

<https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-5-64-76>

УДК: 612.1:612.8:519.21



Эконометрическая прогностическая модель оценки функционального состояния организма студентов во время экзаменационной сессии: одномоментное экспериментальное поисковое исследование

И.С. Княжев, Л.В. Караулова, О.В. Резцов, А.П. Спицин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Карла Маркса, д. 112, г. Киров, 610998, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Методы математического моделирования широко используются в медицине для анализа устройства и работы систем организма и их корреляционных связей. В данной работе отбирались факторы, оказывающие существенное влияние на адаптационный потенциал сердечно-сосудистой системы, были построены модели множественной регрессии, отражающие зависимость адаптационного потенциала от этих факторов, и сравнивалась значимость линейной модели по сравнению с нелинейными. **Цель исследования** — определить особенности изменения системы кровообращения у студентов в период экзаменационной сессии и разработать математическую модель для прогнозирования адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы. **Методы.** В когортном наблюдательном исследовании приняли участие 74 студента федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации в возрасте 18–23 лет, давшие согласие на участие в исследовании. Сформированы две группы в зависимости от доминирующего типа автономной нервной системы (группа 1 — лица с доминированием симпатической части периферического отдела автономной нервной системы ($n = 54$) и группа 2 — лица с ваготоническим типом регуляции ($n = 20$)). Главными критериями релевантности исследования среди студентов были показатели взаимосвязи между значениями их показателей гемодинамики и исходным автономным тонусом. В группах провели сравнительный анализ показателей гемодинамики в зависимости от доминирующего типа автономной нервной системы. Для построения регрессионной модели использовалось 74 наблюдения. Данные описывались с указанием медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей. Сравнение показателей в независимых выборках (группах) осуществлялось с использованием непараметрического критерия U Манна — Уитни. Корреляционный анализ для установления связей между изучаемыми величинами выполнялся с использованием критерия Спирмена (r). Достоверными считали различия и корреляции при $p < 0,05$. Расчеты и анализ проводились с использованием электронных таблиц в программе Statistica Advanced 10 for Windows RU (Statsoft, Россия). **Результаты.** Состояние сердечно-сосудистой системы существенно зависит от доминирующего типа автономной нервной системы. Установлено, что такие показатели, как ударный объем крови, сердечный индекс, минутный объем крови, коэффициент эффективности кровообращения, были значимо выше, а диастолическое артериальное давление, среднее гемодинамическое давление, индекс сердечно-сосудистой регуляции — ниже у лиц с активацией симпатической части автономного отдела периферической нервной системы. Выявлены значимые корреляционные взаимосвязи между параметрами центральной гемодинамики и антропометрическими показателями в зависимости от доминирующего типа автономной нервной системы. **Заключение.** Достоверные различия показателей гемодинамики в зависимости от доминирующего типа автономной системы свидетельствуют о значимости нейрогуморальных механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы. Значения адаптационного потенциала превышали 2,0 балла, что указывало на напряжение адаптации сердечно-сосудистой системы. Исходя из проведенного корреляционного регрессионного анализа установлено, что наиболее существенной является разработанная авторами модель множественной линейной регрессии для прогнозирования адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: центральная гемодинамика, тип автономной регуляции, адаптационный потенциал, множественная линейная регрессия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Княжев И. С., Караулова Л. В., Резцов О. В., Спицин А. П. Эконометрическая прогностическая модель оценки функционального состояния организма студентов во время экзаменационной сессии: одномоментное экспериментальное поисковое исследование. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2023; 30(5): 64–76. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-5-64-76>

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

ДЕКЛАРАЦИЯ О НАЛИЧИИ ДАННЫХ: данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по запросу у корреспондирующего автора. Данные не являются общедоступными, так как они содержат информацию, которая может поставить под угрозу конфиденциальность участников исследования.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ: авторы заявляют об отсутствии спонсорской поддержки при проведении исследования.

СООТВЕТСТВИЕ ПРИНЦИПАМ ЭТИКИ: проведенное исследование соответствует стандартам Хельсинкской декларации, одобрено Локальным этическим комитетом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ул. К. Маркса, д. 112, г. Киров, Россия), протокол № 06/2022 от 03.04.2022. Все лица, вошедшие в исследование, подписали письменное информированное добровольное согласие.

© Княжев И. С., Караулова Л. В., Резцов О. В., Спицин А. П., 2023

ВКЛАД АВТОРОВ: И. С. Княжев, Л. В. Караулова, О. В. Резцов, А. П. Спицин — разработка концепции и дизайна исследования; И. С. Княжев — сбор данных; И. С. Княжев, Л. В. Караулова, О. В. Резцов, А. П. Спицин — анализ и интерпретация результатов; И. С. Княжев, Л. В. Караулова, А. П. Спицин — обзор литературы, проведение статистического анализа; И. С. Княжев, А. П. Спицин — составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта; Л. В. Караулова, О. В. Резцов — критический пересмотр черновика рукописи с внесением ценного замечания интеллектуального содержания. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой части работы.

✉ **КОРРЕСПОНДИРУЮЩИЙ АВТОР:** Спицин Анатолий Павлович; e-mail: kf23@kirovgma.ru; ул. К. Маркса, д. 112, г. Киров, 610998, Россия

Получена: 22.02.2023 / Получена после доработки: 03.08.2023 / Принята к публикации: 05.09.2023

Econometric predictive model for assessing the functional state of students during the examination period: a cross-sectional exploratory pilot study

Ilya S. Knyazhev, Larisa V. Karaulova, Oleg V. Reztsov, Anatoly P. Spitsin

¹ Kirov State Medical University, Karla Marksa str., 112, Kirov, 610998, Russia

ABSTRACT

Background. Mathematical modeling is widely used in medicine to analyze the body systems in terms of their structure, work and interrelations. The present study investigates factors associated with the adaptation potential of the cardiovascular system, develops multiple regression models for the dependence of the adaptive potential on these factors, and compares the significance of the linear model with non-linear ones. **Objectives.** To determine changes in the circulatory system in students during the examination period and develop a mathematical model for predicting the adaptive potential of the cardiovascular system. **Methods.** The cohort observational study enrolled 74 students of Kirov State Medical University, aged 18–23 years, who gave consent to the survey. The participants were divided into two cohorts depending on the dominant type of the autonomic nervous system (group 1 — individuals with the dominance of sympathetic part of the peripheral division of the autonomic nervous system ($n = 54$) and group 2 — individuals with vagotonic type of regulation ($n = 20$)). The relationship between the hemodynamic parameters and the initial autonomic tone was considered as the main relevancy criterion of the study. Comparative analysis of hemodynamic parameters depending on the dominant type of autonomic nervous system was carried out in the cohorts. Development of the regression model was based on 74 observations. Data description included median (Me) and interquartile range representing 25th and 75th percentiles. The indicators in independent samples (cohorts) were compared using the non-parametric Mann—Whitney U test. Correlation analysis of relationships between the studied variables involved Spearman's criterion (r). Differences and correlations were considered significant at $p = 0.05$. Calculations and analyses were performed using spreadsheets in Statistica Advanced 10 for Windows RU (Statsoft, Russia). **Results.** The state of the cardiovascular system significantly depends on the dominant type of the autonomic nervous system. Such parameters as stroke volume, cardiac index, cardiac minute output, circulatory efficiency were established to be significantly higher, whereas diastolic blood pressure, mean arterial pressure, cardiovascular index — lower in individuals with activation of the sympathetic part of the autonomic division of the peripheral nervous system. The study revealed significant correlations between the parameters of central hemodynamic and anthropometric parameters depending on the dominant type of the autonomic nervous system. **Conclusion.** Significant differences of hemodynamic parameters depending on the dominant type of autonomic system indicate the relevance of neurohumoral mechanisms of cardiovascular regulation. The values in adaptive potential exceeded 2.0 points, indicating the stress of the cardiovascular adaptation. The correlation regression analysis showed the greatest significance of the multiple linear regression model developed by the authors for predicting the adaptive potential of the cardiovascular system.

KEYWORDS: central hemodynamics, type of autonomic regulation, adaptive potential, multiple linear regression

FOR CITATION: Knyazhev I.S., Karaulova L.V., Reztsov O.V., Spitsin A.P. Econometric predictive model for assessing the functional state of students during the examination period: A cross-sectional exploratory pilot study. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2023; 30(5): 64–76. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-5-64-76>

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest.

DATA AVAILABILITY STATEMENT: Data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon request. The data is not publicly available, as it contains information that can potentially violate the privacy of the participants.

