ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ У СТУДЕНТОВ

Арчибасова Е.А.¹, Куликов В.Ю.¹, Воевода М.И.²

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России

²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины» (г. Новосибирск)

АННОТАЦИЯ

При различных вариантах когнитивных нагрузок активируются соответствующие отделы мозга, что проявляется особенностями вариабельности ритма сердца (ВРС). Когнитивная нагрузка (семантическая беглость) способствует снижению активности интегрального показателя Total Power (TP) в группе в целом. Применение коэффициента вегетативного баланса (КВБ), являющегося объективным показателем вегетативных механизмов регуляции ВРС, выявляет, что эта нагрузка наиболее чувствительна для юношей, у которых в большей степени уязвим парасимпатический отдел ВНС, тогда как у девушек такой реакции нет. При выполнении теста на семантическую беглость в условиях когнитивной нагрузки (обратный счет) отмечался рост показателя TP. При сравнении КВБ между группами юношей и девушек до проведения нагрузки отмечается достоверно высокий КВБ у девушек, т. е. изначально вклад парасимпатического отдела ВНС в регуляцию ВРС имеет преобладающее значение. После проведения нагрузки КВБ у девушек снижается, что свидетельствует о преобладающей роли симпатического отдела ВНС как механизма регуляции ВРС в ответ на когнитивную нагрузку — способность к счету. Развитие дисбаланса между симпатическими и парасимпатическими отделами в условиях когнитивных нагрузок выявляет наиболее уязвимые регуляторные контуры, которые в перспективе могут стать базисом соответствующих патологических процессов.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, коэффициент вегетативного баланса, вариабельность ритма сердца, гендерные особенности.

PECULIARITIES OF REGULATION OF HEART RATE VARIABILITY IN DIFFERENT VARIANTS OF COGNITIVE LOAD IN STUDENTS

Archibasova E.A.¹, Kulikov V.Yu.¹, Voevoda M.I.²

¹Novosibirsk State Medical University

²Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine (Novosibirsk)

ABSTRACT

With different variants of cognitive load, the corresponding regions of the brain are activated, which is manifested by peculiarities of heart rate variability (HRV). Cognitive load (semantic fluency) contributes to a decrease in the activity of the Total Power (TP) integral indicator in the group as a whole. The use of the autonomic balance index (ABI), which is an objective indicator of the autonomic mechanisms of HRV regulation, reveals that this load is most sensitive for young men, who have more vulnerable parasympathetic NS, while girls do not have such a reaction. When performing the semantic fluency test under conditions of cognitive load (reverse counting), an increase in the TP index was noted. When comparing ABI between groups of boys and girls before the exercise, a significantly higher ABI in girls is noted, that is initially the contribution of the parasympathetic NS to the regulation of HRV is of predominant importance. After the exercise, the ABI in girls decreases which indicate the predominant role of the sympathetic NS as a mechanism for regulating the HRV in response to cognitive load — the ability to count. The development of an imbalance between the sympathetic and parasympathetic NS activity under conditions of cognitive load reveals the most vulnerable regulatory circuits, which may become the basis of the corresponding pathological process in the future.

Keywords: cognitive load, autonomic balance index, heart rate variability, gender characteristics.

Автор, ответственный за переписку

Арчибасова Елена Алексеевна: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, 630091, г. Новосибирск, Красный пр., 52.
E-mail: helen280776@rambler.ru

Corresponding author

Archibasova Elena Alekseevna: Novosibirsk State Medical University, 52, Krasny Prospekt, Novosibirsk, 630091, Russia.
E-mail: helen280776@rambler.ru

© ФГБОУ ВО НГМУ Минздрава России, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Анализ variability ритма сердца (ВРС) остается наиболее информативным методом оценки состояния вегетативной нервной системы (ВНС). Ритм сердца отражает изменения паттерна функционирования ВНС в ответ на поливалентные внешние и внутренние влияния [1]. Исходя из классических работ о частотном принципе регуляции ВРС, становится понятным тот факт, что каждый из отделов ВНС функционирует строго в своем частотном диапазоне (HF — частота работы парасимпатической системы, LF — симпатической). Частотный диапазон метаболического звена регуляции, представленный как VLF, формируется за счет колебательных процессов гормональных и медиаторных систем, скоростные характеристики которых, естественно, уступают таковым в отделах ВНС. Действительно, по данным В.М. Михайлова, парасимпатическая система считается высокочастотной. При непрерывной стимуляции блуждающего нерва латентный период составляет около 200 мс, изменения частоты сердечного ритма находятся в пределах 0,15–0,4 Гц, формируя быстрые высокочастотные волны (HF). У симпатического отдела ВНС латентный период составляет 1–3 с, а обусловленные его колебаниями волны называют низкочастотными (LF). Самой медленной системой регуляции является гуморально-метаболическая система, диапазон частот лежит в пределах 0,04 Гц — так называемые очень медленные волны (VLF) [2]. Также изменения вегетативного баланса играют важную роль в процессах адаптации студентов во время обучения в вузе, которая характеризуется интенсивным развитием психических процессов и свойств характера [3].

