

УДК 612.2:612.17:57.034

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ УМСТВЕННОЙ НАГРУЗКЕ У СТУДЕНТОВ С РАЗНЫМИ ХРОНОТИПАМИ

© 2021 г. С. И. Павленко¹, *, О. А. Ведясова¹, И. Г. Кретьова¹

¹ФГАОУ ВО Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

*E-mail: pavlenko.snezhanina@mail.ru

Поступила в редакцию 16.03.2020 г.

После доработки 20.04.2020 г.

Принята к публикации 02.09.2020 г.

Проведен анализ изменений и корреляционных связей параметров внешнего дыхания и вариабельности сердечного ритма (ВСР) при умственной нагрузке монотонного характера (в виде батареи тестов на внимание и счет в уме) у студентов с утренним (“жаворонки”), дневным (“голуби”) и вечерним (“совы”) хронотипами. Показано, что при умственной нагрузке в утренние, дневные и вечерние часы у студентов снижаются минутный объем дыхания и объемная скорость инспираторного потока, а также уменьшаются такие параметры ВСР как частота сердечных сокращений (ЧСС), индекс симпатической активности и стресс-индекс, однако в неодинаковой степени у разных хронотипов. Неоднозначно у утреннего, дневного и вечернего хронотипов меняются общая спектральная мощность колебаний ритма сердца и ее отдельные частотные компоненты. В целом, количество кардиореспираторных эффектов и их выраженность при нагрузке у “голубей” больше, чем у “жаворонков” и “сов”. Корреляционные связи между дыханием и ВСР при монотонной нагрузке преобладают у “жаворонков”, причем более тесные связи у них наблюдаются в вечерние часы, тогда как у “голубей” и “сов” корреляции доминируют при утренней работе. Полученные данные позволяют считать, что по оптимальности приспособительных реакций внешнего дыхания и сердца в условиях монотонной умственной деятельности в часы, несовпадающие с хронотипом, первое место занимают студенты “голуби”, второе – “совы”, третье – “жаворонки”.

Ключевые слова: хронотипы, паттерн внешнего дыхания, вариабельность сердечного ритма, монотонная умственная нагрузка, корреляционные связи.

DOI: 10.31857/S0131164621010100

Типичным признаком умственного труда современных студентов является неравномерное распределение учебных нагрузок в течение дня и их несоответствие пикам физиологических функций. Рассогласование биоритмов с ритмами социальной активности (социальный джетлаг [1]) приводит к формированию внутреннего дисхронизма [2], причем в этом отношении для обучающихся одинаково неблагоприятны учебные занятия в ранние утренние и вечерние часы [3]. Несовпадение эндогенных и экзогенных ритмов может нарушать координацию активности компонентов хронома и даже вызывать десинхроноз, проявляющийся патологическими состояниями [2], поэтому перед современной хронофизиологией стоит задача всестороннего изучения взаимодействия ритмов разных функций организма у представителей со сменным графиком труда [4]. При решении данной задачи необходимо учитывать циркадианную типологию человека, что особен-

но актуально в исследованиях на студентах, поскольку индивидуальные хронотипы являются предикторами не только академической успеваемости, но и состояния здоровья молодых людей [3, 5]. В аспекте сказанного особый интерес вызывают сердечно-сосудистая и дыхательная системы, реакции которых являются важным компонентом процесса адаптации к стрессогенным факторам во время обучения в вузе [6, 7]. Однако при изучении биоритмологических особенностей функциональных показателей у студентов [7, 8] исследователи практически не уделяют внимания хронотипической зависимости реакций кровообращения и дыхания в условиях ментальной деятельности.

Цель настоящей работы заключалась в анализе изменений параметров внешнего дыхания и вариабельности сердечного ритма (ВСР) и выявления их корреляционных связей при умственной нагрузке монотонного характера, выполняемой в

различные периоды дня, у студентов с утренним, дневным и вечерним хронотипами.

изменения средних значений в %. Достоверными считали различия при $p < 0.05$.

МЕТОДИКА

В исследовании участвовали студенты-добровольцы в возрасте 19–22 лет. Хронотипы студентов определяли по методикам Д. Хорна–О. Остберга в модификации А.А. Путилова [9]. Были сформированы 3 группы испытуемых: “жаворонки” (утренний хронотип, 55 чел.), “голуби” (дневной хронотип, 93 чел.) и “совы” (вечерний хронотип, 98 чел.).

Внешнее дыхание регистрировали на спирографе КМ-АР-01-“Диамант” (Россия). Анализировали дыхательный объем (ДО, л), минутный объем дыхания (МОД, л/мин), длительность вдоха (T_i , с), выдоха (T_e , с) и дыхательного цикла T_t (с), коэффициент T_i/T_e (усл. ед.), частоту дыхания (ЧД, цикл/мин), объемную скорость инспираторного потока (V_i , л/мин). Параметры ВСП регистрировали на пульсоксиметре “ЭЛОКС-01” (Россия) с использованием пальцевого фотооптического датчика. Оценивали кардиоинтервалы (RR , мс), частоту сокращений сердца (ЧСС, уд./мин), активность симпатического (СИМ, усл. ед.) и парасимпатического (ПАР, усл. ед.) отделов вегетативной нервной системы, индекс напряжения по Баевскому (ИН, усл. ед.), спектральную мощность колебаний кардиоритма, в т.ч. общую (TP , мс²), в диапазоне очень низких (VLf , мс²), низких (LF , мс²) и высоких (HF , мс²) частот, вагосимпатический индекс LF/HF (усл. ед.). Студенты во время обследования находились в положении сидя. Дыхание и ВСП регистрировали в течение 5 мин до и 5 мин сразу после монотонной умственной работы (выполнение корректурной пробы Бурдона – Анфимова, теста “Расстановка чисел”, теста отсчитывания по Крепелину). Обследование проводили трижды в день – утром с 7:30 до 9:00 ч, днем с 13:00 до 14:30 ч и вечером с 18:00 до 19:30 ч.

Статистический анализ проводили с использованием программного пакета *SigmaPlot* 12.0. Нормальность распределения изучаемых параметров определяли с помощью теста Шапиро–Уилка. Для оценки достоверности изменений параметров ВСП и дыхания в течение дня на фоне покоя и в ответ на ментальную нагрузку у студентов с одинаковыми хронотипами применяли тест Уилкоксона, при анализе различий в динамике ВСП и дыхания у представителей с разными хронотипами использовали тест Манна–Уитни. Анализ корреляционных связей параметров дыхания и ВСП выполняли по Спирмену. В качестве описательных статистик приведены медианы (Me) с межквартильным размахом ($P25–P75$), а также

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ спирограмм и кардиоритмограмм, зарегистрированных у студентов на фоне относительного покоя и после монотонной умственной нагрузки в интервале от 7:30 до 19:30 ч, показал различный характер динамики паттерна внешнего дыхания и ВСП у “жаворонков”, “голубей” и “сов”. Следует обратить внимание на то, что в состоянии покоя наиболее значительные колебания параметров внешнего дыхания (табл. 1) и ВСП (табл. 2) наблюдались у лиц с дневным и вечерним хронотипами, а большая стабильность отмечалась у представителей утреннего хронотипа.

