

**ПОЛОВЫЕ АСПЕКТЫ РЕАКТИВНОСТИ ПРОВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ  
СЕРДЦА У ПОДРОСТКОВ ВО ВРЕМЯ ВЕЛОЭРГОМЕТРИИ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА  
ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ**

© 2019 г. Н. А. Ярыгина<sup>1</sup>, \*, Л. В. Поскотинова<sup>2</sup>, Е. А. Соснина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Северный медицинский клинический центр им. Н.А. Семашко  
Федерального медико-биологического агентства, Архангельск, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лавёрова РАН, Архангельск, Россия

\*E-mail: yardar@mail.ru

Поступила в редакцию 29.11.2018 г.

После доработки 07.01.2019 г.

Принята к публикации 08.01.2019 г.

Цель исследования заключалась в оценке степени влияния типа организации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) на функцию проводящей системы сердца в ходе велоэргометрии (ВЭМ) у подростков 15–17 лет. Обследованы 89 юношей и девушек с синдромом вегетативной дистонии (СВД) и 28 практически здоровых лиц в возрасте 15–17 лет. Оценивали ЭЭГ, электрокардиограмму (ЭКГ), ВЭМ, ЭКГ после завершения ВЭМ. У девочек с СВД и пароксизмальными феноменами ЭЭГ выявлено наиболее выраженное укорочение интервалов PQ, QT и QTc относительно исходных значений в восстановительном периоде (ВП) ВЭМ, укорочение интервала PQ в период отдыха после ВЭМ. У мальчиков с СВД и с диффузными изменениями на фоне десинхронной альфа-активности ЭЭГ выявлено укорочение интервала PQ в конце ВП ВЭМ относительно исходных значений. У мальчиков с СВД и с пароксизмальными феноменами ЭЭГ отсутствовало должное укорочение QTc на 1-й минуте ВП, а в конце ВП регистрировалось достоверное увеличение QTc сравнительно с исходными значениями. Сделан вывод, что наличие у подростков с СВД диффузных и пароксизмальных изменений в структуре ЭЭГ повышает риск возникновения нарушений биоэлектрической активности миокарда во время физической активности.

*Ключевые слова:* подростки, синдром вегетативной дистонии, электрокардиограмма, электроэнцефалограмма, велоэргометрия

DOI: 10.1134/S0869813919030105

Стимулом к изучению взаимодействия нервной и сердечно-сосудистой систем у подростков с вегетативными дисфункциями послужило интенсивное развитие такого направления в медицине как нейрокардиология, связанное с увеличением цереброваскулярной и сердечно-сосудистой патологии [1]. Синдром вегетативной дистонии (СВД) встречается до 20–30% от общего количества заболеваний в России и имеет высокую распространенность среди детей и подростков [2]. В рамках СВД наиболее ярко выделяется группа лиц с синкопальными (обморочными) состояниями. Несмотря на то, что большинство обмороков являются доброкачественными, актуальна необходимость дальнейшего совершенствования диагно-

стики этих состояний именно для педиатрической практики (педиатрический обморок — *pediatric syncope*), так как они могут быть потенциально угрожающими жизни детей и подростков [3]. Одним из основных механизмов формирующегося при этом цереброкардиального синдрома является нарушение регуляции сердечно-сосудистой системы. У мальчиков наибольшие возрастные изменения сердечно-сосудистой системы происходят в 13–14 лет, обусловленные как активацией симпатической нервной системы, так и усиленным действием андрогенов, приводящих к изменению показателей центральной гемодинамики. У девочек возрастные изменения сердечно-сосудистой системы на фоне симпатикотонии наступают раньше (11–13 лет) и связаны по времени с наступлением менархе. К 15–17 годам у мальчиков и в большей степени у девочек формируется вагусно-холинергическая регуляция гомеостаза [4, 5]. Весомый вклад в формирование гемодинамических показателей у подростков в этот период также вносят возрастные и сезонные колебания уровня кортизола, инсулина и тиреоидных гормонов в крови [6]. Ведущими причинами нарушений функции проводящей системы сердца в рамках СВД являются дисфункции мозговых структур вследствие нарушения их биоэлектrogenеза и сосудистого обеспечения. Доказано, что функции сердечно-сосудистой и нервной систем взаимосвязаны с этапа эмбриогенеза и в последующем в постнатальном периоде. Специализированные клетки нервной трубки способствуют развитию структур сердца, а факторы роста, выделяемые из сердца, обеспечивают надлежащее созревание парасимпатических и симпатических нейронов. Нейрокардиальная регуляция включает в себя нейрональную ось, включающую кору, миндалину и другие подкорковые структуры головного мозга, которые имеют возможность модулировать функции нейронов нижнего уровня в регуляторной иерархии, включая нервные структуры сердца [7]. Также существует концепция о существовании центрального пейсмекера цереброкардиального взаимодействия, основанная на регистрации синхронных колебаний нейрональной активности в области цингулярной извилины коры головного мозга и колебаний кардиоритма у здоровых людей в области частоты 0.1 Гц [8]. Иначе говоря, нарушение биоритмики нейрональных ансамблей головного мозга может обусловить и нарушения электрогенераторной активности сердца. Например, у детей с синкопальными и пароксизмальными расстройствами выявлены изменения внутрисердечной проводимости в виде удлинения интервала QT электрокардиограммы (ЭКГ). Однако авторы призывают к дальнейшему изучению нарушений проводимости сердца у лиц с изменениями электроэнцефалограммы (ЭЭГ), так как зачастую данные ЭКГ, записанные в состоянии покоя (без нагрузки), не показательны в отношении связи с данными ЭЭГ [9]. Поэтому закономерно предположить, что зависимость изменений биоэлектрической активности сердца от особенностей организации ЭЭГ максимально проявит себя именно при функциональной нагрузке, особенно у лиц с вегетативными дисфункциями.

