



Check for updates

Статьи

УДК 57.024:57.033:57.034

EDN LSSDTM

<https://doi.org/10.33910/2687-0223-2025-7-3-216-226>

Прогностическая модель психофизиологического состояния студентов с анализом тревожности и кардио-респираторной координации. Пилотное исследование

Е. Г. Вергунов¹, Э. С. Егоров², М. И. Зинченко^{✉1}, В. В. Гультяева¹,
Д. Ю. Урюмцев¹, С. Г. Кривошеков¹

¹ Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины,
630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, д. 4

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2

Сведения об авторах

Евгений Геннадьевич Вергунов,
SPIN-код: 9940-3675,
Scopus AuthorID: 57191523873,
ResearcherID: N-7962-2014,
ORCID: 0000-0002-8352-5368,
e-mail: e.vergunov@ngsu.ru

Эрик Сергеевич Егоров,
ORCID: 0009-0009-3172-8970,
e-mail: egoroverik24@gmail.com

Маргарита Ивановна Зинченко,
SPIN-код: 9601-2428,
Scopus AuthorID: 25032268500,
ORCID: 0000-0003-3107-0493,
e-mail: Zinchenkomi@neuronm.ru

Валентина Владимировна
Гультяева, SPIN-код: 3906-5181,
Scopus AuthorID: 6507537759,
ORCID: 0000-0001-9981-2452,
e-mail: Gulytyaevavv@neuronm.ru

Дмитрий Юрьевич Урюмцев,
SPIN-код: 2802-6274,
Scopus AuthorID: 55344443400,
ORCID: 0000-0002-6434-8220,
e-mail: Uryumcevdy@neuronm.ru

Сергей Георгиевич Кривошеков,
SPIN-код: 5990-5077,
Scopus AuthorID: 7004212395,
ORCID: 0000-0002-2306-829X,
e-mail: Krivoschokovsg@neuronm.ru

Для цитирования: Вергунов, Е. Г.,
Егоров, Э. С., Зинченко, М. И.,
Гультяева, В. В., Урюмцев, Д. Ю.,
Кривошеков, С. Г. (2025)

Прогностическая модель
психофизиологического состояния
студентов с анализом тревожности
и кардио-респираторной
координации. Пилотное
исследование. *Комплексные
исследования детства*, т. 7, № 3,

Аннотация. Студенты первых курсов и учащиеся старших классов крайне подвержены психоэмоциональному стрессу. По сравнению с общей популяцией у них статистически значимо повышен уровень тревожности, особенно ярко это выражено в предэкзаменационный период. Длительный стресс может приводить к дисрегуляции сердечного и дыхательного ритмов и повышенному риску развития сердечно-сосудистых и других заболеваний. Поэтому очень актуальна разработка программ по профилактике заболеваемости и поддержанию здоровья школьников и студентов. Для достижения этой цели перспективным направлением может являться создание прогностических моделей оценки психофизиологического состояния человека.

Цель исследования — оценить возможности построения прогностической модели состояния физиологических и психометрических показателей учащихся в конце семестра на основании психофизиологических данных, полученных в начале семестра. В лонгитюдном исследовании приняли участие 150 студентов в возрасте 19–20 лет. Дважды (в сентябре и декабре) проводили модифицированную клиниортоσταстическую пробу с записью ЭКГ и частоты дыхательных движений. Перед клиниортоσταстической пробой испытуемые заполняли тест на ситуативную и личностную тревожность Спилберга — Ханина. Анализ главных компонент проводили для каждого студента по временным рядам частоты R-пиков ЭКГ и дыхательных движений в двух состояниях (лежа и стоя). Для анализа взаимосвязей между матрицами данных использовался метод PLS-регрессии.

В результате создана прогностическая модель психофизиологического состояния студентов младших курсов в конце семестра на основе результатов кардио-респираторной пробы и тестирования на тревожность в начале семестра. Предсказанные с помощью PLS-регрессии значения показателей перед экзаменами в декабре показывают значимую корреляцию с измеренными значениями показателей. Это демонстрирует возможность прогноза результатов обследования перед экзаменами по результатам скрининга в сентябре.

Ключевые слова: студенты, клиниортоσταстическая проба, кардио-респираторная координация, тревожность, психофизиологическое состояние

с. 216–226. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2025-7-3-216-226>
EDN LSSDTM

Получена 10 октября 2025; прошла рецензирование 15 октября 2025; принята 15 октября 2025.

Финансирование: Исследование выполнено за счет федерального бюджета на проведение фундаментальных научных исследований (тема № 122042600140–6).

Права: © Е. Г. Вергунов, Э. С. Егоров, М. И. Зинченко, В. В. Гульяева, Д. Ю. Урюмцев, С. Г. Кривошеков (2025). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY 4.0.

A predictive model of the psychophysiological state of students with an analysis of anxiety and cardiorespiratory coordination: A pilot study

E. G. Vergunov¹, E. S. Egorov², M. I. Zinchenko^{✉1}, V. V. Gulyaeva¹,
D. Yu. Uryumtsev¹, S. G. Krivoschekov¹

¹ Scientific Research Institute of Neurosciences and Medicine, 4 Timakova Str., Novosibirsk 630117, Russia

² Novosibirsk National Research State University, 2 Pirogova Str., Novosibirsk 630090, Russia

Authors

Eugenij G. Vergunov,
SPIN: 9940-3675, Scopus AuthorID:
57191523873, ResearcherID: N-7962-
2014, ORCID: 0000-0002-8352-5368,
e-mail: e.vergunov@gs.nsu.ru

Erik S. Egorov,
ORCID: 0009-0009-3172-8970,
e-mail: egoroverik24@gmail.com

Margarita I. Zinchenko,
SPIN: 9601-2428,
Scopus AuthorID: 25032268500,
ORCID: 0000-0003-3107-0493,
e-mail: Zinchenkomi@neuronm.ru

