

УДК 796:61
ББК 75.711, 75.726

Зинурова Н.Г., Быков Е.В., Коломиец О.И.
Уральский государственный университет физической культуры,
Челябинск, Россия
zinurova.nad@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ ИНОТРОПНОЙ ФУНКЦИИ ПРИ АДАПТАЦИИ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ РАЗЛИЧНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Представлены особенности регуляции сократительной функций сердца спортсменов с различной направленностью физических нагрузок. Установлено, что наиболее высокие значения ударного объема имеют спортсмены со скоростно-силовым характером нагрузок, в регуляции ударного объема у них самая большая доля очень низкочастотных колебаний, у единоборцев выше доля низкочастотных колебаний, при развитии качества выносливости относительно одинаковая доля очень низкочастотных и низкочастотных колебаний. При проведении пробы активного ортостаза отмечен весомый вклад низкочастотных колебаний во всех группах спортсменов; мощность высокочастотных колебаний в группе «выносливость» и «скоростно-силовые нагрузки» около 30% за счет более низких значений у них доли очень низкочастотных колебаний. В группе единоборцев (специальная выносливость) круг факторов регуляции ударного объема сердца отражает относительно равные влияния надсегментарных и сегментарных структур и незначительный вклад парасимпатического отдела.

Ключевые слова: ударный объем, регуляция, спортсмены, спектральный анализ.

Zinurova N., Bykov E., Kolomiets O.
The Ural State University of Physical Culture,
Chelyabinsk, Russia

PECULIARITIES OF REGULATION OF INOTROPIC FUNCTION DURING ADAPTATION TO PHYSICAL LOADS OF DIFFERENT ORIENTATION

The peculiarities of regulation of contractile function of the heart of athletes with different orientation of physical loads. It is established that the highest values of the stroke volume have athletes with speed-power nature of the loads, in the regulation of stroke volume they have the largest share of very low-frequency oscillations, martial artists have a higher share of low-frequency fluctuations, the development of endurance quality about the same proportion of very low-frequency and low-frequency oscillations. During the tests the active orthostasis noted a significant contribution of low frequency oscillations in all groups of athletes; the power of high-frequency oscillations in the "endurance" and "speed-power" load of about 30% due to the lower values they share very low-frequency oscillations. In the group of the athletes (special endurance) the range of factors regulating stroke volume of the heart reflects a relatively equal influence of suprasegmental and segmental structures and a minor contribution of the parasympathetic division.

Keywords: stroke volume, regulation, athletes, spectral analysis.

Актуальность. Сердечно-сосудистая система считается достаточно чувствительным индикатором адаптационных изменений организма при воздействии физических нагрузок, а спектральные характеристики медленноволновой variability сердечного ритма (ВСП) – маркером напряжения

адаптационных процессов [1, 4, 8]. Сердце выступает индикатором адаптационных реакций всего организма отвечая на разнообразные внутренние воздействия и внешние изменяющиеся условия. Несмотря на неспецифические особенности наблюдаемых изменений ВСП, они дают важную информа-

цию о состоянии вегетативной нервной системы и других уровней нейрогуморальной регуляции [5].

Установлено, что определенная спортивная специализация тренирующихся лиц указывает на их «вегетативный портрет» [2, 9-11]. Возможности спектрального анализа ВСР позволяют изучить включение в регуляторный процесс различных звеньев, при этом одним из наиболее информативных показателей при анализе функциональной адаптации сердечно-сосудистой системы (ССС) в ответ на физическую нагрузку является суммарная мощность спектра сердечного ритма, а общие статистические показатели ВСР, характеризующие вегетативный баланс по соотношению активностей симпатического и парасимпатического отделов, выделяют четкую зависимость от вида спорта [6]. По мнению Е.Ю. Берсенева (2008) анализ мощности отдельных компонентов спектра ВСР дает возможность углубить представление об особенностях вегетативной регуляции при различной спортивной специализации. Например, у пловцов-стайеров преобладает сегментарный уровень регуляции центральной гемодинамики, указывающий на наличие ненапряженного вегетативного баланса, высоких значений мощности высоко- и низкочастотных флюктуаций, значительного влияния на инотропную функцию сердца вегетативной нервной системы, вегетативное обеспечение у пловцов-стайеров характеризуется клиностатическим замедлением [8]. В то же время выполнение активной ортостатической пробы позволяет изучить функциональные резервы вегетативной регуляции с помощью определения активности симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы и центральных механизмов регуляции; даже при таком малом уровне воздействия на сердечно-сосудистую систему, разнонаправленность регуляторных механизмов может проявляться в виде вегетативной неустойчивости [3].

