

Действительный член АН УССР Е. Б. БАБСКИЙ и И. Т. АКУЛИНИЧЕВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ
МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, СВЯЗАННЫХ
С СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ И ДВИЖЕНИЕМ КРОВИ
В СОСУДАХ**

Сердечная деятельность и движение крови по сосудам сопровождаются сложной совокупностью механических процессов. При этом происходят перемещения массы сердца и массы крови, ритмически выбрасываемой в крупные сосуды, сердечные и пульсовые толчки и реактивные процессы, с ними связанные. Несимметричность положения сердца в грудной клетке, сложное строение сосудистого русла и различное направление тока крови в магистральных сосудах приводят к тому, что силы, вызывающие перечисленные процессы, имеют весьма сложное пространственное распределение. Результирующая этих сил для каждого короткого отрезка времени, соответствующего той или иной фазе сердечного цикла, может быть выражена вектором.

Определение пространственного или даже плоскостного вектора, т. е. равнодействующей суммы сил, вызываемых механическими процессами, происходящими в грудной клетке или брюшной полости человека при сердечной деятельности, до сих пор никем не производилось. Причина этого заключается в трудности регистрации механических проявлений сердечной деятельности и в еще большей трудности аналитического определения вектора. Современная инструментальная техника дает возможность преодоления этой трудности. На основе принципов электрического измерения механических величин удалось в недавнее время разработать методику, позволяющую регистрировать совокупность механических изменений, происходящих в отдельных областях тела при сердечной деятельности (¹). Эти механические изменения можно регистрировать в разных направлениях — вдоль или поперек оси тела. В зависимости от положения тела на приборе может быть определена проекция их на фронтальную или на сагиттальную плоскость.

Одновременная запись механических проявлений сердечной деятельности и движения крови по сосудам в направлениях вдоль и поперек к продольной оси тела в принципе позволяет определять их равнодействующую и выражать ее вектором, соответствующим коротким отрезкам времени. Задача весьма упрощается при применении автоматически действующей интегрирующей системы в виде электроннолучевого осциллографа.

В нашем исследовании для целей определения равнодействующей механических процессов, происходящих в грудной клетке или брюшной полости, был применен электроннолучевой осциллограф с разверткой по системе прямоугольных координат. На вертикально отклоняющую систему электроннолучевой трубки подавались сигналы от продольной оси воспринимающего устройства кардиогемодинамографа, что позволяло регистрировать колебания в направлении продольной оси тела, а на горизонтально

отклоняющую систему подавались сигналы от поперечной оси воспринимающего устройства, что делало возможным регистрировать колебания, перпендикулярные к продольной оси тела. Одновременное воздействие на электронный луч обеих пар отклоняющих пластин заставляет его смещаться на величину и направление вектора. Таким образом, на экране осциллографа можно видеть смещение луча, соответственно диагонали параллелограмма сил, сторонами которого являются силы, действующие по вертикали и горизонтали. Вследствие того, что результирующая механических сил непрерывно меняется в течение всего сердечного цикла, луч вычерчивает сложную кривую — векторную кардиогемодинамограмму.

Во время исследования испытуемый ложился на специальный стол так, что под определенную область тела — под грудную клетку или брюшную полость — помещалось воспринимающее устройство кардиогемодинамографа. Это устройство состояло из двух квадратной формы металлических плит, между которыми по углам их были расположены упругие элементы с проволочными тензодатчиками. Последние были соединены между собой по двум дифференциальным (разностным) мостовым схемам так что одна из них регистрировала изменения вертикальной нагрузки и ее перемещения вдоль, а вторая — поперек продольной оси тела.