FUNDING: The authors declare that no funding was received for this study.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS: The study complies with the standards of the Helsinki Declaration, approved by the Independent Committee for Ethics of Kirov State Medical University (Karla Marksa str., 112, Kirov, Russia), Minutes No. 06/2022 of April 3, 2022. Written informed voluntary consent was obtained from all participants of the study.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: Knyazhev I.S., Karaulova L.V., Reztsov O.V., Spitsin A.P. — concept statement and contribution to the scientific layout; Knyazhev I.S. — data collection; Knyazhev I.S., Karaulova L.V., Reztsov O.V., Spitsin A.P. — analysis and interpretation of the results; Knyazhev I.S., Karaulova L.V., Spitsin A.P. — literature review, statistical analysis; Knyazhev I.S., Spitsin A.P. — drafting the manuscript and preparing its final version; Karaulova L.V., Reztsov O.V. — critical review of the manuscript with introduction of valuable intellectual content. All authors approved the final version of the paper before publication and assumed responsibility for all aspects of the work, which implies proper study and resolution of issues related to the accuracy and integrity of any part of the work.

✉ **CORRESPONDING AUTHOR:** Anatoly P. Spitsin; e-mail: kf23@kirovgma.ru; Karla Marksa str., 112, Kirov, 610998, Russia

Received: 22.02.2023 / Revised: 03.08.2023 / Accepted: 05.09.2023

ВВЕДЕНИЕ

Важными индикаторами физиологического состояния организма и адаптационных резервов являются объективные характеристики сердечно-сосудистой системы, которые в совокупности отражают адаптационные механизмы организма человека [1]. Особенности обучения в высших учебных заведениях, с которыми сталкиваются студенты, накладывают особый отпечаток на морфологическое и функциональное состояние организма [2]. Это сопровождается нагрузкой на все функциональные системы, в том числе и сердечно-сосудистую [3], что оказывает негативное влияние на состояние здоровья человека, его адаптационные возможности [4, 5]. Автономная нервная система (АНС) играет важную роль в модуляционных состояниях сердечно-сосудистой системы [6]. Работа системы кровообращения определяется взаимодействием симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС). Одним из объективных критериев оценки выраженности психоэмоционального напряжения является тип его вегетативного регулирования [7], который можно оценить, используя показатели центральной гемодинамики.

На начальных этапах обучения в университете у здоровых студентов нарушаются адаптационные процессы на фоне активации как симпатического, так и парасимпатического отделов ВНС. На фоне повышения общего психоэмоционального напряжения наблюдается нарастание напряжения адаптационных резервов, усиливается кумулятивное влияние всех уровней регуляции на сердечную деятельность парасимпатической части периферического отдела автономной нервной системы. У студентов встречается совокупный спад на всех уровнях регулирования с преобладанием симпатических влияний и перенапряжением центральных механизмов регулирования кардио-респираторной системы, в связи с чем наблюдается срыв адаптационных процессов и реже — повышение всех звеньев регуляции с преобладанием парасимпатической части периферического отдела автономной нервной системы на сердечную деятельность и угнетение дыхательной функции [8, 9]. При этом по уровню адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы можно судить об автономной регуляции гомеостаза [9]. Несмотря на имеющиеся исследования оценки напряжения механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы на основе расчетных индексов, недостаточное внимание уделяется динамике данного индикатора в различных функциональных состояниях [10–13]. Таким образом, взаимодействие между функционированием сердечно-сосудистой системы, автономными механизмами регуляции и стрессовой нагрузкой требует дальнейшего изучения. В настоящее время в научной сфере широко применяются методы математического моделирования [14–18].

Цель исследования — определить особенности изменения системы кровообращения у студентов в период экзаменационной сессии и разработать математическую модель для прогнозирования адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В наблюдательном исследовании проведена оценка состояния центральной гемодинамики у студентов в возрасте от 18 до 23 лет медицинского университета в период сдачи экзаменов в зависимости от доминирующего типа автономной нервной системы. Проведено аналитическое описательное исследование и моделирование.

Условия проведения исследования

Исследование проведено на базе кафедры патофизиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО «Кировский ГМУ» Минздрава России). Исследование проводилось одномоментно в июне 2019 года.

Критерии соответствия

Критерии включения

Возраст от 18 до 23 лет; отсутствие острых и хронических сердечно-сосудистых заболеваний; подписанное добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии невключения

Исключались из исследования студенты, не подписавшие добровольное информированное согласие, моложе 18 и старше 23 лет; студенты с избыточной массой тела; с инвалидностью; имеющие хронические заболевания в стадии обострения; диагностированные патологии сердечно-сосудистой системы.

Критерии исключения

При отсутствии сердечно-сосудистых заболеваний зафиксированное повышение артериального давления во время его измерения. Отказ от участия в исследовании.

Описание критериев соответствия (диагностические критерии)

Показатели взаимосвязи между значениями показателей гемодинамики у студентов третьего курса и их исходным вегетативным тонусом стали главными критериями релевантности проводимого исследования.

Подбор участников в группы

В зависимости от доминирующего типа автономной нервной системы в группы 1 и 2 осуществлялся подбор участников.

Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

Гемодинамические показатели в зависимости от автономной регуляции.

Дополнительные показатели исследования

Не предусмотрены.

Методы измерения целевых показателей

Антропометрия включала измерение длины тела, массы тела и расчет индекса массы тела. Традиционными расчетными методами определяли гемодинамические показатели (рис. 1).

Антропометрические показатели	<p>Индекс массы тела (ИМТ), кг/м² ИМТ = МТ / (ДТ)², Примечание: МТ — масса тела (кг), ДТ — длина тела (м)</p>		<p>Площадь абсолютной поверхности тела (ППТ), м² ППТ = 0,007184 × МТ^{0,423} × ДТ^{0,725}, Примечание: МТ — масса тела (кг), ДТ — длина тела (см)</p>			
	<p>Пульсовое артериальное давление (ПД), мм рт. ст. ПД = САД – ДАД, Примечание: САД — систолическое АД, ДАД — диастолическое АД</p>		<p>Среднее гемодинамическое артериальное давление (СрГД), мм рт. ст. СрГД = ДАД + (ПД / 3), Примечание: ДАД — диастолическое АД, ПД — пульсовое давление</p>		<p>Ударный объем крови (УОК), мл УОК = 101 + 0,5 × ПД – 0,6 × ДАД – 0,6 × В, Примечание: ПД — пульсовое давление, ДАД — диастолическое АД, В — возраст в годах</p>	
	<p>Ударный индекс (УИ), мл/м² УИ = УОК / ППТ, Примечание: УОК — ударный объем крови, ППТ — площадь абсолютной поверхности тела</p>		<p>Сердечный индекс (СИ), л/мин СИ = УИ × ЧСС, Примечание: УИ — ударный индекс, ЧСС — частота сердечных сокращений</p>		<p>Удельное периферическое сосудистое сопротивление (УПСС), у.е. УПСС = СрГД / СИ, Примечание: СрГД — среднее гемодинамическое артериальное давление, СИ — сердечный индекс</p>	
	<p>Общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС), дин × с × см⁻⁵ ОПСС = [(ДАД + 1/3 × ПД) × 1330 × 60] / МОК, Примечание: ДАД — диастолическое АД, ПД — пульсовое давление, МОК — минутный объем крови</p>		<p>Минутный объем крови (МОК), мл/мин МОК = УОК × ЧСС, Примечание: УОК — ударный объем крови, ЧСС — частота сердечных сокращений</p>		<p>Двойное произведение (ДП), у.е. ДП = (САД × ЧСС) / 100, Примечание: САД — систолическое АД, ЧСС — частота сердечных сокращений</p>	
	<p>Индекс сердечно-сосудистой регуляции (ИССР), у.е. ИССР = (ДАД / ЧСС) × 100, Примечание: ДАД — диастолическое АД, ЧСС — частота сердечных сокращений</p>		<p>Коэффициент экономичности кровообращения (КЭК), у.е. КЭК = (САД - ДАД) × ЧСС, Примечание: САД — систолическое АД, ДАД — диастолическое АД, ЧСС — частота сердечных сокращений</p>		<p>Коэффициент выносливости (КВ), у.е. КВ = 10 × (ЧСС / ПД), Примечание: ЧСС — частота сердечных сокращений, ПД — пульсовое давление</p>	
Гемодинамические показатели	<p>Индекс работы сердца (ИРС), у.е. ИРС = УОК / ЧСС, Примечание: УОК — ударный объем крови, ЧСС — частота сердечных сокращений</p>		<p>Индекс тонуса сосудов (ИТС), у.е. ИТС = ПД / ДАД, Примечание: ПД — пульсовое давление, ДАД — диастолическое АД</p>		<p>Интегральный показатель уравновешенности сердечного и сосудистого компонентов (ИПУССК), у.е. ИПУССК = ИРС × ИТС, Примечание: ИРС — индекс работы сердца, ИТС — индекс тонуса сосудов</p>	

Рис. 1. Антропометрические и гемодинамические показатели

Примечание: рисунок выполнен авторами. Сокращение: АД — артериальное давление.

