

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.163>

СИНТЕЗ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДИКАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА СПОРТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Научная статья

Артеменко М.В.^{1,*}, Привалова И.Л.², Бобровский Е.А.³

¹ORCID : 0000-0003-1037-8282;

¹ Юго-Западный государственный университет, Курск, Российская Федерация

^{2,3} Курский государственный медицинский университет, Курск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (artem1962[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы синтеза решающих правил системы поддержки принятия решений для тренера на этапе отбора контингента для занятия спортом. Целью результатов научно-практических исследований являлась разработка и апробация методик идентификаций ансамбля решающих правил продукционного типа для базы знаний на основе характеристик миограмм мышц, характеризующих потенциал (адаптированность) кандидата к определенному виду спорта. В процессе разведочного анализа предлагается селективировать регистрируемые и латентные показатели по критерию индикаторных возможностей. Латентные показатели (функционалы от среднегеометрических за определенное время значений регистрируемых) рекомендуется из-за небольших объемов обучающей выборки формировать полиномиальными искусственными нейронными сетями метода группового учета аргументов. Рассматривается информационно-аналитическая модель системы поддержки принятия тренерских решений. В качестве интегральных показателей в работе представлены: линейная аддитивная модель, полином Колмогорова-Габора, относительные «расстояния» состояний до центров двух классов – имеющие и не имеющие приемлемый для результативного занятия спортом. В качестве примера, приведены и проанализированы полученные решающие правила оценки потенциала кандидатов к профессиональному футболу на основе амплитуд и частот электромиограмм мышц голени, осуществляющих движения в голеностопном суставе левой и правой ног (длинной малоберцовой и отводящей мизинец). На экзаменационной выборке диагностическая эффективность наблюдалась не менее 0,96.

Ключевые слова: спортивная физиология, предикативная оценка спортивного потенциала, системы поддержки принятия решений, синтез решающих правил, Deep Learning.

SYNTHESIS OF DECISIVE RULES FOR THE EXPERT SYSTEM OF PREDICATIVE EVALUATION OF THE POTENTIAL OF SPORTS OPPORTUNITIES

Research article

Artemenko M.V.^{1,*}, Privalova I.L.², Bobrovskii Y.A.³

¹ORCID : 0000-0003-1037-8282;

¹ Southwestern State University, Kursk, Russian Federation

^{2,3} Kursk State Medical University, Kursk, Russian Federation

* Corresponding author (artem1962[at]mail.ru)

Abstract

The article examines the issues of synthesis of solving rules of the decision support system for the coach at the stage of selection of the contingent for sports. The aim of the results of scientific and practical research was the development and testing of methods of identification of the ensemble of product-type decisive rules for the knowledge bank based on the characteristics of muscle myograms that characterize the potential (adaptability) of a candidate to a certain type of sport. In the process of exploratory analysis, it is proposed to select recorded and latent indicators according to the criterion of indicator capabilities. It is recommended to form latent indicators (functions from geometric mean values of the registered ones for a certain time) by polynomial artificial neural networks of the method of group accounting of arguments because of small volumes of the training sample. The information-analytical model of the support system for coaching decision-making is discussed. As integral indices in the work are presented: linear additive model, Kolmogorov-Gabor polynomial, relative "distances" of states to centres of two classes - having and not having acceptable for effective sports activity. As an example, the obtained decisive rules for assessing the potential of candidates for professional football on the basis of amplitudes and frequencies of electromyograms of the lower leg muscles that carry out movements in the ankle joint of the left and right legs (long fibula and diverting little finger) are presented and analysed. On the examination sample, the diagnostic efficiency was observed to be at least 0.96.

Keywords: sports physiology, predicative evaluation of sport potential, decision support systems, decision rule synthesis, Deep Learning.

Введение

Современная спортивная физиология включает в себя предикативную оценку спортивного потенциала и формирование индивидуальной траектории физического развития и совершенствования на основе различных методов: на применения «умных тренажеров» [1], «умных приборов и устройств» [2], «умных планов физического развития»

[3]. Большое внимание при этом уделяется интеллектуальному мониторингу [4] и своевременной коррекции реализации плана подготовки спортсмена. Это обуславливает применение как классических технологий спортивного развития (в том числе, базирующихся на спортивной физиологии), так и новых, цифровых технологий, основанных на системах поддержки принятия решений (гибридного человеко-машинного интеллекта), анализирующих физический потенциал возможностей в определенном виде спорта.

