



УДК 612.176

Н. К. Саваневский¹, Г. Е. Хомич²

^{1, 2}канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: medicine@brsu.brest.by

АНАЛИЗ МЕДЛЕННОВОЛНОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

Представлен обзор литературы, посвященной исследованию низкочастотных колебаний параметров функционирования сердечно-сосудистой системы. Приводятся результаты собственных исследований авторов, свидетельствующие о наличии трех типов медленноволновых колебаний тонуса мелких кровеносных сосудов ног у девушек, находящихся в состоянии покоя.

Введение

Обзор литературы. При анализе состояния здоровья человека определяющее значение имеет исследование и оценка функционирования сердечно-сосудистой системы. Анализ медленноволновых колебаний показателей кровообращения является актуальным направлением научных исследований современной интегративной физиологии, позволяющим изучать активность нервных и гуморальных механизмов регуляции. Одними из первых начали исследоваться изменения колебаний частоты сердечных сокращений (ЧСС), что обусловлено достаточно легкой возможностью его регистрации с помощью электрокардиографии.

Диагностика состояния и резервных возможностей сердца с привлечением различных спектральных методов анализа межсистолических интервалов R–R начала использоваться с 60-х гг. прошлого века [1; 2]. Была выдвинута гипотеза о связи колебательных процессов в организме с деятельностью различных уровней системы управления физиологическими функциями [3].

Наиболее широко известны колебания ЧСС в зависимости от фазы дыхания. Однако дыхательная аритмия не является единственной причиной колебаний ЧСС. Были обнаружены колебания ЧСС с периодами 10 и 15–20 с, а также с еще большими периодами – до 60–80 с, которые назвали медленными волнами [4]. С помощью информационного компьютерного подхода удалось выявить колебания ЧСС с периодами от 36–150 с до 17–50 мин. [5]. По-видимому, наиболее медленные колебания ЧСС определяются какими-то эндокринными и метаболическими процессами [6; 7]. По принятым стандартам, медленноволновые колебания физиологических параметров от 0,04 до 0,003 Гц получили название очень низкочастотных составляющих (Very Low Frequency – VLF). Более быстрые низкочастотные составляющие (Low Frequency – LF) обусловлены медленными колебаниями периодичностью от 0,15 до 0,04 Гц. В литературе их называют среднечастотными [8–10]. Наиболее быстрые высокочастотные составляющие (High Frequency – HF) формируются дыхательными волнами в диапазоне 0,15–0,45 Гц.

Природа LF компоненты, по мнению одних авторов, служит маркером симпатических влияний [10; 11], по мнению других [12], она обеспечивается влиянием как симпатических, так и вагальных механизмов барорефлекторной регуляции ритма сердца. Физиологическая природа VLF-компоненты наименее изучена. Существует мнение [13],



что мощность VLF в диапазоне до 0,01 Гц отражает степень активности церебральных эрготропных систем.

Исследования variability сердечного ритма были начаты в космической медицине [14–16], а затем продолжены в клинической практике [17–20] и при различных физиологических условиях работы сердца [21–34]. К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал об изменении variability кардиоритма у больных, а также у здоровых людей в состоянии покоя и под влиянием физической нагрузки. В меньшей степени изучен вопрос о медленноволновых колебаниях остальных параметров гемодинамики, в частности ударного объема крови, артериального давления, тонуса кровеносных сосудов в состоянии относительного покоя и их изменения под воздействием физических нагрузок.

Тем не менее проведено большое количество исследований, посвященных изучению медленноволновых колебаний артериального давления [35–39], ударного и минутного объема крови [40–42], других параметров гемодинамики [43–45]. Вместе с тем не удалось обнаружить сведений о возможной зависимости медленноволновых колебаний показателей гемодинамики от фонового тонуса кровеносных сосудов, что и явилось задачей данной работы.

