

О. Н. Кудря

ОСОБЕННОСТИ СРОЧНОЙ АДАПТАЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ СПОРТСМЕНОВ С РАЗЛИЧНЫМ ИСХОДНЫМ ВЕГЕТАТИВНЫМ ТОНУСОМ ПРИ ОРТОСТАТИЧЕСКОМ ТЕСТИРОВАНИИ

Излагаются результаты исследования физиологических механизмов регуляции работы сердечно-сосудистой системы у спортсменов в процессе срочной адаптации. Выявлено, что они зависят не только от возраста, но и от исходного тонуса вегетативной нервной системы и определяют характер адаптивных сдвигов в работе аппарата кровообращения при воздействии факторов внешней среды.

Ключевые слова: *сердечно-сосудистая система, вегетативная нервная система, активная ортостатическая проба, спортсмены.*

Адаптация к различным видам деятельности – одно из фундаментальных свойств организма человека. Сердечно-сосудистая система является индикатором адаптационно-приспособительных реакций организма к воздействию факторов внешней среды, в том числе и к физическим нагрузкам [1]. Как известно, основное модулирующее влияние на работу сердечно-сосудистой системы оказывает вегетативная нервная система (ВНС) [2]. Особенности функциональной организации вегетативной нервной системы рассматриваются в качестве одной из конституциональных характеристик, формирующих тип реагирования организма на средовые воздействия [3]. Литературные данные позволяют считать, что свойства вегетативной нервной системы генетически детерминированы и влияют на характер протекания адаптационных процессов [4].

Однако в литературе встречаются единичные работы, отражающие характер ответной реакции организма на возмущающее воздействие в зависимости от исходного состояния вегетативной нервной системы. В частности, у людей с различным исходным вегетативным тонусом выявлена разная индивидуальная устойчивость к гипоксии [5]. Отмечена разнонаправленная реакция сердечно-сосудистой системы на ортостатическое воздействие у взрослых спортсменов с разным типом вегетативной регуляции [6] и у детей [4, 7].

В связи с этим определенным интерес представляет исследование вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы в возрастном аспекте у спортсменов с учетом индивидуально-типологических особенностей вегетативного гомеостаза.

Материалы и методы исследования

В исследовании участвовали спортсмены мужского пола ($n = 320$). Все испытуемые были разделены на семь возрастных групп: 1) 9–10 лет ($n = 30$), 2) 11–12 лет ($n = 30$), 3) 13–14 лет ($n = 35$), 4) 15–16 лет ($n = 52$), 5) 17–18 лет ($n = 87$), 6) 19–20 лет ($n = 51$), 7) 21–25 лет ($n = 35$). Обследование проводилось в лаборатор-

ных условиях в утренние часы, после периода отдыха (ночного сна).

В условиях относительного покоя проводили запись кардиоритмограммы с использованием 12-канального кардиографа «Полиспектр-8» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново). Данный аппаратно-программный комплекс позволяет проводить автоматическую обработку данных на персональном компьютере и оценить состояние нейрогуморальной регуляции сердца, активность сегментарных и надсегментарных отделов ВНС.

Общепризнанным способом оценки вегетативной регуляции сердечной деятельности является анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР). При анализе ВСР использовали короткие (5-минутные) записи в соответствии с Международным стандартом (1996) [8].

Для изучения вегетативного обеспечения работы сердечно-сосудистой системы в процессе срочной адаптации к внешним воздействиям использовали активную ортостатическую пробу (АОП), в ходе которой после 5-минутной записи ритмограммы в положении лежа испытуемому предлагалось встать (не очень быстро, но без задержек) и стоять, при этом запись не прерывалась и производилась еще в течение 6 мин. При анализе спектральных характеристик сердечного ритма исключали все артефакты, нестационарные участки и переходные процессы [2].

Периодические составляющие ВСР, выделенные на основании кратковременных записей в состоянии покоя, представлены высокочастотными, низкочастотными и очень низкочастотными колебаниями, как правило, имеющими периодичность 0.2–0.4, 0.04–0.15 и 0.003–0.04 Гц соответственно. Высокочастотные колебания (HF-волны) сопряжены с дыханием и отражают преимущественно влияние парасимпатической системы на сердечную мышцу. Низкочастотные колебания (LF-волны) связаны с активностью постганглионарных симпатических волокон и отражают модуляцию сердечного ритма симпатической нервной системой [2, 9].

