

УДК 612.176

**Н.К. Саваневский<sup>1</sup>, Г.Е. Хомич<sup>2</sup>, Е.Н. Саваневская<sup>3</sup>**<sup>1</sup>канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина<sup>2</sup>канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина<sup>3</sup>аспирант каф. физиологии человека и животных

Белорусского государственного университета

e-mail: [medicine@brsu.brest.by](mailto:medicine@brsu.brest.by)**МЕДЛЕННОВОЛНОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ  
НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОДИНАМИКИ  
У ДЕВУШЕК С НИЗКИМ ТОНУСОМ  
МИКРОСОСУДОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

*Представлены результаты анализа медленных колебаний тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов ног, частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления у девушек, имевших слегка повышенный тонус крупных и низкий тонус мелких кровеносных сосудов нижних конечностей. Установлено, что среди колебаний этих показателей выявляются низкочастотные волны, обусловленные изменением уровня гуморальной и метаболической активности.*

**Введение**

Медленноволновые колебания показателей функционирования органов и систем, в том числе и сердечно-сосудистой, в последнее время являются актуальным направлением научных исследований [1–4]. Считается, что низкочастотные колебания гемодинамики отражают активность основных механизмов регуляции системы кровообращения: нейрогенного, нейрогуморального, метаболического, дыхательного, миогенного и эндотелиального [5–7].

Согласно принятым в 1996 г. стандартам, медленноволновые колебания физиологических параметров в диапазоне от 0,003 до 0,04 Гц получили название очень низких частот (Very Low Frequency – VLF). Более быстрыми являются волны низкой частоты (Low Frequency – LF) с периодичностью от 0,04 до 0,15 Гц, которые обычно называют среднечастотными. Наиболее быстрыми из медленноволновых колебаний являются высокие частоты (High Frequency – HF), формирующиеся дыхательными волнами в диапазоне 0,15–0,45 Гц.

Выявлено [8–10], что вариабельность каждого параметра кровообращения характеризуется специфическим соотношением медленных колебаний разных частот, что отражает особенности регуляции данного параметра. В спектре вариабельности ритма сердца, ударного объема, фракции выброса и амплитуды пульсации аорты, как правило, отмечается доминирование HF-колебаний, связанных с дыханием. В спектре вариабельности амплитуды пульсации микрососудов большого пальца ноги чаще преобладают VLF-колебания, являющиеся маркером гуморальной регуляции. В спектре вариабельности артериального давления чаще всего проявляется LF-составляющая спектра, отражающая активность барорефлекса.

Механизм возникновения VLF-колебаний до сих пор окончательно не изучен. Предполагают надсегментарное их происхождение с высших вегетативных центров. При этом иногда диапазон VLF-колебаний разделяют на два – UVLF с частотой колебаний от 0 до 0,025 Гц и VLF с частотой от 0,025 до 0,075 Гц. Следует отметить, что среди причин вариабельности периферического кровообращения существенная роль отво-

дится вегетативным и местным факторам регуляции, а также колебаниям уровня обмена веществ [11].

Низкочастотные колебания гемодинамических показателей могут зависеть от фонового тонуса периферических кровеносных сосудов, о чем мы не обнаружили сведений в доступной литературе. В нашей работе [12] были представлены результаты изучения низкочастотных колебаниях нескольких показателей кровообращения у девушек с повышенным тонусом кровеносных сосудов нижних конечностей. В связи с этим представлялось закономерным выяснить параметры низкочастотных колебаний таких же показателей кровообращения при ином тонусе кровеносных сосудов нижних конечностей. Это и явилось целью данной работы.

### **Объект и методика исследований**

Колебания показателей сердечно-сосудистой системы у девушек-студенток регистрировались с помощью неинвазивной биоимпедансной методики по А.А. Астахову [13] на полифункциональном мониторе кровенаполнения «Кентавр». Электроды накладывались на спину, грудь, плечевые и бедренные отделы конечностей, на голень и большой палец правой ноги. Электрическое сопротивление 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), амплитуду реоволны голени (АРГ), частоту сердечных сокращений (ЧСС) и систолическое артериальное давление (САД).

