

УДК 612.176

Н.К. Саваневский¹, Е.Н. Саваневская^{2,3}, Г.Е. Хомич³¹канд. биол. наук, доц., доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина²преподаватель каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина³канд. биол. наук, доц., доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкинаe-mail: medicine@brsu.brest.by**НИЗКОЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРОВООБРАЩЕНИЯ
У ДЕВУШЕК С ПОВЫШЕННЫМ ТОНУСОМ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ
НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

Представлены результаты анализа медленных колебаний тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов ног, частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления у девушек с повышенным тонусом кровеносных сосудов нижних конечностей. Установлено, что в вариабельности колебаний этих показателей прослеживаются низкочастотные волны, обусловленные изменением уровня гуморальной и метаболической регуляции.

Введение

В живой материи непрерывно протекают колебательные процессы, являющиеся объектом научных исследований. Особый интерес в последние годы проявляется к анализу медленных колебаний кровообращения как части организменных волновых процессов. Накоплены многочисленные доказательства того, что характеристики вариабельности показателей кровообращения имеют большое диагностическое и прогностическое значение и отражают энергетические и регуляторные процессы в организме. Особый интерес в изучении медленно-волновых колебаний вызван вероятной связью разных частотных спектров с деятельностью различных отделов в общей системе регуляции функций организма.

Основные механизмы регуляции кровообращения (вегетативный, барорефлекторный, нейрогуморальный, метаболический, дыхательный, миогенный, нейрогенный, эндотелиальный) проявляются в медленных колебаниях гемодинамики. Активность соответствующих механизмов регуляции отражается на мощности этих колебаний, которую позволяет оценить метод спектрального анализа [1–6].

Большинство методик оценки активности регуляторных систем кардиогемодинамики основаны преимущественно на регистрации вариабельности сердечного ритма и оставляют без внимания вариабельность других параметров (ударного объема, артериального давления, тонуса микро- и макрососудов, фракции выброса и т.д.). Не так много работ [4; 7; 8] выполнено с использованием анализа вариабельности параметров кровообращения. Установлено [8; 9], что каждый из параметров кардиогемодинамики у здоровых людей имеет свою кривую распределения по частотам, которую можно отразить в процентах относительно всей мощности спектра.

После обнаружения низкочастотных колебаний наиболее актуальным стал вопрос о механизмах их возникновения. Медленно-волновые колебания физиологических параметров часто разделяют на четыре диапазона [1; 3; 10].

Многочисленные исследования позволили установить связь высокочастотных (HF) колебаний (0,15–0,5 Гц) медленно-волнового диапазона, возникающих в результате колебаний активности блуждающего нерва, с актом дыхания [8; 11]. Низкочастотные

(LF) колебания (0,075–0,15 Гц), по данным многих авторов, являются результатом активности симпатической нервной системы и тесно связаны с барорегуляцией [11].

До настоящего времени больше всего открытых вопросов остается в механизмах возникновения медленно-волновых колебаний с частотой менее 0,075 Гц. Предполагают надсегментарное их происхождение из высших центров вегетативной регуляции. При этом диапазон колебаний менее 0,075 Гц считают целесообразным разделять на два: UVLF с частотой колебаний 0–0,025 Гц и VLF с частотой 0,025–0,075 Гц. Источники литературы свидетельствуют о связи UVLF и VLF с высшими центрами системы регуляции, осуществляющими свое влияние на показатели центрального и периферического кровообращения через нейрогуморальные механизмы. Исключением является аналогичная вариабельность периферического кровообращения, где значимая роль отводится местным факторам регуляции и колебаниям метаболизма. Диапазон низкочастотных колебаний показателей кровообращения определяется деятельностью вегетативной нервной системы, а высокочастотные связаны с ее парасимпатическим отделом и внутрисердечными механизмами регуляции в такт дыхательным движениям [10].