Таким образом, изучение аспектов реактивности проводящей системы сердца в условиях физической нагрузки с учетом типа организации ЭЭГ позволит повысить прогностическую значимость диагностических мероприятий, направленных на предотвращение угрожающих жизни нарушений проводящей системы сердца у подростков. Цель настоящего исследования заключалась в оценке степени влияния типа организации исходной ЭЭГ на функцию проводящей системы сердца в ходе велоэргометрии у мальчиков и девочек 15–17 лет с синдромом вегетативной дистонии.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследование было включено 117 человек 15–17 лет (54 мальчика, 63 девочки), обследованных в ФГБУЗ СМКЦ им. Н.А. Семашко ФМБА России. В I группу (ос-

новную) вошли 89 человек (38 мальчиков, 51 девочка) с верифицированными диагнозами в рамках СВД — коды F45.3, F45.30 по МКБ-10, средний возраст  $15.8 \pm 1.2$  лет. Во II группу (контрольную) вошли 28 практически здоровых лиц (14 мальчиков и 14 девочек), средний возраст  $15.9 \pm 1.0$  лет. От всех обследованных лиц, их родителей получено информированное согласие на участие в исследовании. Исследование одобрено комиссией по биомедицинской этике Института физиологии природных адаптаций ФГБУН ФИЦКИА РАН. Критериями включения в выборку явились: возраст 15–17 лет, жалобы кардиального характера, признаки артериальной гипертензии (артериальное давление более 120–124/75–77 мм рт. ст. у мальчиков и более 115–119/70–72 мм рт. ст. у девочек) или гипотензии (артериальное давление менее 90/50–55 мм рт. ст.) [10], цефалгии, головокружения, наличие в анамнезе нейрокардиогенных синкопальных состояний без признаков эпилептической активности (код R55 по МКБ-10). Критериями исключения из исследования явились: черепно-мозговые травмы и пароксизмальные состояния эпилептического генеза в анамнезе, патоморфологические изменения внутренних органов, эндокринные нарушения, нарушения ритма сердца и проводимости, задержка возрастного морфофункционального, полового и психического развития, употребление табака, злоупотребление алкоголем, острые инфекционные заболевания на момент исследования. Этапы исследования включали запись ЭКГ покоя в положении лежа; запись ЭЭГ с проведением функциональных проб и анализом безартефактных записей; нагрузочную пробу (НП) на велоэргометре с записью исходной ЭКГ, на первой минуте и в конце восстановительного периода (ВП) в положении сидя; запись ЭКГ после НП в положении лежа (на 8-й минуте после окончания педалирования). ЭКГ регистрировали при помощи электрокардиографа “Cardimax FX-7102” (“Fucuda Denshi”, Япония) с записью 12 отведений по 5 ЭКГ-комплексов в каждом [11]. ЭЭГ регистрировали в положении сидя с помощью электроэнцефалографа “Нейрон-спектр-4/ВМП” (“Нейрософт”, г. Иваново) и фиксацией 16 электродов по стандартной схеме “10–20” монополярно с референтным ушным электродом в полосе частот 1–35 Гц. Фоновая запись ЭЭГ регистрировалась в течение трех минут с последующим проведением функциональных проб: реакция активации на открытие-закрытие глаз; фотостимуляция с частотой 4–24 Гц; гипервентиляция в течение 5 мин. В безартефактных записях ЭЭГ оценивали показатели дельта- (1–3 Гц), тета- (4–7 Гц), альфа- (8–13 Гц) и бета1- (14–22 Гц) видов активности. В затылочных (O1, O2) и лобных (F3, F4) областях определяли доминирующую частоту в каждом частотном диапазоне, среднюю и максимальную амплитуду и процент времени записи, во время которого фиксировалась активность соответствующего частотного диапазона по отношению ко всему времени записи (индекс, %). Также определяли локальную, межполушарную амплитудную асимметрию (в %), степень выраженности реакции активации, элементы пароксизмальной активности (“пик-волна”, “острая-медленная волна”, билатерально-синхронные разряды дельта-, тета- активности амплитудой, превышающей основную активность более чем в 1.5 раза) и реакции следования ритмам при фотостимуляции [12]. В подгруппу с 1 типом ЭЭГ вошли подростки с организованной, модулированной альфа-активностью, с максимальной амплитудой от 40 до 110 мкВ, с частотой от 8 до 13 Гц, с четкими зональными ее различиями и выраженной реакцией активации, альфа-индексом более 50% и индексом тета-активности не более 30%. В подгруппу с диффузными изменениями биоэлектрической активности (2 тип) вошли подростки, у которых преобладала дезорганизованная или дизритмичная альфа-активность со сниженной амплитудой (менее 40 мкВ), сглаженным ее зональным распределением и сниженной реакцией активации, альфа-индексом менее 50%, индексом тета- и дельта-активности более 30%. В подгруппу с пароксизмальными феноменами ЭЭГ (3 тип) вошли подростки, у которых на фоне доминирующего ритма альфа-активности с правиль-