В данном исследовании оценивались особенности регуляции variability ритма сердца у студентов при различных вариантах когнитивной нагрузки. Согласно теории австралийского психофизиолога Джона Свеллера [4], когнитивная нагрузка — это общий объем умственных усилий, используемых рабочей памятью. В ряде исследований [5] показано, что когнитивные процессы тесно связаны с динамикой вегетативной регуляции кардиоритма посредством общей нейрофизиологической основы. Как известно, различные варианты когнитивных нагрузок активируют разные отделы мозга, что может проявляться особенностями ВРС, поэтому в качестве первого варианта когнитивной нагрузки применялся тест «Семантическая вербальная беглость», при котором активируются семантические центры мозга.

Семантическая система — это часть мозга, где происходит распознавание смысла речи. Речь и язык — одна из самых сложных функций мозга. В отличие от многих других, она не имеет более или менее определенной локализации. Широко известны расположенные в височной доле левого полушария области Вернике и Брока, однако они отвечают лишь за сенсорное восприятие слов и моторику их воспроизведения. При этом «словарь», хранящий значения отдельных слов, буквально выстилает кору, что доказано исследователями из лаборатории профессора Калифорнийского университета в Беркли Джека Гэлланта [6]. В качестве второго варианта когнитивной нагрузки применялся тест Амтхауэра — «Способность к счету». Включение памяти на основе математических задач стимулирует область мозга, называемую дорсолатеральной префронтальной корой головного мозга [7]. Таким образом, понимание системных механизмов регуляции физиологических процессов при разных вариантах когнитивной нагрузки у студентов определило цели и задачи настоящего исследования.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявить особенности регуляции ВРС при различных вариантах когнитивных нагрузок у студентов.

Задачи исследования:

- оценить системные механизмы регуляции ВРС в группах «Семантическая вербальная беглость» и «Способность к счету»;
- провести сравнительный анализ полученных результатов между группами;
- оценить гендерные особенности полученных результатов между группами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принял участие 81 чел. в возрасте 18–19 лет — студенты ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России. В группе 1 (39 чел.) в качестве нагрузки применялся тест «Семантическая вербальная беглость», суть которого заключалась в мысленной генерации (воспроизведении) списка слов, принадлежащих определенной семантической категории. В группе 2 (42 чел.) в качестве нагрузки применялся тест Амтхауэра (устное решение арифметических задач). Исследование проводилось с использованием аппаратно-программного комплекса фирмы «Нейрософт», запись кардиоинтервалограммы в условиях контроля проводилась в течение 15 мин в

Таблица 1

Показатели ВРС в группе 1, нагрузка «Семантическая вербальная беглость» ($M \pm m$)

Показатель	До нагрузки			После нагрузки		
	Общая группа	Юноши	Девушки	Общая группа	Юноши	Девушки
RRNN, с	796,7 ± 19,4	798,7 ± 48,0	796,1 ± 20,7	726,7 ± 17*	736,7 ± 49,4*	723,3 ± 17,1*
TP, мс ²	3543,0 ± 419	3227,9 ± 580,2	3651,6 ± 530,9	1631,4 ± 201,7*	1468,3 ± 330,5*	1687,6 ± 248,5*
HF, мс ²	1275,3 ± 163,7	1015,2 ± 216,7	1364,9 ± 206,4	609,07 ± 96,57*	291,9 ± 89,02*	718,4 ± 120,2*
LF, мс ²	1111,1 ± 131,4	1167,9 ± 274,6	1091,5 ± 1520,9	492,8 ± 67,02*	496,1 ± 136,6*	491,6 ± 78,2*
VLF, мс ²	1156,5 ± 195,07	1044,7 ± 303,09	1195,1 ± 243,02	529,5 ± 110,8*	680,2 ± 212,5	477,5 ± 130,4*

Примечание: * — достоверное различие в группе, $p < 0,05$.

положении сидя, без нагрузки. Запись с нагрузкой проводилась в идентичных условиях. Для анализа использовались наиболее общие показатели, отражающие механизмы регуляции ВРС и влияющие на его особенности [8]:

- RRNN, с (среднее значение интервалов RR);
- TP (Total Power), мс² (общая мощность в диапазоне частот $\leq 0,4$ Гц);
- HF (High Frequency), мс² (мощность в диапазоне высоких (0,15–0,4 Гц) частот, волны длительностью 2,5–6,5 с);
- LF (Low Frequency), мс² (мощность в диапазоне низких (0,04–0,15 Гц) частот, волны длительностью 6,5–25 с);
- VLF (Very Low Frequency), мс² (мощность в диапазоне очень низких ($\leq 0,04$ Гц) частот, волны длительностью более 25 с).

