

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco508779>

Особенности параметров слухового вызванного потенциала P300 и вегетативной регуляции ритма сердца у молодых людей, проживающих в различных климато-географических условиях России

Е.В. Кривоногова, О.В. Кривоногова, Л.В. Поскотинова

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова, Архангельск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Формирование физиологических функций и развитие организма происходят на фоне адаптации к условиям внешней среды. Основной деятельностью школьников 16–17 лет является учёба, которая связана с обработкой и запоминанием большого количества разного рода информации, поэтому оценка слухового вызванного потенциала P300, отражающего нейрофизиологические корреляты когнитивных функций, таких как внимание и память, во взаимосвязи с вегетативной регуляцией ритма сердца у молодых людей, проживающих в северном и южном регионах России, является актуальной.

Цель. Провести оценку компонентов слухового вызванного потенциала P300 и N2, параметров variability ритма сердца у практически здоровых молодых людей в возрасте 16–17 лет, проживающих в различных климато-географических условиях России.

Материал и методы. В исследовании участвовали молодые люди 16–17 лет ($n=156$) г. Архангельска, г. Надыма Ямало-Ненецкого автономного округа и г. Симферополя Республики Крым. Оценка вегетативной нервной системы осуществляли по параметрам variability сердечного ритма на аппаратно-программном комплексе «Варикард». Регистрацию компонентов P300 и N2 проводили на электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» («Нейрософт», Россия), использовали парадигму oddball.

Результаты. У молодых людей г. Надыма выявлено преобладание активности симпатической нервной системы в регуляции ритма сердца и удлинение латентного времени N2. У подростков г. Архангельска и г. Симферополя не выявлено различий по параметрам variability ритма сердца и компонентов слухового вызванного потенциала P300. У исследуемых г. Архангельска отмечалась межполушарная асимметрия латентного времени N2, где более короткое время в центральных (С4, $p=0,04$) и передневисочных справа (F8, $p=0,01$) отделах головного мозга.

Заключение. Дисбаланс вегетативной нервной системы в сторону преобладания симпатических влияний в регуляции ритма сердца отражается на более медленном опознании и дифференцировании звукового сигнала.

Ключевые слова: слуховые вызванные потенциалы; P300; N2; variability ритма сердца; подростки; северные и южные регионы.

Как цитировать:

Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Поскотинова Л.В. Особенности параметров слухового вызванного потенциала P300 и вегетативной регуляции ритма сердца у молодых людей, проживающих в различных климато-географических условиях России // Экология человека. 2023. Т. 30. № 6. С. 469–478. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco508779>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco508779>

Parameters of the P300 auditory evoked potential and autonomic heart rate regulation in adolescents residing in different climatic and geographical conditions of Russia

Elena V. Krivonogova, Olga V. Krivonogova, Lilia V. Poskotinova

N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The physiological functions and body development take place as the body adapts to the environment. For schoolchildren aged 16–17, their primary focus is on studying, which involves processing and retaining a significant volume of diverse information. The P300 auditory evoked potential reflects the neurophysiological aspects of cognitive functions such as attention and memory. This assessment is particularly relevant when considering the autonomic heart rate regulation in young individuals residing in the northern and southern regions of Russia.

AIM: The objective of this study was to assess the auditory evoked potential components, namely P300 and N2, along with heart rate variability parameters in a group of healthy young Russian adolescents living in different climatic and geographical conditions.

MATERIAL AND METHODS: The study sample consisted of 156 individuals aged 16–17 years permanently residing in Arkhangelsk, Nadym and Simferopol. The assessment of the autonomic nervous system was carried out according to the parameters of heart rate variability on the agro-industrial complex “Varikard”. Registration of P300 and N2 components was carried out on the Neuron-Spectrum-4/VPM electroencephalograph (Neurosoft, Russia), using the oddball paradigm.

RESULTS: The predominance of sympathetic nervous system activity in the regulation of heart rate and the lengthening of the N2 latency was revealed in adolescents in Nadym. In residents of Arkhangelsk and Simferopol, there were no differences in the parameters of heart rate variability and components of the auditory evoked potential of P300. Interhemispheric asymmetry of N2 latency was observed in young people of Arkhangelsk, where the time was shorter in the central (C4, $p=0.04$) and right anterior temporal (F8, $p=0.01$) sections.

CONCLUSIONS: The imbalance in the autonomic nervous system towards the predominance of sympathetic influences in the heart rate regulation is reflected in slower recognition and differentiation of the sound signal.

Keywords: auditory evoked potentials; P300; N2; heart rate variability; adolescents; northern and southern regions.

To cite this article:

Krivonogova EV, Krivonogova OV, Poskotinova LV. Parameters of the P300 auditory evoked potential autonomic heart rate regulation in adolescents residing in different climatic and geographical conditions of Russia. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(6):469–478.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco508779>

Received: 26.06.2023

Accepted: 19.09.2023

Published online: 17.10.2023

ВВЕДЕНИЕ

Основной деятельностью школьников 16–17 лет является учёба, которая связана с обработкой и запоминанием большого количества разного рода информации. Период жизни от 6–7 до 17–18 лет («школьный возраст») характеризуется интенсивным физическим, психическим и социальным развитием ребенка, происходят существенные изменения когнитивных функций с совершенствованием процессов восприятия, внимания, памяти [1, 2]. Формирование физиологических функций и развитие организма протекают на фоне адаптации к условиям внешней среды. Неблагоприятные природно-климатические факторы Крайнего Севера, такие как низкая температура, а также резкие колебания температуры и атмосферного давления, необычный фотопериодизм (недостаток или избыток солнечного света), усиленный ветровой режим, повышенный и неустойчивый геомагнитный фон оказывают влияние на многие функциональные системы организма человека, особенно на нервную и сердечно-сосудистую [3]. Адаптация человека к деятельности в таких условиях рассматривается на разных уровнях организации его устойчивого жизнеобеспечения: физиологическом, психологическом, социальном [4]. Головной мозг является главным регулирующим и координирующим центром, обеспечивающим восприятие и анализ параметров внешней среды, поиск врождённых и приобретённых в процессе жизни оптимальных программ взаимодействия с окружающей средой. От морфофункционального состояния мозга ребёнка зависят не только его адаптация к окружающей среде, но и успешность обучения необходимым навыкам, взаимоотношения со сверстниками, успеваемость в школе [5].