ным зональным распределением и нормальными частотно-амплитудными характеристиками регистрировались элементы пароксизмальной активности как в фоновой записи, так и при проведении проб с гипервентиляцией и фотостимуляцией. Под пароксизмальной активностью подразумевалась пароксизмальная неэпилептиформная активность, состоящая из медленных волн тета-, дельта-диапазона, проявляющаяся билатерально-синхронными разрядами, латерализованными разрядами, а также разрядами медленных волн в различных отделах полушарий головного мозга, амплитудой, превышающей фоновую активность, более, чем в 1.5 раза. Значения среднего возраста во всех группах были статистически идентичными. В контрольную группу вошли подростки с 1 типом ЭЭГ. Нагрузочная проба проводилась на стресс-системе с велоэргометром фирмы "Schiller" (Швейцария) с программным обеспечением по протоколу ступенчатого, непрерывно возрастающего теста с синхронным мониторингом 12 общепринятых отведений, с записью исходной ЭКГ, на первой минуте и в конце ВП в положении сидя. Начальная интенсивность нагрузки составляла 30 Вт с последующими уровнями нагрузки кратными первоначальной по 3 мин. Пробу прекращали либо при достижении субмаксимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС) – 75–80% от максимальной возрастной нормы, либо при появлении клинических или электрокардиографических показаний к ее завершению [11]. Оценивалась динамика абсолютных значений интервалов RR, PQ, QT, комплекса QRS, скорректированного интервала QT (QTc), ЧСС на каждом этапе записи ЭКГ. Показатель QTc рассчитывался с использованием формул Bazett ( $BQTc = QT/\sqrt{RR}$ ) и Fridericia ( $FQTc = QT/3\sqrt{RR}$ ) [13, 14]. Артериальное давление (АД) измеряли осциллометрическим методом до нагрузки, в конце каждой ступени нагрузки, в восстановительном периоде и при возвращении ЧСС к исходному уровню покоя – систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление [11]. Статистическую обработку данных проводили по программе Statistica 10.0 (StatSoft, USA) с использованием медианы (Me) и межквартильного размаха от 25 до 75% уровня (Q1; Q3), непараметрических критериев Вилкоксона для зависимых выборок и критерия Манна–Уитни для независимых выборок при уровне значимости  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У подростков с СВД (I группа,  $n = 89$ , средний возраст  $15.8 \pm 1.2$  лет) выявлены следующие типы организации ЭЭГ: организованный тип (1 тип ЭЭГ) – у 27 (30%) человек, из них 14 (52%) мальчиков и 13 (48%) девочек, тип с диффузными изменениями (2 тип ЭЭГ) – у 30 (34%) человек, из них 13 (43%) мальчиков и 17 (57%) девочек и самая большая группа – тип с пароксизмальными феноменами (3 тип ЭЭГ), который был выявлен у 32 (36%), из них 11 (34%) мальчиков и 21 (66%) девочка. Анализ распределения типов ЭЭГ выявил большую долю девочек (66%) с пароксизмальными изменениями ЭЭГ. Группу контроля (II группа) составили здоровые подростки с организованным типом ЭЭГ ( $n = 28$ ), средний возраст  $15.9 \pm 1.0$  лет, из них 14 (50%) мальчиков и 14 (50%) девочек.

При анализе значений ЭКГ в покое в положении лежа не было выявлено статистически значимых различий между группами ( $p > 0.05$ ).

Показатели значений исходной ЭКГ, на 1-й минуте отдыха и в конце ВП во время ВЭМ (положение сидя) представлены в табл. 1 и 2.

Как и в положении лёжа, в положении сидя исходные значения ЭКГ у лиц с различными типами организации ЭЭГ были идентичны. Однако на 1-й минуте ВП у девочек с СВД с пароксизмальными ЭЭГ феноменами (3 тип ЭЭГ) показатель BQTc был значимо выше, чем у девочек группы контроля ( $p < 0.05$ ). Также у девочек с 3 типом ЭЭГ был значимо больше показатель FQTc по сравнению с девочками с

**Таблица 1.** Динамика показателей ЭКГ у подростков во время ВЭМ на 1-й минуте восстановительного периода (положение сидя), Me (Q1; Q3)

Показатели	Группы							
	I						II	
	1 тип ЭЭГ (n = 27)		2 тип ЭЭГ (n = 30)		3 тип ЭЭГ (n = 32)		1 тип ЭЭГ (n = 28)	
	М (n = 14)	Д (n = 13)	М (n = 13)	Д (n = 17)	М (n = 11)	Д (n = 21)	М (n = 14)	Д (n = 14)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
PQ (1), мс	120 (118;128)	128 (122;137)	125 (113;126)	124 (112;132)	128 (121;146)	125 (112;136)	122 (120;136)	126 (122;132)
QRS (1), мс	90 (86;98)	81 (79;91)	87 (82;90)	80 (78;84)	86 (82;95)	80 (76;84)	94 (86;96)	82 (70;86)
QT (1), мс	332 (318;334)	324 (307;336)	318 (315;329)	324 (318;332)	327 (316;343)	325 (315;332)	326 (318;348)	324 (322;340)
BQTc (1), мс	411 (392;422)	391 (384;421)	399 (382;411)	395 (390;405)	389 (375;413)	407 (388;414)	391 (373;408)	404 (385;412)
FQTc (1), мс	380 (372;389)	367 (356;394)	371 (363;377)	371 (368;379)	367 (362;382)	376 (366;385)	375 (349;381)	374 (363;381)
ЧСС (1), уд/мин	89 (85;97)	90 (86;96)	95 (83;100)	87 (83;99)	92 (83;97)	94 (83;100)	91 (74;94)	85 (85;93)
PQ (2), мс	114** (108;118)	114* (100;123)	112* (107;120)	118* (110;134)	121* (109;131)	115** (101;132)	122 (108;130)	114* (114;132)
QRS (2), мс	80 (86;98)	84 (82;90)	91 (86;94)	80 (78;84)	83 (80;92)	80 (77;83)	90 (86;96)	86 (76;86)
QT (2), мс	254** (244;258)	251* (238;261)	260** (243;265)	266** (248;278)	264* (254;284)	260*** (252;276)	254*** (250;270)	256* (254;264)
BQTc (2), мс	367** (352;384)	368* (356;378)	366* (349;378)	370* (360;393)	382 (360;393)	384* $\Delta^{(7-9)}$ (373;403)	385** (343;373)	362* (345;363)
FQTc (2), мс	324** (317;336)	324* (313;332)	322** (314;331)	332** (319;349)	338 (326;346)	338*** $\Delta^{(3-7)}$ (332;351)	317*** (313;333)	320* (311;323)
ЧСС(2), уд/мин	128** (114;139)	129* (120;135)	128** (116;139)	124** (114;128)	132* (102;135)	132*** (118;143)	118*** (109;124)	121* (111;126)

