

УДК 611.1+796.015.6+612.766.1

Цехмистро Л. Н., к. б. н.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет физической культуры»

АДАПТАЦИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА

Аннотация. Рассмотрены данные комплексного анализа электрической активности миокарда с велоэргометрической нагрузочной пробой, центральной и периферической гемодинамики и вегетативной нервной регуляции спортсменов. Установлены механизмы адаптации сердечной деятельности к физическим нагрузкам у высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта. Выявлены объективные маркеры утомления по данным углубленного комплексного обследования. Разработан алгоритм контроля в процессе функциональной подготовки высококвалифицированных спортсменов.

Ключевые слова: адаптация, сердечно-сосудистая система, центральная и регионарная гемодинамика, электрокардиография, вариабельность сердечного ритма, спортсмен.

Постановка проблемы. Организм профессионального спортсмена находится под влиянием физических нагрузок высокой мощности и психологического стресса, что обусловило 2,5–4,0-кратное увеличение риска внезапной смерти в сравнении с нетренированными сверстниками по данным Е. А. Гавриловой и D. Corrado [1; 2; 10; 11]. Основной причиной является внезапная сердечная смерть, что концентрирует внимание спортивных медиков к состоянию сердечно-сосудистой системы. Адаптационные свойства организма человека определяют возможности организма и допустимую продолжительность работы в предельных режимах. Данная работа посвящена моделированию процессов адаптации организма спортсменов высокого класса к высоким и предельным физическим нагрузкам [3; 4]. Для спортсменов высокого уровня по сравнению с физически малоактивными людьми характерны отличия по многим физиологическим показателям (частота сердечных сокращений, артериальное давление, объем циркулирующей крови, температура тела при выполнении тяжелой работы, pH крови во время предельных нагрузок и др.). Такова специфика спортивной медицины, требующая особых подходов и методов исследования.

Выделено несколько групп экзогенных стресс-факторов, действующих на сердце спортсмена:

1. Высокая мощность нагрузки.
2. Травмы.
3. Психогенные факторы.
4. Резкая смена климата.
5. Вредные привычки.

Выделяют следующие причины внезапной смерти спортсменов: заболевания сердца (гипертрофическая кардиомиопатия, аномалия развития коронарных артерий, синдром Марфана, аритмогенная кардиомиопатия (дисплазия)); травмы груди; тепловой удар; допинг.

Остаются нерешенными задачи:

– отсутствие полного синергизма между «спортивным сердцем» и состоянием тренированности. У 1/3 спортсменов симптомы наблюдаются при ухуд-

шении работоспособности и утомляемости [5; 6];

– признаки адаптации сердечно-сосудистой системы, выработанные в клинической медицине, нельзя прямо экстраполировать на организм спортсмена [7; 8];

– не изучены механизмы адаптации к предельно высоким физическим нагрузкам (до 350 Вт) по данным комплексного анализа электрической активности миокарда, центральной и периферической гемодинамики и вегетативной нервной регуляции.

Цель исследования: установление механизмов адаптации сердечной деятельности к физическим нагрузкам у высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта и их контроль в процессе функциональной подготовки.

Задачи исследования:

1. Изучить хронотропную функцию сердца у высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта по данным динамики ЧСС при предельно высоких физических нагрузках (велоэргометрическая проба в диапазоне мощности 125–350 Вт).

2. Исследовать сдвиги параметров центральной и периферической гемодинамики у спортсменов и нетренированных лиц на предельно высокие физические нагрузки и выявить признаки адаптации системного и регионарного кровотока к нагрузке

3. Выявить особенности вегетативной нервной регуляции сердечного ритма у высококвалифицированных спортсменов.

Материал и методы исследования. Экспериментальные данные получены у 90 мужчин возраста от 18 до 26 лет. Основная группа состояла из 45 спортсменов высшей квалификации по циклическим видам спорта (легкая атлетика, академическая гребля, лыжные гонки), средний возраст 22 ± 4 года. В контрольную группу включено 45 здоровых мужчин, не занимающихся спортом, средний возраст 22 ± 3 года. Функциональные исследования спортсменов проводились восстановительном и соревновательном этапах функциональной подготовки: 1-е обследование выполнялось в начальной фазе годового цикла подготовки, 2-е обследование на конечной фазе годового цикла подготовки.

