

EDN: EPZXKE
УДК 612.017.2

About the Possibility of Managing the Training Process Using Predictive Models Based on Artificial Intelligence

Kirill P. Bazarin^{*a,b}, Sergey I. Bartsev^b
and Viktor N. Kovalev^c

^a*KGKU “Krasnoyarsk Institute for the Development of Physical Culture and Sports”*

^b*FSBSI FRC KSC SB RAS Separate subdivision “Institute of Biophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”*

^c*Siberian Federal University Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 22.03.2022, received in revised form 23.12.2024, accepted 29.01.2025

Abstract. To assess the possibility of effective application of predictive systems based on artificial intelligence for planning the training process. The study involved 155 athletes, representatives of various sports. Male sex – 96 people, average age 24.34 ± 3.54 years; female sex – 59 people, the average age was 23.12 ± 2.3 years. The control group consisted of 101 people who did not experience high systematic physical exertion. Male 53 people, mean age 23.17 ± 2.54 , female – 48. The average age was 22.12 ± 3.01 years. A complex of neural networks was formed, allowing to predict a number of key indicators of physiological reactions of the blood system in the dynamics of the annual training-competitive cycle in qualified athletes. A series of virtual experiments was carried out in which the possibility of avoiding the development of decompensation was studied by varying the acting factors. The average accuracy of the neural network model was 96.9 %, which is a fairly high indicator for predicting biological processes. The results of virtual experiments demonstrate a reliable correspondence to the subgroups in which the real acting factors corresponded to the model ones. The possibility of effective application of predictive systems based on artificial intelligence for planning the training process has been demonstrated.

Keywords: physical activity, sports, neural networks, artificial intelligence, digital twin, individualization of training, digitalization.

Research area: Social Structure, Social Institutions and Processes; Sport.

Citation: Bazarin K. P., Bartsev S. I., Kovalev V. N. About the Possibility of Managing the Training Process Using Predictive Models Based on Artificial Intelligence. In: *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. soc. sci.*, 2025, 18(2), 410–416. EDN: EPZXKE



О возможности управления тренировочным процессом с использованием прогностических моделей на основе искусственного интеллекта

К.П. Базарин^{а,б}, С.И. Барцев^б, В.Н. Ковалев^в

^аКГКУ «Красноярский институт развития физической культуры и спорта»

^бФГБУН ФИЦ КНЦ СО РАН Обособленное подразделение

«Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук»

^вСибирский федеральный университет

Российская Федерация, Красноярск

Аннотация. Цель исследования – оценить возможность эффективного применения предиктивных систем на основе искусственного интеллекта для планирования тренировочного процесса. В эксперименте приняли участие 155 спортсменов, представителей различных видов спорта. Мужской пол – 96 человек, средний возраст $24,34 \pm 3,54$ лет; женский пол – 59 человек, средний возраст составил $23,12 \pm 2,3$ лет. Контрольная группа состояла из 101 человека, не испытывающих систематических высоких физических нагрузок. Мужской пол – 53 человека, средний возраст $23,17 \pm 2,54$, женский – 48, средний возраст $22,12 \pm 3,01$ лет. Был сформирован комплекс нейросетей, позволяющих с высокой точностью прогнозировать ряд ключевых показателей физиологических реакций системы крови в динамике годового тренировочно-соревновательного цикла у квалифицированных спортсменов. Проведена серия виртуальных экспериментов, в которых изучалась возможность избежать развития декомпенсации, варьируя действующие факторы. Средняя точность работы нейросетевой модели составила 96,9 %, что является достаточно высоким показателем для прогнозирования биологических процессов. Результаты виртуальных экспериментов демонстрируют достоверное соответствие подгруппам, в которых реальные действующие факторы соответствовали модельным. Продемонстрирована возможность эффективного применения предиктивных систем на основе искусственного интеллекта для планирования тренировочного процесса.

Ключевые слова: физическая нагрузка, спорт, нейросети, искусственный интеллект, цифровой двойник, индивидуализация подготовки, цифровизация.

Научная специальность: 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы; 5.8.5. Теория и методика спорта.

