

ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У СТАРШЕКЛАСНИКОВ

Л.А. Михайлова

Целью исследований являлось выяснение половых особенностей гемодинамических показателей и variability сердечного ритма у 125 старшеклассников 15–16 лет. Показано, что у юношей по сравнению с девушками показатели всех видов артериального давления выше, а частота сердечных сокращений и минутный объем кровообращения ниже. В состоянии покоя сердечный ритм обеспечивается как центральным, так и автономным контуром регулирования при определенной доле гуморальных влияний. Выполнение активной ортостатической пробы сопровождается снижением парасимпатических влияний и повышением доли гуморального звена в поддержании сердечного ритма, и эти механизмы более выражены у юношей, поддерживая в целом более стабильный сердечный ритм. Об этом свидетельствует снижение доли высокочастотных и повышение доли очень медленных волн, а также сужение вариационного размаха, повышение амплитуды моды.

Ключевые слова: подростки, центральная гемодинамика, сердечный ритм, variability сердечного ритма, волновая характеристика сердечного ритма.

Современный учебный процесс обучения в старших классах сопровождается увеличением объема воспринимаемой информации, получаемой при использовании компьютерных средств и телекоммуникационных сетей. Это приводит к сокращению времени активного отдыха, повышению доли статической нагрузки, а также может сопровождаться снижением резервных возможностей ведущих функциональных систем организма, в том числе и сердечно-сосудистой [2, 4, 6, 7]. Ряд исследователей отмечает различия в показателях мощности левого желудочка, ударного объема крови у школьниц с углубленным изучением профильных предметов и занимающихся по стандартной учебной программе, в то же время как уровень частоты сердечных сокращений, диастолического артериального давления у этих групп остается стабильной величиной [12]. Поддержание стабильности сердечного ритма обеспечивается как нервными, так и гуморальными механизмами, о чем свидетельствуют показатели variability ритма сердца [8, 10]. Отмечено, что в процессе роста и развития подростков активность вегетативных процессов меняется [1, 3, 5, 9, 11] и зависит от морфофункциональных особенностей организма школьников.

Цель проведенного исследования – выяснить половые отличия основных гемодинамических показателей и особенности variability сердечного ритма у школьников старших классов.

Объект и методы исследования. Проведено исследование 125 школьников 15–17 лет, из них лиц мужского пола 66 (52,8 %) и лиц женского пола 59 (47,2 %), проживающих в г. Железнодорожском Красноярского края. Обследование проводилось в сентябре месяце при участии С.И. Кимяевой

в соответствии с юридическими и этическими принципами медико-биологических исследований у человека (заключение локального этического комитета КрасГМУ, протокол № 40 от 04.05.2012 г.).

Состояние сердечно-сосудистой системы исследовали на аппаратно-программном комплексе «Valenta+», артериальное давление определяли по методу Короткова. Для выяснения особенностей регуляции и поддержания стабильности сердечного ритма использовалась активная ортостатическая проба (АОП) и метод кардиоинтервалографии (КИГ). Полученные материалы обработаны с помощью пакета прикладных программ для Windows-2000. Преобразование рядов R-R-интервалов в кардиоинтервалограмму и математическая обработка кардиоинтервалов производились на КДК «Valenta+». Точность измерения R-R-интервалов составляла 1 мс. Из любой записи ЭКГ обрабатывали по 300 R-R-интервалов. Рассчитывались частота сердечных сокращений (ЧСС), наиболее часто встречающееся значение кардиоинтервала в анализируемой кардиоинтервалограмме (M_0), разница между максимальным и минимальным значениями в динамическом ряду R-R-интервалов, преобразованных в NN-интервалы кардиоинтервалограммы (ΔX), количество кардиоинтервалов, соответствующих модальному классу, выраженное в процентах от общего объема выборки (AM_0), индекс вегетативного равновесия (ИВР, отношение $AM_0 / \Delta X$). Индекс напряжения ИН рассчитывали по формуле Р.М. Баевского $ИН = AM_0 / (2 \times \Delta X \times M_0)$. Спектральный анализ сердечного ритма проводили в диапазонах: высокочастотном (HF; 0,1–0,5 Гц), низкочастотном (LF; 0,03–0,1 Гц), сверхнизкочастотном (VLF; менее 0,03 Гц). Определяли абсолютные значения мощностей в указанных диапазонах и

Интегративная физиология

рассчитывали нормированные мощности спектров (HF %, LF %, VLF %). Проводили расчет ряда относительных коэффициентов. Различия между группами оценивали по U-тесту Mann–Whitney.