Когнитивный вызванный потенциал P300 является индикатором электрических процессов мозга, связанных с механизмами опознавания, дифференцирования, запоминания и принятия решения [6], поэтому служит показателем функционального состояния центральной нервной системы. Согласно современным представлениям, характеристики потенциала P300 являются нейрофизиологическими коррелятами когнитивных функций, таких как внимание и память [6]. По данным литературы, отмечается замедление психомоторной активности и функции переключения внимания (тест Шульце–Платонова) у подростков на Севере [7]. Оценка психомоторного темпа и внимания у школьников 1–8 классов г. Архангельска показала, что при переходе к более старшему возрасту снижается количество детей в группах «медлительных и невнимательных» [8]. Однако характер изменений биопотенциалов мозговой активности, отражающих опознавание и дифференцирование, скорость принятия решения мозговыми структурами значимых стимулов у молодых людей 16–17 лет, остаётся не полностью изученным.

Исследователи Ahern и соавт. (2001); Thayer и соавт. (2009) предположили, что с когнитивными функциями связана вариабельность сердечного ритма (BCP)

как показатель префронтальной активации [9]. Высокие уровни BCP в покое связаны с хорошими показателями когнитивных функций, таких как память, внимание, а более низкие — с худшими показателями [10]. BCP является индикатором регуляции вегетативной нервной системы [11]. Вариабельность сердечного ритма, отражающая изменение временных интервалов между соседними сердечными сокращениями, является эмерджентным свойством взаимозависимых регуляторных систем, помогающим адаптироваться к экологическим факторам [12]. Оптимальный уровень BCP связан со здоровьем и способностью к саморегуляции, а также с адаптивными реакциями и устойчивостью [12]. Действие факторов внешней среды на организм жителей из различных климатогеографических зон предопределяет развитие специфических морфофункциональных и физиологических характеристик и особенностей жизнедеятельности организма в целом [13]. В связи с этим представляет интерес сравнить взаимодействие вегетативной регуляции ритма сердца с когнитивными функциями по данным слухового вызванного потенциала P300 у молодых людей, проживающих в северных регионах и южном с более благоприятными природно-климатическими условиями.

Цель исследования. Провести оценку компонентов слухового вызванного потенциала P300 и N2 и параметров вариабельности ритма сердца у практически здоровых молодых людей в возрасте 16–17 лет, проживающих в северных и южном регионах России. Разница в географическом положении г. Архангельска и г. Надыма с г. Симферополем будет определять различия между ними по климатическим параметрам. В северных городах отмечается продолжительная зима и достаточно прохладное короткое лето, в Симферополе климат тёплый с мягкой зимой. Продолжительность солнечного сияния в год составляет 1576 ч (г. Архангельск), 1050 ч (г. Надым), 2400 ч (г. Симферополь), среднегодовая температура воздуха — 1,9 °С (г. Архангельск), –3,9 °С (г. Надым) и 11,3 °С (г. Симферополь), среднегодовая скорость ветра — 5,5 м/с (г. Архангельск), 10,1 м/с (г. Надым), 4,4 м/с (г. Симферополь), осадки за год — 607 мм (г. Архангельск), 400–550 мм (г. Надым) и 450 мм (г. Симферополь), снежный покров держится в среднем 180–200 дней (г. Архангельск), 240 дней (г. Надым) и 20–40 дней (г. Симферополь). Длительность светового дня в июне в г. Архангельске составляет около 20,4–21,5 ч, в г. Надыме — 23 ч, в г. Симферополе — 15,4–15,6 ч, в декабре, напротив, в г. Архангельске — 3,9–4,8 ч, в г. Надыме — 3,12 ч, в г. Симферополе — 8,8–9,0 ч.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие девушки и юноши 16–17 лет ($n=156$, среди которых было 103 девушки и 53 юноши) — учащиеся школ г. Архангельска (64°33' с.ш.) ($n=48$), г. Надыма Ямало-Ненецкого автономного округа

(65°32' с.ш.) ($n=54$), г. Симферополя Республики Крым (44°57' с.ш.) ($n=54$). Соотношение численности мальчиков и девочек не различалось в зависимости от региона. Поперечное (одномоментное) исследование выполняли в весенний период во время плановых учебных занятий в первой половине дня. Критерии включения: учащиеся 16–17 лет, проживающие на исследуемой территории с рождения, I–II группа здоровья, на момент обследования отсутствие острых вирусных и бактериальных заболеваний, а также черепно-мозговых травм, эпилепсии, других неврологических расстройств и сердечно-сосудистых заболеваний. Индекс массы тела участников не выходил за границы нормальных значений (18,5–24,9 кг/м²). Расчёт необходимого числа респондентов для исследования проводили по формулам [14] на основании пробного исследования с вероятностью безошибочного прогноза 95%. Предварительный анализ параметров слухового вызванного потенциала P300 и вариабельности ритма сердца у школьников, проживающих на различных территориях РФ, выявил отсутствие статистически значимых различий компонентов P300 и параметров ВСП в зависимости от пола, поэтому девушки и юноши были объединены в группы по изучаемым регионам.

