

РЕГУЛЯЦИЯ АДАПТАЦИИ ГЕМОДИНАМИКИ К СТАРЕНИЮ

УДК 612.67—003.96

Поступила 27.12.2010 г.



Ал.А. Астахов, к.м.н., доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии¹;

А.С. Нагорная, аспирант кафедры анестезиологии и реаниматологии¹;

В.В. Наумова, к.м.н., доцент кафедры клинической и медико-социальной экспертизы²

¹Уральская государственная медицинская академия дополнительного образования Росздрава, Челябинск;

²Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей, Новокузнецк

Цель исследования — изучение схемы реализации вегетативного обеспечения адаптивных реакций гемодинамики, связанных со старением, через оценку вариабельности гемодинамических параметров.

Материалы и методы. Для проведения исследования были отобраны 489 практически здоровых людей, которых разделяли на возрастные группы: 329 человек в возрасте от 20 до 44 лет и 160 человек в возрасте 45—65 лет.

Регистрировали вариабельности среднего артериального давления, R—R-интервала, ударного объема сердца и амплитуды пульсации периферических сосудов, с проведением спектрального анализа на плоскости комплексных частот с оценкой спектральной плотности мощности по четырем регуляторным диапазонам.

Результаты. Полученные данные позволяют, с одной стороны, оценить механизмы регуляции таких параметров, как ударный объем и амплитуда пульсации микрососудов здоровых людей в различных возрастных группах, а с другой, уточнить механизмы регуляции ритма сердца и артериального давления с учетом возможности анализа осцилляций самых низкочастотных диапазонов.

Ключевые слова: вариабельность гемодинамических параметров, спектр комплексных частот, адаптивные реакции гемодинамики.

English

Regulation of a hemodynamics adaptation to ageing

A.A. Astakhov, MD, Associate Professor, the Anesthesiology and Resuscitation Department¹;

A.S. Nagornaya, Postgraduate of the Anesthesiology and Resuscitation Department¹;

V.V. Naumova, MD, Associate Professor, the Clinical and Medicosocial Examination Department²

¹Ural State Medical Academy of Advanced Training of the Ministry of Public Health of Russia, Chelyabinsk;

²Novokuznetsk State Institute of Medical Education Postgraduate

The aim of the investigation is to study a scheme implementation of the vegetative supply of the hemodynamics adaptive reaction connected with ageing. It should be evaluated with hemodynamic parameter variability.

Materials and methods. 489 healthy people have been divided into 2 age groups: 329 at the age of 20—44 years and 160 at the age of 45—65 years.

The variability values of an average arterial pressure have been recorded. R—R-interval, the highest volume of the heart and the peripheral vessels pulsation amplitudes have been observed as well. The researchers have carried out a spectral analysis on the plane of complex frequencies with a spectral density capacity assessment according to the four regulatory ranges.

Results. The received data allows to assess the regulation mechanisms of such parameters as the highest volume and microvessels pulsation amplitude in different age groups. Moreover, it is possible to figure out the cardiac rhythm and arterial pressure regulation mechanisms considering a probability of the oscillation analysis of the most low-frequency range.

Key words: variability of hemodynamic parameters, spectrum of complex frequencies, adaptive reactions of hemodynamics.

Для человека старение всегда имело особое значение. Веками философы обсуждали его причины, алхимики искали эликсир молодости, а многие религии

придавали старению сакральное значение. Однако даже сегодня биология процесса старения изучена очень плохо.

Для контактов: Астахов Алексей Арнольдович, тел. раб. 8(351)741-33-22, тел. моб. +7 919-118-04-00; e-mail: Alekhan@bk.ru.

Во второй половине прошлого века появились исследования, обнаружившие наличие связи между состоянием вегетативной нервной регуляции и старением [1], развитием тяжелых аритмий и смертью [2].

Существуют различные методы измерения вегетативного тонуса. Он может быть измерен непосредственно, через внедрение электродов в вегетативные нервы. Однако этот метод агрессивен, непрacticен в клинике, используется только для экспериментальных целей.

За два прошедших десятилетия появились доказательства того, что неинвазивные методы типа вариабельности ритма сердца (ВРС) и вариабельности артериального давления (АД) могут использоваться для оценки вегетативной функции. Получены фундаментальные данные, свидетельствующие о закономерном снижении ВРС при старении. Показано, что с возрастом значительно уменьшается прежде всего парасимпатическая активность и в меньшей степени — симпатическая [3, 4]. Популярность этого метода обусловлена высокой достоверностью и информативностью результатов при достаточной простоте проведения исследования.

