

УДК 612.172.2:612.822.8:796.8

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРТОСТАТИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ У ПОДРОСТКОВ ПО ДАННЫМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

**И.И. Макарова, Ю.П. Игнатова, А.В. Аксёнова,
Н.А. Беличенко, К.А. Страхов, Д.И. Тишина**
Тверской государственной медицинский университет, Тверь

Представлены результаты исследования вегетативной регуляции у юных спортсменов (n=41), занимающихся дзюдо, основанные на анализе спектральных характеристик variability сердечного ритма в покое и при проведении ортостатической пробы. Нами выделены 2 группы обследуемых лиц с умеренным и выраженным парасимпатическим преобладанием автономной регуляции сердечным ритмом в покое. По данным спектрального анализа выявлено более глубокое несовершенство регуляторных механизмов в группе с выраженным парасимпатическим преобладанием автономной регуляции сердечным ритмом. Установлено, что при проведении ортостатической нагрузки снижается вагусная активность и увеличивается централизация управления сердечным ритмом. Степень активации различных уровней управления сердечным ритмом при ортостатической нагрузке определяется типом регуляции сердечного ритма в покое.

Ключевые слова: юные спортсмены, дзюдо, тип регуляции сердечного ритма, ортостатическая проба.

DOI: 10.26456/vtbio88

Введение. Современная прикладная физиология и медицина изучают различные функциональные состояния организма под воздействием факторов эндо- и экзогенной природы.

Широко используемый анализ variability сердечного ритма (ВСР), структуры волновых колебаний ритма сердца, устойчивости системы регуляции, состояния барорефлекторной регуляции позволяют оценить текущее функциональное состояние организма, состояние системы нейрогуморальной регуляции, вероятность развития заболевания (т.е. оценить риск), дать прогноз течения заболевания (Кушнир, Антонова, 2007; Михайлов, 2017). Особенностью данного метода является высокая чувствительность к внешним и внутренним воздействиям и неспецифичность по отношению к различным нозологическим формам (Михайлов, 2017; Власенко и др., 2017; Игнатова и др., 2018). Данная методология

исследования процессов регуляции физиологических функций рассматривает сердечно-сосудистую систему как индикатор адаптационных реакций организма.

Основной задачей механизмов вегетативной регуляции, которые играют ведущую роль к приспособлению организма к постоянного меняющимся факторам окружающей среды, является обеспечение оптимальной адаптации при минимальном напряжении регуляторных систем (Баевский, Берсенева, 2008; Шлык, 2009). Оценка состояния здоровья должна проводится не только в состоянии покоя, но и с точки зрения оценки функциональных резервов, т.е. по величине адаптивных возможностей организма человека (Агаджанян, Баевский, Берсенева, 2006).

Имеются многочисленные работы (Шпак, 2002; Баевский, Берсенева, 2008; Черемных и др., 2008; Сабирьянов, Сабирьянова, 2011; Михайлов, 2017), в которых приводятся сведения о значении спектральных характеристик сердечного ритма в оценке функциональных особенностей контуров вегетативной регуляции и их взаимодействие у взрослого населения. Гораздо меньше исследований проводится по изучению особенностей вегетативной регуляции у практически здоровых детей с целью оценки уровня здоровья (Шлык, 2009; Кушнир и др., 2012; Макарова и др., 2012; Яковлева, Шангареева, 2015).

Метод спектрального анализа, являющийся методом анализа в частотной области, основывается на физическом преобразовании колебаний кардиоритма на простые гармонические колебания с различной частотой (Михайлов, 2017). Спектральный анализ позволяет количественно оценить различные компоненты колебаний ритма сердца и дать представление об активности всех звеньев регуляторного механизма (Баевский, Берсенева, 2008; Кудря, 2010; Kaufman et al., 2007; Papadakis et al., 2012.).

Цель настоящего исследования: изучение особенностей ортостатической реакции у юных спортсменов дзюдоистов Тверского региона с учетом преобладающего типа вегетативной регуляции по данным спектрального анализа ВСР.

Методика. Все исследования проводили в покое «лежа» (фоновая проба) и ортостатическом тестировании, что позволяет дать оценку функционального состояния организма и его адаптивных возможностей.

