

Е.М. Лесова, В.О. Самойлов, Е.Б. Филиппова

Зависимость сосудистых реакций от баланса регуляторных влияний на сердечный ритм при выполнении ортостатической пробы

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Исследовалось состояние регуляторных механизмов с использованием математического анализа сердечного ритма. Для оценки функционального состояния организма проводилась пассивная ортостатическая проба. Исходный тонус вегетативной нервной системы определяли, рассчитывая параметры спектрального метода анализа variability сердечного ритма (мощности спектра высокочастотного, низкочастотного и очень низкочастотного компонентов). Баланс вегетативной нервной системы оценивался по соотношению низко- и высокочастотного компонентов, из которого исключался очень низкочастотный компонент. Были выделены две группы: «симпатотоники», у которых это соотношение ≥ 1 , и «ваготоники», где оно < 1 . Посредством импедансной реографии регистрировали показатели центральной гемодинамики: частоту сердечных сокращений, минутный объем крови, ударный объем крови, общее периферическое сопротивление сосудов. Ортостатическую устойчивость оценивали по изменениям выше перечисленных гемодинамических показателей во время ортостатической пробы. Установлено, что в группе «симпатотоников» по сравнению с группой «ваготоников» общее периферическое сопротивление сосудов в ответ на ортостаз достоверно увеличивается, а ударный и минутный объемы кровотока снижаются. В группе «симпатотоников» наблюдалась исходно высокая частота сердечных сокращений (ЧСС) по сравнению с группой «ваготоников». Выявлена зависимость степени отклонения гемодинамических показателей в процессе срабатывания компенсаторных механизмов организма к изменению положения тела в пространстве, характерных для лиц с разным исходным тонусом симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы.

Ключевые слова: ортостатическая проба, вариабельность сердечного ритма, тонус вегетативной нервной системы, ортостатическая устойчивость, общее периферическое сопротивление сосудов, ударный объем крови, минутный объем крови.

Введение. Специфика регуляции сердечной деятельности центральной (ЦНС) и вегетативной нервной систем (ВНС), проявляющаяся в колебаниях сердечного ритма (СР), предоставляет возможность получать информацию как о степени преобладающего влияния регулирующих механизмов различного уровня, так и о работе сердца, состоянии организма в целом. Используя методики оценки изменений степени влияния регулирующих механизмов на сердечный ритм в ответ на различные раздражители, можно получить информацию о состоянии адаптационно-приспособительных механизмов, составить прогностическую оценку состояния организма.

В развитии адаптационных реакций организма прослеживается два этапа: начальный этап – «срочная» адаптация и последующий этап – долговременная адаптация. Начальный этап адаптационной реакции возникает непосредственно после начала действия раздражителя и реализуется на основе готовых, ранее сформировавшихся физиологических механизмов. Важнейшая черта этого этапа адаптации состоит в том, что деятельность организма протекает при той или иной степени мобилизации функционального резерва [4].

Методика кардиоритмографии (КРГ) для оценки состояния системы кровообращения и регулирующих

ее механизмов использует спектральный анализ. Выделяют дыхательные колебания СР и недыхательные составляющие этих колебаний: медленные волны (МВ) первого порядка с периодами от 10 до 30 с (волны Траубе – Геринга) и МВ второго порядка с периодами от 30 до 90 с (волны Майера). МВ сердечного ритма принято считать проявлением активности модуляторного центра, включающего вазомоторный, кардиостимуляторный и кардиоингибиторный центры и обеспечивающего регуляцию артериального давления (АД), минутного объема кровообращения (МОК) и сосудистого сопротивления посредством вагусных тормозных и симпатических возбуждающих волокон [10]. Усиление МВ указывает на активацию подкорковых нервных центров, т. е. централизацию управления СР.

В настоящее время широко распространены нагрузочные пробы, которые дают информацию о функциональном состоянии системы кровообращения, ее адаптации к различным нагрузкам. При этом имеется возможность оценить уровень централизации управления на различных этапах нагрузки, состояние вегетативного баланса, что позволяет судить об адаптационных возможностях системы кровообращения. Исследование физиологических параметров

гемодинамики в период восстановления сердечного ритма (СР) позволяет оценить функциональный резерв организма и прогнозировать переносимость последующих нагрузок [8].