Примечания. 1) PQ (1), QRS (1), QT (1), BQTc (1), FQTc (1), ЧСС (1) – исходные значения;  
 2) PQ (2), QRS (2), QT (2), BQTc (2), FQTc (2), ЧСС (2) – значения на 1-й минуте восстановительного периода;  
 3) BQTc – скорректированный интервал QT, рассчитанный с использованием формулы Bazett;  
 4) FQTc – скорректированный интервал QT, рассчитанный с использованием формулы Fridericia;  
 5) уровни статистической значимости различий между исходными значениями и на 1-й минуте отдыха, \* –  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ ; \*\*\* –  $p < 0.001$ ; 6) уровни статистической значимости между значениями у девочек разных подгрупп в столбцах,  $\Delta - p < 0.05$ .

СВД с 1 типом ЭЭГ ( $p < 0.05$ ). Во всех четырех подгруппах на пике НП отмечалось достижение субмаксимальной ЧСС, что является показателем информативности нагрузочной пробы [11], а также статистически значимое увеличение ЧСС и показателей артериального давления (САД и ДАД). Независимо от типа ЭЭГ динамические изменения АД на высоте НП у подростков с СВД и контрольной группы были статистически идентичными. В среднем на высоте НП САД повышалось от 110 до

**Таблица 2.** Динамика показателей ЭКГ у подростков во время ВЭМ в конце восстановительного периода (положение сидя), Me (Q1; Q3)

Показатели	Группы							
	I						II	
	1 тип ЭЭГ (n = 27)		2 тип ЭЭГ (n = 30)		3 тип ЭЭГ (n = 32)		1 тип ЭЭГ (n = 28)	
	М (n = 14)	Д (n = 13)	М (n = 13)	Д (n = 17)	М (n = 11)	Д (n = 21)	М (n = 14)	Д (n = 14)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
PQ (1), мс	120 (118;128)	128 (122;137)	125 (113;126)	124 (112;132)	128 (121;146)	125 (112;136)	122 (120;136)	126 (122;132)
QRS (1), мс	90 (86;98)	81 (79;91)	87 (82;90)	80 (78;84)	86 (82;95)	80 (76;84)	94 (86;96)	82 (70;86)
QT (1), мс	332 (318;334)	324 (307;336)	318 (315;329)	324 (318;332)	327 (316;343)	325 (315;332)	326 (318;348)	324 (322;340)
BQTc (1), мс	411 (392;422)	391 (384;421)	399 (382;411)	395 (390;405)	389 (375;413)	407 (388;414)	391 (373;408)	404 (385;412)
FQTc (1), мс	380 (372;389)	367 (356;394)	371 (363;377)	371 (368;379)	367 (362;382)	376 (366;385)	375 (349;381)	374 (363;381)
ЧСС (1), уд/мин	89 (85;97)	90 (86;96)	95 (83;100)	87 (83;99)	92 (83;97)	94 (83;100)	91 (74;94)	85 (85;93)
PQ (3), мс	118 (110;124)	129 <sup>#</sup> (119;137)	119 <sup>**#</sup> (113;130)	124 (112;130)	129 (119;134)	116* (101;135)	126 (108;134)	122 (116;134)
QRS (3), мс	88 (86;94)	83 <sup>#</sup> (81;89)	86 (81;88)	82 (80;84)	87 (82;93)	78 (77;82)	90 (88;96)	84 (78;84)
QT (3), мс	306 <sup>**##</sup> (302;316)	312 <sup>#</sup> (294;319)	310 <sup>**##</sup> (291;327)	318* <sup>##</sup> (302;322)	319 <sup>#</sup> (316;331)	310 <sup>**##</sup> (288;320)	320 <sup>**##</sup> (300;324)	320 <sup>#</sup> (318;320)
BQTc (3), мс	396 <sup>##</sup> (385;414)	406 <sup>#</sup> (386;412)	395 <sup>##</sup> (380;411)	402 <sup>#</sup> (387;413)	415* (403;422)	398 (373;405)	411 <sup>####</sup> (394;416)	410 <sup>#</sup> (394;423)
FQTc (3), мс	363 <sup>###</sup> (356;377)	371 <sup>#</sup> (353;378)	366 <sup>##</sup> (352;377)	368 <sup>##</sup> (359;380)	380 <sup>#</sup> (370;387)	364* <sup>#</sup> (342;373)	378 <sup>###</sup> (360;383)	370 <sup>#</sup> (369;385)
ЧСС (3), уд/мин	103 <sup>**##</sup> (99;109)	101 <sup>**#</sup> (100;105)	100 <sup>**##</sup> (99;107)	95 <sup>**##</sup> (94;100)	102 <sup>**#</sup> (98;105)	99 <sup>**##</sup> (91;102)	99 <sup>**##</sup> (97;105)	105 <sup>**#</sup> (89;109)
Длительность ВП, мин	7 (6;11)	6,5 (5,5;7)	5,5 (5;7,5)	5 (4;8)	7 (4,5;10)	5,5 (3;6,5)	4 (4;6)	4 (3;5)
Максимум ват	130 (130;130)	80 (80;110)	130 (100;130)	80 (60;80)	100 (90;145)	60Δ <sup>(3-7)</sup> (60;80)	130 (130;160)	100 (80;100)