Результаты исследований и обсуждение. Артериальное давление является ведущей физиологической константой, обеспечивающей стабильный кровоток и отражающей насосную функцию сердца. Выявлены половые отличия ряда показателей этого параметра у обследованных школьников (см. таблицу).

Установлено, что у юношей САД на $8,39 \pm 0,99$ % превышает показатели девушек. ДАД у юношей выше, чем у девушек на $6,67 \pm 0,07$ %, а ПАД на $12,5 \pm 0,92$ %. Расчет СДД выявил половые отличия: СДД у юношей по сравнению с девушками выше на $7,69 \pm 1,54$ %.

Ведущим гемодинамическим показателем является МОК, напрямую зависящий от уровня потребности организма в кислороде. Средний уровень МОК и СВ в исследуемых группах не имеет значимых половых отличий (см. таблицу), в то время как эти показатели по отношению к массе тела у девушек превышают показатели юношей на $24,47 \pm 2,25$ % и $14,71 \pm 1,21$ % соответственно (см. таблицу). СИ также выше у девушек на $20,58 \pm 1,98$ %.

централизации регуляции сердечного ритма, и его значение, не превышающее в состоянии покоя 90 у. е., свидетельствует об эйтоническом типе регуляции. Индекс вегетативного равновесия (ИВР) является важной характеристикой для описания процессов стабилизации работы сердечной деятельности. Физиологический смысл этого показателя заключается в том, что он отражает влияние центрального контура регуляции на автономный (синусовый) узел по нервным (АМо) каналам. Значение ИВР у девушек на $52,13 \pm 9,72$ % выше, чем у юношей.

Анализ спектра ЧСС показал высокую мощность частотных характеристик у школьников: медиана этого показателя у юношей составила 3001 у. е., а у девушек – 1953 у. е., т. е. в состоянии покоя общая мощность частотных характеристик у юношей выше, чем у девушек на $34,92 \pm 8,56$ %. Состав спектра следующий (рис. 1).

Доля высокочастотных волн I порядка (HF) в общем спектре составляет порядка 4/5 и не имеет статистически значимых половых отличий. На долю медленных волн (LF) приходится около 20 %. Следует отметить, что доля волн III порядка (VLF) статистически значимо выше на $49,46 \pm 8,12$ % у юношей по сравнению с девушками, что свидетельствует о большем влиянии гуморальных фак-

Показатели центральной гемодинамики у старшеклассников (медиана и квантили [25–75])

Показатель	Юноши, n = 66	Девушки, n = 59	Достоверность различий
	1	2	
ЧСС, уд./мин	65,50 [60,00–73,00]	71,00 [66,00–78,00]	p 1–2 < 0,001
САД, мм рт. ст.	120,0 [112,0–125,0]	110,0 [105,0–115,0]	p 1–2 < 0,001
ДАД, мм рт. ст.	75,00 [70,00–80,00]	70,00 [70,00–78,00]	p 1–2 < 0,01
ПАД, мм рт. ст.	40,00 [37,00–47,00]	35,00 [35,00–40,00]	p 1–2 < 0,001
СДД, мм рт. ст.	94,30 [86,80–99,70]	87,60 [84,70–93,90]	p 1–2 < 0,01
СВ, мл	67,35 [62,80–69,90]	66,90 [61,50–69,40]	
СВотн, мл/кг	1,02 [0,87–1,16]	1,17 [1,03–1,28]	p 1–2 < 0,001
МОК, л/мин	4,48 [3,96–4,92]	4,62 [4,28–5,19]	
МОКотн, мл/мин/кг	66,73 [55,32–84,38]	83,06 [69,77–93,89]	p 1–2 < 0,001
СИ, л/ мин/м ²	2,43 [2,18–2,89]	2,93 [2,58–3,20]	p 1–2 < 0,001

Примечание. ЧСС – частота сердечных сокращений; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ПАД – пульсовое артериальное давление; СДД – среднединамическое артериальное давление; СВ – систолический выброс; МОК – минутный объем кровообращения; СИ – сердечный индекс; отн. – относительные единицы.

