

УДК 612.171.1-092.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ МЕТОДОМ ПОЛИКАРДИОГРАФИИ

Г.Ж. Суранова

Описывается поликардиографический метод исследования функционального состояния сердечно-сосудистой системы экспериментальных животных.

Ключевые слова: сердечный цикл; фазовый анализ; катетеризация.

Актуальность. Поликардиография, или синхронная регистрация ЭКГ и графическая регистрация изменений давления в полостях сердца – метод исследования сердечной деятельности, направленный на изучение фазовых компонентов сердечного цикла. Этот метод предложил К. Blumberger в 1942 г. Информация о фазовой структуре систолы левого и правого желудочков сердца может оказать помощь в оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы, в частности позволяет судить о компенсаторных возможностях аппарата кровообращения. Изучение продолжительности отдельных фаз сердечного сокращения представляет значительный интерес для суждения о функциональной способности сердца и для понимания внутрисердечной гемодинамики в условиях нормы и патологии (Е.Б. Бабский, Н.Н. Савицкий и др.) [1, с. 151]. Следует заметить, что данные о фазовой структуре, полученные прямыми методами исследования, вполне удовлетворительны для практических целей.

Целью работы являлось исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы методом поликардиографии экспериментальных животных.

Материалы и методы исследования. В качестве экспериментальных животных были выбраны кролики, средней массой 3200 гр. Для удобства животные были разделены на следующие группы (IA) – интактные животные, г. Бишкек (n = 10); контрольная группа (IB) – животные, которые получали урановую нагрузку в условиях низкогогорья, г. Бишкек (n = 10); контрольная группа (IIA) – животные, которые находились на пер. Туя-Ашуу (3200 м над ур. м.) в течение 30 дней (n = 20) и опытная группа (IIB) – животные, которые были адаптированы к высокогорью в течение 30 дней и дополнительно получали урановую нагрузку (n = 20).

Для получения данных о фазовой структуре, производили катетеризацию полостей сердца (левого и правого желудочков) под местным обезболиванием.

Полихлорвиниловые катетеры вводили в а. сонную и v. jugular. Запись давления производили через блок давления Мингограф-34 с регистрацией на электрокардиографе 6 НЕК-401 синхронно, на одну ленту, при скорости движения бумаги 100 мм/с.

Для расчета показателей работы сердца и состояния тонуса сосудов записывали дифференциальную кривую первой производной давления в желудочках и регистрировали ЭКГ с расшифровкой во II стандартном отведении. В частности, для оценки функции сократимости сердца определяли:

- фазу напряжения: период асинхронного сокращения (АС), период изометрического сокращения (IC) (с);
- фазу изгнания: период быстрого изгнания (E_{max}), период медленного изгнания (E_{red}) (с.);
- механическую систолу (МС); электромеханическую систолу (ЭМС) (с);
- dp/dt max – максимальную скорость повышения внутрижелудочкового давления (мм рт. ст./с-5);
- индекс сократимости (ИС) по Veragut (1965) (с).

Для оценки функционального состояния сердечной мышцы по В.Л. Карпману (1957) были вычислены: внутрисистолический показатель (ВСП) (%) и индекс напряжения миокарда (ИНМ) (%).

Весь полученный фактический материал подвергнут статистической обработке с использованием программы SPSS-16 с расчетом критерия достоверности (P) Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Применение метода поликардиографии (синхронной записи

ЭКГ, записи давления в правом и левом желудочках) позволило осуществить нам более тонкий анализ фаз сердечного сокращения. Период асинхронного сокращения – это начальная часть систолы желудочков. В течение этого времени внутрижелудочковое давление, несмотря на то, что в миокарде начался сократительный процесс, не растет или точнее испытывает несистематические низкоамплитудные колебания. На величину этого периода оказывает влияние эластичность клапанов и состояние сосочковых мышц, а также скорость распространения по миокарду сократительного процесса. Длительность периода преобразования мы определяли по интервалу между зубцом Q на ЭКГ и началом крутого подъема кривой внутрижелудочкового давления.

Определение длительности изометрического напряжения позволяет косвенно оценить тонус и сократимость миокарда [2, с. 17–21]. Она укорачивается при повышении сократимости и удлиняется при снижении сократительной способности миокарда. Длительность периода изометрического сокращения по кривым давления мы определяли по интервалу времени между началом резкого подъема кривой внутрижелудочкового давления до момента “излома” на кривой давления.