Valentina V. Gulyaeva, SPIN: 3906-
5181, Scopus AuthorID: 6507537759,
ORCID: 0000-0001-9981-2452,
e-mail: Gulyaevavv@neuronm.ru

Dmitriy Yu. Uryumtsev,
SPIN: 2802-6274,
Scopus AuthorID: 55344443400,
ORCID: 0000-0002-6434-8220,
e-mail: Uryumcevdy@neuronm.ru

Sergej G. Krivoschekov, SPIN: 5990-
5077, Scopus AuthorID: 7004212395,
ORCID: 0000-0002-2306-829X,
e-mail: Krivoschokovsg@neuronm.ru

For citation: Vergunov, E. G.,
Egorov, E. S., Zinchenko, M. I.,
Gulyaeva, V. V., Uryumtsev, D. Yu.,

Abstract. High school students and first-year university students are highly susceptible to psycho-emotional stress. Compared to the general population, their anxiety levels are significantly elevated, especially during the pre-exam period. Prolonged stress can lead to dysregulation of cardiac and respiratory rhythms and an increased risk of developing cardiovascular and other diseases. This underscores the importance of developing programs to prevent morbidity and maintain the health of school and university students. One promising approach is the creation of predictive models for assessing the psychophysiological state of individuals.

This study aims to evaluate the possibility of creating a predictive model of physiological and psychometric indicators of students at the end of a semester based on psychophysiological data obtained at the beginning of the semester. A longitudinal study was conducted involving 150 students aged 19–20 years. A modified clinostatic test with ECG and respiratory rate recording was performed twice: in September and December. Before the clinostatic test, participants completed the Spielberger–Khanin situational and personal anxiety test. Principal components analysis was performed for each student based on the time series of R-peak frequency of the ECG and respiratory movements in two states (lying and standing). The PLS regression method was used to analyze the relationships between the data matrices.

A model was created to predict the psychophysiological state of undergraduates at the end of a semester based on cardio-respiratory and anxiety measures at the beginning of the semester. The values of the indicators predicted by the PLS regression prior to the exams in December showed a significant correlation with the measured values, demonstrating the possibility of predicting assessment results before the exams based on the screening data collected in September.

Keywords: students, clinostatic test, cardiorespiratory coordination, anxiety, psychophysiological state

Krivoschekov, S. G. (2025)
A predictive model of the
psychophysiological state of students
with an analysis of anxiety and
cardiorespiratory coordination:
A pilot study. *Comprehensive Child
Studies*, vol. 7, no. 3, pp. 216–226.
[https://doi.org/10.33910/2687-0223-
2025-7-3-216-226](https://doi.org/10.33910/2687-0223-2025-7-3-216-226) EDN LSSDTM

Received 10 October 2025;
reviewed 15 October 2025;
accepted 15 October 2025.

Funding: This study was funded
by the federal budget for fundamental
scientific research (topic
No. 122042600140–6).

Copyright: © E. G. Vergunov,
E. S. Egorov, M. I. Zinchenko,
V. V. Gulyaeva, D. Yu. Uryumtsev,
S. G. Krivoschekov (2025). Published
by Herzen State Pedagogical
University of Russia. Open access
under [CC BY License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Введение

Как показывают многочисленные исследования, у студентов по сравнению с общей популяцией повышена тревожность и чаще встречаются депрессивные симптомы (Кубекова 2021; Спицин и др. 2025; Ahmed et al. 2023; Li et al. 2022). Самый высокий уровень тревожности у учащихся высших учебных заведений и старших классов школ наблюдается в предэкзаменационный период (Ткаченко и др. 2020; Stromájer et al. 2023), при этом и ситуативная, и личностная тревожность связаны с проявлением патологических психосоматических симптомов (Stromájer et al. 2023). Это одна из групп населения, крайне подверженная воздействию длительного стресса. В различных исследованиях от 63,4% до 85,7% учащихся высших учебных заведений сообщают об умеренном и высоком уровне воспринимаемого стресса (Coşkun Şimşek, Günay 2023). Повышенная тревожность и ежедневный стресс могут усиливать друг друга (Feng et al. 2023). При интенсивном и длительном стрессе появляются признаки дисрегуляции сердечного и дыхательного ритмов, и, как следствие, повышается риск развития сердечно-сосудистых и других заболеваний (Levine 2022), что негативно отражается на успеваемости (Рахимова 2023). Таким образом, очевидна необходимость разработки программ по профилактике заболеваемости и поддержанию здоровья учащихся (Проскурякова, Лобыкина 2017). Для достижения этой цели перспективным может быть создание прогностических моделей оценки психофизиологического состояния человека.

Влияние стресса на регуляцию ритмов сердца и дыхания традиционно оценивается с помощью анализа variability этих ритмов (Баевский и др. 2002; Гриневиц и др. 2013; Ковалева и др. 2013; Ernst et al. 2023). Под variability подразумевается изменчивость временных интервалов между повторяющимися событиями, например ударами сердца (Гаврилова 2018). Показатели variability ритма сердца (BPC) у студентов первых курсов имеют схожую тенденцию с показателями тревожности: их отклонения от нормы также чаще фиксируются в начале семестра при адаптации к новым учебным условиям и в предэкзаменационный период, вероятно, по причине накопленной усталости (Федотова и др. 2015).

