

## ОСОБЕННОСТИ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У СТУДЕНТОВ С РАЗНЫМИ ХРОНОТИПАМИ В ТЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ДНЯ

**С.И. Павленко**, [pavlenko.snezhanna@mail.ru](mailto:pavlenko.snezhanna@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-5506-5328>

**О.А. Ведясова**, [o.a.vedyasova@gmail.com](mailto:o.a.vedyasova@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-3392-6112>

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

**Аннотация. Цель:** изучение динамики показателей внимания у студентов с разными типами суточной активности в различные периоды учебного дня. **Материалы и методы.** Обследовано 260 студентов биологического факультета в возрасте 19–22 лет с соблюдением этических принципов. По результатам теста Хорна – Остберга в модификации А.А. Путилова были сформированы группы испытуемых с утренним, дневным и вечерним хронотипами. Когнитивную деятельность оценивали по показателям внимания, полученным в ходе выполнения корректурной пробы Бурдона – Анфимова и теста «Расстановка чисел» в утренние, дневные и вечерние часы. **Результаты.** Выявлено, что более выраженные колебания показателей внимания в течение учебного дня характерны для студентов «жаворонков» и «сов», а менее – для «голубей». У студентов «жаворонков» наблюдалась динамика интенсивности и качества внимания, коэффициента производительности, наибольшие значения которых были приурочены к утренним часам. У студентов «сов» в разные периоды учебного дня менялись интенсивность внимания, частота ошибочных ответов и коэффициент производительности, при этом более высокий уровень внимания был синхронизирован с вечерним временем. У студентов «голубей» существенных изменений внимания в течение дня не выявлено. Показаны статистически значимые различия в уровне внимания между «жаворонками» и «голубями» утром и вечером, между «жаворонками» и «совами» днем, между «голубями» и «совами» в течение всего учебного дня. **Заключение.** Полученные данные свидетельствуют о более тесной связи функции внимания с циркадианными ритмами у студентов с утренним и вечерним типами активности, что дает основание рекомендовать им строго контролировать интенсивность когнитивных нагрузок, выполняемых в часы, не соответствующие их эндогенным ритмам.

**Ключевые слова:** когнитивные функции, внимание, студенты, хронотипы, периоды учебного дня

**Благодарности.** Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-4515.2022.2.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-25-00152).

**Для цитирования:** Павленко С.И., Ведясова О.А. Особенности когнитивной деятельности у студентов с разными хронотипами в течение учебного дня // Человек. Спорт. Медицина. 2024. Т. 24, № S2. С. 159–166. DOI: 10.14529/hsm24s224

Original article  
DOI: 10.14529/hsm24s224

## ASSOCIATION BETWEEN COGNITIVE ACTIVITY AND CHRONOTYPE IN UNIVERSITY STUDENTS DURING THE ACADEMIC DAY

**S.I. Pavlenko**, [pavlenko.snezhanna@mail.ru](mailto:pavlenko.snezhanna@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0001-5506-5328>

**O.A. Vedyasova**, [o.a.vedyasova@gmail.com](mailto:o.a.vedyasova@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-3392-6112>

Samara University, Samara, Russia

**Abstract. Aim.** This study aims to identify the relationship between chronotype and cognitive performance in university students, focusing on attention dynamics throughout the academic day. Materials and methods. The sample involved 260 biology students aged 19–22 years. All study procedures were performed in compliance with ethical standards. Participants were categorized based on their circadian activity type (morning, evening, intermediate) using a modified Morningness-Eveningness Questionnaire (J. Horne,

O. Ostberg; modified by A. Putilov). Cognitive activity was assessed via standardized tests (Bourdon-Anfimov test, Number Arrangement) at three time points: morning, daytime, and evening. **Results.** Our findings demonstrate significant fluctuations in attention indicators throughout the academic day, with morning larks and evening owls exhibiting more pronounced variations compared to day pigeons. Morning larks demonstrated peak attention and productivity in the morning hours, while evening owls showed increased attention and productivity levels in the evening. Day pigeons exhibited minimal changes in attention throughout the day. Statistically significant differences in attention levels were observed between morning larks and day pigeons in morning and evening sessions, between morning larks and evening owls during daytime sessions, and between day pigeons and evening owls throughout the entire academic day. **Conclusion.** These results underscore the intricate relationship between circadian rhythms and cognitive performance, particularly attention, in students with different circadian patterns. Therefore, their academic activities should be tailored to align with individual chronotype preferences to optimize cognitive efficiency.