В обследуемую группу (15 человек) были отобраны девушки 19–22 лет без жалоб на состояние сердечно-сосудистой системы, имевшие на момент обследования слегка повышенный тонус крупных и низкий тонус мелких кровеносных сосудов нижних конечностей. Мониторинг исследуемых показателей проводился в режиме реального времени в течение 10 мин. в горизонтальном положении обследуемой девушки.

Фоновый тонус 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 тонусе 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 тонусе и сужении сосудов величины АРП и АРГ падают ниже 30 мОм [14].

Полученные результаты исследований были подвергнуты статистической обработке общепринятыми методами вариационной статистики с определением средней арифметической вариационного ряда, ошибки среднего арифметического. При статистической обработке были использованы компьютерные программы по обработке результатов Microsoft Excel XP и STATISTICA [15; 16].

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Тонус мелких и крупных сосудов нижних конечностей определялся с каждым сокращением сердца, соответственно, по АРП и АРГ, и регистрировался монитором кровенаполнения «Кентавр-1». Также с каждым ударом пульса в течение 10 мин. автоматически измерялись ЧСС и САД.

Типичные количественные показатели АРП, АРГ, САД и ЧСС у одной испытуемой из обследованной группы представлены в таблице 1.

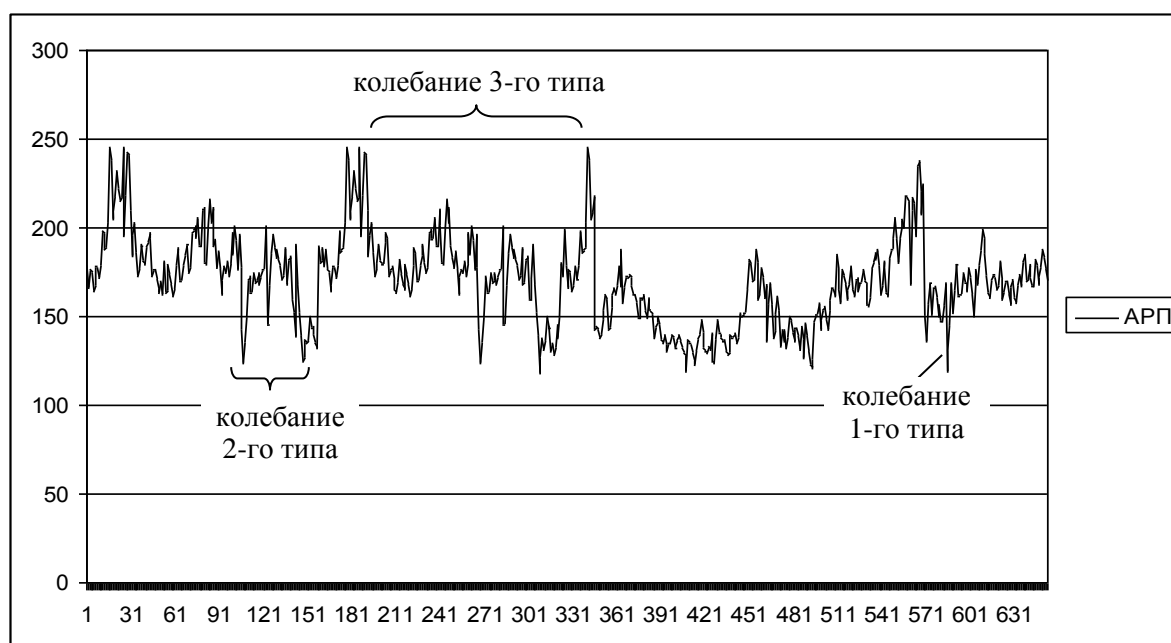
Было установлено, что у испытуемой средняя АРП равнялась  $170,68 \pm 0,97$  мОм, а АРГ –  $39,13 \pm 0,15$  мОм, что согласно данным литературы [14] соответствует низкому тонусу мелких и слегка повышенному тонусу крупных кровеносных сосудов нижних

конечностей. Показатели САД и ЧСС находились в диапазоне нормальных величин для взрослых людей, находящихся в покое.

Таблица 1. – Средние значения АРП, АРГ, ЧСС и САД у испытуемой

Исследуемый показатель	Количество измерений	$\bar{x} \pm \bar{Sx}$
Амплитуда реоволны пальца	654	170,68 ± 0,97
Амплитуда реоволны голени	654	39,13 ± 0,15
Систолическое артериальное давление	654	108,5 ± 0,31
Частота сердечных сокращений	654	79,46 ± 0,26

Колебания АРП и тонуса микрососудов ног за 10-минутный отрезок времени представлены на графике (рисунок 1).