ВСП предоставляет информацию о вегетативной регуляции сердечного ритма. Исследовали ВСП в покое с помощью аппаратно-программного комплекса «Варикард» (Россия) во временной и частотной областях. Анализировали следующие показатели: частоту сердечных сокращений (ЧСС, в минуту); среднее квадратичное отклонение (SDNN, мс), которое отражает суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения; квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар RR-интервалов (RMSSD, мс) и процент количества пар последовательных кардиоинтервалов в кардиограмме, отличающихся более чем на 50 мс (pNN50, мс), отражающих активность парасимпатического звена вегетативной регуляции; индекс напряжения регуляторных систем (SI, усл. ед.); мощность спектра ВСП в диапазоне высоких частот (HF, мс²; HF, %; 0,4–0,15 Гц), в низкочастотном диапазоне (LF, мс²; LF, %; 0,04–0,15 Гц) и в сверхнизкочастотном диапазоне (VLF, мс²; VLF, %; 0,04–0,015 Гц); TP, мс² (суммарная мощность спектра ВСП) – суммарный уровень активности регуляторных систем.

Запись слухового вызванного потенциала P300 проводили на электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр-4/ВПМ» («Нейрософт», Россия). Частота квантования сигнала электроэнцефалографа (ЭЭГ) составляла 500 Гц, в полосе регистрации 0,5–35,0 Гц. Сопротивление электродов не превышало 10 кОм. Методика P300 основывается на парадигме oddball, где в случайной последовательности подаются серии двух слуховых стимулов, среди которых есть незначимые и значимые [6]. Звуковые тоны поступают через наушники, а испытуемому предлагается реагировать (нажимать на кнопку) на редко встречающиеся (значимые) стимулы и игнорировать часто

встречающиеся (незначимые) стимулы. Условия стимуляции: бинауральная, длительность стимула — 50 мс, интенсивность — 80 дБ, период между стимулами — 1 с, частота тона — 2000 Гц (значимый стимул) и 1000 Гц (незначимый стимул). Вероятность предъявления значимого стимула — 20–30% общего количества стимулов [6]. Число усреднений составляло от 15 до 25 для значимых стимулов. Удаление артефактов проводили на основе визуального анализа записи, а также исключали из усреднения при регистрации вызванных потенциалов сигналы, превышающие амплитуду 100 мкВ. Оценивали амплитудно-временные параметры ответа на значимые стимулы: амплитуду от пика до пика N2–P300 и латентное время (ЛВ) N2 и P300. Вызванный потенциал P300 оценивали по 16 каналам ЭЭГ (Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6). Вследствие выраженности слухового вызванного потенциала P300 в лобно-центрально-теменной и височной областях мозга [6] проводили анализ компонента P300 в лобных (F3, F4), центральных (C3, C4), теменных (P3, P4) и височных (F7, F8, T3, T4) его отделах. Нормативные значения показателей P300 брали из исследований В.В. Гнездицкого [6] (ЛВ P300 — до 340 мс, амплитуда N2–P300 — выше 5 мкВ).

Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 10 (StatSoft, США). Проверку полученных данных на нормальность распределения выполняли с использованием критерия Шапиро–Уилка. Количественные показатели описаны медианой (Me), 25-м и 75-м перцентилями (25; 75). Сравнение количественных переменных между несколькими независимыми группами проводили с помощью критерия Краскела–Уоллиса, далее для уточнения, между какими группами существовали различия, использовали попарное сравнение с помощью U-критерия Манна–Уитни с поправкой критерия значимости на множественные сравнения, для трёх групп критический уровень значимости составил $p < 0,017$. Корреляционный анализ выполнен с использованием критерия Спирмена (rs). Уровни статистической значимости принимали при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Было проведено сравнение показателей ВСП у подростков, проживающих в различных климато-географических условиях России, показатели ВСП и результаты статистического сравнения представлены в табл. 1. У молодых людей г. Надыма показатели ВСП отличались более низкими значениями SDNN, RMSSD, pNN50, TP, HF, LF, VLF и высокими значениями SI по сравнению с ровесниками из г. Архангельска и г. Симферополя. Не выявлено различий между значениями параметров ВСП у девушек и юношей г. Архангельска и г. Симферополя. У респондентов г. Архангельска и г. Симферополя значения SI, попадающие в интервал между 25-м и 75-м перцентилями, соответствует сбалансированному влиянию активности

Таблица 1. Вариабельность ритма сердца у молодых людей, проживающих в различных климато-географических условиях России, Me (25; 75)**Table 1.** Heart rate variability in young people living in different climatic and geographical conditions of Russia, Me (25; 75)