В настоящее время основное внимание исследователей обращено на изучение вариабельности ритма сердца; публикации же по оценке вариабельности других показателей гемодинамики (артериального давления, показателей микрокровообращения и др.) единичны. В доступной литературе мы не обнаружили сведений, характеризующих одновременные низкочастотные колебания нескольких функциональных показателей кровообращения с учетом фонового тонуса периферических кровеносных сосудов. Изучение этого аспекта и стало целью данной работы.

Объект и методика исследований

Регистрация показателей кровообращения у девушек-студенток производилась с помощью неинвазивной биоимпедансной методики по А.А. Астахову [12] на полифункциональном мониторе кровенаполнения «Кентавр». Электроды накладывались на спину, грудь, плечевые и бедренные отделы конечностей, на голень и большой палец правой ноги. Электрическое сопротивление, или импеданс, тканей между электродами измерялось с помощью реографа Р4-02. С четырех каналов реографа сигналы поступали на монитор кровенаполнения «Кентавр», где производилась их компьютерная обработка. С каждым ударом пульса монитор измерял гемодинамические показатели сердечно-сосудистой системы, в том числе амплитуду реоволны большого пальца ноги (АРП), амплитуду реоволны голени (АРГ), частоту сердечных сокращений (ЧСС) и систолическое артериальное давление (САД). САД измерялось монитором «Кентавр» реографически по скорости распространения пульсовой волны.

В обследуемую группу (15 человек) были отобраны девушки в возрасте 19–22 лет без значимой хронической патологии, имевшие на момент обследования повышенный тонус крупных и мелких кровеносных сосудов нижних конечностей. Регистрация данных мониторинга производилась в режиме реального времени в течение 20 мин в горизонтальном положении обследуемой девушки.

Определение исходного тонуса мелких кровеносных сосудов (микрососудов) нижних конечностей для отбора в исследуемую группу осуществляли по показателям АРП, а крупных кровеносных сосудов (макрососудов) ног – по значениям АРГ. При нормальном тоне и, соответственно, диаметре кровеносных сосудов у взрослого человека АРП составляет 80–150 мОм, а АРГ – 80–130 мОм. В случае вазодилатации и гипотонии АРП равняется 160 мОм и более, АРГ – 140–300 мОм. При высоком тоне и сужении сосудов величины АРП и АРГ падают ниже 30 мОм [12; 13].

Полученные материалы исследований были подвергнуты статистической обработке общепринятыми методами вариационной статистики с определением средней

арифметической вариационного ряда, ошибки среднего арифметического. Кроме этого, проводился анализ корреляционной связи (ранговая корреляция Спирмена) медленно-волновой вариабельности исследуемых показателей кровообращения. При статистической обработке были использованы компьютерные программы по обработке результатов научных исследований Microsoft Excel XP и STATISTICA [14; 15].

Результаты исследований и их обсуждение

Величина тонуса микрососудов нижних конечностей определялась с каждым сокращением сердца и регистрировалась монитором кровенаполнения «Кентавр-1» по амплитуде револны пальца ноги. Тонус магистральных сосудов ног оценивался по амплитуде револны голени. Также с каждым ударом пульса автоматически измерялись частота сердечных сокращений и систолическое артериальное давление. Данные измерений у одной испытуемой из обследованной группы представлены в таблице.

Таблица. – Величина АРП, ЧСС и САД у испытуемой

Исследуемый показатель	Количество измерений	$\bar{x} \pm S\bar{x}$
Амплитуда револны пальца	1 541	$44,09 \pm 0,27$
Амплитуда револны голени		$41,23 \pm 0,19$
Частота сердечных сокращений		$63,72 \pm 0,15$
Систолическое артериальное давление		$104,9 \pm 0,37$

Результаты показывают: у испытуемой средняя АРП равнялась $44,09 \pm 0,27$ мОм, а АРГ – $41,23 \pm 0,19$ мОм, что, согласно данным [13], соответствует слегка повышенному тону мелким кровеносным сосудам нижних конечностей. Показатели ЧСС и САД были в диапазоне нормальных величин для взрослых, находящихся в положении лежа в спокойном состоянии.