**Keywords:** cognitive functions, attention, students, chronotypes, academic day

**Acknowledgements.** This work was supported by a grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists - candidates of science MK-4515.2022.2.

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (grant No. 23-25-00152).

**For citation:** Pavlenko S.I., Vedyasova O.A. Association between cognitive activity and chronotype in university students during the academic day / *Human. Sport. Medicine.* 2024;24(S2):159–166. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm24s224

**Введение.** Здоровье студентов, успешность их обучения зависят от многих моментов, в том числе от показателей физиологических и психических функций, наличия адаптации к условиям образовательной среды [2, 5]. Формирование полноценной адаптации к новому графику труда и отдыха и, как следствие, снижение утомляемости и поддержание высокой работоспособности учащихся предполагают количественную адекватность учебной нагрузки и ее правильное распределение во времени в течение дня [3]. Важным компонентом оптимальной организации учебной деятельности студентов является учет их хронотипических особенностей [4].

Индивидуальные различия циркадианных ритмов наглядно проявляются особенностями цикла сна и бодрствования, колебаниями температуры тела, секреции гормонов [6] и поэтому влияют на работоспособность. В частности, известно, что от циркадианных фенотипов зависят изменения умственной работоспособности у студентов [11] и их предпочтения заниматься утром или вечером. Показано также, что хронотип является предиктором успешности когнитивных процессов, среди которых основным считается внимание, и, как следствие, академическая успеваемость [10, 11]. Отмечено, что вечерний хронотип и успеваемость связаны отрицательно, в то время как утренний хронотип и академическая успеваемость коррелируют положительно [9, 13]. В недавних исследованиях продемонстрировано, что оптимум когнитивных функций достигается, если время тестирования синхронизи-

ровано со временем пикового суточного возбуждения, что называется «синхронным эффектом» [8]. Исследователи предполагают, что снижение академической успеваемости у студентов с вечерним хронотипом может быть связано с рассогласованием между их «естественным» временем бодрствования (т. е. вечером) и временем проведения учебных занятий, которые часто проходят по утрам, в период их наименьшей активности [8]. Таким образом, представляется актуальным анализ циркадианной типологии когнитивных функций у обучающихся при организации учебного процесса.

**Цель** настоящего исследования состояла в изучении динамики показателей внимания у студентов с разными типами суточной активности в различные периоды учебного дня.

**Методы исследования.** Исследование проведено на 260 студентах биологического факультета Самарского университета в возрасте от 19 до 22 лет с соблюдением этических принципов Хельсинской декларации. Для оценки хронотипов использовали тест Хорна – Остберга в модификации А.А. Путилова, по результатам которого были сформированы группы испытуемых с утренним («жаворонки», 56 чел.), дневным («голуби», 100 чел.) и вечерним («совы», 104 чел.) типами активности.

Когнитивную деятельность у студентов оценивали по показателям функции внимания, которую изучали в ходе выполнения корректурной пробы Бурдона – Анфимова и теста «Расстановка чисел». Студенты выполняли тесты трижды в день – утром с 7.30 до 9.00, днем с 13.00 до 14.30 и вечером с 18.00 до

19.30. Анализировали интенсивность внимания (ИВ, %), показатель качества внимания (ПВ, усл. ед.), частоту ошибочных ответов (ЧО, усл. ед.) и коэффициент производительности (КП, усл. ед.).