Большинство существующих в настоящее время интеллектуальных автоматических систем поддержки тренерской работы направлены на анализ существующего статуса спортсмена с целью коррекции плана его подготовки для достижения определенного спортивного результата [5], [6], [7]. Авторами предлагаются разнообразные подходы комплексной оценки общей и специальной спортивной предрасположенности и возможностей, применяя различные генетические, психологические, морфофункциональные и моторные критерии.

На начальном этапе тренерской деятельности возникает проблема разработки и применения методологии формирования предикативных оценок адаптированности и потенциала человека к определенному виду спорта. В настоящее время данная проблема разрешается тренером весьма субъективно (в большинстве случаев, достаточно продуктивно). Научно-обоснованный (учитывающий объективные и субъективные концепты), анализ физиологических характеристик человека с применением методов искусственного интеллекта в спорте пока применяется, на наш взгляд, недостаточно. Потребность в этом обуславливает активизацию научно-практических разработок в указанном направлении в настоящее время. Например, в работах [8], [9], [10] описываются информационные системы обработки и анализа разнообразных характеристик спортсменов с целью составления плана тренировок для повышения результативности. Классические физиологические методы контроля в спорте с применением статистического анализа (без технологий искусственного интеллекта) рассматриваются, например, в работе [11].

В настоящее время для анализа динамики электроактивности мышц в тренерской работе увеличилось применение миографов для анализа результативности и динамики спортивного потенциала [12]. Современный уровень развития технологий искусственного и гибридного интеллектов, интернет вещей, Data science, Deep Learning, Big Data позволяют, на наш взгляд, проектировать и успешно эксплуатировать системы поддержки принятия тренерских решений (СППР), построенных на концепциях СМАРТ и 4С (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time и Clearness, Completeness, Complexity, Consistency). Причем, наиболее актуально и продуктивно, с наименьшими затратами применение современных компьютерных технологий Индустрии 4.0 осуществлять предикативную оценку потенциала кандидата к определенному виду профессионального спорта. Основой СППР является база знаний, включающая в себя систему решающих правил, в качестве antecedента использующее различные функционалы регистрируемых и латентных, частных и интегральных показателей, с соответствующими индикаторными порогами и предикатами.

В связи с этим разработка и исследование идентификации продукционных решающих правил на основе анализа характеристик миограмм определенных мышц, характеризующих адаптивность к спорту (на примере профессионального футбола), являлась целью представляемых исследований.

Методы и принципы исследования

В качестве объектов исследования выбраны кандидаты в профессиональный футбольный клуб г. Курска. Результаты натуральных измерений представлены временными рядами серий исследований мышц голени, осуществляющих движения в голеностопном суставе. Экспертами и в ходе разведочного анализа для исследования возможностей характеристик миограммы (регистрируемые и латентные показатели) для оценки физиологического потенциала возможностей результативно заниматься профессиональным футболом, выделены мышцы – длинная малоберцовая (ДМБ) и отводящая мизинец (МОМ) левой и правой ног. Регистрировались: средняя и максимальная амплитуды, средняя частота. Объемы обучающих и экзаменационных выборок для классов w_0 («слабый потенциал») и w_1 («достаточный потенциал»), составили, соответственно 52 и 24 человека, для каждого из которых проводилось не менее 8-10 серий регистрации миограмм с помощью 8-канального электронейромиографа «Нейро-МВП-8».

Для формирования интегральных показателей, обладающих индикаторными возможностями приемлемыми для синтеза решающих правил базы знаний СППР, предлагается применять следующие методы.

1 способ – множественная линейная регрессия (МЛА). В данном случае в качестве аргументов используются регистрируемые показатели, а в качестве функции отклика идентификаторы классов. На обучающей выборке определяются пороговые значения полученных индикаторных интегральных показателей. Затем осуществляется структурно-параметрическая идентификация дискриминантных (линейных) функций. Эффективность данного способа доказана в работе [13].

2 способ – метод группового учета аргументов (МГУА) для «глубокого обучения». МГУА предлагается применять в двух аспектах:

- для выдвижения гипотез о существовании определенных структур латентных переменных;
- поиска интегральных (латентных) показателей в виде полинома Колмогорова-Габора.