Колебания тонуса микрососудов ног за 20-минутный отрезок времени представлены на графике (рисунок 1).

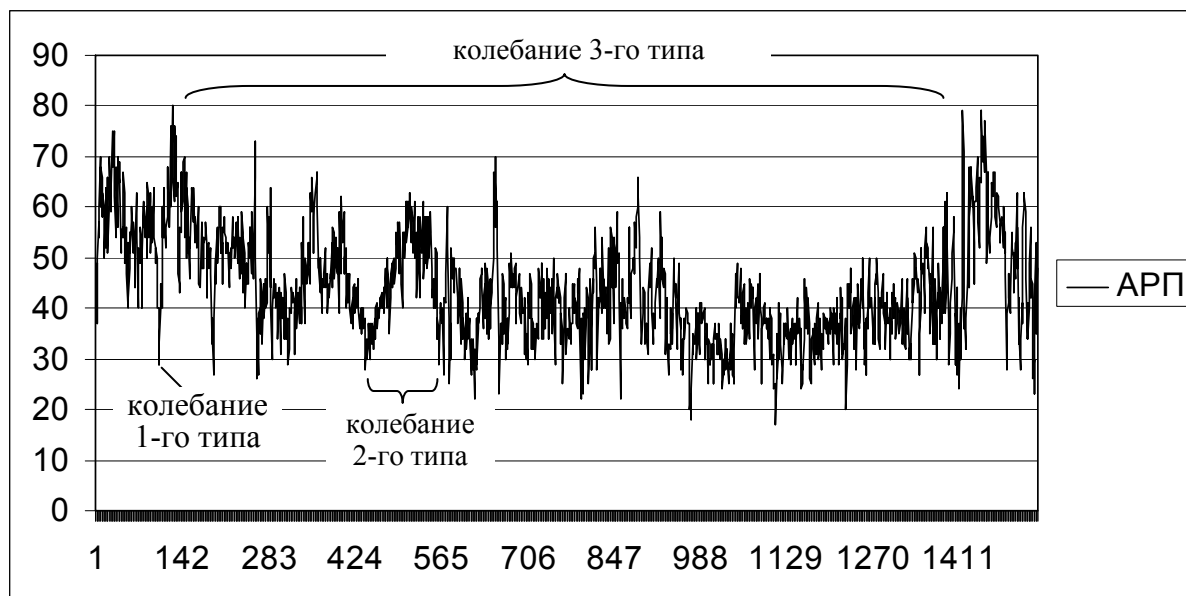


Рисунок 1. – Изменения тонуса микрососудов по показателям АРП: по оси ординат – значения АРП, мОм; по оси абсцисс – сокращения сердца

На графике отчетливо видны колебания АРП, вызванные изменениями тонуса микрососудов, которые по частотным характеристикам можно разделить на три типа.

Первый тип – это наиболее частые колебания, обусловленные неодинаковым растяжением мелких кровеносных сосудов порциями крови, выбрасываемых сердцем при каждом сокращении. Они происходят с частотой 0,7–1,2 Гц.

Второй тип – значительно более редкие колебания, однако происходящие регулярно с периодом в 90–120 сердечных сокращений и имеющие частоту 0,01–0,07 Гц. Не исключено, что эти колебания связаны с дыханием.

Третий тип – самые медленно-волновые изменения тонуса микрососудов. Волна продолжается почти 20 мин и занимает почти всю кривую на рисунке 1, от 126-го до 1 418-го сокращения сердца. Частота ее составляет всего 0,0007 Гц. Можно предположить, что эти низкочастотные колебания тонуса мелких кровеносных сосудов ног обусловлены изменениями гуморального состава крови.

Изменения тонуса магистральных кровеносных сосудов нижних конечностей иллюстрирует график на рисунке 2.

