

МЕДЛЕННОВОЛНОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ У ЛИЦ ЮНОШЕСКОГО ВОЗРАСТА (НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА)

В.А. Демидов*, **Ф.А. Мавлеев****, **Н.В. Соснов****

***Казанский (Приволжский) федеральный университет, филиал в г. Набережные Челны,**

****Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, г. Казань**

В работе рассматриваются особенности корреляционных взаимосвязей медленноволновых характеристик гемодинамики лиц с разным типом кровообращения. Обнаружено, что взаимосвязи регистрируемых медленноволновых показателей гемодинамики имеют отличия в зависимости от типа кровообращения.

Ключевые слова: медленноволновые процессы, гемодинамика, вегетативная нервная система, спектральный анализ.

Множество методик оценки активности регуляторных систем кардиогемодинамики основаны преимущественно на регистрации ВСП и оставляют без внимания вариабельность других параметров (ударного объема, артериального давления, фракции выброса и т. д.). Не так много работ выполнено [2–4] с использованием анализа вариабельности параметров кровообращения и имеются даже диссертационные работы [1, 5], где активно использовалась технология регистрации варьирующих величин кардиогемодинамики. На сегодняшний день достоверно известно [2], что каждый из параметров кардиогемодинамики у здоровых людей имеет свою кривую распределения по частотам и, скорее всего, процентное выражение данных относительно всей мощности спектра имеет схожий характер.

В нашей работе исследование системы кровообращения проводилось при помощи многофункционального комплекса многопараметрового мониторинга «Микролюкс Кентавр» (Челябинск, ООО «Микролюкс»), позволяющего, кроме записи реограммы и электрокардиограммы, автоматически проводить расчет спектральных характеристик изучаемых параметров.

Регистрация данных биоимпедансного мониторинга производилась в режиме реального времени с последующим спектральным разложением их вариабельности за 500 ударов сердца. Регистрация электрокардиограммы проводилась во II стандартном отведении.

Спектральному анализу методом быстрого преобразования Фурье подвергался тренд, представляющий собой последовательность значений определенного параметра в режиме от «удара к удару». На основании спектрального анализа при-

бором в автоматическом режиме производился расчет мощности в четырех диапазонах частот. Анализировались при этом следующие частоты:

- 0–0,025 Гц (P1) – самые медленные волны, отражающие метаболические процессы в организме;

- 0,025–0,075 Гц (P2) – очень медленные волны, свидетельствующие об изменении во времени значений параметров под влиянием изменяющейся гуморальной активности крови;

- 0,075–0,15 Гц (P3) – медленные волны, являющиеся результатом барорегуляторных колебаний (при участии симпатической нервной системы (СНС));

- 0,15–0,5 Гц – высокочастотные волны, отражающие влияние дыхания на систему кровообращения (присасывающее действие грудной клетки во время дыхания) и свидетельствующие об участии в регуляции парасимпатической нервной системы.

Для каждого частотного диапазона определялась спектральная мощность и ее вклад в общую колебательную активность – P (общая спектральная мощность (ОСМ)).

Регистрировались следующие показатели кардиогемодинамики: частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) – по данным электрокардиограммы (ЭКГ); ударный объем (УО, мл) – по данным ЭКГ и первой производной трансторакальной реограммы; фракция выброса (ФВ, %) – расчет параметра по данным ЭКГ и первой производной трансторакальной реограммы; амплитуда пульсации аорты (АПА, Ом); амплитуда пульсации микрососудов пальца (АПМ, Ом); дыхательная волна аорты (ДВА, Ом); дыхательная волна микрососудов пальца (ДВМ, Ом); артериальное

давление (АД, мм рт. ст.) – по скорости распространения пульсовой волны (между зубцом “R” ЭКГ и пиком первой производной пульсовой волны микрососудов пальца); минутный объем крови (МОК, л/мин). Находили значения общей спектральной мощности (P, мс²) и значения мощности колебаний в четырех приведенных выше диапазонах. Кроме этого, находили и значения мощности в относительных единицах (%) для определения вклада данного диапазона в общую спектральную плотность мощности.

Полученные в результате исследования данные были подвергнуты корреляционному анализу, который проводился между исследуемыми параметрами.

Результаты исследования. Метаболическая регуляция (P1) практически всех параметров кардиогемодинамики имеет положительные корреляционные взаимосвязи с гуморальной регуляцией (P2), что, возможно, определяется единой гуморально-метаболической регуляцией. Например, увеличение спектральной мощности АД в данном спектре было связано с увеличением ФВ в частотах P1, P2 и P4.