О более экономичной работе сердца у юношей свидетельствует показатель ЧСС, который на $10,46 \pm 0,87$ % ниже, чем у девушек. Согласно полученным данным у юношей выше, чем у девушек показатель Мо (на $10,2 \pm 1,85$ %), ΔХ (на $20,93 \pm 2,86$ %), но ниже АМо ($29,63 \pm 3,72$ %) и ИН (на $64,71 \pm 8,47$ %), что свидетельствует о поддержании определенной стабильности сердечного ритма у подростков и наличии половых особенностей его регуляции. Как известно, ИН – показатель уровня

торов на стабильность сердечного ритма в этом возрасте.

Выполнение нагрузочного теста АОП сопровождалось следующими изменениями (рис. 2).

Показатель Мо не имеет половых отличий; выявлено его снижение по сравнению с состоянием покоя на $25,51 \pm 3,67$ % у юношей и $22,73 \pm 2,88$ % – у девушек. Показатель ΔХ в среднем равен $0,38 \pm 0,01$ с и снижается у юношей на $11,63 \pm 1,85$ % по сравнению с состоянием покоя, а у девушек

возрастает на $13,3 \pm 2,11$ %. АМо у юношей возрастает на $31,48 \pm 2,41$ %, а у девушек по сравнению с состоянием покоя статистически значимых отличий не имеет. ИН после нагрузки в обеих группах возрастает, причем у юношей значительно ($91,18 \pm 4,57$ % против $25,00 \pm 1,34$ %). Значение ИВР после нагрузки у юношей увеличивается на $39,71 \pm 1,77$ %, а у девушек остается на прежнем уровне. Следовательно, выполнение АОП не вызывает у старшеклассников значимых, выходящих за пределы нормативов, ответных реакций со стороны сердечно-сосудистой системы (уровень ИН), хотя при этом возрастает ЧСС на $21,56$ % у девушек и на $28,54$ % – у юношей. Стабильность сердечной деятельности более высокая у юношей (снижение ΔX , увеличение АМо), что обеспечивается как центральным контуром регуляции (ИН), так и автономным (ИВР).

Анализ показателей спектральных характеристик показал следующее. При выполнении АОП у юношей общая мощность частотных характеристик возрастает в 6,87 раза, а у девушек в 4,04 раза по сравнению с состоянием покоя. Однако динамика волновых характеристик на АОП независимо от пола одинаковая: снижается доля волн I порядка (HF) и возрастает доля волн III порядка (VLF), а доля медленных волн (LF) в спектре не имеют статистически значимых отличий от исходного уровня (см. рис. 1). Эта динамика наиболее ярко проявляется у юношей: $-25,65$ и $25,9$ % против $-21,7$ и $21,8$ % у девушек соответственно для HF и VLF.

Исходя из полученных данных можно предположить следующий механизм регуляции сердечного ритма у старшеклассников. Принято считать, что волны высокочастотных колебаний ЧСС (HF-компонент) являются «дыхательными», их

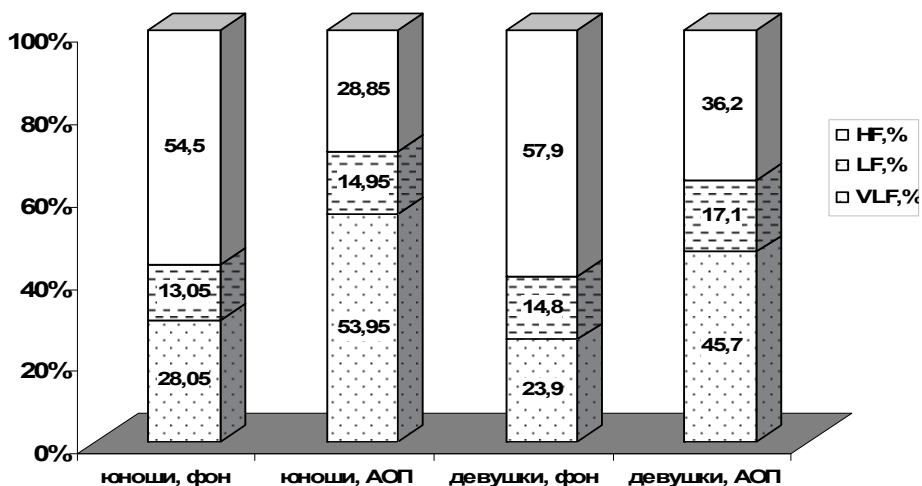


Рис. 1. Процентное содержание высокочастотных (HF), медленных (LF) и очень медленных (VLF) волн в спектральной характеристике сердечного ритма в состоянии покоя и при выполнении активной ортостатической пробы (АОП) у старшеклассников