Объект и методика исследований

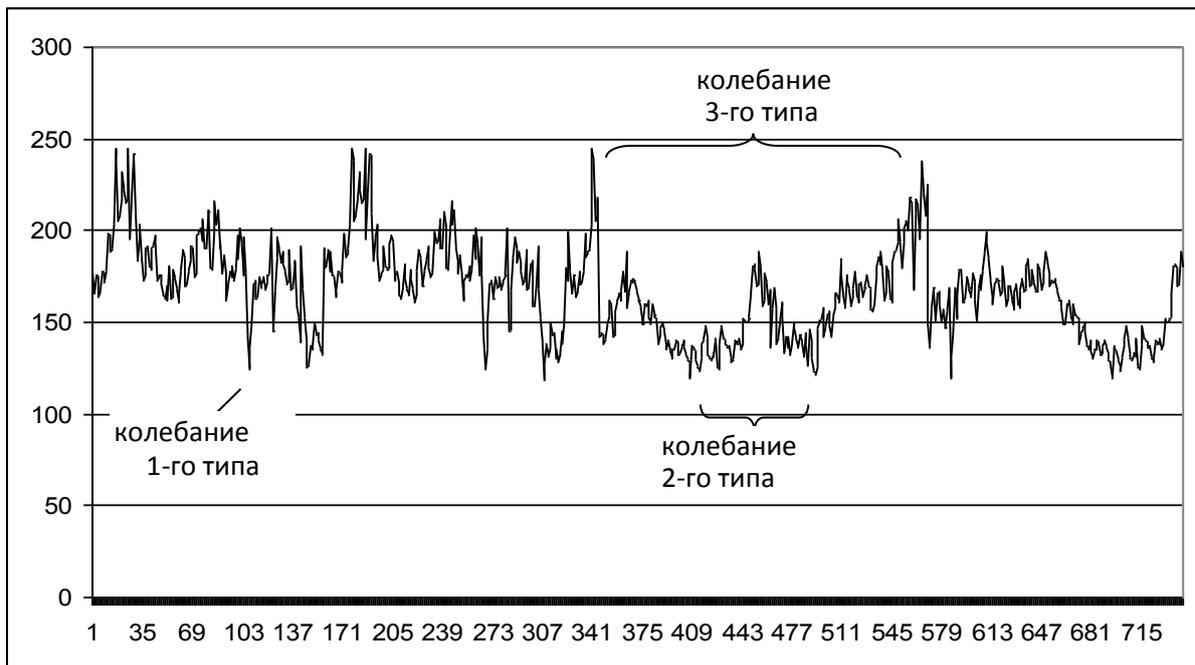
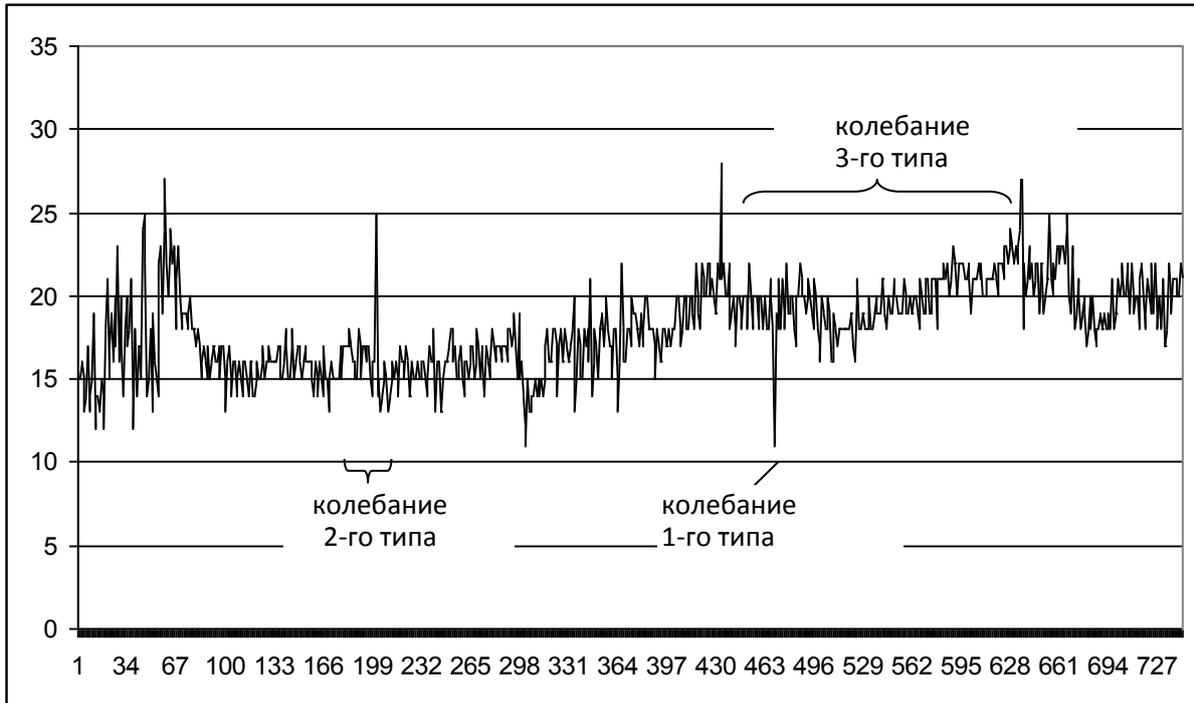
Низкочастотные колебания тонуса микрососудов нижних конечностей у девушек-студенток производилась с помощью неинвазивной биоимпедансной методики по А. А. Астахову [46] на полифункциональном мониторе кровенаполнения «Кентавр». Electrodes накладывались на спину, грудь, плечевые и бедренные отделы конечностей, 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 в монитор кровенаполнения «Кентавр», где производилась их компьютерная обработка. С каждым ударом пульса монитор измерял амплитуду реоволны большого пальца ноги (АРП), по величине которой судили о тонусе мелких кровеносных сосудов (микрососудов) нижних конечностей.