Известно, что нестационарные, или случайные, процессы, возникающие при регистрации данных, часто оказывают существенное влияние на конечные результаты. Например, при спектральном анализе Фурье (наиболее часто применяемом в исследованиях математическом инструменте) одним из таких процессов может быть глотание, влияние которого проявляется в завышении низкочастотного диапазона спектра, что искажает результаты исследований, а следовательно, и оценку состояния симпатической системы [5]. Поэтому при Фурье-анализе ВРС необходимо учитывать это явление через регистрацию на ритмограмме моментов, во время которых происходят глотательные движения, в последующем искусственно устраняя их из анализа.

К нестационарным процессам относят также ряд других факторов как со стороны внешней (звуковое или световое воздействие), так и со стороны внутренней среды (внезапное усиление перистальтики кишечника) [6].

Временные изменения параметров, вызывающие нестационарность динамики ВРС, не отражаются спектральной плотностью мощности (СПМ), и в этом случае классический спектральный анализ теряет информативность. Поэтому Европейские рекомендации предлагают исключить из рассмотрения при спектральном анализе коротких (2—5 мин) записей сердечного ритма осцилляции менее 0,04 Гц (P1- и P2-диапазоны в данном исследовании). Активность этих диапазонов может быть вызвана негармоническим нестационарным компонентом в записи вариабельности [7].

Действие механизмов регуляции на протяжении регистрации сердечного ритма и других гемодинамических показателей должно оставаться постоянным (стационарность условий наблюдения). Только в этом случае колебание гемодинамического параметра на определенной частоте, выделяемое при спектральном анализе, можно соотнести с конкретным физиологическим механизмом.

Понятие стационарности (стабильности) действия (за время регистрации) механизмов регуляции обычно переносится на понятие стационарности временной записи сердечного ритма с требованием постоянства (неизменности) во времени дисперсии, среднего и т.д. Иначе говоря, временная запись вариабельности гемодинамического сигнала должна быть реализацией стационарного случайного процесса, т.е. процесса в среднем однородного во времени (неизменность во времени дисперсии и среднего).

Перед проведением спектрального анализа необходимо проверять стационарность записи сердечного ритма отдельно по частотным диапазонам, что позволяет не утрачивать важной информации, а также исключать из рассмотрения частотные диапазоны, соответствующие нестационарным компонентам [8].

Для корректной регистрации вариабельности периферического кровотока, впрочем, как и ВРС, необходимо иметь достоверные данные о СПМ в низкочастотных (P1 и P2) диапазонах, так как регуляция этих параметров осуществляется гуморально-метаболическими влияниями. Между тем, по мнению большинства авторов, использование спектрального анализа методом быстрых преобразований Фурье не позволяет получить такие данные, так как на результаты расчетов будет оказывать влияние присутствие нестационарных гармоник. Данное обстоятельство послужило для некоторых авторов основанием осторожно относиться к оценке корректности полученных фактов, а для других — даже недоверчиво. Очевидно, что необходим поиск альтернативных математических инструментов.

Одним из таких инструментов является метод спектрального анализа на плоскости комплексных частот (СКЧ), который позволяет селективно анализировать стационарные гармоники [8—12].

Итак, основные неизученные или мало изученные и дискуссионные вопросы адаптации гемодинамики к различным физиологическим состояниям можно сформулировать следующим образом:

1) сомнительная корректность применяемого при подавляющем большинстве исследований математического инструмента быстрого преобразования Фурье, затрудняющего анализ ВРС, АД и периферического кровотока;

2) недостаточное число исследований вариабельности объемных параметров гемодинамики (ударного объема сердца, периферического кровотока), ограничивающих возможности углубленного анализа адаптивных реакций при физиологических и патологических состояниях;

3) отсутствие четкой схемы патогенеза реализации адаптивных реакций гемодинамики при различных физиологических и патологических состояниях.

Цель исследования — оценка вариабельности комплекса гемодинамических параметров у здоровых людей различного возраста.

