



Системный анализ физиологических и психофизиологических детерминант целенаправленной физической активности и прогнозирование ее результативности у студентов медицинского университета

И.М. Мазикин^{1,3} ✉, М.М. Лапкин², Р.А. Зорин², М.В. Акулина², Н.А. Куликова²

¹ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация;

² Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, Рязань, Российская Федерация;

³ Московский государственный университет спорта и туризма, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В области спортивной физиологии достаточно актуальной является необходимость изучения детерминант результативности различных видов физической деятельности. Множество физиологических и психофизиологических параметров как потенциальных предикторов целенаправленной физической активности (ФА) определяет необходимость поиска нового алгоритма системного анализа, осуществляемого с помощью современных методов математической обработки данных. В связи с этим актуальным является применение искусственных нейронных сетей и многофакторного регрессионного анализа с целью решения заявленных задач.

Цель. Провести системный анализ индивидуальных физиологических и психофизиологических детерминант ФА человека для прогнозирования ее результативности.

Материалы и методы. В исследовании добровольно приняли участие 120 юношей, не имеющих спортивных разрядов и не посещавших регулярно спортивные секции. У испытуемых была оценена мотивационная основа поведения, основные физические качества, физиологические и психофизиологические показатели. Прогнозирование направления результативности осуществлялось при помощи построенных моделей технологии искусственных нейросетей и многофакторного регрессионного анализа.

Результаты. Исходя из статистической обработки полученных параметров (деление на кластеры, ранговая корреляция, нейросетевое моделирование, линейная регрессия), получили алгоритм для корректного и надежного выявления направления результативности ФА при реализации участниками исследования основных физических качеств (сила, ловкость, выносливость, быстрота). Участники исследования были разделены на однородные кластеры: «результативные в беговых дисциплинах» (70 юношей) и «результативные в силовых дисциплинах» (50 юношей). Благодаря моделям, построенным с помощью технологии искусственной нейронной сети с различным вовлечением показателей, были выявлены детерминанты результативности ФА (чувствительность ROC: 75,7, 86,0 и 96,5%). По расчетным показателям уравнения регрессии спрогнозировали результат в скоростном качестве с точностью 87,9% ($p \leq 0,001$), а в силовом — с точностью 70,8% ($p \leq 0,004$).

Заключение. Подобранный в работе комплекс математических и статистических способов анализа может быть внедрен для выявления и системного анализа индивидуальных физиологических и психофизиологических детерминант ФА человека для прогнозирования ее результативности у юношей.

Ключевые слова: физическая активность; физиологические детерминанты; психофизиологические детерминанты; прогнозирование результативности; искусственная нейросеть.

Как цитировать:

Мазикин И.М., Лапкин М.М., Зорин Р.А., Акулина М.В., Куликова Н.А. Системный анализ физиологических и психофизиологических детерминант целенаправленной физической активности и прогнозирование ее результативности у студентов медицинского университета // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2025. Т. 33, № 3. С. 419–430. DOI: 10.17816/PAVLOVJ635330 EDN: URBEKL

System Analysis of the Physiological and Psychophysiological Determinants of Purposeful Physical Activity and Prediction of its Effectiveness Among Students of a Medical University

Ivan M. Mazikin^{1,3} ✉, Mikhail M. Lapkin², Roman A. Zorin², Mariya V. Akulina², Natalya A. Kulikova²

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenovskiy University), Moscow, Russian Federation;

² Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation;

³ Moscow State University of Sport and Tourism, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

INTRODUCTION: In the field of sports physiology, the need to study the determinants of the effectiveness of various types of physical activity is quite urgent. A variety of physiological and psychophysiological parameters as potential predictors of purposeful physical activity determines the need to search for a new algorithm for system analysis carried out using modern methods of mathematical data processing. In this regard, it is relevant to use artificial neural networks and multifactorial regression analysis in order to solve the stated tasks.

AIM: To carry out a system analysis of the individual physiological and psychophysiological determinants of human physical activity in order to predict its effectiveness.

MATERIALS AND METHODS: One hundred twenty young men who did not have sports grades and did not regularly attend sports clubs voluntarily participated in the study. The subjects' motivational basis of behavior, basic physical qualities, physiological and psychophysiological parameters were evaluated. Forecasting the direction of performance was carried out using the constructed models of artificial neural network technology and multifactorial regression analysis.

RESULTS: Based on the statistical processing of the obtained parameters (division into clusters, rank correlation, neural network modeling, linear regression), an algorithm was created for the correct and reliable identification of the direction of the effectiveness of physical activity when the study participants realized the basic physical characteristics (strength, dexterity, endurance, speed). The study participants were divided into homogeneous clusters: 'effective in running disciplines' (70 boys) and 'effective in strength disciplines' (50 boys). The models constructed using artificial neural network technology with the involvement of various parameters, allowed identification of the determinants of the effectiveness of physical activity (ROC sensitivity: 75.7, 86.0 and 96.5%). According to the calculated parameters of the regression equation the result was predicted in high-speed quality with an accuracy of 87.9% ($p \leq 0.001$), and in power quality with an accuracy of 70.8% ($p \leq 0.004$).

CONCLUSION: The complex of mathematical and statistical methods of analysis selected in the work can be introduced for identification and system analysis of motor activity of individual physiological and psychophysiological determinants of physical activity to predict its effectiveness in young men.

Keywords: physical activity; physiological determinants; psychophysiological determinants; prognosis of effectiveness; neural network.