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

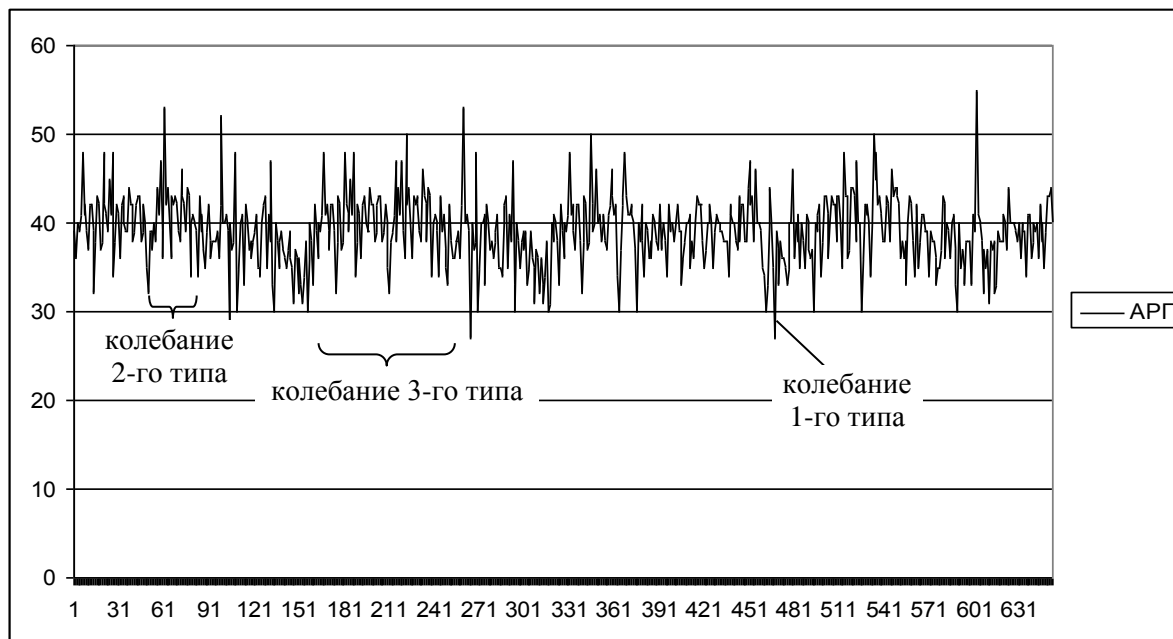
**Рисунок 1. – Изменения тонуса микрососудов по показателям АРП**

На графике хорошо заметны колебания АРП, обусловленные изменениями тонуса мелких кровеносных сосудов ног, которые по частоте разделяются на три типа. Первый тип – это наиболее частые колебания, обусловленные неодинаковым растяжением мелких кровеносных сосудов порциями крови, выбрасываемых сердцем при каждой систоле желудочков. Они происходят с частотой 0,6–0,9 Гц.

Более редкие колебания составляют второй тип. Они возникают регулярно с периодом в 40–65 сердечных сокращений и имеют частоту 0,02–0,03 Гц. По-видимому, эти волны связаны с дыханием.

Наиболее медленные волны можно выделить как третий тип изменения тонуса микрососудов. Они длятся от 2,5 до 3,5 мин., и частота их составляет всего 0,005 Гц. Не исключено, что эти низкочастотные колебания тонуса мелких кровеносных сосудов ног обусловлены изменениями в гуморальном составе крови.

Флуктуации АРГ, обусловленные вариативностью тонуса магистральных кровеносных сосудов нижних конечностей, отображены на рисунке 2.



по оси ординат – значения АРГ в мОм; по оси абсцисс – сокращения сердца

**Рисунок 2. – Изменения тонуса макрососудов по показателям АРГ**

Как и в колебаниях тонуса микрососудов, так и в изменениях тонуса крупных сосудов ног, отражающихся в пульсации АРГ, выделяются три типа волн разной частоты. Наиболее частые колебания, обусловленные неодинаковым растяжением макрососудов поступающей кровью при каждой систоле сердца, составляют первый тип. Они по времени совпадают с колебаниями АРП, так как вызваны сердечными сокращениями и происходят с частотой 0,6–0,9 Гц.