Изменение режима функционирования системы кровообращения наиболее просто достигается за счет изменения ориентации тела пациента в пространстве. При переходе из горизонтального положения в вертикальное у здоровых людей возникает умеренное перераспределение крови в вены нижних конечностей. Часть крови под влиянием гидростатического давления фильтруется из сосудистого русла, снижается ударный объем. Активация в это время симпатического отдела ВНС обуславливает увеличение частоты сердечных сокращений (ЧСС) [9], изменение общего периферического сосудистого сопротивления (ОПСС), тонуса вен нижних конечностей, в результате чего МОК снижается значительно меньше, чем ударный объем крови (УОК).

Степень изменения описанных выше гемодинамических параметров зависит от характера ортостатической пробы (ОП). Наиболее выражены они при активном ее варианте, так как при его выполнении на характер изменений гемодинамики, перераспределения крови оказывают влияние не только гидростатическое давление, сила тяжести, но и активная деятельность мышц нижних конечностей и живота [2, 8, 13]. Последняя исключается при пассивной ОП. Использование пассивной ОП расширяет спектр ее клинического применения из-за возможности использования при обследовании лежачих больных.

Значительно расширяется диагностическое значение КРГ благодаря оценке характера регуляции СР в течение нестационарных процессов, т. е. непосредственно в момент выполнения пробы [14]. Принято выделять две стадии переходного процесса (изменения ритма сердца в момент ОП). Первая стадия переходного периода (ПП) (длится секунды) – первоначальное учащение СР при переходе в вертикальное положение, – отражает уровень хронотропного резерва сердца и позволяет судить о его функциональном состоянии. Амплитуда максимального учащения СР характеризует степень активации симпатического отдела ВНС. Это фаза пассивной компенсации, представляющая собой сложный стереотип, включающий в себя повышение тонуса емкостных сосудов, расположенных ниже диафрагмы; закрытие части функционирующих артериовенозных анастомозов; повышение тонуса периферических артерий; начальное падение тонуса мозговых артерий. Эти реакции являются адаптационными и вызываются падением гидростатического давления на уровне кардиопульмональных, каротидных и аортальных барорецепторов [12]. Вторая стадия начинается сразу после первой и может длиться все оставшееся время пробы (стадия последующего урежения ритма), она связана с угасанием хронотропной реакции и обусловлена в основном эффективностью рефлекторной вазоконстрикции [6]. Оценка второй стадии позволяет охарактеризовать

состояние сосудистого тонуса, изменяющегося в результате ответного (на активацию симпатического отдела ВНС) повышения тонуса парасимпатической ВНС [1]. Вторая фаза возникает в ответ на снижение сердечного выброса и артериальную гипотензию при недостаточности первичных адаптационных реакций и характеризуется активной компенсацией первоначальных изменений в системе кровообращения [12]. Продолжительность первой и второй фаз ПП связывают с быстротой активации соответственно симпатического и парасимпатического отделов ВНС [3]. Анализ ПП позволяет получить дополнительную информацию о вегетативном влиянии на СР. У клинически здоровых лиц при ортостазе в результате депонирования крови в нижней половине тела снижается объем циркулирующей крови, в результате чего происходит снижение минутного объема крови приблизительно на 20%, которое сопровождается уменьшением ударного объема на 34% и возрастанием ЧСС на 25%. Одновременно увеличивается общее периферическое сопротивление на 22%, систолическое АД снижается на 3%, а диастолическое – повышается на 4%, что обеспечивает снижение среднего АД лишь на 1%. Но величины этих отклонений достаточно вариабельны [6].

Цель исследования. Оценить ортостатическую устойчивость организма человека и вклад различных регуляторных влияний на сердечный ритм.