To cite this article:

Mazikin IM, Lapkin MM, Zorin RA, Akulina MV, Kulikova NA. System Analysis of the Physiological and Psychophysiological Determinants of Purposeful Physical Activity and Prediction of its Effectiveness Among Students of a Medical University. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2025;33(3): 419–430. DOI: 10.17816/PAVLOVJ635330 EDN: URBEKL

ВВЕДЕНИЕ

В области спортивной физиологии актуальной является необходимость изучения детерминант результативности различных видов физической деятельности [1, 2]. Литературные данные свидетельствуют о необходимости изучения различных математических методик и процедур для прогнозирования спортивных результатов [3]. В связи с этим формирование достоверного прогноза результативности физической целенаправленной деятельности на основе сочетания индивидуальных физиологических, психологических и мотивационных детерминант является актуальной задачей в области спортивной физиологии [4].

Множество физиологических и психофизиологических параметров как потенциальных предикторов целенаправленной физической активности (ФА) определяет необходимость поиска нового алгоритма системного анализа, осуществляемого с помощью современных методов математической обработки данных [5, 6]. Современные IT-технологии позволяют реализовывать задачи диагностики и прогнозирования результативности двигательной активности человека при различных видах деятельности [7]. Актуальным является применение искусственного интеллекта (в частности, искусственной нейронной сети (ИНС)) и математического анализа данных (линейной регрессии) с целью решения заявленных задач. На наш взгляд, благодаря этому станет возможным своевременно корректировать тренировочный процесс, влияющий на результат деятельности [5].

Цель — провести системный анализ индивидуальных физиологических и психофизиологических детерминант физической активности человека для прогнозирования ее результативности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2022–2023 годах было обследовано 120 юношей, граждан Российской Федерации, обучающихся в медицинском университете.

Критерии включения: возраст 18–21 лет, способность следовать инструкции исследования, принадлежность к основной физкультурной группе (по результатам медицинского осмотра в поликлинике университета), непричастность к спорту и регулярным физическим нагрузкам.

В качестве модели деятельности рассматривалась целенаправленная двигательная активность испытуемых при выявлении конкретных физических качеств.

В таблице 1 представлены методы исследования физиологических и психофизиологических детерминант ФА человека. Велоэргометрию (тест PWC₁₇₀) проводили с помощью велоэргометра Corival (Lode, Нидерланды), нейроэнергокартирование — с использованием аппаратно-программного комплекса (АПК)

Нейроэнергокартограф НЭК-5 (Статокин, Россия). Психофизиологические особенности оценивались методом анкетирования с последующей компьютерной обработкой с помощью НС-Психотест, версия 1.6.7.7 (Нейрософт, Россия).

Сдача контрольных нормативов для оценки физических качеств студентов с одновременным анкетным тестированием мотивационной основы данной деятельности проводилась на стадионе «Локомотив» г. Рязани.

В таблице 2 представлены методы статистической обработки результатов (Statistica Basic Academic 13.0 Ru, серийный номер AXA003J115213FAACD-X).

Уравнение множественного регрессионного анализа имеет вид:

$$y = B_0 + B_1 \times x_1 + B_2 \times x_2 + \dots + B_n \times x_n$$

где B_0 — свободное число, $B_1, B_2 \dots B_n$ — коэффициенты уравнения для независимых факторов, $x_1, x_2 \dots x_n$ — факторы, которые не зависят друг от друга.

Исходя из поставленных задач, модуль *Neural Networks* позволил создать, обучить и протестировать искусственные нейронные сети. В исследовании использовались нейросети MLP (англ.: *multi-layer perceptron*, многослойный персептрон), а также RBF (англ.: *radial basis functions*, радиальные базисные функции). Выделены обучающая, контрольная и тестовые выборки.

Исследуемые показатели, вводимые в тело программы ИНС: индивидуальные физиологические и психофизиологические особенности участников исследования. На выходе в режиме классификации исследуемые распределялись в два кластера, отражающие *направленность результативности участников исследования*.

Прогнозирование нейронной сетью включало три основных этапа. На первом этапе осуществлялась оценка индивидуальных свойств испытуемых и ввод полученных показателей в тело программы *Neural Networks*, на втором — обучение и тестирование из введенных значений на основе задач исследования, на финальном этапе — определение значений индивидуальных показателей испытуемых в формировании результативности сдачи контрольных тестов по ФА на основе построенной модели ИНС и расчет надежности прогноза с помощью ROC-анализа (представлены данные ROC-анализа для контрольных выборок). Выборки выделялись из основной группы методом случайного выбора («случайное создание подвыборок»): 35% случаев обучающая выборка, 30% контрольная выборка, 35% тестовая выборка.

Выявление детерминант, более существенно влияющих на результативность двигательной активности, проводилось путем автоматической сортировки по значимости и элиминации менее важных. Эффективность работоспособности уравнения регрессии оценивалась дисперсионным анализом при критерии значимости $p \leq 0,05$.