В обследовании принимали участие группа юных спортсменов «ГБУ Тверской области Спортивная школа Олимпийского резерва по видам единоборств» в возрасте 11-13 лет (n=41) в начале тренировочного цикла. Следует отметить, что все обследуемые являлись коренными жителями Тверского региона. От родителей были

получены добровольные письменные согласия на предстоящее обследование, которое проводили через 1,5-2 часа после приема пищи с 9 до 11 часов утра в декабре 2017 г при температуре в лаборатории +20-22 С⁰. В момент обследования были устранены все помехи, которые могли привести к эмоциональному возбуждению. При записи просили обследуемых не делать глубоких вдохов и выдохов, не кашлять и не сглатывать слюну.

Вариабельность сердечного ритма регистрировалась и анализировалась в соответствии с рекомендациями стандарта «Вариабельность ритма сердца. Стандарт измерения, физиологической интерпретации и клинического использования», принятого в 1996 году группой экспертов Европейского кардиологического общества и Североамериканского общества электростимуляции и электрофизиологии (Task Force of..., 1996; Михайлов, 2017).

Регистрацию ЭКГ-сигнала осуществляли после 15 минутного отдыха лежа на кушетке (для стабилизации параметров кровообращения). Запись проводили во II стандартном отведении в положении лежа на спине через 1 минуту после подключения – фоновая проба (не менее 500 циклов) и в положении стоя (6 минут).

Использовали комплект оборудования для анализа variability ритма сердца «Поли-Спектр-Ритм» ООО «Нейрософт» (г. Иваново, Россия).

Проведена оценка функционального состояния регуляторных систем организма обследуемых по данным SI и VLF показателей и определение принадлежности детей к одному из 4-х типов вегетативной регуляции (Шлык, 2009): I и II типы – умеренное и выраженное преобладание центральной регуляции (УПЦР и ВПЦР), III и IV типы – умеренное и выраженное преобладание автономной регуляции (УПАР и ВПАР).

Был проведен анализ следующих показателей ВСР: TP (мс²) – суммарная мощность спектра и ее составляющие: HF, мс² (0,4-0,15 Гц) и LF, мс² (0,15-0,04 Гц) – мощности высокочастотных и низкочастотных вол, которые отражают парасимпатическую и симпатическую активность соответственно. Показатель очень низкой частоты – VLF, мс² (0,04-0,015 Гц) определяется как энергометаболический компонент в оценке исходного вегетативного контура регуляции, и как степень адаптации в реакции на ортостаз (Флейшман, 1999; Макарова, Кушнир, Стручкова, Усова, 2012).

Для статистического анализа полученных данных использовали программу «Statistica 6.1». Описательная статистика признаков включала: среднее арифметическое (M), стандартную ошибку среднего арифметического (m). Применялись непараметрические методы сравнения групп. Для достоверности различий использовали

критерий Манна-Уитни. За критический уровень значимости различий принято значение $p \leq 0,05$

Результаты и обсуждение. При проведении оценки функционального состояния регуляторных систем организма группы юных спортсменов по данным SI и VLF показателей и определение принадлежности детей к одному из 4-х типов вегетативной регуляции установлено, что к I и II типам вегетативной регуляции относятся лишь 3 обследуемых: соответственно 2 спортсмена с УПЦР и 1 - с ВПЦР. В связи с малой выборкой обследуемых с УПЦР и ВПЦР дальнейший анализ показателей состояния регуляторных систем организма юных дзюдоистов проводили с теми обследуемыми, которые имели 3 (УПАР) и 4 (ВПАР) типы вегетативной регуляции.

Данные спектрограммы обследуемых спортсменов представлены в таблице 1. Умеренно высокие абсолютные средние значения показателей спектральной характеристики степени напряженности регуляторных систем суммарная мощность спектра (TP), высокочастотный (HF) и низкочастотный (LF) компоненты у юных спортсменов дзюдоистов в группе с УПАР фоновой пробы («лежа») находились на уровне $4384,57 \pm 1716,52 \text{ мс}^2$, $1962,08 \pm 807,03 \text{ мс}^2$ и $1376,50 \pm 610,30 \text{ мс}^2$ соответственно. Среднее значение показателя, отражающего энерго-метаболическое обеспечение регуляторных механизмов (VLF), составило $1045,98 \pm 338,68 \text{ мс}^2$.