Полученные результаты обрабатывались с использованием пакета прикладных программ Excel 7.0, STATISTICA 7.0. Для обработки полученных данных использовались непараметрические методы анализа как для зависимых, так и независимых переменных, корреляционный анализ по методу Спирмена. Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования проведен анализ регуляции ВРС в группе 1, где в качестве на-

грузки применялся тест «Семантическая вербальная беглость», и в группе 2, где в качестве нагрузки применялся тест Амтхауэра. В каждой группе исследования также проведен анализ механизмов регуляции ВРС среди юношей и девушек. Полученные результаты представлены в табл. 1 и 2.

Как видно из данных, представленных в табл. 1, полученные результаты как в общей группе исследуемых, так и в группах юношей и девушек имеют одинаковую направленность. Таким образом, выявлено изменение активности ВНС и нейрогуморального звена как ответной реакции на данный вариант нагрузки. Сравнительная оценка полученных результатов между юношами и девушками в группе 1 достоверных отличий не выявила. Баланс между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС оценивали путем расчета коэффициента вегетативного баланса (КВБ): $KVB = HF / LF$. В общей группе КВБ до нагрузки равен $1,44 \pm 0,19$, после нагрузки — $1,62 \pm 0,26$, достоверных отличий не выявлено. У юношей до нагрузки коэффициент равен $1,14 \pm 0,28$, после нагрузки — $0,69 \pm 0,16$, достоверных отличий не выявлено. У девушек до нагрузки — $1,54 \pm 0,24$, после нагрузки — $1,94 \pm 0,32$, достоверных отличий не выявлено.

На рис. 1 продемонстрировано соотношение КВБ1 (до проведения нагрузки) и КВБ2 (после

Таблица 2

Показатели ВРС в группе 2, тест Амтхауэра ($M \pm m$)

Показатель	До нагрузки			После нагрузки		
	Общая группа	Юноши	Девушки	Общая группа	Юноши	Девушки
RRNN, с	783,8,7 ± 17,8	793,7 ± 33,5	778,4 ± 21,06	736,1 ± 15,5*	759,8 ± 32,09	722,3 ± 16,3*
TP, мс ²	4360,8 ± 514,02	3760,4 ± 692,7	4694,3 ± 701,8	5134,4 ± 585,9	5427,4 ± 823,2*	4971,5 ± 797,9
HF, мс ²	1323,5 ± 265,4	854,06 ± 246,9	1584,2 ± 383,7	1258,6 ± 185,4	1385,2 ± 316,6	1188,4 ± 231,9
LF, мс ²	1409,1 ± 149,1	1535,06 ± 284,2	1339,03 ± 172,8	1725,1 ± 205,8*	1984,1 ± 337,8*	1601,2 ± 266,2
VLF, мс ²	644,4 ± 95,1	555,6 ± 90,6	693,7 ± 139,5	782,8 ± 104,8	768,9 ± 121,7	790,5 ± 150,0

Примечание: * — достоверное различие в группе, $p < 0,05$.

Рис. 1. Коэффициент вегетативного баланса в группе 1 (юноши и девушки)
(* — достоверное различие)

проведения нагрузки) между юношами и девушками в группе 1, где в качестве нагрузки применялся тест «Семантическая вербальная беглость». При анализе КВБ до проведения нагрузки между группами юношей и девушек, где КВБ в группе юношей составил $1,14 \pm 0,28$, а КВБ в группе девушек — $1,54 \pm 0,24$, достоверных отличий не выявлено. При анализе КВБ после проведения нагрузки между группами юношей и девушек, где КВБ в группе юношей составил $0,69 \pm 0,16$, в группе девушек — $1,94 \pm 0,32$, выявлено достоверное отличие $p < 0,03$.

Как видно из данных табл. 2, как в общей группе 2, так и в группах юношей и девушек динамика показателей RRNN, TP, LF, VLF имеет одинаковую направленность. Продолжительность времени сердечного цикла уменьшается после нагрузки. Результаты параметров TP, LF, VLF после проведения нагрузочного теста увеличиваются. Динамика показателя HF после проведения теста в группах юношей и девушек разнонаправленная: этот показатель значительно увеличивается в группе юношей и снижается в группе девушек.

Также обращает на себя внимание тот факт, что исходное значение данного показателя в группах исследуемых отличается. В группе юношей этот показатель ниже, но после нагрузки его значение увеличивается. В группе девушек значение показателя HF выше, но после проведения нагрузочного теста его значение снижается. Сравнительная оценка полученных результатов между группами юношей и девушек в группе 2 достоверных отличий не выявила. Баланс между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС оценивали путем расчета $KВБ = HF / LF$. В общей группе этот коэффициент до нагрузки

равнялся $0,92 \pm 0,1$, после нагрузки — $0,72 \pm 0,6$, достоверных отличий не выявлено. У юношей до нагрузки коэффициент равнялся $0,55 \pm 0,06$, после нагрузки — $0,67 \pm 0,07$, достоверных отличий не выявлено. У девушек до нагрузки — $1,13 \pm 0,16$, после нагрузки — $0,74 \pm 0,08$, выявлено достоверное отличие $p < 0,01$. Разнонаправленность коэффициента вегетативного баланса в группах юношей и девушек при когнитивной нагрузке теста Амтхауэра хорошо видна на гистограмме (рис. 2).