Таблица 1. Используемые в исследовании методы оценки физиологических и психофизиологических детерминант физической активности человека для прогнозирования ее результативности

Table 1. Methods of assessment of physiological and psychophysiological determinants of human physical activity used in the study to predict its effectiveness

Методы исследования	Оцениваемые параметры	Единицы измерения и оценки
Велоэргометрия	общая физическая работоспособность (PWC ₁₇₀)	Вт/кг
Нейроэнергокартинг	исходный уровень постоянного потенциала головного мозга и его динамика при выполнении функциональных проб: гипервентиляция, тест беглости словесных ответов, таблица Шульте–Горбова	мВ
Анкетный и поведенческий методы оценки моторных и сенсорных функциональных асимметрий	моторная асимметрия (мануальная, асимметрия ноги) сенсорная асимметрия (аудиальная и зрительная)	баллы
Тест Ч.Д. Спилбергера–Ю.Л. Ханина (STAI)	личностная и ситуационная тревожность	баллы
Тест Дженкинса (JAS)	тип поведения (А, Б, АБ)	баллы
Тест Тейлор (MAS)	личностная тревожность	баллы
Тест В.М. Русалова (ОСТ)	структура темперамента	баллы
Тест В.К. Гербачевского	мотивационная основа поведения (15 шкал)	баллы
Оценка физических качеств при сдаче контрольных нормативов	Двигательная активность:	
	- бег 100 метров	с
	- бег 1000 метров	с
	- подтягивания на высокой перекладине	кол-во раз
	- прыжок в длину с места	см

Примечания: STAI — оценка тревожности по признакам состояния (англ.: *State-Trait Anxiety Inventory*), JAS — опросник Дженкинса на тип поведенческой активности (англ.: *Jenkins Activity Survey*), MAS — шкала явной тревожности Тейлора (англ.: *Taylor Manifest Anxiety Scale*), ОСТ — опросник структуры темперамента

Таблица 2. Статистические методы оценки результатов

Table 2. Statistical methods of assessment of results

Методы исследования	Оцениваемые параметры	Единицы измерения и оценки
Методы непараметрической статистики: - критерий Шапиро–Уилка - критерий Манна–Уитни	нормальность распределения достоверность различия	Ме [Q1; Q3] $p < 0,05$
Метод кластерного анализа (процедура иерархических деревьев и k-средних)	различия между показателями в двух группах (классификация испытуемых), идентификация элементов, входящих в кластеры, при этом методом иерархических деревьев число кластеров было оценено как 2, а при решении задачи выделения элементов 2 кластеров (метод k-средних) оно было достигнуто на 3-й итерации	расстояние между кластерами
Метод многофакторного регрессионного анализа	прогнозирование результативности физической активности	коэффициент регрессии
Метод дисперсионного анализа	достоверность и эффективность использования модели	коэффициент дисперсии
Технология искусственных нейронных сетей	детерминанты успешности сдачи контрольных нормативов	шт.

Этапы исследования:

- 1) оценка результативности выполнения контрольных испытаний;
- 2) выбор детерминант и прогнозирование успешности двигательной активности испытуемых;
- 3) проверка результатов ROC-анализа;
- 4) сравнение ROC-кривых с вовлечением разного количества предикторов для формирования прогноза конечного результата;
- 5) определение взаимосвязи между отдельными показателями, определяемыми в лабораторных условиях (см. табл. 1), и результативностью в тестировании физической подготовки с использованием многомерного регрессионного анализа у лиц определенного кластера;
- 6) дисперсионный и регрессионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе системного анализа детерминант целенаправленной ФА оценивались различия результативности выполнения контрольных испытаний (табл. 3). По итогам спортивных тестов участников исследования разделили на два кластера:

1) «результативные в беговых дисциплинах» юноши, успешно пробежавшие дистанции 100 метров и 1000 метров ($n=70$);

2) «результативные в силовых дисциплинах» юноши, успешно выполнившие упражнения на силу и ловкость ($n=50$).

Перед делением на кластеры показатели испытуемых проверили иерархическим методом кластерного анализа, который исходно выделил две группы.

Таблица 3. Результативность целенаправленной физической активности в сформированных кластерах, Ме [Q1; Q3]

Table 3. Effectiveness of purposeful physical activity in the formed clusters, Me [Q1; Q3]

Параметры	Кластер 1, результативные в беговых дисциплинах юноши	Кластер 2, результативные в силовых дисциплинах юноши	U (Z)	p
Бег 100 метров, с	13,0 [12,6; 14,5]	14,7 [14,2; 14,9]	867,4	0,05
Бег 1000 метров, с	245,2 [240,0; 248,4]	256,0 [247,0; 269,3]	734,0	0,05
Прыжок в длину с места, см	259,0 [246,0; 267,0]	279,0 [267,0; 287,0]	716,9	0,05
Подтягивания на высокой перекладине, п	12,0 [10,0; 14,0]	15,0 [13,0; 19,0]	263,6	0,05

На втором этапе были построены несколько моделей на основе ИНС с *постепенным увеличением ведущих факторов*, которые включали различное количество нейронов на входе в тело программы и нейронов промежуточного слоя. Два выходных нейрона были неименные, так как в процессе прогнозирования распределяли испытуемых по двум кластерам: «результативные в беговых дисциплинах» и «результативные в силовых дисциплинах».

Следующей задачей исследования являлась проверка результатов ROC-анализа, свидетельствующих о том, что результативность целенаправленной ФА участников исследования зависит не только от показателя общей физической работоспособности, но и от других индивидуальных физиологических и психофизиологических особенностей. Наиболее наглядно результаты включения дополнительных параметров в нейросеть показаны на изменениях площади под ROC-кривой (англ.: *area under the curve*, AUC), отражающей специфичность, чувствительность, а также надежность прогноза.

Для формирования прогноза конечного результата авторы провели сравнение ROC-кривых с вовлечением

разного количества предикторов. Сначала в качестве предиктора использовали только *показатель физической работоспособности* с различными характеристиками (рис. 1). По результатам работы ИНС (MLP 1-5-2) выявили вклад показателя физической работоспособности, оказывающего наибольшее влияние на определение нужного кластера с определенной результативностью, но с невысокой надежностью прогноза.