Для статистического анализа применяли тест Шапиро – Уилка, парный t-тест, тесты Уилкоксона и Манна – Уитни. Статистически значимыми считались различия при  $p < 0,05$ . Полученные результаты представлены в виде среднего арифметического  $\pm$  стандартная ошибка среднего ( $M \pm SEM$ ), а также как медианы и 25-й и 75-й перцентили (Me; 25–75 %).

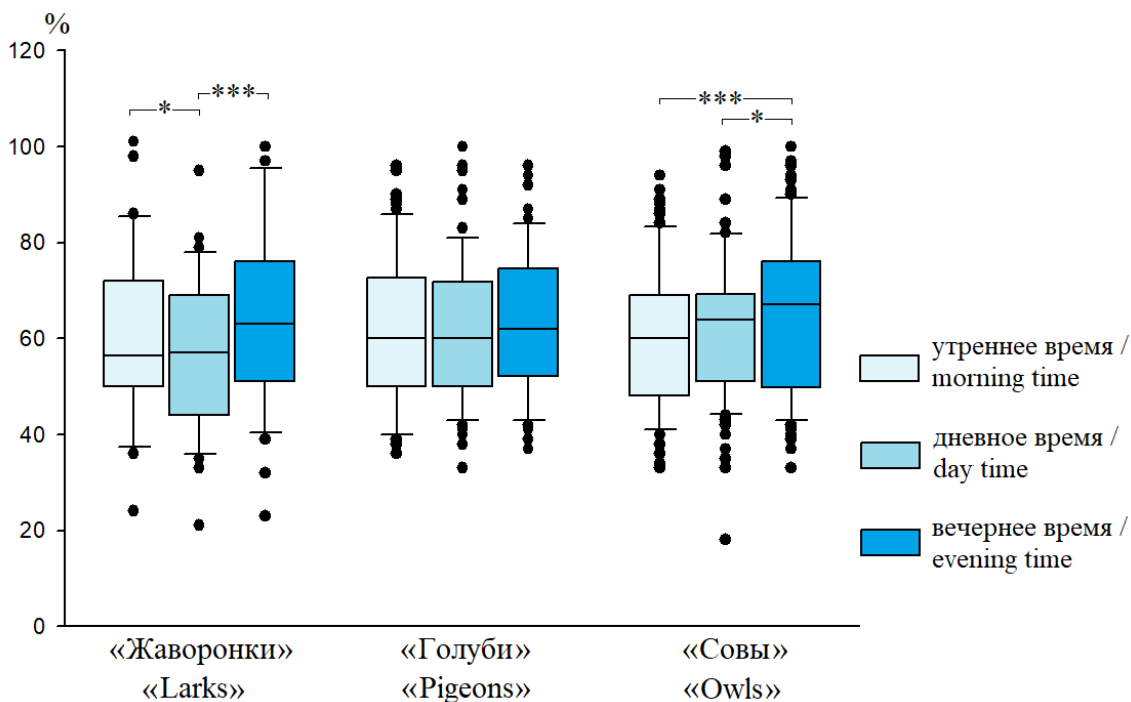
**Результаты.** Сравнительный анализ показателей внимания у студентов в течение учебного дня выявил наиболее значительные их колебания у испытуемых «жаворонков» и «сов», и наименее выраженные – у «голубей».

У «жаворонков» наблюдалось уменьшение значений ИВ днем в среднем на 8,4 % ( $p < 0,01$ ) относительно утренних и вечерних значений. Уровень показателя ИВ у «голубей» в ходе учебного дня практически не менялся, находясь в интервале между 60 (50–73) % (утром) и 62 (52–75) % (вечером). Что касается «сов», то у них в течение дня наблюдалась тенденция к росту данного параметра. В частности, ИВ составлял утром 60 (48–69) %,

днем 64 (51–69,50) %, а вечером достигал 67 (49,50–76) %, что превышало утренний и дневной уровень ИВ на 7,5 % ( $p < 0,001$ ) и 4,3 % ( $p < 0,05$ ) соответственно (рис. 1).