Variability дыхательного ритма изучается как в связке с BPC (Bandara, Wijesiriwardana 2021; Igasaki et al. 2015; Soni, Muniyandi 2019), так и отдельно (van den Bosch et al. 2021). Известно, что существует связь дыхательных ритмов с нейронным кодированием, эмоциями и когнитивными процессами (Tort et al. 2025). Механизмы регуляции дыхательного и сердечного ритма тесно связаны (Баевский 1976; 1979), и этот фактор может быть упущен при традиционном одномерном анализе BPC (de Abreu et al. 2024). Анализ координации работы сердечно-сосудистой и дыхательной систем (или кардиореспираторной координации (КРК)) является новым чувствительным подходом к изучению межсистемной интеграции (Balagué et al. 2016; Gulyaeva et al. 2021). КРК обеспечивает широкий спектр адаптационных возможностей человека и зависит от функционального состояния

конкретного организма. Согласно исследованиям (Даниченко и др. 2013; Кривошеков и др. 2021; 2022; de Abreu et al. 2022; Gulyaeva et al. 2021), степень координации сердечного и дыхательного ритмов в некоторых случаях наиболее точно отражает состояние механизмов регуляции физиологических процессов организма. Например, Р. М. де Абреу с коллегами (de Abreu et al. 2022) по показателям КРК практически безошибочно, в отличие от анализа по ВРС, смог определить, кто из испытуемых является спортсменом (de Abreu et al. 2022). Переход современных физиологических исследований от изучения функционирования органов и систем к изучению их взаимодействия и интеграции помогает улучшить прогнозирование функционального состояния человека (Balagué et al. 2020).

Клиноортостатическое тестирование — функциональная проба, при которой испытуемый несколько минут лежит, а затем стоит с одновременной регистрацией частоты сердечных сокращений, вариабельности сердечного ритма и других параметров. Это стресс-тест, основными задачами которого являются определение состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме и оценка риска возникновения предпатологических и патологических процессов (Гаврилова 2018; Шлык 2022; Gronwald et al. 2024). Выполнение клиноортостатического теста, как правило, оценивают по изменениям ВРС. КРК при проведении этого теста пока малоизучено, нам встретилась только одна работа, где рассматривался этот аспект (de Abreu et al. 2022): авторами приводилось сравнение КРК у спортсменов и неспортсменов в положении лежа и после вставания. Была выявлена более сильная КРК у спортсменов в положении лежа и ее реакция на ортостаз. Мы предположили, что психофизиологическое напряжение, связанное с изменениями в кардиореспираторной регуляции и уровне тревожности, носит индивидуальный характер и зависит от исходных (в начале учебного года) психофизиологических показателей, определяемых по степени координации сердечного и дыхательного ритмов и уровню тревожности. В связи с вышеизложенным была сформулирована цель нашего исследования — оценить возможность построения прогностической модели состояния физиологических и психометрических показателей студентов в конце семестра на основании психофизиологических данных, полученных в начале семестра при обучении в высшем учебном заведении.

Материалы и методы

Выборка испытуемых

Испытуемыми стали 150 студентов второго курса гуманитарного факультета одного из Российских вузов в возрасте 19–20 лет, 71 % из них — женского пола. В исследование были включены условно здоровые лица с синусовым сердечным ритмом, частотой сердечных сокращений не более 90 ударов в минуту, не принимавшие препаратов, влияющих на деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, не имеющие следующих заболеваний: ишемической болезни сердца, других острых и хронических инфекционных и неинфекционных заболеваний, злокачественных новообразований, нарушений мозгового кровообращения. Добровольцам было дано указание воздержаться от употребления алкоголя, напитков и пищи, содержащих кофеин в день исследования и накануне.

Протокол эксперимента и использованные методики

Исследование проводили дважды — в начале (сентябрь) и конце (декабрь) учебного семестра. Добровольцам было предложено пройти клиноортостатическое тестирование с одновременным измерением однополярной ЭКГ и частоты дыхания. Тестирование проводилось через 1,5–2 часа после завтрака, в первой половине дня, в изолированном от посторонних звуков помещении с приглушенным светом. Во время проведения клиноортостатической пробы испытуемые сначала ложились из положения стоя, лежали на спине в течение четырех минут, после чего четыре минуты стояли. Таким образом, изучали процессы стабилизации лежа и стоя. Одновременно с проведением клиноортостатической пробы у испытуемых велась регистрация частоты сердечных сокращений по длительности R–R интервалов на однополярной ЭКГ и дыхательных циклов по изменению объема грудной клетки с помощью прибора «Zephyr» (Medtronic®) в виде датчика с поясом. Сигналы ЭКГ регистрировались с частотой дискретизации 1000 Гц. При математической обработке данных использовались временные ряды частоты сердечных сокращений и дыхательного ритма только последних трех минут в лежачем положении и последних трех минут после перехода в положение стоя. В отличие от стандартной клиноортостатической пробы, десятиминутного отдыха в положении лежа в нашем исследовании не предусматривалось. Это делалось для того, чтобы оценить возможную кардио-респираторную

скоординированность этих нестационарных состояний — адаптацию сердечно-сосудистой и дыхательной систем в положении испытуемого лежа после стояния и сразу после лежания в положении стоя.

В процессе работы было определено, что группировка исходных данных по шесть секунд показывает наилучший результат по сравнению с другими временными интервалами, что связано с тем, что она позволяет удалить те длины волн variability ритмов, которые являются наименее информативными для наших задач (волны, обусловленные активностью парасимпатической системы и более короткие волны). Перед каждым прохождением клиноортостатической пробы испытуемые заполняли тест на личностную и ситуативную тревожность по Спилбергеру — Ханину (Ханин 1976).

Анализ данных

Анализ данных проводили с помощью метода главных компонент и многомерного регрессионного анализа (метода PLS-регрессии). Метод главных компонент (Анализ главных компонент, PCA — principal component analysis) — это метод снижения размерности с учетом минимизации потери информации для работы с многомерными наборами данных. Метод основан на создании новых некоррелирующих между собой составных переменных (главные компоненты, ГК), являющихся линейными комбинациями имеющихся переменных с последовательной максимизацией дисперсии по ним. В одну ГК попадают скоординированные переменные. Анализ главных компонент проводили для каждого студента по временным рядам длительности R–R интервалов ЭКГ и дыхательных движений в двух состояниях (лежа и стоя). Для анализа взаимосвязей между двумя и более матрицами данных использовался метод PLS-регрессии (PLS — Projection to Latent Structures либо Partial Least Squares).