При монотонной ментальной нагрузке респираторные реакции у всех студентов проявлялись уменьшением МОД и V_i (рис. 1), однако у разных хронотипов в различные периоды дня это сопровождалось неоднозначными изменениями других параметров спирограммы. Так, у “жаворонков” реакции дыхания при монотонной умственной работе отмечались утром и вечером и имели примерно одинаковую выраженность. При утренней нагрузке у “жаворонков” снижался МОД на 13.2% ($p < 0.001$) за счет уменьшения ДО на 9.5% ($p < 0.05$) относительно покоя. Нагрузка вечером также вызывала у них снижение МОД (на 12.3%; $p < 0.001$) и ДО (на 8.9%; $p < 0.05$), а кроме того приводила к достоверному уменьшению V_i (рис. 1, А). Что касается “голубей” и “сов”, то у них параметры паттерна дыхания чаще менялись при работе в часы, синхронизированные с пиками эндогенных ритмов. Например, у “голубей” реакции дыхания на нагрузку преобладали в дневное время, когда отмечалось снижение МОД на 9.6% ($p < 0.001$) за счет уменьшения как ДО (на 6.5%; $p < 0.05$), так и ЧД. Изменения ЧД обуславливались удлинением вдоха и сопровождалось уменьшением V_i на 12.2% ($p < 0.001$). При работе в вечернее время у “голубей” уменьшались ДО (на 7.7%; $p < 0.01$), V_i (на 16.3%, $p < 0.001$) и МОД (рис. 1, Б). У “сов” респираторные реакции на монотонную нагрузку доминировали в вечерние часы. В это время у них уменьшались МОД и V_i (рис. 1, В) в среднем на 5.7% ($p < 0.05$), а кроме того, в отличие от других хронотипов, менялась фазовая структура дыхательного цикла, на что указывало увеличение значений T_i и T_i/T_e в среднем на 5.4% ($p < 0.05$) относительно покоя. При работе днем у “сов” менялся показатель T_t (увеличение на 4.8%; $p < 0.05$). Сравнение реакций внешнего дыхания у представителей разных хронотипов выявило значимые различия ($p < 0.05$) абсолютных величин МОД между “голубыми” и “совами” после нагрузки в вечернее время.

Таблица 1. Изменения параметров паттерна дыхания у студентов с разными хронотипами в течение дня на фоне покоя

Параметры	Утро 7:30–9:00	День 13:00–14:30	Вечер 18:00–19:30
“Жаворонки”			
ЧД, цикл/мин	18.32 (14.99–21.93)	18.74 (15.85–20.99)	18.51 (15.68–21.29)
ДО, л	0.62 (0.47–0.74)	0.64 (0.48–0.78)	0.63 (0.48–0.82)
МОД, л/мин	11.67 (7.94–13.78)	11.86 (8.39–14.59)	12.19 (7.73–16.32)
Tt , с	3.30 (2.74–3.99)	3.13 (2.85–3.69)	3.23 (2.73–3.83)
Te , с	1.54 (1.24–1.98)	1.68 (1.33–1.88)	1.61 (1.39–2.01)
Vi , л/мин	0.37 (0.30–0.51)	0.37 (0.28–0.56)	0.39 (0.26–0.56)*
“Голуби”			
ЧД, цикл/мин	18.32 (15.23–21.56)	19.24 (15.10–22.55)	18.39 (14.78–21.83)
ДО, л	0.54 (0.39–0.79)	0.59 (0.43–0.83)*	0.61 (0.44–0.81)*
МОД, л/мин	8.95 (6.84–13.02)	10.39 (7.58–15.26)**	11.18 (7.74–13.49)#
Tt , с	3.18 (2.79–3.83)	3.10 (2.64–3.84)	3.29 (2.75–4.06)××
Te , с	1.70 (1.36–2.12)	1.51 (1.20–2.00)*	1.66 (1.32–2.18)
Vi , л/мин	0.34 (0.24–0.51)	0.35 (0.26–0.52)	0.36 (0.27–0.51)
“Совы”			
ЧД, цикл/мин	18.00 (14.59–22.39)	19.21 (15.47–23.05)***	18.60 (15.66–22.92)***
ДО, л	0.61 (0.41–0.80)	0.62 (0.49–0.78)	0.64 (0.43–0.86)
МОД, л/мин	10.15 (7.87–14.27)	10.82 (8.89–14.86)*	12.46 (8.91–16.06)**,#
Tt , с	3.33 (2.66–4.22)	3.09 (2.60–3.88)*	3.25 (2.62–3.83)**
Te , с	1.67 (1.34–2.18)	1.63 (1.22–2.06)*	1.65 (1.30–2.02)
Vi , л/мин	0.38 (0.26–0.51)	0.39 (0.29–0.54)	0.42 (0.29–0.57)*

Примечание: данные представлены как Me ($P25$ – $P75$). * ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$), *** ($p < 0.001$) – отличия от утренних значений, ×× ($p < 0.01$) – отличия от дневных значений (тест Уилкоксона); # ($p < 0.05$) – межгрупповые различия между “голубыми” и “совами” (тест Манна–Уитни).

Оценивая характер респираторных реакций, стоит отметить, что при ментальной деятельности они обусловлены, в первую очередь, нейрогенными механизмами, которые обеспечивают соответствие паттерна центральной инспираторной активности требованиям, предъявляемым к общему уровню легочной вентиляции [10]. Отмечаемое у испытуемых уменьшение легочной вентиляции при однообразной нагрузке может быть обусловлено изменением уровня активности префронтальной коры, которая, как известно, играет важную роль в церебральной регуляции ритма дыхания при решении умственных, например, арифметических задач [11]. Определенные коррективы в структуру паттерна дыхания вносят его циркадианные и сезонные ритмы [12], а также влияния со стороны автономного, адаптационного и произвольного уровней регуляции легочной вентиляции [13]. В биоритмологическом аспекте интересно, что по количеству реакций дыхания в ответ на монотонную умственную работу в нашем исследовании лидировали студенты “голуби”, второе место занимали “совы”, третье – “жаво-

ронки”. При этом у “голубей” и “сов”, в отличие от “жаворонков”, менялись не только объемы дыхания, но и фазовая структура дыхательного цикла, что свидетельствует о зависимости приспособительных реакций дыхательной системы от временных режимов трудовой деятельности и эндогенных биоритмов. Можно считать, что при выполняемой нагрузке адаптационные изменения паттерна дыхания у лиц с дневным и вечерним хронотипами, обеспечиваемые изменениями объемных и частотных параметров спирограммы, имеют более оптимальный характер, чем у лиц с утренним хронотипом.