Физиологическая природа VLF-компоненты наименее изучена: большинство отечественных ученых придерживаются мнения, что мощность очень низкочастотных колебаний в диапазоне 0.01 Гц отражает степень активации церебральных эрготропных систем. Параметры VLF могут быть использованы как надежный маркер степени связи автономных (сегментарных) уровней регуляции кровообращения с надсегментарными, в том числе с гипофизарно-гипоталамическим и корковым уровнем [10]. По данным спектрального анализа сердечного ритма вычисляли индекс централизации (ИЦ = $(LF+VLF)/HF$) и индекс активации подкорковых центров (ИАПЦ = LF/VLF) [9].

Для определения исходного тонуса вегетативной нервной системы (ИВТ) использовали комплекс параметров статистического (M_0 – мода, AM_0 – амплитуда моды, BP – вариационный размах, SI – индекс напряжения) и спектрального методов анализа ВСП (HF – мощность спектра высокочастотного компонента ВСП (mc^2), LF – мощность спектра низкочастотного компонента ВСП (mc^2), VLF – мощность спектра очень низкочастотного компонента ВСП (mc^2)). Среди спортсменов одного возраста были выделены группы: эйтоники (ЭТ), симпатоники (СТ), ваготоники (ВТ).

Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием пакета статистических программ STATISTICA 6.0. Проверку на нормальность распределения проводили с использованием критерия Колмогорова–Смирнова. Для оценки достоверности различий несвязанных выборок использовали t-критерий Стьюдента (для параметров с нормальным распределением) и U-критерий Манна-Уитни (для параметров, которые не подчиняются закону нормального распределения), для сопоставления исследуемых параметров до и после проведения активной ортостатической пробы использовали парный критерий Вилкоксона. Результаты представлены в виде $X \pm m$, где X – среднее значение, m – стандартная ошибка среднего. Различия считали статистически значимыми при $p < 0.05$.

Результаты исследования и обсуждение

Известно, что среди людей любого возраста существуют группы с преобладанием в регуляции одного из отделов вегетативной нервной системы – симпатического или парасимпатического и группа со сбалансированной активностью этих отделов [1, 2].

Как показали результаты проведенного исследования, значительные возрастные изменения происходят при формировании определенного типа регуляции в группе спортсменов с преобладанием парасимпатического отдела ВНС в регуляции сердечного ритма. Изменения происходят как при формировании сегментарных (по показателям LF и

HF) отделов ВНС, так и надсегментарных (VLF). Вероятно, у ваготоников процессы дифференцировки и функционального созревания отделов ВНС продолжается до 17–18-летнего возраста (рис. 1).

У эйтоников и симпатотоников возрастные изменения показателей ВСП носят волнообразный характер и имеют меньший амплитудный разброс (рис. 1), что может свидетельствовать о более раннем созревании структур ВНС.

В работе В. М. Михайлова [2] показано, что высокие значения TP и HF, выявленные у подростков, следует трактовать как несовершенство регуляторных механизмов – «незавершенная адаптация», или, точнее, «поисковая стадия адаптации». Можно предположить, что юные спортсмены с исходным преобладанием парасимпатической нервной системы в возрасте 9–10, 11–12, 13–14 и 15–16 лет медленно адаптируются к условиям систематических нагрузок, находясь в стадии «незавершенной адаптации». Этим можно объяснить низкие показатели физической работоспособности в группе ваготоников по сравнению с симпатотониками и эйтониками в возрасте 9–10, 11–12, 13–14 и 15–16 лет [11].

Следует отметить, что преобладание парасимпатического отдела в регуляции сердечного ритма у детей часто служит проявлением последующих тяжелых необратимых поражений сердца, таких как синдром слабости синусового узла [12]. У взрослых спортсменов синусовая брадикардия, напротив, отражает оптимальный уровень нейровегетативной регуляции сердца вне периода нагрузки, относительное снижение симпатического тонуса при повышении тонуса блуждающего нерва [13].

Таким образом, в ходе проведенного исследования отмечено снижение адаптационно-приспособительных возможностей организма у спортсменов с преобладанием парасимпатического отдела в регуляции сердечно-сосудистой системы в возрастном диапазоне 9–16 лет.