Индекс ПВ в утренние часы был наибольшим у «жаворонков» и «сов», достигая у них 82,0 (50,25–140,50) усл. ед. и 88,0 (50,50–144,0) усл. ед. соответственно, а наименьшим – у «голубей», у которых составлял 47,0 (32,0–99,0) усл. ед. В дневное время ПВ значительно уменьшался у представителей с утренним хронотипом до 53,50 (40,0–77,25) усл. ед. ( $p < 0,01$ ) – по сравнению с утром. К вечеру значение ПВ у «жаворонков» возрастало относительно дневного уровня и достигало 87,50 (40,0–119,25) усл. ед. ( $p < 0,01$ ), что практически равнялось утренней величине их ПВ. У «голубей» и «сов» показатель качества внимания в течение учебного дня оставался относительно стабильным (рис. 2).

Изменения показателя ЧО в течение учебного дня имели достоверный характер только у студентов «сов» и проявлялись у них уменьшением на 16,3 % ( $p < 0,01$ ) при тестировании в вечерние часы, что совпадало с повышением интенсивности внимания. У «жаворонков» и «голубей» статистически значимых изменений ЧО в течение дня не выявлено.



**Рис. 1. Динамика интенсивности внимания у студентов с разными хронотипами в течение учебного дня: \* ( $p < 0,05$ ), \*\*\* ( $p < 0,001$ ) – тест Уилкоксона**  
**Fig. 1. Attention levels (intensity) among students with different chronotypes during the academic day: \* ( $p < 0.05$ ), \*\*\* ( $p < 0.001$ ) – Wilcoxon test**