Fig. 1. Anthropometric and hemodynamic parameters

Note: performed by the authors. Abbreviation: АД — arterial pressure.

Переменные (предикторы, конфаундеры, модификаторы эффекта)

Исходный автономный тонус, который оценивали по вегетативному индексу Кердо (ВИК, усл. ед.), длина тела, масса тела и зависящие от них показатели гемодинамики.

Статистические процедуры

Принципы расчета размера выборки

Исследование является выборочным из генеральной совокупности студентов медицинского университета с нормальными показателями артериального давления и отсутствием заболеваний сердечно-сосудистой системы. Предварительный расчет размера выборки не проводился.

Статистические методы

Для проверки нормальности распределения использованы критерий Колмогорова — Смирнова и Шапиро — Уилка. Данные описывались с указанием медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-й и 75-й процентилей, поскольку распределение данных отличалось от нормального. Для сравнения показателей в независимых выбор-

ках (группах) применяли непараметрический критерий *U* Манна — Уитни. Корреляционный анализ применялся для установления связей между изучаемыми величинами с использованием критерия Спирмена (*r*). Достоверными считали различия и корреляции при $p < 0,05$. Для построения регрессионной модели использовалось 74 наблюдения. Обработка статистической информации проводилась с помощью электронных таблиц MS Excel (Microsoft, США) и компьютерной программы Statistica Advanced 10 for Windows RU (Statsoft, Россия лицензионный номер 136–394–673).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Формирование выборки исследования

В обсервационном исследовании были 74 студента. Наблюдаемых разделили на 2 группы: группа 1 — лица с доминированием симпатической части автономного отдела периферической нервной системы и группа 2 — лица с ваготоническим типом регуляции. Блок-схема дизайна исследования представлена на рисунке 2.

Характеристики выборки (групп) исследования

Группы сравнения были сопоставимы по возрасту, половому составу, регионам прибытия (постоянного проживания на протяжении последних трех лет). Мероприятия по проведению исследований в группах не отличались.

Основные результаты исследования

Основные и расчетные показатели гемодинамики в период экзаменов представлены в таблице 1. В исходном состоянии преобладали лица с доминированием симпатического отдела АНС ($n = 54$), а у 20 человек ($n = 20$) преобладал парасимпатический тип вегетативной регуляции (ваготоники).

В группе с активацией симпатического отдела АНС ЧСС, УОК, МОК, СИ, ДП и КЭК были достоверно больше, чем у ваготоников, однако ИССР, УПСС и СрГД были достоверно больше в группе с исходным доминированием парасимпатического отдела АНС. По показателю АП в обеих группах отмечается напряжение механизмов адаптации ($АП > 2,0$ балла).

Анализ взаимосвязей антропометрических данных с показателями гемодинамики представлен в таблице 2. Выявлена отрицательная достоверная связь между ростом и СИ, у ваготоников эта связь оказалась сильнее. Между ростом и УПСС обнаружены положительные корреляции среди как симпатотоников, так и ваготоников. Масса тела также влияла на УПСС. Только при доминировании симпатического отдела АНС в группах 1 и 2 характерна положительная связь с ИТС. Любопытны особенности корреляционных взаимосвязей между отдельными показателями гемодинамики при различном типе доминирования АНС. ЧСС достоверно коррелировала с ДАД, и у лиц с ваготоническим типом автономной нервной системы эта связь оказалась сильнее, чем у симпатотоников. В обеих группах между ЧСС и АП обнаружена достоверная взаимосвязь. Сильная взаимосвязь обнаружена между СИ и УПСС. Достоверная связь САД и УПСС установлена только при доминировании парасимпатического отдела АНС (табл. 3).



Рис. 2. Блок-схема дизайна проведенного исследования
Примечание: блок-схема выполнена авторами (согласно рекомендациям STROBE).

Fig. 2. Schematic diagram of the scientific layout
Note: performed by the authors (according to STROBE recommendations).

Таблица 1. Различия показателей по критерию Манна — Уитни в зависимости от доминирования автономной нервной системы, Ме (Q_1 – Q_3)Table 1. Differences between the values upon the Mann-Whitney criterion depending on the dominant type of the autonomic nervous system, Me (Q_1 – Q_3)

Показатель	Симпатотоники ($n = 54$)	Ваготоники ($n = 20$)	p^*
Длина тела, см	167,0 (158,0–172,0)	163,5 (158,5–169,5)	0,5965
Масса тела, кг	56,0 (52,0–67,0)	59,0 (51,5–64,0)	0,7936
САД, мм рт. ст.	130,5 (122,0–142,0)	133,0 (128,0–139,0)	0,4432
ДАД, мм рт. ст.	86,0 (80,0–90,0)	92,5 (88,0–99,0)	0,0012
ЧСС, уд/мин	101,0 (94,0–109,0)	84,5 (78,5–89,0)	0,0000
ПД, мм рт. ст.	44,0 (37,0–52,0)	42,0 (34,5–45,0)	0,1281
УОК, мл	59,3 (55,0–62,6)	53,0 (49,3–58,0)	0,0011
СрГД, мм рт. ст.	99,8 (95,0–106,0)	106,0 (101,5–111,5)	0,0081
МОК, мл/мин	5920,6 (5357,8–6582,6)	4546,3 (4128,1–4655,3)	0,0000
ИРС, у. е.	0,6 (0,5–0,7)	0,6 (0,5–0,7)	0,1328
ИТС, у. е.	0,5 (0,4–0,6)	0,4 (0,4–0,5)	0,0110
ИПУССК, у. е.	0,3 (0,2–0,4)	0,3 (0,2–0,4)	0,5308
ИССР, у. е.	86,4 (78,5–91,4)	110,4 (106,3–113,7)	0,0000
КВ, у. е.	22,4 (19,4–26,9)	20,2 (18,2–23,6)	0,1192
КЭК, у. е.	4650,0 (3492,0–5406,0)	3518,0 (2928,0–3694,5)	0,0004
СИ, л/мин	4,0 (3,6–4,8)	3,1 (2,8–3,3)	0,0000
ОПСС, $\text{дин} \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$	1383,8 (1203,4–1500,9)	1924,2 (1776,2–2028,6)	0,0000
ДП, у. е.	130,5 (118,3–149,0)	112,6 (102,9–123,4)	0,0005
УПСС, у. е.	23,8 (20,4–29,4)	34,0 (30,7–37,8)	0,0000
АП, балл	2,7 (2,5–2,9)	2,6 (2,5–2,8)	0,4468

Примечание: таблица составлена авторами; n — количество испытуемых, p — статистически значимые различия между симпатотониками и ваготониками. Сокращения: АП — адаптационный потенциал; ДАД — диастолическое артериальное давление; ДП — двойное произведение; ИПУССК — интегральный показатель уравновешенности сердечного и сосудистого компонентов; ИРС — индекс работы сердца; ИССР — индекс сердечно-сосудистой регуляции; ИТС — индекс тонуса сосудов; КВ — коэффициент выносливости; КЭК — коэффициент экономичности кровообращения; МОК — минутный объем крови; САД — систолическое артериальное давление; ПД — пульсовое давление; СрГД — среднее гемодинамическое давление; СИ — сердечный индекс; ОПСС — общее периферическое сопротивление сосудов; УОК — ударный объем крови; УПСС — удельное периферическое сопротивление сосудов; ЧСС — частота сердечных сокращений.

Note: the table is compiled by the authors; n — number of participants, p — statistically significant differences between sympathotonics and vagotonics. Abbreviations: АП — adaptive potential; ДАД — diastolic blood pressure; ДП — double product; ИПУССК — integral index of balance between cardiac and vascular components; ИРС — cardiac index; ИССР — cardiovascular regulation index; ИТС — vascular tone index; КВ — endurance coefficient; КЭК — circulatory efficiency coefficient; МОК — cardiac minute output; САД — systolic blood pressure; ПД — pulse pressure; СрГД — mean arterial pressure; СИ — cardiac index; ОПСС — total peripheral vascular resistance; УОК — stroke volume; УПСС — specific peripheral vascular resistance; ЧСС — heart rate.