3 способ – метод расстояний. Вычисляются декартовы расстояния в многомерном пространстве регистрируемых показателей до центра одного из классов (в нашем случае – w_1). Далее определяются значения мер близости, позволяющих приемлемо соотносить анализируемый объект к классам с указанием степеней уверенности в этом (оценивается как диагностическая эффективность на экзаменационной выборке). Заметим, что применение расстояния Махаланобиса не позволило существенно улучшить результат при слабой коррелированности показателей между собой и малых объемах обучающих выборок [14].

По полученным значениям частных и интегральных (латентных) показателей тренер принимает решение о физическом потенциале кандидата к результативному занятию профессионального футбола. Прогнозирование потенциальных возможностей человека в определенном виде спорта предлагается осуществлять в статике и динамике.

В первом случае вычисляются значения показателей у кандидата в спортивный клуб и определяются его «расстояния» до центров анализируемых классов в пространстве признаков. Далее применяется концепт «золотого сечения» [15], [16], [17] – обследуемый относится к тому классу, для которого отношение найденного расстояния к расстояниям между классами не больше 0,38, в противном случае – требуются дополнительные исследования.

Во втором случае проводится мониторинг показателей в «статике» через определенные интервалы времени и принимается решение о прогрессе применения определенных решений по коррекции изменения траектории воздействий (тренировок) и-или делается вывод о тенденции развития кандидата в спортивный клуб.

Предлагается следующий метод идентификации решающих правил продукционного вида.

1. Формирование обучающей и экзаменационной выборки. Поиск латентных показателей с помощью МГУА.

2. Осуществляется разведочный анализ, в процессе которого выделяются кандидаты в индикаторные показатели путем селекции тренером (исходя из личного опыта и рекомендаций спортивной физиологии) из кортежа упорядоченных по мере убывания коэффициента Стьюдента различий между выборками значений одних и тех же показателей в альтернативных классах w_0 и w_1 .

3. Для каждой серии регистраций частных показателей X (и им соответствующих латентных) формируется вектор сверток значений Y . Согласно рекомендациям [18], [19], [20] рекомендуется в качестве таковых использовать значения геометрического среднего в одной серии измерений характеристик миограммы.

4. Осуществляется структурно-параметрическая идентификация интегральных показателей ранее описанными способами 1-3 с помощью инструментария технологий «Data science» и «Deep Learning»:

В качестве интегральных показателей, которые применяются как индикаторы-классификаторы по рекомендации [21], используются следующие:

- аддитивная свертка (аналог линейной дискриминантной функции) – способ 1:

$$Kr = a_0 + \sum_{i=1}^n (a_i \cdot y_i); \quad (1)$$

- мультипликативная свертка (используются структуры и параметры первого термина полинома Колмогорова-Габора в качестве гипотез формирования латентных переменных) – способ 2:

$$Kp = a_0 + a_1 \cdot \prod_{i=1}^n y_i^{p_i} \quad (2)$$

где: n – количество регистрируемых и латентных показателей, i – индекс показателя y , a_0 , a_i , p_i – параметры полинома;

- свертка отношений декартовых расстояний – способ 3:

$$Kl = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n (y_k - \overline{y_{s,k}})^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (y_k - \overline{y_{s,k}})^2} + \sqrt{\sum_{k=1}^n (y_k - \overline{y_{ns,k}})^2}} \quad (3)$$

где: y_k – значения k -го показателя, $\overline{y_{s,k}}$ и $\overline{y_{ns,k}}$ – средние значения, соответственно, в классах w_1 и w_0 , соответственно.

5. На обучающей выборке оцениваются классифицирующие пороги для вычисленных в п.4 индикаторов, на экзаменационной выборке вычисляется коэффициент уверенности (в качестве которого принимается диагностическая эффективность).

6. Синтезируется продукционное решающее правило вида «Если <условие: значение индикатора больше/меньше порогового уровня>, то кандидат относится к классу с уверенностью».

Результаты и обсуждение

Мониторинг электромиограмм у людей из классов w_0 и w_1 осуществлялся путем измерения показателей в течение 3 минут с тактом времени 10 секунд. Электронейромиографом регистрировалось максимальная и средняя амплитуды, частота сигнала. Регистрация осуществлялась в сидячем положении, до тренировок или занятий физкультурой и иных физических нагрузках на соответствующие мышцы. У всех испытуемых получено согласие на обработку персональных данных и участие в исследованиях. Программа исследований одобрена этической комиссией Курского государственного медицинского университета. Для отсева артефактов применялось правило 6 сигм [22].