Исследование проведено на здоровых девушках в возрасте 20 лет, некоторые из них на момент обследования имели высокий (1-я группа испытуемых), а другие низкий тонус (2-я группа испытуемых) мелких кровеносных сосудов нижних конечностей. Регистрация данных мониторинга производилась в режиме реального времени в течение 10 минут в горизонтальном положении обследуемой девушки.

Определение исходного тонуса микрососудов нижних конечностей для отбора в соответствующую исследуемую группу осуществляли по показателям АРП. При нормальном тонусе и, соответственно, диаметре кровеносных сосудов у взрослого человека АРП составляет 80–150 мОм. В случае вазодилатации и гипотонии АРП равняется 160 мОм и более. При высоком тонусе и сужении сосудов величины АРП падают ниже 30 мОм [46; 47].

Результаты исследований и их обсуждение

Было установлено, что медленноволновые колебания тонуса мелких кровеносных сосудов наблюдаются у девушек с фоновым как высоким, так и с низким тонусом микрососудов, о чем судили по изменениям величины АРП. На рисунке представлены низкочастотные колебания АРП у одной из девушек с высоким фоновым тонусом микрососудов (верхний график) и у студентки с низким тонусом этих же сосудов (нижний график).



по оси ординат – значения АРП, мОм; по оси абсцисс – сокращения сердца

Рисунок. – Колебания тонуса микрососудов по показателям АРП у девушки с высоким тонусом (верхний рисунок) и с низким тонусом (нижний рисунок)



Средняя величина АРП у девушки с фоновым высоким тонусом микрососудов ног за 10-минутный отрезок регистрации с каждым ударом пульса в состоянии покоя в горизонтальном положении составила $18,15 \pm 0,1$ мОм, что свидетельствует о достаточно большой вазоконстрикции. У девушки с фоновым низким тонусом мелких кровеносных сосудов нижних конечностей средняя величина АРП за такой же промежуток времени равнялась $167,6 \pm 0,93$ мОм. Несмотря на принципиальные различия в исходном тонусе микрососудов, у обеих девушек наблюдались схожие медленноволновые колебания тонуса сосудов.

На графиках видны колебания АРП, свидетельствующие об изменениях тонуса мелких кровеносных сосудов нижних конечностей. По частоте эти колебания можно разделить по меньшей мере на три типа. Колебания первого типа (рисунок) вызываются растяжением сосудов систолическими объемами крови, выбрасываемой левым желудочком сердца при его сокращениях. Эти наиболее частые колебания совпадают с ритмом сердца и имеют частоту 0,8–1 Гц. Поскольку у здоровых испытуемых девушек 1-й и 2-й групп в состоянии покоя в положении лежа ЧСС составляла 60–75 сокращений в минуту, то не было выявлено значимых различий в частоте колебаний 1-го типа между девушками из обеих групп.

Также у девушек и с высоким и с низким фоновым тонусом микрососудов ног был обнаружен 2-й тип колебаний, который осуществлялся с более редкой частотой. В отношении этого типа колебаний следует отметить, что у девушек с низким тонусом сосудов они были выражены более четко и имели меньшую вариабельность от колебания к колебанию. У конкретной испытуемой (рисунок, нижний график) частота 2-го типа колебаний составляла 0,02–0,04 Гц.