Рядом авторов [11, 14] показано, что у детей и подростков выявляется четко выраженная зависимость адаптационных изменений в организме от исходного вегетативного тонуса. В зависимости от индивидуально-типологических особенностей вегетативной регуляции отмечаются различная устойчивость к физическим нагрузкам и неодинаковая направленность изменений в работе основных физиологических систем, участвующих в обеспечении мышечной деятельности.

Можно предположить, что механизмы, участвующие в формировании адаптационных изменений в организме в ответ на внешнее воздействие, будут также зависеть от характера вегетативной регуляции.

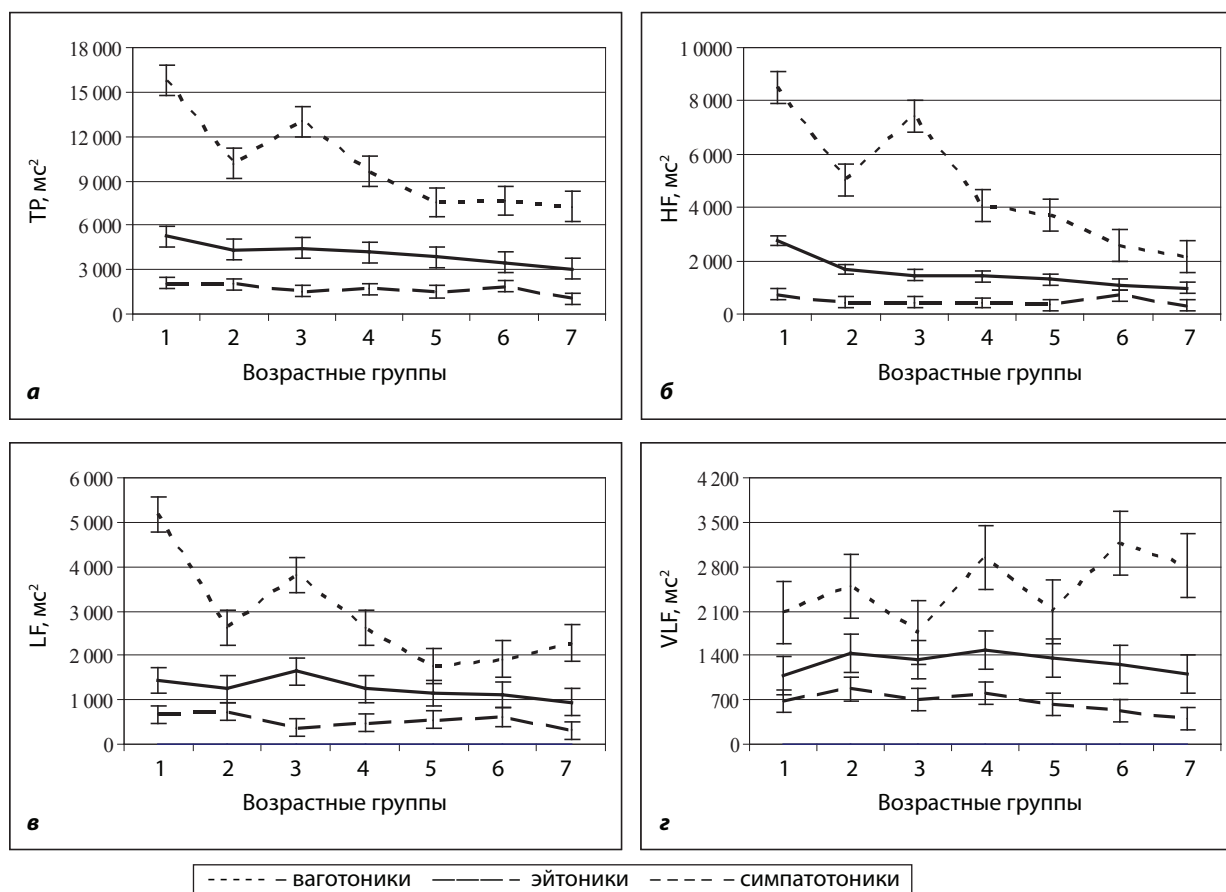


Рис. 1. Показатели в состоянии относительного покоя у спортсменов: а – общей мощности спектра (TP, ms^2); б – абсолютной мощности высокочастотной составляющей спектра (HF, ms^2); в – абсолютной мощности низкочастотной составляющей спектра (LF, ms^2); г – абсолютной мощности очень низкочастотной составляющей спектра (VLF, ms^2)