Далее расширили список ведущих факторов, включая *показатели функциональной латерализации мозга*. Добавленные показатели послужили увеличению надёжности прогноза и попадания участников исследования в нужный кластер до 86,0% (рис. 2). На финальном этапе включили все исследуемые параметры и получили надежность прогноза 96,0% (рис. 3).

По результатам представленного выше алгоритма и работы, сформированной на финальном этапе ИНС (MLP 58-16-2), было выявлено двенадцать *показателей*, которые оказывают наибольший вклад в определение направления результативности ФА испытуемых. Ранжирование детерминант в порядке убывания их значимости представлено в таблице 4.

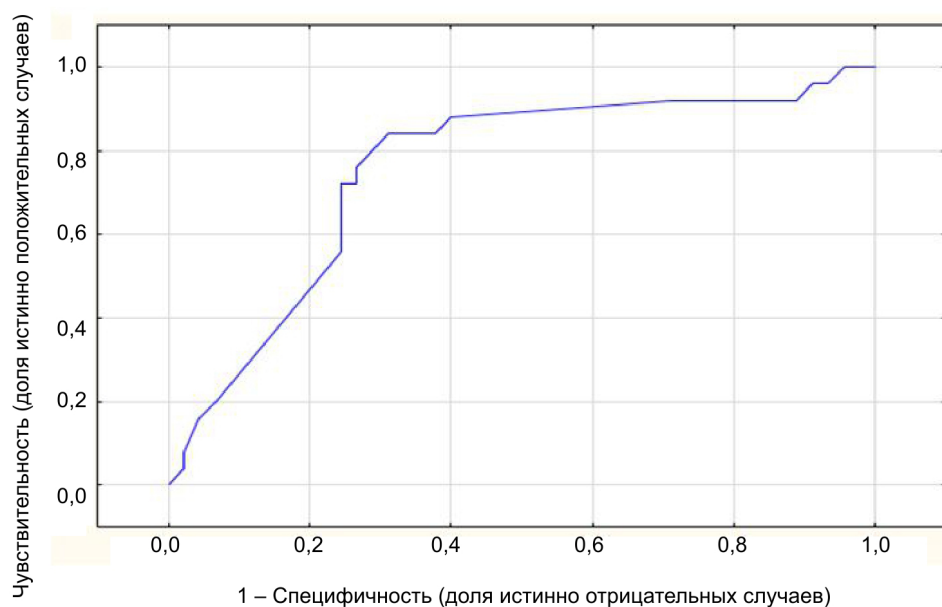


Рис. 1. Графическое представление результатов *ROC*-анализа для нейросети, использующей в качестве предиктора только показатель физической работоспособности: производительность обучения — 71,1%, контрольная производительность — 28,8%, тестовая производительность — 29,4%, а надежность прогноза — 75,7%.

Fig. 1. Graphic presentation of the results of *ROC* analysis for a neural network using only the physical performance parameter as a predictor: training effectiveness — 71.1%, control effectiveness — 28.8%, test performance — 29.4%, prediction reliability — 75.7%.

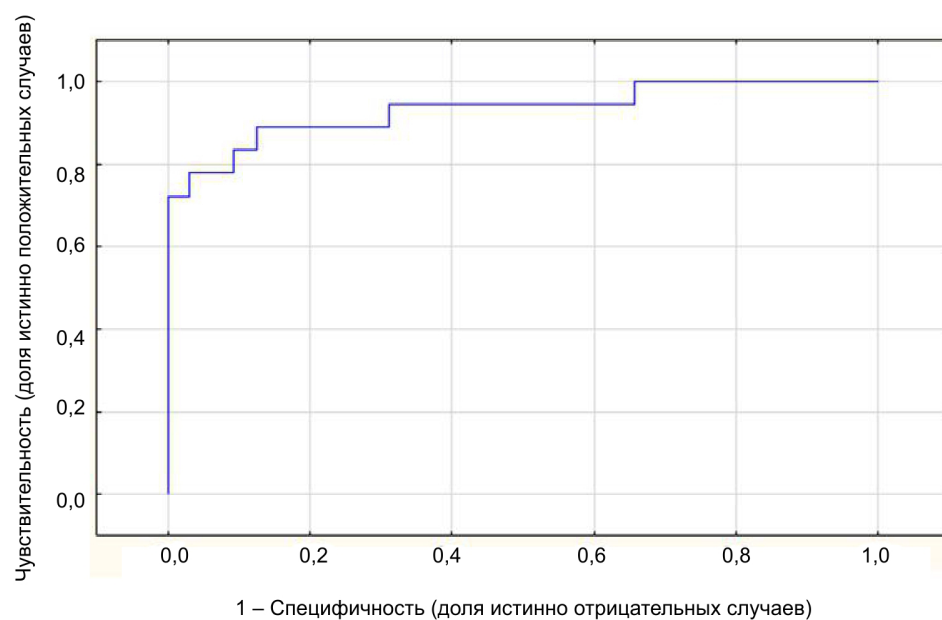


Рис. 2. Графическое представление результатов *ROC*-анализа для нейросети, использующей в качестве предикторов показатель физической работоспособности и функциональной латерализации мозга: производительность обучения — 84,1%, контрольная производительность — 14,0%, тестовая производительность — 15,5%, надежность прогноза — 86,0%.

Fig. 2. Graphic presentation of the results of *ROC* analysis for a neural network using the parameter of physical performance and functional lateralization of the brain as predictors: training effectiveness — 84.1%, control effectiveness — 14.0%, test effectiveness — 15.5%, prediction reliability — 86.0%.