В динамике колебаний АРГ, вызванных изменениями тонуса макрососудов, можно выделить три типа разной частоты. Первый тип составляют наиболее частые колебания, обусловленные неодинаковым растяжением крупных кровеносных сосудов поступающей кровью, накачиваемой сердцем при каждой систоле. Они синхронны с колебаниями АРП, так как вызваны сердечными сокращениями и происходят с частотой 0,7–1,2 Гц.

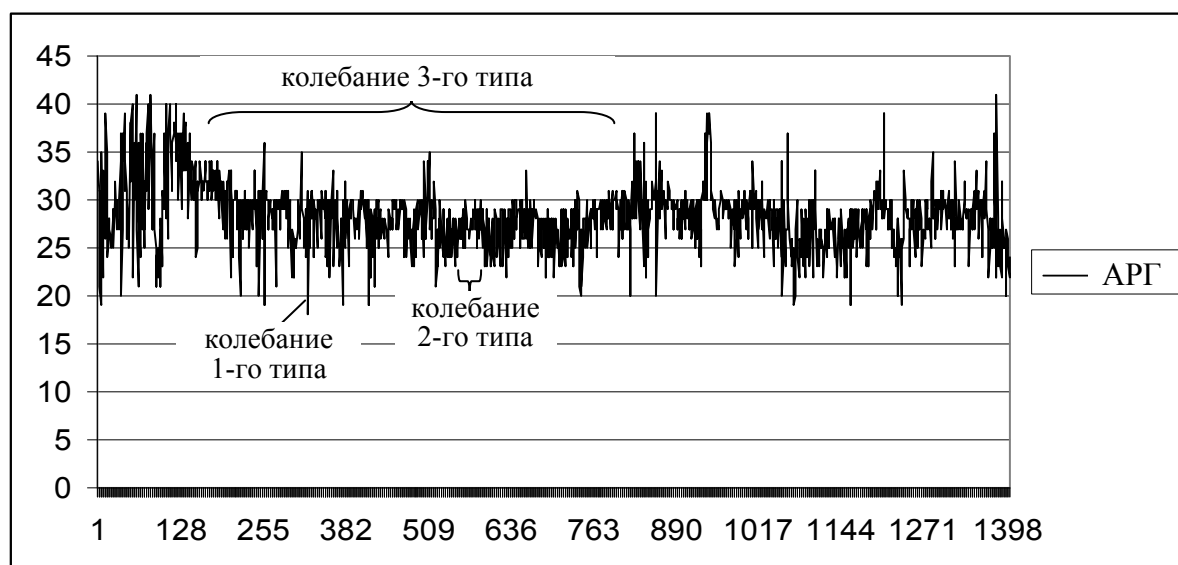


Рисунок 2. – Изменения тонуса макрососудов по показателям АРГ: по оси ординат – значения АРГ, мОм; по оси абсцисс – сокращения сердца

Колебания второго типа осуществляются с меньшей и более изменчивой частотой. Каждое из них включает примерно 30–50 сокращений сердца и повторяется с частотой 0,02–0,03 Гц.

На графике изменений АРГ можно выделить наиболее медленные колебания третьего типа, которые длятся более 10 мин, в данном случае – с 86 по 809 сокращение сердца (рисунок 2). Частота этого колебания составляет 0,001 Гц. Как и медленно-волновые колебания АРП, данные колебания АРГ, по-видимому, обусловлены изменениями уровня нейрогуморальной и метаболической регуляции.

Что же касается изменений частоты сердечных сокращений, то полученные результаты показывают, что у испытуемой средняя ЧСС равнялась $63,72 \pm 0,15$ ударов в минуту (таблица 1). Это соответствует нормальным значениям для взрослого человека, находящегося в горизонтальном положении в условиях мышечного и эмоционального покоя.

Колебания ЧСС за 20-минутный отрезок времени представлены на рисунке 3.