Для множественного регрессионного анализа результативной переменной выступал: y — АП. Поскольку необходимым условием применения множественного регрессионного анализа является наличие мультиколлинеарности факторных признаков, то методом пошагового исключения коррелирующие признаки были удалены из модели. Факторные признаки и модель: x_1 — масса тела, кг; x_2 — ДАД, мм рт. ст.; x_3 — ЧСС, уд./мин.; x_4 — ПД, мм рт. ст.

$$y^* = -1,195 + 0,003x_1 + 0,023x_2 + 0,011x_3 + 0,015x_4 \quad (\text{табл. 4})$$

На основании значений коэффициентов регрессии АП в системе изменяется: увеличение массы тела на 1 кг ведет к уменьшению АП в среднем на 0,003; увеличение ДАД на 1 мм рт. ст. ведет к уменьшению АП в среднем на 0,023; увеличение ЧСС на 1 уд./мин. снижает АП в среднем на 0,011, а увеличение ПД на 1 мм рт. ст. ведет к уменьшению АП в среднем на 0,015.

Уравнение регрессии является статистически достоверным с уровнем значимости $p < 0,05$. Доля вариации АП

на 97,0% объясняется вариацией факторных признаков ($R^2 = 0,97$). Все входящие в модель факторы являются значимыми (для $p < 0,05$). На основании стандартизованных β -коэффициентов оценивалось влияние факторов на зависимую переменную АП (табл. 5).

Наибольшее значение β -коэффициента соответствует фактору ДАД. Проведена проверка остатков на нормальность (рис. 3) по частотной гистограмме и нормально-вероятностному графику (рис. 4). Остатки подчинялись нормальному распределению. Была произведена оценка независимости остатков от предсказываемых уравнением регрессии значений отклика (рис. 5). Остатки не имеют определенной направленности и распределены случайным образом, что говорит о независимости остатков от значения отклика АП.

Дополнительные результаты исследования

С целью проверки возможности использования нелинейных моделей для физиологических показателей

Таблица 2. Корреляционная матрица для роста, массы тела и показателей гемодинамики у студентов младших курсов в зависимости от доминирующего типа автономного отдела периферической нервной системы

Table 2. Correlation matrix for height, body weight and hemodynamic parameters in undergraduate students depending on the dominant type of the autonomic division of the peripheral nervous system

Коррелируемые показатели	Симпатотоники (n = 54)				Ваготоники (n = 20)			
	Рост		Масса тела		Рост		Масса тела	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Длина тела, см	1,00	>0,05	0,69	<0,05	1,00	>0,05	0,57	<0,05
Масса тела, кг	0,69	<0,05	1,00	>0,05	0,57	<0,05	1,00	>0,05
САД, мм рт. ст.	0,14	>0,05	0,37	<0,05	0,23	>0,05	0,43	>0,05
ДАД, мм рт. ст.	0,09	>0,05	0,18	>0,05	0,23	>0,05	0,08	>0,05
ЧСС, уд./мин.	-0,13	>0,05	-0,12	>0,05	0,13	>0,05	0,01	>0,05
ПД, мм рт. ст.	0,08	>0,05	0,30	<0,05	0,34	>0,05	0,57	<0,05
УОК, мл	-0,02	>0,05	0,10	>0,05	0,12	>0,05	0,37	>0,05
СрГД, мм рт. ст.	0,14	>0,05	0,31	<0,05	0,20	>0,05	0,18	>0,05
МОК, мл/мин	-0,08	>0,05	0,01	>0,05	0,30	>0,05	0,29	>0,05
ИРС, у.е.	0,06	>0,05	0,13	>0,05	0,03	>0,05	0,18	>0,05
ИТС, у.е.	0,02	>0,05	0,22	>0,05	0,28	>0,05	0,57	<0,05
ИПУССК, у.е.	0,00	>0,05	0,17	>0,05	0,10	>0,05	0,38	>0,05
ИССР, у.е.	0,16	>0,05	0,22	>0,05	0,07	>0,05	0,21	>0,05
КВ, у.е.	-0,08	>0,05	-0,26	>0,05	-0,23	>0,05	-0,50	<0,05
КЭК, у.е.	0,06	>0,05	0,26	>0,05	0,33	>0,05	0,50	<0,05
ППТ, м ²	0,81	<0,05	0,98	<0,05	0,68	<0,05	0,98	<0,05
УИ, мл/м ²	-0,62	<0,05	-0,68	<0,05	-0,54	<0,05	-0,64	<0,05
СИ, л/мин	-0,59	<0,05	-0,63	<0,05	-0,55	<0,05	-0,77	<0,05
ОПСС, дин×с×см ⁻⁵	0,13	>0,05	0,14	>0,05	0,00	>0,05	-0,13	>0,05
ВИК, %	-0,16	>0,05	-0,22	>0,05	-0,07	>0,05	-0,21	>0,05
ДП, у.е.	0,02	>0,05	0,16	>0,05	0,24	>0,05	0,20	>0,05
УПСС, у.е.	0,54	<0,05	0,63	<0,05	0,57	<0,05	0,71	<0,05
АП, балл	0,03	>0,05	0,31	<0,05	0,19	>0,05	0,39	>0,05

Примечание: таблица составлена авторами; n — количество испытуемых, p — уровень статистической значимости различий. Сокращения: САД — систолическое артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений; СрГД — среднее гемодинамическое давление; ПД — пульсовое давление; УОК — ударный объем крови; МОК — минутный объем крови; ИРС — индекс работы сердца; ИТС — индекс тонуса сосудов; ИПУССК — интегральный показатель уравновешенности сердечного и сосудистого компонентов; ИССР — индекс сердечно-сосудистой регуляции; КВ — коэффициент выносливости; КЭК — коэффициент экономичности кровообращения; ППТ — площадь поверхности тела; УИ — ударный индекс; СИ — сердечный индекс; ОПСС — общее периферическое сопротивление сосудов; ВИК — вегетативный индекс Кердо; ДП — двойное произведение; УПСС — удельное периферическое сопротивление сосудов; АП — адаптационный потенциал.

Note: the table is compiled by the authors; n — number of participants, p — statistical significance level. Abbreviations: САД — systolic blood pressure; ДАД — diastolic blood pressure; ЧСС — heart rate; СрГД — mean arterial pressure; ПД — pulse pressure; УОК — stroke volume; МОК — cardiac minute output; ИРС — cardiac index; ИТС — vascular tone index; ИПУССК — integral index of balance between cardiac and vascular components; ИССР — cardiovascular regulation index; КВ — endurance coefficient; КЭК — circulatory efficiency coefficient; ППТ — total body surface area; УИ — stroke index; СИ — cardiac index; ОПСС — total peripheral vascular resistance; ВИК — Kerdo autonomic index; ДП — double product; УПСС — specific peripheral vascular resistance; АП — adaptive potential.

для результативного показателя АП были построены: модель полиномиальной регрессии и логарифмическая линейная модель. Факторные признаки для логарифмической модели: z_1 — \ln (масса тела), кг; z_2 — \ln (ДАД), мм рт. ст.; z_3 — \ln (ЧСС), уд./мин.; z_4 — \ln (ПД), мм рт. ст. Логарифмическая модель имеет вид:

$$y^{**} = -14,3735 + 0,3051z_1 + 1,8402z_2 + 1,1715z_3 + 0,5947z_4.$$

Уравнение логарифмической модели является статистически достоверным с уровнем значимости $p < 0,05$. Значение $F = 399,26$. Доля вариации АП на 96,0% объясняется

вариацией факторных признаков ($R^2 = 0,96$). Все входящие в модель факторы являются значимыми (для $p < 0,05$). Факторные признаки для модели с уравнением полиномиальной регрессии: m_1 — масса тела, кг; m_2 — (масса тела)²; m_3 — ДАД, мм рт. ст.; m_4 — (ДАД)²; m_5 — ЧСС, уд./мин.; m_6 — (ЧСС)²; m_7 — ПД, мм рт. ст.; m_8 — (ПД)². Полиномиальная регрессия имеет вид:

$$y^{***} = -1,06551 + 0,0090m_1 + 0,00002m_2 + 0,01776m_3 + 0,00003m_4 + 0,01076m_5 + (-5,61 \text{ e-}007)m_6 + 0,02256m_7 + (-0,00009)m_8$$