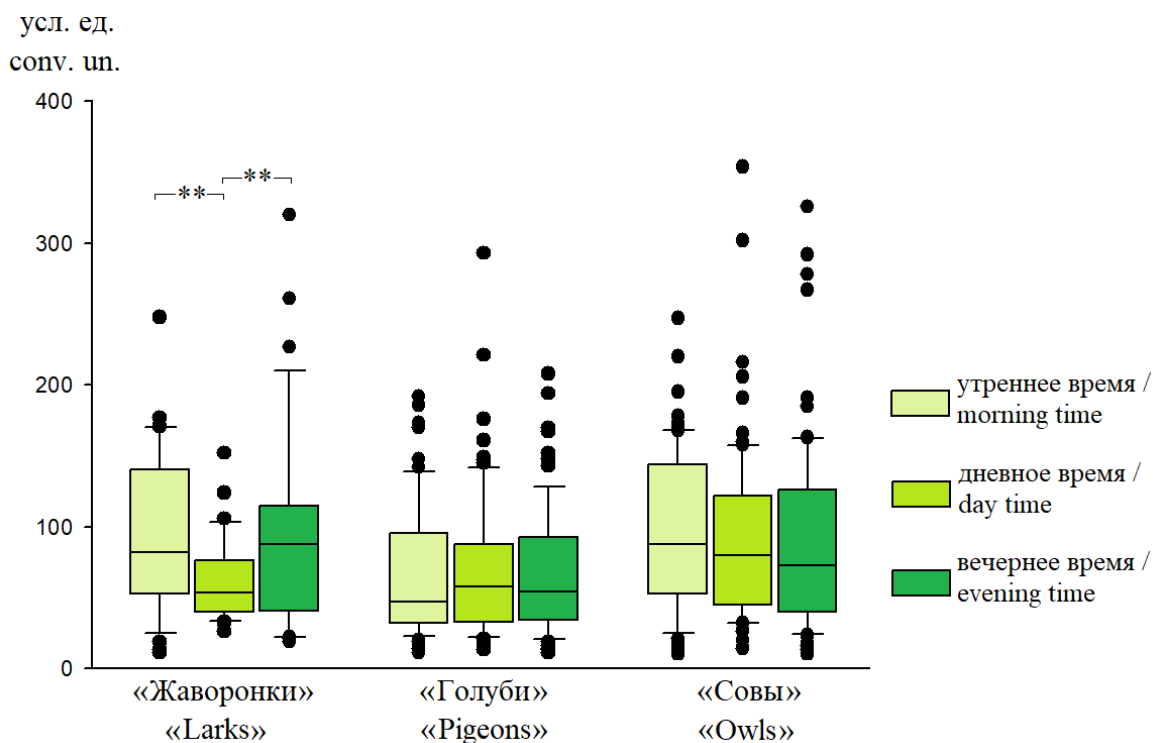


Рис. 2. Динамика показателя качества внимания у студентов с разными хронотипами в течение учебного дня: \*\* ( $p < 0,01$ ) – тест Уилкоксона  
 Fig. 2. Attention levels (quality) among students with different chronotypes during the academic day: \*\* ( $p < 0.01$ ) – Wilcoxon test

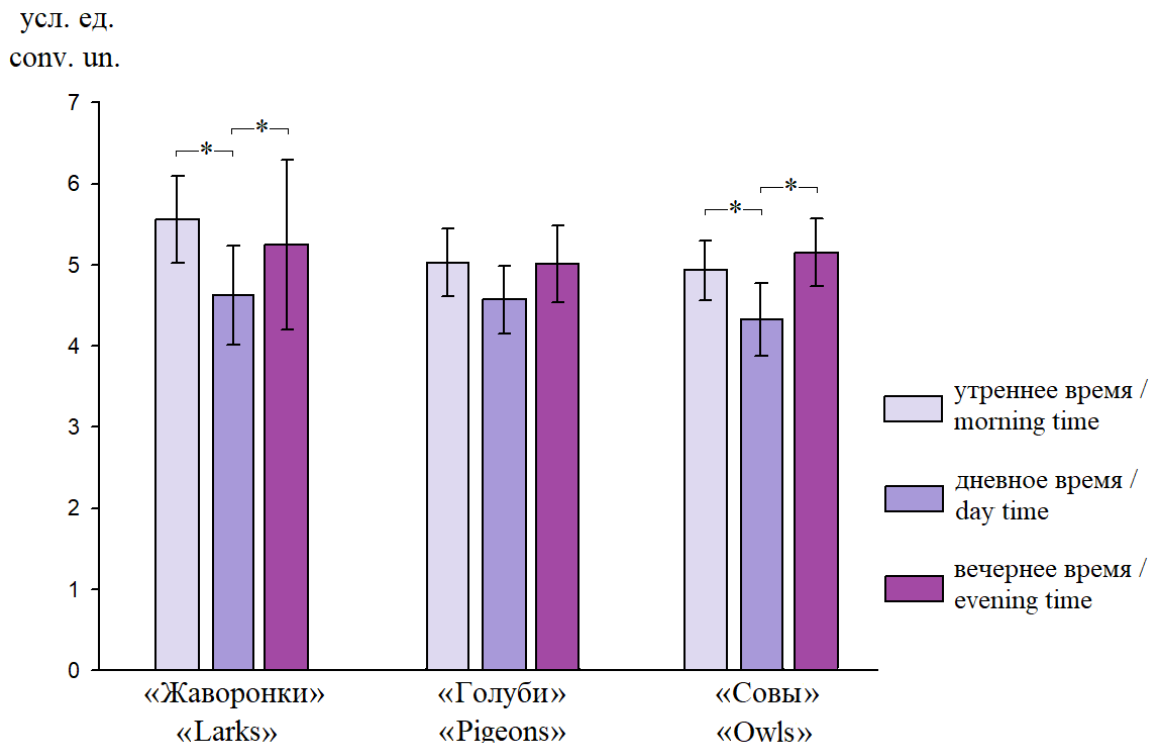


Рис. 3. Динамика коэффициента производительности у студентов с разными хронотипами в течение учебного дня: \* ( $p < 0,05$ ) – парный t-тест  
 Fig. 3. Performance levels among students with different chronotypes during the academic day: \* ( $p < 0.05$ ) – paired t-test