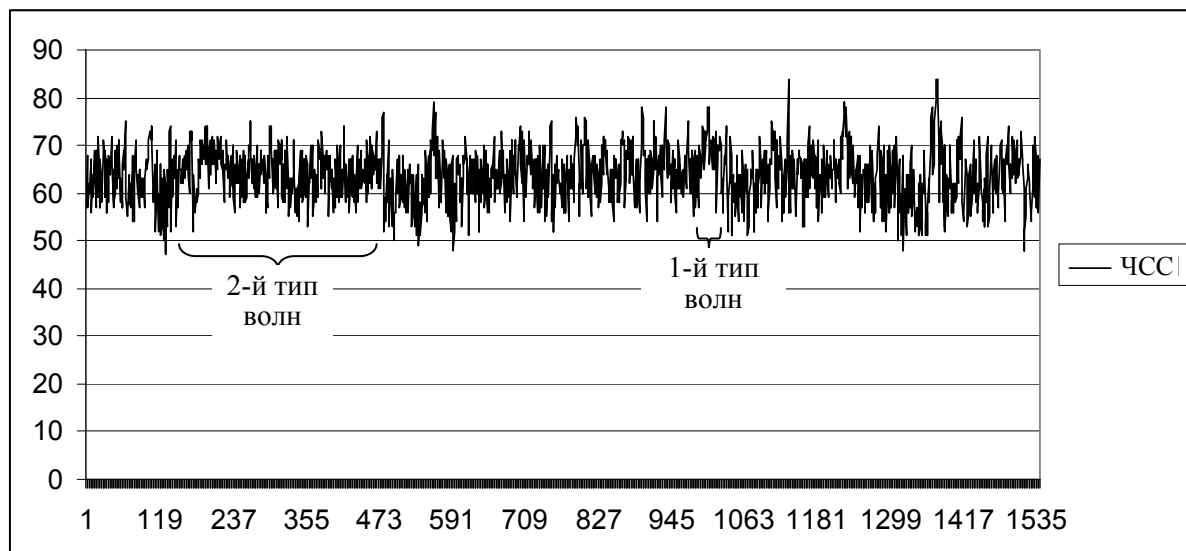


Рисунок 3. – Колебания частоты сердечных сокращений:
по оси ординат число сокращений в 1 мин; по оси абсцисс – сокращения сердца

С каждым ударом пульса число сердечных сокращений пересчитывалось в расчете на 1 мин. На графике ЧСС видно, что в состоянии покоя в горизонтальном положении у испытуемой частота сердечных сокращений постоянно меняется. Диапазон изменений составляет от 47 до 84 сокращений в минуту.

На графике обнаруживаются два типа волн. Первый тип волн осуществляется с периодом в 30–60 сокращений сердца, частота их составляет 0,016–0,03 Гц. Второй тип колебаний более медленный. Пик их наблюдается через каждые 360–460 сердечных сокращений с частотой 0,002–0,003 Гц. Не исключено, что второй тип волн отражает текущие коррективы нейрогуморальной регуляции сердечной деятельности.

Измерение систолического артериального давления с каждым ударом пульса дало следующие результаты. Среднее значение САД составило $104,9 \pm 0,37$ мм рт. ст. (таблица), что соответствует нормотоническому давлению. Как и ЧСС, величина САД менялась с каждым сокращением сердца. Диапазон колебаний составил от 67 до 139 мм рт. ст.

Колебания САД в течение 20 мин проведения эксперимента представлены на рисунке 4. На графике можно выделить по меньшей мере три типа колебаний. Первый тип обусловлен неодинаковой силой сердечных систол; это так называемые пульсовые волны систолического артериального давления. Второй тип колебаний имеет период в 20–26 сердечных сокращений, что соответствует 0,04–0,05 Гц. Он вызван уменьшением давления в грудной полости при вдохе и увеличением его на выдохе испытуемой девушки, что передается на кровеносные сосуды и изменяет САД. Это дыхательные волны. Третий тип колебаний с периодом примерно 270–320 сокращений сердца и частотой 0,003–0,004 Гц обусловлен изменениями нейрогуморального фона в организме и описан в литературе под названием волны Траубе – Геринга.