Спектральная мощность в зоне P3 и P4 не была связана с P1 (метаболическая регуляция). Эта независимость проявилась как в значениях абсолютной спектральной мощности, так и в процентном вкладе частоты P3 в Power (P) практически во всех изучаемых параметрах. Исключение составили лишь связи спектральной мощности P1 ДВМ с P3 АПМ и P3 ДВМ.

Гуморальная регуляция (P2) кардиогемодинамики, в отличие от метаболической, имела множество положительных взаимосвязей с симпатическим регулированием (P3). Наибольшие связи были выявлены в вариабельности МОК, где увеличение участия P2 всегда сочеталось с активизацией P3 УО, МОК и ФВ. Увеличение гуморального регулирования ФВ также сопровождалось увеличением активности симпатического отдела нервной системы, проявившимся в вариабельности МОК, ФВ и АД. Притом увеличение активно-

сти гуморальной регуляции приводило к снижению в ряде случаев (в вариабельности МОК и ДВА) парасимпатической активности (P4). Данный вид регулирования в случае ее напряжения (выражающееся в больших значениях абсолютных величин спектральной мощности) приводил к усилению своего вклада (выраженное в процентах) в ОСМ, чем и отличался от метаболического вида регуляции.

Изменения активности в диапазоне P3 в вариабельности ряда параметров (УО, АД, МОК) вызывают сопряженные изменения и в вариабельности других параметров (табл. 1). Так, проявление данной особенности отмечено в вариабельности УО с участием МОК, ФВ, АПА и ДВА, а также в вариабельности АД с участием УО, МОК и ФВ.

Парасимпатическая активность (P4), так же как и спектральная мощность, в диапазоне P3 имела незначительные связи, основная масса которых была сосредоточена в P4%.

В показателях кардиогемодинамики у юношей с ГТК отмечена положительная корреляционная связь ЧСС и МОК ($r = 0,51$) и при этом, в отличие от лиц с ГрТК, не наблюдается отрицательной связи ЧСС и УО. Сохраняется положительная связь УО с МОК ($r = 0,58$). Можно предположить, что у юношей с ГТК достаточный МОК обеспечивается одновременным увеличением как ЧСС, так и УО, что может свидетельствовать об энергетически более расточительном пути функционирования.

Отдельно следует остановиться на наличии связи ЧСС со спектральной мощностью АД ($r = 0,55$) и МОК ($r = 0,50$). Подобная связь не выявляется у юношей с ГрТК. Можно сказать, что повышенная ЧСС приводит к напряжению в регуляции АД и, возможно, усложняет достижение необходимого МОК. Вполне вероятно, что это есть отражение в регуляторном аспекте неоптимального управления ЧСС и УО.

АПМ связана со спектральной мощностью дыхательных волн микрососудов (как и у юношей с ГрТК). ДВА отличается от АПМ наличием отрицательных взаимосвязей со своими спектральными характеристиками в разных частотных диапазонах.

Таблица 1

Особенности корреляционных связей
симпатического регулирования параметров кардиогемодинамики у юношей с ГрТК

	Симпатическая активность								
		АД	ЧСС	УО	МОК	ФВ	АПА	АПМ	ДВА
Симпатическая активность	ЧСС	0,31							
	УО	0,56	0,47						
	МОК	0,52	0,43	0,76					
	ФВ	0,50	0,43	0,57	0,57				
	АПА	0,26	0,56	0,54	0,42	0,52			
	АПМ	-0,10	-0,07	-0,12	-0,16	-0,10	-0,01		
	ДВА	0,16	0,30	0,55	0,63	0,33	0,45	0,19	
	ДВМ	-0,06	0,22	-0,08	-0,16	-0,03	0,19	0,66	0,06

Примечание. Здесь и в табл. 2–3 жирным шрифтом выделены значимые корреляционные взаимосвязи.

Интегративная физиология

Одной из отличительных черт в корреляционных взаимосвязях ГТК является то, что спектральная картина (т. е. вклад спектральной мощности отдельных диапазонов в ОСМ) меняет свой рисунок в зависимости от ОСМ. Чем выше ОСМ, тем меньший вклад вносят в общую регуляцию высокочастотные волны (парасимпатическая регуляция). Если А.А. Астахов [2] пишет, что «распределение мощностей в процентах носит общепатологический характер распределения...», то по нашим данным это «правило» не действует у людей с ГТК. В случае наблюдаемого отклонения в ОСМ в сторону увеличения в регуляции ряда параметров вклад медленноволновой активности в варибельности других параметров увеличивается, а это в конечном итоге является, на наш взгляд, неблагоприятным фактором в управлении кардиогемодинамикой. Доказательством этого служит и наибольшее количество положительных связей, обнаруженных на месте пересечения ОСМ с метаболической и гуморальной регуляцией, что свидетельствует и о большем, по сравнению с другими типами кровообращения, увеличении медленноволновой компоненты в случае увеличения затрат на регуляцию.