Уровень статистической значимости различий между показателями внимания у студентов с разными хронотипами в разные периоды учебного дня  
Statistical significance of attention indicator differences across chronotypes throughout the academic day

Показатель / Parameter	Утро / Morning 7.30 – 9.00	День / Daytime 13.00 – 14.30	Вечер / Evening 18.00 – 19.30
Интенсивность внимания, % Intensity of attention, %	–	–	–
Качество внимания, усл. ед. Quality of attention, conv. un.	«Жаворонки» – «голуби» *; «голуби» – «совы» *** «Larks» – «pigeons» *; «pigeons» – «owls» ***	«Голуби» – «совы» **; «жаворонки» – «совы» *; «Pigeons» – «owls» **; «larks» – «owls» *	«Жаворонки» – «голуби» * «голуби» – «совы» * «Larks» – «pigeons» * «pigeons» – «owls» *
Частота ошибочных ответов, усл. ед. Frequency of erroneous answers, conv. un.	–	«Голуби» – «совы» *; «Pigeons» – «owls» *	–
Коэффициент производительности, усл. ед. Performance factor, conv. un.	–	–	–

Примечание: \* (p < 0,05), \*\* (p < 0,01), \*\*\* (p < 0,001) – тест Манна – Уитни.

Note: \* (p < 0.05), \*\* (p < 0.01), \*\*\* (p < 0.001) – Mann – Whitney U-test.

В ходе исследования установлено, что в утреннее время более высокие значения КП были характерны для «жаворонков» ( $5,56 \pm \pm 0,54$  усл. ед.), а наименьший уровень КП наблюдался у «сов» ( $4,93 \pm 0,37$  усл. ед.). Студенты «голуби» по данному показателю занимали промежуточное положение. В дневные часы более выраженные изменения КП отмечались у «жаворонков» в виде снижения данного коэффициента на 16,9 % (p < 0,05) относительно утра. В вечернее время КП у «жаворонков» существенно возрастал (на 13,6 %; p < 0,05) по сравнению с дневным уровнем. У «сов» показатель КП в дневное время был достоверно ниже утренних и вечерних значений на 12,2 % и 18,9 % (p < 0,05) соответственно. Что касается представителей дневного хронотипа, то у них изменения коэффициента производительности имели ту же тенденцию, что и у крайних хронотипов, однако в недостоверных пределах (рис. 3).

Статистически значимые межгрупповые различия в уровне анализируемых показателей функции внимания (ИВ, ПВ, ЧО и КП) у студентов с разными хронотипами на протяжении учебного дня представлены в таблице.

**Заключение.** Согласно литературным данным, компоненты внимания достигают своего самого низкого уровня в ночное время и рано утром, в то время как более высокие уровни наблюдаются в дневные и вечерние

часы. Однако показатели внимания в указанных временных рамках могут изменяться в зависимости от индивидуального хронотипа [12], что подтверждается результатами, полученными в нашем исследовании. Анализ таких показателей когнитивной деятельности, как интенсивность внимания, его качество, частота ошибочных ответов и коэффициент производительности при выполнении корректурного теста и теста на расстановку чисел позволяет говорить о наличии различий в динамике функции внимания у студентов с разной циркадианной типологией в интервале времени от 7.30 до 19.30.

Следует отметить, что у «жаворонков» наибольшие значения показателя качества внимания и коэффициента производительности были приурочены к утренним часам, что, вероятно, является важной предпосылкой успешной когнитивной деятельности таких студентов при обучении в первую смену. У «сов», в отличие от «жаворонков», более высокий уровень внимания был синхронизирован с вечерними часами, на что указывает увеличение интенсивности внимания и коэффициента производительности в сочетании со снижением количества ошибочных ответов при тестировании во второй половине учебного дня.