При вычислении показателей фазы напряжения, характеризующих время подготовки левого желудочка к сокращению, отмечено, что по сравнению с интактной группой (IA) во всех группах сократился период асинхронного сокращения (ACLV) ($P < 0,05$), особенно в опытной группе (IB) ($P < 0,001$) (рисунок 1).

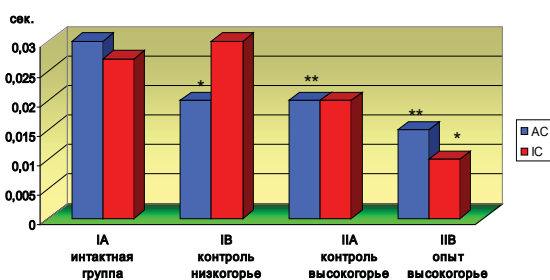
Период ICLV незначительно удлинился в гр. IB ($P > 0,05$); укоротился на 26 % у животных

в контрольной высокогорной группе (IIA) и на 63 % ($P < 0,05$) в опытной группе (IB) по сравнению с интактной группой (IA) (см. рисунок 1).

Таким образом, радионуклидное и гипоксическое воздействия изменили фазу напряжения левого желудочка во IB группе, что проявлялось укорочением периодов асинхронного и изометрического сокращения, указывая на компенсаторное повышение сократимости миокарда ЛЖ.

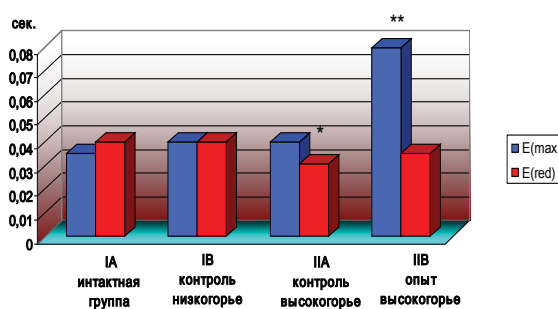
В течение продолжающегося нарастания внутрижелудочкового давления во время изометрической фазы наступает момент, когда давление в полости желудочков превышает давление в аорте или легочной артерии. Это приводит к открытию полулунных клапанов аорты и легочной артерии и знаменует собой начало фазы изгнания. Продолжительность фазы изгнания определялось по кривым внутрижелудочкового давления. За начало изгнания принимается начало подъема кривой давления, а за ее окончание – начало инцизуры. Согласно исследованиям Wiggers (1921) [3], в начальный период фазы изгнания в магистральные сосуды выбрасывается $2/3$ ударного объема крови. В этот период внутрижелудочковое давление и давление в магистральных сосудах быстро повышается и достигает максимума. Затем давление в желудочках и крупных сосудах снижается, и количество выбрасываемой крови уменьшается. На этом основании Wiggers разделил фазу изгнания на периоды максимального и медленного (редуцированного) изгнания.

Важно учитывать, что период максимального изгнания (E_{max}) начинается в момент начала подъема давления в магистральных сосудах и заканчивается, когда высота давления достигает миниму-



Примечание: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,001$ достоверно по отношению к интактной группе.

Рисунок 1 – Изменение фазы напряжения (периоды асинхронного и изометрического сокращений) левого желудочка у экспериментальных животных по сравнению с интактной (IA) группой



Примечание: * – $P < 0,05$ достоверно по отношению к интактной группе.

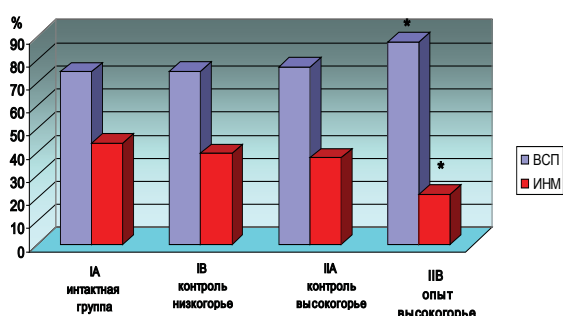
Рисунок 2 – Изменение фазы изгнания (период быстрого и медленного изгнания) левого желудочка у экспериментальных животных по сравнению с интактной (IA) группой

ма. В момент, когда приток крови в магистральные сосуды равен ее оттоку в капиллярную сеть, начинается заключительный этап фазы изгнания и систолы желудочков – период медленного изгнания (Eged). Его начало соответствует вершине на кривой давления в магистральных сосудах, а конец – моменту начала резкого падения внутрижелудочкового или внутрисосудистого давления.