Волны второго типа колеблются с меньшей частотой. Они соответствуют примерно 20–30 сердечным систолам и имеют частоту 0,03–0,05 Гц.

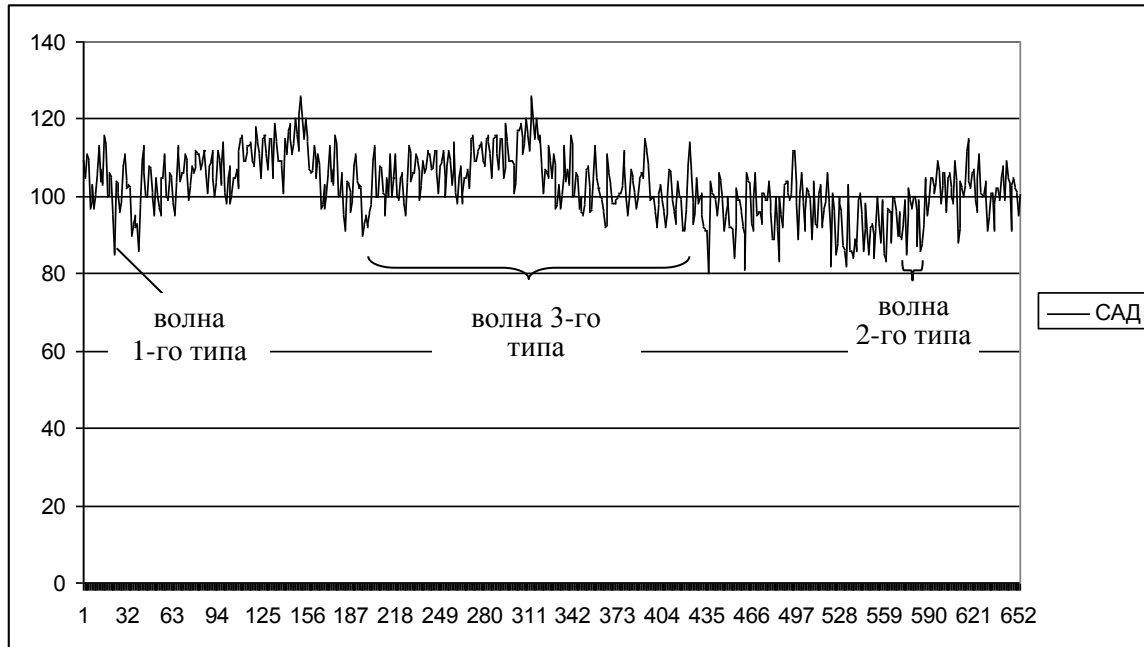
На графике изменений АРГ заметны наиболее медленные колебания третьего типа, которые длятся около 2 мин. Частота таких колебаний составляет 0,007–0,009 Гц. Эти колебания тонуса крупных кровеносных сосудов нижних конечностей, как и медленно-волновые колебания АРП, по-видимому, обусловлены изменениями уровня нейрогуморальной и метаболической регуляции.

Феномен вариабельности артериального давления, т.е. его изменения с течением времени, известен с 1970-х гг. При этом вариабельность можно оценивать на протяжении минут, дней, недель и даже месяцев [17]. Причины вариабельности артериального давления достаточно многообразны. Некоторые из них отражают состояние механизмов, отвечающих за его регуляцию и, возможно, имеют значение в прогнозировании сердечно-сосудистых осложнений.

В нашем эксперименте систолическое артериальное давление измерялось с каждым ударом пульса и дало следующие результаты. Среднее значение САД равнялось  $108,5 \pm 0,31$  мм рт. ст. (таблица 1), что соответствует норме. С каждой систолой сердца величина САД менялась. Диапазон колебаний составил от 80 до 126 мм рт. ст.

Колебания САД в течение 10 мин. проведения эксперимента представлены на графике (рисунок 3). На нем выделяются три типа колебаний. Первый тип представляет собой пульсовые волны систолического артериального давления, что вызывается неодинаковой силой сердечных сокращений.