При анализе КВБ до проведения нагрузки между группами юношей и девушек, где КВБ в группе юношей составил $0,55 \pm 0,06$, а в группе девушек — $1,13 \pm 0,16$, отличие достоверно при $p < 0,01$. При анализе КВБ после проведения нагрузки между группами юношей и девушек, где КВБ в группе юношей составил $0,67 \pm 0,07$, а в группе девушек — $0,74 \pm 0,08$, достоверных отличий не выявлено. На следующей гистограмме продемонстрировано соотношение КВБ1 (до проведения нагрузки) и КВБ2 (после проведения нагрузки) между группами юношей и девушек в группе 1, где в качестве нагрузки применялся тест «Способность к счету» (рис. 3).

Таким образом, ВНС неоднозначно реагирует на различные варианты когнитивной нагрузки, механизмы регуляции ВРС также неоднозначно реагируют на различные варианты когнитивной нагрузки в группах юношей и девушек.

На втором этапе исследования проведен сравнительный анализ полученных результатов между группами 1 и 2. Все участники исследования одного возраста и рода деятельности. В качестве нагрузки в обеих группах использовался когнитивный тест: в группе 1 — тест «Семантическая вербальная беглость», в группе 2 — тест «Спо-

Рис. 2. Коэффициент вегетативного баланса в группе 2
(* – достоверное различие)

способность к счету». При сравнении полученных результатов выявлено, что параметр RRNN до проведения нагрузки как в группе 1, так и в группе 2 практически одинаковый. После нагрузки этот показатель снижается также в обеих группах, что отражает активацию симпатического отдела ВНС.

При анализе показателя TP достоверного отличия в обеих группах в условиях контроля не выявлено. Однако после нагрузочного теста показатель TP уменьшается относительно контроля в группе 1 ($TP1 = 3543,0 \pm 419 \text{ мс}^2$; $TP2 = 1631,4$

$\pm 201,7 \text{ мс}^2$) и увеличивается относительно контроля в группе 2 ($TP1 = 4360,8 \pm 514,02 \text{ мс}^2$; $TP2 = 5134,4 \pm 585,9 \text{ мс}^2$).

TP2 в группе 1 составил $1631,4 \pm 201,7 \text{ мс}^2$, TP2 в группе 2 составил $5134,4 \pm 585,9 \text{ мс}^2$, различие между результатами достоверно при $p < 0,0$. Увеличение значения параметра свидетельствует о мобилизации адаптационных механизмов на нагрузку «Способность к счету».

Показатель LF отражает активность симпатического отдела ВНС, в обеих группах до проведения нагрузочного теста он практически одинаков

Рис. 3. Коэффициент вегетативного баланса в группе 2 (юноши и девушки)
(* – достоверное различие)

Рис. 4. Параметры TP, LF, HF в группах 1 и 2 после проведения нагрузки (* — достоверное различие при $p < 0,05$)

вый. После нагрузки уменьшается относительно контроля в группе 1 ($LF1 = 1111,1 \pm 131,4 \text{ мс}^2$; $LF2 = 492,8 \pm 67,02 \text{ мс}^2$), а в группе 2 этот показатель увеличивается относительно контроля ($LF1 = 1409,1 \pm 149,1 \text{ мс}^2$; $LF2 = 1725,1 \pm 205,8 \text{ мс}^2$).

LF2 в группе 1 — $492,8 \pm 67,02 \text{ мс}^2$, LF2 в группе 2 — $1725,1 \pm 205,8 \text{ мс}^2$, различие между результатами достоверно при $p < 0,000001$. Увеличение значения параметра LF2 в группе 2 свидетельствует о мобилизации симпатического отдела ВНС на нагрузку «Способность к счету».

Показатель HF отражает активность парасимпатического отдела ВНС, в обеих группах до проведения нагрузки он практически одинаковый. После нагрузки в группе 1 он значительно снижается относительно контроля ($HF1 = 1275,3 \pm 163,7 \text{ мс}^2$; $HF2 = 609,07 \pm 96,57 \text{ мс}^2$), в группе 2 этот показатель также снизился относительно контроля ($HF1 = 1323,5 \pm 265,4 \text{ мс}^2$; $HF2 = 1258,6 \pm 185,4 \text{ мс}^2$).