Материалы и методы. Состояние регуляторных механизмов деятельности сердца оценивалось по результатам математического анализа СР с использованием пассивной ортостатической пробы. Реципрокное взаимодействие парасимпатического и симпатического отделов ВНС исследовалось при помощи оценки частотного спектра сердечного ритма. Обследованы 69 здоровых добровольцев – мужчин в возрасте 18–20 лет. Ортостатическая проба проводилась согласно Вестминстерскому протоколу [15]: после 5 минут покоя в положении лежа при помощи поворотного стола осуществляли подъем головной части испытуемого на 70° со скоростью 4 угловые минуты в 1 с. Для определения исходного тонуса отделов ИНС использовали комплекс параметров спектрального анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) (HF – мощность спектра высокочастотного компонента ВСР (мс^2), LF – мощность спектра низкочастотного компонента ВСР (мс^2), VLF – мощность спектра очень низкочастотного компонента ВСР (мс^2)) при помощи электрокардиографа фирмы «Нейрософт» и программы «Полиспектр» (Россия). Поскольку считается, что при короткой записи (200–500 интервалов R–R) можно адекватно оценить только LF и HF компоненты [5], баланс ВНС оценивался при помощи соотношения LF/HF, из которого исключался VLF компонент. Таким образом были выделены две группы: «симпатотоники» (СТ), у которых $\text{LF}/\text{HF} \geq 1$, и «ваготоники» (ВТ) с $\text{LF}/\text{HF} < 1$. Посредством импедансной реографии по методике Кубичека [16] с использованием реографа «Реан-Поли» (Россия) регистрировали следующие по-

казатели центральной гемодинамики: ЧСС, МОК, УОК, ОПСС. Регистрация показателей осуществлялась в положении лежа, затем стоя в течение 5 мин в каждом положении. Во время всего исследования ежеминутно регистрировали АД с помощью прикроватного монитора модели «Тритон» (Россия). Ортостатическую устойчивость оценивали по изменениям перечисленных выше показателей, вычисленных в процентах по отношению к исходному состоянию.

Для оценки компенсаторных возможностей кровообращения исследовались изменения параметров гемодинамики при постуральных пробах, которые характеризуют формирование комплекса реакции системы кровообращения.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что в группе СТ соотношение всех компонентов ВСР в ответ на гравитационную нагрузку, в отличие от испытуемых группы ВТ фактически не изменяется. При этом во время ортостаза в группе ВТ достоверно увеличивается мощность LF и VLF компонентов, а мощность HF компонента снижается (табл.).

Таблица

Показатели гемодинамики во время ортостатического воздействия испытуемых

Показатель	Группа			
	ВТ		СТ	
	лежа	ортостаз	лежа	ортостаз
Мощность LF, %	27,5±1,0	35,8±1,6	39,1±4,7	41,1±5,6
Мощность HF, %	46,1±1,6	27±2,2	26,5±4,7	26,5±6,5
Мощность VLF, %	26,4±1,9	36,2±2,2	33,9±7,1	31,4±6,7
УОК, мл	111,3±4,7	74,1±3,4	107,1±11,8	66,0±10,7
МОК, л/мин	6,7±0,3	5,3±0,2	6,9±0,7	5,0±0,8
ОПСС, па·с·мл ⁻¹	135,8±13,0	163,6±11,9	121,4±18,6	172,9±36,2
ЧСС, уд/мин	60,9±1,3	74,6±1,7	67,6±4,4	79,7±5,4

Поскольку урежение ЧСС – явление, которое определяется периодическими колебаниями интенсивности потока сигналов с артериальных барорецепторов в такт волнам АД I порядка, то у испытуемых ВТ, по видимому, имеется более чувствительная барорецепторная система. Причину возникновения таких медленных волн усматривают в разных явлениях. Существует гипотеза [7, 17], согласно которой эти волны определяются свойствами барорефлекторной петли обратной связи в контуре регуляции сердечно-сосудистой системы. Регуляция артериального давления осуществляется благодаря влиянию афферентной сосудистой импульсации, в результате чего в стволе мозга формируются сигналы управления гладкой мускулатурой сосудов. При этом изменения АД, ОПСС и УОК оказывают влияние на афферентную импульсацию через барорецепторные зоны аорты. Этот процесс контроля сосудистого тонуса с обратной связью на гладкомышечные волокна сосудов осуществляется вазомоторным центром продолговатого мозга. Время,