Одним из наиболее простых и безопасных функциональных тестов, которые позволяют оценить адаптационные возможности регуляции системы кровообращения, является активная ортостатическая проба (АОП), которая используется, как правило, для выявления механизмов срочной адаптации организма, в частности сердечно-сосудистой системы, при изменении положения тела в пространстве. Исследование вариабельности сердечного ритма при ортостатической пробе позволяет получить информацию о состоянии различных звеньев автономной нервной системы, регулирующих сердечную деятельность, в целом об адаптационной реакции организма [2, 9].

Мнения исследователей, затрагивающие вопрос об изменении показателей спектрального анализа при проведении ортопробы, весьма противоречивы. В частности, по данным И. В. Бабунц с соавт. [15], в норме при проведении ортостатической пробы происходит снижение мощностей всех компонентов спектра, однако снижение мощности низкочастотных компонентов выражено в наименьшей степени. По мнению В. М. Михайлова [2], в группе здоровых лиц молодого возраста при

проведении активной ортопробы общая мощность спектра существенно не меняется, возрастает абсолютная мощность LF-компоненты. Согласно результатам исследований Г. Г. Иванова [9], нормальная реакция на ортостатическое воздействие заключается в некотором снижении общей мощности спектра, возрастанием LF-компоненты, уменьшением HF-компоненты, увеличением отношения LF/HF. По мнению Н. И. Шлык, оптимальной реакцией на ортостаз является реакция, когда в большей степени снижается мощность высокочастотных волн (HF) и в меньшей – мощность вазомоторных волн (LF) [4]. Возможно, неоднозначная точка зрения ученых по данному вопросу обусловлена разными методологическими подходами и различными группами обследуемых людей.

При проведении АОП нами отмечено снижение общей мощности спектра (рис. 2, а) и низкочастотной составляющей сердечного ритма (рис. 3, а) во все возрастные периоды в группе спортсменов-ваготоников. У спортсменов данной типологической группы наблюдается снижение активности симпатического отдела ВНС при проведении АОП в возрасте 9–14 лет (рис. 4, а). Незначительная актива-

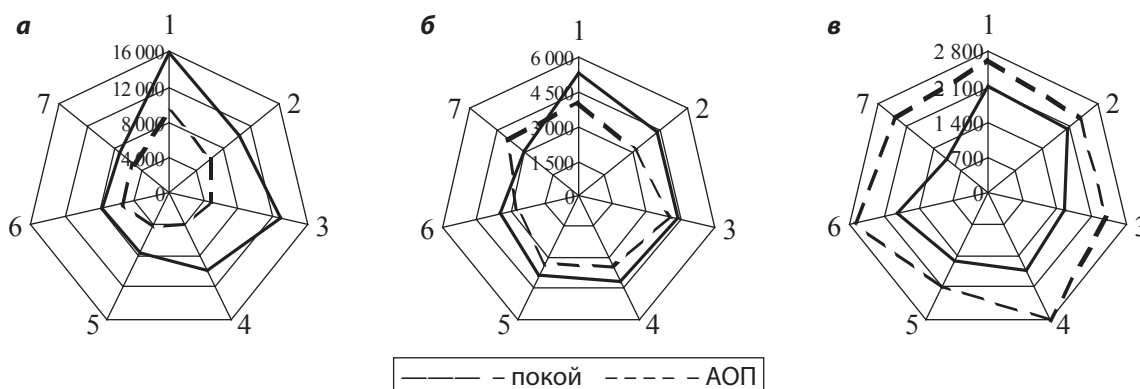


Рис. 2. Показатели общей мощности спектра (TP, мс²). Примечание: **а** – ваготоники; **б** – эйтоники; **в** – симпатотоники