© Цехмистро Л. Н. 2013



Методы исследования: ЭКГ в 12 стандартных отведениях; велоэргометрическая нагрузочная проба с ЭКГ-контролем в диапазоне 125–350 Вт; вариабельность сердечного ритма по международным стандартам 1996 и 2002 гг.; грудная тетраполярная реография; реовазография нижних конечностей.

Результаты исследования и их обсуждение.

На рис. 1 представлены усредненные нагрузочные характеристики, показатель работоспособности (PWC_{170}) в группе спортсменов и у лиц контрольной группы на 1-ом исследовании. В группе контроля на 1-ом исследовании выделяются три зоны регулирования: начальная зона, зона линейного регулирования и зона истощения резервов регуляции. Начальная зона: ЧСС растет от 66 до 109 уд.·мин⁻¹ до мощности нагрузки 125 Вт. Зона линейного регулирования: ЧСС продолжает расти от 109 до 186 уд.·мин⁻¹ в диапазоне мощности нагрузки от 125 до 225 Вт. Наконец, зона истощения резервов регуляции: ЧСС устанавливается на уровне 186 уд.·мин⁻¹ в диапазоне мощности нагрузки от 225 до 250 Вт.

У спортсменов зафиксированы две зоны. В зоне линейного регулирования ЧСС растет от 54 до 168 уд.·мин⁻¹ в диапазоне мощности от 125 до 250 Вт. В зоне истощения резервов регуляции ЧСС устанавливается на уровне 174 уд.·мин⁻¹ в диапазоне мощности нагрузки от 250 до 300 Вт (см. рис. 1).

В отличие от спортсменов у нетренированных лиц имеется начальная зона вработывания, характерная резким ростом ЧСС на низкие значения мощности нагрузки, что говорит о неадекватной физиологической реакции организма на сравнительно низкую нагрузку.

На втором исследовании (рис. 2) в группе контроля кривая нагрузочной характеристики делится на 4 участка:

- начальная зона: ЧСС растет от 66 до 106 уд.·мин⁻¹ до мощности 125 Вт;
- зона линейного регулирования: ЧСС продолжает расти от 106 до 186 уд.·мин⁻¹ в диапазоне мощности от 125 до 225 Вт;

- точка излома: ЧСС установилась на уровне 186 уд.·мин⁻¹ при мощности 225 Вт, излом нагрузочной кривой соответствует состоянию «мертвой точки»;

- зона истощения резервов регуляции: происходит снижение ЧСС от 186 до 182 уд.·мин⁻¹ в диапазоне мощности нагрузки от 225 до 250 Вт.

На 2-ом этапе у спортсменов кривая нагрузочной характеристики включает 4 участка:

- зона линейного регулирования: ЧСС возрастает от 55 до 174 уд.·мин⁻¹ в диапазоне мощности нагрузки от 125 до 250 Вт;

- точка излома: ЧСС устанавливается на уровне 174 уд.·мин⁻¹ при нагрузке 250 Вт («мертвая точка»);

- зона истощения резервов регуляции: снижение ЧСС от 174 до 168 уд.·мин⁻¹ при росте мощности нагрузки от 250 до 275 Вт;

- дополнительная линейная зона: ЧСС растет от 168 до 188 уд.·мин⁻¹ при росте нагрузки от 275 до 350 Вт. Этот физиологический феномен трактуется как «второе дыхание».

Сопоставление кривых нагрузочных характеристик на 1-м и 2-м обследованиях выявило следующее. В контрольной группе кривые нагрузочных характеристик идентичны: линейный диапазон и наклон не менялись, что иллюстрирует их хорошую воспроизводимость, так как лица контрольной группы не меняли свою привычную физическую активность.

У спортсменов на 2-м обследовании по сравнению с 1-м существенными отличиями являются: расширение линейного диапазона от 225 до 250 Вт, а также появление второго, дополнительного линейного участка кривой нагрузочной характеристики, начиная от 275 Вт. Это свидетельствует о том, что кумулятивный эффект спортивных тренировок проявляется в активизации дополнительных центральных резервных регуляторных механизмов адаптации к нагрузкам высокой мощности. При этом у спортсменов максимальное потребление O_2 было достоверно выше, чем у лиц контрольной группы (1-й этап: $3,8 \pm 2,6$ и