Цитирование: Базарин К. П., Барцев С. И., Ковалев В. Н. О возможности управления тренировочным процессом с использованием прогностических моделей на основе искусственного интеллекта. *Журн. Сиб. федер. ун-та. Гуманитарные науки*, 2025, 18(2), 410–416. EDN: EPZXKE

Введение

Современным этапом развития стала персонализация тренировочного процесса, основанная на возникновении возможности получения всесторонних объективных данных о состоянии организма. Дальнейшее развитие ведущие специалисты видят в создании предиктивных методов построения тренировочного процесса, в основе которых лежит использование интеллектуальных систем поддержки принятия решений и создание цифровых двойников спортсменов. Это позволит предельно точно рассчитывать время, характер и объемы нагрузок с максимальным тренирующим эффектом конкретно для данного спортсмена в данный период времени, планировать восстановительные мероприятия, подводить спортсмена к ответственным соревнованиям на пике формы (Gámez et al., 2020; Giménez et al., 2020; Vales-Alonso et al., 2010). О необходимости обеспечения использования технологии искусственного интеллекта организациями спортивной подготовки и общероссийскими спортивными федерациями по видам спорта и о проведении сопутствующих научно-исследовательских работ говорится в Ведомственной программе цифровой трансформации Министерства спорта РФ на 2021–2023 гг. Прямым следствием создания подобных систем, а также накопления спортивных больших данных является возможность совершения качественного скачка в системе спортивного отбора и выбора специализации. Развивая данный подход, мы сможем индивидуально формировать оптимальную траектория спортивного развития для каждого человека с раннего детства до пожилого возраста, что особенно важно в условиях поставленных приоритетов достижения численности систематически занимающихся физической культурой и спортом 70 % к 2030 г. (Rasporjzhenie Pravitel'stva..., 2020).

Большое значение имеет возможность тиражирования максимально эффективного опыта. Сейчас очень часто значение имеет интуиция, опыт конкретного человека – тренера, спортивного врача. Однако если мыслить не в рамках отдельной спортивной команды, а целой страны, то для

достижения максимальных результатов каждый спортсмен должен иметь доступ к самому передовому опыту. Это возможно только в условиях цифровизации отрасли физической культуры и спорта и возникновения аналитических систем, помогающих тренеру управлять тренировочно-соревновательным процессом.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 155 спортсменов, представителей различных видов спорта. Мужской пол – 96 человек, средний возраст $24,34 \pm 3,54$ лет; женский пол – 59 человек, средний возраст составил $23,12 \pm 2,3$ лет. Контрольная группа состояла из 101 человека, не испытывающих систематических высоких физических нагрузок. Мужской пол – 53 человека, средний возраст $23,17 \pm 2,54$, женский – 48, средний возраст $22,12 \pm 3,01$ лет. Данное исследование одобрено локальным этическим комитетом, обследуемые давали добровольное информированное согласие на участие в эксперименте.

Объемы и интенсивность физической нагрузки изучались по материалам дневников самоконтроля спортсменов, тренировочным и соревновательным планам. Для определения ЧСС использовались спортивные кардиомониторы Polar FT1, Polar RC 3 GPS. В пределах общего объема годовой нагрузки рассчитывалась ее структура по зонам интенсивности. Интенсивность нагрузки классифицировалась в соответствии с классическими зонами: 1 зона, низкая интенсивность, 50 % от величины максимального потребления кислорода (МПК), ЧСС находится в пределах до 135 уд/мин. 2 зона, средняя интенсивность, уровень анаэробного порога. Потребление кислорода возрастает до 50–80 % от МПК, пульс 135–150 уд/мин. 3 зона, высокая интенсивность, смешанный аэробно-анаэробный характер энергообеспечения, МПК 80–100 %, ЧСС до 180 уд/мин. 4 зона, максимальная интенсивность. МПК близко к 100 %, ЧСС > 180 уд/мин.