Устойчивость переходных процессов в сердечно-сосудистой системе обеспечивается взаимосвязью различных локальных механизмов регуляции деятельности сердца и тонуса кровеносных сосудов [7]. Результаты различных исследований подтверждают

возможность возникновения нарушений во взаимодействии местных регуляторных механизмов при переходных процессах в аппарате кровообращения, вызванных изменением венозного возврата, параметров сокращения левого желудочка и тонуса артериального русла. Если влияние венозного возврата на параметры сокращения левого желудочка ограничено в основном гетерометрическим механизмом Франка-Старлинга и, как следствие, гомеометрическим механизмом Анрепа, то взаимодействие тонуса артериального русла с параметрами сокращения сердечной мышцы имеет более сложный механизм [12, 13].

Высказано мнение о зависимости типа адаптации сердечно-сосудистой системы от регуляторно-адаптивного статуса. Так, у спортсменов с высокой степенью адаптации в спектре ВСР доминируют высокочастотные (ВЧ-волны) над низкочастотными (НЧ-волнами) (особенно у легкоатлетов при ортопробе), у спортсменов с напряжением адаптационных механизмов в общей мощности спектра, особенно у «игровиков», снижается парасимпатическая активность на фоне повышения очень медленных ОНЧ-волн, что выражается в усилении активности симпатического звена регуляции, снижении функциональных резервов регуляции инотропной функции сердца. У спортсменов с неудовлетворительным уровнем адаптации определено преобладание симпатического звена регуляции (НЧ) над парасимпатическим (ВЧ), что отражает высокое напряжение механизмов регуляции деятельности сердца [8-10, 12]. По мнению А.Е. Aubert et al. (2002) необходимо регулярно проводить анализ variability сердечного ритма в разные периоды подготовки спортсменов для выявления индивидуальных особенностей [14].

В то же время, недостаточно изучены особенности регуляции других компонентов деятельности сердца ударного объема.

Организация и методы исследования. В исследованиях принимали участие спортсмены, тренировочные нагрузки сопряжены с развитием специальной выносливости (дзюдо, группа «единоборства»), с развитием качества выносливости (легкоатлеты, группа

«циклические виды») и с развитием скоростно-силовой выносливости (хоккей с шайбой, группа «игровые виды») со стажем тренировок более 5 лет, имеющие первый спортивный разряд и кандидаты в мастера спорта (n=91). В указанных группах был проведен комплекс исследований, включавших оценку функционального состояния сердечно-сосудистой системы, определение вегетативного статуса, активности различных уровней нейровегетативной регуляции сократительной деятельности сердца в покое (лежа) и при пробе активного ортостаза (АОП) методом импедансной реографии при помощи сертифицированной компьютерной технологии «Кентавр» фирмы «Микролюкс» (г. Челябинск).

Результаты и обсуждение.

При сравнительном анализе значений в исходном положении (лежа) частоты сердечных сокращений (ЧСС) было выявлено, что у обследованных нами спортсменов игровых и циклических видов показатели находились на нижней границе нормы, это свидетельствует об экономизации деятельности ССС. При изучении ударного объема сердца отмечалась тенденция к повышению на 15-21 мл у спортсменов игровых видов по сравнению с группами сравнения.

Переход в вертикальное положение при активной ортопробе привел к повышению ЧСС во всех группах на 12-17 ударов в минуту ($p < 0,05$) (рисунок 1).