Параметр Parameter	г. Архангельск Arkhangelsk n=48	г. Надым Nadym n=54	г. Симферополь Simferopol n=54	<i>p</i> , критерий Краскела–Уоллиса Kruskal–Wallis H test
ЧСС, уд./мин. HR, beats/min	76,9 (68,5; 86,3)	85,5 (76,9; 91,1)	82,6 (76,4; 87,4)	0,021
RMSSD, мс (ms)	42,5 (29,6; 58,4)	30,1 (19,8; 37,8)** (1,3)	34,8 (26,2; 49,1)	0,001
pNN50, мс (ms)	22,8 (8,9; 36,9)	8,8 (1,8; 16,7)** (1,3)	14,1 (5,6; 31,1)	0,001
SDNN, мс (ms)	51,3 (43,8; 71,1)	40,6 (34,6; 53,9)** (1,3)	54,2 (38,4; 63,2)	0,037
SI, усл. ед. (units)	87,1 (48,9; 152,7)	152,1 (93,8; 260,2)** (1,3)	100,6 (65,5; 196,5)	0,001
TP, мс ² (ms ²)	2379,7 (1713,6; 4494,8)	1554,6 (1117,2; 2225,2)** (1,3)	2407,8 (1396,6; 3382,5)	0,001
HF, мс ² (ms ²)	884,5 (523,8; 1771,4)	441,1 (241,9; 734,1)** (1)	631,4 (330,1; 1323,1)	0,001
LF, мс ² (ms ²)	804,2 (488,9; 1416,5)	540,3 (386,1; 721,8)* (1,3)	843,4 (461,3; 1185,6)	0,007
VLF, мс ² (ms ²)	326,2 (206,8; 514,6)	220,7 (131,9; 291,8)* (1)	259,5 (167,3; 563,2)	0,016
HF%	42,8 (29,1; 60,6)	34,9 (27,7; 48,5)* (1)	34,1 (19,9; 51,3)	0,028
LF%	36,1 (27,7; 51,4)	40,4 (35,5; 49,5)	40,7 (32,7; 54,2)	0,122
VLF%	15,6 (9,2; 22,2)	16,6 (11,4; 24,9)	15,9 (8,9; 26,5)	0,546

Примечание: ЧСС — частота сердечных сокращений; RMSSD — квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар RR-интервалов; pNN50 — процент количества пар последовательных кардиоинтервалов в кардиограмме, отличающихся более чем на 50 мс; SDNN — среднее квадратичное отклонение; SI — индекс напряжения регуляторных систем; TP — суммарная мощность спектра вариабельности сердечного ритма; HF — мощность спектра вариабельности сердечного ритма в диапазоне высоких частот; LF — мощность спектра вариабельности сердечного ритма в диапазоне низких частот; VLF — мощность спектра вариабельности сердечного ритма в диапазоне сверхнизких частот; * $p < 0,01$; ** $p < 0,001$ — сравнение между городами проживания (критерий Манна–Уитни).

Note: HR — heart rate; RMSSD — the square root of the sum of the squares of the difference in the values of consecutive pairs of RR intervals; pNN50 — the percentage of the number of pairs of consecutive cardio intervals in the cardiogram differing by more than 50 ms; SDNN — standard deviation; SI — the index of tension of regulatory systems; TP — the total power of the HRV spectrum; HF — the HRV spectrum power in the high-frequency range; LF — the low-frequency range; VLF — the very low frequency range; * $p < 0,01$; ** $p < 0,001$ — comparison between cities of residence (Mann–Whitney test).

симпатической и парасимпатической нервной системы в регуляции ритма сердца [15]. SI в норме колеблется в пределах 50–200 усл. ед. [15,16].

Установлены различия по латентному времени N2 в теменных (P4, $p=0,008$; P3, $p=0,042$), центральных (C4, $p=0,026$; C3, $p=0,029$), в лобном справа (F4, $p=0,013$), в средневисочном (T4, $p=0,036$) и передневисочном отделах (F8, $p=0,026$) справа (табл. 2). У молодых людей, проживающих в г. Надыме, отмечалось удлинение времени N2 по сравнению с ровесниками из Архангельска в теменных (P4, $p=0,011$), центральных (C4, $p=0,007$), лобных (F4, $p=0,004$) и передневисочных отделах мозга справа (F8, $p=0,007$), а по сравнению с молодыми людьми из Симферополя в теменных (P4, $p=0,003$; P3, $p=0,012$) отделах головного мозга и в центральном слева (C3, $p=0,012$).

У молодых людей г. Архангельска отмечалось более короткое время N2 справа в передневисочном (F8, $p=0,001$) и центральном (C4, $p=0,04$) отделах головного мозга (рис. 1).

Амплитуда и ЛВ P300 не различались у молодых людей в зависимости от региона проживания (табл. 3).

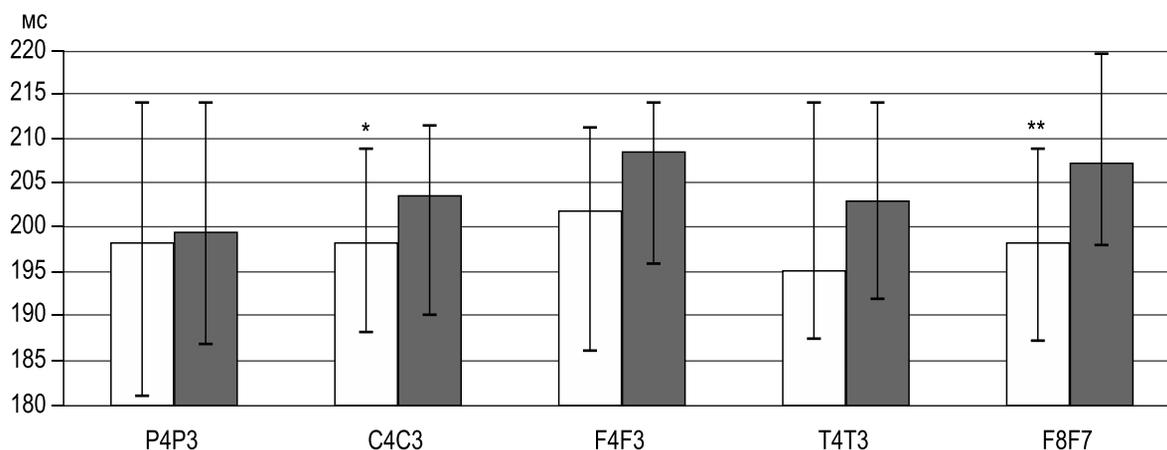
Выявлены корреляционные связи между показателями вариабельности ритма сердца и компонентами слухового вызванного потенциала P300. Показатель TP отрицательно коррелирует с ЛВ N2 в теменных отделах (P4, $r=-0,16$, $p=0,04$; P3, $r=-0,22$, $p=0,009$), передневисочном справа (F8, $r=-0,18$, $p=0,03$), показатель SDNN отрицательно коррелирует с ЛВ N2 в теменном (P3, $r=-0,20$, $p=0,01$), центральном (C4, $r=-0,17$, $p=0,04$), передневисочном справа (F8, $r=-0,18$, $p=0,03$) отделах, показатель SI положительно коррелирует с ЛВ N2 в теменном отделе слева (P3, $r=0,18$, $p=0,03$), передневисочном справа (F8, $r=0,17$, $p=0,03$), показатель LF отрицательно коррелирует с ЛВ N2 в теменной области (P4, $r=-0,18$, $p=0,03$; P3, $r=-0,23$, $p=0,006$), в центральной (C4, $r=-0,22$, $p=0,009$), в лобном (F4, $r=-0,17$, $p=0,03$; F3, $r=-0,17$, $p=0,04$), средневисочном (T4, $r=-0,22$, $p=0,009$), передневисочном (F8, $r=-0,34$, $p=0,001$) отделах головного мозга.

