_c = 0,5414 - 0,03493 - 3 \sqrt{n-30} \quad \text{и} \quad V_o = 100 - 7,38 \sqrt{n-30} \quad (1)$$

Кривая 3, выражающая зависимость минутного объема Q сердца от частоты сердцебиения, полученная по формуле $Q = n V_o$ с учетом (1), достаточно близка к аналогичной кривой [8], построенной по экспериментальным данным. Из формул (1) видна зависимость ударного объема V_o сердца от продолжительности систолы t_c (кривая 4)

$$V_o = 211,3 t_c - 14,4 \quad (2)$$

Привод массажера должен обеспечивать воспроизведение зависимости (2) при изменении ритма n массажа. Кроме того, для массажа сердец различных размеров привод должен иметь возможность независимого регулирования ударного объема V_o .

При проектировании привода насоса аппарата для искусственного кровообращения с пульсационным движением крови полагают [1, 2], что объем V крови, выталкиваемый левым желудочком, и объемная скорость q крови внутри одного сокращения желудочков ($0 \leq t \leq t_c$) изменяются соответственно законам (кривые 5 и 6)

$$v = \frac{v_o}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi}{t_c} t \right) \right] \quad \text{и} \quad q = \frac{dv}{dt} = \frac{\pi}{2} \frac{v_o}{t_c} \sin \left(\frac{\pi}{t_c} t \right)$$

Однако эти зависимости лишь приближенно отражают действительную картину. В действительности максимум кривой объемной скорости q смещен к началу систолы [6] (кривая 7). Привод насоса массажера необходимо проектировать по кривой 7, которую на участках ОА и АВ можно приближенно заменить двумя синусоидами. Это даст значительное уменьшение динамических нагрузок на желудочки в конце их сокращения.

Сердечная сумка должна быть сконструирована так, чтобы при массаже не изменялось естественное положение сердца. Она должна регулироваться по размеру, обеспечивать возможность быстрого наложения манжеты на сердце и снятия ее и быть удобной для стерилизации.

С практической точки зрения целесообразно, чтобы конструкция сумки обеспечивала возможность введения различных лекарственных веществ в полость сердца (левого желудочка) в целях химической дефибриляции или стимуляции деятельности сердца без прекращения процедуры механического массажа.

Поддержание нормальной температуры сердца во время проведения массажа, особенно при его длительном проведении, имеет очень важное значение для благополучного исхода массажа. Поэтому массажер должен быть снабжен терморегулятором, обеспечивающим массажирование сердца как при нормотермии, так и в условиях гипотермии.

Для предотвращения инфицирования грудной полости при случайном разрыве камер желательно в качестве рабочей жидкости (при гидравлическом приводе) применять стерильный физиологический раствор, обогащенный антибиотиками.

Очень важна также синхронизация ритма механического массажа с ритмом сокращения сердца в период нестойкого возобновления сердечной деятельности, требующего продолжения массажа и применения его как дополнительного средства для усиления слабых сокращений сердца. Эту синхронизацию можно осуществить при помощи обратной связи: QRS комплекс ЭКГ—привод—обратно к сердцу.

Механический массаж не всегда может привести к восстановлению сердечной деятельности. Он может осложняться фибрилляцией или вторичной остановкой сердца. Для распознавания остановки сердца или фибрилляции и для дальнейшего проведения электродефибрилляции или электростимуляции сердца на фоне продолжающегося массажа необходимо на внутренней стенке сердечной сумки (в местах наименьшей его пульсации) смонтировать два электрода: один для отведения биопотенциалов сердца, с целью приведения в действие монитор, и для униполярной электростимуляции, другой (большого размера)—для электродефибрилляции без прекращения массажа.

Мы привели вкратце описание современных механических массажеров сердца и указали перспективы и пути их дальнейшего усовершенствования. Многие вопросы конструирования и применения в клинике механических массажеров сердца еще не ясны и дискуссионны, однако очевидно, что создание механических массажеров сердца является важной теоретической, клинической и технической проблемой, нуждающейся во всестороннем и глубоком изучении.

Всесоюзный НИИЭХАиИ,
Московский НИИ машиноведения

Поступило 16/II 1967 г.

Ն. Ս. ԶԱՎԱԴՅԱՆ, Ռ. Պ. ԶԱՎԱԽՅԱՆ

ՍՐՏԻ ՈՒՂՂԱԿԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՄԱՍՍԱԺ

Ա. մ փ ո փ ո լ մ

Հոգիվածում բերվում են համառոտ տվյալներ սրտի մեխանիկական մասածի համար գոյություն ունեցող ապարատների կառուցվածքի և աշխատանքի սկզբունքի մասին: Բերվում են նաև սրտի նորմալ աշխատանքը բնորոշող կորեր և ցույց են տրվում սրտի ֆիզիոլոգիական գործունեությանը համապատասխանող ապարատի ստեղծման ուղիները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вайриб Е. А., Эфрос Г. А., Фрид Е. А. Медицинская промышленность СССР, 1956, 2, стр. 14.
2. Вайриб Е. А., Эфрос Г. А., Фрид Е. А. Медицинская промышленность СССР, 1956, 3, стр. 32.
3. Неговский В. А. Патологическая физиология агонии и клинической смерти. М., 1954.

4. Beck S., Rand H. J. *Jama*, 1949, 141, 17, 1130.
5. Bencini A. C., Parola P. L. *Surgery*, 1956, 39, 375.
6. Noble M. I. *Hidrolic pneumatic power*, 1965, 10, 577.
7. Schiff M. *Arch. f. d. ges. Phisiol.*, 1882, 28, 200.
8. Sowton E. *Proceedings of the Roial Sosity Medicine*, 1964, 57, 368.
9. Vineberg A. *Canad. M. A. J.*, 1957, 77, 5, 495.
10. Wolcott M. W., Wherry C. G. *Surgery*, 1960, 48, 5, 903.