HF2 в группе 1 составил $609,07 \pm 96,57 \text{ мс}^2$, HF2 в группе 2 составил $1258,6 \pm 185,4 \text{ мс}^2$, различие между результатами достоверно при $p < 0,003$. Выраженное уменьшение параметра HF2 в группе 1 «Семантическая беглость» показывает «провал» парасимпатического отдела ВНС.

Показатель VLF отражает активность метаболического звена регуляции. В группе 1 VLF1 составил $1156,5 \pm 195,07 \text{ мс}^2$, VLF2 = $529,5 \pm 110,8 \text{ мс}^2$. В группе 2 VLF1 = $644,4 \pm 95,1 \text{ мс}^2$; VLF2 = $782,8 \pm 104,8 \text{ мс}^2$. Показатель VLF группы 1 ($1156,5 \pm 195,07 \text{ мс}^2$) значительно выше показателя VLF группы 2 в условиях контроля ($644,4 \pm 95,1 \text{ мс}^2$), различие между результатами

достоверно при $p < 0,01$. После нагрузки в группе 1 уровень этого показателя снизился относительно контроля, в группе 2 этот показатель увеличился, достоверных отличий показателя VLF после проведенной нагрузки между группами не выявлено. На рис. 4 представлена сравнительная характеристика параметров ВРС после проведения когнитивной нагрузки в группах 1 и 2. Различие между результатами достоверно.

Следующим фрагментом этого этапа исследования являлся сравнительный анализ в группах 1 и 2 между юношами. Как и в общей группе, показатели параметра RRNN до проведения нагрузки в группах 1 и 2 у юношей практически одинаковы, после нагрузки этот показатель снижается в обеих группах.

При анализе показателя TP у юношей не выявлено достоверного отличия в обеих группах в условиях контроля. Однако после нагрузочного теста показатель TP уменьшается у юношей относительно контроля в группе 1 ($TP1 = 3227,9 \pm 580,2 \text{ мс}^2$; $TP2 = 1468,3 \pm 330,5 \text{ мс}^2$) и увеличивается относительно контроля в группе 2 ($TP1 = 3760,4 \pm 692,7 \text{ мс}^2$; $TP2 = 5427,4 \pm 823,2 \text{ мс}^2$).

TP2 юношей в группе 1 — $1468,3 \pm 330,5 \text{ мс}^2$, в группе 2 — $5427,4 \pm 823,2 \text{ мс}^2$, различие между результатами достоверно при $p < 0,0009$. Увеличение параметра свидетельствует о мобилизации адаптационных механизмов на нагрузку «Способность к счету».

Показатель LF в обеих группах исследования у юношей до проведения нагрузочного теста практически одинаковый. После нагрузки он уменьшается относительно контроля в группе 1 ($LF1 = 1167,9 \pm 274,6 \text{ мс}^2$; $LF2 = 496,1 \pm 136,6 \text{ мс}^2$), а в группе 2 этот показатель уве-

Рис. 5. Параметры TP, LF, HF в группах 1 и 2 после проведения нагрузки (юноши)
(* — достоверное различие при $p < 0,05$)

личивается относительно контроля ($LF1 = 1535,06 \pm 284,2 \text{ мс}^2$; $LF2 = 1984,1 \pm 337,8 \text{ мс}^2$).

LF2 в группе 1 составил $496,1 \pm 136,6 \text{ мс}^2$, в группе 2 — $1984,1 \pm 337,8 \text{ мс}^2$, различие между результатами достоверно при $p < 0,002$. Увеличение параметра LF2 в группе 2 свидетельствует о мобилизации симпатического отдела ВНС на нагрузку «Способность к счету». Динамика показателя LF после проведения нагрузочного теста среди юношей идентична динамике этого показателя в общей группе.

Показатель HF у юношей в обеих группах до проведения нагрузки практически одинаковый. После нагрузки в группе 1 он значительно снижается относительно контроля ($HF1 = 1015,2 \pm 216,7 \text{ мс}^2$; $HF2 = 291,9 \pm 89,02 \text{ мс}^2$), в группе 2 этот показатель увеличивается относительно контроля ($HF1 = 854,06 \pm 246,9 \text{ мс}^2$; $HF2 = 1385,2 \pm 316,6 \text{ мс}^2$).

HF2 в группе 1 составил $291,9 \pm 89,02 \text{ мс}^2$, в группе 2 — $1385,2 \pm 316,6 \text{ мс}^2$, различие между результатами достоверно при $p < 0,01$. Выраженное уменьшение параметра HF2 у юношей группы 1 «Семантическая беглость» показывает «провал» парасимпатического отдела ВНС. Увеличение HF2 у юношей группы 2 свидетельствует о мобилизации парасимпатического отдела ВНС на нагрузку «Способность к счету». В общей группе мобилизации этого отдела ВНС не выявлено.