Постоянная составляющая нагрузка действующей на воспринимающее устройство

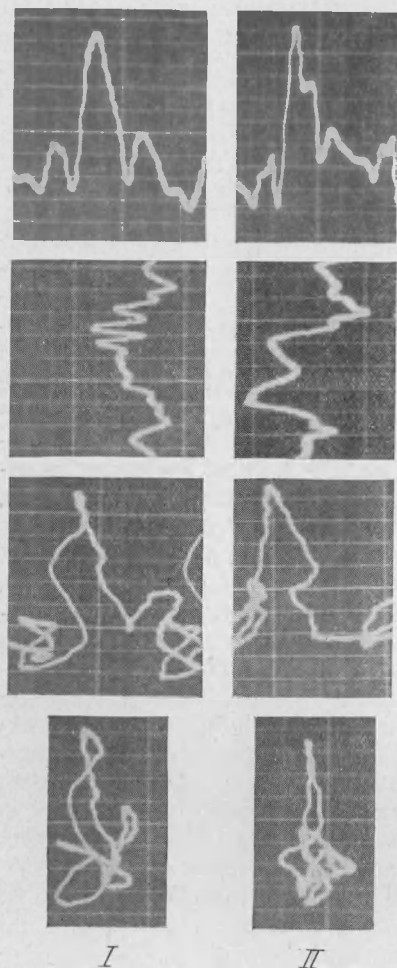


Рис. 1. Кардиогемодинамограммы одного сердечного цикла двух здоровых испытуемых (I и II), записанные при положении их лежа на спине. Верхний ряд — кардиогемодинамограммы, соответствующие продольной оси тела. Второй ряд — кардиогемодинамограммы, соответствующие поперечной оси тела. Третий ряд — векторные кардиогемодинамограммы, развернутые по горизонтали. Нижний ряд — векторограммы без применения искусственной электрической развертки

устройство, снималась компенсатором. Питание проволочных тензодатчиков сопротивления, вмонтированных в воспринимающее устройство, производилось от генератора переменным током 4000 гц. В измерительную диагональ мостовой схемы был включен тензодатчик с фазочувствительным выпрямительным мостом на выходе.

В качестве измерительного прибора был использован вектор-электрокардиоскоп с усилителем постоянного тока конструкции И. Т. Акулиничева. Этот прибор имеет электроннолучевую трубку с длительным послеосвещением и электрической разверткой наблюдаемых процессов, что позволяло осуществлять визуальное исследование и фотографирование кривых на неподвижную фотопленку. В отличие от известных приборов в этом вектор-электрокардиоскопе усилитель постоянного тока используется не только для усиления подаваемых от объекта сигналов, но и для развертки процессов и по горизонтальной и по вертикальной оси.

Развертка векторной кривой во времени по горизонтальной оси дает возможность проследить направление трассы луча при вычерчивании каждого элемента векторограммы.

Мостовые схемы так соединялись с отклоняющими системами электроннолучевой трубки, что перемещение нагрузки вдоль или поперек тензометрического воспринимающего устройства приводило к смещению луча в том же направлении, в котором она перемещалась на воспринимающем устройстве. Для контроля производилось круговое перемещение определенной массы по поверхности воспринимающего устройства в направлении движения часовой стрелки, что вызывало перемещение луча осциллографа в том же направлении.

При каждом исследовании мы при помощи описанной аппаратуры вначале фотографировали кардиогемодинамограммы отдельно для вертикальной и для горизонтальной оси, а затем неподвижную векторограмму и ее развертку по горизонтальной оси.

Как показали проведенные наблюдения, получаемые у практически здоровых людей векторные кардиогемодинамограммы имеют довольно сложную форму. Иллюстрацией служат кривые, приведенные на рис. 1. Векторограммы представляют собой проекцию на плоскость равнодействующей суммы механических проявлений сердечной деятельности и движения крови по сосудам.

Аналитическое построение вектора из синхронно записанных двумя шлейфами шлейфного осциллографа кардиогемодинамограмм в продольном и поперечном направлениях позволило приблизиться к расшифровке векторограмм, получаемых на экране электроннолучевой трубки.

Если воспринимающее устройство находится под грудной клеткой испытуемого, лежащего на спине, то на регистрируемой векторограмме выделяются обычно три основные составляющие ее петли: 1) начальная петля, соответствующая первым двум фазам сердечного цикла (систоле предсердий и фазе изометрического напряжения желудочков); 2) петля максимальной амплитуды, соответствующая периоду изгнания крови из желудочков в сосуды; 3) конечная петля, соответствующая периоду расслабления желудочков и наполнения их кровью. В норме начальная петля имеет сложную конфигурацию и находится у основания векторограммы, петля максимальной амплитуды направлена вверх и образует на вершине небольшой завиток, конечная петля отклонена в сторону левой половины грудной клетки. Рассмотрение кривых позволяет предполагать, что восходящая часть кривой, совпадающая с изгнанием крови из желудочков, преимущественно обусловлена выбросом крови в аорту. Это предположение основывается на том, что выброс крови в обе легочные артерии происходит в противоположные стороны и потому не может оказать значительного влияния на векторограмму. Однако, пока нет оснований считать, что ход кривой точно воспроизводит трассу движения массы крови в аорте.