На наш взгляд, относительно жесткая привязка пиковых значений функции внимания

у «жаворонков» к утреннему времени, а у «сов» к вечерним часам делает эти хроно типы весьма уязвимыми для социального джетлага. Социальный джетлаг как рассогласование между эндогенными и внешними (социальными) ритмами [7] представляет большой риск для здоровья, поскольку может вызывать развитие десинхроноза, что проявляется формированием патологических состояний организма [1]. Что касается обследованных представителей дневного хроно типа, то существенной разницы в уровне внимания в утренние, дневные и вечерние часы они не демонстрировали. Это

позволяет говорить об их способности одинаково хорошо адаптироваться к выполнению когнитивной нагрузки в разные периоды учебного дня.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о более тесной связи функции внимания с циркадианными ритмами у студентов с утренним и вечерним типами активности, что дает основание рекомендовать этим хроно типам строго контролировать интенсивность умственных нагрузок, выполняемых в часы, не соответствующие их эндогенным ритмам.

### Список литературы

1. Актуальные термины современной хронобиологии / Г.С. Катинас, С.М. Чибисов, Р.К. Агарвал // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. – 2015. – Т. 17, № 1. – С. 4–11.
2. Изучение образа жизни, состояния здоровья и успеваемости студентов при интенсификации образовательного процесса / Н.А. Агаджанян, Т.Ш. Миннибаев, А.Е. Северин и др. // Гигиена и санитария. – 2005. – № 3. – С. 48–52.
3. Оценка психофизиологического состояния студентов-спортсменов по показателям концентрации внимания и адаптационного потенциала / Я.В. Латюшин, Н.П. Петрушкина, Е.В. Звягина и др. // Ученые записки Крымского федер. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 4. – С. 50–60.
4. Павленко, С.И. Связь показателей внешнего дыхания и variability сердечного ритма при умственной нагрузке у студентов с разными хроно типами / С.И. Павленко, О.А. Ведясова, И.Г. Кретова // Физиология человека. – 2021. – Т. 47, № 2. – С. 45–55.
5. Состояние здоровья студентов-медиков и факторы его определяющие / Р.М. Бердиев, В.А. Кирюшин, Т.В. Моталова, Д.И. Мирошникова // Рос. мед.-биол. вестник им. акад. И. П. Павлова. – 2017. – Т. 25, № 2. – С. 303–315.
6. Chronotype differences in circadian rhythms of temperature, melatonin, and sleepiness as measured in a modified constant routine protocol / L. Lack, M. Bailey, N. Lovato, H. Wright // Nature and Science of Sleep. – 2009. – Vol. 1. – P. 1–8.
7. Chronotype, social jetlag and sleep debt are associated with dietary intake among Brazilian undergraduate students / С.М. Silva, М.С. Mota, М.Т. Miranda et al. // Chronobiology International – 2016. – Vol. 33, No. 6. – P. 740–748.
8. Circadian effects on attention and working memory in college students with attention deficit and hyperactivity symptoms / L. Gabay, P. Miller, N. Alia-Klein, M.P. Lewin // Frontiers in Psychology. – 2022. – Vol. 13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.851502
9. Morningness-eveningness and educational outcomes: the lark has an advantage over the owl at high school / F. Preckel, A.A. Lipnevich, K. Boehme et al. // British Journal of Educational Psychology. – 2013. – Vol. 83. – No. 1. – P. 114–134.
10. The role of chronotype, gender, test anxiety, and conscientiousness in academic achievement of high school students / A. Rahafar, M. Maghsudloo, S. Farhangnia et al. // Chronobiology International. – 2016. – Vol. 33. – Iss. 1. – P. 1–9.
11. Valdez, P. Circadian rhythms in attention / P. Valdez // Yale Journal of Biology and Medicine. – 2019. – Vol. 92, No. 1. – P. 81–92.
12. Valdez, P. Homeostatic and circadian regulation of cognitive performance / P. Valdez // Biological rhythm research. – 2019. – Vol. 50, No. 1. – P. 85–93.
13. Zerbinì, G. Time to learn: How chronotype impacts education / G. Zerbinì, M. Merrow // PsyCh Journal. – 2017. – Vol. 6, No. 4. – P. 263–276.