Материалы и методы. Для проведения исследования была отобрана группа людей обоего пола (n=489), признанных практически здоровыми по результатам

Таблица 1

Половой и возрастной состав исследуемых

Возраст, лет	Абс. число/%	Возраст, лет (M±SD)	Мужчины/женщины, абс. число/%
20—44	329/67,3	30,9±7,4	147 (44,7)/182 (55,32)
45—65	160/32,7	52,3±5,6	72 (45,0)/88 (55)
Всего	489/100	38,4±12,3	

профилактических осмотров на предприятиях и в организациях. Их возраст составлял 16—64 года (средний возраст — 37,0±12,9 года). Были сформированы две возрастные группы, гендерный состав которых был сопоставимым (табл. 1).

При обследовании пациентов соблюдались требования к стандартизации исследования кровообращения по физической активности (пребывание 15 мин до исследования в состоянии покоя), по эмоциональному состоянию (отсутствие психоэмоционального напряжения), по приему пищи (пациенты не употребляли перед исследованием пищу, алкоголь, не курили), по режиму в помещении (исследование проводилось при оптимальной температуре окружающей среды — 20—22°C, что особенно важно при оценке микрокровотока).

Регистрировали среднее АД по скорости распространения пульсовой волны, с предварительной осциллометрической калибровкой (АД_{ср}, мм рт. ст.); R—R-интервал электрокардиографически (R—R, мс); ударный объем сердца импедансометрически (VO, мл) и амплитуду пульсации периферических сосудов фотоплетизмографически (амплитуда пульсации микрососудов (АПМ), перф. ед.) с проведением СКЧ [6]. Регистрация выбранных гемодинамических параметров проводилась с помощью сертифицированного мониторингового комплекса «МАРГ 10-01» (ООО «Микролюкс», Челябинск). В основе его работы лежит методика торакальной импедансной реографии. Для проведения СКЧ использовалась программа «Биоспектр 2.0» [11].

В качестве меры интенсивности как сложного колебания, так и составляющих его простых колебаний использовали их мощность или СПМ. При этом понятие мощности заимствовали из теории электрических цепей (энергия, выделяющаяся на единичном сопротивлении в единицу времени, пропорциональна квадрату протекающего через него тока).

В отличие от метода быстрого преобразования Фурье технология СКЧ позволяет анализировать гармоники с меняющейся амплитудой. Следовательно, появляется возможность отличить стационарные и нестационарные (переходные) процессы адаптации гемодинамики. Естественно, что чем более стационарен процесс variability параметра, тем точнее определяется СПМ. Спектральный анализ на плоскости комплексных частот позволяет увеличить точность расчетов СПМ гемодинамических параметров в низкочастотных диапазонах (P1 и P2) и повысить корректность расчетов СПМ по спектрограммам с укороченным временем регистрации в высокочастотных диапазонах (P3 и P4) [12].

Кроме того, СКЧ позволяет выявить характер variability и предупреждает ошибки анализа с помощью быстрого преобразования Фурье в случаях, когда оно не может применяться из-за нестационарности исследуемого процесса. Появляется возможность более глубоко и правильно изучить течение адаптивных процессов гемодинамики у здоровых людей и при критических состояниях [9].

Регистрацию гемодинамических параметров выполняли «от удара к удару» на протяжении 500 сердечных циклов. Такой режим регистрации был избран в соответствии с необходимостью проведения спектрального анализа variability гемодинамических параметров.

Считается, что для корректного расчета СПМ variability гемодинамического параметра продолжительность записи этой variability должна быть больше, чем один период самой низкочастотной компоненты, отражаемой СПМ variability [7].

Анализировали также общую плотность мощности стационарного спектра (M ст. общ), отражающую общую флюктуацию показателя и ее частотные составляющие: 1) ультранизкочастотный диапазон — волны с частотой 0—0,025 Гц (P1 — метаболическая регуляция); 2) очень низкочастотный диапазон — волны 0,025—0,075 Гц (P2 — гуморальная, симпатическая регуляция); 3) низкочастотный диапазон — волны 0,075—0,15 Гц (P3 — барорегуляция, вазомоторная активность); 4) высокочастотный диапазон — волны 0,15—0,6 Гц (P4 — объемная, дыхательная, парасимпатическая регуляция).

Для характеристики адапционных процессов мы использовали также показатель энтропии. Понятие энтропии заимствовано из термодинамики и статистической физики. Применительно к теории колебательных процессов гемодинамики энтропия является мерой неоднородности (хаотичности) variability гемодинамических параметров. Она демонстрирует уровень чувствительности гемодинамических параметров к воздействию факторов внешней и внутренней среды организма. Поэтому энтропия и является мерой процессов адаптации [13], позволяет взглянуть на регуляцию кровообращения через variability гемодинамических сигналов как на возможность оценки состояния пациентов.