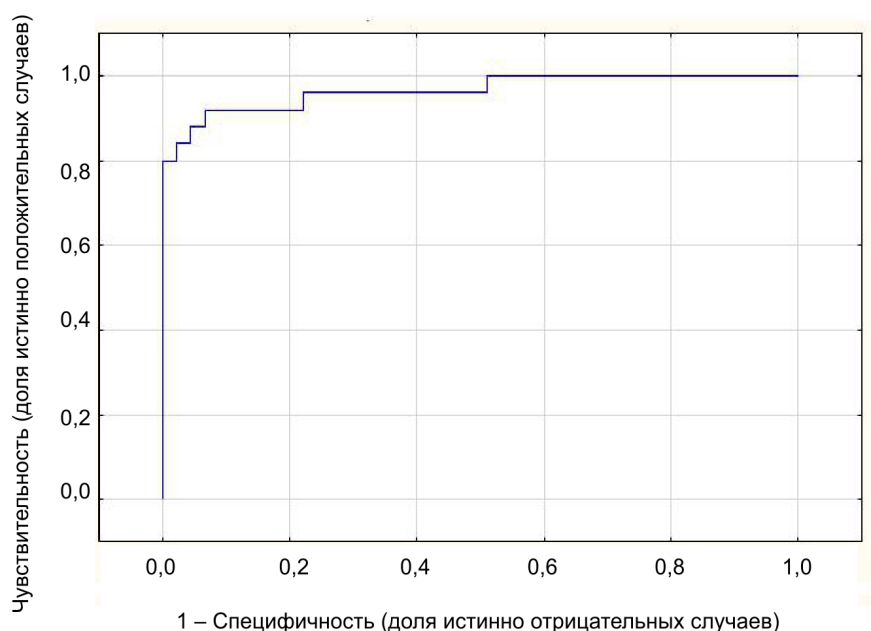


Рис. 3. Графическое изображение результатов *ROC*-анализа для нейросети (MLP 58-16-2), использующей в качестве предикторов все исследуемые показатели: производительность обучения — 88,9%, контрольная производительность — 92,8%, тестовая производительность — 91,4%, надежность прогноза — 96,0%.

Fig. 3. Graphic presentation of the results of *ROC* analysis for the neural network (MLP 58-16-2) using all the studied parameters as predictors: training effectiveness — 88.9%, the control effectiveness — 92.8%, test effectiveness — 91.4%, prediction reliability — 96.0%.

Таблица 4. Ранжированный список детерминант, используемых нейронной сетью для распределения исследуемых в кластеры с различной результативностью двигательной активности

Table 4. Ranked list of determinants used by the neural network to distribute subjects into clusters with different effectiveness of physical activity

Ранг	Параметры
1	Коэффициент моторной асимметрии (ведущая нога) (по Н.Н. Брагиной, Т.А. Доброхотовой)
2	Коэффициент сенсорной асимметрии (ведущий глаз) (по Н.Н. Брагиной, Т.А. Доброхотовой)
3	Коэффициент ФМА (опросник Аннет)
4	Общая физическая работоспособность (Тест PWC170)
5	Профиль латеральной организации
6	Коэффициент моторной асимметрии (ведущая рука) (по Н.Н. Брагиной, Т.А. Доброхотовой)
7	Мотив смены деятельности (тест В.К. Гербачевского)
8	Уровень постоянного потенциала при гипервентиляционной пробе, отведение Td-Ts (метод нейроэнергокартирования)
9	Социальный темп (тест ОСТ В.М. Русалова)
10	Внутренний мотив (тест В.К. Гербачевского)
11	Скорость и темп (тест ОСТ В.М. Русалова)
12	Личностная тревожность (тест STAI Спилбергер-Ханина)

Примечания: STAI — оценка тревожности по признакам состояния (англ.: *State-Trait Anxiety Inventory*), ОСТ — оценка структуры темперамента

На следующем этапе данного исследования определялась взаимосвязь между отдельными показателями, определяемыми в лабораторных условиях (см. табл. 1) и результативностью в тестировании физической подготовки с использованием многомерного регрессионного

анализа у лиц определенного кластера. Получены коэффициенты регрессии, определяющие успешность участников исследования в беге на 100 метров и в подтягивании на перекладине (табл. 5, 6).

Таблица 5. Показатели регрессионного анализа для оценки успешности в беге на 100 метров у юношей первого кластера (n=70)

Table 5. Regression analysis parameters for assessing success in running 100 meters in young men of the first cluster (n=70)

Параметры	Коэффициенты	Среднеквадратическое отклонение коэффициента регрессии	Стандартизированный коэффициент регрессии	p
Мотивация (внутренний мотив)	0,246	0,066	0,380	0,001
PWC ₁₇₀	-0,363	0,081	-0,456	0,001

Таблица 6. Показатели регрессионного анализа для оценки успешности в подтягивании на высокой перекладине у юношей второго кластера (n=50)

Table 6. Regression analysis parameters for assessing success in high bar pull-ups among young men of the second cluster (n=50)

Параметры	Коэффициенты	Среднеквадратическое отклонение коэффициента регрессии	Стандартизированный коэффициент регрессии	p
Коэффициент профиля латерализации	0,055	0,116	0,446	0,004
Коэффициент зрительной асимметрии	-0,034	0,115	-0,336	0,004
Мотивация (инициативность)	-0,806	0,112	-0,405	0,001

Уравнение предсказания ведущих факторов и результата в беге на 100 метров имеет вид:

$$y=11,442+0,246\times x_1-0,363\times x_2,$$

где x_1 — показатель мотивации (внутренний мотив), x_2 — показатель PWC₁₇₀.