Венозную кровь у спортсменов забирали в окончании соревновательного периода. Реакционная смесь для хемилюминесцентной реакции состояла из 40 мкл донорской

сыворотки АВ (IV), 100 мкл люминола в концентрации 10^{-5} М, 50 мкл индуктора (в случае определения индуцированной хемилюминесценции), 610 мкл раствора Хенкса без красителя и 250 мкл лейкоцитарной взвеси (2 млн/мл) для определения спонтанной хемилюминесценции или 685 мкл раствора Хенкса и 125 мкл взвеси лейкоцитов – для индуцированной. Оценка спонтанной и индуцированной хемилюминесценции производилась в течение 90 минут на 36-канальном хемилюминесцентном анализаторе «CL3604» (СКТБ «Наука», г. Красноярск). Определялись время выхода на максимум (T_{max}), максимальное значение (I_{max}) и площадь кривой (S). В качестве индукторов «респираторного взрыва» использовали опсонизированный зимозан («Sigma», США). Усиление хемилюминесценции, индуцированной зимозаном, относительно спонтанной оценивали соотношением $S_{сим}/S_{спон}$, которое определяли как индекс активации (ИА) (Savchenko, 2015; Savchenko, 2011). Нейросетевое моделирование осуществляли в программной библиотеке для машинного обучения TensorFlow.

Результаты и их обсуждение

Для создания модели воздействия факторов, ассоциированных со спортивной деятельностью, был применен метод нейросетевого моделирования (Seiler, 1997). Был сформирован комплекс нейросетей, позволяющих с высокой точностью прогнозировать ряд ключевых показателей физиологических реакций системы крови в динамике годового тренировочно-соревновательного цикла у квалифицированных спортсменов (табл. 1). На входе: структура физической нагрузки и уровень психоэмоционального напряжения в периоде. На выходе: МДА – уровень малонового диальдегида в сыворотке

крови, показатель уровня оксидативного повреждения тканей; МА – интегральный показатель активности НАД- и НАДФ-зависимых дегидрогеназ нейтрофильных гранулоцитов крови; ИА – индекс активации, показатель функциональной активности нейтрофильных гранулоцитов крови; длительность лаг-фазы на кривой активации тромбоцитов при стимуляции эпинефрином, один из показателей функциональной активности системы свертывания крови.

В рамках данной статьи рассмотрим виртуальные эксперименты, проведенные на нейросетевых моделях.

С целью определения влияния отдельных факторов на результирующие изменения была проведена серия виртуальных экспериментов. В частности, изучалась возможность избежать развития декомпенсации, варьируя действующие факторы. Были рассмотрены четыре варианта сочетания действующих факторов спортивной деятельности в соревновательном периоде.

Вариант C_1 характеризуется незначительным перераспределением нагрузки в соревновательном периоде. Часть нагрузки средней интенсивности заменена нагрузкой низкой интенсивности. Вариант C_2 отражает концепцию так называемого норвежского стиля подготовки (Seiler, 1997). Данный подход, в частности, характеризуется кардинальным снижением объемов физических нагрузок в соревновательном периоде, причем основным является сочетание нагрузки максимальной интенсивности и низкоинтенсивной, восстанавливающей нагрузки. Вариант C_3 характеризуется существенным снижением ИН при сохранении структуры физической нагрузки неизменной, что позволяет оценить вклад психо-эмоционального напряжения в формирование наблюдаемых

Таблица 1. Величины средней ошибки аппроксимации \bar{A} нейросетевых моделей
Table 1. The values of the average error of approximation of the \bar{A} of neural network models

	МДА	МА	ИА	Лаг-фаза, эпинефрин
Мужчины	2,77	2,93	3,55	2,76
Женщины	2,98	3,12	3,71	3,02

изменений. Вариант C_4 представляет собой комбинацию C_2 и C_3 , т.е. существенное снижение физической нагрузки и психоэмоционального напряжения.