Расширение круга исследуемых гемодинамических параметров, в частности исследование variability VO сердца, позволит уточнить наши представления о деталях регуляции насосной функции сердца. Такого же взгляда придерживаются Н. Liu, Т. Yambe с соавт. [14], которые полагают, что variability VO обеспечивает более широкую информацию о деятельности вегетативной нервной системы.

Для статистической обработки данных использовали описательную статистику в виде медианы и квантилей 25 и 75 (Me [Q25; Q75]), а также средней величины с учетом стандартного отклонения (M±SD). Значимость различий между группами оценивалась по критериям Манна—Уитни и χ^2 . Статистически значимыми считали отличия при $p < 0,01$.

Результаты и обсуждение. Сравнение данных ВРС в зависимости от возраста показало, что с повышением возраста появляется тахикардия (сокращаются интервалы R—R), уменьшается энтропия, ритм сердца становится ригидным. Происходит увеличение среднего АД на фоне снижения УО, а также роста амплитуды пульсации микрососудов (снижается периферическое сопротивление сосудов) (табл. 2).

Таблица 2

Значения изучаемых гемодинамических параметров в возрастном аспекте (Ме [Q25; Q75])

Гемодинамический параметр	Возраст, лет		p
	20—44	45—65	
R—R-интервал, мс	891,5 (811,88—985,65)	843,6 (761,35—957,05)	0,002
Энтропия R—R-интервала	2,7 (2,56—2,84)	2,5 (2,1—2,69)	0,0000
АДср, мм рт. ст.	110 (101,41—120,07)	131,6 (122,3—143,17)	0,0001
Энтропия АДср	2,6 (2,05—2,77)	2,6 (2,36—2,77)	—
УО, мл	76,4 (53,08—109,18)	39,6 (22,98—66)	0,0001
Энтропия УО	2,7 (2,6—2,86)	2,7 (2,6—2,9)	—
АПМ, перф. ед.	22,1 (12,61—41,88)	36,6 (21,44—70,55)	0,0001
Энтропия АПМ	2,74 (2,5—2,91)	2,7 (2,35—2,94)	—

Таблица 3

Спектральный анализ variability сердечного ритма (Ме [Q25; Q75])

Спектральный анализ комплексных частот (СКЧ), мс ² /Гц			p
Параметры	Возраст 20—44 года	Возраст 45—65 лет	
М ст. общ	2,33 (0,81—11,48)	1,44 (0,43—7,49)	0,001
М ст. P1	0 (0—0,25)	0 (0—0,04)	—
М ст. P2	0,25 (0,04—1,5)	0,13 (0,02—1,22)	—
М ст. P3	0,48 (0,18—1,92)	0,2 (0,06—0,95)	0,001
М ст. P4	1,07 (0,54—4,31)	0,66 (0,24—2,6)	0,001

Таблица 4

Спектральный анализ variability среднего АД (Ме [Q25; Q75])

Спектральный анализ комплексных частот, мм Hg ² /Гц			p
Параметры	Возраст 20—44 года	Возраст 45—65 лет	
М ст. общ	3,7 (1,7—11,39)	5,2 (2,37—9,79)	—
М ст. P1	0 (0—0,19)	0 (0—0,06)	—
М ст. P2	0,5 (0,21—2,28)	0,6 (0,27—1,77)	—
М ст. P3	1 (0,38—3,38)	1,3 (0,49—2,4)	—
М ст. P4	1,4 (0,66—4,15)	2,1 (1,01—4,23)	0,01

Таблица 5

Спектральный анализ variability ударного объема сердца (Ме [Q25; Q75])

Спектральный анализ комплексных частот, мл ² /Гц			p
Параметры	Возраст 20—44 года	Возраст 45—65 лет	
М ст. общ	53,1 (26,99—141,97)	36,9 (18,02—100,58)	0,0001
М ст. P1	0 (0—0,64)	0 (0—0,41)	—
М ст. P2	3,4 (1,16—11,01)	2,4 (0,81—6,72)	0,0001
М ст. P3	8,2 (4,14—27,35)	6,6 (2,76—15,29)	0,0001
М ст. P4	36,8 (18,78—95,53)	24,4 (12,88—66,54)	0,0001

Имеются определенные основания считать этот синдром проявлением адаптации гемодинамики в стареющем организме. Не исключено, что это может быть обусловлено более низким венозным притоком, о чем косвенно свидетельствует децентрализация кровообращения (увеличение пульсации микрососудов).