В обзорах источников литературы, посвященных изучению колебаний артериального давления [3; 4], указывается, что вариабельность АД – многокомпонентный феномен, зависящий от активности человека, психологических факторов, ответа на антигипертензивное лечение и состояния нервной и гуморальной систем. Детерминанты вариабельности АД были изучены в нескольких популяционных исследованиях: чаще всего к ним относят возраст, АД, ЧСС, пол и изменение регуляции со стороны центральной и периферической нервной систем [2; 8; 10].

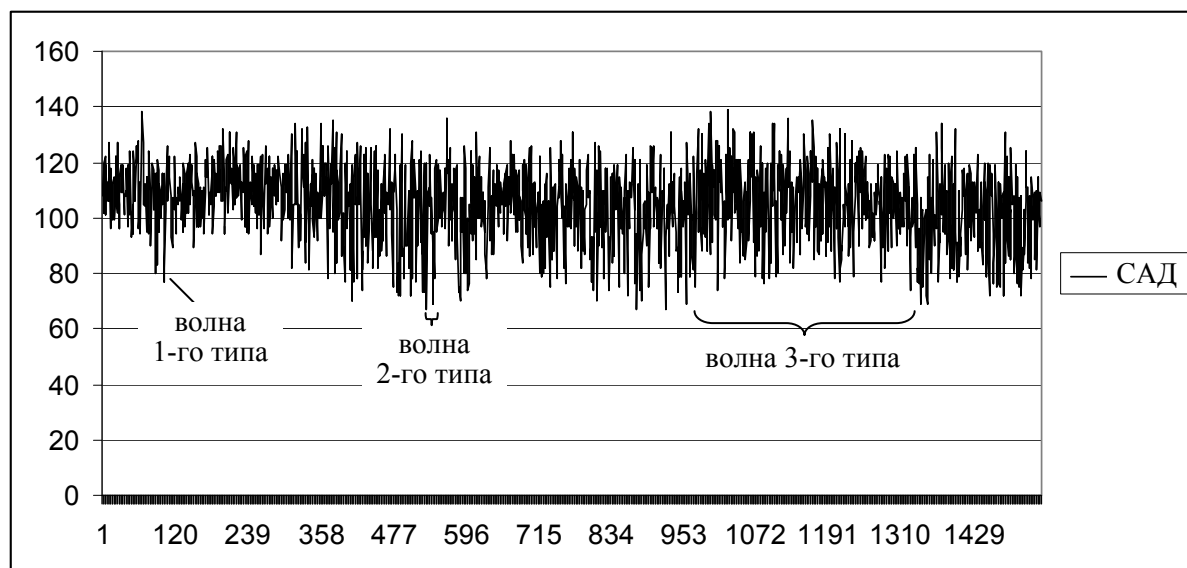


Рисунок 4. – Колебания систолического артериального давления: по оси ординат – величина САД, мм рт. ст.; по оси абсцисс – сокращения сердца

Второй целью исследования было выяснение наличия корреляции между колебаниями рассматриваемых гемодинамических показателей, т.е. между тонусом мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей, проявляющихся в изменениях АРП и АРГ, частотой сердечных сокращений и пульсацией систолического артериального давления. Синхронные с каждым ударом пульса колебания АРП, АРГ, ЧСС и САД отображены на рисунке 5.

Взаимную связь между АРП, АРГ, ЧСС и САД рассчитывали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена [14; 15]. Согласно упрощенной шкале Чеддока [15], выделяются три градации силы корреляционной связи по Спирмену: очень сильная (показатели $\pm 0,7 - \pm 1$); средняя (показатели $\pm 0,3 - \pm 0,699$); очень слабая (показатели $0 - \pm 0,299$).

Проведенные нами расчеты показали, что коэффициент ранговой корреляции Спирмена между колебаниями САД и АРГ равнялся $-0,048$; между колебаниями САД и АРП составил $+0,042$; между колебаниями ЧСС и АРГ равнялся $-0,138$. Указанные значения коэффициента свидетельствуют об очень слабой корреляционной связи между этими гемодинамическими показателями.