Весьма важным является анализ вклада рассматриваемых волновых компонентов в структуру суммарной мощности спектра. Было установлено, что относительная доля HF ($39,11 \pm 2,60\%$), отражающая мощности дыхательных волн сердечного ритма в относительных (% от суммарной мощности спектра) величинах, незначительно преобладала над вкладом волн LF ($34,95 \pm 3,43\%$), которые характеризуют состояние системы регуляции сосудистого тонуса и барорефлекторных процессор. Однако, доля HF был значимо выше доли VLF ($25,94 \pm 2,47\%$, $p=0,027484$), которые являются индикатором управления процессами метаболизма и хорошо отражают энергодефицитное состояние (Флейшман, 1999). Значимо большие значения имеют значения и волн LF по отношению к VLF ($p=0,000967$). Следует заметить, что доля волн VLF превысила 15%, что соответствует норме (15-35%, Шпак, 2002). Умеренное преобладание парасимпатической активности автономного контура вегетативной регуляции подтверждается умеренным значением стресс-индекса SI ($41,27 \pm 2,89 \text{ у.е.}$) в данной группе обследуемых спортсменов.

Таблица 1

Показатели ВНС-спектрографии у юных дзюдоистов с УППА и ВППА в фоновой и ортостатической пробе (M±m)

Показатели, ед.	Тип вегетативной регуляции			
	УППА (n=20)		ВППА (n=18)	
	фоновая проба	ортостаз	фоновая проба	ортостаз
TP, мс ²	4384,57±1716,52	755,02±218,88*	15586,79±6872,24	3663,00±2137,87*
HF, мс ²	1962,08±807,03	221,24±67,09*	8295,91±4223,56	1204,16±797,95*
LF, мс ²	1376,50±610,30	302,71±92,19*	5753,74±2543,07	1583,10±916,85*
VLF, мс ²	1045,98±338,68	231,07±71,18*	1537,12±367,93	875,76±448,11*
HF, %	39,11±2,60◆	20,16±2,80◆	37,55±5,96	24,66±3,03◆
LF, %	34,95±3,43●	38,59±2,01◆●	33,82±3,27	39,73±2,76◆
VLF, %	25,94±2,47◆●	36,26±3,16*●	28,64±4,45	35,59±3,81
SI, у.е.	41,27±2,89	137,30±20,71*	15,91±1,22	119,95±21,96*

Примечание. * - значимые различия между фоновыми показателями и при ортостазе внутри групп с УППА и ВППА, p≤0,05. ◆, ● - значимые различия между фоновыми показателями внутри группы с УППА и при ортостазе внутри групп с УППА и ВППА, p≤0,05

В группе с ВППА в фоновой пробе выявлены наибольшие значения суммарной мощности спектра (TP), его высокочастотного (HF) и низкочастотного (LF) волновых компонентов. По мнению некоторых исследователей (Грачева, Баевского, Иванова, 2007; Шлык, 2009; Михайлова, 2017) общая мощность спектра отражает суммарную активность вегетативного воздействия на ритм сердца, а именно: активация вагуса приводит к увеличению TP, а повышение активности симпатической нервной системы – к обратному явлению. Так, среднее значение суммарной мощности спектра (TP) составила 15586,79±6872,24 мс², его высокочастотный (HF) и низкочастотный (LF) компоненты имели средние значения 8295,91±4223,56 мс² и 5753,74±2543,07 мс² соответственно. Полученные данные несколько выше значений, представленных Шлык (2009). Выявленные у обследованных данной группы спортсменов высокие значения TP, HF и LF могут отражать несовершенство регуляторных механизмов.

Относительная доля компонентов суммарной мощности спектра HF, LF и VLF соответствовала 37,55±5,96%, 33,82±3,27% и 28,64±4,45%.