необходимое вазомоторному центру на операции приема, обработки и передачи информации колеблется от 7 до 20 секунд. Оно определяется в зависимости от времени высвобождения норадреналина, сократительного ответа сосудов и их расслабления. Вазомоторный (сосудистый) центр, наряду с ингибиторным и стимулирующим симпатическими центрами, является частью модуляторного середечно-сосудистого подкоркового центра [11, 12]. Повышение давления через барорецепторный рефлекс тормозит симпатические нейроны, и давление понижается. Причем при повышении АД ЧСС снижается, а при падении – нарастает [10]. Мощность медленных волн 2-го порядка связана с активностью симпатических центров, контролируемых более высокими уровнями регуляции [11]. На сегодняшний день исследователи сходятся во мнении, что низкочастотные колебания АД и ЧСС не могут определяться какой-либо одной единственной причиной [10].

Описанные выше механизмы влияния регуляции ритма сердца, возможно, определяют выявленные гемодинамические реакции при выполнении ортостатической пробы.

Исходно высокая ЧСС в группе СТ по сравнению с группой ВТ, вероятно, ограничивает адаптационные возможности организма к фактору воздействия гравитации за счет включения сердечного компонента. Как следствие, ОПСС в группе СТ в ответ на ортостаз увеличивается на 39,4±10,8%, в то время как в группе ВТ – всего на 26,1±3,6%. Тем не менее это приводит к меньшей компенсации УОК и МОК в группе СТ; МОК снижается на 29,3±7,3%, а УОК – на 39,7±6,4%, что достоверно больше чем в группе ВТ, где снижение МОК достигает 18,2±2,6%, а УОК – на 30,9±2,7%.

Заключение. Несмотря на то, что в группах ВТ и СТ наблюдаются однонаправленные процессы адаптации системы кровообращения при смене положения тела в пространстве, имеется зависимость степени отклонения гемодинамических показателей от исходного тонуса симпатического и парасимпатического отделов ВНС.

В группе ВТ срочная адаптация системы кровообращения происходит с формированием ответной реакции организма на внешнее воздействие за счет существенного усиления активности симпатического отдела ВНС и снижения – парасимпатического. В группе СТ отмечена большая активность симпатического отдела ВНС и высших надсегментарных структур по сравнению с группой ВТ, что может приводить к истощению симпато-адреналовой системы во время нагрузки и снижению адаптационно-приспособительных возможностей организма.

Таким образом, физиологические механизмы регуляции работы системы кровообращения в процессе срочной адаптации зависят от исходного тонуса симпатического и парасимпатического отделов ВНС и являются частью характеристики адаптивных сдвигов в работе системы кровообращения при воздействии факторов внешней среды.