Несколько больше был ранговый коэффициент связи между колебаниями ЧСС и САД, который равнялся $-0,244$, между ЧСС и АРП, составивший $-0,27$, и между АРГ и АРП, достигший самого большого из определявшихся значений, $-0,293$. Однако эти величины коэффициента ранговой корреляции Спирмена также соответствуют очень слабой корреляционной связи.

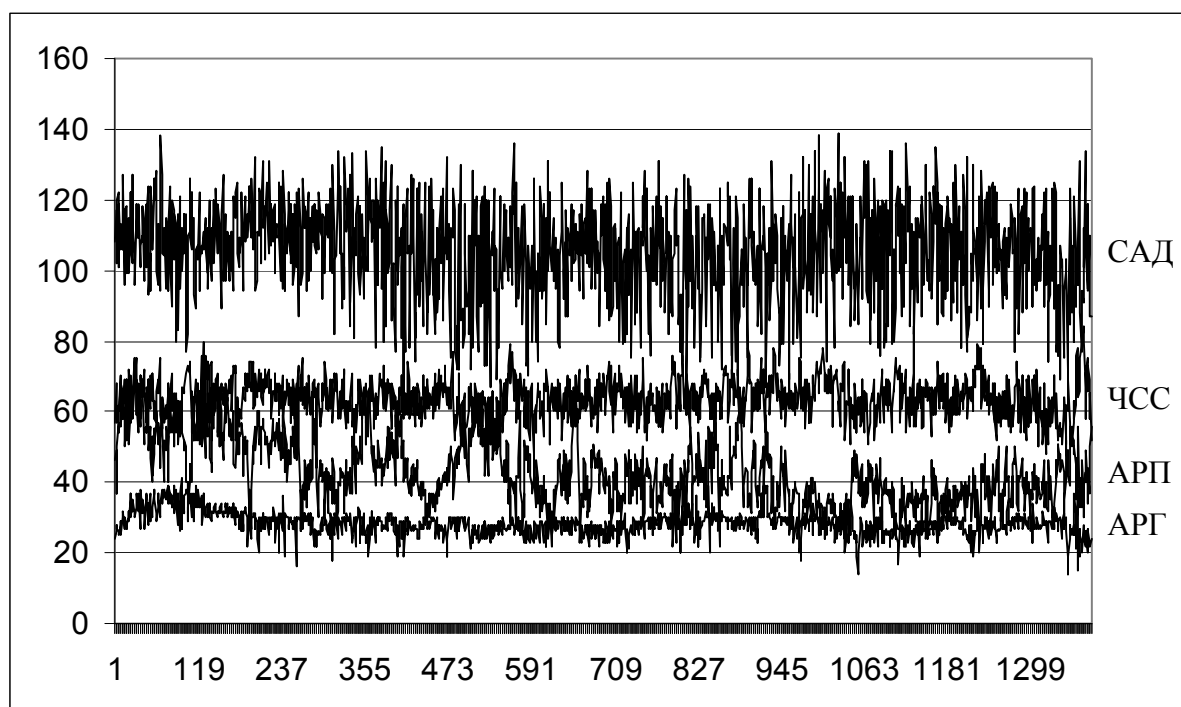


Рисунок 5. – Синхронные с каждым сокращением сердца колебания АРП, АРГ, ЧСС и САД: по оси абсцисс – сокращения сердца; по оси ординат – значения АРГ и АРП, мОм; ЧСС, мин; САД, мм рт. ст.

Заключение

В условиях мышечного покоя в горизонтальном положении в отсутствие значимого психического и эмоционального напряжения у девушек наблюдаются низкочастотные колебания тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей, частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления, что согласуется с данными [16], полученными для несколько иных параметров гемодинамики.

В вариабельности колебаний АРП, АРГ, ЧСС и САД четко прослеживаются низкочастотные (0,0007–0,002 Гц) волны, являющиеся маркерами гуморальной и метаболической регуляции.