Для всех рассматриваемых вариантов прогнозируется снижение интенсивности перекисного окисления липидов. В случае C_1 мы наблюдаем весьма незначительные отличия, находящиеся в пределах погрешности. Существенное снижение физической нагрузки в соревновательном периоде ведет к прогнозируемому снижению концентрации МДА в 1,45 раза у мужчин и в 1,48 раза у женщин. Снижение психоэмоционального напряжения в соревновательном периоде (C_3) ведет к прогнозируемому снижению концентрации МДА в 1,31 раза у мужчин и в 1,35 раза у женщин. Сочетание «норвежского стиля» и низкого психоэмоционального напряжения (C_4), по результатам

нейросетевого прогнозирования, должно позволить снизить концентрацию МДА в 2,01 раза у мужчин и в 2 раза у женщин. Тем не менее следует отметить, что даже в этом случае данный показатель будет превышать контрольные значения в 1,25 раза у мужчин и в 1,31 раза у женщин.

По результатам нейросетевого прогнозирования, незначительное снижение физической нагрузки в соревновательном периоде (C_1) не окажет значимого влияния на величину МА у спортсменов. Напротив, использование «норвежского стиля» (C_2) ведет к ожидаемому повышению МА в 2,03 раза у мужчин и в 2,17 раза у женщин. Изолированное снижение психоэмоционального напряжения в соревновательном периоде (C_3) ведет к прогнозируемому увеличению МА в 1,7 раза у мужчин и в 1,77 раза у женщин. Сочетание «норвежского стиля»

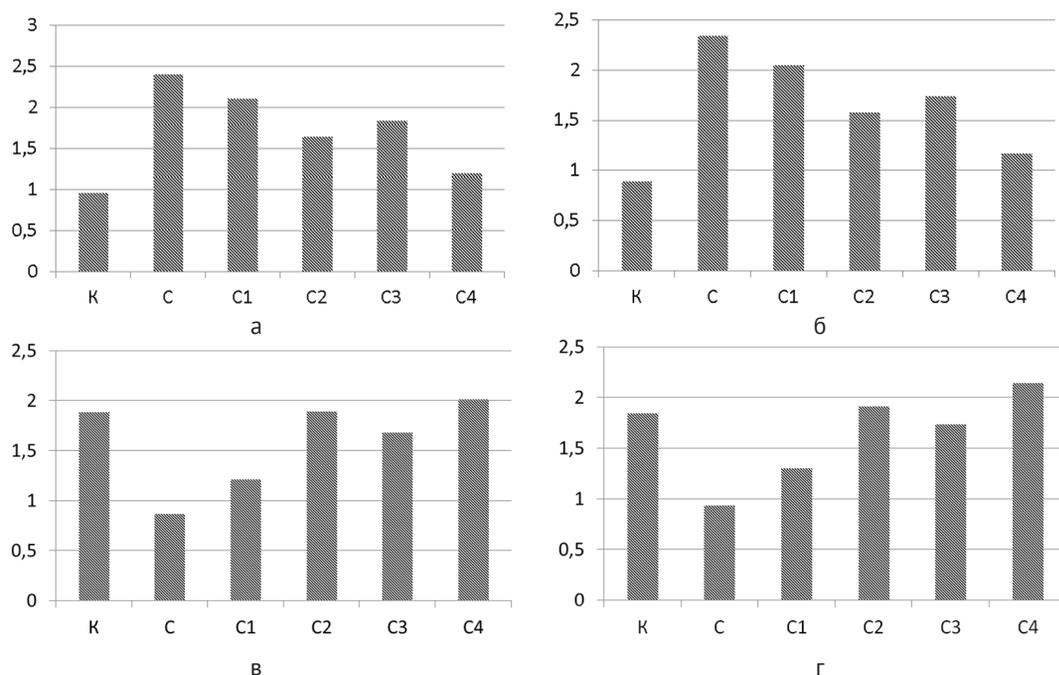


Рис. 1. Концентрация МДА, ммоль/г белка, в плазме крови у мужчин (а) и женщин (б) спортсменов и ИА нейтрофильных гранулоцитов крови у мужчин (в) и женщин (г) спортсменов и лиц контрольной группы (К), полученных экспериментально в сравнении с результатами прогноза нейросетевой модели для различных вариантов сочетаний действующих факторов

Fig. 1. The concentration of MDA, mmol/g of protein, in the blood plasma of men (а) and women (б) athletes and IA of neutrophilic granulocytes in men (в) and women (г) athletes and control group individuals (K), obtained experimentally in comparison with the results of the prediction of the neural network model for various combinations of active factors

и низкого психоэмоционального напряжения (C_4), по результатам нейросетевого прогнозирования, должно вести к увеличению МА в 2,78 раза у мужчин и в 2,93 раза у женщин, фактически приближаясь к значениям подготовительного периода.