Литература

1. Вебер, В.Р. О регуляции сердечного ритма в покое и при ортостазе / В.Р. Вебер, Ю.Г. Гаевский // Физиология человека. – 1982. – Т. 8. №2. – С. 258–261.
2. Жемайтите, Д.И. Связь реакции сердечного ритма на пробу активного ортостаза с характеристиками центральной гемодинамики / Д.И. Жемайтите // Физиология человека. – 1989. – Т. 15. №2. – С. 30–47.
3. Коркушко, О.В. Особенности переходного процесса сердечного ритма при активной ортостатической пробе у людей пожилого и старческого возраста / О.В. Коркушко, В.Б. Шатило // Физиология человека. – 1989. – Т. 15. №4. – С. 29–34.
4. Меерсон, Ф.З. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам / Ф.З. Меерсон, М. Г. Пшенникова. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
5. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода / В.М. Михайлов. – Иваново, 2000. – 200 с.
6. Москаленко, Н.П. Ортостатическая проба в практической работе врача-кардиолога / Н.П. Москаленко, М.Г. Глезер // Кардиология. – 1979. – № 11(19). – С. 112–121.
7. Нахамчен, Л.Г. Кардиоритмография в оценке функционального состояния организма / Л.Г. Нахамчен // Бюллетень. – 1999. – № 5 – С. 36–44.
8. Осадчий, Л.И. Положение тела и регуляция кровообращения / Л.И. Осадчий. – М.: Медицина, 1982 – 145 с.
9. Рифтин, А.Д. Распознавание функциональных состояний организма на основе кибернетического анализа сердечного ритма (методическая разработка по клиническому применению автоматизированного комплекса на базе мини-ЭВМ «Электроника ДЗ-28») / А.Д. Рифтин., Б.И. Гельцер, Г.Ф. Григоренко. – Владивосток, 1986. – 83 с.
10. Рябыкина, Г.В. Анализ вариабельности ритма сердца / Г.В. Рябыкина, А.В. Соболев // Кардиология. – 1996. – №10. – С. 87–97.
11. Хаспекова, Н.Б. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга: дис. ... д-ра мед. наук / Н.Б. Хаспекова. – М., Ин-т ВНД, 1996. – 236 с.
12. Хаютин, В.М. Колебания частоты сердцебиений: спектральный анализ / В.М. Хаютин, Е.В. Лукошкова // Вестн. аритмолог. – 2002. – № 26. – С. 10–21.
13. Черная, Ю.А. Типы ортостатических реакций артериального давления и их клиническое значение / Ю.А. Черная. – Харьков: Вестн. ХНУ им. В.Н. Каразина. – 2010. – № 918. – С. 97–107.
14. Cevese, A. Vascular resistance and arterial pressure low-frequency oscillations in the anesthetized dog / A. Cevese [et al.] // Am. J. Physiol. – 1995. – № 268 (1). – P. 7–16.
15. Kenni, R.A. Heard-up tilt: a useful test for investigating unexplained syncope / R.A. Kenni, A. Ingram, J. Bayliss // Lancet. – 1986. – Vol. 1. – P. 1352–1355.
16. Kubicek, W.G. Impedance cardiography as a noninvasive method for monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system / W.G. Kubicek, R.P. Patterson, D.A. Witsoe // Ann. N. Y. Acad. Sci. – 1970. № 170. – P. 724–732.
17. Sayers, B.M. Analysis of heart rate variability / B.M. Sayers // Ergonomics. – 1973. – Vol.16, № 1. – P. 17–32.

E.M. Lesova, V.O. Samoilov, E.B. Filippova

The dependence of vascular responses during orthostatic test on balance regulatory influences on heart rate

Abstract. *The state of regulatory mechanisms using mathematical analysis of cardiac rhythm is studied. To estimate the functional state is used passive orthostatic test (tilt-test). The initial tone of the autonomic nervous system is determined by calculating the parameters of spectral analysis of heart rate variability (power spectrum of high frequency, low frequency and very low frequency components). The balance of the autonomic nervous system is evaluated identifying the ratio of low and high frequency from which the very low frequency component was excluded. All subjects were divided to two groups: «sympathotonics», in which this ratio ≥ 1 , and «vagotonics» with this ratio < 1 . Central hemodynamic parameters (heart rate, minute volume of blood flow, stroke volume, total peripheral resistance) were recorded by impedance rheography. Orthostatic stability was evaluated by the changes of these parameters during the orthostatic test. The differences in hemodynamic responses to orthostatic effect in groups «sympathotonics» and «vagotonics» are identified. Total peripheral vascular resistance in the group «sympathotonics» in response to orthostatic load increases significantly, the stroke and minute volume of blood flow is reduced more than in group «vagotonics». High initial heart rate is observed in the group «sympathotonics» compared with group «vagotonics». There are identified the dependence of the degree of changes of hemodynamic parameters in the process of urgent adaptation of an organism to changes of position in space in individuals with different initial tonus of the autonomic nervous system.*

Key words: *orthostatic test, heart rate variability, autonomic nervous system tone, orthostatic stability, total peripheral vascular resistance, stroke volume, minute volume of blood.*

Контактный телефон: 8-960-278-05-85; e-mail: lena_lesova@mail.ru