Между колебаниями тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей, частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления обнаруживается, согласно шкале Чеддока [16], очень слабая взаимная корреляционная связь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский, Р. М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2001. – № 3. – С. 110–111.
2. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines / P. Kvanndal [et al.] // Microvascular Research. – 2003. – Vol. 65. – P. 160–171.
3. Флейшман, А. Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики: нелинейные феномены в клинической практике / А. Н. Флейшман. – Новосибирск : Изд-во Сибир. отд-ния РАН, 2009. – 194 с.

4. Сабирьянов, А. Р. Медленноволновые колебания показателей кровообращения у детей / А. Р. Сабирьянов. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 115 с.
5. Астахов, А. А. Увеличение объема регуляторных и вазомоторных влияний как механизм адаптации гемодинамики к увеличению преднагрузки у здоровых / А. А. Астахов, Н. С. Давыдова // Вестн. Урал. мед. акад. науки. – 2011. – № 3. – С. 61–71.
6. Сабирьянова, Е. С. Особенности динамики частотно-временных характеристик показателей центрального кровообращения у девочек и девушек в активном ортостатическом положении / Е. С. Сабирьянова, А. Р. Сабирьянов, В. В. Епишев // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 53–56.
7. Парандей, О. Р. Вариабельность импедансометрических маркеров ударного объема крови после инфаркта миокарда / О. Р. Парандей, М. А. Зубарев // Рос. журн. биомеханики. – 2007. – № 2. – С. 88–92.
8. Мавлиев, Ф. А. Типологические особенности вариабельности параметров кровообращения / Ф. А. Мавлиев, А. С. Назаренко, Н. В. Соснов // Учен. зап. ун-та им. П. Ф. Лесгафта. – 2012. – № 9 (91). – С. 97–101.
9. Наумова, В. В. Вариабельность параметров кровообращения в зрелом возрасте / В. В. Наумова, Е. С. Земцова // Вестн. С.-Петербур. ун-та. – 2008. – № 11. – С. 154–163.
10. Сабирьянов, А. Р. Возрастные особенности вариабельности показателей центрального кровообращения у детей младшего и среднего школьного возраста / А. Р. Сабирьянов, Е. С. Сабирьянова // Рос. педиатр. журн. – 2005. – № 6. – С. 4–7.
11. Епишев, В. В. Функциональное состояние центрального кровообращения и вариабельности хроно- и интропной функции сердца у девочек в зависимости от преобладания спектров в диапазонах / В. В. Епишев, А. Р. Сабирьянов // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. – 2010. – № 6 (182). – С. 20–25.
12. Астахов, А. А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики и анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») : учеб. пособие для врачей-анестезиологов : в 2 ч. / А. А. Астахов. – Челябинск, 1996. – Ч. 2. – 330 с.
13. Виноградова, Т. С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т. С. Виноградова. – М. : Медицина, 1986. – 416 с.
14. Реброва, О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О. Ю. Реброва. – М. : МедиаСфера, 2002. – 312 с.
15. Пашкевич, О. И. Использование многомерных статистических методов в системе STATISTICA 5.5 : учеб.-метод. пособие / О. И. Пашкевич. – Минск : РИПО, 2008. – 66 с.
16. Наумова, В. В. Медленные колебания гемодинамики у юношей и девушек в условиях покоя / В. В. Наумова, Е. С. Земцова // Бюл. Сибир. отд-ния Рос. акад. мед. наук. – 2008. – № 6 (134). – С. 174–181.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 26.12.2017

Savaneuski M.K., Savaneuskaya A.N., Khomich H.E. Low-Frequency Cardiovascular Oscillations in Females with Increased Resistance of Lower Extremity Blood Vessels

The article presents the findings of frequency analysis of low-frequency oscillations in lower limb minor and major blood vessel resistance, heart rate and systolic arterial pressure in females with increased resistance of lower extremity blood vessels. The research showed the dominance of very low frequency oscillations in the spectra of all the mentioned variables. Such a type of variability appears to be a consequence of increase in level of humoral and metabolic regulation.