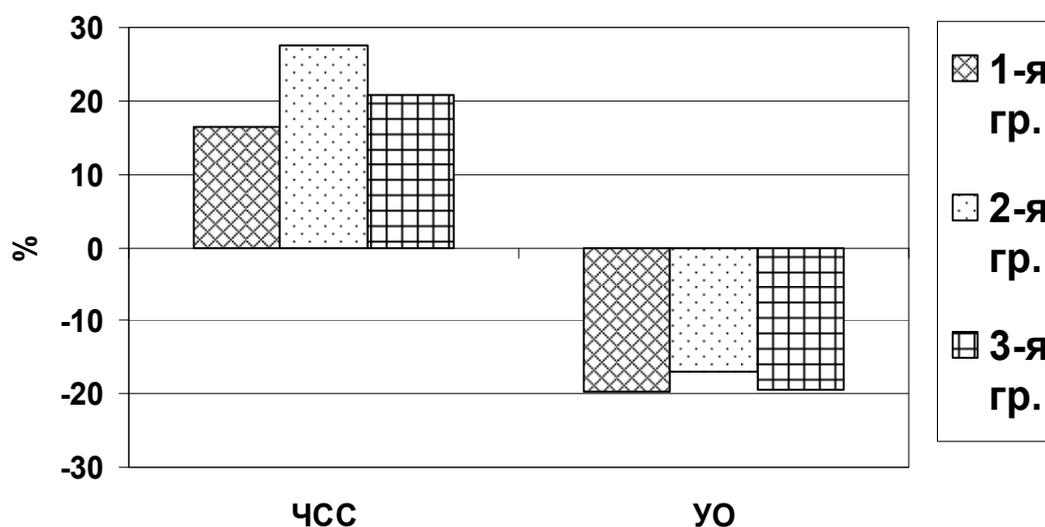


Рисунок 1 – Динамика показателей ЧСС и ударного объема (в процентах) при проведении пробы активного ортостаза у спортсменов различных групп

Было выявлено снижение ударного объема как результат перераспределения кровотока, оно было наиболее значительным у спортсменов-игровиков (составило около 22 мл, 19,4%), а наименьшим – у спортсменов циклических видов (около 16 мл, 17,07% и в группе единоборств на 18мл, 19,7%), что возмещалось учащением ритма сердца на 16,5-27,6%.

В исходном положении общая мощность спектра ударного объема имела выраженные межгрупповые различия: у спортсменов, представляющих циклические виды, показатели были значительно ниже по сравнению с группой игровиков и единоборцев – соответственно на 28% и 23,5% ($p < 0,05$). Эти особенности определяются различиями

мощности флюктуаций в ОНЧ- и НЧ-диапазонах спектра.

Как видно из приведенных в таблице 1 результатов, у единоборцев мощность НЧ-колебаний наибольшая, у игровиков – мощность УНЧ- и ОНЧ-колебаний выше (доминируют гуморально-метаболические факторы).

Переход в вертикальное положение сопровождался тенденцией к увеличению общей мощности спектра (ОМС) ударного объема, в 1-й группе активность симпатического отдела ВНС сохранялась наибольшей. Гуморальные влияния на инотропную функцию наибольшие в группе единоборцев и игровиков (мощность ОНЧ-колебаний достоверно выше по сравнению со спортсменами-легкоатлетами ($p < 0,01-0,001$)).

Таблица 1 – Спектральные характеристики ударного объема спортсменов различных видов спорта в положении лежа и в положении стоя (M±m)

Группа	ОМС	УНЧ, усл.ед.	ОНЧ, усл.ед.	НЧ, усл.ед.	ВЧ, усл.ед.
лежа					
1 (единобор.)	30,14±3,47	3,49±0,59	9,98±1,15	13,51±1,69	3,06±0,67
2 (циклич. виды)	21,69±2,43	3,06±0,54	9,20±1,16	8,69±1,04	0,74±0,10
3 (игровые виды)	28,39±3,40	5,35±0,88	14,77±1,94	7,70±0,85	0,56±0,07
p 1-2	<0,05	>0,05	>0,05	<0,05	<0,01
p 1-3	>0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,001
p 2-3	>0,05	<0,05	<0,05	>0,05	>0,05
стоя					
1 (единобор.)	34,46±3,81	3,86±0,52	12,63±1,70	13,53±1,82	4,46±0,65
2 (циклич. виды)	24,92±2,98	1,04±0,29	4,98±0,54	11,48±1,56	7,45±1,09
3 (игровые виды)	35,82±4,01	2,01±0,26	9,56±1,47	12,67±1,70	10,56±1,53
p 1-2	<0,05	<0,01	<0,001	>0,05	<0,05
p 1-3	>0,05	<0,05	>0,05	>0,05	<0,001
p 2-3	<0,05	<0,05	<0,01	>0,05	>0,05