Данные спектрального анализа ВРС (табл. 3) позволяют констатировать, что по мере увеличения возраста снижается значение общей СГМ за счет более высокочастотных диапазонов (P3, P4). Это позволяет характеризовать данный спектральный паттерн как уменьшение вегетативного контроля в регуляции ритма сердца у лиц пожилого возраста. В большей степени страдают объемный (парасимпатический) регуляторный контроль и барорефлекторный контроль.

Повышение с увеличением возраста среднего АД (табл. 4) происходит без изменений в общей стационарной СГМ при анализе спектра комплексных частот, с достоверным снижением стационарной СГМ в высокочастотном (P4) диапазоне.

Таким образом, по нашим данным, регуляция среднего АД в старшей возрастной группе характеризуется преобладанием в основном объемного (парасимпатического) контроля.

Спектральный анализ variability УО сердца (табл. 5) показал, что у лиц старшей возрастной группы происходит существенное снижение как общей СГМ, так и СМП в других частотных диапазонах (P2, P3, P4). Снижение адаптивных реакций УО у пожилых сопровождается существенным уменьшением истинного значения этого параметра (см. табл. 2).

Анализ параметров периферической гемодинамики (табл. 6) позволяет констатировать, что с точки зрения функции микрососудов старший возраст обладает отличительной капиллярной гемодинамикой. У пожилых людей она характеризуется увеличенной общей стационарной СГМ за счет P3- и P4-диапазонов. Значения СГМ в P1 и P2 достоверно не различаются. Из этого можно сделать заключение, что отмеченный регуляторный феномен обусловлен только проявлениями объемной (парасимпатической) и баро- (вазомоторной) регуляций.

Таким образом, у лиц пожилого возраста имеет место дисрегуляция адаптивных реакций пульсации периферических микрососудов, с чем, по-видимому, и связана выраженная (более чем в 1,5 раза) дилатация микрососудов, обусловившая децентрализацию кровообращения.

Полученные результаты позволяют утверждать, что возрастные изменения сердечного ритма состоят в следующем.

Таблица 6

Спектральный анализ variability пульсации микрососудов (Me [Q25; Q75])

Спектральный анализ комплексных частот п.ед. ² /Гц			p
Параметры	Возраст 20—44 года	Возраст 45—65 лет	
М ст. общ	1,5 (0,45—6,51)	3,7 (0,89—14,23)	0,0001
М ст. P1	0 (0—0,07)	0 (0—0,11)	—
М ст. P2	0,1 (0,02—1,02)	0,3 (0,03—2,03)	—
М ст. P3	0,2 (0,07—0,91)	0,4 (0,13—2,49)	0,0001
М ст. P4	0,7 (0,27—2,09)	1,6 (0,53—5,28)	0,0001

1. Снижается значение общей СПМ в абсолютных единицах за счет частотных диапазонов P3 и P4. Данный спектральный паттерн следует квалифицировать как ослабление вегетативной регуляции сердечного ритма.

2. Непосредственным следствием данных регуляторных процессов является изменение истинных параметров сердечного ритма. По мере увеличения возраста появляется тахикардия, уменьшается энтропия, ритм сердца становится более ригидным.

Полученные нами результаты исследования ВРС согласуются с данными О.В. Коркушко с соавт. [3, 4], которые обнаружили, что старение организма сопровождается снижением ВРС, главным образом в области более высокочастотных диапазонов (P3, P4). На этом фоне происходит снижение амплитуды суточных ритмов вегетативной активности и развивается десинхронизация. Эти исследования показали значительное снижение эффективности барорефлекторной регуляции у старых людей. Так, при действии различных возмущающих факторов на гемодинамику (ортостатическая проба, глубокое дыхание, медикаментозные тесты и др.) реакция со стороны сердца у старых людей снижена. Подобные изменения появляются после 50 лет.

Изменения среднего АД характеризуются следующим.

1. Состояние общей СПМ АД не зависит от возраста. В возрастных группах значения общей СПМ достоверно не различаются.