Величина ИА по результатам нейросетевого моделирования является достаточно чувствительной к варьированию факторов спортивной деятельности. Так, даже незначительное перераспределение физической нагрузки в соревновательном периоде (C_1) ведет к ожидаемому увеличению данного показателя до 1,21 у мужчин и 1,3 у женщин. Эти величины остаются ниже значений контрольной группы (1,88 и 1,84 соответственно), но уже значительно превышают экспериментально полученные значения данного индекса у спортсменов – 0,86 у мужчин и 0,94 у женщин. Важно отметить также переход на уровень значений выше 1, что означает исчезновение парадоксальной реакции нейтрофильных гранулоцитов – снижение функциональной активности в ответ на стимуляцию. Существенное снижение физической нагрузки в соревновательном периоде (C_2), по результатам прогнозирования, ведет к возвращению величин ИА к показателям, характерным для контрольной группы. Таким образом, можно предположить, что использование «норвежского стиля» в подготовке спортсменов не будет приводить к формированию вторичных иммунодефицитных состояний. По результатам нейросетевого моделирования, снижение психоэмоционального напряжения (C_3) также достаточно сильно оказывает влияние на ИА нейтрофильных гранулоцитов крови, фактически сравнимое со снижением объемов физической нагрузки. Величина ИА приближается к значениям контрольной группы, оставаясь немного ниже ее показателей. Сочетание «норвежского стиля» со снижением психоэмоционального напряжения (C_4) ведет к не столь значительному, как можно было бы ожидать, увеличению ИА, который лишь незначительно превышает показатели контрольной группы (в 1,07 раза у мужчин и в 1,16 раза у женщин). Ха-

рактерно, что прогнозируемая величина ИА не достигает значений, наблюдаемых у спортсменов в окончании подготовительного периода (2,41 и 2,4 у мужчин и женщин соответственно), что говорит об отсутствии условий для гиперактивации нейтрофилов.

Незначительное перераспределение физической нагрузки в соревновательном периоде (C_1) по результатам нейросетевого моделирования не ведет к значимым изменениям величины лаг-фазы на кривой агрегации тромбоцитов при стимуляции эпинефрином. Существенное же ее снижение (C_2) может привести к возвращению этого параметра к нормальным значениям, так как по результатам прогнозирования величина лаг-фазы в этом случае не имеет значимых отличий от показателей контрольной группы. Аналогичное явление мы наблюдаем и для результатов прогноза в состоянии C_3 , связанного со снижением психоэмоционального напряжения. Сочетание низкого уровня психоэмоционального напряжения и «норвежского стиля» ведет к незначительному укорочению величины лаг-фазы относительно контрольных значений.

Из результатов проведенных виртуальных экспериментов следует, что весьма существенное влияние на исследуемые процессы оказывает уровень психоэмоционального напряжения. Фактически тот срыв адаптации, который имеет место в ходе соревновательного периода, является ни чем иным, как системным переключением обменных процессов с анаболических на катаболические (Paracosta, 2011; Mujika, 2017; Ruse, 2018). Для подтверждения полученных на модели результатов нами было проведено сравнение подгрупп спортсменов с различными уровнями тревожности внутри каждого из периодов годового тренировочно-соревновательного макроцикла по четырем основным параметрам: концентрация МДА в плазме крови, МА, ИА, длительность лаг-фазы при стимуляции эпинефрином. Для подготовительного и соревновательного периодов достоверных различий получено не было ($p > 0,05$). В подгруппе с низким уровнем ситуативной тревожности не наблюдаются признаков столь выраженной декомпенса-