Анализ относительной мощности колебаний показал, что, в целом, у всех спортсменов инотропная функция зависела от активности надсегментарных и сегментарных структур и гуморальных факторов регуляции (представлены очень низкочастотными и низкочастотными колебаниями). При этом, в группе игроков в состоянии покоя доля ОНЧ-колебаний наибольшая (52,1%), у единоборцев выше доля НЧ-колебаний (44,9%), а в группе циклических видов регуляция инотропной функции осуществля-

лась за счет относительного паритета ОНЧ- (42,5%) и НЧ-колебаний (40,2%) (рис. 2).

Соотношение (ОНЧ%+НЧ%)/ВЧ% (7,65 усл. ед. в группе единоборцев, 24,2 усл. ед. в группе циклические виды и 40,4 усл. ед. у игроков) отражает четко выраженное преобладание «центральных» влияний на инотропную функцию сердца. При рассмотрении соотношения роли сегментарных структур ВНС всех группах отмечается превалирование симпатического отдела вегетативной нервной системы в регуляции ударного объема крови (НЧ>ВЧ).

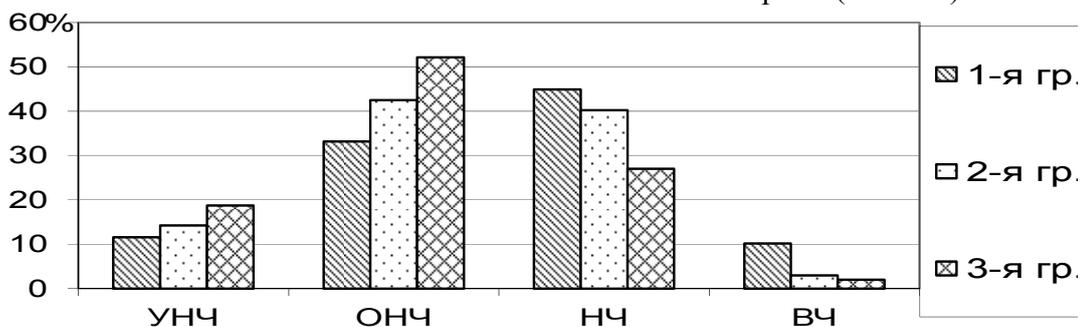


Рисунок 2 – Относительная мощность колебаний показателя ударного объема (в %) в диапазонах частот у спортсменов в положении лежа

В положении стоя мы видим несколько иное распределение относительной мощности колебаний по диапазонам спектра по сравнению с исходными данными (рис. 3).

Так, во всех группах отмечается весомый вклад сегментарного уровня регуляции инотропной функции сердца (НЧ-колебания): 39,40% в группе единоборцев, 46,0% группе циклические виды и 38,2% у игроков. Также выявлено наличие большей мощности ВЧ-колебаний в группе «циклические виды» и у

игроков (30% и 29,5%), за счет более низких значений у них доли ОНЧ-колебаний (19,7% и 26,7% соответственно). В группе единоборцев круг факторов регуляции ударного объема сердца отражает относительно равные влияния надсегментарных и сегментарных структур (доля ОНЧ-и НЧ-колебаний составляла 36,7% и 39,4%), и незначительный вклад парасимпатического отдела (доля ВЧ-колебаний составила 12,7%).