В картине ВСР при монотонной умственной деятельности у студентов с разными хронотипами также отмечались как общие тенденции, так и определенная биоритмологическая специфика. Например, преимущественные изменения статистических и диагностических параметров ВСР у всех обследованных лиц возникали при работе утром и вечером. Однако характерный для монотонной нагрузки отрицательный хронотропный эффект в виде снижения ЧСС в среднем на 5.1%

Таблица 2. Изменения параметров variability сердечного ритма (BCP) у студентов с разными хронотипами в течение дня на фоне покоя

Параметры	Утро 7:30–9:00	День 13:00–14:30	Вечер 18:00–19:30
“Жаворонки”			
RR, мс	674.00 (619.00–710.00) ^{^^, +}	687.50 (645.00–737.00) ^{^^, ++}	703.00 (632.50–777.25)*
ЧСС, уд./мин	87.50 (80.50–90.50) ⁺⁺	84.00 (72.75–92.75) ^{*, ^^, ++}	89.50 (79.50–97.25) [^]
СИМ, усл. ед.	4.00 (2.75–7.00)	3.00 (2.00–4.00) ^{*, ^}	4.00 (3.00–6.25) ^{*, ^}
ПАР, усл. ед.	11.50 (8.25–14.00)	13.00 (11.25–18.25)**	12.00 (9.25–15.00)
ИН, усл. ед.	131.50 (92.00–194.75)	109.00 (70.25–135.50)** ^{, ^}	116.50 (73.25–217.25) ^{*, ^}
TP, мс ²	4935.00 (2841.50–8724.75)	6697.00 (3952.75–10836.25) [^]	4468.00 (2967.50–6596.50) [^]
VLF, мс ²	1898.00 (952.00–3599.50)	1759.50 (986.25–4214.25) [^]	1627.50 (874.25–2010.25) ^{^^}
LF, мс ²	1617.00 (1205.25–2483.75)	2220.50 (1523.00–4787.00)*	1849.50 (1279.25–2578.25)
HF, мс ²	1025.00 (678.250–1836.75)	1188.50 (679.00–2783.25) [^]	943.00 (652.25–2205.00)
LF/HF, отн. ед.	1.71 (1.28–2.18)	2.18 (0.94–3.78)*	1.63 (1.31–2.62)
“Голуби”			
RR, мс	724.00 (674.00–797.00) ^{^^}	799.00 (684.00–850.00) ^{***, ^^}	747.00 (656.00–797.00) ^{xx, **, #}
ЧСС, уд./мин	80.00 (74.00–92.00)	75.00 (69.00–87.00) ^{***, ^^}	79.00 (74.00–89.00) ^{*, *, ^, #}
СИМ, усл. ед.	3.00 (2.00–5.00)	2.00 (1.00–4.00) ^{**, ^}	3.00 (1.00–5.00) ^{xx, ^}
ПАР, усл. ед.	13.00 (9.00–16.00)	15.00 (14.00–19.00) ^{***}	13.00 (10.00–16.00) ^{xxx, *}
ИН, усл. ед.	101.00 (64.75–160.25)	66.50 (41.75–127.00) ^{***, ^}	93.50 (61.00–158.75) ^{xxx, *, ^}
TP, мс ²	6977.00 (4404.50–10529.50)	9124.00 (5634.00–13928.00) ^{***, ^}	6889.50 (3854.25–11716.25) ^{xx, ^}
VLF, мс ²	2798.50 (1504.00–4101.50)	3303.00 (1742.00–5356.00) ^{**, ^}	2207.00 (1345.75–3571.50) ^{xx, ^^}
LF, мс ²	2408.00 (1412.00–3922.50)	3231.00 (1780.00–4825.00) ^{***}	2372.00 (1469.25–4612.50) ^{xx}
HF, мс ²	1379.50 (676.00–2141.25)	2083.00 (1203.25–4189.00) ^{***, ^}	1455.50 (778.00–2808.00) ^{xx, *}
LF/HF, отн. ед.	1.83 (1.23–2.76)	1.43 (1.06–2.31) ^{**}	1.85 (1.18–3.01) ^{xx}
“Совы”			
RR, мс	711.00 (629.00–811.00) ⁺	774.00 (669.00–832.00) ^{***, ++}	694.00 (644.00–732.00) ^{xxx, #}
ЧСС, уд./мин	132.00 (66.00–217.00) ⁺⁺	82.00 (61.00–134.00) ^{***, ++}	139.00 (96.00–180.00) ^{xxx, #}
СИМ, усл. ед.	3.50 (2.00–6.00)	2.00 (1.00–3.75) ^{***}	3.00 (2.00–6.00) ^{xxx}
ПАР, усл. ед.	13.00 (7.00–17.00)	14.00 (11.00–17.00) ^{**}	10.00 (8.00–15.00) ^{xxx}
ИН, усл. ед.	103.50 (66.60–168.00)	80.00 (51.25–131.50) ^{***}	104.50 (69.25–216.50) ^{xxx}
TP, мс ²	5980.00 (3396.75–10652.50)	7994.00 (5183.50–11005.50)*	6351.50 (2875.50–10319.50)
VLF, мс ²	1888.00 (1246.75–3602.75)	2678.00 (1291.25–4766.00)*	2154.00 (783.75–4512.50)
LF, мс ²	2316.00 (1086.50–4118.25)	2664.00 (1655.50–3944.75)	2259.00 (1256.00–3796.75)
HF, мс ²	1331.50 (635.75–2615.50)	1659.50 (1039.25–3289.50) ^{**}	1233.00 (616.75–2373.00) ^x
LF/HF, отн. ед.	1.84 (1.18–2.79)	1.57 (0.93–3.05)	2.02 (1.26–2.88)

Примечание: данные представлены как Me (P25–P75). * ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$), *** ($p < 0.001$) – отличия от утренних значений, ^x ($p < 0.05$), ^{xx} ($p < 0.01$), ^{xxx} ($p < 0.001$) – отличия от дневных значений (тест Уилкоксона); межгрупповые различия (тест Манна–Уитни) между “жаворонками” и “голубями” ([^] $p < 0.05$, ^{^^} $p < 0.01$), “жаворонками” и “совами” (⁺ $p < 0.05$, ⁺⁺ $p < 0.01$), “голубями” и “совами” ([#] $p < 0.05$).