Для анализа данных нами был разработан программный конвейер с использованием программного пакета Jacobi, языка программирования Python и библиотек NumPy и Pandas для Python. Конвейер позволяет обрабатывать большие объемы временных рядов сердечного и дыхательного ритмов и включает в себя следующие процедуры: 1) для шестисекундных последовательностей значений сердечного и дыхательного ритмов из исходных данных производится подсчет средних значений и стандартных отклонений с отбраковкой артефактов. В итоге получают отдельные файлы для каждого обследования каждого испытуемого и сводный

файл для всех испытуемых и обследований. 2) Далее, к полученным средним значениям шестисекундных фрагментов применяется метод главных компонент по четырем переменным — ритм сердца лежа, ритм сердца стоя, ритм дыхания лежа, ритм дыхания стоя. С помощью метода главных компонент мы получаем из этих четырех переменных новые переменные (главные компоненты) таким образом, чтобы первая компонента объясняла наибольшую долю дисперсии исходных данных, вторая — следующая после первой по проценту объясняемой дисперсии и т. д., и создаются таблицы долей дисперсии, объясняемой первыми двумя главными компонентами. 3) Последняя процедура — получение регрессионных уравнений.

Коэффициент корреляции Пирсона рассчитывали для оценки связи расчетных спрогнозированных величин с реальными. Ранговый критерий Вилкоксона для парных сравнений использовался для определения различий в значениях тревожности и процента дисперсии, описываемого главными компонентами. Уровень значимости, принятый в исследовании — 5 % ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Анализ главных компонент

В целом по группе кардио-респираторная координация в процессах восстановления устойчивого состояния, о которой судили по проценту общей дисперсии, объясняемой ГК1 не изменилась от сентября к декабрю и составила 91–92 % (табл. 1). Тревожность в общей группе также достоверно не изменилась, но у 44 % испытуемых ее уровень в декабре оказался выше.

Многомерный регрессионный анализ

С помощью многомерного регрессионного PLS-анализа на основе анализа главных компонент по полученным в сентябре физиологическим данным и результатам опросников испытуемых был получен прогноз психометрических и физиологических характеристик:

- 1) $СТ_{декабрь} = 26,8 + 0,34 \times СТ_{сентябрь} + 0,38 \times ЛТ_{сентябрь} - 0,29 \times ГК1_{сентябрь} + 0,25 \times ГК2_{сентябрь}$ (корреляция между прогнозом и измерениями составила $r = 0,61$; $p = 4,7 \cdot 10^{-5}$).
- 2) $ЛТ_{декабрь} = 28,5 + 0,38 \times СТ_{сентябрь} + 0,46 \times ЛТ_{сентябрь} - 0,22 \times ГК1_{сентябрь} + 0,13 \times ГК2_{сентябрь}$ (корреляция между прогнозом и измерениями составила $r = 0,78$; $p = 9,3 \cdot 10^{-9}$).

Табл. 1. Значения тревожности и процент дисперсии, описываемый ГК в общей группе

	Сентябрь (медиана (25/75 перцентиль))	Декабрь (медиана (25/75 перцентиль))
ЛТ	18,5 (11/23)	18 (11/24)
СТ	29 (23/36)	27 (23/35)
ГК_1	92,3 (88,4/95)	91 (90/94)
ГК_2	5,8 (3,3/8)	5,8 (4,3/7)

Примечания: для анализа используется ранговый критерий Вилкоксона для парных сравнений, различий на уровне $p < 0,05$ не обнаружено. ГК — главная компонента 1 и 2, ЛТ — личностная тревожность, СТ — ситуативная тревожность.

Table 1. Anxiety scores and the percentage of variance explained by principal components (PCs) in the overall sample

	September (median (25/75 percentile))	December (median (25/75 percentile))
TA	18.5 (11/23)	18 (11/24)
RA	29 (23/36)	27 (23/35)
PC_1	92.3 (88.4/95)	91 (90/94)
PC_2	5.8 (3.3/8)	5.8 (4.3/7)

Note: The Wilcoxon rank test was used for paired comparisons, no differences were found at $p < 0.05$. Abbreviations: PC — principal component (1 and 2), TA — trait anxiety, RA — reactive anxiety.

- 3) $ГК1_{декабрь} = 76 - 0,03 \times СТ_{сентябрь} + 0,01 \times ЛТ_{сентябрь} + 0,19 \times ГК1_{сентябрь} - 0,261 \times ГК2_{сентябрь}$ (корреляция между прогнозом и измерениями составили $r = 0,48$; $p = 2,3 \cdot 10^{-3}$).
- 4) $ГК2_{декабрь} = 16,9 + 0,01 \times СТ_{сентябрь} - 0,02 \times ЛТ_{сентябрь} - 0,13 \times ГК1_{сентябрь} + 0,18 \times ГК2_{сентябрь}$ (корреляция между прогнозом и измерениями составили $r = 0,53$; $p = 6,5 \cdot 10^{-4}$).

Значения показателей на обследовании перед экзаменами в декабре, предсказанные с помощью регрессионного анализа, показывают значимую корреляцию с реальными значениями показателей на обследовании перед экзаменами — это демонстрирует возможность прогноза результатов обследования перед экзаменами по результатам скрининга в сентябре. Главные компоненты включают в себя показатели частоты сердечных сокращений и дыхательных движений лежа и стоя, отражая их сопряженность при выполнении клиниорто-статического теста и выступая в качестве фактора кардио-респираторной координации. Поскольку в один главный компонент попадают скоординированные переменные, то увеличение процента дисперсии, описываемой ГК1 характеризует повышение кардио-респираторной координации. Если процент дисперсии, описываемой ГК1 уменьшается, а процент

общей дисперсии ГК2 увеличивается, это указывает на возникновение еще одного центра координации.