Таблица 3. Корреляционная матрица для показателей гемодинамики у студентов младших курсов в зависимости от доминирующего типа автономного отдела периферической нервной системы

Table 3. Correlation matrix for hemodynamic parameters in undergraduate students depending on the dominant type of the autonomic division of the peripheral nervous system

Коррелируемые показатели	Симпатотоники ($n = 54$)		Ваготоники ($n = 20$)	
	r	p	r	p
ЧСС — МОК	0,35	<0,05	0,29	>0,05
ЧСС — ИРС	-0,83	<0,05	-0,91	<0,05
ЧСС — ИПУССК	-0,55	<0,05	-0,76	<0,05
ЧСС — ИССР	-0,61	<0,05	-0,47	<0,05
ЧСС — КВ	0,53	<0,05	0,44	>0,05
ЧСС — ДП	0,76	<0,05	0,93	<0,05
САД — ДАД	0,50	<0,05	0,73	<0,05
САД — СрГД	0,82	<0,05	0,85	<0,05
САД — ДП	0,74	<0,05	0,79	<0,05
САД — УПСС	0,27	>0,05	0,59	<0,05
САД — АП	0,86	<0,05	0,90	<0,05
САД — КЭК	0,81	<0,05	0,90	<0,05
ДАД — УОК	-0,69	<0,05	-0,75	<0,05
ДАД — СрГД	0,88	<0,05	0,97	<0,05
ДАД — ДП	0,58	<0,05	0,94	<0,05
ДАД — УПСС	0,59	<0,05	0,55	<0,05
ДАД — АП	0,70	<0,05	0,87	<0,05
ДАД — МОК	-0,34	<0,05	0,13	>0,05
ДАД — ИРС	-0,68	<0,05	-0,86	<0,05
ДАД — ИТС	-0,35	<0,05	-0,30	>0,05
ДАД — ИПУССК	-0,55	<0,05	-0,67	<0,05
ДАД — ИССР	0,37	<0,05	-0,01	>0,05
ДАД — КЭК	0,06	>0,05	0,49	<0,05
УОК — МОК	0,67	<0,05	0,34	>0,05
УОК — ИРС	0,76	<0,05	0,94	<0,05
УОК — ИТС	0,88	<0,05	0,83	<0,05
УОК — ИПУССК	0,91	<0,05	0,97	<0,05
УОК — КВ	-0,71	<0,05	-0,76	<0,05
УОК — КЭК	0,57	<0,05	0,08	>0,05
УОК — УПСС	-0,50	<0,05	-0,22	>0,05
УОК — АП	-0,10	>0,05	-0,46	<0,05
МОК — УПСС	-0,64	<0,05	0,00	>0,05
СИ — МОК	0,71	<0,05	0,25	>0,05
СИ — ИТС	0,35	<0,05	-0,17	>0,05
СИ — ИССР	-0,68	<0,05	-0,50	<0,05
СИ — КЭК	0,39	<0,05	-0,11	>0,05
СИ — УПСС	-0,93	<0,05	-0,84	<0,05
УПСС — АП	0,23	>0,05	0,62	<0,05
ИРС — ИТС	0,62	<0,05	0,68	<0,05
ИРС — ИПУССК	0,89	<0,05	0,93	<0,05
ИРС — КВ	-0,76	<0,05	-0,66	<0,05
АП — ИРС	-0,44	<0,05	-0,67	<0,05
АП — КЭК	0,68	<0,05	0,73	<0,05

Примечание: таблица составлена авторами; n — количество испытуемых, p — уровень статистической значимости различий. Сокращения: САД — систолическое артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений; СрГД — среднее гемодинамическое давление; УОК — ударный объем крови; МОК — минутный объем крови; ИРС — индекс работы сердца; ИТС — индекс тонуса сосудов; ИПУССК — интегральный показатель уравновешенности сердечного и сосудистого компонентов; ИССР — индекс сердечно-сосудистой регуляции; КВ — коэффициент выносливости; КЭК — коэффициент экономичности кровообращения; СИ — сердечный индекс; ДП — двойное произведение; УПСС — удельное периферическое сопротивление сосудов; АП — адаптационный потенциал.

Note: the table is compiled by the authors; n — number of participants, p — statistical significance level. Abbreviations: САД — systolic blood pressure; ДАД — diastolic blood pressure; ЧСС — heart rate; СрГД — mean arterial pressure; УОК — stroke volume; МОК — cardiac minute output; ИРС — cardiac index; ИТС — vascular tone index; ИПУССК — integral index of balance between cardiac and vascular components; ИССР — cardiovascular regulation index; КВ — endurance coefficient; КЭК — circulatory efficiency coefficient; СИ — cardiac index; ДП — double product; УПСС — specific peripheral vascular resistance; АП — adaptive potential.

Таблица 4. Корреляционная матрица для факторных признаков регрессионной модели
Table 4. Correlation matrix for factor features of the regression model

Коррелируемые показатели	Симпатотоники и ваготоники ($n = 74$)	
	r	p
Масса тела — ДАД	0,16	>0,05
Масса тела — ЧСС	0,06	>0,05
Масса тела — ПД	0,36	<0,05
Масса тела — АП	0,40	<0,05
ДАД — ЧСС	0,18	>0,05
ДАД — ПД	-0,17	>0,05
ДАД — АП	0,65	<0,05
ЧСС — ПД	0,04	>0,05
ЧСС — АП	0,40	<0,05
ПД — АП	0,40	<0,05

Примечание: таблица составлена авторами; n — количество испытуемых, p — уровень статистической значимости различий. Сокращения: ДАД — диастолическое артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений; ПД — пульсовое давление; АП — адаптационный потенциал.

Note: the table is compiled by the authors; n — number of participants, p — statistical significance level. Abbreviations: ДАД — diastolic blood pressure; ЧСС — heart rate; ПД — pulse pressure; АП — adaptive potential.

Таблица 5. Стандартизированные β -коэффициенты для модели множественной регрессии
Table 5. Standardized β coefficients for multiple regression model

	β^*	Std.Err. of β^*	β	Std.Err. of β	t (69)	p -value
Intercept			-1,19468	0,084403	-14,1545	0,000000
Масса тела	0,102232	0,022874	0,00329	0,000736	4,4693	0,000030
ДАД	0,620599	0,021990	0,02286	0,000810	28,2218	0,000000
ЧСС	0,522362	0,021086	0,01053	0,000425	24,7724	0,000000
ПД	0,453177	0,022966	0,01458	0,000739	19,7327	0,000000

Примечание: таблица составлена авторами; β^* — стандартизированный коэффициент регрессии; Std.Err. of β^* — стандартная ошибка стандартизованного коэффициента регрессии; β — коэффициент регрессии; Std.Err. of β — стандартная ошибка коэффициента регрессии; t (69) — расчетное значение t -критерия для оценки значимости коэффициента регрессии; p -value — уровень значимости. Сокращения: ДАД — диастолическое артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений; ПД — пульсовое давление; АП — адаптационный потенциал.

Note: compiled by the authors; Note: the table was compiled by the authors; β^* — standardized regression coefficient; Std.Err. of β^* — standardized regression coefficient standard error; β — regression coefficient; Std.Err. of β — standard error of regression coefficient; t (69) — calculated value of T -criterion in assessing the significance of regression coefficient; p -value — the significance level. Abbreviations: ДАД — diastolic blood pressure (DBP); ЧСС — heart rate (HR); ПД — pulse pressure; АП — adaptation potential. Abbreviations: ДАД — diastolic blood pressure; ЧСС — heart rate; ПД — pulse pressure; АП — adaptive potential.

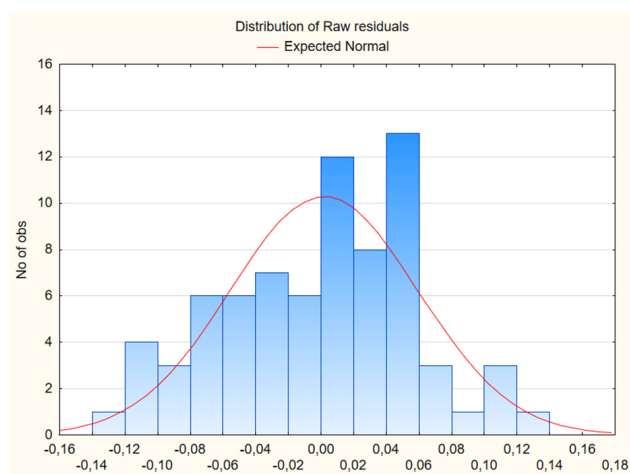


Рис. 3. Частотная гистограмма для проверки остатков на нормальность

Примечание: рисунок выполнен авторами.