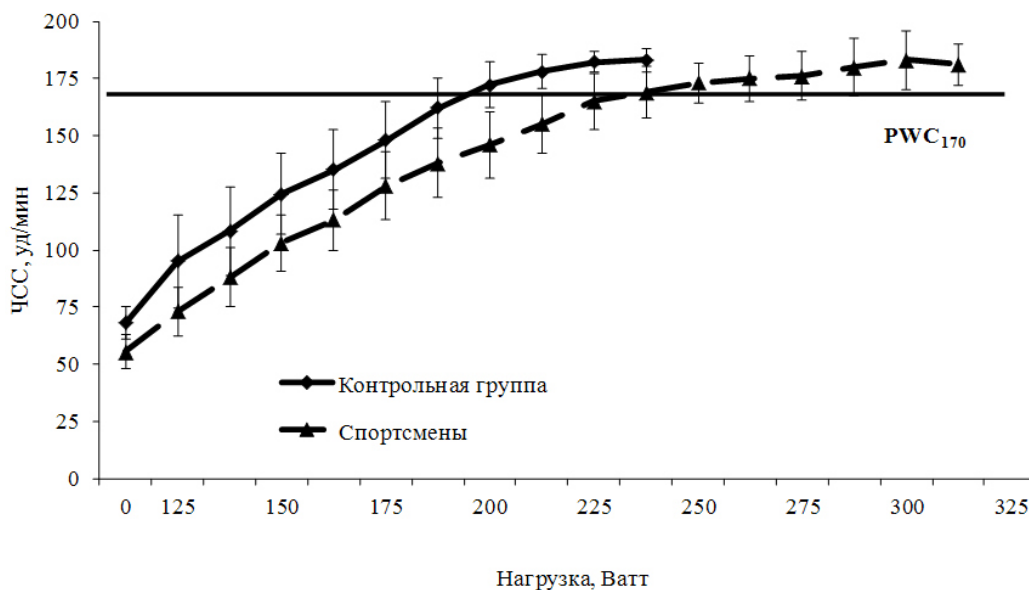


Рис. 1. Кривые нагрузочных характеристик «ЧСС – мощность нагрузки» у спортсменов (n=45) и в контрольной группе (n=45) при 1-ом обследовании

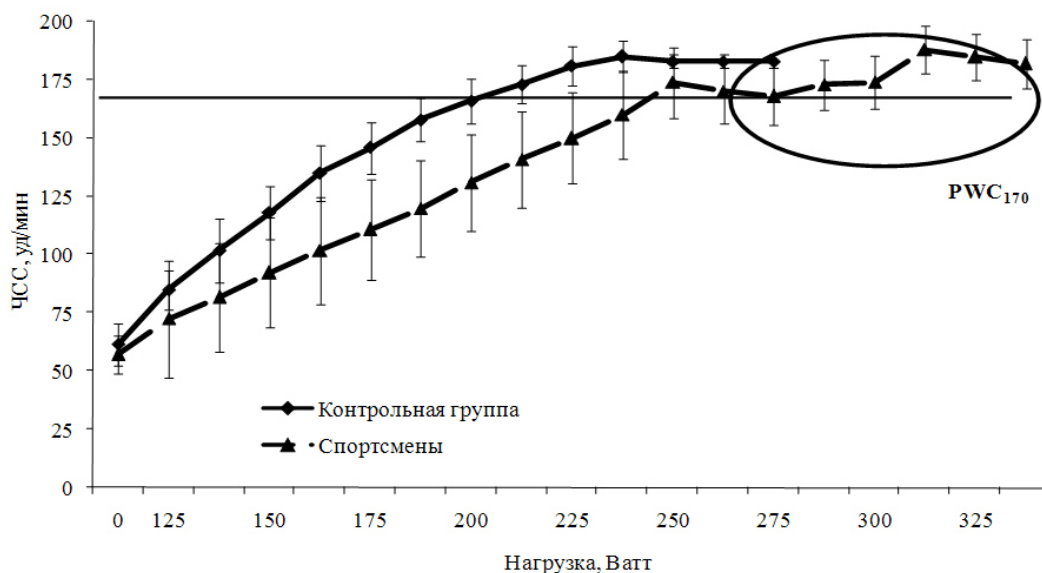


Рис. 2. Криві нагрузочних характеристик «ЧСС – мощность нагрузки» у спортсменів (n=45) і в контрольній групі (n=45) при 2-м обстеженні

3,2±1,2 л·мин⁻¹; 2-й етап: 3,5±2,4 і 3,2±1,4 л·мин⁻¹, p<0,05).