КРК — в настоящее время малоизученный феномен, и его физиологические механизмы не до конца ясны (Da Silva et al. 2023; de Abreu et al. 2024). Как показывают исследования, КРК повышена у спортсменов, а ее снижение является маркером ухудшения состояния пациента и осложнений при некоторых патологиях, причем более чувствительным, чем изменения ВРС (Da Silva et al. 2023; de Abreu et al. 2024). Как следует из вышеприведенных уравнений, КРК и тревожность связаны. Если связь ВРС с тревожными расстройствами была показана ранее (Chalmers et al. 2014; Van Diest et al. 2006), то в отношении КРК такой информации в научной литературе мы не встречали, поэтому эта область представляет интерес для дальнейших исследований.

В результате проделанной работы были получены уравнения регрессии для значений показателей скрининга перед экзаменами по значениям скрининга студентов в сентябре, и показана возможность прогноза психофизиологического состояния студентов к концу семестра.

Таким образом, психофизиологическое напряжение, связанное с изменениями в кардио-респираторной регуляции и уровне тревожности, носит индивидуальный характер и зависит

от исходных (в начале учебного года) психофизиологических показателей, определяемых по степени координации сердечного и дыхательного ритмов и уровню тревожности (Nikolaeva, Belousova 2018). В среднем по группе студентов изменений уровня кардио-респираторной координации на этапе стабилизации в клиноортостатической пробе от сентября к декабрю мы не обнаружили.

В результате настоящего исследования создана прогностическая модель психофизиологического состояния студентов младших курсов в конце семестра на основе тревожности и результатов кардио-респираторной пробы в начале семестра. Предсказанные с помощью PLS-регрессии значения показателей перед экзаменами в декабре показывают значимую корреляцию с измеренными значениями показателей. Это демонстрирует возможность прогноза результатов обследования перед экзаменами по результатам скрининга в сентябре.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Соответствие принципам этики

Исследование проведено без риска для здоровья людей с соблюдением всех принципов гуманности и этических норм и соблюдением Хельсинской декларации.

Ethics Approval

The study was conducted without risk to human health in compliance with all the principles of humanity and ethical standards and compliance with the Helsinki Declaration.

Вклад авторов

Все авторы внесли одинаковый вклад в проведенное исследование, анализ собранного материала и написание статьи.

Author Contributions

All authors have made the same contribution to the research, analysis of the collected material and writing of the article.

Литература

- Баевский, Р. М. (1976) Кибернетический анализ процессов управления сердечным ритмом. В кн.: А. М. Чернуха (ред.). *Актуальные проблемы физиологии и патологии кровообращения: сборник научных работ, посвященный памяти академика В. В. Парина*. М.: Медицина, с. 161–175.
- Баевский, Р. М. (1979) *Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии*. М.: Медицина, 298 с.
- Баевский, Р. М., Иванов, Г. Г., Гаврилушкин, А. П. и др. (2002) Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (часть 1). *Вестник аритмологии*, № 24, с. 65–86.
- Гаврилова, Е. А. (2018) *Вариабельность ритма сердца и спорт*. СПб.: Институт спорта и здоровья, 186 с.
- Гриневиц, А. А., Танканаг, А. В., Чемерис, Н. К. (2013) Исследование зависимости амплитудно-частотных спектров сердечного ритма человека от контролируемой частоты дыхания. *Математическая биология и биоинформатика*, т. 8, № 2, с. 537–552. <https://doi.org/10.17537/2013.8.537>
- Даниченко, М. Ю., Мельник, О. В., Михеев, А. А. и др. (2013) Оценка синхронизированности деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма. *Биотехносфера*, № 1 (25), с. 2–6.
- Ковалева, А. В., Панова, Е. Н., Горбачева, А. К. (2013) Анализ вариабельности ритма сердца и возможности его применения в психологии и психофизиологии. *Современная зарубежная психология*, т. 2, № 1, с. 35–50.
- Кривошеков, С. Г., Николаева, Е. И., Вергунов, Е. Г., Приходько, А. Ю. (2022) Многомерный анализ показателей тормозного и автономного контроля при ортостазе и в эмоциональных ситуациях. *Физиология человека*, т. 48, № 1, с. 26–37. <https://doi.org/10.31857/S0131164621060059>
- Кривошеков, С. Г., Урюмцев, Д. Ю., Гульязева, В. В., Зинченко, М. И. (2021) Кардио-респираторная координация при острой гипоксии у легкоатлетов-бегунов. *Физиология человека*, т. 47, № 4, с. 80–90. <https://doi.org/10.31857/S0131164621030085>
- Кубекова, А. С., Абдуллаев, С. С., Сергеева, М. А. (2021) Уровень депрессивности и отношение к депрессии в студенческой среде. *Мир науки. Педагогика и психология*, т. 9, № 6, статья 15.
- Проскурякова, Л. А., Лобыкина, Е. Н. (2017) Структура и оценка эффективности мероприятий системы сохранения здоровья студентов. *Гигиена и санитария*, т. 96, № 1, с. 79–84. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2017-96-1-79-84>