Характерные типы спектра в фоновой пробе в группах обследуемых лиц аналогичны, а именно: HF>LF>VLF (УППА - 39:34:25% и ВППА - 37:33:28%). Среднее значение стресс-индекса составило 15,91±1,22 у.е. Низкие значения SI и большие значения TP позволили отнести обследуемых к 4 типу регуляции сердечного ритма - ВППА (Шлык, 2009).

Для исследования вегетативной реактивности в обследуемых группах юных спортсменов нами была использована ортостатическая проба. Данная проба является методом, позволяющим выявить

скрытые изменения со стороны сердечно-сосудистой системы, в частности, со стороны механизмов вегетативной регуляции (Баевский, Берсенева, 2008).

Результаты, полученные при выполнении ортостатической пробы в группе обследуемых юных спортсменов с УПАР, наглядно показали значимое ($p \leq 0,05$) уменьшение суммарной мощности спектра и его волновых компонентов. Так, TP снижалась более чем в 5,8 раз ($p=0,002821$), HF - в 8,9 раз ($p=0,001163$), LF – в 4,6 ($p=0,003185$) и VLF – в 4,5 ($p=0,006425$). Полученные нами результаты согласуются с данными Шлык (2009) в том, что оптимальной реакцией на ортостаз является снижение мощности HF в большей степени, чем мощность вазомоторных волн LF. Относительная доля HF также снизилась на 50% ($p=0,002462$), VLF – повысилась на 40% ($p=0,011129$), а в спектре LF – наблюдалась лишь тенденция к увеличению.

Нами установлены значимые различия между относительными средними значениями LF и HF ($p=0,001702$), а также VLF и HF ($p=0,013321$).

Стресс-индекс SI при выполнении ортостатической нагрузки обследуемыми с 3 типом регуляции сердечного ритма значимо увеличился ($p \leq 0,05$) более чем в 3 раза ($p=0,000449$).

Таким образом, в группе обследуемых спортсменов с УПАР отмечено нарастание относительной симпатикотонии. На фоне снижения активности автономного контура вегетативной регуляции выявлены процессы увеличения централизации управления сердечной деятельности, а именно: значимый прирост мощности волн в диапазоне VLF и SI.

В результате выполнения ортостатической пробы обследуемыми с ВПАР также отмечено значимое снижение ($p \leq 0,05$) средних значений спектрально-волновых показателей ритма сердца: TP - в 4,3 раза ($p=0,013871$), HF- в 6,9 раза ($p=0,0024908$), LF- в 3,7 раза ($p=0,024908$), в VLF- в 2,8 раза ($p=0,002478$). Мощность волн HF среди обследуемых с ВПАР также снизилась в большей степени, чем мощность волн LF, что наблюдалось и среди обследуемых с УПАР. При анализе относительной доли каждого из волновых составляющих суммарной мощности спектра выявлена лишь тенденция к уменьшению HF и возрастанию LFi VLF. Значимые различия средних относительных значений установлены между LFi HF ($p=0,001735$).

Среднее значение стресс-индекса SI при выполнении ортостатической пробы увеличилось в 7,9 раза ($p=0,000455$), что также демонстрирует увеличение централизации управления сердечной деятельности.

При сравнительном анализе изменения стресс-индекса в обследуемых группах оказалось, что SI у обследуемых лиц с ВПАР изменился в большей степени по отношению к фоновому значению.

В результате ортостатического тестирования изменилась и структура спектра по отношению к структуре фоновой пробы: в группах с УПАР и ВПАР типы спектральной мощности представлены в виде LF>VLF>HF (39:36:20% и 39:35:24%). Относительная доля мощности спектра в диапазоне HF, связанная преимущественно с дыхательными движениями и отражающая вагусный контроль сердечного ритма (модулирующее влияние парасимпатического отдела ВНС) уменьшилась, а колебания сердечного ритма в диапазоне LF, обусловленные барорефлекторными влияниями, вызывающими изменение АД и реализуемые преимущественно через изменения тонуса симпатического отдела ВНС, а также эфферентными влияниями церебральных эрготропных структур, увеличились. Более того, при ортостатической нагрузке отмечено увеличение относительной доли мощности спектра в диапазоне VLF среди юных дзюдоистов как с 3, так и 4 типами регуляции сердечного ритма, что указывает на повышение степени связи центрального и автономного контуров.