Достоверных отличий показателя VLF между группами исследования у юношей не выявлено ни в условиях контроля, ни в условиях нагрузки. Сравнительная характеристика параметров ВРС после проведения когнитивной нагрузки между

юношами в группах 1 и 2 представлена на рис. 5. Различие между результатами достоверно.

Далее проведен сравнительный анализ в группах 1 и 2 между девушками. Как и в общей группе, параметр RRNN до проведения нагрузки как в группе 1, так и в группе 2 у девушек практически одинаковый, после нагрузки этот показатель снижается в обеих группах.

При анализе показателя TP у девушек достоверного отличия в обеих группах в условиях контроля не выявлено. Однако после нагрузочного теста показатель TP уменьшается у девушек относительно контроля в группе 1 ($TP1 = 3651,6 \pm 530,9 \text{ мс}^2$; $TP2 = 1687,6 \pm 248,5 \text{ мс}^2$) и увеличивается относительно контроля в группе 2 ($TP1 = 4694,3 \pm 701,8 \text{ мс}^2$; $TP2 = 4971,5 \pm 797,9 \text{ мс}^2$).

TP2 девушек в группе 1 — $1687,6 \pm 248,5 \text{ мс}^2$, TP2 в группе 2 — $4971,5 \pm 797,9 \text{ мс}^2$ — различие между результатами достоверно при $p < 0,0001$. Увеличение параметра свидетельствует о мобилизации адаптационных механизмов на нагрузку «Способность к счету».

Показатель LF в обеих группах исследования у девушек до проведения нагрузочного теста практически одинаковый. После нагрузки он уменьшается относительно контроля в группе 1 ($LF1 = 1091,5 \pm 1520,9 \text{ мс}^2$; $LF2 = 491,6 \pm 78,2 \text{ мс}^2$), а в группе 2 этот показатель относительно контроля увеличивается ($LF1 = 1339,03 \pm 172,8 \text{ мс}^2$; $LF2 = 1601,2 \pm 266,2 \text{ мс}^2$).

LF2 в группе 1 — $491,6 \pm 78,2 \text{ мс}^2$, LF2 в группе 2 — $1601,2 \pm 266,2 \text{ мс}^2$, различие между результатами достоверно при $p < 0,0001$. Увеличение параметра LF2 свидетельствует о мобилиза-

Рис. 6. Параметры TP, LF, HF в группах 1 и 2 после проведения нагрузки (девушки)
(* — достоверное различие при $p < 0,05$)

ции симпатического отдела ВНС на нагрузку «Способность к счету». Динамика показателя LF после проведения нагрузочного теста среди девушек идентична динамике этого показателя в общей группе и группах юношей.

Показатель HF в обеих группах у девушек до проведения нагрузки практически одинаковый. После нагрузки в группе 1 он значительно снижается относительно контроля ($HF1 = 1364,9 \pm 206,4 \text{ мс}^2$; $HF2 = 718,4 \pm 120,2 \text{ мс}^2$), в группе 2 этот показатель также снижается относительно контроля ($HF1 = 1584,2 \pm 383,7 \text{ мс}^2$; $HF2 = 1188,4 \pm 231,9 \text{ мс}^2$).

HF2 в группе 1 составил $718,4 \pm 120,2 \text{ мс}^2$, в группе 2 — $1188,4 \pm 231,9 \text{ мс}^2$, различие между результатами недостоверно ($p < 0,07$). Таким образом, наблюдается снижение активности парасимпатического отдела ВНС в ответ на нагрузку «Семантическая беглость» и «Способность к счету» в группах девушек. Достоверных отличий показателя VLF между группами исследования у девушек не выявлено ни в условиях контроля, ни в условиях нагрузки.

Сравнительная характеристика параметров ВРС после проведения когнитивной нагрузки между девушками в группах 1 и 2 представлена на рис. 6. Различия между результатами TP и LF достоверно.

Таким образом, по результатам проведенного исследования установлено, что различные варианты когнитивной нагрузки вызывают изменение активности в регуляции ВРС. При этом выявлено различное проявление активности регулирующего влияния ВНС под влиянием нагрузки «Семантическая вербальная беглость» и теста Амтхауэра.

Нагрузка «Семантическая беглость» способствует выраженному снижению показателя TP, тогда как нагрузка «Способность к счету» — росту этого показателя. TP рассматривается нами как показатель, отражающий адаптационную активность организма, базирующийся на выборке наиболее адекватных вариантов реагирования в условиях напряжения систем гомеостатического регулирования [9]. До проведения нагрузочного теста вклад симпатического и парасимпатического отделов ВНС в регуляции ВРС примерно одинаков, однако после проведения нагрузки роль обоих отделов ВНС существенно снижается — как в общей группе исследования, так у юношей и у девушек.