- Рахимова, Г. К. (2023) Анализ данных заболеваемости студентов в процессе обучения и влияние на успеваемость. *Вестник науки и образования*, № 4 (135), с. 104–108.
- Спицин, А. П., Резцов, О. В., Княжев, И. С. (2025) Корреляции между показателями тревожности и вариабельности сердечного ритма у студентов при интенсивной когнитивной деятельности. *Национальный вестник медицинских ассоциаций*, т. 2, № 1 (2), с. 31–35.
- Ткаченко, А. А., Сайтгареева, И. Ф., Кувшин, Е. С. и др. (2020) Исследования уровня тревожности в период экзаменационной сессии. *Международный студенческий научный вестник*, № 1, статья 18.
- Федотова, Г. Г., Пожарова, Г. В., Гераськина, М. А. (2015) Оценка функционального состояния организма студентов на основе анализа вариабельности сердечного ритма. *Современные проблемы науки и образования*, № 5, статья 697.
- Ханин, Ю. Л. (1976) *Краткое руководство к шкале реактивной и личностной тревожности Ч. Д. Спилбергера*. Л.: ЛНИИТЕК, 18 с.
- Шлык, Н. И. (2022) *Вариабельность сердечного ритма и методы ее определения у спортсменов в тренировочном процессе*. Ижевск: Изд-во Удмуртского государственного университета, 80 с.
- Ahmed, I., Hazell, C. M., Edwards, B. et al. (2023) A systematic review and meta-analysis of studies exploring prevalence of non-specific anxiety in undergraduate university students. *BMC Psychiatry*, vol. 23, no. 1, article 240. <https://doi.org/10.1186/s12888-023-04645-8>
- Balagué, N., González, J., Javierre, C. et al. (2016) Cardiorespiratory coordination after training and detraining. A principal component analysis approach. *Frontiers in Physiology*, vol. 7, article 35. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00035>
- Balagué, N., Hristovski, R., Almarcha, M. et al. (2020) Network physiology of exercise: Vision and perspectives. *Frontiers in Physiology*, vol. 11, article 611550. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.611550>
- Bandara, K. M. E. L. N., Wijesiriwardana, R. (2021) Heart rate variability and breathing rate variability analysis during four limbs exercise. In: *3rd International conference on electrical, control and instrumentation engineering (ICECIE)*. Kuala Lumpur: [s. n.], pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICECIE52348.2021.9664687>
- Chalmers, J. A., Quintana, D. S., Abbott, M. J.-A., Kemp, A. H. (2014) Anxiety disorders are associated with reduced heart rate variability: A meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*, vol. 5, article 80. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2014.00080>
- Coşkun Şimşek, D., Günay, U. (2023) The effects of stress on adolescents' school engagement. *Journal of Child and Adolescent Psychiatric Nursing*, vol. 36, no. 1, pp. 35–43. <https://doi.org/10.1111/jcap.12397>
- Da Silva, C. D., Catai, A. M., de Abreu, R. M. et al. (2023) Cardiorespiratory coupling as an early marker of cardiac autonomic dysfunction in type 2 diabetes mellitus patients. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, vol. 311, article 104042. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2023.104042>
- De Abreu, R. M., Cairo, B., Rehder-Santos, P. et al. (2024) Cardiorespiratory coupling is associated with exercise capacity in athletes: A cross-sectional study. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, no. 320, pp. 104198. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2023.104198>
- De Abreu, R. M., Porta, A., Rehder-Santos, P. et al. (2022) Cardiorespiratory coupling strength in athletes and non-athletes. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, vol. 305, article 103943. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2022.103943>
- Ernst, H., Scherpf, M., Pannasch, S. et al. (2023) Assessment of the human response to acute mental stress — An overview and a multimodal study. *PLoS One*, vol. 18, no. 11, article e0294069. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294069>
- Feng, G., Xu, X., Lei, J. (2023) Tracking perceived stress, anxiety, and depression in daily life: A double-downward spiral process. *Frontiers in Psychology*, vol. 14, article 1114332. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1114332>
- Gronwald, T., Schaffarczyk, M., Hoos, O. (2024) Orthostatic testing for heart rate and heart rate variability monitoring in exercise science and practice. *European Journal of Applied Physiology*, vol. 124, no. 12, pp. 3495–3510. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05601-4>
- Gultyaeva, V. V., Uryumtsev, D. Y., Zinchenko, M. I. et al. (2021) Cardiorespiratory coordination in hypercapnic test before and after high-altitude expedition. *Frontiers in Physiology*, vol. 12, article 673570. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.673570>
- Igasaki, T., Nagasawa, K., Murayama, N., Hu, Z. (2015) Drowsiness estimation under driving environment by heart rate variability and/or breathing rate variability with logistic regression analysis. In: *8th International conference on biomedical engineering and informatics (BMEI 2015)*. Shenyang: Institute of Electrical and Electronic Engineers Publ., pp. 189–193. <https://doi.org/10.1109/BMEI.2015.7401498>
- Levine, G. N. (2022) Psychological stress and heart disease: Fact or folklore? *The American Journal of Medicine*, vol. 135, no. 6, pp. 688–696. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2022.01.053>
- Li, W., Zhao, Z., Chen, D. et al. (2022) Prevalence and associated factors of depression and anxiety symptoms among college students: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 63, no. 11, pp. 1222–1230. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13606>
- Nikolaeva, E. I., Belousova, L. V. (2018) Personality as moderator of aging effects on inhibition functions and brain activity. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 131, no. S, p. S96.

- Soni, R., Muniyandi, M. (2019) Breath rate variability: A novel measure to study the meditation effects. *International Journal of Yoga*, vol. 12, no. 1, pp. 45–54. https://doi.org/10.4103/ijoy.IJOY_27_17
- Stromájer, G. P., Csima, M., Iváncsik, R. et al. (2023) Stress and anxiety among high school adolescents: Correlations between physiological and psychological indicators in a longitudinal follow-up study. *Children*, vol. 10, no. 9, article 1548. <https://doi.org/10.3390/children10091548>
- Tort, A. B. L., Laplagne, D. A., Draguhn, A., Gonzalez, J. (2025) Global coordination of brain activity by the breathing cycle. *Nature Reviews. Neuroscience*, vol. 26, no. 6, pp. 333–353. <https://doi.org/10.1038/s41583-025-00920-7>
- Van den Bosch, O. F. C., Alvarez-Jimenez, R., de Grooth, H.-J. et al. (2021) Breathing variability — implications for anaesthesiology and intensive care. *Critical Care*, vol. 25, no. 1, article 280. <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03716-0>
- Van Diest, I., Thayer, J. F., Vandeputte, B. et al. (2006) Anxiety and respiratory variability. *Physiology and Behavior*, vol. 89, no. 2, pp. 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.05.041>