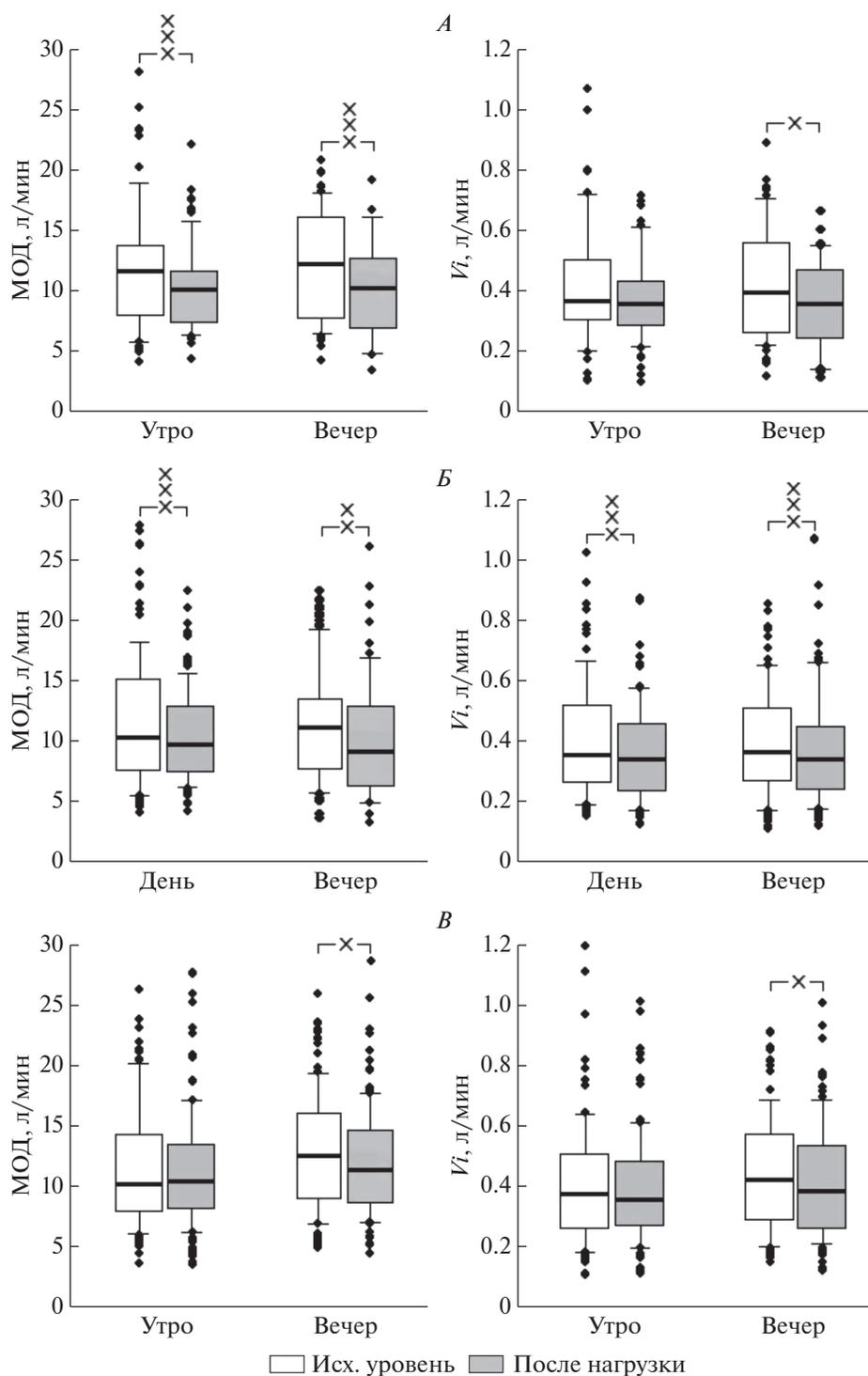


Рис. 1. Изменение МОД и V_i у студентов “жаворонков” (А), “голубей” (Б) и “сов” (В) под влиянием монотонной умственной нагрузки в разные периоды дня. На боксах представлены Me (P25–P75) и выбросы. $\times p < 0.05$, $\times\times p < 0.01$, $\times\times\times p < 0.001$ (тест Уилкоксона).

($p < 0.05$) от исходного уровня у разных хронотипов обуславливался, вероятно, различной степенью активации холинергических и ослабления адренергических влияний на сердце. Так, при ра-

боте утром увеличение коэффициента ПАР относительно покоя имело большую выраженность у “жаворонков” (14.4%; $p < 0.001$) и “голубей” (16.7%; $p < 0.001$) по сравнению с “совами” (8.4%;

$p < 0.01$). Коэффициент СИМ и ИН при этом уменьшались в среднем на 23.9 и 17.9% ($p < 0.05$) у всех хронотипов. Работа в дневное время у “жаворонков” и “голубей” вызывала незначительное уменьшение ЧСС, а у “сов” заметно снижала ИН (на 16.1%; $p < 0.001$). При умственной деятельности вечером в изменениях статистических и диагностических параметров ВСР у представителей крайних хронотипов отмечалось определенное сходство с утренними реакциями. В частности, у “жаворонков” работа вечером сопровождалась удлинением *RR*-интервалов и уменьшением ЧСС в среднем 4.2% ($p < 0.05$) на фоне значительного снижения СИМ (на 22.3%; $p < 0.01$) и ИН (на 16.6%; $p < 0.05$) относительно покоя. Что касается представителей дневного хронотипа, то у них *RR* и ЧСС при вечерней нагрузке менялись в том же направлении, что и утром, в сопровождении увеличения ПАР (на 6.5%; $p < 0.05$), тогда как изменения СИМ и ИН, подобно дневной нагрузке, не имели достоверного характера. У “сов” при вечерней нагрузке менялись все вышеуказанные параметры ВСР, однако наиболее выраженные эффекты касались ПАР (увеличение на 8.9%; $p < 0.05$), а также СИМ и ИН, которые уменьшались относительно исходного уровня на 27.2% ($p < 0.01$) и 16.1% ($p < 0.001$) соответственно.