## References

1. Katinas G.S., Chibisov S.M., Agarval R.K. [Current Terms of Modern Chronobiology]. *Zhurnal nauchnykh statey Zdorov'ye i obrazovanie v XXI veke* [Journal of Scientific Articles Health and Education in the XXI Century], 2015, vol. 17, no. 1, pp. 4–11. (in Russ.)
2. Agadzhanian N.A., Minnibaev T.Sh., Severin A.E. et al. [Study of Lifestyle, Health and Academic Performance of Students During the Intensification of the Educational Process]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 2005, no. 3, pp. 48–52. (in Russ.)
3. Latyushin Ya.V., Petrushkina N.P., Zvyagina E.V. et al. [Assessment of the Psychophysiological State of Student-athletes Based on Indicators of Concentration and Adaptation Potential]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry], 2019, vol. 5 (71), no. 4, pp. 50–60. (in Russ.)
4. Pavlenko S.I., Vedyasova O.A., Kretova I.G. [Relationship between External Respiration Indicators and Heart Rate Variability During Mental Stress in Students with Different Chronotypes]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2021, vol. 47, no. 2, pp. 45–55. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0362119721010102
5. Berdiev R.M., Kiryushin V.A., Motalova T.V., Miroshnikova D.I. [The State of Health of Medical Students and its Determining Factors]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova* [I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald], 2017, vol. 25, no. 2, pp. 303–315. (in Russ.) DOI: 10.23888/PAVLOVJ20172303-315
6. Lack L., Bailey M., Lovato N., Wright H. Chronotype Differences in Circadian Rhythms of Temperature, Melatonin, and Sleepiness as Measured in a Modified Constant Routine Protocol. *Nature and Science of Sleep*, 2009, vol. 1, pp. 1–8. DOI: 10.2147/NSS.S6234
7. 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. *Chronobiology International*, 2016, vol. 33, no. 6, pp. 740–748. DOI: 10.3109/07420528.2016.1167712
8. Gabay L., Miller P., Alia-Klein N., Lewin M.P. Circadian Effects on Attention and Working Memory in College Students with Attention Deficit and Hyperactivity Symptoms. *Frontiers in Psychology*, 2022, vol. 13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.851502
9. Preckel F., Lipnevich A.A., Boehme K. et al. Morningness-eveningness and Educational Outcomes: the Lark has an Advantage Over the Owl at High School. *British Journal of Educational Psychology*, 2013, vol. 83, no. 1, pp. 114–134. DOI: 10.1111/j.2044-8279.2011.02059.x
10. Rahafar A., Maghsudloo M., Farhangniaet S. et al. The Role of Chronotype, Gender, Test Anxiety, and Conscientiousness in Academic Achievement of High School Students. *Chronobiology International*, 2016, vol. 33, no. 1, pp. 1–9. DOI: 10.3109/07420528.2015.1107084
11. Valdez P. Circadian Rhythms in Attention. *Journal of Biology and Medicine*, 2019, vol. 92, no. 1, pp. 81–92.
12. Valdez P. Homeostatic and Circadian Regulation of Cognitive Performance. *Biological Rhythm Research*, 2019, vol. 50, no. 1, pp. 85–93. DOI: 10.1080/09291016.2018.1491271
13. Zerbini G., Merrow M. Time to Learn: How Chronotype Impacts Education. *PsyChJournal*, 2017, vol. 6, no. 4, pp. 263–276. DOI: 10.1002/pchj.178

**Информация об авторах**

**Павленко Снежанна Ивановна**, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии человека и животных, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия.

**Ведясова Ольга Александровна**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии человека и животных, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия.

*Information about the authors*

**Snezhanna I. Pavlenko**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University, Samara, Russia.

**Olga A. Vedyasova**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Human and Animal Physiology, Samara University, Samara, Russia.

*Вклад авторов:*

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Contribution of the authors:*

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 24.01.2024*

*The article was submitted 24.01.2024*