ции в окончании соревновательного периода. Интенсивность процессов перекисного окисления липидов у спортсменов в подгруппе с низким уровнем ситуативной тревожности, оставаясь выше контрольных значений, достоверно ниже, чем в подгруппах со средним и высоким уровнем тревожности, МА достоверно превышает показатели подгрупп со средним и высоким уровнем тревожности. Особого внимания заслуживает ИА, равный 1,42, что говорит об отсутствии декомпенсаторных изменений в нейтрофильных гранулоцитах крови у данной подгруппы. Также заметно отличается от подгрупп со средним и высоким уровнем ситуативной тревожности величина лаг-фазы на кривой агрегации тромбоцитов при стимуляции эпинефрином, что свидетельствует о существенно меньшей выраженности катехоламинового стресса

в данной подгруппе спортсменов, что согласуется с данными других авторов (Han, 2006; Egorov, 2010). Особо следует отметить, что результаты работы нейросетевой модели для состояния C_3 близко совпадают с данными по подгруппе с низким уровнем тревожности ($p < 0,01$).

Выводы

Таким образом, продемонстрирована возможность эффективного применения предиктивных систем на основе искусственного интеллекта для планирования тренировочного процесса. Существует объективная возможность создания релевантной модели реакции организма спортсмена на управляемые факторы – цифрового двойника – с последующим подбором оптимально тренирующего воздействия.

Список литературы / References

- Bazarin K. P. Savchenko A. A. Neural network modeling of the effect of physical activity on the functional activity of blood neutrophils in qualified athletes at the end of the competition period. *Journal Theory and practice of physical culture*. 2018. 01. 53–55.
- Decree of the Government of the Russian Federation dated November 24, 2020 No. 3081-r on approval of the strategy for the development of physical culture and sports in the Russian Federation for the period up to 2030
- Egorov V.V. The influence of anxiety on the effectiveness of competitive activities of junior basketball players. *Bulletin of Moscow State University*. 2010. 3. 38–44.
- Gámez Díaz R, Yu Q, Ding Y, Laamarti F, El Saddik A. Digital Twin Coaching for Physical Activities: A Survey. *Sensors* (Basel). 2020, 20(20), 5936. Published 2020 Oct 21. doi:10.3390/s20205936
- Giménez JV, Jiménez-Linares L, Leicht AS, Gómez MA. Predictive modelling of the physical demands during training and competition in professional soccer players. *J. Sci. Med. Sport*. 2020 Jun; 23(6), 603–608. doi: 10.1016/j.jsams.2019.12.008. Epub 2019 Dec 17. PMID: 31919035.
- Han D.H. Influence of Temperament and Anxiety on Athletic Performance. *J. of Sports Science & Medicine*. 2006. 5(3). 381–389.
- Mujika I. Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *Int. J. Sports Physiol. Perform*. 2017. 12(2). 29–217. – doi: 10.1123/ijsp.2016–0403.
- Papacosta E. Nassis G.P. Saliva as a tool for monitoring steroid, peptide and immune markers in sport and exercise science. *J. Sci. Med. Sport*. 2011. 14(5). 424–434.
- Puce L., Marinelli L., Pierantozzi E., Mori L., Pallecchi I., et. al. Training methods and analysis of races of a top level Paralympic swimming athlete. *J. Exerc. Rehabil*. 2018. 14(4). 612–620. – doi: 10.12965/jer.1836254.127.
- Savchenko A. A. Determination of NAD(P)-dependent dehydrogenase activity in neutrophil granulocytes by bioluminescence method. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2015. 5. 656–660.
- Savchenko A. A., Suncova L.I. Highly sensitive determination of dehydrogenase activity in peripheral blood lymphocytes by bioluminescence method. *Laboratory work*. 2011, 11, 23–25.
- Seiler, S. XC Endurance Training Theory-Norwegian Style. *The Institute for Sport*. Kristiansand. – Norway. 1997. 16.
- Vales-Alonso J, López-Matencio P, Gonzalez-Castaño FJ, et al. Ambient intelligence systems for personalized sport training. *Sensors* (Basel). 2010, 10(3), 2359–2385. doi:10.3390/s100302359