2. Особенность регуляции АД состоит в распределении общей СПМ по частотным диапазонам. В более высокочастотном диапазоне она достоверно возрастает, что сопровождается повышением истинных значений среднего АД без изменения энтропии.

3. Данный спектральный паттерн следует квалифицировать как активацию объемной (парасимпатической) регуляции.

Характерные изменения УО сердца у лиц пожилого возраста состоят в снижении общей плотности мощности при анализе на площади комплексных частот, а также в снижении этих мощностей во всех диапазонах за исключением ультранизкочастотного (P1).

Данный спектральный паттерн можно квалифицировать как депрессию вегетативной и гуморальной регуляции, что и является причиной существенного снижения истинных значений УО.

Характерные изменения пульсации микрососудов состоят в следующем.

1. У пожилых больных при СКЧ-анализе обнаружено увеличение общей СПМ АПМ за счет большей P3- и P4-активности. Данный феномен следует рассматривать как дисрегуляцию адаптивных реакций периферической гемодинамики, поскольку имеет место регуляция с увеличением вазомоторной активности и с большим участием пассивных, дыхательных влияний.

2. Непосредственным следствием такой дисрегуляции являются дилатация микрососудистого русла и децентрализация кровообращения.

Оценивая спектральную ситуацию в различных возрастных группах в целом, можно констатировать приоритетную роль более высокочастотных (P3, P4) диапазонов в регуляции гемодинамики. СПМ в этих диапазонах повышается при регуляции АД и амплитуды пульсации микрососудов. В регуляции сердечного ритма и УО значение СПМ в высокочастотных диапазонах снижается.

СПМ в низкочастотных диапазонах демонстрирует иную динамику. Она не изменяется в диапазоне P1 при регуляции УО и в диапазоне P1 и P2 — при регуляции периферической пульсации, ритма сердца и АД. Все это заставляет подробнее обсудить механизмы проявления адаптивных реакций в высокочастотных диапазонах.

Полученные результаты исследования спектральных паттернов variability основных гемодинамических параметров позволяют предположить, что у здоровых людей колебательный вентиляционный паттерн (объемная регуляция) реализуется через осцилляции сердечно-сосудистой системы, не только в сердечном ритме и среднем АД, но также и в УО и пульсации микрососудов. Это предположение в отношении регуляции сердечного ритма и АД находит подтверждение в работе [15]. Что же касается регуляции УО и АПМ, то ряд известных фактов позволяют считать это предположение весьма реальным.

Во-первых, модуляторные эффекты нейрональных механизмов, контролирующих синусовый узел у здоровых людей, непосредственно связаны с эфферентной вагусной и симпатической активностью, которая является важной составляющей P3- и P4-компонентов СПМ ударного объема. По нашим данным, значимой частью этих компонентов является стационарная составляющая в СКЧ, что подтверждается классическими представлениями о структуре P3- и P4-диапазонов как о гармоничном стационарном процессе.

Во-вторых, при смене фаз дыхательных циклов изменения транспульмонального давления оказывают непосредственное влияние на регуляцию венозного возврата, а следовательно, на регуляцию УО, АД и периферической пульсации.

В-третьих, имеются наблюдения [16], указывающие на отсутствие существенных изменений СПМ среднего АД в высокочастотном (P4) диапазоне у пациентов с донорским сердцем. Эти наблюдения прямо указывают на то, что изменения СПМ среднего АД связаны в основном с механическими эффектами

дыхания, их влиянием на градиенты транспульмонального давления и в конечном итоге на кровенаполнение сердца и крупных интраторакальных сосудов [16, 17].

Заключение. Проведенное исследование позволило выявить ряд особенностей адаптивных реакций в зависимости от возраста здоровых людей.

Сердечный ритм по мере увеличения возраста достоверно учащается, и этот процесс сопровождается снижением общей СПМ спектра, а также стационарной СПМ в более высокочастотных (P3 и P4) диапазонах, что указывает на ослабление вегетативной (баро- и объемной) регуляции.

Увеличение среднего АД сопровождается снижением стационарной СПМ в высокочастотном (P4) диапазоне у лиц пожилого возраста, что позволяет квалифицировать данный паттерн как депрессию объемной регуляции.

Ударный объем сердца у лиц пожилого возраста снижается, его снижение сопровождается уменьшением общей СПМ спектра, а также стационарной мощности спектра во всех частотных диапазонах за исключением ультранизкочастотного (P1) диапазона, что позволяет квалифицировать данный спектральный паттерн как депрессию вегетативной и гуморальной регуляции.