У спортсменів під впливом інтенсивних фізических навантажень лінійний діапазон кривої нагрузочної характеристики «частота серцевих скорочень – мощность нагрузки» розширюється до 250 Вт, що достовірно вище, ніж у нетренированих осіб (p<0,05). Крім того, виявлено новий кумулятивний ознак спортивних тренувань, що проявляється в формі додаткового лінійного сегмента на кривій нагрузочної характеристики «частота серцевих скорочень – мощность нагрузки» в діапазоні потужності від 275 до 350 Вт, що свідчить про активізацію резервних центральних контурів регуляції у спортсменів і відсутній у нетренированих осіб.

При ЕКГ-обстеженні у спортсменів, виявлені наступні ознаки:

- помірна брадикардія в спокої;
- розширення комплексу QRS до верхньої межі норми (80-100 мс);
- відхилення електричної осі серця (вправо або вліво) після навантаження.

В 70% випадків спостерігали «гігантські» Т-зубці в відведеннях V₁–V₆. Це дозволяє передбачити, що високі Т-зубці відображають адекватне функціональне стан серця. Зареєстровані також випадки синусової аритмії (18%), єдиничні атриоventрикулярні блокади 1-ї ступені (3%), які в сукупності відображають підвищення тону блуждаючого нерва. В 5% випадків спостерігався синдром TV₁>TV₆ (синдром перенапруження I ступені).

При дослідженні центральної гемодинаміки (ЦГД) у спортсменів виявлено достовірно низьку ЧСС в спокої в порівнянні з контрольною групою, достовірно високі показники ударного об'єму (УО) в спокої. У спортсменів достовірно знизилася насосна функція серця за даними МОК в спокої з 7,3±2,5 до 5,8±1,8 л·мин⁻¹ і достовірно підвищилась ОПС в спокої з 1088±392 до 1359±451 дин·с·см⁻⁵ в порівнянні з 1-м дослідженням (p<0,05). Рівні АД у спортсменів між 1-м і 2-м дослідженнями не

пережили суттєвих змін. На 2-м етапі АД в спокої у спортсменів було вище, ніж у осіб контрольної групи.

У спортсменів всі параметри реовазографії (РВГ), що відображають гемодинаміку нижніх кінцівок, знаходилися в межах норми, лише незначительно був ускладнений венозний відтік (ВО). В контрольній групі були помірно знижені кровонаповнення (РН), індекс еластичності (ІЕ) і ускладнений ВО. Достовірних відмінностей при 1-му дослідженні між групами не виявлено. Вплив фізических навантажень на гемодинаміку нижніх кінцівок у спортсменів проявилось в достовірному зниженні кровонаповнення на 14,3% і підвищенні опору судин на 20,0% порівняно з 1-м дослідженням. Зміни параметрів периферическої гемодинаміки у спортсменів були повністю синергічними зміненням параметрів ЦГД. Достовірних відмінностей між параметрами РВГ у спортсменів і осіб контрольної групи при 2-му дослідженні також не виявлено.

Таким чином, центральна гемодинаміка у спортсменів адаптується до фізических навантажень шляхом достовірного зниження частоти серцевих скорочень на 8,1%, минутного об'єму кровотоку на 19,7% і підвищення опору судинистого русла на 24,9% в спокої в порівнянні з нетренированими особами (p<0,05). Синергічно адаптується до фізических навантажень і периферическа гемодинаміка: помірно на 14,6% знизилася кровонаповнення судин нижніх кінцівок і на 20,0% підвищується їх опір.

В ході досліджень встановлено, що вегетативний гомеостаз у спортсменів характеризується нормальним значенням середнього квадратичного відхилення (SDNN) – 74,3±4,6 мс, достовірно високою модою (Mo) – 1016±26 мс, низьким стресс-індексом (SI) – 53,3±5,1 усл. од., оптимальним відношенням симпатовагусного балансу (LF/HF) – 0,80±0,27, достовірним зменшенням високої частоти (HF) – 40,6±1,3% і достовірним підвищенням дуже низької частоти (VLF) – 28,1±1,1% в порівнянні з нетренированими особами (p<0,05). Параметри ВСР відображають

преобладание автономных механизмов регуляции над центральными, оптимальный симпатовагусный баланс и более высокую активность нейрогуморального отдела регуляции. Согласно классификации А. Н. Флейшмана вегетативная нервная система у спортсменов находится в высокоэнергетическом, гипердаптивном состоянии [9]. Под влиянием физических нагрузок у спортсменов достоверно возросли вариационный размах (MxdMn) на 8,5%, SI на 8,2% и снизилась VLF на 6,9%. Тем не менее, VLF, характеризующая активность нейрогуморального отдела регуляции, у спортсменов достоверно превышала значения VLF в контрольной группе. Повышение SI и LF у спортсменов при 2-м исследовании свидетельствовали об активации симпатического отдела регуляции к завершению тренировочного цикла.