Далее используются следующие условные обозначения сверток регистрируемых показателей в течении одной серии наблюдений («серийные свертки») на левой и правой ногах:

- амплитуды максимальные (мкВ): Y1 – слева ДМБ, Y2 – слева МОМ, Y3 – справа ДМБ, Y4 – справа МОМ;

- амплитуды средние (мкВ): Y5 – слева ДМБ, Y6 – слева МОМ, Y7 – справа ДМБ, Y8 – справа МОМ;

- частоты средние (Гц): Y9 – слева ДМБ, Y10 – слева МОМ, Y11 – справа ДМБ, Y12 – справа МОМ.

Сравнительное представление серийных сверток показателей электрической активности длинной малоберцовой мышцы и мышцы, отводящей мизинец участников классов w_0 и w_1 представлен на рисунке 1. Технология оптимальной визуализации с помощью лепестковых диаграмм описана в [23], [24] и адаптирована нами под рассматриваемую предметную область [25].

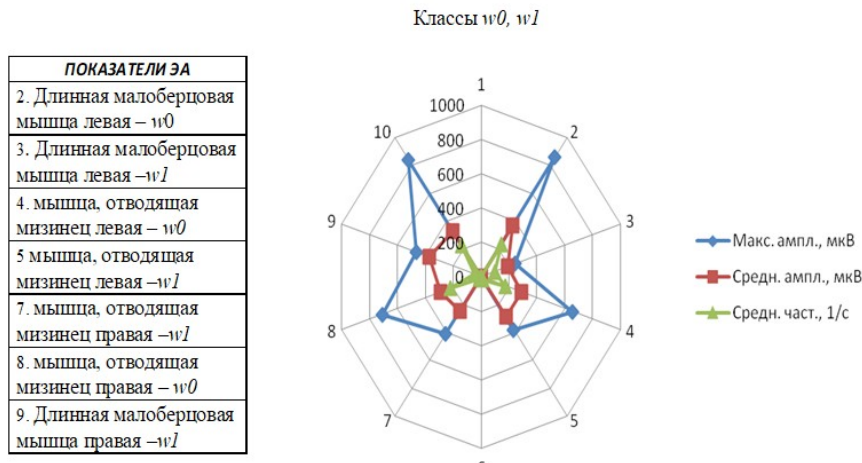


Рисунок 1 - Лепестковая диаграмма отличий $w0$ и $w1$
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.163.1>

С помощью полиномиальных нейронных сетей МГУА выявлены следующие латентные показатели Z для данной группы мышц:

$$Z1 = \sqrt{\frac{Y6}{Y10}}, \quad Z2 = \sqrt{\frac{Y6}{Y11}}, \quad Z3 = \sqrt{\frac{1}{Y1 \cdot Y2}}, \quad Z4 = \sqrt{\frac{1}{Y10 \cdot Y20}}, \quad Z5 = \frac{\sqrt[3]{Y9}}{Y10}, \quad Z6 = \frac{Y4}{Y8}.$$

Для расчета интегральных показателей рассчитываются соответствующие значения $\bar{y}_{s,k}$, $\bar{y}_{ns,k}$ для всех серийных сверток регистрируемых и латентных показателей и им соответствующие значения $\sigma_{s,k}$, $\sigma_{ns,k}$ (k – индекс показателя) для рассматриваемых классов представлены в таблице 1 (в последнем столбце таблицы указана ошибка первого рода p различий между классами). Индекс ns соответствует классу $w0$, s – $w1$.

Таблица 1 - Статистические оценки характеристик $\bar{y}_{s,k}$, $\bar{y}_{ns,k}$ и $\sigma_{s,k}$, $\sigma_{ns,k}$ для регистрируемых и латентных серийных сверток показателей