Таблица 2. Латентное время N2 (мс) у молодых людей, проживающих в различных климато-географических условиях России, Ме (25; 75)**Table 2.** Latency N2 (ms) in young people living in different climatic and geographical conditions of Russia, Me (25; 75)

Каналы ЭЭГ EEG channels	г. Архангельск Arkhangelsk n=48	г. Надым Nadym n=54	г. Симферополь Simferopol n=54	p, критерий Краскела–Уоллиса Kruskal–Wallis H test
P4	198 (179,5; 214)	212,5 (197; 224)* (1,3)	197,5 (182; 213)	0,008
P3	201,7 (187; 214)	207,5 (192; 224,5)* (3)	196 (170; 210)	0,042
C4	198 (188; 210,5)	207,5 (198; 220)* (1)	203 (190; 212)	0,026
C3	204,9 (189,7; 212,2)	208 (197; 222,5)* (3)	202 (190; 210)	0,029
F4	203 (189; 214)	212 (200; 228)* (1)	206,5 (196; 218)	0,013
F3	208,6 (194; 214)	212 (200; 229,5)	207 (194; 218)	0,176
T4	199 (187; 214)	210,5 (197,5; 220)	203 (188; 216)	0,036
T3	203 (192; 214)	212,2 (185,5; 224,5)	202 (183; 220)	0,476
F8	198 (187,5; 209)	213 (196; 222,5)* (1)	204 (190; 218)	0,026
F7	207,3 (197; 216,9)	213 (198; 234)	206,5 (186; 218)	0,065

* $p < 0,01$ — сравнение между городами проживания (критерий Манна–Уитни).

* $p < 0,01$ — comparison between cities of residence (Mann–Whitney test).

**Рис. 1.** Латентное время N2 слухового вызванного потенциала P300 у молодых людей г. Архангельска: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ — сравнение правого-левого полушарий мозга.**Fig. 1.** N2 latency of auditory evoked potential P300 in young people in Arkhangelsk: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ — comparison of the right-left hemispheres of the brain.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты нашего исследования выявили различия по параметрам ВСП у молодых людей в зависимости от региона проживания. У девушек и юношей г. Надыма преобладала активность симпатической нервной системы в регуляции ритма сердца и отмечалось напряжение центральной регуляции, что проявлялось более низкими значениями показателей RMSSD, pNN50, HF, LF, VLF и высокими значениями показателя SI по сравнению с молодыми людьми г. Архангельска и г. Симферополя. Этот результат соответствует данным литературы, указывающим на то, что в весенний период на Севере преобладает

симпатическая активность и значителен вклад центрального контура в регуляцию сердечного ритма для сохранения оптимальных гомеостатических условий организма [17]. Различия в параметрах ВСП у молодых людей северных городов Архангельска и Надыма, вероятно, обусловлены более суровыми климато-географическими условиями г. Надыма [18], а также тем, что у большинства обследуемых данного города родители являются мигрантами, переехавшими из южных регионов России в связи с профессиональной деятельностью. У подростков г. Архангельска не было выявлено отличий в показателях ВСП по сравнению с молодыми людьми г. Симферополя.

В литературе авторами показано, что широтные различия между людьми Севера России и Юга (Казахстан) выявляются только летом по отдельным показателям ВСП и отсутствуют зимой [19].

Проведенный анализ компонентов слухового вызванного потенциала P300 выявил достоверные различия в латентном времени N2 в зависимости от региона проживания, а также корреляционные связи между показателями ВСП и компонентами P300. Удлинение ЛВ N2 отмечалось у молодых людей г. Надыма в теменных (P4, P3) и центральном слева отделах головного мозга по сравнению с молодыми людьми г. Симферополя. У девушек и юношей г. Архангельска по сравнению с ровесниками г. Надыма в теменных, центральных, лобных и височных отделах головного мозга справа ЛВ N2 было короче. Вероятно, это может быть связано с доминирующей функцией правого полушария головного мозга. Проведенные в высоких широтах исследования показали доминирование правого полушария, особенно у коренных жителей, в процессе адаптации к неблагоприятным климато-географическим условиям по сравнению с жителями центральных регионов [20]. «Правополушарные» лица имеют более устойчивый механизм быстрой и долговременной адаптации к экстремальным метеоро- и геофизическим ситуациям, что определяет благоприятный прогноз для здоровья [20]. Эти люди отличаются меньшим психоэмоциональным напряжением, меньшей заторможенностью нервных процессов и большей устойчивостью к изменению метеорофизических факторов [20].