Вегетативная регуляция в группе спортсменов характеризуется как (по классификации А. Н. Флейшмана):

- нормальное значение SDNN;
- низкое значение стресс-индекса Si;
- оптимальное отношение симпатовагусного баланса LF/HF;
- высокоэнергетическое состояние.

Вегетативная нервная регуляция по данным variability сердечного ритма у спортсменов характеризуется медленноволновым гипердаптивным синдромом, отражающим усиление активности ме-

таболических процессов, который фиксируется как нормальное значение среднего квадратичного отклонения ($74,3 \pm 4,6$ мс), нормальное отношение симпатовагусного баланса ($0,80 \pm 0,27$) и повышенная доля очень низкой частоты в спектре variability сердечного ритма ($28,1 \pm 1,1\%$) в сравнении с нетренированными лицами.

Выводы. Объективные маркеры утомления, выявляемые по данным углубленного комплексного обследования:

1. Патологические признаки на ЭКГ.
2. Рост ЧСС в покое на 10–15% в сравнении с предыдущим обследованием.
3. Снижение линейного диапазона характеристики «ЧСС-нагрузка» и/или исчезновение на ней допнительного линейного участка.
4. Снижение экономичности гемодинамики в покое более, чем на 10–15% в сравнении с предыдущим обследованием.
5. Доминирование симпатического (LF/HF > 2,2) или парасимпатического отдела регуляции (LF/HF < 0,6).

Перспективы дальнейших исследований. Полученные результаты исследования могут быть использованы для контроля и оценки функционального состояния спортсменов при выполнении тренировочных нагрузок высокой мощности.

Список использованной литературы:

1. Гаврилова Е. А. Внезапная смерть в спорте / Е. А. Гаврилова. – М.: Советский спорт, 2011. – 196 с.
2. Гаврилова Е. А. Физические нагрузки и внезапная смерть / Е. А. Гаврилова, О. А. Чурганов // IX Междунар. конгр. «Кардиостим-2010»: Вестник аритмологии, прил. А, Санкт-Петербург, 19–21 февр. 2010 г. – СПб., 2010. – С. 163.
3. Теория и методика физического воспитания: [Учебник для студентов фак. физ. культ. пед. ин-тов] / под ред. Б. А. Ашмарина. – М.: Просвещение, 1990. – 286 с.
4. Майданюк О. В. Адаптація серцево-судинної системи кваліфікованих спортсменів у синхронному плаванні протягом річного циклу підготовки 2003 год: автореф. дис. ... канд. з фіз. виховання та спорту: 24.00.01 / О. В. Майданюк. – Київ, 2003. – 18 с.
5. Карпман В. Л. О двух типах гипертрофии миокарда у спортсменов / В. Л. Карпман, З. Б. Белоцерковский // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 1986. – № 3. – С. 27–31.
6. Дембо А. Г. Спортивная кардиология / А. Г. Дембо, Э. В. Земцовский. – Л.: Медицина, 1989. – 459 с.
7. Аронов Д. М. Функциональные пробы в кардиологии / Д. М. Аронов, В. П. Лупанов. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 328 с.
8. Баевский Р. М. Физиологическая норма и концепция здоровья / Р. М. Баевский // Российский физиологический журнал. – 2003. – Т. 89, № 4. – С. 473–489.
9. Флейшман А. Н. Variability сердечного ритма и медленные колебания гемодинамики: нелинейные феномены в клинической практике / А. Н. Флейшман. – Новосибирск, 2009. – 194 с.
10. Cardiovascular preparticipation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death: proposal for a Common European protocol / D. Corrado [et al.] // European Heart J. – 2005. – Vol. 26. – P. 516–524.
11. Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program / D. Corrado [et al.] // JAMA. – 2006. – Vol. 296, № 13. – pp. 1593–1601.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2013 р.

Опубліковано: 30.12.2013 р.