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.163.2>

Обозначение	Характеристики электромиограммы (амплитуды – мкВ, частоты – Гц)	Статистические оценки сверток показателей - \bar{Y} (средние геометрические значения в серии)				
		$\bar{y}_{ns,k}$	$\sigma_{ns,k}$	$\bar{y}_{s,k}$	$\sigma_{s,k}$	p
Y1	Амплитуда максимальная слева ДМБ	1002,17	267,09	358,69	42,88	0,0012
Y2	Амплитуда максимальная слева MOM	769,87	222,52	449,09	199,85	0,0261
Y3	Амплитуда максимальная справа ДМБ	1038,66	236,75	627,64	183,59	0,0709
Y4	Амплитуда максимальная справа MOM	833,11	304,84	521,898	55,91	0,0436
Y5	Амплитуда средняя слева ДМБ	372,05	62,70	219,60	31,29	0,0037
Y6	Амплитуда средняя слева MOM	315,93	70,64	320,24	161,37	0,9383
Y7	Амплитуда средняя справа ДМБ	364,83	41,54	412,55	197,14	0,4551
Y8	Амплитуда средняя справа MOM	329,26	98,15	290,45	46,21	0,3997
Y9	Частота средняя слева ДМБ	241,63	94,39	128,67	45,20	0,1387
Y10	Частота средняя слева MOM	158,15	55,00	29,81	6,09	0,0003
Y11	Частота средняя справа ДМБ	225,24	55,57	75,87	29,97	0,0003
Y12	Частота средняя справа MOM	195,48	49,93	32,14	6,52	0,0000
Z1	$(Y6/Y10)^{0,5}$	1,693	0,44	3,51	0,62	0,0000
Z2	$(Y6/Y11)^{0,5}$	1,287	0,22	2,24	0,17	0,0000
Z3	$1/(Y1 \cdot Y2)^{0,5}$	0,0014	0,00038	0,00296	0,00070	0,0000
Z4	$1/(Y10 \cdot Y12)^{0,5}$	0,0076	0,00283	0,03257	0,01055	0,0000
Z5	$Y9^{1/3}/Y10^{0,5}$	0,0076	0,00283	0,03257	0,01055	0,0001
Z6	$Y4/Y8$	0,0076	0,00283	0,03257	0,01055	0,0022

Из таблицы 1 следует, что полученные серийные свертки латентных показателей обладают лучшими индикаторными возможностями, чем непосредственно регистрируемые. Таким образом, на этапе разведочного анализа выявлено, что большинство приведенных в таблице показателей электромиограммы правой ноги «длинной малоберцовой мышцы» и «мышцы, отводящей мизинец» обладают классификационными возможностями ($p < 0,05$) и, следовательно, по ним можно формировать решающие правила продукционного типа. Пороги и полученные на экзаменационной выборке значения коэффициентов уверенности представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Классификационные пороги характеристик миограмм мышц правой ноги для соотнесения обследуемого к классу w1 и им соответствующие коэффициенты уверенности

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.163.3>

Мышцы	Длинная малоберцовая		Мышца, отводящая мизинец	
	порог	уверенность	порог	уверенность
максимальная амплитуда (мкВ)	<860	0,51	<800	0,56
средняя амплитуда (мкВ)	>400	0,74	<400	0,99
Средняя частота (Гц)	<200	0,72	<30	0,97

Из таблицы 2 видна «противофазность» показателей «средняя амплитуда». Этот факт подтверждает гипотезу об иерархическом перераспределении электрической активности вдоль всего органа (в данном случае – правой ноги).

Аналогичным образом выявлено, что классифицирующими возможностями на уровне ошибки первого рода $p < 0,05$ для показателя Kl обладают серийные свертки показателей: $Y10, Y11, Y12, Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6$.

Проведенные расчеты с помощью программных инструментариев Excel и МГУА [26] позволили идентифицировать параметры для вычисления значений показателей Kr, Kp и Kl синтезировать следующие продукционные решающие правила:

- если значение показателя $kr > 50$, то с уверенностью 0,99 обследуемый может быть отнесен к классу w1;
- если значение показателя $kp > 50$, то с уверенностью 0,96 обследуемый может быть отнесен к классу w1;
- если значение показателя $Kl < 50$, то с уверенностью 0,95 обследуемый может быть отнесен к классу w1.