Полученные нами данные об увеличении латентного времени N2 на значимый звуковой стимул у молодых людей г. Надыма может свидетельствовать об увеличении времени опознания и дифференцирования стимулов.

Компонент P300 связан с оценкой стимула и корректровкой имеющихся в памяти данных в соответствии с полученными новыми данными и соответствует окончательному звену информационной обработки [6]. Анализ ЛВ P300 не выявил значимых различий у молодых людей в зависимости от региона проживания.

Показатели TP, SDNN, отражающие общую вегетативную активность, отрицательно коррелирует с ЛВ N2 в теменных отделах (P4, P3), центральном (C4), передневисочном справа (F8), показатель SI, индекс напряжения регуляторных систем, положительно коррелирует с ЛВ N2 в теменном отделе слева (P3), передневисочном справа (F8), показатель LF, отражающий барорефлекторную активность, отрицательно коррелирует с ЛВ N2 в теменной (P4, P3), центральной (C4), лобной (F4, F3), средневисочной (T4), передневисочной (F8) областях, что означает: чем значительнее дисбаланс вегетативной нервной системы в сторону преобладания симпатических влияний, тем больше ЛВ N2. Наши данные, свидетельствующие о негативном влиянии вегетативного дисбаланса (с преобладанием симпатического тонууса) на когнитивные функции, подтверждают данные других авторов [10]. Согласно

модели нейровисцеральной интеграции, вегетативная нервная система находится под контролем префронтальной коры, передней поясной извилины, орбитофронтальной коры и миндаины, которые также имеют решающее значение для когнитивных процессов [21]. Thayer и соавт. (2009) предположили, что преобладание симпатической нервной системы с последующей префронтальной гиперактивацией будет способствовать растормаживанию миндалевидного тела, что приводит к снижению ВСП и когнитивной гибкости [10]. Учитывая данные других исследований, указывающих на специализацию полушарий головного мозга в регуляции вегетативной нервной системы, где правое полушарие преимущественно связано с активностью симпатической нервной системы [22], а также правополушарного способа реагирования в условиях Севера, мы полагаем, что преобладание симпатической активности в регуляции ритма сердца будет отражаться на удлинении ЛВ N2, т.е. более медленном опознании и дифференцировании звукового сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное исследование показало различие в латентном времени N2 слухового вызванного потенциала P300 и связь его с вегетативной нервной системой у молодых людей, проживающих в разных регионах России. В северном регионе, на примере г. Надыма, у молодых людей с преобладанием активности симпатической нервной системы в регуляции ритма сердца и напряжением центральных механизмов наблюдалось удлинение времени N2, что позволяет судить о более медленном опознании и дифференцировании звукового сигнала.

У молодых лиц со сбалансированным влиянием активности симпатической и парасимпатической нервной системы, проживающих в условиях Севера, на примере г. Архангельска, отмечалось более короткое время N2 справа в передневисочных и центральных отделах мозга по сравнению с респондентами г. Надыма. У молодых людей южного региона со сбалансированным влиянием вегетативной нервной системы в регуляции ритма сердца отмечалось более короткое время N2 в теменных отделах обоих полушарий головного мозга и в центральном отделе слева по сравнению с ровесниками из северного региона г. Надыма. Можно заключить, что дисбаланс вегетативной нервной системы в сторону преобладания симпатических влияний в регуляции ритма сердца отражается на более медленном опознании и дифференцировании звукового сигнала.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Благодарности. Авторы выражают благодарность за помощь в сборе первичного материала д.м.н. Д.Б. Демину.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего

авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Е.В. Кривоногова разработала концепцию и дизайн исследования, получила, проанализировала и интерпретировала данные, написала текст статьи; О.В. Кривоногова проанализировала и интерпретировала данные, написала текст статьи; Л.В. Поскотинова организация и сбор материала, прочтение и одобрение финальной версии статьи.

Источник финансирования. Исследование выполнено по программе фундаментальных научно-исследовательских разработок Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения РАН, № 122011300469-7.

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Этический комитет. Все обследования проходили после получения у участников и их законных представителей информированного согласия с соблюдением норм биомедицинской этики.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. The authors thank D.B. Demin for his help in data collection.

Author contributions. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication). The greatest contribution is distributed as follows: E.V. Krivonogova developed the concept and design of the study, received, analyzed and interpreted the data, wrote the text of the article; O.V. Krivonogova analyzed and interpreted the data, wrote the text of the article; L.V. Poskotinova organization and collection of material, reading and approval of the final version of the article.

Funding source. The study was carried out under the Program for basic research, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural branch, Russian Academy of Sciences, no. 122011300469-7.

Conflicts of interest. The authors declare no conflict of interest.