У девушки с высоким фоновым тонусом мелких кровеносных сосудов нижних конечностей (рисунок, верхний график) колебания 2-го типа были менее наглядны и имели достаточно большую вариабельность и частоту. В данном случае частота этих колебаний находилась в диапазоне 0,08–0,12 Гц.

Причиной формирования медленных волн 2-го типа, в соответствии с данными литературы [10–12], можно предположить наличие колебаний симпатических и вагальных механизмов регуляции ритма сердца и тонуса сосудов

У испытуемых из обеих групп наблюдался наиболее редкий 3-й тип медленноволновых изменений тонуса микрососудов. Эти колебания, как и волны 2-го типа, были более регулярны, выражены и менее вариабельны по частоте у студенток с фоновым низким тонусом мелких кровеносных сосудов нижних конечностей. Так, у девушки с низким тонусом сосудов (рисунок, нижний график) колебания 3-го типа длились от 2,5 до 3 мин. Их частота составляла примерно 0,005 Гц.

У студентки с высоким фоновым тонусом микрососудов ног (рисунок, верхний график) колебания 3-го типа существенно различались по своей продолжительности и были менее заметны. Их частота колебалась от 0,005 до 0,001 Гц. Природа низкочастотных колебаний 3-го типа, по-видимому, обусловлена теми же причинами, что и медленноволновые изменения ЧСС [6; 7], артериального давления [36–37], и определяется колебаниями активности метаболических и гуморальных факторов.

Заключение

В состоянии покоя в положении лежа у девушек, имеющих фоновый низкий или высокий тонус мелких кровеносных сосудов нижних конечностей, обнаруживаются три типа медленноволновых изменений тонуса микрососудов ног. Первый тип колебаний



вызывается выбросом систолических объемов крови в кровеносные сосуды. Второй и третий типы колебаний с частотой от 0,001 до 0,12 Гц обусловлены, по-видимому, влияниями на тонус микрососудов ног со стороны эндокринной и дыхательной систем, а также изменениями обмена веществ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование резонансных характеристик сердечно-сосудистой системы / Е. Г. Ващилло [и др.] // Физиология человека. – 1983. – № 2. – С. 257–265.
2. Вегетативные расстройства: Клиника, лечение, диагностика / под ред. А. М. Вейна. – М. : Медицина, 2000. – 752 с.
3. Баевский, Р. М. Некоторые аспекты системного подхода к анализу временной организации функции в живом организме / Р. М. Баевский, М. К. Чернышов // Теоретические и прикладные аспекты временной организации биосистем : сборник. – М. : Наука, 1976. – С. 174–186.
4. Fleisch, F. Die raschen Schwargungen der Pulsfrequenz registriert mit dem Pulszeit-schreiber / F. Fleisch, P. Beckmann // Zeitschr. ges exp. Med. – 1932. – № 8. – С. 487–510.
5. Никулина, Г. А. К вопросу о «медленных» ритмах сердца / Г. А. Никулина // Математические методы анализа сердечного ритма. – М. : Наука, 1968. – С. 114–126.
6. Баевский Р. М. Спектральный анализ функции сердечного автоматизма / Р. М. Баевский, И. Г. Нидеккер // Статистическая электрофизиология. – Вильнюс, 1968. – 351 с.
7. Флейшман, А. Н. Медленные колебания гемодинамики / А. Н. Флейшман. – Новосибирск : Наука, 1998. – 274 с.
8. Астахов, А. А. Медленноволновые процессы гемодинамики / А. А. Астахов // Инжиниринг в медицине. Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флюктуация сердечно-сосудистой системы : сб. науч. тр. II науч.-практ. конф. и I Всерос. симп. – Челябинск : АТМН, 2000. – С. 50–63.
9. Информационный подход. Проблемы и перспективы российского образования и здравоохранения / А. П. Исаев [и др.] // Валеология. – 2000. – № 4. – С. 4–8.
10. Хаютин, В. М. Спектральный анализ колебаний ЧСС – известное, спорное, неизвестное / В. М. Хаютин, Е. В. Лукошкова // Инжиниринг в медицине. Колебательные процессы гемодинамики. Пульсация и флюктуация сердечно-сосудистой системы : сб. науч. тр. II науч.-практ. конф. и I Всерос. симп. – Челябинск : АТМН, 2000. – С. 71–80.
11. Хаютин, В. М. Сосудисто-двигательные рефлексy / В. М. Хаютин. – М. : Наука, 1984. – 376 с.
12. Исаев, А. П. Функциональные критерии гемодинамики в системе тренировки спортсменов (индивидуализация, отбор, управление) : учеб. пособие / А. П. Исаев, А. А. Астахов, Л. М. Куликов. – Челябинск : ЧГИФК, 1993. – 170 с.
13. Хаспекова, Н. С. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга : дис. ... д-ра мед. наук : 03.00.13 / Н. С. Хаспекова. – М., 1996. – 217 л.
14. Баевский, Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма в космической биологии и медицине. Передача биомедицинской информации / Р. М. Баевский // Основы космической биологии и медицины : в 3 т. – 1975. – Т. 2 : в 2 кн. – Кн. 2. – С. 258.
15. Баевский, Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма в космической медицине / Р. М. Баевский // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 2. – С. 70–82.