Kr и Kp вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}
 Kr = & -31,16 - 0,042 \cdot Y1 - 0,0056 \cdot Y2 - 0,014 \cdot Y3 - 0,002 \cdot Y4 - 0,018 \cdot Y5 + \\
 & + 0,244 \cdot Y6 + 0,107 \cdot Y7 - 0,058 \cdot Y8 - 0,001 \cdot Y9 - 0,074 \cdot Y10 - 0,169 \cdot Y11 - \\
 & - 0,118 \cdot Y12 - 25,59 \cdot Z1 - 26,59 \cdot Z2 + 6272,69 \cdot Z3 + 2813,28 \cdot Z4 + 46,06 \cdot Z5 + \\
 & + 24,61 \cdot Z6 \\
 Kp = & -64,05 + 2,09 \cdot Z1 + 28,67 \cdot Z2 + 24350,7 \cdot Z3 - 713,13 \cdot Z4 + \\
 & + 12,67 \cdot Z5 + 0,489 \cdot Z6 - 226,63 \frac{Y10 \cdot Y12}{Y1 \cdot Y2} + 13,92 \frac{\sqrt[3]{Y9^2}}{Y10} - 0,388 \sqrt{\left(\frac{Y6}{Y11}\right)^3}
 \end{aligned}$$

Анализ полученных правил позволяет сделать гносеологическое заключение о доминировании серийных сверток латентных показателей, подчеркивая сбалансированность регуляторных механизмов, и характеризуют:

- $Z1$ – корень квадратный из отношения амплитуд средней к частоте на левой ноге МОМ. У «не спортсменов» ($w0$) этот показатель больше, чем у спортсменов ($w1$), – то есть «спортсмены» более эффективно (бережливо) расходуют энергетический потенциал.

- $Z2$ – корень квадратный из отношения амплитуд средней на левой ноге к частоте на правой ноге МОМ. Вклад этого латентного показателя в общую формулу вычисления данного интегрального показателя во многом аналогичен предыдущему – $Z1$ (у спортсменов он меньше). Однако его весовой коэффициент примерно больше, что, подчеркивает некоторое доминирование правой ноги.

- $Z3$ – кубический корень отношений на ДМВ мышце средней амплитуде к средней частоте на левой ноге - увеличение этого отношения ведет к уменьшению значения интегрального показателя, – чем больше относительная к частоте электрическая активность левой ноги у ДМВ, тем меньше возможности обследуемого в футболе и, в то же время, тренировки, приводящие к росту частоты, могут существенным образом способствовать развитию потенциальных возможностей обследуемого;

- $Z4$ – кубический корень отношений частот на левой ноге икроножной мышце и ДМВ – чем оно выше, тем больше «спортивный потенциал» обследуемого; по сути, данный латентный показатель отражает компенсаторные возможности по отношению к предыдущему латентному показателю и подчеркивает, что развитие ДМВ мышцы без пропорционального развития икроножной мышцы, способно привести к «потере» спортивного статуса;

- $Z5$ – отношение частот электромиограмм мышц ДМВ и МОМ левой ноги: чем оно больше, тем выше вероятность соотнесения обследуемого к классу w1;

- Z_6 – отношение максимальной и средней амплитуды МОМ на правой ноге. Чем больше эта величина, тем больше вероятность соотнесения обследуемого к классу w_1 («спортсмен – футболист»). По сути, этот показатель является своеобразной характеристикой «энергетического резерва» МОМ.

На основе полученных решающих правил было разработано Приложение для смартфона [27], информационно-аналитическая модель применения которого приведена на рисунке 2. СППР реализует концепт гибридного интеллекта, перспективность которого отмечается одним из его основоположников – Вендой В.Ф. [28]. Тренер по «рекомендациям» СППР делает вывод о потенциальных возможностях обследуемого, прогнозирует его развитие и перспективность физической подготовленности, формирует индивидуальный план тренировок и здорового образа жизни спортсмена [29]. Если заключения, сформированные с СППР, не удовлетворяют тренера, то проводятся дополнительные исследования (в том числе, после определенных нагрузочных тестов и-или мероприятий).