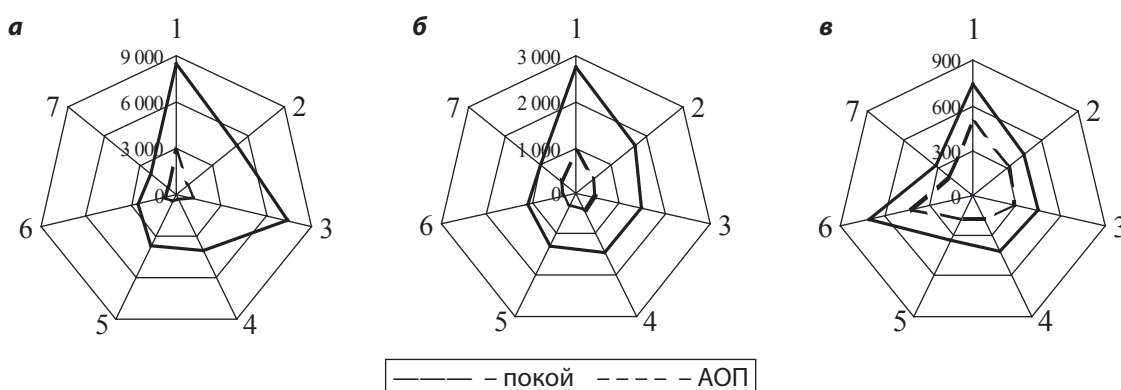


Рис. 3. Показатели высокочастотной составляющей спектра (HF, мс²). Примечание: **а** – ваготоники; **б** – эйтоники; **в** – симпатотоники

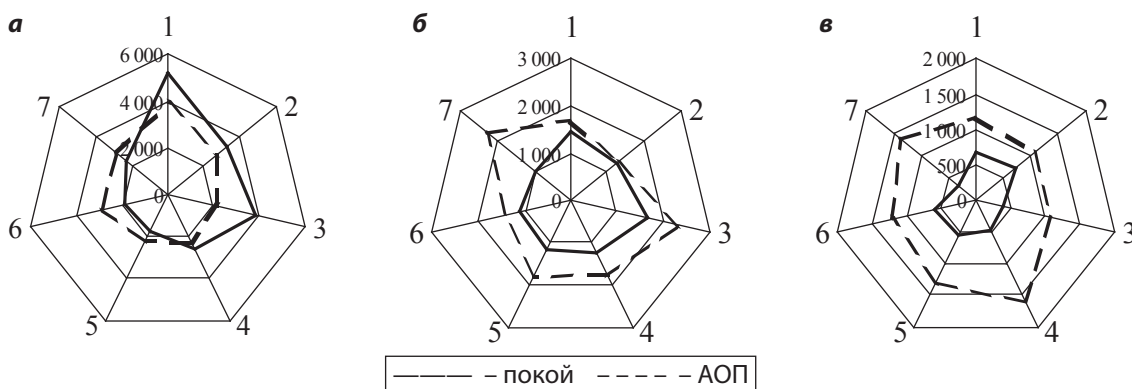


Рис. 4. Показатели низкочастотной составляющей спектра (LF, мс²). Примечание: **а** – ваготоники; **б** – эйтоники; **в** – симпатотоники

ция симпатического отдела (LF) при проведении АОП наблюдается в старших возрастных группах. Вовлечение надсегментарных отделов ВНС (VLF-компонента) в процесс срочной адаптации сердечно-сосудистой системы в этой группе отмечено в возрасте 9–14 лет, в последующие возрастные периоды роль центральных структур в адапционных процессах значительно снижается (рис. 5, *а*).

В группе спортсменов со смешанным влиянием отдела в ВНС на сердечную деятельность (эйтони-

ки) при проведении АОП отмечено снижение общей мощности спектра и мощности дыхательных волн (рис. 2, *б*; 3, *б*). Увеличение активности симпатического отдела ВНС при проведении АОП наблюдается с возраста 13–14 лет (рис. 5, *б*). Вовлечение надсегментарных структур отмечено в младших возрастных группах (9–14 лет) и незначительное снижение роли высших надсегментарных отделов в старших возрастных группах (рис. 5, *б*). В группе спортсменов с исходным преобладанием