- Примечания. 1) PQ (1), QRS (1), QT (1), BQTc (1), FQTc (1), ЧСС (1) – исходные значения;  
 2) PQ (3), QRS (3), QT (3), BQTc (3), FQTc (3), ЧСС (3) – значения в конце восстановительного периода;  
 3) ВП – восстановительный период;  
 4) уровни статистической значимости различий между исходными значениями и в конце восстановительного периода, \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ ;  
 5) уровни статистической значимости различий между значениями на 1-й минуте отдыха и в конце восстановительного периода, <sup>#</sup>  $p < 0.05$ ; <sup>##</sup>  $p < 0.01$ ; <sup>###</sup>  $p < 0.001$  (сравнительно с данными табл. 1);  
 6) уровни статистической значимости между значениями у девочек разных подгрупп в столбцах, Δ –  $p < 0.05$ .

164 мм рт. ст., а ДАД от 70 до 83 мм рт. ст. с приближением к исходным значениям в конце ВП.

Во всех группах на 1-й минуте ВП отмечалось значимое увеличение ЧСС и укорочение абсолютных значений PQ и QT ЭКГ-интервалов относительно исходных значений. Сокращение всех временных показателей ЭКГ на физическую нагрузку обусловлено симпатическими влияниями на ритм сердца, а также уровнем циркулирующих в плазме крови катехоламинов [15].

На 1-й минуте ВП наиболее значимое укорочение PQ сравнительно с исходным значением отмечалось в I группе с 3 типом ЭЭГ ( $p < 0.01$ ). При этом у 6 человек, преимущественно у девочек, зарегистрировано укорочение менее 120 мс. В I группе с 1 типом ЭЭГ у подростков также было укорочение интервала PQ, преимущественно у мальчиков. В конце ВП этот показатель удлинился и не отличался от фонового значения. В конце ВП у лиц с 1 типом ЭЭГ обеих групп (I и II) интервал PQ не отличался от исходных значений. Однако у девочек I группы с 3 типом ЭЭГ он остался укороченным ( $p < 0.05$ ). При этом у 5 из них данный интервал был менее нормативных значений (менее 120 мс). У мальчиков I группы со 2 типом ЭЭГ интервал PQ также остался укороченным ( $p < 0.01$ ), у 3 из них данный интервал был за пределами норматива. Формирование интервала PQ обусловлено временем проведения импульса по предсердиям и временем задержки импульса в атриовентрикулярном узле, что может быть следствием нарушений регуляции вегетативной нервной системы, электролитного баланса, нарушения клеточного метаболизма кардиомиоцитов. Выраженное укорочение интервала PQ отражает условия для возникновения внутрисердечного гемодинамического конфликта между предсердиями и желудочками во время их систолы, тем самым провоцируя возникновение угрожающих жизни нарушений ритма сердца [16].

На 1-й минуте ВП в большей степени у девочек I группы с 3 типом ЭЭГ и у мальчиков группы контроля зарегистрировано достоверное укорочение интервала FQTc сравнительно с исходным значением ЭКГ ( $p < 0.001$ ) в пределах нормативных значений. В конце ВП у мальчиков группы контроля регистрируется статистически значимое увеличение интервалов BQTc и FQTc сравнительно с 1-й минутой ВП ( $p < 0.001$ ) и в большей степени BQTc ( $p < 0.05$ ) сравнительно с исходными значениями. Это может быть расценено как вариант физиологической нормы реакции проводящей системы сердца. В большей степени увеличение ЧСС и укорочение абсолютного интервала QT на 1-й минуте ВП также было выявлено у девочек I группы с 3 типом ЭЭГ и у мальчиков II (контрольной) группы ( $p < 0.001$ ). У девочек I группы с 3 типом ЭЭГ в конце ВП не происходит возвращения интервала FQTc к исходному значению; данный интервал остается статистически укороченным сравнительно с фоновым значением ( $p < 0.05$ ). У мальчиков I группы с 3 типом ЭЭГ на 1-й минуте ВП не выявлено закономерного укорочения интервалов BQTc и FQTc по сравнению с исходными значениями. При этом в конце ВП, напротив, регистрировалось достоверное увеличение BQTc по сравнению с исходным значением ( $p < 0.05$ ), что может свидетельствовать о срыве адаптации процессов реполяризации к изменению ЧСС и приводить к развитию электрической нестабильности миокарда и появлению аритмий [13]. Реакция процессов реполяризации миокарда на физическую нагрузку у юных лиц, занимающихся спортом, и у нетренированных детей изучалась многими авторами. Наши результаты сопоставимы с результатами уже проведенных исследований [13, 14, 17]. Динамика интервала QTc на нагрузку у практически здоровых спортсменов и нетренированных детей была сходная: максимальные значения регистрировались в период вработывания, а минимальные — на пике нагрузки с возвращением к исходному уровню в раннем восстановительном периоде. По нашим данным у всех подростков за исключением мальчиков и девочек с СВД с пароксизмальными феноменами ЭЭГ динамика ин-

тервала QTc во время нагрузки была аналогичной, что свидетельствует об эффективной адаптации процессов реполяризации к интенсивным нагрузкам [13].