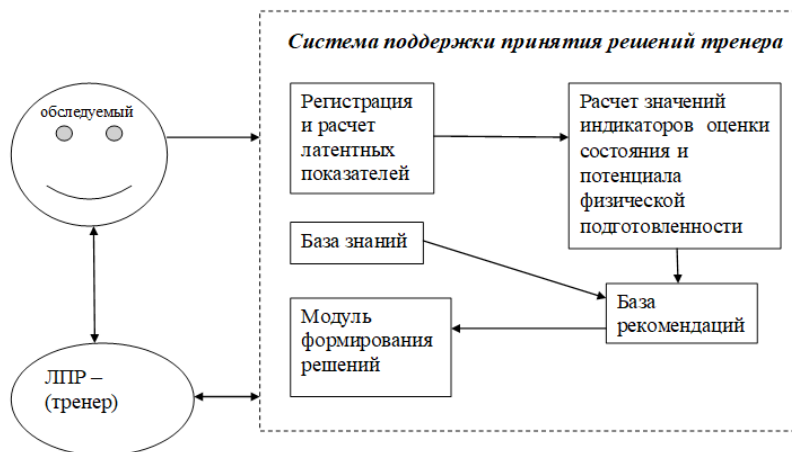


Рисунок 2 - Информационная аналитическая модель СППР оценки и прогнозирования перспективности физической подготовленности

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.163.4>

Согласно разработанной модели регистрируются требуемые показатели x электроактивности мышц в течении определенного времени (формируется серия). Затем, после отсева артефактов, вычисляются среднегеометрические значения показателей Y и латентных Z , по которым определяются численные значения интегральных показателей K_r , K_p и K_l . На основе решающих правил СППР предлагает ЛПР (тренеру) рекомендации об оценке потенциала кандидата – принадлежности к классу w_0 и w_1 .

Для формирования плана дальнейшей работы физического развития кандидата в СППР предусмотрена «База рекомендаций». База знаний СППР представляет собой ансамбль продукционных решающих.

Заключение

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы.

1. Характеристики электромиограмм определенных мышц являются индикаторными показателями для классификации людей по предрасположенности (физическому потенциалу) к занятиям профессиональным спортом.
2. Получены решающие правила, позволяющие с приемлемой степенью уверенности (0,95) дифференцировать людей по их потенциальным возможностям (на примере футбола).
3. Искусственная полиномиальная нейронная сеть МГУА на этапе разведочного анализа позволяет формировать множество латентных индикаторных показателей при небольших объемах обучающей выборки.
4. Полученные продукционные решающие правила хорошо формализуются, что позволило разработать и успешно апробировать на «слепых выборках» программное обеспечение – приложение для тренера, реализованное на смартфоне.
5. Предложенные подходы к анализу данных и синтеза решающих правил не противоречат предыдущим исследованиям в рассматриваемой предметной области и не требовательны к обязательному выполнению постулатов доказательной медицины (параметрической статистики).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.163.5>