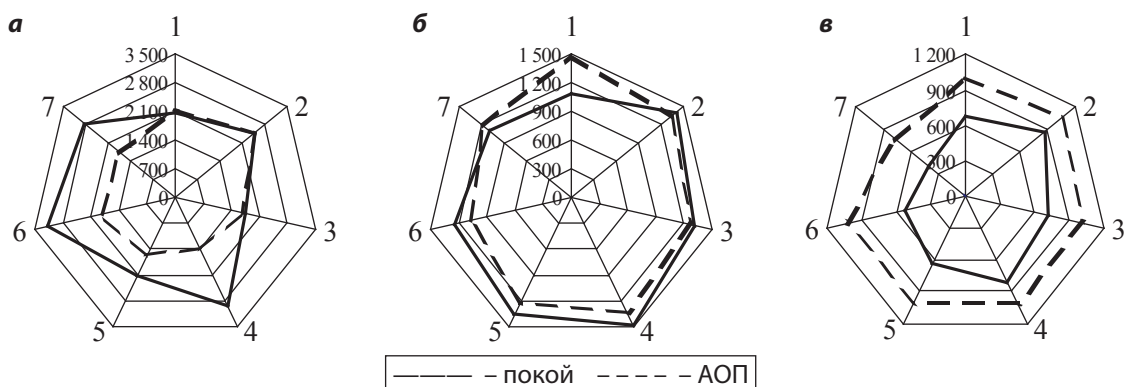


Рис. 5. Показатели очень низкочастотной составляющей спектра (VLF, мс²). Примечание: а – ваготоники; б – эйтоники; в – симпатотоники

симпатического отдела в регуляции ритма сердца (симпатотоники) наблюдается парадоксальная реакция со стороны регуляторных систем при ортостатическом тестировании. Отмечено увеличение суммарной мощности спектра (TP) во всех возрастных группах (рис. 2, в), незначительное снижение мощности дыхательных волн (HF) (рис. 3, в), значительное увеличение мощности LF и VLF-волн (рис. 4, в; 5, в). Эти данные указывают на вовлечение центральных структур управления сердечным ритмом (высших надсегментарных структур) в

формировании адаптивных реакций сердечно-сосудистой системы в процессе срочной адаптации при проведении АОП во все возрастные периоды.

При анализе изменений расчетных показателей спектрального анализа ВСР (ИЦ, ИАПЦ) при проведении АОП выявлена выраженная возрастная зависимость степени вовлечения разных уровней регуляции сердечно-сосудистой деятельности в процесс срочной адаптации организма к изменению положения тела в пространстве у спортсменов с разным исходным тонусом ВНС (рис. 6, 7).

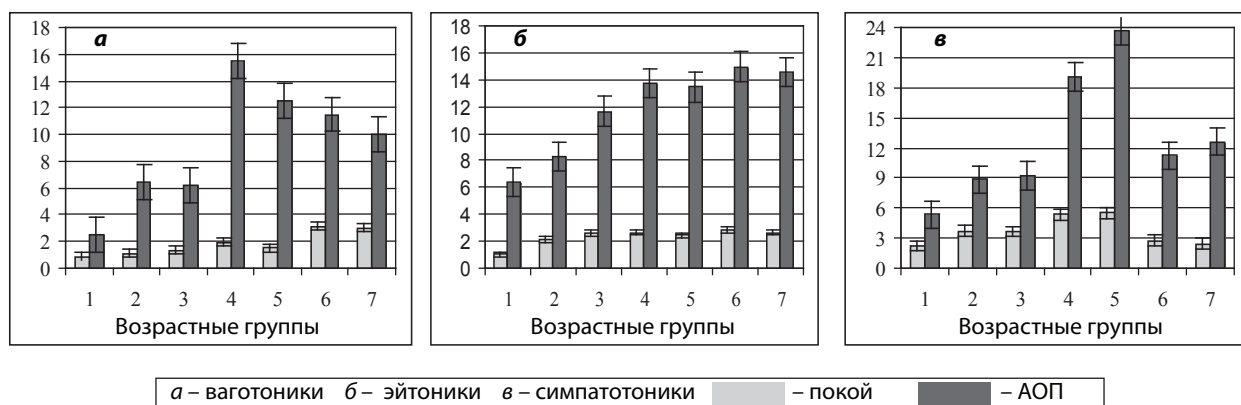


Рис. 6. Индекс централизации (ИЦ, усл. ед.) в состоянии относительного покоя и при проведении АОП у спортсменов