Анотація. Цехмістро Л. М. Адаптація серцево-судинної системи до фізичних навантажень у висококваліфікованих спортсменів циклічних видів спорту. У статті розглянуті дані комплексного аналізу електричної активності міокарда з велоергометричної навантажувальною пробою, центральної та периферичної гемодинаміки і вегетативної нервової регуляції спортсменів. Встановлено механізми адаптації серцевої діяльності до фізичних навантажень у висококваліфікованих спортсменів циклічних видів спорту. Виявлено об'єктивні маркери стомлення за даними поглибленого комплексного обстеження. Розроблено алгоритм контролю в процесі функціональної підготовки висококваліфікованих спортсменів.

Ключові слова: адаптація, серцево-судинна система, центральна і регіонарна гемодинаміка, електрокардіографія, variability сердечного ритму, спортсмен.

Abstract. Tsekhmistro L. N. Adaptation of cardiovascular system to physical loads of elite athletes in cyclic sports. The article deals with complex data analysis of the electrical activity of the myocardium with bicycle exercise stress test, central and peripheral haemodynamics and autonomic nervous regulation of the athletes. Mechanisms of adaptation of cardiac adaptation to physical activities at elite athletes of cyclic sports are established. The algorithm of the control over functional preparation of highly skilled sportsmen is developed.

Keywords: adaptation, cardiovascular system, central and regional (peripheral) hemodynamics, electrocardiography, heart rate variability, athlete.



References:

1. Gavrilova Ye. A. *Vnezapnaya smert v sporte [Sudden death in sport]*, Moscow, 2011, 196 p. (rus)
2. Gavrilova Ye. A., Churganov O. A. IX Mezhdunar. kongr. «Kardiosim-2010»: Vestnik aritmologii, pril. A, Sankt-Peterburg, 19–21 fevr. 2010 g [IX Intern. Congreve. "Kardiosim 2010": Herald of arrhythmology], Saint Petersburg, 2010, pp. 163. (rus)
3. Ashmarina B. A. *Teoriya i metodika fizicheskogo vospitaniya [Theory and methods of physical education]*, Moscow, 1990, 286 p. (rus)
4. Maydanyuk O. V. *Adaptatsiya sertsevo-sudinnoi sistemi kvalifikovanih sportsmenok u sinkhronnomu plavanni protyagom richnogo tsiklu pidgotovki 2003 rik : avtoref. kand. z fiz. vikhovannya ta sportu [The adaptation of the cardiovascular system of qualified athletes in synchronized swimming during the annual training cycle 2003 : Authors Thesis]*, Kyiv, 2003, 18 p. (ukr)
5. Karpman V. L., Belotserkovskiy Z. B. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimentalnaya terapiya [Pathological Physiology and Experimental Therapy]*, 1986, vol. 3, pp. 27–31. (rus)
6. Dembo A. G., Zemtsovskiy E. V. *Sportivnaya kardiologiya [Sports cardiology]*, Lvov, 1989, 459 p. (rus)
7. Aronov D. M., Lupanov V. P. *Funktsionalnyye proby v kardiologii [Functional tests in cardiology]*, Moscow, 2007, 328 p. (rus)
8. Bayevskiy R. M. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal [Russian Journal of Physiology]*, 2003, vol. 89, iss. 4, pp. 473–489. (rus)
9. Fleyshman A. N. *Variabelnost serdechnogo ritma i medlennyye kolebaniya gemodinamiki: nelineynyye fenomeny v klinicheskoy praktike [Heart rate variability and slow oscillations hemodynamics: nonlinear phenomena in clinical practice]*, Novosibirsk, 2009, 194 pp. (rus)
10. *Cardiovascular preparticipation screening of young competitive athletes for prevention of sudden death: proposal for a Common European protocol / D. Corrado [et al.] // European Heart J. – 2005. – Vol. 26. – P. 516–524.*
11. *Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program / D. Corrado [et al.] // JAMA. – 2006. – Vol. 296, № 13. – pp. 1593–1601.*

Received: 20.11.2013.

Published: 30.12.2013.

Любовь Николаевна Цехмистро, к. б. н., *infanda@mail.ru*; Учреждение образования «Белорусский государственный университет физической культуры»: пр-т Победителей 105, Минск, 220020, Беларусь.

Lubov Tsekhmistro, Ph.D. (Biology), *infanda@mail.ru*; Educational Establishment of «Belarusian State University of Physical Culture»: Pobediteley ave. 105, Minsk, 220020, Belarus.