Толерантность к физической нагрузке по данным ВЭМ расценивалась как низкая при достижении пороговой мощности нагрузки 50 Вт, средняя – от 75 до 100 Вт и высокая – 125 Вт выше [11]. Полученные результаты показали, что в большей степени толерантность к физической нагрузке снижена у девочек с пароксизмальными ЭЭГ-феноменами (пороговая мощность нагрузки 60 Вт).

Анализ показателей ЭКГ на заключительном этапе исследования после ВЭМ (в положении лежа) показал, что у подростков как I, так и II групп с I типом ЭЭГ комплекс QRS, интервалы PQ и QT были идентичны значениям ЭКГ в покое. Во всех группах на заключительном этапе после ВЭМ не было выявлено значимой динамики интервала QTc по сравнению со значениями ЭКГ в покое в положении лежа. Однако интервал PQ у девочек I группы с 3 типом ЭЭГ после ВЭМ остался укороченным [121 (113; 139) против 128 (120; 145)] мс,  $p < 0.01$ , при этом у 8 из них – за пределами норматива (менее 120 мс). У девочек I группы со 2 типом ЭЭГ комплекс QRS был значимо короче, чем в фоне [89 (86; 94) против 92 (88; 96)] мс,  $p < 0.05$ , а у мальчиков этой же группы и типа ЭЭГ сохранились укороченными абсолютные значения интервала QT [336 (322; 371) против 348 (337; 387)] мс,  $p < 0.01$ .

В настоящее время в мире сохраняется интерес к электрографическим феноменам активности головного мозга, не связанных напрямую с эпилептогенезом. Анализ литературы показал, что на ЭЭГ отражаются неэпилептические пароксизмальные расстройства сознания [18]. При этом неспецифические изменения электроэнцефалограммы включают дезорганизованный альфа-ритм, заостренные и медленные колебания с амплитудой в границах варианта нормы. Также на ЭЭГ можно выявить признаки “пароксизмального мозга”, а именно: повышение общей мощности спонтанной ЭЭГ с сохранением правильных зональных различий, увеличение спектра тета-активности с доминированием в правом полушарии, наличие фокальных, генерализованных и билатерально-синхронных разрядов [19]. Наличие десинхронного типа ЭЭГ свидетельствует о высокой активности восходящих активирующих влияний ретикулярных структур на кору головного мозга [20]. Можно предположить, что длительное сохранение после физической нагрузки частотно-зависимого укорочения интервала QT и комплекса QRS у лиц с десинхронным типом ЭЭГ отражает состояние электрической нестабильности миокарда и, как следствие, риск нарушения сердечного ритма и гемодинамики. Установлено, что нейрональная активность определенных мозговых структур определяет автономную регуляцию сердечно-сосудистой системы. Например, активация симпатической нервной системы может происходить из-за изменения функционирования определенных структур головного мозга, в частности, за счет островка (*insula Reili*) [21]. При этом обнаруживается асимметрия кардиоваскулярных эффектов: симпатические обусловлены правосторонней, а парасимпатические левосторонней доминантой мозговой активности [22]. Есть сведения, что вегетативные стимулы правого полушария оказывают ведущее влияние на синоатриальный узел; стимуляция или подавление функции правой части продолговатого мозга и гипоталамуса отражаются в большей степени на эктопической активности сердца [23]. Поэтому очевидно полагать, что у лиц с вегетативными нарушениями и пароксизмальными изменениями ЭЭГ дисфункция нейронов в центрах, ответственных за вегетативную регуляцию сердечной деятельности, взаимосвязана с нарушением биоэлектrogenеза миокарда.

Таким образом, выявлены половые различия реактивности проводящей системы сердца в условиях велоэргометрии в зависимости от типов организации ЭЭГ. Независимо от наличия СВД у подростков с организованным типом ЭЭГ значения ЭКГ на этапах после ВЭМ минимально отличались от фоновых значений. У девочек с