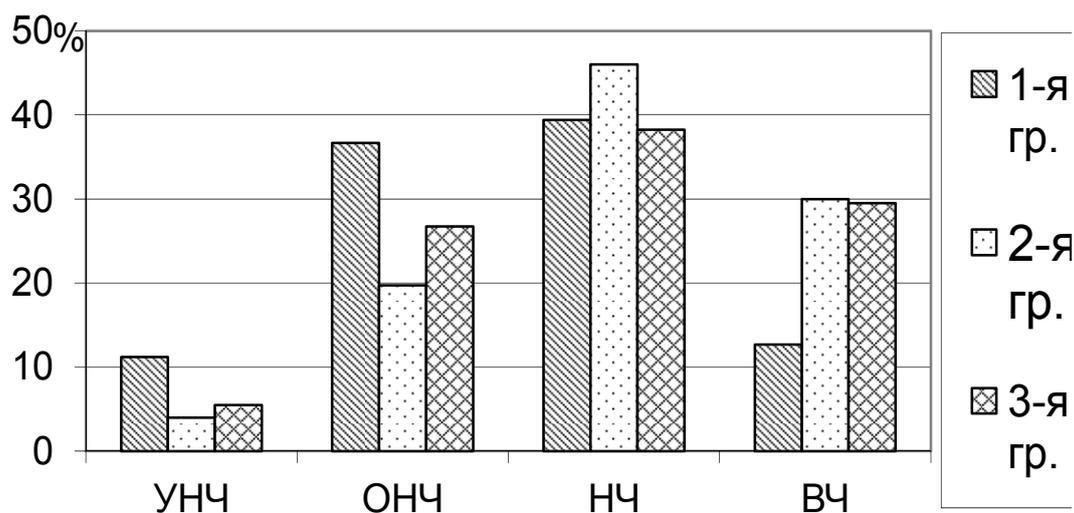


Рисунок 3 – Относительная мощность колебаний ударного объема (в %) в диапазонах частот у спортсменов групп в положении стоя

Суммарная относительная мощность ОНЧ- и НЧ-колебаний в группах сравнения составила соответственно 76,1%, 65,8% и 64,6%, что характеризует роль «центральных» механизмов регуляции насосной функции в вертикальном положении. Отношение НЧ%/ВЧ% отражает существенно более высокий вклад симпатического отдела вегетативной нервной системы в регуляцию инотропной функции сердца в группе единоборцев ($3,1 \pm 0,18$ усл.ед.) по сравнению с группой циклические виды ($1,53 \pm 0,03$ усл.ед.) и с группой игроков ($1,29 \pm 0,02$ усл.ед.). Также определено, что в группе единоборцев значение мощности УНЧ-колебаний не изменялось, в то время как доля УНЧ-колебаний имела тенденцию к снижению (на 13,9%), а ОНЧ-частот к росту (на 9,6%), что характеризует усиление вклада гуморальных факторов регуляции инотропной функции сердца у единоборцев в ответ на АОП. В группе циклические виды и у игроков эти сдвиги более выражены: снижение доли УНЧ- (на 71,9% и 70,7% соответственно) и ОНЧ-колебаний (на 53,5% во 2-й гр. и 48,7% в 3-й гр.), в то время как доля НЧ-колебаний в обеих группах имела тенденцию к возрастанию (на 12,5% во 2-й гр. и 29,4% в 3-й гр.), что отражает усиление роли сегментарного уровня (симпатического отдела), и ослабление влияния над-сегментарных структур.

В целом, как абсолютная, так и относительная мощность НЧ-колебаний в вертикальном положении в группах сравнения

стала практически одинаковой, определяя ведущую роль симпатического отдела ВНС в регуляции переходных процессов и поддержании инотропной функции в условиях падения ударного объема для сохранения минутного объема крови (усиление инотропной и хронотропной функции).

Список литературы

1. Агаджанян, Н. А. Соревновательный стресс у представителей различных видов спорта по показателям вариабельности сердечного ритма / Н. А. Агаджанян, Т. Е. Батоциренова, Ю. Н. Семенова и др. // Теория и практика физической культуры. – 2006. – №1. – С. 2-4.
2. Аксёнов, В. В. Методические основы кибернетического анализа сердечного ритма / В. В. Аксёнов // В кн. Ритм сердца у спортсменов / Под ред. Р. М. Баевского, Р. Е. Мотылянской. – М. : Физкультура и спорт, 1986. – 141 с.
3. Атаханов, Ш. Э. Ортостатическая гипотония и вегетативная недостаточность (механизмы и классификация) / Ш. Э. Атаханов, Д. Робертсон // Кардиология. – 1995. – № 3. – С. 13-43.
4. Баевский, Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации): протокол №4 от 11.04.2000г. Комиссии по клинико-диагностическим приборам и аппаратам Комитета по новой медицинской технике МЗ РФ/ Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов,

Л. В. Чирейкин и др. // Вариабельность сердечного ритма : теоретические аспекты и практическое применение: тез. докл. междунар. симп. – Ижевск : Изд-во Удм. ун-та. – 2003. – С. 200-255.