Судя по анализу фаз изгнания период быстрого изгнания (E_{max}LV) почти не изменился в группах контроля (IB и IIA), увеличившись в опытной группе (IIB) животных, которые получали корм с солями урана в условиях высокогорья, на 128,5 % ($P < 0,05$) по сравнению с интактной (IA) группой (рисунок 2).

Менее значимая динамика фазы медленного изгнания (E_{ged}LV) выявлена у животных в опытной группе (IIB), в которой наблюдалась лишь тенденция к ее снижению, тогда как у животных IIA группы отмечено достоверное снижение этого показателя ($P < 0,05$) по сравнению с интактной (IA) группой (см. рисунок 2).

Суммарно периоды напряжения и изгнания составляют общую или электромеханическую систолу (ЭМС). Механическая систола (МС) представлена временем фазы изоволюмического сокращения и периода изгнания. Она отражает этап активно поддерживаемого высокого внутрижелудочкового давления. Определение должных величин для фазы изгнания, механической и электромеханической систол в каждом случае позволило нам выяснить, насколько изменение их длительности обусловлено учащением сердечных сокращений или собственно ослаблением сократительной способности миокарда.



Примечание: * – $P < 0,05$ достоверно по отношению к интактной группе.

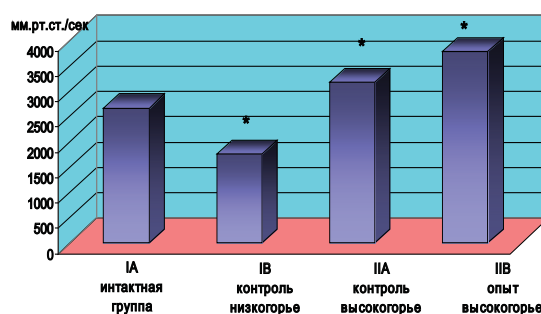
Рисунок 3 – Изменение внутрисистолического показателя (BCPLV) и индекса напряжения миокарда (IHMLV) левого желудочка у экспериментальных животных по сравнению с интактной (IA) группой

Анализ межфазовых показателей показал, что BCPLV у животных в опытной группе (IIB) был достоверно выше на 17,5 %, чем у интактных животных. IHMLV снизился незначительно в группе IB (на 10 %) и во IIA группах (на 14 %); в то время как во IIB группе был значительно ниже (на 50 %, $P < 0,001$), чем в норме (рисунок 3).

Уменьшение времени сокращения IHMLV в 2 раза в опытной высокогорной группе дает возможность предположить, что миокард левого желудочка, затратив меньше времени на развитие напряжения, большую часть времени израсходовал на изгнание крови из желудочка в аорту.

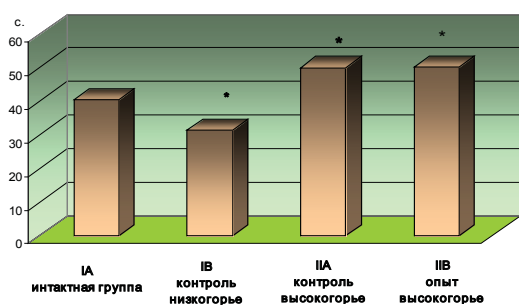
В соответствии с современными представлениями, основными показателями сократительной способности миокарда являются сила ($dp/dt \max$) и скорость сокращений (ИС по Veragut) [1]. Раннему выявлению признаков сердечной недостаточности способствовало и определение максимальной скорости повышения внутрижелудочкового давления ($dp/dt \max$, мм рт. ст./с-5) – показатель весьма чувствительный как к изменению сократительной способности, так и к конечному напряжению мышцы сердца [2]. Показатель $dp/dt \max$ у экспериментальных животных (группа IB) снижался на 34 % ($P < 0,05$); у животных IIA группы, которые подвергались только гипоксической нагрузке, он возрастал на 17 % ($P < 0,05$). У кроликов, потреблявших концентрированный корм с высоким содержанием урана, в условиях предварительной адаптации к высокогорной гипоксии (IIB) наблюдалось повышение этого показателя на 41 % ($P = 0,002$) по сравнению с интактной (IA) группой (рисунок 4).