Второй тип колебаний имеет период в 20–26 сердечных сокращений, что соответствует 0,04–0,05 Гц. Это дыхательные волны. Они обусловлены изменениями давления в грудной полости во время вдоха и выдоха девушки, что передается на кровеносные сосуды и изменяет САД.



по оси ординат – величина САД в мм рт. ст.; по оси абсцисс – сокращения сердца

**Рисунок 3. – Колебания систолического артериального давления**

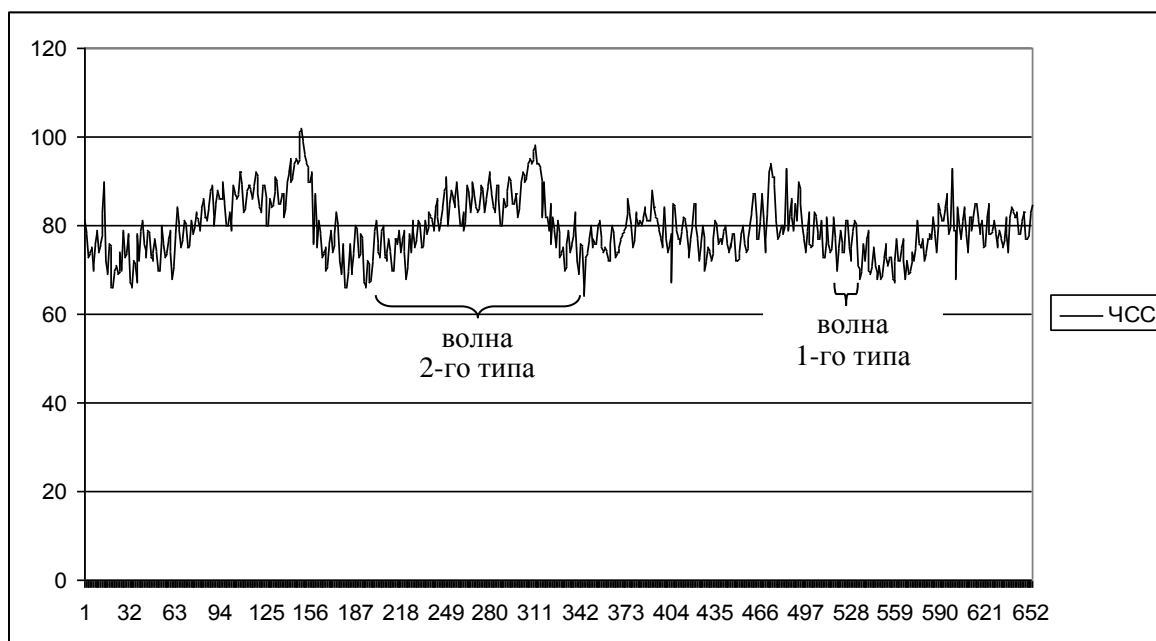
Третий тип колебаний с периодом примерно 170–230 сокращений сердца повторяется с частотой 0,003–0,004 Гц и обусловлен изменениями нейрогуморального фона в организме.

Известно, что оценка вариабельности ритма сердца позволяет изучать индивидуальные особенности регуляции деятельности сердца, оценивать функциональное состояние организма и прогнозировать его устойчивость к различным видам нагрузки. В связи с этим данный метод широко применяется в медицинской практике, спортивной медицине и в научных исследованиях [2–3; 5–8; 18–19].

В нашем исследовании были выявлены медленноволновые колебания частоты сердечных сокращений. Средняя ЧСС у испытуемой равнялась  $79,46 \pm 0,26$  ударов в мин. (таблица 1), что соответствует нормальным значениям для взрослого человека. Однако межсистолические интервалы различались между собой, и эти колебания ЧСС за 10-минутный отрезок времени графически представлены на рисунке 4.

На графике прослеживаются два типа волн. Более быстрый первый тип волн имеет период, соответствующий 15–20 сокращениям сердца, частота их составляет 0,06–0,07 Гц. Возможно, они отражают влияние дыхания на сердечный ритм.

Более медленные волны образуют второй тип колебаний. Пик их наблюдается с частотой 0,005–0,007 Гц через каждые 150–200 сердечных сокращений. Вполне вероятно, что второй тип волн связан с изменениями в нейрогуморальной регуляции сердечной деятельности.