5. Баевский, Р. М. Вариабельность сердечного ритма: Основы метода и новые направления / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов // Новые методы электрокардиографии [под ред. С. В. Грачева, Г. Г. Иванова, А. Л. Сыркина]. – М. : Техносфера. – 2007. – С. 473-496.

6. Берсенева, Е. Ю. Спортивная специализация и особенности вегетативной регуляции сердечного ритма / Е. Ю. Берсенева // Вариабельность сердечного ритма: Теоретические аспекты и практическое применение :Тез. докл. IV всерос. симп. – Ижевск, 2008. – С. 44.

7. Берсенева, И. А. Особенности вегетативной регуляции при ортостатической нагрузке у школьников / И. А. Берсенева // Физиология развития человека: матер. Междунар. науч. конф. – Новые исследования. – 2004. – № 1–2. – С. 80.

8. Быков, Е. В. Состояние сердечно-сосудистой системы и механизмов регуляции ее деятельности у юных пловцов на заключительном этапе предсоревновательного периода тренировок / Е. В. Быков, В. В. Эрлих // Теоретические и практические вопросы восстановления и сохранения здоровья человека : Научные труды ученых Уральского Федерального округа. – Тюмень : Изд-во ТюмГУ. – 2006. – С. 5-7.

9. Быков, Е. В. Спектральные характеристики ритма сердца у футболистов с различным типом вегетативной регуляции / Е. В. Быков, Е. Г. Сидоркина, Н. В. Аксенова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16667> (дата обращения: 26.12.2014).

10. Коломиец, О. И. Механизмы регуляции сократительной функции сердца у спортсменов различных видов спорта / О. И. Коломиец, Е. В. Быков, Е. Ф. Орехов // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2014. – №12 (118). – С.103-109.

11. Кудря, О. Н. Влияние физических нагрузок разной направленности на вариабельность ритма сердца у спортсменов / О. Н. Кудря // Бюллетень сибирской медицины. – 2009. – № 1. – С. 36-42.

12. Плетнев, А. А. Оценка переходных процессов гемодинамики спортсменов при ортопробе на основании анализа спектральных характеристик / А.А. Плетнев, Е.В. Быков, Н.Г. Зинурова, А.В. Чипышев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. URL: www.science-education.ru/115-11973 (дата обращения: 06.02.2014).

13. Яхонтов, С. В. Взаимодействие регуляторных механизмов при моделировании переходных процессов в сердечно-сосудистой системе / С. В. Яхонтов, А. В. Кулемзин // Вестник ТГПУ. – 2009. – № 3. – С. 12-15.

14. Aubert, A. E/ Non-linear Dynamics of Heart Rate Variability in Athletes : Effect of Training / A. E. Aubert, F. Beckers, B. Seps // Computers in Cardiology 2002; 29: 441-444.

References

1. Agadzhanjan, N. A. Sorevnovatel'nyj stress u predstavitelej razlichnyh vidov sporta po pokazateljam variabel'nosti serdechnogo ritma / N. A. Agadzhanjan, T. E. Batocirenova, Ju. N. Semenova i dr. // Teorija i praktika fizicheskoj kul'tury. –2006. – №1. – S. 2-4.

2. Aksjonov, V. V. Metodicheskie osnovy kiberneticheskogo analiza serdechnogo ritma / V. V. Aksenov // V kn. Ritm serdca u sportmenov / Pod red. R. M. Baevskogo, R. E. Motyljanskoj. – М. : Fizkul'tura i sport, 1986. – 141 s.