На основании дисперсионного анализа и полученной регрессионной модели определили, что модель со всеми ведущими факторами является *полной*. Для проверки анализа остатков использовался стандартизированный график с разбросом точек на плоскости, на котором показаны остатки нормального распределения. Нормальное распределение остатков, а также разброс коэффициентов регрессии на плоскости не очень обширны, что свидетельствует о правильности построения уравнения для расчета временного промежутка в скоростном качестве и позволяет спрогнозировать результат (результат в беге на 100 метров (с) с точностью 87,9%, так как коэффициент детерминации (R^2_a) составляет 0,879 ($p \leq 0,001$, рис. 4).

Уравнение предсказания ведущих факторов и результата в подтягивании на высокой перекладине имеет вид:

$$y=28,711+0,055\times x_3-0,034\times x_4-0,806\times x_5,$$

где x_3 — коэффициент профиля латерализации, x_4 — коэффициент зрительной асимметрии, x_5 — показатель мотивации (инициативность).

На основании дисперсионного анализа и полученной регрессионной модели определили, что модель со всеми ведущими факторами является *полной*. Был проведен анализ остатков модели и представлен стандартизированный график регрессии с разбросом точек на плоскости, демонстрирующий остатки нормальности распределения ведущих факторов. В связи с тем, что разброс точек на плоскости коэффициентов регрессии совсем незначительный, посчитали, что построенная модель для прогнозирования результативности в силовом качестве является приемлемой. Следовательно, построенное уравнение позволяет определить результат в силовом качестве (количество раз) с проявлением максимальных усилий с точностью 70,8%, так как коэффициент детерминации (R^2_a) составляет 0,708 ($p \leq 0,001$, $p \leq 0,004$) (рис. 5).

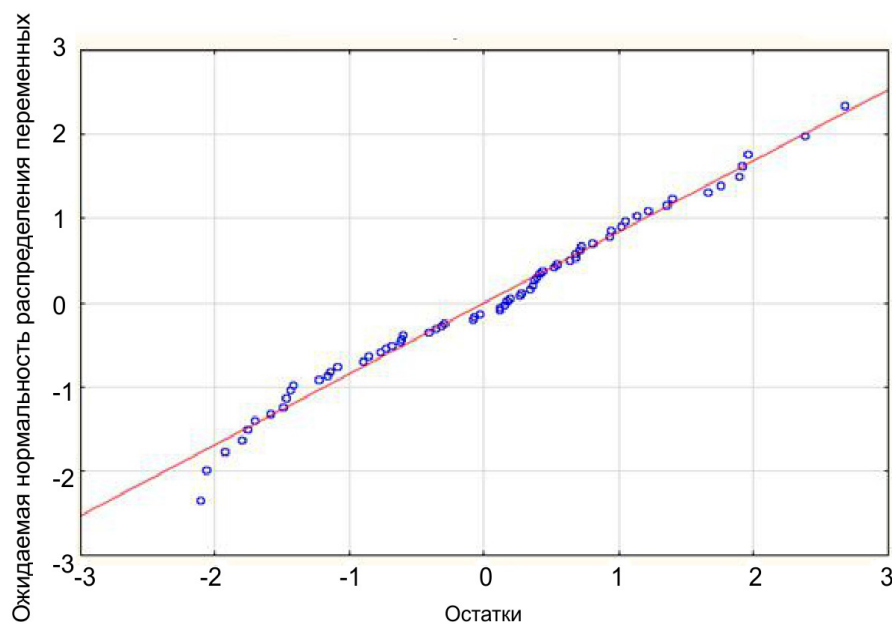


Рис. 4. Распределение остатков и разброс точек на плоскости коэффициентов регрессии в скоростном качестве у испытуемых первой группы (n=70).

Fig. 4. Distribution of residuals and scatter of points on the plane of regression coefficients in strength quality among subjects of the first group (n=70).

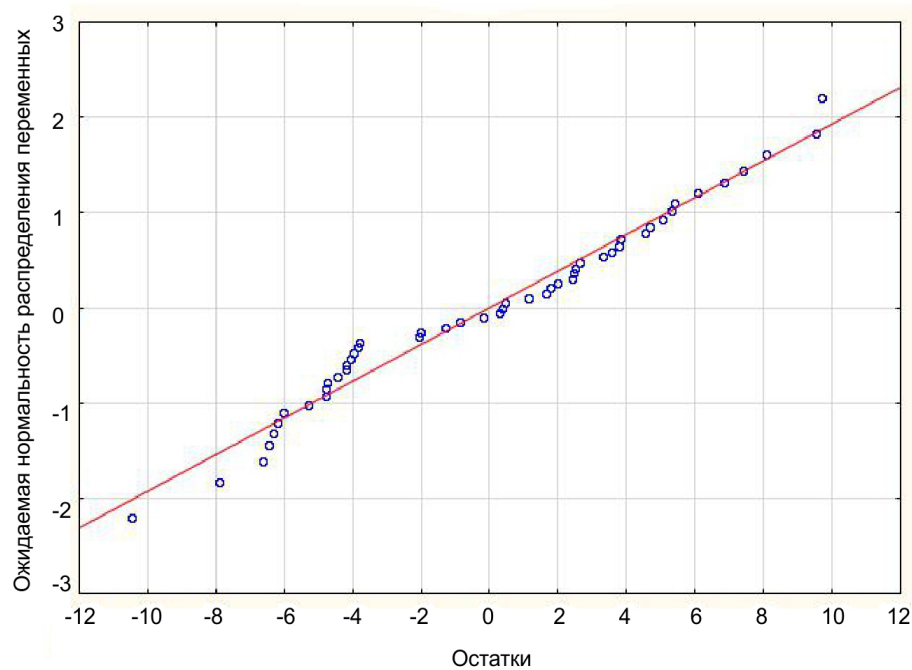


Рис. 5. Распределение остатков и разброс точек на плоскости коэффициентов регрессии в силовом качестве у испытуемых второй группы (n=50).