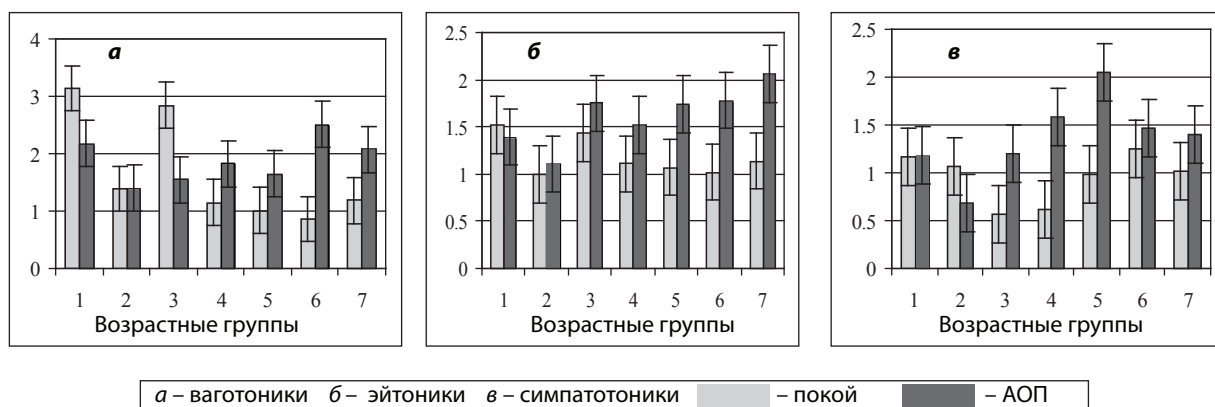


Рис. 7. Индекс активации подкорковых центров (ИАПЦ, усл. ед.) в состоянии относительного покоя и при проведении АОП у спортсменов

В младших группах (9–10, 11–12, 13–14 лет) индекс централизации (ИЦ) при проведении АОП увеличился в значительно меньшей степени по сравнению со старшими возрастными группами (рис. 6) во всех типологических группах. Максимальное вовлечение симпатического отдела ВНС при изменении тела в пространстве (по показателям ИЦ) отмечено в группе ваготоников в 15–16 лет, в дальнейшем эти показатели достоверно не изменяются. В группе эйтоников отмечено постепенное увеличение адренергической активности при проведении АОП начиная с 13–14 лет. В группе симпатотоников максимальная активность симпатического отдела ВНС отмечена в возрасте 15–16 и 17–18 лет, в старших возрастных группах резко снижается роль симпатического отдела в обеспечении процессов срочной адаптации сердечно-сосудистой системы при проведении АОП.

По мнению ряда авторов, отсутствие роста активности вазомоторного центра при изменении тела в пространстве является признаком снижения функциональных резервов регуляции и может рассматриваться как показатель неадекватной реакции на ортостатическое воздействие [1, 9].

В группе ваготоников 9–10 и 13–14 лет выявлено значительное снижение ИАПЦ при проведении АОП (рис. 7, а), что говорит о снижении функциональных резервов регуляции сердечно-сосудистой системы со стороны симпатического отдела ВНС. Рост активности вазомоторного центра наблюдается с 15–16 лет.

У эйтоников и симпатотоников снижения ИАПЦ в младших возрастных группах не выявлено. Рост активности вазомоторного центра при изменении тела в пространстве происходит с 13–14-летнего возраста (рис. 7, б; 7, в).

В возрасте 19–20 и 21–25 лет в группе симпатотоников отмечено уменьшение активности вазомоторного центра (рис. 7, в), что можно рассматривать как снижение адаптационно-приспособительных механизмов к воздействию внешних факторов

и переключение регуляции с рефлекторного вегетативного уровня на гуморально-метаболический.

Таким образом, физиологические механизмы регуляции работы сердечно-сосудистой системы у спортсменов в процессе срочной адаптации зависят не только от возраста, но и от исходного тонуса вегетативной нервной системы и определяют характер адаптивных сдвигов в работе сердечно-сосудистой системы при воздействии факторов внешней среды.

Заключение

В возрасте 9–14 лет во всех типологических группах отмечено вовлечение центральных структур в процесс срочной адаптации сердечно-сосудистой системы, что, по мнению исследователей [1], является менее эффективным, но более надежным способом поддержания оптимального уровня функционирования аппарата кровообращения при воздействии внешних факторов. По мере завершения структурных преобразований сегментарных отделов ВНС, начиная с 15–16 лет, выявлены различные механизмы адаптации сердечно-сосудистой системы у спортсменов с различным исходным вегетативным тонусом.