Заключение. 1. Полученные нами данные позволяют полагать о большем несовершенстве регуляторных механизмов сердечного ритма в группе обследуемых юных дзюдоистов с ВПАР, чем с УПАР, что подтверждают высокие значения общей суммарной мощности спектра и ее низко- и высокочастотные составляющие в состоянии покоя.

2. При ортостатическом тестировании мощность волн HF среди обследуемых с ВПАР также снизилась в большей степени, чем мощность волн LF, что наблюдалось и среди обследуемых с УПАР. Данный факт подтверждает снижение вагусной активности, которая является основной составляющей HF – части спектра сердечного ритма.

3. Отмечено увеличение SI при ортостатическом тестировании в обеих обследуемых группах, что также демонстрирует увеличение централизации управления сердечной деятельностью. Однако, в группе обследуемых с ВПАР степень изменения данного показателя более выражена, чем с УПАР.

4. Учитывая, что VLF отражают степень активации церебральных подкорковых структур, ответственных за адаптацию, снижение их мощности на фоне увеличения доли при ортостатической нагрузке свидетельствует об изменении адаптационных механизмов у юных спортсменов. Степень активации различных уровней управления сердечным ритмом при нагрузке определяется типом регуляции сердечного ритма в покое.

Список литературы

- Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева А.П.* 2006. Проблемы адаптации и учение о здоровье. М.: Изд-во РУДН. 284 с.
- Баевский Р.М., Берсенева А.П.* 2008. Введение в донозологическую диагностику. М.: Изд-во Слово. 220 с.
- Власенко Н.Ю., Макарова И.И., Беличенко Н.А.* 2017. Исследование показателей variability сердечного ритма и особенностей синдрома эмоционального выгорания у пожарных-спасателей // Ульяновский медико-биологический журнал. № 3. С. 165-172.
- Грачев С.В., Баевский Р.М., Иванов Г.Г.* 2007. Новые методы электрокардиографии. М.: Изд-во Техносфера. С. 473-496.
- Игнатова Ю.П., Макарова И.И., Аксёнова А.В.* 2018. Психофизиологические и некоторые функциональные маркеры умственной нагрузки у юношей // Физиология человека. Т. 44. № 4. С. 26-31.
- Кудря О.Н.* 2010. Вегетативное обеспечение сердечно-сосудистой системы при ортостатическом тестировании спортсменов // Бюллетень сибирской медицины. №3. С. 75-81
- Кушнир С.М., Антонова Л.К.* 2007. Вегетативная дисфункция и вегетативная дистония. Тверь: ИП Орлова З.П. 214 с.
- Кушнир С. М., Макарова И.И., Стручкова И.В., Антонова Л.К.* 2012. Состояние вегетативной регуляции сердечного ритма у здоровых детей в различные периоды детства // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. Вып. 18. С. 161-165.
- Макарова И.И., Кушнир С. М., Стручкова И.В., Усова Е. В.* Состояние вегетативной регуляции сердечного ритма у здоровых детей школьного возраста // Вестн.ТвГУ. Сер. Биология и экология. Вып. №27. С.21-27.
- Михайлов В.М.* 2017. Variability сердечного ритма (новый взгляд на старую парадигму). Иваново: Изд-во ООО Нейрософт. 516 с.
- Сабирьянов А.Р., Сабирьянова Е.С.* 2011. Особенности частотно-временных характеристик variability ритма сердца у женщин в возрастных группах от 8 к 55 годам // Variability сердечного ритма: теоретические аспекты и практические применения: материалы V Всероссийского симпозиума. Ижевск. С. 192-201.
- Флейшман А.Н.* 1999. Медленные колебания гемодинамики. Новосибирск. Наука. СИФ РАН. 264 с.
- Черемных Н.А., Игошина Н.А., Роцевский М.П.* 2008. Функциональные возможности сердечно-сосудистой системы старых людей: по данным variability сердечного ритма // Физиология человека. Т.34. № 1. С.61-65.
- Шлык Н.И.* 2009. Сердечный ритм и типы регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск, Изд-во Удмуртский университет. 259 с.
- Шпак Л.В.* 2002. Кардиоинтервалография и ее клиническое значение. Тверь. Изд-во Фактор. 232 с.
- Яковлева Л.В., Шангареева Г.Н.* 2015. Variability сердечного ритма и особенности психологического статуса у юных хоккеистов // Казанский медицинский журнал. № 4. С. 675-679.