Считается, что для объективной оценки вегетативных механизмов регуляции ВРС необходимо учитывать соотношение влияний симпатического и парасимпатического отделов ВНС, поэтому оценивался КВБ, который не так однозначен, как абсолютные значения показателей LF и HF. Достоверных отличий значений КВБ до проведения нагрузки и после ее проведения в общей группе 1 не наблюдается, есть лишь тенденция повышения этого коэффициента. В группе девушек КВБ после проведенной когнитивной нагрузки повышается, что говорит о преобладающем значении парасимпатического отдела ВНС как основного механизма регуляции на данный вариант когнитивной нагрузки. В группе юношей достоверных отличий КВБ до и после проведения нагрузочного теста нет, однако хорошо выражена тенденция снижения этого показателя. При сравнении КВБ между группами юношей и девушек до проведения нагрузки отмечается высокий результат у девушек, т. е. изначально

Рис. 7. Динамика КВБ до и после нагрузки у юношей и девушек в группе 1

вклад парасимпатического отдела ВНС в регуляции ВРС более значим. После проведения нагрузки КВБ у девушек становится достоверно выше относительно КВБ юношей. Следовательно, когнитивная нагрузка «Семантическая беглость» способствует снижению активности интегрального показателя ТР в группе в целом, но более индивидуальный подход в выявлении роли механизмов регуляции показывает, что эта нагрузка наиболее чувствительна для юношей, у которых в большей степени уязвим парасимпатический отдел ВНС.

В группе 2, где в качестве нагрузки применялся тест Амтхауэра («Способность к счету»), выявлена достоверная активация симпатического отдела ВНС — как в общей группе, так и в группах юношей и девушек. Влияние парасимпатического отдела ВНС достоверно усиливается как в общей группе, так и в группе юношей, а в группе девушек достоверного усиления влияния парасимпатического отдела нет. Достоверных отличий значений КВБ до проведения нагрузки и после ее завершения в группе 2 не на-

блюдается, есть лишь тенденция снижения этого коэффициента. В группе девушек КВБ после проведенной когнитивной нагрузки достоверно снижается, что говорит о преобладающем значении симпатического отдела ВНС как основного механизма регуляции ВРС на данный вариант нагрузки.

В группе юношей достоверных отличий КВБ до и после проведения нагрузочного теста нет, однако имеется тенденция к повышению этого показателя. При сравнении КВБ между группами юношей и девушек до проведения нагрузки отмечается достоверно высокий КВБ у девушек, т. е. изначально вклад парасимпатического отдела ВНС в регуляции ВРС имеет преобладающее значение. После проведения нагрузки КВБ у девушек снижается, что свидетельствует о преобладающей роли симпатического отдела ВНС как механизма регуляции ВРС в ответ на когнитивную нагрузку «Способность к счету». Динамика КВБ у девушек и юношей в группах 1 и 2 представлена на рис. 7 и 8.

Рис. 8. Динамика КВБ до и после нагрузки у юношей и девушек в группе 2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что различные варианты когнитивных нагрузок способствуют активации различных корковых и подкорковых структур ЦНС, что сопровождается особенностями реакции ВНС как регуляторного механизма деятельности сердца.

Различные варианты когнитивных нагрузок способствуют изменению активности отделов ВНС в регуляции ВРС у юношей и девушек. Использование и оценка КВБ способствуют индивидуальному подходу для выявления особенностей ВНС на когнитивные нагрузки.

Ослабление роли парасимпатического звена, которое расценивается как восстанавливающий механизм в работе сердца [10], по нашему мнению, является фактором риска развития патологии сердечно-сосудистой системы. Возможно, ослабление роли парасимпатического отдела ВНС может быть обусловлено торможением центра блуждающего нерва, снижением чувствительности холинорецепторов к ацетилхолину, влиянием на механизм пресинаптического синтеза медиатора, все это может реализовываться на уровне структур проводящей системы сердца, работы ионных каналов — калиевых и кальциевых.

Преобладание активности симпатического отдела ВНС, который является адаптирующим и мобилизующим механизмом в регуляции работы сердца, может быть следствием проявления стресс-реакции, которая запускается как следствие активации задней группы ядер гипоталамуса, оказывающих эрготропные влияния, что и активирует симпатические эффекты. Симпатические эффекты на сердце также могут проявляться на уровне проводящей системы и изменением активности ионных каналов. Все эти механизмы могут лежать в основе нарушения ритма сердца [11].

Судя по литературным данным [12], такой перекос систем вегетативной регуляции в первую очередь касается функции синоатриального узла и эффективности как фанни-каналов, кальциевых каналов — ICa L-типа, которые формируют спонтанную деполяризацию и проведение импульса, а также ацетилхолин-активируемый K^+ -ток IK (ACh). IK (ACh) чаще всего встречается в пейс-мейкерных и предсердных клетках и волокнах Пуркине и обеспечивает процессы ранней и поздней реполяризации [14]. Генетический компонент таких эволюционно-индуцированных особенностей информационного обеспе-

чения когнитивных процессов, как и функциональной межполушарной асимметрии в целом, несомненно, что определяет перспективы фундаментальных и прикладных исследований в этой сфере.