Fig. 3. Frequency histogram for residual normality test

Note: performed by the authors

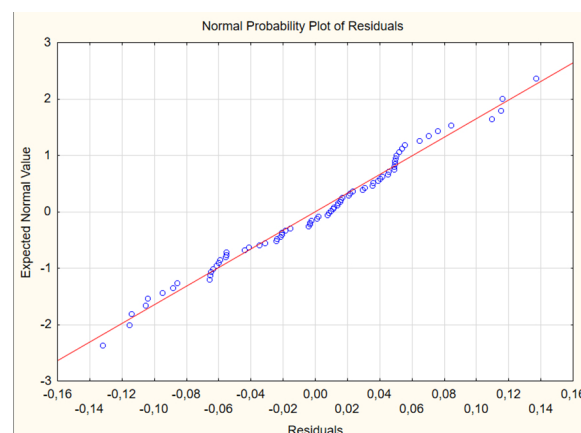


Рис. 4. Нормально-вероятностный график для проверки остатков на нормальность

Примечание: рисунок выполнен авторами.

Fig. 4. Normal-probability plot of testing residuals for normality

Note: performed by the authors.

Уравнение полиномиальной регрессии является статистически достоверным с уровнем значимости $p < 0,05$. Значение $F = 280,75$. Доля вариации АП на 97,0% объясняется вариацией факторных признаков ($R^2 = 0,97$). Значимыми в модели являются только предикторы m_5 — ЧСС и m_7 — ПД (для $p < 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Во время экзаменов у 73,0% студентов отмечается выраженная активация симпатического отдела АНС, а у 27,0% студентов определяется активация парасимпатического отдела (–ВИК). У симпатотоников показатели УОК, СИ, МОК и КЭК достоверно выше, а ДАД, СрГД, ИССР меньше, чем у парасимпатотоников. Поскольку значение адаптационного потенциала, показывающего уровни напряженности деятельности сердечно-сосудистой системы и общее функциональное состояние обследуемых, превышало 2 балла, это позволило говорить о напряжении адаптации сердечно-сосудистой системы у студентов во время сдачи экзамена. Исходя из проведенного корреляционного регрессионного анализа установлено, что наиболее существенной является модель множественной линейной регрессии для прогнозирования адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы. Определены группы факторов (масса тела, ДАД, ЧСС и ПД), оказывающих существенное влияние на зависимую переменную АП, что позволило произвести отбор предикторов с зависимыми переменными.

Ограничения исследования

На момент исследования не учитывалось эмоциональное состояние студентов во время сдачи экзаменов, что может являться одним из ограничений. Возможны влияния уровня тревожности как личностной, так и ситуативной на изменение как центральной, так и периферической гемодинамики. Данные взаимосвязи требуют, несомненно, дальнейшего изучения. Невзирая на то что анализ вариабельности сердечного ритма — простой, доступный способ оценки состояния нейрогуморальных регуляторных систем, методика регистрации не позволяют провести качественный анализ записи у студентов во время экзамена в силу ограниченности времени.

Интерпретация результатов исследования

Выявлены особенности гемодинамических показателей у студентов в зависимости от исходного тонуса автономного отдела периферической нервной системы: с парасимпатикотоническим и симпатикотоническим типами. В поддержании МОК у парасимпатотоников большее значение имела величина ОПСС, тогда как у симпатикотоников — ЧСС. На неэкономичность работы сердца у симпатикотоников указывает то, что значение ДП не соответствовало норме, тогда как у парасимпатотоников этот параметр не отклонялся от нормы. Выявленные отличия аналогичны результатам других исследований.

Например, сердечно-сосудистая система служит индикатором адаптационного потенциала организма и реагирует на внутренние и внешние изменения. Участие системы кро-

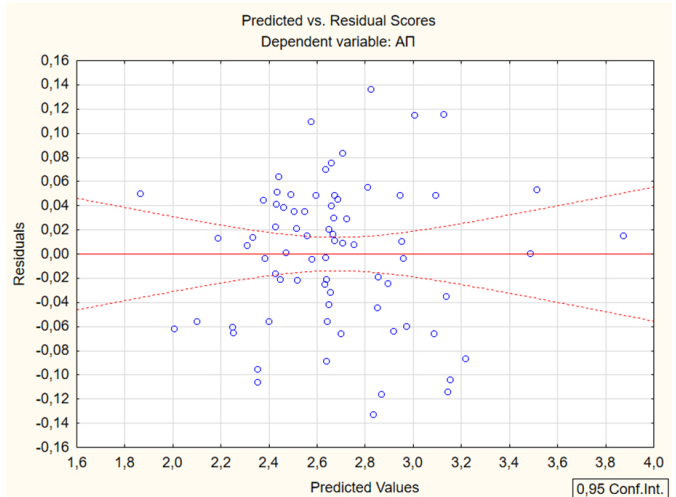


Рис. 5. График для оценки независимости остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика

Примечание: рисунок выполнен авторами.

Fig. 5. Plot of residuals assessment independence from the response values predicted by the regression equation

Note: performed by the authors.

вообращения в адаптационном процессе связано с изменением показателей ее уровня функционирования: ударного и минутного объема кровообращения, ЧСС, АД [19].

Эконометрические прогностические модели активно используются в сфере медицины, что позволяет прогнозировать риск развития сердечно-сосудистых заболеваний [20–22].

В работе М. В. Войтиковой и соавт. предложена линейная регрессионная модель для параметров АД с последующим применением классификатора по методу опорных векторов [23].

Для определения уровня функционирования системы кровообращения и ее адаптационного потенциала А. П. Берсенева (1991 год) предложила использовать индекс функциональных изменений (ИФИ). Этот индекс измеряется в баллах. Для расчета ИФИ необходимы следующие данные: частота пульса (ЧП), артериальное давление (САД и ДАД), рост (Р), масса тела (МТ) и возраст (В) человека. $ИФИ = 0,011 \times ЧП + 0,014 \times САД + 0,008 \times ДАД + 0,014 \times В + 0,009 \times МТ - 0,009 \times Р - 0,27$. Следует отметить, что для оценки уровня функционирования организма использовалась терминология теории адаптации: удовлетворительная адаптация; напряжение механизмов адаптации; неудовлетворительная адаптация и срыв адаптации.

Адаптационный потенциал был разработан Р. М. Бавевским и А. П. Берсеновой в 1997 году¹. Этот показатель основывается на ряде параметров сердечно-сосудистой системы, антропометрических данных и учитывает возраст испытуемого. Он рассчитывался по формуле: $АП = 0,011 \times ЧСС + 0,014 \times АДс + 0,008 \times АДд + 0,014 \times В + 0,009 \times МТ - 0,009 \times Р - 0,27$. Полученный в баллах

¹ Бавевский Р. М., Берсенева А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. 265 с.

результат соответствует определенной степени адаптированности организма: <2,6 — удовлетворительная адаптация; 2,6–3,09 — напряжение механизмов адаптации; 3,10–3,6 — неудовлетворительная адаптация; >3,6 — срыв адаптации.

Нашей задачей являлось упрощение способа расчета адаптационного потенциала, расширение круга обследуемого контингента, не снижая при этом качество оценки уровня адаптации.

В работе Л. А. Коневских и соавт.² приведена модифицированная формула адаптационного потенциала: $АП = 1,238 + 0,09 \times ЧП$. Величина АП, рассчитанная по формуле, тесно коррелировала (коэффициент корреляции = 0,93, $m = 0,39$) с величиной ИФИ, полученной по формуле, предложенной А. П. Берсеновой (1991). Целью создания изобретения было упростить методику, увеличить количество охватываемых пациентов без ущерба для качества оценки степени адаптации. Авторы статьи сравнили два метода оценки адаптации и обнаружили, что новый метод не уступает прототипу по точности оценки уровня адаптации. Способ осуществлялся следующим образом: после того как пациент проведет 15 минут в состоянии покоя, на лучевой артерии определяют частоту пульса в течение 1 минуты. Затем вычисляли значение АП по уравнению: $АП = 1,238 + 0,09 \times ЧП$ и по величине АП определяли уровень адаптации.