ОСМ всех регистрируемых показателей (табл. 2) имела положительную связь с гуморально-метаболической активностью, имеющей наибольшую выраженность в варибельности АД, МОК и АПМ. Например, связь ОСМ АПМ с гуморальной регуляцией приближалась к функциональной линейной связи ($r = 0,97$), а у лиц с ГрТК основное количество положительных связей ОСМ смыкалось не в гуморально-метаболической, а в гуморально-симпатической регуляции.

Метаболическая регуляция у представителей с ГТК имела больше корреляционных связей с остальными частотными диапазонами, чем у лиц с ГрТК (табл. 3). Основное количество этих связей также было сосредоточено в гуморально-метаболическом регулировании, но их количество значительно превосходило таковое у лиц с ГрТК. При этом больше связей было выявлено в регуляции АД, в котором чувствовали УО, МОК, АПА, ФВ и ДВА. Возможно, этим регуляторам не свойственно избирательное воздействие и изменения в данном виде регуляции кровообращения несут глобальный характер, особенно у лиц с ГТК. Также изменения значений спектральной мощности в P1 положительно коррелировали с парасимпатической активностью, которая не была отмечена у лиц с ГрТК. Например, возрастание метаболической активности (P1) в регуляции МОК и АПМ приводило к увеличению спектральной мощности P4 (парасимпатическая регуляция) УО, МОК и ФВ.

Корреляции гуморального регулирования с другими видами регуляции не имели значительных отличий от ГрТК. Можно отметить, что сдвиги в регуляции УО (в диапазоне P2) имели отрицательную связь с парасимпатической активностью параметров УО, МОК и АПА. Также изменение абсолютной спектральной мощности, отражающей активность гуморальной регуляции, не вызывало подобного изменения парасимпатической активности, наблюдавшейся при ГрТК (как в P4, так и в P4%), то есть эти два вида регуляторов обладают определенной самостоятельностью при ГТК, что, на наш взгляд, является более эффективным и выгодным в плане управления деятельностью ССС.

Таблица 2

Особенности связей ОСМ с гуморальной и симпатической регуляцией у юношей с ГТК

		Общая спектральная мощность								
		АД	ЧСС	УО	МОК	ФВ	АПА	АПМ	ДВА	ДВМ
Метаболическая регуляция	АД	0,84	0,09	0,65	0,76	0,55	0,42	-0,17	0,09	-0,07
	ЧСС	0,17	0,58	-0,10	-0,15	-0,18	0,01	-0,26	-0,08	-0,31
	УО	0,77	0,11	0,71	0,72	0,51	0,39	-0,13	0,09	-0,02
	МОК	0,83	-0,01	0,77	0,87	0,63	0,45	-0,06	0,17	0,06
	ФВ	0,82	0,04	0,72	0,82	0,80	0,70	-0,15	0,20	0,07
	АПА	0,73	0,12	0,71	0,76	0,72	0,70	-0,14	-0,03	-0,04
	АПМ	-0,15	-0,17	-0,17	-0,04	-0,10	-0,28	0,91	0,11	0,38
	ДВА	0,49	-0,09	0,37	0,48	0,20	-0,04	-0,10	0,54	0,12
	ДВМ	-0,12	-0,13	-0,13	0,09	0,06	-0,18	0,40	0,82	0,61
Гуморальная регуляция	АД	0,92	0,21	0,71	0,83	0,69	0,61	-0,16	0,07	0,01
	ЧСС	0,13	0,62	0,02	-0,11	-0,05	0,13	-0,17	-0,02	-0,22
	УО	0,62	0,29	0,71	0,59	0,45	0,36	-0,09	0,17	0,02
	МОК	0,79	0,10	0,83	0,95	0,75	0,61	0,07	0,34	0,26
	ФВ	0,71	0,04	0,73	0,73	0,91	0,66	-0,15	0,22	0,10
	АПА	0,63	0,13	0,76	0,71	0,73	0,81	-0,16	-0,03	0,00
	АПМ	-0,16	-0,20	-0,19	-0,03	-0,17	-0,26	0,97	0,10	0,71
	ДВА	0,33	0,00	0,24	0,42	0,25	-0,01	0,09	0,92	0,44
	ДВМ	-0,19	-0,17	-0,18	0,06	-0,01	-0,24	0,48	0,74	0,62