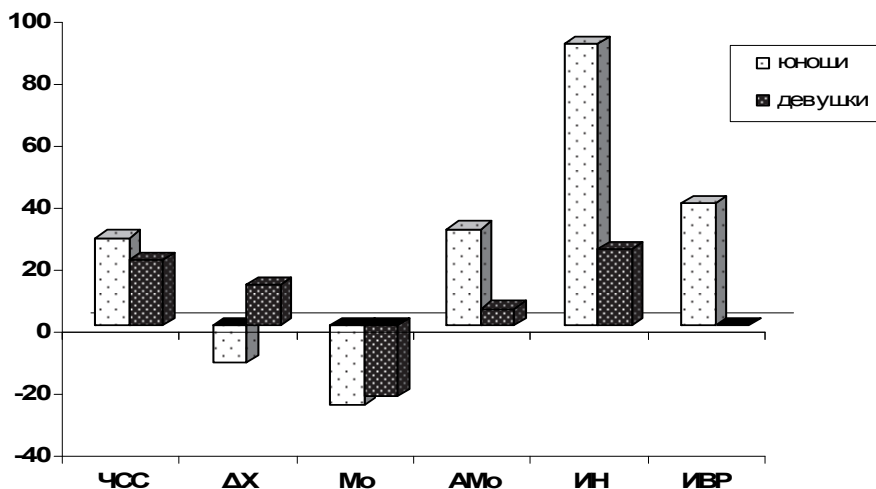


Рис. 2. Процентное отклонение показателей стабильности сердечного ритма после выполнения АОП по сравнению с состоянием покоя у старшеклассников: ЧСС – частота сердечных сокращений; ΔX – вариационный размах; Мо – мода; АМо – амплитуда моды; ИН – индекс напряжения; ИВР – индекс вегетативного равновесия

связывают с дыхательными движениями, и они отражают вагусный контроль ритма сердца [4]. Волны в области низких частот (LF) являются маркером симпатической модуляции, связанной с регуляцией среднего уровня артериального давления. Однако некоторые исследователи полагают, что LF-компонент связан с реализацией барорефлексов и может отражать как симпатические, так и парасимпатические влияния [5]. VLF-компонент частотного спектра отражает влияние гуморальных механизмов регуляции сердечного ритма, в частности, напрямую зависит от уровня адреналина, норадреналина и активности системы «гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников». Следовательно, выполнение АОП и регуляция поддержания стабильного ритма сердца приводят к активации центрального контура регуляции, соподчиненного ему автономного в большей степени симпатического отдела и снижению парасимпатических влияний (HF-волны), но возрастанию гуморальных влияний (VLF-волны), связанных с ответной реакцией организма на выполнение нагрузочной пробы. При однонаправленности этих реакций степень выраженности указанных процессов статистически значимо выше у юношей по сравнению с девушками, что позволяет говорить не только о большей лабильности сердечно-сосудистой системы первых по сравнению с девушками.

Заключение. Проведенные исследования показали наличие половых особенностей уровня гемодинамических показателей: у юношей по сравнению с девушками выше минутный объем кровообращения и его относительные показатели при равном систолическом выбросе, но более низкой частоте сердечных сокращений, что свидетельствует о более экономичной работе сердца.

Регуляция стабильности сердечного ритма поддерживается как центральными, так и автономными и гуморальными уровнями регуляции. В состоянии покоя у девушек по сравнению с юношами сердечный ритм более стабилен, о чем свидетельствует более высокий уровень АМо и меньший вариационный размах. При выполнении нагрузочной пробы – активного ортостаза – происходит увеличение частоты сердечных сокращений, при этом стабилизация сердечного ритма обеспечивается в большей степени автономным (активация симпатических и снижение парасимпатических влияний) и гуморальным звеньями регуляции. У юношей в большей степени по сравнению с девушками активируется гуморальное звено при снижении парасимпатических автономных влияний.

Литература

1. Алферова, О.П. Особенности вегетативной регуляции и интегрированных показателей адаптированности сердечно-сосудистой системы у подростков / О.П. Алферова, А.Я. Осин // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 2. – С. 113.