Совокупность выше указанных изменений ЧСС и индексов, являющихся коррелятами активности симпатических и парасимпатических механизмов, дает основание предполагать, что при монотонной нагрузке усиливаются холинергические и ослабляются адренергические влияния на кардиоритм, что служит признаком адекватного адаптивного ответа сердца [14]. В нашем исследовании такой тип реагирования был более выражен у представителей дневного и вечернего хронотипов. Следует обратить внимание на то, что у “жаворонков” и “сов” чаще, чем у “голубей”, отмечалось уменьшение индекса напряженности регуляторных систем. С одной стороны, отрицательная динамика стресс-индекса после выполнения умственных задач может быть связана со снятием психоэмоционального напряжения при достижении результата деятельности [15], а с другой — с парасимпатическим типом реагирования, который присущ некоторым студентам даже в стрессовой ситуации [16].

Хронотипическая зависимость реакций сердца на умственную нагрузку проявилась также в динамике спектральных параметров ВСР. Так, при выполнении заданий в утреннее время у “жаворонков” (рис. 2, *A*) изменялся только *LF*-компонент колебаний спектральной мощности ритма сердца (увеличение на 52.3%; $p < 0.001$), а у “сов” (рис. 2, *B*) при этом возрастал *HF*-компонент (на 9.5%; $p < 0.05$). Что касается “голубей” (рис. 2, *B*), то у них при монотонной умственной работе в утренние часы отмечался рост общей

спектральной мощности *TP* на 25.2% ($p < 0.01$) за счет увеличения доли волн всех ее компонентов, в т.ч. *VLF* на 28.0% ($p < 0.05$), *LF* на 37.3% ($p < 0.05$), *HF* на 28.5% ($p < 0.001$) относительно исходного уровня. Днем в условиях умственной монотонной работы спектральные показатели ВСР значительно изменялись только у “сов” в виде роста *TP* и *LF* на 12.6 ($p < 0.05$) и 24.6% ($p < 0.01$) соответственно. В ходе работы вечером частотный спектр менялся у двух хронотипов — дневного и вечернего, при этом у “голубей” на 15.5% ($p < 0.001$) возрастала доля волн *LF*-диапазона, а у “сов” на 17.9% ($p < 0.001$) увеличивался индекс *LF/HF* (рис. 2, *B* и *B*). Следует отметить наличие достоверных межгрупповых различий ($p < 0.05$) по абсолютным величинам *VLF* при работе во все периоды дня, а также *TP* и *HF* при работе днем в паре “жаворонки” — “голуби”.

Изменения спектральных показателей ВСР у студентов с разными хронотипами могут быть обусловлены особенностями взаимодействия различных контуров регуляции сердца на фоне монотонной деятельности в периоды дня, совпадающие и несовпадающие с пиками функциональной активности [17]. Согласно общепринятой точке зрения, формирование *VLF*-компонента спектральной мощности отражает влияния со стороны надсегментарного уровня регуляции, включая структуры мозга, связанные с психоэмоциональным состоянием, а кроме того характеризует вклад церебральных эрготропных зон и гуморальных факторов в механизмы управления сердечным ритмом [18]. Мощность *LF*-компонента является маркером симпатических влияний [18], а также обеспечивается механизмами, сопряженными с барорефлекторной регуляцией сердечного ритма [19]. Преобладание волн *HF*-диапазона коррелирует с уровнем парасимпатических влияний на синусный узел [18] и расценивается как проявление адаптационно-трофического действия блуждающего нерва на сердце [20]. Изменения индекса *LF/HF*, в том числе его увеличение при умственной нагрузке, исследователи связывают с преобладанием симпатических влияний и рассматривают как элемент приспособительной деятельности сердца в условиях эмоционального напряжения [21, 22]. В нашей работе установлено, что у студентов “голубей” и “сов”, в отличие от “жаворонков”, при умственной нагрузке в определенные периоды дня отмечалась значительная изменчивость отдельных компонентов спектра ВСР, приводящая к росту общей спектральной мощности *TP*. При этом у дневного хронотипа увеличение *TP* обеспечивалось усилением *VLF*-, *LF*- и *HF*-волн, у вечернего — только *LF*-волн, что позволяет сделать предположение о более сбалансированном вкладе центрального и автономного контуров регуляции в управление синусным ритмом у студентов “голубей”.