Пульсация периферических сосудов у лиц пожилого возраста повышается, что сопровождается увеличением общей СПМ спектра, а также СПМ преимущественно в более высокочастотных (P3 и P4) диапазонах. Это позволяет квалифицировать данный паттерн как некоторую дисрегуляцию периферического кровотока.

Результаты проведенного исследования позволяют уточнить механизмы регуляции таких параметров, как ударный объем и амплитуда пульсации микрососудов здоровых людей в различных возрастных группах, включить в расчеты СПМ вариабельности ритма сердца, среднего артериального давления и других гемодинамических сигналов самые низкочастотные диапазоны (P1 и P2), повысить корректность расчетов СПМ по спектрограммам с укороченным временем регистрации в более высокочастотных диапазонах (P3 и P4).

Литература

1. Фролькис В.В., Верхратский Н.С. Об изменении чувствительности эффекторов к действию нервных и гуморальных раздражителей при старении организма. ДАН СССР 1963; 148: 1228—1230.
2. Бобров В.А., Симорот В.Н., Степаненко А.П., Белоножко А.Г. Желудочковые нарушения ритма у больных ишемической болезнью сердца: возможная роль автономной нервной системы. Кардиология 1993; 1: 11—14.
3. Коркушко О.В., Шатило В.Б., Шатило Т.В. Анализ вегетативной регуляции сердечного ритма на различных этапах индивидуального развития человека. Физиология человека 1991; 2: 31—39.
4. Korkushko O.V., Shatilo V.B., Kaukenas J.K. Changes in

- heart rhythm power spectrum during human aging . Aging 1991; 3: 177—179.
5. Хаютин В.М., Лукошкова Е.В. Спектральный анализ колебаний частоты сердечбиений: физиологические основы и осложняющие его явления. Российский физиологический журнал И.М. Сеченова 1999; 7: 893—909.
6. Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинак М.М., Шустов Е.Б., Коваленко И.Ю., Давыденко В.Ю. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах. Физиология человека 2002; 1: 130—143.
7. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Eur Heart 1996; J17: 354—381.
8. Рагозин А.Н. Анализ спектральной структуры нестационарных физиологических сигналов на плоскости комплексных частот. Цифровые радиоэлектронные системы (электронный журнал) 1999; вып. 3.
9. Рагозин А.Н. Классификация переходных процессов ритма сердца с использованием спектрального анализа на плоскости комплексных частот. Уральский кардиологический журнал 2001; 2: 2—6.
10. Рагозин А.Н. Метод оценки реактивности механизмов регуляции ритма сердца с использованием спектрального анализа на плоскости комплексных частот. В кн.: Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах». Новочеркасск; 2000; с. 40—48.
11. Рагозин А.Н., Кононов Д.Ю. Компьютерная технология «Биоспектр» оценки структуры вариабельности сердечного ритма и других параметров гемодинамики. В кн.: Материалы III Всерос. симпозиума «Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флюктуация сердечно-сосудистой системы». Челябинск; 2004; с. 145—154.
12. Рагозин А.Н., Астахов А.А. Анализ на плоскости комплексных частот и классический спектральный анализ в оценке структуры колебаний сердечного ритма. Вестник ЮУрГУ 2009; 39: 75—83.
13. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М: Наука; 1984; 225 с.
14. Liu H., Yambe T., Sasada H., Nanka S., Tanaka A., Nagatomi R., Nitta S. Comparison of heart rate variability and stroke volume variability. Auton Neurosci 2004 Nov 30; 116(1—2): 69—75.
15. Davies L.C., Francis D.P., Crisafulli A., Concu A., Coats A.J., Piepoli M. Oscillations in stroke volume and cardiac output arising from oscillatory ventilation in humans. Exp Physiol Nov 2000; 85: 857—862.
16. Bernardi L.F., Keller M., Sanders M., Reddy P.S., Meno F., Pinsky M.R. Respiratory sinus arrhythmia in the denervated human heart. J Appl Physiol 1989; 67: 1447—1455.
17. DeBoer R.W., Karemaker J.M., Strackee J. Hemodynamic fluctuations and baroreflex sensitivity in humans: a beat-to-beat model. Am J Physiol 1987; 253: H1680—H1689.