16. Черникова, А. Г. Оценка функционального состояния человека в условиях космического полета на основе анализа вариабельности сердечного ритма : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Г. Черникова. – М. : ИМБП, – 2010. – 24 с.
17. В помощь практикующему врачу: анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р. М. Баевский [и др.]. // Вестн. аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–84.
18. Баевский, Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р. М. Баевский. – М. : Медицина, 1979. – 295 с.
19. Машин, В. А. Анализ вариабельности ритма сердца при негативных функциональных состояниях в ходе сеансов психологической релаксации / В. А. Машин, М. Н. Машина // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, № 4. – С. 48–54.
20. Баевский, Р. М. Математический анализ изменения сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. Н. Кириллов, С. З. Клецкин. – М. : Наука, 1984. – 222 с.
21. Леус, Э. В. Характеристика показателей вариабельности сердечного ритма у младших школьников / Э. В. Леус // Тез. докл. XVIII съезда физиол. о-ва им. И. П. Павлова. – Казань ; М. : ГЭОТАР-МЕД, 2001. – С. 540.
22. Important influence of respiration on human RR interval power spectral is largely ignored / T. E. Brown [et al.] // J. Appl. Physiol. – 1993. – Vol. 75. – P. 2310.
23. Вариабельность ритма сердца у лиц с повышенным режимом двигательной активности и спортсменов / А. Д. Викулов [и др.] // Физиология человека. – 2005. – Т. 31, № 6. – С. 54–59.
24. Сабирьянов, А. Р. Некоторые особенности вариабельности показателей центрального кровообращения в покое и при переходе в ортостатическое положение / А. Р. Сабирьянов // Вестн. ЮУрГУ. – 2003. – № 5 (6). – С. 95–98.
25. Сабирьянов, А. Р. Особенности частоты сердцебиений и ее спектральных характеристик до и после дозированной физической нагрузки в зависимости от исходных особенностей вариабельности ритма сердца / А. Р. Сабирьянов // Формирование здорового образа жизни : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Тюмень : Вектор Бук, 2004. – С. 220–224.
26. Сабирьянов, А. Р. Медленноволновая вариабельность фракции выброса левого желудочка у детей среднего школьного возраста / А. Р. Сабирьянов // Изв. Челяб. науч. центра УрО РАН. – 2004. – № 3. – С. 155–158.
27. Галеев, А. Р. Вариабельность сердечного ритма у здоровых детей в возрасте 6–16 лет / А. Р. Галеев, Л. Н. Игишева, Э. М. Казин // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 4. – С. 54–58.
28. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах / С. А. Котельников [и др.] // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 1. – С. 130–143.
29. Машин, В. А. Зависимость показателей вариабельности сердечного ритма от средней величины R–R интервалов / В. А. Машин // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2002. – Т. 87, № 7. – С. 851–855.
30. Никулина, А. В. Изменчивость вариабельности сердечного ритма как отражение реализации физиологических механизмов адаптации организма / А. В. Никулина, В. А. Козлов, А. А. Шуканов // Человек. Спорт. Медицина. – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 14–20.
31. Вариабельность сердечного ритма у студентов с разной двигательной активностью / Ф. Б. Литвин [и др.] // Учен. зап. ун-та Лесгафта. – 2015. – № 7 (125). – С. 123–129.
32. Шлык, Н. И. Нормативы показателей вариабельности сердечного ритма у исследуемых 16–21 года с разными преобладающими типами вегетативной регуляции /



Н. И. Шлык, Э. И. Зуфарова // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. – 2013. – № 4. – С. 96–105.