References

- Ahmed, I., Hazell, C. M., Edwards, B. et al. (2023) A systematic review and meta-analysis of studies exploring prevalence of non-specific anxiety in undergraduate university students. *BMC Psychiatry*, vol. 23, no. 1, article 240. <https://doi.org/10.1186/s12888-023-04645-8> (In English)
- Baevsky, R. M. (1976) Kiberneticheskiy analiz protsessov upravleniya serdechnym ritmom [Cybernetic analysis of heart rate control processes]. In: A. M. Chernukha (ed.). *Aktual'nye problemy fiziologii i patologii krovoobrashcheniya: sbornik nauchnykh rabot, posvyashchennyj pamyati akademika V. V. Parina* [Actual problems of physiology and pathology of blood circulation: Collection of scientific papers dedicated to the memory of Academician V. V. Parin]. Moscow: Meditsina Publ., pp. 161–175. (In Russian)
- Baevsky, R. M. (1979) *Prognozirovanie sostoyanij na grani normy i patologii* [Predicting conditions on the verge of normality and pathology]. Moscow: Meditsina Publ., 298 p. (In Russian)
- Baevsky, R. M., Ivanov, G. G., Gavrilushkin, A. P. et al. (2002) Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnykh elektrokardiograficheskikh sistem (chast' 1) [Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (part 1)]. *Zhurnal aritmologii — Journal of Arrhythmology*, no. 24, pp. 65–86. (In Russian)
- Balagué, N., González, J., Javierre, C. et al. (2016) Cardiorespiratory coordination after training and detraining. A principal component analysis approach. *Frontiers in Physiology*, vol. 7, article 35. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00035> (In English)
- Balagué, N., Hristovski, R., Almarcha, M. et al. (2020) Network physiology of exercise: Vision and perspectives. *Frontiers in Physiology*, vol. 11, article 611550. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.611550> (In English)
- Bandara, K. M. E. L. N., Wijesiriwardana, R. (2021) Heart rate variability and breathing rate variability analysis during four limbs exercise. In: *3rd International conference on electrical, control and instrumentation engineering (ICECIE)*. Kuala Lumpur: [s. n.], pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICECIE52348.2021.9664687> (In English)
- Chalmers, J. A., Quintana, D. S., Abbott, M. J.-A., Kemp, A. H. (2014) Anxiety disorders are associated with reduced heart rate variability: A meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*, vol. 5, article 80. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2014.00080> (In English)
- Coşkun Şimşek, D., Günay, U. (2023) The effects of stress on adolescents' school engagement. *Journal of Child and Adolescent Psychiatric Nursing*, vol. 36, no. 1, pp. 35–43. <https://doi.org/10.1111/jcap.12397> (In English)
- Da Silva, C. D., Catai, A. M., de Abreu, R. M. et al. (2023) Cardiorespiratory coupling as an early marker of cardiac autonomic dysfunction in type 2 diabetes mellitus patients. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, vol. 311, article 104042. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2023.104042> (In English)
- Danichenko, M. Y., Melnik, O. V., Mikheev, A. A. et al. (2013) Otsenka sinkhronizirovannosti deyatel'nosti serdechno-sosudistoj i dykhatel'noj system organizma [Estimation of synchronization in functioning of the cardiovascular and respiratory systems of the body]. *Biotekhnosfera*, no. 1 (25), pp. 2–6. (In Russian)
- De Abreu, R. M., Cairo, B., Rehder-Santos, P. et al. (2024) Cardiorespiratory coupling is associated with exercise capacity in athletes: A cross-sectional study. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, no. 320, pp. 104198. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2023.104198> (In English)
- De Abreu, R. M., Porta, A., Rehder-Santos, P. et al. (2022) Cardiorespiratory coupling strength in athletes and non-athletes. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, vol. 305, article 103943. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2022.103943> (In English)
- Ernst, H., Scherpf, M., Pannasch, S. et al. (2023) Assessment of the human response to acute mental stress — An overview and a multimodal study. *PLoS One*, vol. 18, no. 11, article e0294069. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294069> (In English)
- Fedotova, G. G., Pozharova, G. V., Geraskina, M. A. (2015) Otsenka funktsional'nogo sostoyaniya organizma studentov na osnove analiza variabel'nosti serdechnogo ritma [Evaluation of the functional state of the organism students based heart rate variability analysis]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya — Modern Problems of Science and Education*, no. 5, article 697. (In Russian)