Ethics approval. All examinations were conducted after obtaining informed consent from the participants and their legal representatives in compliance with the norms of biomedical ethics.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безруких М.М., Мачинская Р.И., Фарбер Д.А. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга и формирование познавательной деятельности в онтогенезе ребенка // Физиология человека. 2009. Т. 35, № 6. С. 10–24
2. Рожков В.П., Трифонов М.И., Сороко С.И. Отражение процесса созревания ЦНС у детей и подростков северного региона РФ в динамике интегральных параметров ЭЭГ // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2021. Т. 71, № 4. С. 529–546. doi: 10.31857/S0044467721040067
3. Семикин В.В., Попова Т.Л., Кочкин Р.А., Межина О.Ю. Экспериментальное исследование возможностей оптимизации психофизиологического состояния человека в арктических условиях // Известия Иркутского государственного университета. Серия Психология. 2022. Т. 42. С. 76–93. doi:10.26516/2304-1226.2022.42.76
4. Симонова Н.Н., Тункина М.А., Корнеева Я.А., Трофимова А.А. Адаптивность как предиктор изменений функциональных состояний участников морской научной экспедиции в Арктику // Национальный психологический журнал. 2022. № 4. С. 65–79. doi: 10.11621/npj.2022.0407
5. Steiner L., Federspiel A., Slavova N., et al. Functional topography of the thalamo-cortical system during development and its relation to cognition // *NeuroImage*. 2020. Vol. 223. P. 117361. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.117361
6. Гнездицкий В.В., Корепина О.С., Чацкая А.В., Ключкова О.И. Память, когнитивность и эндогенные вызванные потенциалы мозга: оценка нарушения когнитивных функций и объема оперативной памяти без психологического тестирования // Успехи физиологических наук. 2017. Т. 48, № 1. С. 3–23.
7. Солонин Ю.Г. Исследования по широтной физиологии (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. 2019. Т. 7, № 2. С. 228–239. doi: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.228
8. Звягина Н.В., Морозова Л.В. Возрастные особенности умственной работоспособности и внимания у детей и подростков города Архангельска // Новые исследования. 2011. Т. 1, № 26. С. 66–76.
9. Kaufmann T., Vögele C., Sütterlin S., et al. Effects of resting heart rate variability on performance in the P300 brain-computer interface // *International Journal of Psychophysiology*. 2012. Vol. 83, N 3. P. 336–341. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.11.018
10. Forte G., Favieri F., Casagrande M. Heart Rate Variability and Cognitive Function: A Systematic Review // *Frontiers in Neuroscience*. 2019. Vol. 13. P. 710. doi: 10.3389/fnins.2019.00710
11. Léonard A., Clément S., Kuo C-D., Manto M. Changes in Heart Rate Variability During Heartfulness Meditation: A Power Spectral Analysis Including the Residual Spectrum // *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2019. Vol. 6. P. 62. doi: 10.3389/fcvm.2019.00062
12. Shaffer F., Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms // *Frontiers in Public Health*. 2017. Vol. 5. P. 258. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258
13. Агаджанян Н.А., Коновалова Г.М., Ожева Р.Ш. Этнос, здоровье и проблемы адаптации // Новые технологии. 2010. № 3. С. 93–97.
14. Гржибовский А.М., Горбатова М.А., Наркевич А.Н., Виноградов К.А. Необходимый объем выборки для сравнения средних арифметических в двух независимых группах // *Морская медицина*. 2020. Т. 6, № 2. С. 106–113. doi: 10.22328/2413-5747-2020-6-2-106-113
15. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Кляцкин С.З. Математический анализ изменения сердечного ритма при стрессе. Москва: Наука, 1984. 222 с.
16. Бойко И.М., Мосягин И.Г. Психофизиологическая безопасность полетов на Европейском Севере России. Архангельск: Издательство СГМУ, 2011. 202 с.

17. Чеснокова В.Н., Мосягин И.Г. Сезонная динамика параметров кардиореспираторной системы у юношей, проживающих на Европейском Севере России // Экология человека. 2009. № 8. С. 7–11.
18. Заболотник С.И. Районирование территории страны по суровости климатических условий // Управление мегаполисом. 2008. № 6. С. 104–111.
19. Солонин Ю.Г., Марков А.Л., Бойко Е.Р., и др. Сравнение результатов спутниковых исследований по проекту «МАРС-500» в Сыктывкаре и Алматы // Физиология человека. 2015. Т. 41, № 3. С. 98–105. doi: 10.7868/S0131164615030169
20. Хаснулин В.И., Хаснулина А.В. Стресс на Севере. Механизмы устойчивости к психоэмоциональному стрессу. Saarbrücken : LAP Lambert, 2013. 137 с.
21. Quadl L., Critchley H., Nagai Y. Cognition, emotion, and the central autonomic network // *Autonomic Neuroscience*. 2022. Vol. 238. P. 102948. doi: 10.1016/j.autneu.2022.102948
22. Guo C.C., Sturm V.E., Zhou J., et al. Dominant hemisphere lateralization of cortical parasympathetic control as revealed by frontotemporal dementia // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2016. Vol. 113, N 17. P. E2430–E2439. doi: 10.1073/pnas.1509184113