2. Демидов, В.А. Влияние повышенной двигательной активности на кардиогемодинамическую устойчивость подростков в условиях напряженной информационной нагрузки / В.А. Демидов, Д.Н. Мальцев, Ф.А. Мавлиев // *Физиология человека*. – 2008. – № 4. – С. 133–140.

3. Изменение функционального состояния вегетативной нервной системы школьников младших классов в процессе обучения / А.С. Букеева, И.М. Риклефс, Б.К. Койчубеков и др. // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 2. – С. 414.

4. Киришина, Е.Д. Взаимосвязь учебной и двигательной деятельности старшеклассников во время обучения / Е.Д. Киришина // *Вестник Томского гос. ун-та*. – 2009. – № 319. – С. 169–172.

5. Койчубеков, Б.К. Механизмы нелинейной динамики сердечного ритма. Влияние вегетативной нервной системы / Б.К. Койчубеков, М.А. Сорочкина, И.В. Коршуков // *Успехи современного естествознания*. – 2013. – № 4. – С. 42–46.

6. Луцицкая, Е.С. Функциональные особенности гемодинамики подростков в условиях различной двигательной активности / Е.С. Луцицкая, В.Б. Русанов // *Физиология человека*. – 2009. – № 4. – С. 43–50.

7. Михайлова, Л.А. Динамика физической подготовки и показателей внешнего дыхания у девушек-подростков, обучающихся по специальной учебной программе / Л.А. Михайлова, С.И. Кимяева // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура»*. – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 58–62.

8. Молоканова, Ю.П. Факторы, определяющие ритм сердечных сокращений у лиц юношеского возраста / Ю.П. Молоканова // *Вестник Моск. гос. обл. ун-та. Серия «Естественные науки»*. – 2013. – № 2. – С. 63–66.

9. Показатели вариабельности сердечного ритма и психофизиологического состояния организма подростков с нормальным и повышенным артериальным давлением / Е.М. Спивак, Н.В. Печникова, А.Г. Гуцин и др. // *Ярослав. пед. вестник*. – 2012. – Т. 3, № 3. – С. 159–161.

10. Покровский, В.М. Ритм сердца в целостном организме: механизмы формирования / В.М. Покровский // *Кубан. науч. мед. вестник*. – 2006. – № 9. – С. 22–26.

11. Пушкина, В.Н. Вариабельность сердечного ритма у юношей с разным типом гемодинамики / В.Н. Пушкина, И.А. Варенцова // *Экология человека*. – 2012. – № 11. – С. 38–43.

12. Чинкин, А.С. Центральная гемодинамика и двигательная активность девочек 11–12 лет при различных режимах обучения / А.С. Чинкин, Г.Ф. Сибгатуллина, Т.Г. Кириллова // *Физиология человека*. – 2009. – № 3. – С. 140–141.

Михайлова Людмила Аркадьевна, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии, Красноярский государственный медицинский университет им. В.Ф. Войно-Ясенецкого, krasphysiol@mail.ru.

Bulletin of the South Ural State University
Series "Education, Healthcare Service, Physical Education"
2013, vol. 13, no. 4, pp. 59–63

CENTRAL HEMODYNAMICS FEATURES AND REGULATION OF HEART RATE AT SENIOR

*L.A. Mikhailova, Krasnoyarsk State Medical University of V.F. Voyno-Yasenetsky, Krasnoyarsk,
Russian Federation, krasphysiol@mail.ru*

The aim of research was to determine the sexual characteristics and hemodynamic parameters of heart rate variability in 125 high school students aged 15–16. It is shown that boys compared with girls have all kinds of indicators of blood pressure higher and the heart rate and cardiac output below. At rest, the heart rate is provided by both central and autonomic control loop at a certain percentage of humoral effects. Performing active orthostatic test accompanied by a reduction of parasympathetic effects and increase the share of humoral in maintaining heart rate, and these mechanisms are more clear in young men, supporting the generally more stable heart rate. This is evidenced by reduction of the share of high and increasing proportion of very slow waves, as well as narrowing of the variation range, increasing the amplitude of fashion.

Keywords: adolescents, central hemodynamics, heart rate, heart rate variability, heart rate characteristic wave.

Поступила в редакцию 20 сентября 2013 г.