- Kaufman C.L., Kaiser D.R., Steinberger S., Dengel D.R.* 2007. Relationships between heart rate variability, vascular function and adiposity in children // *Clin. Auton. Res.* V. 17. P. 165-171.
- Papadakis M., Wilson M.G., Ghani S., Kervio G., Carre F., Sharma S.* 2012. Impact of ethnicity upon cardiovascular adaptation in competitive athletes: relevance to preparticipation screening // *Br.J. Sports Med.* № 46 (Suppl.1). P.i22-i28. doi10.1136/bjsports-2012/-091127.
- Task Force of the European Society of Pacing and Electrophysiology... Heart rate variability, Standards of measurement physiological interpretation and clinical use. 1996 // *Eur. Heart J.* V. 17. № 3. P. 354-382.

STUDYING THE FEATURES OF ORTHOSTATIC REACTION IN ADOLESCENTS ACCORDING TO SPECTRAL ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY

**I. I. Makarova, Yu.P. Ignatova, A. V. Aksenova,
N.A. Belichenko, K. A. Strakhov, D. I. Tishinina**
Tver State Medical University, Tver

Here we provide the results of the study of autonomic regulation in young athletes (n=41) involved in judo, based on the analysis of the spectral characteristics of heart rate variability at rest and during the orthostatic test. We identified 2 groups of subjects with moderate and pronounced parasympathetic predominance of autonomic regulation of heart rate at rest. According to the spectral analysis a deeper imperfection of the regulatory mechanisms revealed in the group with a pronounced parasympathetic predominance of autonomic regulation of heart rate. We found that during the orthostatic load vagal activity reduced and centralization of heart rate control increased. The degree of activation of different levels of heart rate control at orthostatic load is determined by the type of regulation of the heart rate at rest.

Keywords: *young athletes, judo, type of regulation of heart rate, orthostatic test.*

Об авторах:

МАКАРОВА Ирина Илларионовна – доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой физиологии с курсом теории и практики сестринского дела, ФГБОУ ВО «Тверской ГМУ» Минздрава России, 170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: physiologtgma@mail.ru.

ИГНАТОВА Юлия Петровна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры физиологии с курсом теории и практики сестринского дела, ФГБОУ ВО «Тверской ГМУ» Минздрава России, 170100, Тверь,

ул. Советская, 4, e-mail: physioloptgma@mail.ru.

АКСЁНОВА Алла Валерьевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры физиологии с курсом теории и практики сестринского дела, ФГБОУ ВО «Тверской ГМУ» Минздрава России, 170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: physioloptgma@mail.ru.

БЕЛИЧЕНКО Никита Александрович – аспирант кафедры физиологии с курсом теории и практики сестринского дела, ФГБОУ ВО «Тверской ГМУ» Минздрава России, 170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: physioloptgma@mail.ru.

СТРАХОВ Константин Анатольевич – кандидат медицинских наук, доцент кафедры физиологии с курсом теории и практики сестринского дела, ФГБОУ ВО «Тверской ГМУ» Минздрава России, 170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: physioloptgma@mail.ru.

ТИШИНИНА Диана Имадовна – студентка 5 курса факультета высшего сестринского образования, ФГБОУ ВО «Тверской ГМУ» Минздрава России, 170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: physioloptgma@mail.ru.

Макарова И.И. Изучение особенностей ортостатической реакции подростков по данным спектрального анализа вариабельности сердечного ритма / И.И. Макарова, Ю.П. Игнатова, А.В. Аксёнова, Н.А. Беличенко, К.А. Страхов, Д.М. Тишина // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2019. № 2(54). С. 250-259.