33. McCraty, R. Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health risk / R. McCraty, F. Shaffer // *Glob Adv Health Med.* – 2015. – Vol. 4 (1). – P. 46–61.

34. The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: a review with emphasis on a reanalysis of previous studies / G. A. Reyes del Paso [et al.] // *Psychophysiology.* – 2013. – Vol. 50 (5). – P. 477–487.

35. Троицкая, Ю. В. Эволюция представлений о значении вариабельности артериального давления / Ю. В. Троицкая, Ю. В. Котовская, Ж. Д. Кобалава // *Артер. гипертензия.* – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 13–24.

36. Шаварова, Е. К. Риск сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с артериальной гипертонией: эволюция взглядов / Е. К. Шаварова, Э. Т. Муфтеева, Ж. Д. Кобалава // *Артер. гипертензия.* – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 314–319.

37. Rothwell, P. M. Limitations of usual pressure hypothesis and the importance of variability, instability and episodic hypertension // *Lancet.* – 2010. – Vol. 375, № 9718. – P. 938–948.

38. Association between different measurements of blood pressure variability by ABP monitoring and ankle-brachial index / E. Wittke [et al.] // *BMC Cardiovasc. Disorders.* – 2010. – Vol. 10. – P. 10–55.

39. Сабирьянов, А. Р. Особенности медленноволновых колебаний артериального давления и периферического кровообращения у детей / А. Р. Сабирьянов // *Клин. физиология систем. кровообращения.* – 2007. – № 3. – С. 39–43.

40. Сабирьянов, А. Р. Возрастные особенности величин ударного объема в зависимости от преобладания диапазона спектра колебаний / А. Р. Сабирьянов, Е. С. Сабирьянова, А. Р. Баймышева // *Сб. работ 69-й итоговой науч. сес. КГМУ и отд-ния мед.-биол. наук Центр.-Чернозем. науч. центра РАМН.* – Курск, 2004. – Ч. I. – С. 52–53.

41. Епишев, В. В. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и структура медленноволновых колебаний ее показателей у студентов 18–21 года при занятиях гимнастикой Тай-Цзи-Цуань : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.13. / В. В. Епишев. – Челябинск, 2006. – 157 л.

42. Сабирьянова, Е. С. Закономерности онтогенетической адаптации сердечно-сосудистой системы и уровней ее регуляции к комплексу факторов внешней среды у детей, проживающих в условиях села и города : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 03.00.13 / Е. С. Сабирьянова. – Курган, 2010. – 45 с.

43. Астахов, И. А. Особенности в механизмах регуляции гемодинамики в условиях здоровья и при некоторых формах патологии на основе метода спектрального анализа : автореф. дис. ... канд. мед. наук / И. А. Астахов. – Челябинск, 1997. – 21 с.

44. Сабирьянов, А. Р. Структура медленноволновой вариабельности показательной гемодинамики, как интегральная характеристика активности уровней регуляции системы кровообращения у детей младшего и среднего возраста : дис. ... д-ра мед. наук / А. Р. Сабирьянов. – Курган, 2005. – 313 л.

45. Наумова, В. В. Медленные колебания гемодинамики у юношей и девушек в условиях покоя / В. В. Наумова, Е. С. Земцова // *Бюл. СО РАМН.* – 2008. – № 6 (134). – С. 174–179.



46. Астахов, А. А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики и анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») : в 2 ч. / А. А. Астахов. – Челябинск, 1996. – Ч. 1, 2. – 330 с.

47. Виноградова, Т. С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т. С. Виноградова. – М. : Медицина, 1986. – 416 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 24.09.2019

Savaneuski M. K., Khomich H. E. Analysis of Slow Wave Oscillations of Functioning as One of the Research Methods of Cardiovascular System

The article presents a review of the literature devoted to the study of low-frequency oscillations of the parameters of the cardiovascular system. The article presents the results of the authors' own research, indicating the presence of three types of slow-wave fluctuations in the tone of small blood vessels of the legs in girls at rest.