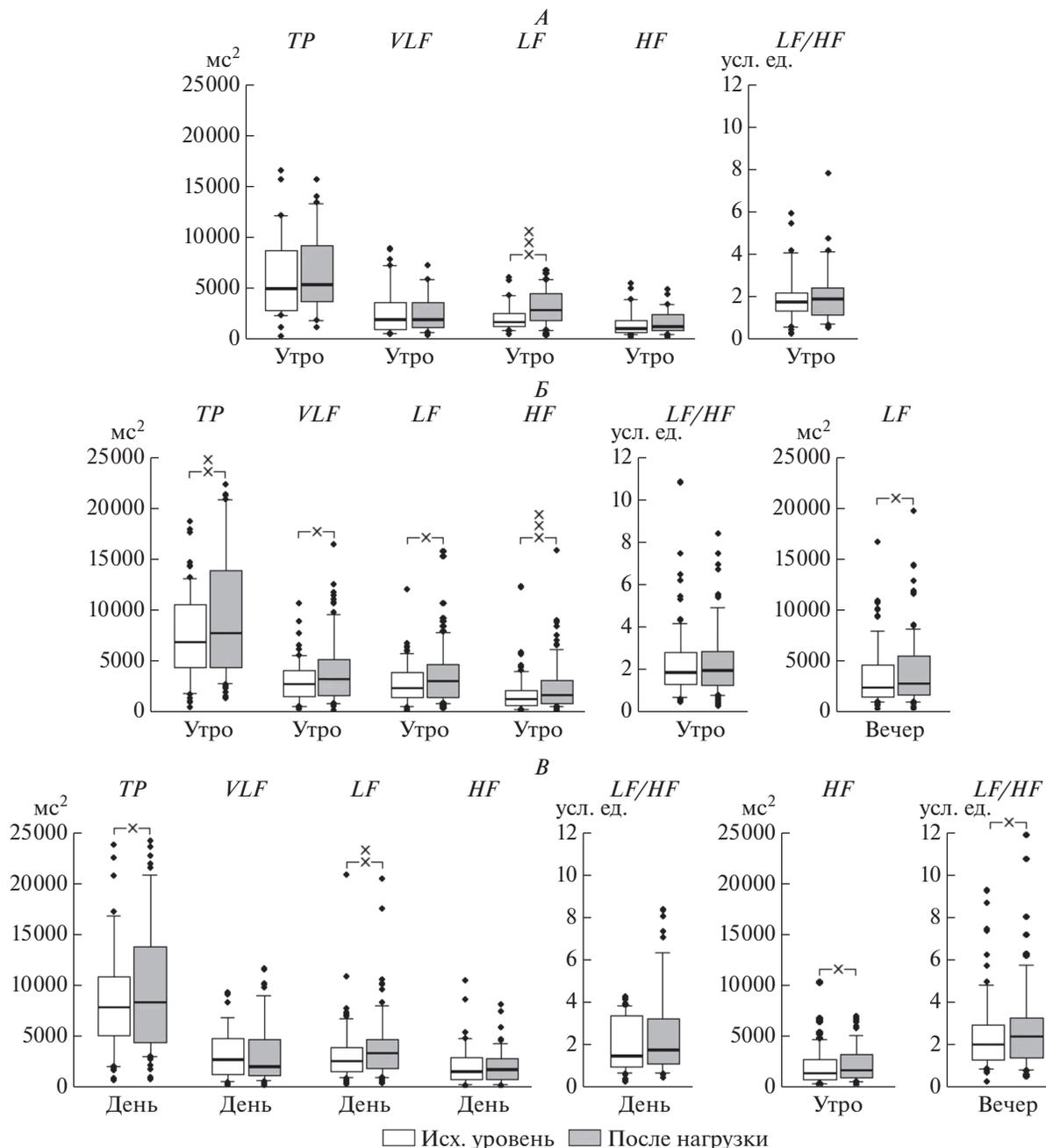


Рис. 2. Изменение спектральных параметров variability сердечного ритма (ВСР) под влиянием монотонной умственной нагрузки у студентов “жаворонков” (А), “голубей” (Б) и “сов” (В). Обозначения см. рис. 1.

В плане выявления особенностей адапционных реакций на умственную нагрузку у лиц с разными хронотипами интересны результаты анализа корреляционных связей между параметрами паттерна дыхания и ВСР. В состоянии покоя наиболее выраженная корреляция между изучаемыми показателями наблюдалась у утреннего типа, причем количество связей и их сила заметно нарастали от 7:30 к 19:30 ч (рис. 3, А). Утром у “жа-

воронков” преобладали связи динамических показателей дыхания (T_r , T_i/T_e , V_i) со спектральными (HF , LF/HF) и диагностическими (СИМ) параметрами ВСР. Днем у них увеличивалось количество связей показателей дыхания со спектральной мощностью ВСР и длительностью RR -интервалов, а вечером достигалось наибольшее число корреляций, включая связи между объемными показателями дыхания (DO , V_i , $МОД$) и

такими параметрами ВСП как *RR*, ЧСС, СИМ, ПАР, ИН. После монотонной умственной нагрузки у “жаворонков” число значимых кардиореспираторных связей в целом снижалось, но, как и в покое, они доминировали в вечерние часы. Особо выделялся показатель дыхания *Ti*, для которого выявлены положительные корреляции с СИМ и ИН ($r = 0.31$ и $r = 0.29$; $p < 0.05$), отрицательные с ПАР ($r = -0.31$; $p < 0.05$) и *LF* ($r = -0.30$; $p < 0.05$). Также следует отметить корреляции *RR* с ДО ($r = -0.44$; $p < 0.05$) и МОД ($r = -0.36$; $p < 0.01$).

Иная картина корреляционных связей была выявлена у “голубей” (рис. 3, Б). В покое у данного хронотипа доминировали слабые кардиореспираторные взаимодействия, максимум которых был смещен на утренние часы, когда проявлялись корреляции МОД и *Vi* с *RR* и ЧСС. Днем у “голубей” число корреляционных связей заметно уменьшалось относительно утренних часов и наблюдалась слабая обратная связь только между *Ti* и ПАР ($r = -0.31$; $p < 0.05$), а вечером корреляций не отмечалось. Под влиянием ментальной нагрузки количество межсистемных корреляций у “голубей” менялось менее закономерно, чем у “жаворонков”. Так, при работе в утреннее время общее число связей по сравнению с покоем уменьшалось, но формировались слабые связи *Te* с *RR* ($r = -0.28$; $p < 0.01$), ЧСС ($r = 0.24$; $p < 0.05$) и *HF* ($r = -0.26$; $p < 0.05$). Выполнение тестовых заданий днем сопровождалось корреляцией только между *Vi* и *RR* ($r = 0.16$; $p < 0.05$), а вечером – между *Vi* и *TP* ($r = 0.28$; $p < 0.05$), а также *Vi* и *HF* ($r = 0.24$; $p < 0.05$).

У студентов “сов” в состоянии покоя корреляция дыхания и ВСП отмечалась лишь вечером в виде слабой отрицательной связи ДО с *HF* ($r = -0.33$; $p < 0.05$). В условиях умственной монотонной деятельности у “сов” наблюдалась приуроченность большинства корреляционных связей к утреннему времени, при этом ведущую роль играла ЧСС, которая коррелировала с ДО ($r = -0.23$; $p < 0.05$), *Ti* ($r = -0.24$; $p < 0.05$), *Tt* ($r = -0.24$; $p < 0.05$) и ЧД ($r = 0.25$; $p < 0.05$). Днем при нагрузке у “сов”, в отличие от других хронотипов, наблюдались слабые положительные связи индекса *LF/HF* со значениями МОД ($r = 0.34$; $p < 0.05$) и *Vi* ($r = 0.26$; $p < 0.05$), а вечером – *RR* с *Vi* ($r = 0.19$; $p < 0.05$) (рис. 3, В).

Из результатов корреляционного анализа следует, что наиболее заметные различия в дневной динамике кардиореспираторных связей отмечались между представителями утреннего и вечернего хронотипов. У “жаворонков” более тесные взаимодействия параметров дыхания и ВСП наблюдались при работе в вечерние часы, у “сов” корреляционные связи доминировали утром. У “голубей” отмечалось определенное сходство с “совами”, а именно, наибольшее количество кор-