В группе ваготоников срочная адаптация сердечно-сосудистой системы происходит за счет процессов саморегуляции, без подключения центральных структур в формировании ответной реакции организма на внешнее воздействие. В группе эйтоников срочная адаптация сердечно-сосудистой системы характеризуется сбалансированностью между активацией сегментарных (симпатического и парасимпатического) и надсегментарных отделов ВНС при проведении АОП. В группе симпатотоников при воздействии факторов внешней среды отмечено избыточное увеличение активности адренергических механизмов и высших надсегментарных структур, что, вероятно, приводит к истощению симпато-адреналовой системы и снижению адаптационно-приспособительных возможностей организма в возрасте 19–25 лет у спортсменов данной типологической группы.

Список литературы

1. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. 236 с.
2. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода. 2-е изд., перераб. и доп. Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. 290 с.
3. Казначеев В. П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука, 1980. 192 с.
4. Шлык Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов: моногр. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2009. 255 с.
5. Осьминин Ф. В., Баранова Е. И., Ершов А. Ф. и др. Реакция на гипоксию организма человека и животных в зависимости от индивидуальных особенностей вегетативной нервной системы // Физиол. человека. 1991. Т. 17. № 1. С. 95–103.
6. Жужгов А. П. Вариабельность сердечного ритма у спортсменов различных видов спорта: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2003. 24 с.
7. Сапожникова Е. Н. Ритм сердца у школьников с различной степенью напряжения механизмов вегетативной регуляции в покое и при ортоклиностатическом тестировании: автореф. дис. ... канд. биол. наук, Казань, 2003. 24 с.

8. Task force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability standards of measurements, physiological interpretation, and clinical use // *Circulation*. 1996. V. 93. P. 1043–1065.
9. Грачев С. В. и др. Новые методы электрокардиографии / под ред. С. В. Грачева, Г. Г. Ивановой, А. Л. Сыркиной. М.: Техносфера, 2007. С. 473–496.
10. Хаспекова Н. Б. Диагностическая информативность мониторинга вариабельности ритма сердца // *Вестник аритмологии*. 2003. № 32. С. 15–23.
11. Кудря О. Н., Вернер В. В. Вегетативная регуляция сердечно-сосудистой системы и системы энергообеспечения мышечной деятельности при выполнении дозированных нагрузок юными спортсменами // *Теор. и практ. физ. к-ры*. 2009. № 3. С. 36–42.
12. Беляева Л. М., Хрусталёва Е. К. Сердечно-сосудистые заболевания у детей и подростков. 2-е изд., перераб. и доп. Минск: Вышэйная школа, 2003. 365 с.
13. Земцовский Э. В. Спортивная кардиология. СПб.: Гиппократ, 1995. 445 с.
14. Игишева Л. Н. и др. Влияние умеренной физической нагрузки на показатели сердечного ритма у детей младшего и среднего школьного возраста // *Физиол. человека*. 2006. Т. 32. № 3. С. 55–61.
15. Бабунц И. В. и др. Азбука анализа вариабельности сердечного ритма. Ставрополь, 2002. 111 с.

Кудря О. Н., кандидат биологических наук, доцент кафедры.

Сибирский государственный университет физической культуры и спорта.

Ул. Масленникова, 144, г. Омск, Омская область, Россия, 644009.

E-mail: olga27ku@mail.ru

Материал поступил в редакцию 09.02.2011.

О. Н. Кудря

FEATURES OF URGENT ADAPTATION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF ATHLETES WITH DIFFERENT INITIAL AUTONOMIC TONE DURING ORTHOSTATIC TEST

The study revealed that the physiological mechanisms of the regulator function of the cardiovascular system in athletes during the urgent adaptation depends not only on age but also on the original tone of the vegetative nervous system and determine the nature of adaptive changes in the machine circulation under the influence of factors the external environment.

Key words: *cardiovascular system, autonomic nervous system, active orthostatic test, athletes.*

Siberian State University of Physical Education and Sport.

Ul. Maslennikova, 144, Omsk, Omsk region, Russia, 644009.

E-mail: olga27ku@mail.ru