В работе Н. В. Репалова и соавт. было проведено изучение АП у иностранных студентов в условиях предэкзаменационного стресса. Адаптационный потенциал определяли по уравнению Л. А. Коневских. Интерпретация результата описывается следующим образом: если значение АП меньше 7,2, то он считается удовлетворительным; если значение находится в диапазоне от 7,21 до 8,24, то наблюдается напряжение адаптационных механизмов; если значение варьируется от 8,25 до 9,85, то это указывает на неудовлетворительную адаптацию; если же АП превышает 9,86, то происходит срыв адаптационных механизмов. В ходе исследования было зафиксировано снижение адаптационного потенциала ($p < 0,01$) как до, так и после написания предварительного экзаменационного теста. Показатели адаптационного потенциала находились в диапазоне от 7,21 до 8,24 балла, что указывает на напряжение адаптационных механизмов [24].

В статье Е. Т. Колунина и соавт. было отмечено, что к существенным недостаткам расчетного способа АП по Л. А. Коневских относится то, что в качестве объ-

ективного критерия гемодинамики и, следовательно, АП использовался только один показатель, каким являлся ЧСС. Авторы указывают на то, что недостатком указанного способа являлось отсутствие учета возрастных особенностей человека, существенно влияющих на уровень адаптации [25].

В работе Р. В. Хурса и М. В. Войтикова приведены доказательства возможности применения линейной регрессии с целью определения гемодинамического фенотипа на основе количественных значений индивидуальных регрессионных коэффициентов. Составлена линейная регрессия систолического давления по пульсовому давлению в индивидуальном ряду величин артериального давления. Авторы статьи указывают на то, что величины артериального давления имеют интегральный характер, являясь результатом совместной работы сердца, эластичности сосудов, функционирования периферических мышц, а также объема и реологических свойств крови³. Данные величины зависят от автономной активности элементов сердечно-сосудистой системы и влияния сложных регуляторных механизмов, что подтверждает наличие нелинейной природы этой системы. Что обуславливает необходимость применения нелинейных моделей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что автономная неустойчивость у студентов во время экзамена, проявляющаяся в преобладании симпатических или парасимпатических влияний, сопровождается существенными сдвигами гемодинамических параметров. Достоверные различия показателей гемодинамики в зависимости от доминирующего типа автономного отдела периферической нервной системы свидетельствуют о значимости нейрогуморальных механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы. Значения адаптационного потенциала, который отражает уровень напряженности в работе сердечно-сосудистой системы и общее функциональное состояние испытуемого, превышали 2,0 балла, что указывало на напряжение адаптации сердечно-сосудистой системы. Исходя из проведенного корреляционного регрессионного анализа установлено, что наиболее существенной является модель множественной линейной регрессии для прогнозирования адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы. Проведенный отбор предикторов позволил определить группу факторов (масса тела, ДАД, ЧСС и ПД), оказывающих существенное влияние на зависимую переменную АП.

² Коневских Л. А., Лихачева Е. И., Оранский И. Е. *Способ оценки адаптационного потенциала*. Патент № 2314019. Дата начала действия: 23.01.2006. Дата публикации патента: 10.01.2008.

³ Хурса Р. В., Войтикова М. В. Линейные зависимости в параметрах артериального давления: обоснование и применение для определения гемодинамического фенотипа. *Здравоохранение (Минск)*. 2021;3(888):44–55.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Скиба И.Е., Коновалов Ф.А., Мавлиев Ф.А., Назаренко А.С., Ибрагимов И.Ф. Оценка кардиореспираторных показателей студентов-медиков, обучающихся по специальности «Лечебное дело», как фактора необходимости оптимизации содержания их физического воспитания. *Современные наукоемкие технологии*. 2020;(12-1):227–231. <https://doi.org/10.17513/snt.38438>
Skiba IA, Konovalov IE, Mavliev FA, Nazarenko AS, Ibragimov IF. Evaluation of cardiorespiratory indicators of medical students that study general medicine as a factor in the need to optimize the content of their physical education. *Modern high technologies*. 2020;(12-1):227–231 (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/snt.38438>
2. Евсеева М.Е., Еремин М.В., Сергеева О.С., Симхес Е.В., Барабаш И.В., Кудрявцева В.Д., Крючков М.С. Проспективный анализ основных факторов риска и сосудистого статуса у студентов за время обучения в медицинском ВУЗе. *Российский кардиологический журнал*. 2023;28(2):5143. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5143>
Evseyeva ME, Eremin MV, Sergeeva OV, Simhes EV, Barabash IV, Kudryavtseva VD, Kruchkov MC. Prospective analysis of the major risk factors and vascular status in students during the period of education at a medical university. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(2):5143 (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5143>
3. Антропова О.Н., Силкина С.Б., Осипова И.В., Смышляева Т.Л., Батанина И.А. Кардиоваскулярные факторы риска у лиц молодого возраста с высоким нормальным артериальным давлением и эссенциальной артериальной гипертензией. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2019;34(4):101–111. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-4-101-111>
Antropova ON, Silkina SB, Osipova IV, Smyshlyayeva TL, Batanina IV. Cardiovascular risk factors in younger adults with high-normal blood pressure and essential hypertension. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2019;34(4):101–111 (In Russ.). <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2019-34-4-101-111>
4. Радышевская Т.Н., Старикова И.В., Питерская Н.В. Анализ показателей вегетативной регуляции и системной гемодинамики у студентов на различных этапах адаптации к учебному процессу. *Вестник Волгоградского государственного медицинского университета*. 2020;1(73):102–105. [https://doi.org/10.19163/1994-9480-2020-1\(73\)-102-105](https://doi.org/10.19163/1994-9480-2020-1(73)-102-105)
Radyshevskaja TN, Starikova IV, Piterskaja NV. Analysis of indices of autonomic nervous regulation and system hemodynamics in students at various stages of adaptation to the educational process. *Journal of Volgograd State Medical University*. 2020;1(73):102–105 (In Russ.). [https://doi.org/10.19163/1994-9480-2020-1\(73\)-102-105](https://doi.org/10.19163/1994-9480-2020-1(73)-102-105)
5. Аль-Шаммари М.Я.И., Погребняк Т.А., Чернявских С.Д., Горбунова И.И. Анализ системных параметров гемодинамики у студентов-первокурсников разных этнических групп с учетом типа автономной регуляции сердечного ритма. *Вестник Российской государственной дружбы народов. Серия: Медицина*. 2019;23(1):9–18. <https://doi.org/10.22363/2313-0245-2019-23-1-9-18>
Al-Shammari MJI, Pogrebnyak TA, Chernyavskikh SD, Gorbunova II. Functional features of the myocardium among first-year students of different ethnic groups with regard to the type of autonomic regulation of the cardiac rhythm. *RUDN Journal of Medicine*. 2019;23(1):9–18 (In Russ.). <https://doi.org/10.22363/2313-0245-2019-23-1-9-18>
6. Лукина С.Ф., Чуб И.С., Бореико А.П. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма в процессе решения прогностической задачи у студентов северного вуза. *Вестник уральской медицинской академической науки*. 2018;5(2):184–196. <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2018-15-2-184-196>
Lukina SF, Chub IS, Boreiko AP. Features of vegetative regulation of heart rate in the process of solving the prognostic problem in students of northern high school. *Journal of Ural Medical Academic Science*. 2018;5(2):184–196 (In Russ.). <https://doi.org/10.22138/2500-0918-2018-15-2-184-196>
7. Алексеева В.А., Гурьева А.Б. Характеристика функциональных показателей юношей, занимающихся спортом, в зависимости от типа гемодинамики. *Якутский медицинский журнал*. 2021;4(76):5–7. <https://doi.org/10.25789/YMJ.2021.76>
Alekseeva VA, Gurieva AB. Characteristics of the functional indicators of young men involved in sports, depending on the type of hemodynamics. *Yakutskii Meditsinskii Zhurnal*. 2021;4(76):5–7 (In Russ.). <https://doi.org/10.25789/YMJ.2021.76>
8. Беляева В.А. Анализ параметров центральной гемодинамики у студентов-медиков в предэкзаменационном периоде. *Здоровье населения и среда обитания — PH&LE*. 2021;10:67–73. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-10-67-73>
Belyayeva VA. Analysis of central hemodynamic parameters in medical students during the pre-examination study period. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2021;10:67–73 (In Russ.). <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-29-10-67-73>
9. Спицин А.П., Княжев И.С., Резцов О.В. Комплексная оценка сердечно-сосудистой системы студентов младших курсов во время сдачи экзаменов. *Вятский медицинский вестник*. 2020;4(68):33–37. <https://doi.org/10.24411/2220-7880-2020-10126>
Spitsin AP, Knyazhev IS, Reztsov OV. Comprehensive assessment of junior students' cardiovascular system in the course of examination session. *Vyatskii Meditsinskii Vestnik*. 2020;4(68):33–37 (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2220-7880-2020-10126>
10. Lawrence S, Mueller BR, Kwon P, Robinson-Papp J. Phenotyping autonomic neuropathy using principal component analysis. *Auton Neurosci*. 2023;245:103056. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2022.103056>
11. Chow KE, Dhyani R, Chelimsky TC. Basic tests of autonomic function. *J Clin Neurophysiol*. 2021;38(4):252–261. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000789>
12. Kanazawa H, Fukuda K. The plasticity of cardiac sympathetic nerves and its clinical implication in cardiovascular disease. *Front Synaptic Neurosci*. 2022;14:960606. <https://doi.org/10.3389/fnsyn.2022.960606>
13. Князева Е.С., Лялякин С.В., Мищенко Н.В., Трифонова Т.А. Оценка функционального состояния организма студентов с использованием параметров вариабельности сердечного ритма. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023;1(127). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.8>
Knyazeva ES, Lyalyakin SV, Mishchenko NV, Trifonova TA. An evaluation of the functional state of the body of students using heart rhythm variability parameters. *International Research Journal*. 2023;1(127) (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.8>
14. Куценко И.И., Боровиков И.О., Магай А.С., Булгакова В.П., Боровикова О.И. Разработка модели прогнозирования риска гнойно-воспалительных осложнений пуэрперии после операции кесарева сечения: ретроспективное когортное исследование. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2023;30(1):26–36. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-1-26-36>
Kutsenko II, Borovikov IO, Magay AS, Bulgakova VP, Borovikova OI. Model for predicting risk of postpartum purulent-inflammatory complications after cesarean section: cohort retrospective study. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2023;30(1):26–36 (In Russ.). <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2023-30-1-26-36>
15. Красников И.В., Сетейкин А.Ю., Рот Б. Современные методы математического моделирования в биомедицинских исследованиях. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2023;23(2):218–226. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-2-218-226>
Krasnikov IV, Seteykin AY, Roth B. Modern approaches to the application of mathematical modeling methods in biomedical research. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2023;23(2):218–226 (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2023-23-2-218-226>
16. Хорев В.С., Ишбулатов Ю.М., Лапшева Е.Е., Киселев А.Р., Гриднев В.И., Безручко Б.П., Бутенко А.А., Пономаренко В.И., Караваев А.С. Диагностика направленной связи контуров регуляции кровообращения по временным рядам математической модели сердечно-сосудистой системы человека. *Информационно-управляющие системы*. 2018;1:42–48. <https://doi.org/10.15217/issn1684-8853.2018.1.42>
Khorev VS, Ishbulatov JM, Lapsheva EE, Kiselev AR, Gridnev VI, Bezruchko BP, Butenko AA, Ponomarenko VI, Karavaev AS. Diagnostics of directional coupling between blood circulation regulation loops using analysis of time series of mathematical model of human cardiovascular system. *Informatsionno-Upravlyaiushchie Sistemy*. 2018;1:42–48 (In Russ.). <https://doi.org/10.15217/issn1684-8853.2018.1.42>