3. Atahanov, Sh. Je. Ortostaticheskaja gipotonija i vegetativnaja nedostatochnost' (mehanizmy i klassifikacija) / Sh. Je. Atahanov, D. Robertson // Kardiologija. – 1995. – № 3. – S. 13-43.

4. Baevskij, R. M. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnyh jelektrokardiograficheskij sistem (metodicheskie rekomendacii): protokol №4 ot 11.04.2000g. Komissii po kliniko-diagnosticheskim priboram i apparatam Komiteta po novoj medicinskoj tehnike MZ RF/ R. M. Baevskij, G. G. Ivanov, L. V. Chirejkin i dr. // Variabel'nost'

serdechnogo ritma : teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primenenie: tez. dokl. mezhdunar. simp. – Izhevsk : Izd-vo Udm. un-ta. – 2003. – S. 200-255.

5. Baevskij, R. M. Variabel'nost' serdechnogo ritma: Osnovy metoda i novye napravlenija / R. M. Baevskij, G. G. Ivanov // Novye metody jelektrokardiografii [pod red. S. V. Gracheva, G. G. Ivanova, A. L. Syrkina]. – M. : Tehnosfera. – 2007. - S. 473-496.

6. Bersenev, E. Ju. Sportivnaja specializacija i osobennosti vegetativnoj reguljicii serdechnogo ritma / E. Ju. Bersenev // Variabel'nost' serdechnogo ritma: Teoreticheskie aspekty i prakticheskoe primenenie :Tez.dokl. IV vseros. simp. – Izhevsk, 2008. – С. 44.

7. Berseneva, I. A. Osobennosti vegetativnoj reguljicii pri ortostaticheskoj nagruzke u shkol'nikov / I. A. Berseneva // Fiziologija razvitija cheloveka: mater. Mezhdunar. nauch. konf. – Novye issledovanija. – 2004. – № 1–2. – S. 80.

8. Bykov, E. V. Sostojanie serdechno-sosudistoj sistemy i mehanizmov reguljicii ee dejatel'nosti u junyh plovcov na zakljuchitel'nom jetape predsorevnovatel'nogo perioda trenirovok / E. V. Bykov, V. V. Jerlih // Teoreticheskie i prakticheskie voprosy vosstanovlenija i sohranenija zdorov'ja cheloveka : Nauchnye trudy uchenyh Ural'skogo Federal'nogo okruga. – Tjumen' : Izd-vo TjumGU. – 2006. – S. 5-7.

9. Bykov, E. V. Spektral'nye harakteristiki ritma serdca u futbolistov s razlichnym tipom vegetativnoj reguljicii / E. V. Bykov,

E. G. Sidorkina, N. V. Aksenova // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16667> (data obrashhenija: 26.12.2014).

10. Kolomic, O. I. Mehanizmy reguljicii sokratitel'noj funkcii serdca u sportsmenov razlichnyh vidov sporta / O. I. Kolomic, E. V. Bykov, E. F. Orehov // Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta. – 2014. – №12 (118). – S.103-109.

11. Kudrja, O. N. Vlijanie fizicheskikh nagruzok raznoj napravlenosti na variabel'nost' ritma serdca u sportsmenov / O. N. Kudrja // Bjulleten' sibirskoj mediciny. – 2009. – № 1. – S. 36-42.

12. Pletnev, A. A. Ocenka perehodnyh processov gemodinamiki sportsmenov pri ortoprobe na osnovanii analiza spektral'nyh harakteristik / A.A. Pletnev, E.V. Bykov, N.G. Zinurova, A.V. Chipyshev // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2014. – № 1. URL: www.science-education.ru/115-11973 (data obrashhenija: 06.02.2014).

13. Jahontov, S. V. Vzaimodejstvie reguljatornyh mehanizmov pri modelirovanii perehodnyh processov v serdechno-sosudistoj sisteme / S. V. Jahontov, A. V. Kulemzin // Vestnik TGPU. – 2009. – № 3. – S. 12-15.

14. Aubert, A. E/ Non-linear Dynamics of Heart Rate Variability in Athletes : Effect of Training / A. E. Aubert, F. Beckers, B. Seps // Computers in Cardiology 2002; 29: 441-444.