При положении исследуемого человека на правом или левом боку векторные кардиогемодинамограммы направлены в противоположные

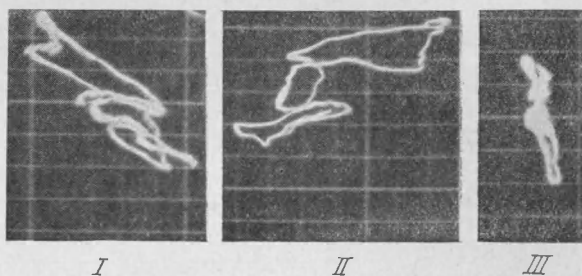
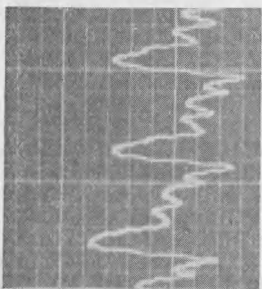
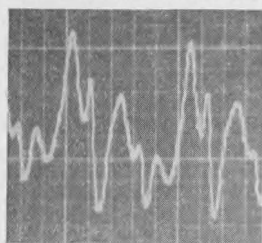


Рис. 2. I — векторная кардиогемодинамограмма, записанная при положении испытуемого лежа на левом боку. II — векторная кардиогемодинамограмма при положении испытуемого лежа на правом боку. III — векторная кардиогемодинамограмма брюшной полости при положении испытуемого лежа на спине

стороны и отклоняются спереди назад. Это, возможно, объясняется тем, что выброс крови из желудочков и направление кровотока по легочным артериям и отчасти по аорте происходят спереди назад. Характер кривой при положении испытуемого на правом или левом боку в общем схож, но направление трассы при положении на правом боку идет по направлению движения часовой стрелки, а при положении на левом боку идет против этого направления (см. рис. 2).



Сопоставление векторных кардиогемодинамограмм, регистрируемых в фронтальной и сагитальной плоскостях, дает возможность произвести пространственный анализ суммы механических явлений, связанных с сердечной деятельностью и движением крови.

Перемещение испытуемого вдоль доски воспринимающего устройства приводит к значительному изменению формы кривой. Так, если испытуемый лежит на спине таким образом, что дуга аорты расположена выше переднего края воспринимающего устройства прибора, то верхняя часть векторной кривой, соответствующая вертикальной петле, уменьшается и может даже исчезнуть. Вместе с тем появляется отрицательная вертикальная петля, направленная вниз. Если же воспринимающее устройство помещается под брюшной полостью, то форма векторограммы становится значительно проще (рис. 2). На кривой в этом случае почти отсутствуют горизонтальные петли и выражена лишь вертикальная компонента.

Рис. 3. Кардиогемодинамограммы сердечных циклов при тетраде Фэлло с правосторонним отхождением аорты. Обозначения те же, что на рис. 1

В настоящее время еще преждевременно судить о практическом значении данной методики для клинической медицины. Однако можно отметить, что при записи векторограмм у больных с аномалиями развития магистральных сосудов характер векторной кривой резко отличается от вариантов нормы. Для иллюстрации приведем кривые, записанные у больного с тетрадой Фэлло (см. рис. 3). У этого больного имелось правостороннее отхождение аорты, что было подтверждено посмертным вскрытием. Векторные кардиогемодинамограммы резко асимметричны; петли кривой смещены в сторону правой части тела (левая часть векторограммы соответствует правой половине тела и наоборот).

Поступило
21 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Б. Бабский и др., ДАН, 83, № 6 (1952); 84, № 1 (1952); 88, № 2 (1953); 92, № 1 (1953).