СВД и пароксизмальными феноменами ЭЭГ выявлена наименьшая толерантность к физической нагрузке. У девочек с подобными изменениями ЭЭГ в большей степени сохранялось укорочение интервалов PQ, QT и QTc относительно исходных значений в восстановительном периоде ВЭМ, а также укорочение интервала PQ в период отдыха после ВЭМ. У мальчиков с СВД наиболее характерные изменения были у лиц как с диффузными, так и с пароксизмальными изменениями ЭЭГ. У мальчиков с диффузными изменениями ЭЭГ выявлено укорочение интервала PQ в конце восстановительного периода ВЭМ относительно исходных значений, а также укорочение абсолютных значений интервала QT в период отдыха после ВЭМ. У мальчиков с пароксизмальными феноменами ЭЭГ отсутствовало должное укорочение QTc на 1-й минуте ВП, а в конце восстановительного периода регистрировалось достоверное увеличение QTc по сравнению с исходными значениями в пределах нормальных значений. Результаты исследования показали, что подростки с диффузными и особенно с пароксизмальными изменениями биоэлектрической активности головного мозга следует относить к группе повышенного риска нарушений функции проводящей системы сердца в условиях физической нагрузки. Не умаляя значимости собственных находок, целесообразным является проведение дальнейших проспективных исследований на большей выборке пациентов для разработки практических рекомендаций адекватных индивидуальных программ физических нагрузок для подростков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Osteraas N.D., Lee V.H.* Neurocardiology. Handb. Clin. Neurol. 140: 49–65. 2017.
2. *Акарачкова Е.С., Вершинина С.В.* Синдром вегетативной дистонии у современных детей и подростков. Педиатрия. Журн. им. Г.Н. Сперанского. 90(6): 129–136. 2011. [*Akarachkova E.S., Vershinina S.V.* The syndrome of vegetative dystonia in modern children and adolescents. Pediatrics. J. named after G.N. Speransky. 90(6): 129–136. 2011. (In Russ.)].
3. *Fant C., Cohen A.* Syncope in pediatric patients: a practical approach to differential diagnosis and management in the emergency department. *Pediatr. Emerg. Med. Pract.* 14(4): 1–28. 2017.
4. *Адаева А.М., Уралиева Ч.К., Кононец И.Е.* Функциональное состояние дыхательной и сердечно-сосудистой систем здоровых подростков. Вестник КГМА им. И.К. Ахунбаева. 3: 89–93. 2013. [*Adaeva A.M., Uralieva Ch.K., Kononets I.E.* The functional state of the respiratory and cardiovascular systems of healthy adolescents. *Vestnic K SMA named after I.K. Akhunbaev.* 3: 89–93. 2013. (In Russ.)].
5. *Шарапов А.Н., Сельверова Н.В., Рублева Л.В., Кмит Г.В., Догадкина С.Б., Безобразова В.Н., Ермакова И.В.* Функциональное состояние сердечно-сосудистой и нейроэндокринной систем у подростков 14–15-летнего возраста. Новые исследования. 4(53): 88–110. 2017. [*Sharapov A.N., Selverova N.B., Rubleva L.V., Kmit G.V., Dogadkina S.B., Bezobrazova V.N., Ermakova I.V.* Functional state of cardiovascular and neuroendocrine systems in 14–15-year-old adolescents. *New res.* 4(53): 88–110. 2017. (In Russ.)].
6. *Поскотнинова Л.В., Дёмин Д.Б., Кривоногова Е.В.* Соотношение показателей variability сердечного ритма и эндокринного статуса у подростков на севере в процессе полового созревания. Экология человека. 7: 27–32. 2009. [*Poskotinova L.V., Dyomin D.B., Krivonogova E.V.* Correlation of heart rate variability and endocrine parameters at adolescence during puberty formation in the north. *Human Ecology J.* 7: 27–32. 2009. (In Russ.)].
7. *Coskun V., Lombardo D.M.* Studying the pathophysiologic connection between cardiovascular and nervous systems using stem cells. *J. Neurosci. Res.* 94(12): 1499–1510. 2016.
8. *Pfurtscheller G., Schwerdtfeger A.R., Seither-Preisler A., Brunner C., Aigner C.S., Brito J., Carmo M.P., Andrade A.* Brain–heart communication: Evidence for “central pacemaker” oscillations with a dominant frequency at 0.1 Hz in the cingulum. *Clin. Neurophysiol.* 128(1): 183–193. 2017.
9. *Massey S.L., Wise M.S., Madan N., Carvalho K., Khurana D., Legido A., Valencia L.* Comparison of corrected QT interval as measured on electroencephalography versus 12-lead electrocardiography in children with a history of syncope. *J. Child Neurol.* 26(11): 1401–1404. 2011.
10. *Голубев В.Л.* Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение. М. Мед. информ. агентство. 2010. [*Golubev V.L.* Vegetativnye rasstroistva: klinika, diagnostika, lechenie [Vegetative disorders: clinic, diagnosis, treatment]. Moscow. Med. Inform. Agency. 2010].
11. *Аронов Д.М., Лупанов В.П.* Функциональные пробы в кардиологии. 2-е издание. М. МЕДпресс-информ. 2003. [*Aronov D.M., Lupanov V.P.* Funktsional’nye proby v kardiologii. 2-e izdanie [Functional tests in cardiology. 2nd edition]. Moscow. MEDpress- inform. 2003].