- Feng, G., Xu, X., Lei, J. (2023) Tracking perceived stress, anxiety, and depression in daily life: A double-downward spiral process. *Frontiers in Psychology*, vol. 14, article 1114332. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1114332> (In English)
- Gavrilova, E. A. (2018) *Variabel'nost' ritma serdtsa i sport [Heart rate variability and sports]*. Saint Petersburg: Institute of Sports and Health Publ., 186 p. (In Russian)
- Grinevich, A. A., Tankanag, A. V., Chemeris, N. K. (2013) Issledovanie zavisimosti amplitudno-chastotnykh spektrov serdechnogo ritma cheloveka ot kontroliruemoy chastoty dykhaniya [The study of the dependence of the human heart rate from the frequency of controlled breathing]. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika — Mathematical Biology and Bioinformatics*, vol. 8, no. 2, pp. 537–552. <https://doi.org/10.17537/2013.8.537> (In Russian)
- Gronwald, T., Schaffarczyk, M., Hoos, O. (2024) Orthostatic testing for heart rate and heart rate variability monitoring in exercise science and practice. *European Journal of applied Physiology*, vol. 124, no. 12, pp. 3495–3510. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05601-4> (In English)
- Gultyaeva, V. V., Uryumtsev, D. Y., Zinchenko, M. I. et al. (2021) Cardiorespiratory coordination in hypercapnic test before and after high-altitude expedition. *Frontiers in Physiology*, vol. 12, article 673570. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.673570> (In English)
- Igasaki, T., Nagasawa, K., Murayama, N., Hu, Z. (2015) Drowsiness estimation under driving environment by heart rate variability and/or breathing rate variability with logistic regression analysis. In: *8th International conference on biomedical engineering and informatics (BMEI 2015)*. Shenyang: Institute of Electrical and Electronic Engineers Publ., pp. 189–193. <https://doi.org/10.1109/BMEI.2015.7401498> (In English)
- Khanin, Yu. L. (1976) *Kratkoe rukovodstvo k shkale reaktivnoj i lichnostnoj trevozhnosti Ch. D. Spielberga [A brief guide to C. D. Spielberger's scale of reactive and personal anxiety]*. Leningrad: LSRIIP Publ., 18 p. (In Russian)
- Kovaleva, A. V., Panova, E. N., Gorbachova, A. K. (2013) Analiz variabel'nosti ritma serdtsa i vozmozhnosti ego primeneniya v psikhologii i psikhofiziologii [Analysis of heart rate variability and possibility of its utilization in psychology and psycho-physiology]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya — Journal of Modern Foreign Psychology*, vol. 2, no. 1, pp. 35–50. (In Russian)
- Krivoshchekov, S. G., Nikolaeva, E. I., Vergunov, E. G., Prihodko, A. Yu. (2022) Mnogomernyj analiz pokazatelej tormoznogo i avtonomnogo kontrolya pri ortostaze i v emotsional'nykh situatsiyakh [Multivariate analysis of indicators of inhibitory and autonomic control in orthostasis and emotional situations]. *Fiziologiya cheloveka — Human Physiology*, vol. 48, no. 1, pp. 20–29. <https://doi.org/10.1134/S0362119721060050> (In Russian)
- Krivoshchekov, S. G., Uryumtsev, D. Yu., Gultyaeva, V. V., Zinchenko, M. I. (2021) Kardio-respiratornaya koordinatsiya pri ostroj gipoksii u legkoatletov-begunov [Cardiorespiratory coordination in acute hypoxia in runners]. *Fiziologiya cheloveka — Human Physiology*, vol. 47, no. 4, pp. 429–437. <https://doi.org/10.1134/S0362119721030087> (In Russian)
- Kubekova, A. S., Abdullaev, S. S., Sergeeva, M. A. (2021) Uroven' depressivnosti i otnoshenie k depressii v studencheskoj srede [Depression level and attitudes towards depression in the student environment]. *Mir nauki. Pedagogika i psikhologiya — World of Science. Pedagogy and Psychology*, vol. 9, no. 6, article 15. (In Russian)
- Levine, G. N. (2022) Psychological stress and heart disease: Fact or folklore? *The American Journal of Medicine*, vol. 135, no. 6, pp. 688–696. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2022.01.053> (In English)
- Li, W., Zhao, Z., Chen, D. et al. (2022) Prevalence and associated factors of depression and anxiety symptoms among college students: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 63, no. 11, pp. 1222–1230. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13606> (In English)
- Nikolaeva, E. I., Belousova, L. V. (2018) Personality as moderator of aging effects on inhibition functions and brain activity. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 131, no. S, p. S96. (In English)
- Proskuryakova, L. A., Lobykina, E. N. (2017) Struktura i otsenka effektivnosti meropriyatij sistemy sokhraneniya zdorov'ya studentov [Structure and evaluation of the effectiveness of measures of the system of preservation of students' health]. *Gigiena i sanitariya — Hygiene and Sanitation*, vol. 96, no. 1, pp. 79–84. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2017-96-1-79-84> (In Russian)
- Rakhimova, G. K. (2023) Analiz dannykh zaboлеваemosti studentov v protsesse obucheniya i vliyanie na uspevaemost' [Analysis of data on the morbidity of students in the learning process and the impact on academic performance]. *Vestnik nauki i obrazovaniya — Bulletin of Science and Education*, no. 4 (135), pp. 104–108. (In Russian)
- Shlyk, N. I. (2022) *Variabel'nost' serdechnogo ritma i metody ee opredeleniya u sportsmenov v trenirovochnom protsesse [Heart rate variability and methods of its determination in athletes in the training process]*. Izhevsk: Udmurt State University Publ., 80 p. (In Russian)
- Soni, R., Muniyandi, M. (2019) Breath rate variability: A novel measure to study the meditation effects. *International Journal of Yoga*, vol. 12, no. 1, pp. 45–54. https://doi.org/10.4103/ijoy.IJOY_27_17 (In English)
- Spitsin, A. P., Reztsov, O. V., Knyazhev, I. S. (2025) Korrelyatsii mezhdu pokazatelyami trevozhnosti i variabel'nosti serdechnogo ritma u studentov pri intensivnoj kognitivnoj deyatelnosti [Correlations between indicators of anxiety and heart rate variability in students with intensive cognitive activity]. *Natsional'nyj vestnik meditsinskikh assotsiatsij — National Bulletin of Medical Associations*, vol. 2, no. 1 (2), pp. 31–35. (In Russian)

- Stromájer, G. P., Csima, M., Iváncsik, R. et al. (2023) Stress and anxiety among high school adolescents: Correlations between physiological and psychological indicators in a longitudinal follow-up study. *Children*, vol. 10, no. 9, article 1548. <https://doi.org/10.3390/children10091548> (In English)
- Tkachenko, A. A., Saitgareeva, I. F., Kuvshin, E. S. (2020) Issledovaniya urovnya trevozhnosti v period examenatsionnoj sessii [Studies of the level of anxiety during the examination session]. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik — European Student Scientific Journal*, no. 1, article 18. (In Russian)
- Tort, A. B. L., Laplagne, D. A., Draguhn, A., Gonzalez, J. (2025) Global coordination of brain activity by the breathing cycle. *Nature Reviews. Neuroscience*, vol. 26, no. 6, pp. 333–353. <https://doi.org/10.1038/s41583-025-00920-7> (In English)
- Van den Bosch, O. F. C., Alvarez-Jimenez, R., de Grooth, H.-J. et al. (2021) Breathing variability — implications for anaesthesiology and intensive care. *Critical Care*, vol. 25, no. 1, article 280. <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03716-0> (In English)
- Van Diest, I., Thayer, J. F., Vandeputte, B. et al. (2006) Anxiety and respiratory variability. *Physiology and Behavior*, vol. 89, no. 2, pp. 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.05.041> (In English)