реляций между дыханием и ВСП наблюдалось при утренней работе. Необходимо отметить, что синхронизация циркадианных ритмов разных физиологических функций и их адаптация к информационным нагрузкам, выполняемым в разное время суток, во многом зависят от функционального состояния эндогенных ритмозадавателей, среди которых роль главного циркадианного осциллятора выполняют нейроны супрахиазматического ядра гипоталамуса [23]. Влияния супрахиазматического ядра на паттерн дыхания и кардиоритм могут опосредоваться симпатическими и парасимпатическими структурами мозгового ствола и спинного мозга [24], а также нейронами паравентрикулярного гипоталамического ядра, непосредственно взаимодействующего с центральными нейросетями, регулирующими дыхание и кровообращение [25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, динамика и корреляционные связи параметров дыхания и ВСП у студентов в ходе выполнения умственной нагрузки монотонного характера в разные периоды дня определенным образом зависят от биоритмологических типов, являющихся важной детерминантой механизмов хроноадаптации. Характер реакции внешнего дыхания, ВСП и особенности взаимодействия между ними, наблюдаемые у разных хронотипов, позволяют считать, что наиболее адаптивный тип реагирования дыхательной и сердечно-сосудистой систем, оптимальная синхронизация внешнего дыхания и ритма сердца с экзогенными ритмами и, возможно, меньшая вероятность вегетативных дисфункций при монотонной умственной деятельности, присущи студентам “голубям”. Второе место по оптимальности приспособительных реакций дыхания и сердца в указанных условиях деятельности занимают “совы”, третье – “жаворонки”, в связи с чем данным хронотипам следует более внимательно относиться к десинхронизации и социальному джетлагу, в том числе к работе со смещением плотности нагрузок на часы, не соответствующие их эндогенным ритмам.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева (Самара).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных

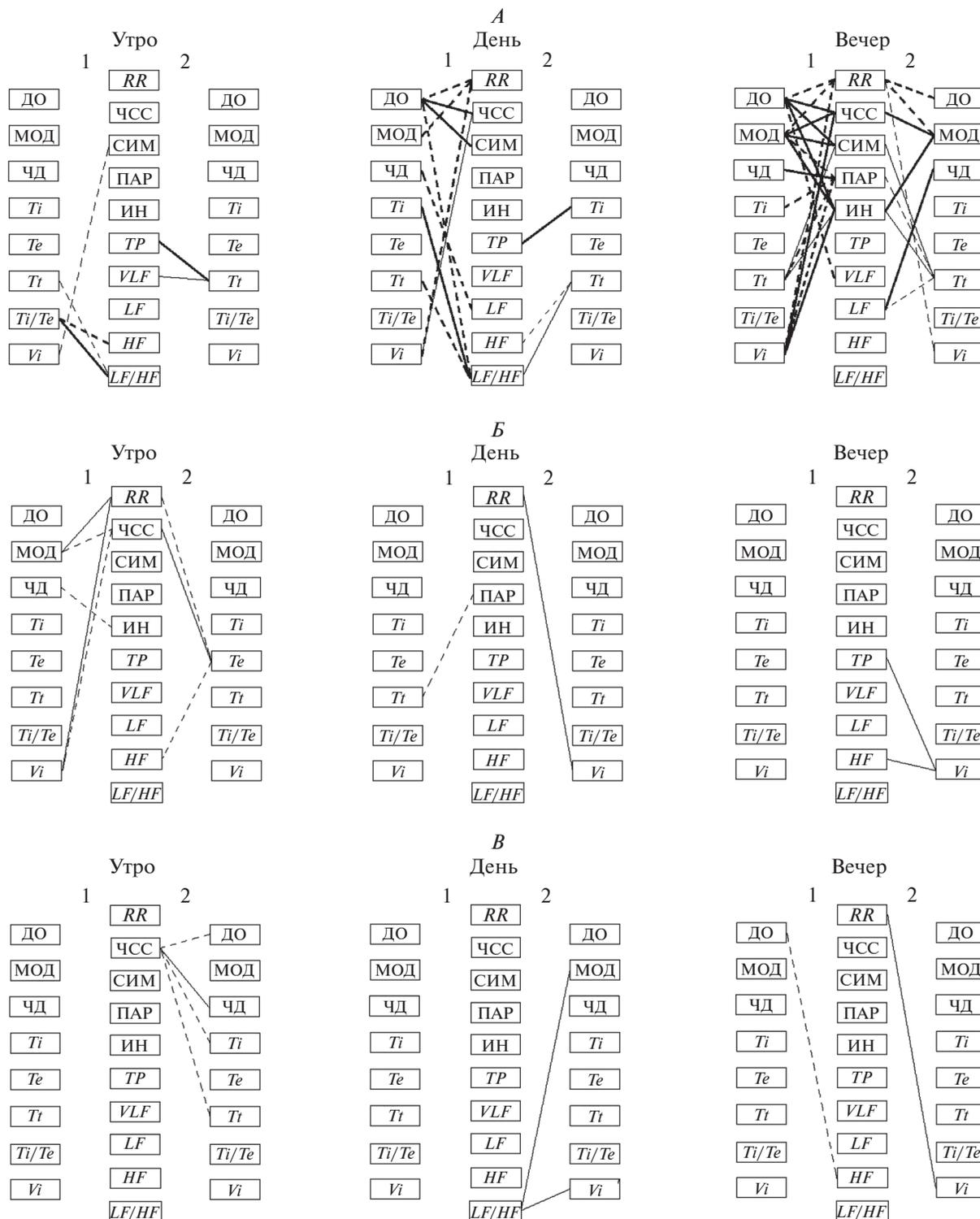


Рис. 3. Корреляционные связи между параметрами паттерна дыхания и вариабельности сердечного ритма (ВСР) у студентов “жворонков” (А), “голубей” (Б) и “сов” (В) до (1) и после (2) монотонной умственной нагрузки в разные периоды дня.

Сплошные жирные линии – средние положительные связи ($r = 0.35-0.69$), сплошные тонкие линии – слабые положительные связи ($r = 0.10-0.34$); прерывистые жирные линии – средние отрицательные связи ($r = -0.35...-0.69$); прерывистые тонкие линии – слабые отрицательные связи ($r = -0.10...-0.34$). Все связи статистически значимы.

рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ (проект № 18-29-14073).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Silva C.M., Mota M.C., Miranda M.T. et al.* Chronotype, social jetlag and sleep debt are associated with dietary intake among Brazilian undergraduate students // *Chronobiol. Int.* 2016. V. 33. № 6. P. 740.
2. *Катинас Г.С., Чибисов С.М., Азарвал Р.К.* Актуальные термины современной хронобиологии // *Журн. научных статей Здоровье и образование в XXI в.* 2015. Т. 17. № 1. С. 4.
3. *Martin J.S., Gaudreault M.M., Perron M., Laberge L.* Chronotype, light exposure, sleep, and daytime functioning in high school students attending morning or afternoon school shifts: An actigraphic study // *J. Biol. Rhythms.* 2016. V. 31. № 2. P. 205.
4. *Заринов А.А., Янович К.В., Потапов Р.В., Корнилова А.А.* Современные представления о десинхронозе // *Современные проблемы науки и образования.* 2015. № 3. С. 176.
5. *Rahafar A., Maghsudloo M., Farhangnia S. et al.* The role of chronotype, gender, test anxiety, and conscientiousness in academic achievement of high school students // *Chronobiol. Int.* 2016. V. 33. № 1. P. 1.
6. *Зашихина В.В., Цыганок Т.В.* Физиологические аспекты адаптации к стрессогенным ситуациям при обучении в вузе // *Фундаментальные исследования.* 2014. № 4-3. С. 629.
7. *Чеснокова В.Н., Варенцова И.А., Соколова Л.В.* Показатели функции внешнего дыхания у студентов с разным типом гомеостатической организации при начальной адаптации к обучению в вузе // *Вестник Поморского университета. Серия: естественные науки.* 2009. № 2. С. 32.
8. *Шаламова Е.Ю., Рагозин О.Н., Сафонова В.Р.* Биоритмологические особенности и элементы десинхроноза параметров центральной гемодинамики у студентов северного медицинского вуза // *Экология человека.* 2016. № 6. С. 26.
9. *Путилов А.А.* “Совы”, “жаворонки” и другие. О наших внутренних часах и их влиянии на здоровье и характер. М., Новосибирск: Совершенство, 1997. 264 с.
10. *Сафонов В.А.* Регуляция внешнего дыхания // *Вестник СурГУ. Медицина.* 2009. № 2. С. 13.
11. *Murayama Y., Hu L., Sakatani K.* Relation between prefrontal cortex activity and respiratory rate during mental stress tasks: a near-infrared spectroscopic study // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2016. V. 923. P. 209.
12. *Павленко С.И., Ведясова О.А.* Сезонные особенности паттерна внешнего дыхания у представителей с разными хронотипами // *Ульяновский медико-биологический журнал.* 2019. № 3. С. 98.
13. *Александрова Н.П., Бреслав И.С.* Дыхательные мышцы человека: три уровня управления // *Физиология человека.* 2009. Т. 35. № 2. С. 103.
14. *Aleksandrova N.P., Breslav I.S.* Human respiratory muscles: Three levels of control // *Human Physiology.* 2009. V. 35. № 2. P. 222.
15. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др.* Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // *Вестник аритмологии.* 2001. № 24. С. 65.
16. *Андрянов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В.* Когнитивная деятельность студентов и ее гемодинамическое обеспечение // *Вестник новых медицинских технологий.* 2017. Т. 24. № 2. С. 130.
17. *Полякова-Семенова Н.Д., Данилова Ю.В., Семенова О.С.* Анализ variability сердечного ритма у студентов вуза на разных этапах обучения // *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья.* 2007. № 28. С. 27.
18. *Ведясова О.А., Павленко С.И., Кретова И.Г., Комарова М.В.* Влияние информационной нагрузки на динамику спектральных параметров variability сердечного ритма у студентов с разными хронотипами // *Российский физиологический журн. им. И.М. Сеченова.* 2016. Т. 102. № 8. С. 990.
19. *Баевский Р.М.* Проблема оценки и прогнозирования функционального состояния организма и ее развитие в космической медицине // *Успехи физиологических наук.* 2006. Т. 37. № 3. С. 42.
20. *Perini R., Veicsteinas A.* Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2003. V. 90. № 3-4. P. 317.
21. *Шлык Н.И.* Экспресс-оценка функциональной готовности организма спортсменов к тренировочной и соревновательной деятельности (по данным анализа variability сердечного ритма) // *Наука и спорт: современные тенденции.* 2015. Т. 9. № 4(9). С. 5.
22. *Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А., Дудник Е.Н.* Динамика параметров альфа-активности ЭЭГ и variability сердечного ритма при интеллектуальной деятельности // *Физиология человека.* 2015. Т. 41. № 6. С. 36.
23. *Dzhebrailova T.D., Korobeinikova I.I., Karatygin N.A., Dudnik E.N.* Dynamics of EEG α activity and heart rate variability in subjects performing cognitive tests // *Human Physiology.* 2015. V. 41. № 6. P. 559.
24. *Димитриев Д.А., Санерова Е.В.* Variability сердечного ритма и артериальное давление при ментальном стрессе // *Российский физиологический журн. им. И.М. Сеченова.* 2015. Т. 101. № 1. С. 98.
25. *Арушанян Э.Б., Попов А.В.* Современные представления о роли супрахиазматических ядер гипоталамуса в организации суточного периодизма физиологических функций // *Успехи физиологических наук.* 2011. Т. 42. № 4. С. 39.
26. *Joustra S.D., Reijntjes R.H., Pereira A.M. et al.* The role of the suprachiasmatic nucleus in cardiac autonomic control during sleep // *PLoS One.* 2016. V. 11. № 3. P. e0152390.
27. *Mack S.O., Wu M., Ke P., Haxhiu M.A.* Stimulation of the hypothalamic paraventricular nucleus modulates cardiorespiratory responses via oxytocinergic innervation of neurons in pre-Botzinger complex // *J. Appl. Physiol.* 2007. V. 102. № 1. P. 189.

Links of Parameters of External Respiration and Heart Rate Variability During Mental Load in Students With Different Chronotypes

S. I. Pavlenko^{a,*}, O. A. Vedyasova^a, I. G. Kretova^a

^aSamara national research university, Samara, Russia

*E-mail: pavlenko.snezhanna@mail.ru

It was performed the analysis of changes and correlation links of external respiration and heart rate variability (HRV) parameters under monotonous mental load (in the form of a battery of tests for attention and counting in the mind) in students with morning (“larks”), daytime (“pigeons”) and evening (“owls”) chronotypes. Shown that during mental exercise in the morning, afternoon and evening hours, the minute volume of respiration and the volumetric rate of the inspiratory flow decrease, as well as such HRV parameters as the heart rate, sympathetic activity index, stress index, but to varying degrees for different chronotypes. Ambiguously in the morning, afternoon and evening chronotypes, the total spectral power of heart rate fluctuations and its individual frequency components change. In general, the number of cardiorespiratory effects and their intensity under load in “pigeons” is greater than in “larks” and “owls”. The correlation between respiration and HRV under monotonous load prevails among the “larks”, and closer links are observed in the evening hours, while among the “pigeons” and “owls” the correlations dominate during morning work. The data obtained suggest that, according to the optimality of the adaptive reactions of external respiration and heart under conditions of monotonous mental activity during hours that do not coincide with the chronotype, the first place is occupied by students “pigeons”, the second – “owls”, the third – “larks”.

Keywords: chronotypes, pattern of external respiration, heart rate variability, monotonous mental load, correlation links.