Таким образом, с учетом полученных данных можно выделить два основных раздела, касающихся гендерных отличий в реакции на предъявленные нагрузки, которые отличаются между собой по типу переработки вербальной информации. Это свидетельствует о наличии фундаментальных отличий в организации информационного обеспечения когнитивных реакций у юношей и девушек, отражающих соответствующие эволюционные тренды формирования функциональной асимметрии мозга как процесса специализации функций мужских и женских индивидов в условиях совместной адаптации к воздействию средовых факторов. Такая эволюционно-индуцированная гендерная специализация систем переработки информации реализуется не только в вариантах реакции на когнитивную нагрузку, но и в особенностях вегетативного обеспечения этой деятельности, что важно учитывать в понимании развития как дезадаптивных, так и патологических процессов, которые также имеют гендерную окраску [15]. В первую очередь это касается изменений функционирования сердечно-сосудистой системы. Действительно, развитие дисбаланса между симпатическими и парасимпатическими отделами в условиях когнитивных нагрузок выявляет наиболее уязвимые регуляторные контуры, которые в перспективе могут стать базисом соответствующих патологических процессов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.: Медицина, 1979. 205 с.
2. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода. Иваново: Ивановская гос. мед. академия, 2002. 182 с.
3. Антропова Л.К., Куликов В.Ю., Арчибасова Е.А. Гендерные особенности вариабельности сердечного ритма в условиях проведения когнитивной нагрузки у практически здоровых студентов // Сиб. мед. вестн. 2020. № 1. С. 46–52.
4. Sweller J. Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design // Learning and instruction. 1994. Vol. 4 (4). P. 295–312. DOI: 10.1016/0959-4752(94)90003-5.

5. Critchley H.D., Mathias C.J., Josephs O. et al. Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence // *Brain*. 2003. Vol. 126 (10). P. 2139–2152. DOI: 10.1093/brain/awg216.
6. Huth A.G., de Heer W.A., Griffiths T.L., Theunissen F.E., Gallant J.L. Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex // *Nature*. 2016. Vol. 532 (7600). P. 453–458. DOI: 10.1038/nature17637.
7. Scult M., Knodt A.R., Swartz J.R. et al. Thinking and feeling: individual differences in habitual emotion regulation and stress-related mood are associated with prefrontal executive control // *Clin. Psychol. Sci.* 2017. Vol. 5 (1). P. 150–157. DOI: 10.1177/2167702616654688
8. Бань А.С., Загородный Г.М. Вегетативный показатель для оценки вариабельности ритма сердца спортсменов // *Медицинский журнал*. 2010. № 4 (34). С. 127–130.
9. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. 265 с.
10. Флейшман А.Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики. Нелинейные феномены в клинической практике. Новосибирск: Из-во СО РАН, 2009. 194 с.
11. Hillebrand S., Gast K.B., de Mutsert R. et al. Heart rate variability and first cardiovascular event in populations without known cardiovascular disease: meta-analysis and dose-response meta-regression // *Europace*. 2013. Vol. 15 (5). P. 742–749. DOI: 10.1093/europace/eus341.
12. Бокерия О.Л., Ахобеков А.А. Ионные каналы и их роль в развитии нарушений ритма сердца // *Анналы аритмологии*. 2014. Т. 11, № 3. С. 176–184.
13. Splawski I., Timothy K., Decher N. et al. Severe arrhythmia disorder caused by cardiac L-type calcium channel mutations // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2005. Vol. 102 (23). P. 8089–8096. DOI: 10.1073/pnas.0502506102.
14. Sakmann B., Noma A., Trautwein W. Acetylcholine activation of single muscarinic K⁺ channels in isolated pacemaker cells of the mammalian heart // *Nature*. 1983. Vol. 303 (5914). P. 250–253. DOI: 10.1038/303250a0.
15. Куликов В.Ю., Антропова Л.К., Арчибасова Е.А. Гендерные особенности спектральной мощности альфа ритма и вариабельности ритма сердца при когнитивной нагрузке у здоровых студентов // *Сиб. мед. вестн.* 2020. № 3. С. 55–67.

Поступила 11.01.2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Арчибасова Елена Алексеевна — канд. мед. наук, доцент кафедры нормальной физиологии и основ безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Куликов Вячеслав Юрьевич — д-р мед. наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры нормальной физиологии и основ безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России.

Воевода Михаил Иванович — д-р мед. наук, академик РАН, профессор, директор ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины».

Образец цитирования: Арчибасова Е.А., Куликов В.Ю., Воевода М.И. Особенности регуляции вариабельности ритма сердца при различных вариантах когнитивной нагрузки у студентов // *Сиб. мед. вестн.* 2021. № 1. С. 57–67.