Fig. 5. Distribution of residuals and scatter of points on the plane of regression coefficients in strength quality among subjects of the second group (n=50).

ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании Е.Г. Kostenko и И.Г. Pavel'ev (2021) прогнозирование результативности спортивной деятельности проводилось методом регрессионного анализа, включающего данные роста и веса испытуемых [8]. К.А. Ponomareva (2020) в своей работе описывает возможности применения технологии ИНС для прогнозирования успешности обучения в вузе [9]. Ряд исследований посвящены применению технологии ИНС для прогнозирования результатов в спортивных соревнованиях и моделирования тренировочного процесса. Так, например, Е.Н. Bobkova и Е.В. Parfianovich (2018) в своей работе опирались на данные ежемесячных объемов основных средств тренировки спортсменов для прогнозирования результатов бега на 400 метров по десяти испытуемых с различной степенью подготовленности [10]. S.T. Kasyuk и Е.М. Vakhtomova (2013) для прогнозирования результатов использовали ИНС, где в качестве детерминант были результаты игр сборных европейских стран Чемпионата Европы по футболу [11]. А.В. Azyabina и Р.К. Petrov (2023) прогнозировали результаты в тяжелой атлетике, основываясь на антропометрических данных и данных атлетов в упражнении рывок [12].

Таким образом, проанализированные литературные данные свидетельствуют о том, что *прогнозирование результативности спортивной деятельности реализуется без использования технологии ИНС, а применение данной технологии применяется для прогнозирования результативности иных видов деятельности*. К тому же прогнозирование результатов деятельности в работах других авторов реализуется *без учета психофизиологических предикторов*.

По данным проведенного исследования, результативность сдачи контрольных тестов по физической культуре у участников исследования напрямую зависит от показателей функциональной латерализации головного мозга, общей физической работоспособности, особенностей темперамента, а также мотивации испытуемых в момент реализации конкретного физического качества. Исходя из результатов исследования, можно сказать о возможности применения многоэтапного алгоритма прогнозирования спортивных результатов у юношей, обучающихся в медицинском университете. Использование метода кластеризации с помощью иерархического метода и метода *k*-средних позволило выделить две группы лиц с различной успешностью выполнения беговых и силовых упражнений на занятиях по физическому воспитанию. ИНС на основе различных физиологических и психофизиологических компонентов, выявленных у участников исследования, позволяет осуществить адекватное распределение участников эксперимента в кластеры с неодинаковой результативностью в различных видах ФА, а также может ранжировать исследуемые параметры, отражающие наибольшее

влияние на прогноз результативности деятельности. Кроме того, на основе включения максимально большого спектра изучаемых параметров появляется возможность формировать алгоритмы прогнозирования результативности целенаправленной деятельности с помощью нейросетей с высокой степенью достоверности.

Множественный регрессионный анализ с построением линейной модели помогает выявить факторы, обеспечивающие успешную реализацию физических качеств в беговых или силовых дисциплинах с проверкой гипотез для модели. Эффективность использования и работоспособность построенных уравнений проверили с помощью дисперсионного анализа, который выявил правильность формирования модели и построения уравнения для прогнозирования результата участников исследования в скоростном и силовом качествах.

Представленные материалы свидетельствуют о том, что авторы разработали эффективный, доступный алгоритм прогнозирования результативности сдачи контрольных нормативов для студентов, созданный на основе нейросетевой технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Надежный прогноз высокой результативности спортивной деятельности как варианта проявления физической активности у людей с одинаковой подготовленностью можно сформировать, учитывая не только организацию тренировочного процесса, но и психофизиологические особенности, которые, наряду с физической работоспособностью, определяют качество и результативность деятельности в конкретных условиях.

Таким образом, подобранный в работе комплекс математических и статистических способов анализа может быть внедрен для системного анализа индивидуальных физиологических и психофизиологических детерминант физической активности человека с целью прогнозирования ее результативности у юношей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. И.М. Мазикин — сбор данных и обработка материала, написание текста; М.М. Лапкин — концепция и дизайн исследования, редактирование; Р.А. Зорин — статистическая обработка данных, написание текста; М.В. Акулина — дизайн исследования, сбор данных, редактирование, оформление иллюстраций; Н.А. Куликова — сбор данных, редактирование. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено Локальным этическим комитетом Рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова (Протокол № 14 от 11.04.2021).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние 3 года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи использовали технологии генеративного искусственного интеллекта (методология описана в тексте).

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions. I.M. Mazikin — collection of data and processing of material, writing the text; M.M. Lapkin — concept and design of the study, editing; R.A. Zorin — statistical processing of data, writing the text;

M.V. Akulina — design of the study, collection of data, editing, design of illustration; N.A. Kulikova — collection of data, editing. All authors approved the manuscript (the publication version), and also agreed to be responsible for all aspects of the work, ensuring proper consideration and resolution of issues related to the accuracy and integrity of any part of it.

Ethics approval. The study was approved from the Local Ethics Committee of the Ryazan State Medical University (Protocol No. 14 of April 11, 2021).

Consent for publication. All participants of study voluntarily signed an informed consent form before being included in the study.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality. The authors did not use previously published information (text, illustrations, data) when creating this work.

Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing does not applicable to this work, and no new data were collected or created.

Generative AI. Generative AI technologies were used for this article creation (the methodology is described in the text).

Provenance and peer-review. This work was submitted to the journal on its own initiative and reviewed according to the usual procedure. Two reviewers, a member of the editorial board and the scientific editor of the publication participated in the review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Mazikin IM, Lapkin MM, Voshinina NA, Proshlyakov VD. Influence of the brain lateral organization profile on effectiveness of sporting activity of a human and methods of its identification. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2016;(2):117–126. doi: 10.17816/PAVLOVJ20162117-126 EDN: WCDTUX
2. Lapkin MM, Yakovleva NV, Proshlyakov VD. Study of the psychological and physiological determinants of success training of students in medical university. *Personality in a Changing World: Health, Adaptation, Development*. 2014;(1):75–83. Available from: <https://humjournal.rzgm.ru/art&id=69>. Accessed: 20.08.2024. EDN: RVMOCN
3. Mazikin IM, Lapkin MM, Akulina MV, et al. People's individual characteristics and their significance for producing reliable forecasts of the effectiveness of purposeful physical activity. *Biomed Eng*. 2023;57(4):291–294. doi: 10.1007/s10527-023-10318-3 EDN: XRYYYV
4. Evdokimova OV, Zorin RA, Zhadnov VA, Kurepina IS. Forecasting outcomes of the acute period of non-traumatic intracerebral hemorrhage by the method of cluster analysis and technology of artificial neural networks. *Journal of New Medical Technologies*. 2022;29(1):9–13. doi: 10.24412/1609-2163-2022-1-9-13 EDN: QQFNXP
5. Merkulova MA, Lapkin MM, Zorin RA. The use of cluster analysis and the theory of artificial neural networks to predict the effectiveness of targeted human activity. *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*. 2018;6(3):374–382. doi: 10.23888/HMJ201863374-382 EDN: XZQZIL
6. Lapkin MM, Pertsov SS, Zorin RA. Structure of the useful adaptive result in the systemic organization of physiological functions as a subject of scientific analysis: history and prospects of research. *Bull Exp Biol Med*. 2023;175(4):400–414. doi: 10.47056/0365-9615-2023-175-4-400-414 EDN: OVLLDK
7. Zorin RA, Medvedeva YI, Kurepina IS, et al. Distribution of physiological resources and effectivity of purposeful activity of patients with epilepsy. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2018;26(3):369–379. doi: 10.23888/PAVLOVJ2018263369-379 EDN: ROCLCR
8. Kostenko EG, Pavel'ev IG. Forecasting in sports: regression analysis. *Competency (Russia)*. 2021;(6):24–29. doi: 10.24412/1993-8780-2021-6-24-29 EDN: HTEHNA
9. Ponomareva KA. Application of artificial neural networks in solving forecasting problems. *Science Without Borders*. 2020;(1):42–47. EDN: PRAFYL
10. Bobkova EN, Parfianovich EV. Neural networks for forecasting and modeling training in track-and-field athletics. *Human. Sport. Medicine*. 2018;18(S):115–119. doi: 10.14529/hsm18s16 EDN: VTOPZA
11. Kasyuk ST, Vakhtomova EM. Data analysis and prediction in physical training and sports by using the neural networks. *Uchenye Zapiski Universiteta imeni P.F. Lesgafta*. 2013;(12):72–77. EDN: RSPJRX
12. Petrov PK, Azyabina AV. Predicting the results of weightlifters using neural network. *The Scientific Notes of Pavlov University*. 2023;(6):332–335. EDN: QISYXQ

ОБ АВТОРАХ

***Мазикин Иван Михайлович**, канд. биол. наук;
адрес: Российская Федерация, 119121, Москва, ул. Плющиха, д. 57;
ORCID: 0000-0002-1301-4749;
eLibrary SPIN: 9525-8602;
e-mail: ivan_triple_jump@mail.ru

Лапкин Михаил Михайлович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-1826-8307;
eLibrary SPIN: 5744-5369;
e-mail: lapkin_rm@mail.ru

Зорин Роман Александрович, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-4310-8786;
eLibrary SPIN: 5210-5747;
e-mail: zorin.ra30091980@mail.ru

Акулина Мария Викторовна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-3750-788X;
eLibrary SPIN: 4624-5920;
e-mail: akulina_mariya@mail.ru

Куликова Наталья Анатольевна, канд. биол. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-2188-1380;
eLibrary SPIN: 2576-8701;
e-mail: Torikula62@yandex.ru

AUTHORS' INFO

***Ivan M. Mazikin**, Cand. Sci. (Biology);
address: 57 Plyushchikha st, Moscow, Russian Federation, 119121;
ORCID: 0000-0002-1301-4749;
eLibrary SPIN: 9525-8602;
e-mail: ivan_triple_jump@mail.ru

Mikhail M. Lapkin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-1826-8307;
eLibrary SPIN: 5744-5369;
e-mail: lapkin_rm@mail.ru

Roman A. Zorin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0003-4310-8786;
eLibrary SPIN: 5210-5747;
e-mail: zorin.ra30091980@mail.ru

Mariya V. Akulina, Cand. Sci. (Biology), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0002-3750-788X;
eLibrary SPIN: 4624-5920;
e-mail: akulina_mariya@mail.ru

Natalya A. Kulikova, Cand. Sci. (Biology), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0003-2188-1380;
eLibrary SPIN: 2576-8701;
e-mail: Torikula62@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку/Corresponding author