В наших экспериментах, наряду с вышеуказанным показателем, использовался и индекс



Примечание: * – $P < 0,05$ достоверно по отношению к интактной группе.

Рисунок 4 – Изменение максимального повышения внутрижелудочкового давления ($dp/dt \max LV$) в левом желудочке у экспериментальных животных по сравнению с интактной (IA) группой



Примечание: * – $P < 0,05$ достоверно по отношению к интактной группе.

Рисунок 5 – Изменение ИС (по Veragut) левого желудочка у экспериментальных животных по сравнению с интактной (IA) группой

сократимости (ИС по Veragut) – показатель, достоинством которого является независимость от исходной длины волокон, нерегулируемость процесса механизмом Франка – Старлинга и диастолического давления. ИС определяется скоростью взаимодействия активных центров актина и миозина и образования между ними связей, а также скорость, с которой каждая связь развивает тянущую силу, а затем разрывается, освобождая центры для нового взаимодействия. Миокардиальную недостаточность можно рассматривать как значительное снижение скорости сокращения миокарда. Ее снижение по данным Siegel et al. [4, с. 189–221] проявляется раньше, чем будут выявлены гемодинамические признаки сердечной недостаточности. Таким образом, ИС отражает состояние инotropизма сердечной мышцы.

Установлено, что индекс сократимости (ИС по Veragut) в низкогорной контрольной группе (IB) снизился на 33 % ($P < 0,05$), а в высокогорной группе контроля (IIA) и в опытной группе (IIB) увеличился на 24 % ($P < 0,05$) по сравнению с интактной (IA) группой (рисунок 5).

В данном случае повышение как силы сокращения ($dp/dt \max LV$), так и скорости сокращения (ИС по Veragut) в опытной высокогорной группе (IIB) свидетельствует о достаточно высоком конечном напряжении мышцы сердца в момент систолы.

Таким образом, рост таких параметров гемодинамики и сократительной способности левого желудочка, как максимальная скорость повышения внутрижелудочкового давления ($dp/dt \max LV$), ИС (по Veragut), ВСПLV и снижение ИHMLV у опытных животных, после пребывания в условиях высокогорья, позволяет сделать предположение об адаптивном повышении сократимости миокарда левого желудочка за счет снижения его радиочувствительности, обусловленной кислородным эффектом.

Таким образом, анализ поликардиограммы базируется на сопоставлении элементов записанных кривых во времени. На основании данного метода можно оценить внутрисердечную гемодинамику, длительность фаз сердечного цикла, функциональное состояние сердечной мышцы, что позволяет оценить сократительную функцию миокарда.

Анализируя данные, полученные в условиях высокогорья у животных (IIB), получавших уравновешенную нагрузку, можно заключить, что основные изменения в системе большого круга кровообращения связаны со степенью гипоксии, которая обусловлена двумя факторами – радионуклидной нагрузкой и высокогорной гипоксией. В этой группе заметно стимулирующее влияние радиации на сердечно-сосудистую систему животных. Однако сложная картина изменений в кардиодинамике не может быть интерпретирована прямолинейно и упрощенно в терминах “повышение” или “понижение”. Речь идет скорее о перестройке системы кровообращения и формировании новой “нормы”, адекватной средовым условиям.

Литература

1. Данияров С.Б. Работа сердца в условиях высокогорья / С.Б. Данияров. Л.: Медицина, 1979.
2. Ковалева Л.И., П.Н. Любченко, Е.Б. Широкова // Медицинская радиобиология и радиационная безопасность. 2004. Т. 49. № 2.
3. Фельдман С.Б. Ранняя диагностика сердечной недостаточности / С.Б. Фельдман. М., 1976. 190 с.
4. Siegel J.H. Quantifications of myocardial contractility in dog and man / J.H. Siegel, E.H. Sonneblick, R.D. Judge // Cardiology (Basel). 1964. V. 45. P. 189–221.