17. Qian G, Mahdi A. Sensitivity analysis methods in the biomedical sciences. *Math Biosci.* 2020 May;323:108306. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2020.108306>
18. Avramouli A. Validation of Modeling and Simulation Methods in Computational Biology. *Adv Exp Med Biol.* 2020;1194:323–330. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32622-7_30
19. Фесюн А.Д., Датий А.В., Яковлев М.Ю., Черняховский О.Б. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы лиц, занимающихся физической культурой и спортом. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2019;9(2):68–71. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2019.2.68>
Fesyun AD, Daty AV, Yakovlev MYu, Chernyakhovsky OB. Assessment of the functional state of the cardiovascular system of individuals involved in physical education and sports. *Sports medicine: research and practice.* 2019;9(2):68–71 (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2019.2.68>
20. Беляева В.А., Такоева Е.А. Адаптационный потенциал системы кровообращения и вариабельность сердечного ритма у студентов-медиков. *Современные проблемы науки и образования.* 2019;6:124. <https://doi.org/10.17513/spno.29313>
Belyayeva VA, Takoeva EA. Adaptation potential of the circulatory system and variability of the heart rhythm in medical students. *Modern Problems of Science and Education.* 2019;6:124 (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/spno.29313>
21. Алиева Г.М., Семилетова В.А. Изменения ряда параметров сердечно-сосудистой системы у студентов в первые месяцы занятия скандинавской ходьбой. *Международный студенческий научный вестник.* 2020;3:51. <https://doi.org/10.17513/msnv.20173>
Alieva GM, Semiletova VA. Changes in a series of cardiovascular system parameters for students in the first months of scandinavian walking. *Mezhdunarodnyi Studencheskii Nauchnyi Vestnik.* 2020;3:51 (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/msnv.20173>
22. Мокашева Е.Н., Мокашева Е.Н., Гребенникова И.В., Земскова В.А., Болотских В.И. Быстрая оценка показателей сердечно-сосудистой системы с помощью кардиореспираторных индексов. *Успехи современной биологии.* 2023;143(2):144–150. <https://doi.org/10.31857/S0042132423020072>
Mokasheva EkN, Mokasheva EvN, Grebennikova IV, Zemskova VA, Bolotskikh VI. Rapid assessment of cardiovascular system parameters using cardiorespiratory indices. *Biology Bulletin Reviews.* 2023;143(2):144–150 (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0042132423020072>
23. Войткова М.В., Хурса Р.В. Линейная регрессия параметров артериального давления для определения риска развития вторичной гипотензии. *Артериальная гипертензия.* 2015;6(44):38–42. <http://dx.doi.org/10.22141/2224-1485.6.44.2015.80879>
Voitykova MV, Khursa RV. Linear regression of blood pressure parameters to determine the risk of developing secondary hypotension. *Hypertension.* 2015;6(44):38–42 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.22141/2224-1485.6.44.2015.80879>
24. Репалова Н.В., Авдеева Е.В. Изменение адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы у иностранных студентов в условиях предэкзаменационного стресса. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2021;4:12–16. <https://doi.org/10.17513/mjpf.13197>
Repalova NV, Avdeeva EV. Change in the adaptive potential of the cardiovascular system in foreign students under pre-examination stress. *Mezhdunarodnyi Zhurnal Prikladnykh i Fundamental'nykh Issledovaniy.* 2021;4:12–16 (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/mjpf.13197>
25. Колунин Е.Т., Прокопьев Н.Я., Дуров А.М., Губин Д.Г. Динамика возрастных значений уровня адаптационного потенциала по Л.А. Коневских у мальчиков второго детства, занимающихся греко-римской борьбой. *Тюменский медицинский журнал.* 2019;21(1):55–58. <https://doi.org/10.36361/2307-4698-2019-21-1-55-58>
Kolunin ET, Prokopiev NJ, Durov A M, Gubin DG. Dynamics of age-dependent adaptive capacity estimated by method of L. A. konevskikh in boys 8-12 years of age engaged in greco-roman wrestling sports. *Tyumenskii Meditsinskii Zhurnal.* 2019;21(1):55–58 (In Russ.). <https://doi.org/10.36361/2307-4698-2019-21-1-55-58>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Княжев Илья Сергеевич — студент федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

<https://orcid.org/0009-0005-3270-1738>

Караулова Лариса Владимировна — кандидат педагогических наук, доцент кафедры физики и медицинской информатики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

<https://orcid.org/0000-0003-4618-8443>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilya S. Knyazhev — Student, Kirov State Medical University

<https://orcid.org/0009-0005-3270-1738>

Larisa V. Karaulova — Cand. Sci. (Ped.), Assoc. Prof., Department of Physics and Medical Informatics, Kirov State Medical University

<https://orcid.org/0000-0003-4618-8443>

Резцов Олег Викторович — кандидат медицинских наук, доцент; заведующий кафедрой анатомии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

<https://orcid.org/0000-0002-9671-2402>

Спицин Анатолий Павлович — доктор медицинских наук, профессор; заведующий кафедрой патофизиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кировский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

<https://orcid.org/0000-0002-0942-6361>

Oleg V. Reztsov — Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Head of Anatomy Department, Kirov State Medical University

<https://orcid.org/0000-0002-9671-2402>

Anatoly P. Spitsin — Dr. Sci. (Med.), Prof., Head of Pathophysiology Department, Kirov State Medical University

<https://orcid.org/0000-0002-0942-6361>