REFERENCES

1. Bezrukikh MM, Machinskaya RI, Farber DA. Structural and functional organization of a developing brain and formation of cognitive functions in child ontogeny. *Human Physiology*. 2009;35(6):658–671. doi: 10.1134/S0362119709060024
2. Rozhkov VP, Trifonov MI, Soroko SI. CNS development in children and adolescents of the Russian Federation northern region and its reflection in the dynamics of integral EEG parameters. *Žurnal vyššej nervnoj deâtel'nosti im. I.P. Pavlova*. 2021;71(4):529–546. (In Russ). doi: 10.31857/S0044467721040067.
3. Semikin VV, Popova TL, Kochkin RA, Mezhdina OY. The Experimental Study of the Possibility to Optimize Psychophysiological State of a Person in Arctic Conditions. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Psychology*. 2022;42:76–93. doi: 10.26516/2304-1226.2022.42.76
4. Simonova NN, Tunkina MA, Korneeva YA, Trofimova AA. Adaptability as a predictor to the change of functional states in participants of a marine scientific expedition to the Arctic. *Natsional'nyy psikhologicheskij zhurnal (National psychological journal)*. 2022;(4):65–79. (In Russ). doi: 10.11621/npj.2022.0407
5. Steiner L, Federspiel A, Slavova N, et al. Functional topography of the thalamo-cortical system during development and its relation to cognition. *NeuroImage*. 2020;223:117361. doi: 10.1016/j.neuroimage.2020.117361
6. Gnezditskiy VV, Korepina OS, Chatskaya AV, Klochkova OI. Memory, cognition and the endogenous evoked potentials of the brain: the estimation of the disturbance of cognitive functions and capacity of working memory without the psychological testing. *Uspëhi fiziologičeskijh nauk*. 2017;48(1):3–23. (In Russ).
7. Solonin YuG. Studies on Latitude Physiology (Review). *Žurnal mediko-biologičeskijh issledovanij*. 2019;7(2):228–239. (In Russ). doi: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.228
8. Zvyagina NV, Morozova LV. Vozrastnye osobennosti umstvennoj rabotosposobnosti i vnimaniya u detej i podrostkov goroda Arhangel'ska. *Novyye issledovaniya*. 2011;1(26): 66–76. (In Russ).
9. Kaufmann T, Vögele C, Sütterlin S, et al. Effects of resting heart rate variability on performance in the P300 brain-computer interface. *International Journal of Psychophysiology*. 2012;83(3):336–341. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.11.018
10. Forte G, Favieri F, Casagrande M. Heart Rate Variability and Cognitive Function: A Systematic Review. *Frontiers in Neuroscience*. 2019;13:710. doi: 10.3389/fnins.2019.00710
11. Léonard A, Clément S, Kuo C-D, Manto M. Changes in Heart Rate Variability During Heartfulness Meditation: A Power Spectral Analysis Including the Residual Spectrum. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2019;6:62. doi: 10.3389/fcvm.2019.00062
12. Shaffer F, Ginsberg JP. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*. 2017;5:258. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258
13. Agadzhanian NA, Konovalova GM, Ozheva RSh. Etnos, zdorov'e i problemy adaptatsii. *Novyye tekhnologii*. 2010;(3):93–97. (In Russ).
14. Grjibovski AM, Gorbatova MA, Narkevich AN, Vinogradov KA. Required sample size for comparing proportions in two independent samples. *Marine medicine*. 2020;6(2):106–113. doi: 10.22328/2413-5747-2020-6-2-106-113
15. Baevsky RM, Kirillov OI, Klyatskin SZ. *Matematicheskij analiz izmenenij serdechnogo ritma pri stresse*. Moscow: Nauka; 1984. 222 p. (In Russ).
16. Boyko IM, Mosyagin IG. *Psihofiziologičeskaya bezopasnost' poletov na Evropejskom Severe Rossii*. Arkhangelsk: Izdatel'stvo SGMU; 2011. 202 p. (In Russ).
17. Chesnokova VN, Mosyagin IG. Sezonnaya dinamika parametrov kardiorespiratornoi sistemy u yunoshei, prozhivayushchikh na Evropejskom Severe Rossii. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2009;(8):7–11. (In Russ).
18. Zabolotnik SI. Rajonirovanie territorii strany po surovosti klimaticheskijh uslovij. *Upravlenie megapolisom*. 2008;(6):104–111. (In Russ).
19. Solonin IG, Markov AL, Bojko ER, et al. Comparison of the results of satellite studies in participants of the MARS-500 experiment in Syktvykar and Almaty. *Human Physiology*. 2015;41(3):311–317. doi: 10.7868/S0131164615030169
20. Khasnulin VI, Khasnulina AV. *Stress in the North. Mechanisms of resistance to psychoemotional stress Northe*. Saarbrücken: LAP LAMBERT; 2013. 137 p.
21. Quadl L, Critchley H, Nagai Y. Cognition, emotion, and the central autonomic network. *Autonomic Neuroscience*. 2022;238:102948. doi: 10.1016/j.autneu.2022.102948
22. Guo CC, Sturm VE, Zhou J, et al. Dominant hemisphere lateralization of cortical parasympathetic control as revealed by frontotemporal dementia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2016;113(17):E2430–E2439. doi: 10.1073/pnas.1509184113

ОБ АВТОРАХ

* **Кривоногова Елена Вячеславовна**, к.б.н., старший научный сотрудник; адрес: Российская Федерация, 163020, Архангельск, пр-т Никольский, 20; ORCID: 0000-0002-2323-5246; eLibrary SPIN: 9022-9696; e-mail: elena200280@mail.ru

Кривоногова Ольга Вячеславовна, к.б.н., научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-7267-8836; eLibrary SPIN: 1086-3008; e-mail: ja.olga1@gmail.com

Поскотинова Лилия Владимировна, д.б.н., к.м.н., доцент, главный научный сотрудник; ORCID: 0000-0002-7537-0837; eLibrary SPIN: 3148-6180; e-mail: liliya200572@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

***Elena V. Krivonogova**, Cand. Sci. (Biol.), senior researcher; address: 20 Nikolsky avenue, 163020, Arkhangelsk, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2323-5246; eLibrary SPIN: 9022-9696; e-mail: elena200280@mail.ru

Olga V. Krivonogova, Cand. Sci. (Biol.), researcher; ORCID: 0000-0002-7267-8836; eLibrary SPIN: 1086-3008; e-mail: ja.olga1@gmail.com

Lilia V. Poskotinova, Dr. Sci. (Biol.), Cand. Sci. (Med.), associate professor, chief researcher; ORCID: 0000-0002-7537-0837; eLibrary SPIN: 3148-6180; e-mail: liliya200572@mail.ru