Таблица 3

Особенности связей метаболического регулирования
с метаболической и гуморальной регуляцией у юношей с ГТК

		Метаболическая регуляция								
		АД	ЧСС	УО	МОК	ФВ	АПА	АПМ	ДВА	ДВМ
Метаболическая регуляция	ЧСС	0,18								
	УО	0,92	0,19							
	МОК	0,91	-0,08	0,92						
	ФВ	0,79	-0,03	0,71	0,77					
	АПА	0,74	-0,01	0,68	0,74	0,83				
	АПМ	-0,12	-0,20	-0,13	-0,05	-0,15	-0,10			
	ДВА	0,60	0,02	0,66	0,67	0,35	0,15	-0,10		
	ДВМ	-0,14	-0,20	-0,24	-0,13	0,04	-0,15	0,34	0,23	
Гуморальная регуляция	АД	0,91	0,15	0,80	0,85	0,88	0,87	-0,15	0,37	-0,13
	ЧСС	0,03	0,68	0,11	-0,07	0,03	0,10	-0,11	-0,04	-0,12
	УО	0,64	0,15	0,78	0,71	0,56	0,53	-0,09	0,53	-0,12
	МОК	0,74	-0,15	0,72	0,86	0,79	0,83	0,06	0,41	0,09
	ФВ	0,61	-0,10	0,50	0,63	0,83	0,70	-0,17	0,22	0,05
	АПА	0,60	-0,08	0,55	0,62	0,75	0,94	-0,15	0,05	-0,15
	АПМ	-0,16	-0,26	-0,11	-0,06	-0,14	-0,15	0,81	-0,12	0,31
	ДВА	0,21	-0,03	0,24	0,31	0,26	0,01	0,05	0,72	0,70
ДВМ	-0,20	-0,22	-0,27	-0,15	-0,04	-0,18	0,40	0,16	0,93	

Активность в диапазоне P3 имела множество корреляционных связей с парасимпатической регуляцией. Но уникальность данной связи выражалась в том, что положительная связь с абсолютной активностью ПСНС приводила к отрицательному коррелированию с ее вкладом в ОСМ таких параметров, как МОК, ДВА и АПА.

Корреляционные взаимосвязи регистрируемых показателей variability кардиогемодинамики у лиц с ЭТК не сильно отличаются от таковых у лиц с вышепредставленными типами кровообращения – ГрТК и ГТК. Отмечено меньшее число связей ОСМ с регистрируемыми частотными диапазонами, что, на наш взгляд, можно трактовать как большую регуляторную устойчивость у лиц с ЭТК. Так, увеличение (уменьшение) затрат энергии на регуляцию в виде высоких значений ОСМ не приводит к столь высокому повышению (понижению) медленноволновых компонент спектра в отличие от ГТК и ГрТК. Другими словами, при ЭТК активное участие в регуляции кардиогемодинамики проявляют как симпатическая, так и парасимпатическая нервная система, а у лиц с ГрТК и ГТК активность заметна и в гуморально-метаболической зоне регуляции (особенно при ГТК). Гуморально-метаболическая активность практически не влияет на регуляцию кардиогемодинамики посредством СНС и ПСНС, которую регистрировали при ГрТК и особенно при ГТК.

Литература

1. Астахов, А.А. Адаптационные процессы гемодинамики при различных вариантах анестезии и интенсивной терапии у пациентов отделений реанимации: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / А.А. Астахов. – Екатеринбург, 2012. – 50 с.
2. Астахов, А.А. Медленноволновые процессы гемодинамики (постановка проблемы и обсуждение) / А.А. Астахов // Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флюктуация сердечно-сосудистой системы: сб. науч. тр. I симп. – Миасс, 2000. – С. 50-63.
3. Астахов, А.А. Методический подход к исследованиям медленноволновых процессов у здоровых и больных / А.А. Астахов, Ал.А. Астахов, И.А. Астахов // Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флюктуация сердечно-сосудистой системы: сб. науч. тр. III симп. – Челябинск, 2004. – С. 131-132.
4. Астахов, А.А. Физиологические основы биомедицинского мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр»): в 2 т. / А.А. Астахов. – Челябинск, 1996. – Т. II. – 95 с.
5. Наумова, В.В. Особенности механизмов регуляции системы кровообращения у больных эссенциальной артериальной гипертензией в аспекте колебательных процессов: автореф. дис. ... д-ра мед. наук / В.В. Наумова. – СПб., 2011. – 54 с.

Поступила в редакцию 17 мая 2012 г.