по оси ординат число сокращений в 1 минуту; по оси абсцисс – сокращения сердца

**Рисунок 4. – Колебания частоты сердечных сокращений**

### **Заключение**

В покое в положении лежа у девушек, имеющих низкий тонус микрососудов и повышенный тонус макрососудов, наблюдаются медленноволновые изменения тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей, частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления, что согласуется с данными [12], полученными для испытуемых с повышенным тонусом микрососудов ног.

В варибельности колебаний АРП, АРГ, ЧСС и САД четко прослеживаются низкочастотные (от 0,009 до 0,07 Гц) волны, являющиеся отражением влияния на гемодинамику со стороны дыхания, эндокринной системы и обмена веществ.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. 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. симпозиума. – Челябинск, 2000. – С. 50–63.
2. В помощь практикующему врачу: анализ варибельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р. М. Баевский [и др.] // Вестн. аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–84.
3. Akselrod, S. D. Components of heart rate variability / S. D. Akselrod // Heart Rate Variability. – 1995. – Vol. 12. – P. 146–164.
4. Сабирьянов, А. Р. Особенности медленноволновых колебаний артериального давления и периферического кровообращения у детей / А. Р. Сабирьянов // Клиническая физиология системного кровообращения. – 2007. – № 3. – С. 39–43.
5. Никулина, А. В. Изменчивость варибельности 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.

6. Вариабельность сердечного ритма у студентов с разной двигательной активностью / Ф. Б. Литвин [и др.] // Учен. зап. ун-та им. П. Ф. Лесгафта. – 2015. – № 7 (125). – С. 123–129.
7. Шлык, Н. И. Нормативы показателей variability 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.
8. McCraty, R. Heart Rate Variability: New Perspectives on Physiological Mechanisms, Assessment of Self-regulatory Capacity, and Health risk / R. McCraty, F. Shaffer // Global Advances in Health and Medicine. – 2015. – Vol. 4 (1). – P. 46–61.
9. 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.
10. 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.
11. Астахов, А. А. Адаптационные процессы гемодинамики при различных вариантах анестезии и интенсивной терапии у пациентов отделений реанимации : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.01.20 / А. А. Астахов. – Екатеринбург, 2012. – 50 с.
12. Саваневский, Н. К. Низкочастотные колебания параметров кровообращения у девушек с повышенным тонусом кровеносных сосудов нижних конечностей / Н. К. Саваневский, Е. Н. Саваневская, Г. Е. Хомич // Вестн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навуки аб зямлі. – 2018. – № 1. – С. 58–65.
13. Астахов, А. А. Многофункциональный импедансный мониторинг сердечно-сосудистой системы и легких / А. А. Астахов. – Челябинск, 1989. – 18 с.
14. Виноградова, Т. С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т. С. Виноградова. – М. : Медицина, 1986. – 416 с.
15. Реброва, О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О. Ю. Реброва. – М. : МедиаСфера, 2002. – 312 с.
16. Пашкевич, О. И. Использование многомерных статистических методов в системе STATISTICA 5.5 / О. И. Пашкевич. – Минск : РИПО, 2008. – 66 с.
17. Rothwell, P. M. Limitations of usual pressure hypothesis and the importance of variability, instability and episodic hypertension / P. M. Rothwell // Lancet. – 2010. – Vol. 375, № 9718. – P. 938–948.
18. Черникова, А. Г. Оценка функционального состояния человека в условиях космического полета на основе анализа variability сердечного ритма : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Г. Черникова. – М., 2010. – 24 с.
19. Флейшман, А. Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики: нелинейные феномены в клинической практике / А. Н. Флейшман. – Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния РАН, 2009. – 194 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.12.2018

**Savaneuski M.K., Khomich H.E., Savaneuskaya A.N. Slow Wave Changes for Certain Indicators of Hemodynamics at Girls with Low Tone Microscows of the Lower Extremities**

*The article presents the results of the analysis of slow fluctuations in the tone of small and large blood vessels of the legs, heart rate and systolic blood pressure in girls who had a slightly increased large tone and low tone of small blood vessels in the lower limbs. It has been established that among the fluctuations of these indicators low-frequency waves are detected, caused by changes in the level of humoral and metabolic activity.*