12. *Зенков Л.Р., Ронкин М.А.* Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей. 3-е издание. М. МЕДпресс-информ. 2004. [*Zenkov L.R., Ronkin M.A.* Funktsional'naya diagnostika nervnykh bolezney: rukovodstvo dlya vrachey. 3-e izdanie [Functional diagnosis of nervous diseases: guidance for physicians. 3rd edition]. Moscow. MEDpress-inform. 2004].
13. *Балыкова Л.А., Макаров Л.М., Горбунова И.А., Комолятова В.Н., Широкова Ф.Ф., Тишина А.М.* Реакция процессов реполяризации миокарда на физическую нагрузку у юных спортсменов. Практическая медицина. 6(82): 72–78. 2014. [*Balykova L.A., Makarov L.M., Gorbunova I.A., Komolyatova V.N., Shirokova A.A., Tishina A.M.* Response of myocardial repolarization processes to physical exercise in young athletes. Practical medicine. 6(82): 72–78. 2014. (In Russ.)].
14. *Макаров Л.М., Балыкова Л.А., Горбунова И.А., Комолятова В.Н.* Изменения интервала QT в процессе пробы с дозированной физической нагрузкой у здоровых подростков 11–15 лет. Кардиология. 52(9): 15–21. 2012. [*Makarov L.M., Balykova L.A., Gorbunova I.A., Komolyatova V.N.* Changes of QT interval during graded exercise test in healthy adolescents aged 11–15 years. Cardiology. 52(9): 15–21. 2012. (In Russ.)].
15. *Бурда И.Ю., Лысенко Н.В., Яблчанский М.И.* Значение продолжительности комплекса QRS ЭКГ в клиническом течении и исходах сердечно-сосудистых заболеваний. Вестник Харьковского национ. университета им. В.Н. Каразина. Серия Медицина. 17(855): 73–81. 2009. [*Burda I.Yu., Lysenko N.V., Jabluchanskiy M.I.* Importance of QRS complex duration in the clinical course and outcomes of cardiovascular diseases. J. V.N. Karazin Kharkiv National University, series Medicine. 17(855): 73–81. 2009. (In Russ.)].
16. *Воробьев Л.В.* Лечебно-профилактические мероприятия в коррекции укороченного интервала PQ и нарушения работы АВ соединения. Успехи современного естествознания. 12: 9–13. 2014. [*Vorobiov L.V.* Medical preventive measures in correction shortening of PQ interval and operation of the AV connection. Advances in current natural sciences. 12: 9–13. 2014. (In Russ.)].
17. *Макаров Л.М., Балыкова Л.А., Горбунова И.А., Комолятова В.Н.* Динамика показателей реполяризации в процессе велоэргометрической пробы у здоровых подростков в возрасте 11–15 лет. Вопр. диагностики и педиатрии. 6(3): 27–32. 2011. [*Makarov L.M., Balykova L.A., Gorbunova I.A., Komolyatova V.N.* Dynamics of repolarization parameters in healthy adolescents aged 11–15 years during veloergometry 1 experience and reasons. Pediatric diagnostics. 6(3): 27–32. 2011. (In Russ.)].
18. *Гузева О.В., Гузева В.И., Гузева В.В.* Неэпилептические пароксизмальные расстройства сознания у детей. Клинико-электрофизиологические сопоставления. Вестник Санкт-Петербургской гос. мед. акад. им. И.И. Мечникова. 3(32): 46–49. 2009. [*Guzeva O.V., Guzeva V.I., Guzeva V.V.* Nonepileptical paroxysmal disorders of consciousness in children. Clinical-electrophysiological comparisons. Herald the of Mechnikov Saint-Petersburg State Med. Acad. 3(32): 46–49. 2009. (In Russ.)].
19. *Карлов В.А.* Пароксизмальный мозг. Журн. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 3: 4–9. 2010. [*Karlov V.A.* The paroxysmal brain. S.S. Korsakov J. Neurology and Psychiatry. 3: 4–9. 2010. (In Russ.)].
20. *Ерофеев Н.П.* Физиология центральной нервной системы. СПб. СпецЛит. 2014. [*Erofeev N.P.* Fiziologiya tsentral'noy nervnoy sistemy [Physiology of the central nervous system]. St. Petersburg. SpetsLit. 2014].
21. *Svigelj V., Grad A., Tekavcic I.* Cardiac arrhythmia associated with reversible damage to insula in a patient with subarachnoid hemorrhage. Stroke. 25: 1053–1055. 1994.
22. *Oppenheimer S.M., Gelb A., Girvin J.P., Hachinski V.C.* Cardiovascular effects of human insular cortex stimulation. Neurology. 42: 1727–1732. 1992.
23. *Лиманкина И. Н.* Цереброкardiaльный синдром. Вестник аритмологии. 58: 26–34. 2009. [*Limankina I.N.* Cerebrocardial syndrome. J. Arrhythmology. 58: 26–34. 2009. (In Russ.)].

### Sex Differences in the Cardiac Conduction System Reactions in Adolescents with Different EEG–Types during a Bicycle Ergometry Test

N. A. Yarygina<sup>a,\*</sup>, L. V. Poskotinova<sup>b</sup>, E. A. Sosnina<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Semashko Northern Medical Clinical Center FMBA, Arkhangelsk, Russia*

<sup>b</sup>*Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Science, Arkhangelsk, Russia*

\*e-mail: yardar@mail.ru

**Abstract**—The aim of the study was to evaluate the dependence of the cardiac conduction system on the electroencephalogram (EEG) type during a bicycle ergometry test

(BET) in adolescents 15–17 years of age. 89 boys and girls with autonomic dysfunction syndrome (ADS) and 28 healthy adolescents 15–17 years old were examined. Stages of the study included the baseline EEG and electrocardiogram (ECG), BET, ECG after BET in the rest period. The most pronounced shortening of the ECG-intervals PQ, QT, and QTc in the rest period after BET regarding the baseline values, shortening of the PQ interval during the rest period after BET were revealed in girls with ADS and paroxysmal EEG phenomena. Shortening of the PQ ECG-interval at the end of the rest period after BET regarding the baseline values were revealed in boys with ADS and diffuse EEG-changes, desynchronous alpha-rhythm EEG. There was no shortening of the QTc ECG-interval in the first minute of the rest period after BET regarding the baseline values in boys with ADS and paroxysmal EEG phenomena. But at the same time, the increase in the QTc interval at the end of the rest period after BET were revealed in boys of the same group. It is concluded that adolescents with ADS, diffuse EEG-changes, paroxysmal EEG phenomena have a high risk of bioelectric heart disturbances during physical activity.

*Keywords:* adolescents, autonomic dysfunction syndrome, electrocardiogram, electroencephalogram, bicycle ergometry test

#### ЦИТИРОВАТЬ:

Ярыгина Н.А., Поскотинова Л.В., Соснина Е.А. Половые аспекты реактивности проводящей системы сердца у подростков во время велоэргометрии в зависимости от типа организации электроэнцефалограммы. *Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова*. 105(3): 375–385.

DOI: 10.1134/S0869813919030105

#### TO CITE THIS ARTICLE:

Yarygina N.A., Poskotinova L.V., Sosnina E.A. Sex Differences in the Cardiac Conduction System Reactions in Adolescents with Different EEG–Types during a Bicycle Ergometry Test. *Russian Journal of Physiology*. 105(3): 375–385.

DOI: 10.1134/S0869813919030105