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.163.5>

Список литературы / References

1. Farrokhi A. Application of Internet of Things and artificial intelligence for smart fitness: A survey / A. Farrokhi [et al.] // *Computer Networks*. — 2021. — №189. — 107859.
2. Jordan F.A. Digital technologies in monitoring training and remote training processes of athletes and physical education participants / F.A. Jordan // *Bulletin of sports science*. — 2020. — № 3. — P. 31-44.
3. Ростовцев В.Л. Инновационные технологии оптимизации тренировочного процесса на основе применения «Умных вещей, нейронных сетей и искусственного интеллекта / В.Л. Ростовцев, Ф.В. Ростовцев, С.В. Кряжев // *Вестник спортивной науки*. — 2020. — №3. — С. 60-64. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-optimizatsii-trenirovochnogo-protsessa-na-osnove-primeneniya-umnyh-veschey-neyronnyh-setey-i> (дата обращения: 04.05.2024)
4. Malik H. AI and machine learning paradigms for health monitoring system: intelligent data analytics / H. Malik, F. Nuzhat Fatema, A. Alzubi. — New York, 2021.
5. Корягина Ю.В. Возможности аппаратно-программного комплекса в системе спортивной ориентации, отбора и этапного контроля в дзюдо и самбо / Ю.В. Корягина [и др.] // *Теория и практика физической культуры*. — 2022. — №3. — С. 3-5.
6. Аралова Н.И. Автоматизированные рабочие места для функциональной диагностики спортсменов / Н.И. Аралова [и др.] // *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*. — 2021. — Т. 66. — №4. — С. 137-149.
7. Курамшин Ю.Ф. Оценка спортивной одаренности детей на основе индивидуально-типологического подхода / Ю.Ф. Курамшин, О.А. Двейрина, В.С. Терехин // *ТиПФК*. — 2022. — №4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sportivnoy-odarennosti-detey-na-osnove-individualno-tipologicheskogo-podhoda> (дата обращения: 04.05.2024).
8. Динасилов И.А. Опытный образец автоматизированной информационной системы для сбора, хранения и обработки данных о спортсменах / И.А. Динасилов, А.В. Чуваев // *Всемирные студенческие игры: история, современность и тенденции развития*. — 2022. — С. 524-527.
9. Shahriar M.T. Player Classification Technique Based on Performance for a Soccer Team Using Machine Learning Algorithms / M.T. Shahriar, Y. Islam, M.N. Amin // *IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies*. — 2019.
10. Rajesh P. A Data Science Approach to Football Team Player Selection / P. Rajesh, M. Bharadwaj, M. Alam [et al.] // *IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*. — Chicago, 2020. — P. 175-183. — DOI: 10.1109/EIT48999.2020.9208331
11. Капилевич Л.В. Физиологические методы контроля в спорте / Л.В. Капилевич [и др.] — 2009. — 172 с.
12. Sharif A. Development of a portable electromyography for fixing bioelectric potentials arising in muscle / A. Sharif, A.H. Fuad, G.L. Raisovna // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics*. — 2022. — Vol. 22. — №. 2. — P. 87-95.
13. Воронцов И.М. Здоровье. Создание и применение автоматизированных систем для мониторинга и скринирующей диагностики нарушений здоровья / И.М. Воронцов, В.В. Шаповалов, Ю.М. Шерстюк. — Коста, 2006. — 432 с.
14. Мудров В.А. Алгоритмы использования кластерного анализа в биомедицинских исследованиях с помощью пакета программ SPSS / В.А. Мудров // *Забайкальский медицинский вестник*. — 2020. — №4. — С. 215-221.
15. Горст В.Р. Золотые пропорции адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы / В.Р. Горст, И.А. Быков, И.Н. Полунин [и др.] // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2018. — № 5-2. — С. 380-384. — URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12273> (дата обращения: 30.04.2024).
16. Exel J. Precision Sports Science: What Is Next for Data Analytics for Athlete Performance and Well-Being Optimization? / J. Exel, P. Dabnicki // *Applied Sciences*. — 2024. — 14(8). — 3361.
17. Nematollahi A.F. A novel meta-heuristic optimization method based on golden ratio in nature / A.F. Nematollahi, A. Rahiminejad, B. Vahidi // *Soft Computing*. — 2020. — Vol. 24. — №2. — С. 1117-1151.
18. Wang Y.M. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean / Y.M. Wang [et al.] // *Expert systems with applications*. — 2019. — Vol. 36. — №2. — P. 1195-1207.
19. Tiwari L. Detection of lung nodule and cancer using novel Mask-3 FCM and TWEDLNN algorithms / L. Tiwari [et al.] // *Measurement*. — 2021. — Vol. 172. — P. 108882.
20. 5 вариантов среднего или какая средняя температура в больнице? — URL: <https://waksoft.susu.ru/2015/09/26/5-variantov-srednego-ili-kakaya-srednyaya-temperatura-v-bolnitse/> (дата обращения: 04.05.2024)
21. Artemenko M. Synthesis of Decisive Rules for SMART Expert System of Predictive Adaptation to Sport by Digital / M. Artemenko [et al.] // *Technologies Proceedings of the 2023 International Conference on Systems and Technologies of the Digital HealthCare (STDH — 2023)*. — Tashkent, 2023
22. Как применять методологию 6 сигм для улучшения медицинских процессов. — URL: <https://www.dmt.ru/publications/kak-primenyat-metodologiyu-6-sigm-dlya-uluchsheniya-meditsinskikh-protsessov/> (дата обращения: 04.05.2024)
23. Еременко К. Работа с данными в любой сфере: Как выйти на новый уровень, используя аналитику / К. Еременко. — М.: Альпина Паблишер, 2020. — 303 с.
24. Корневский Н.А. Методология синтеза гибридных нечётких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений / Н.А. Корневский, С.Н. Родионова, И.И. Хрипина. — Ст. Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2019. — 472 с.

25. Артёменко М.В. Анализ функциональных различий состояния организма средствами когнитивной графики / М.В. Артёменко, И.Л. Привалова, Е.А. Бобровский [и др.] // От молекулы к системной организации физиологических функций. — Курск, 2023. — С. 62-67.
26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2007611654 Российская Федерация. Мультипликативная аппроксимация методом группового учета аргументов: № 2007611654: заявлено 25.04.2007 / Артёменко М.В., Оболенский А.Н.
27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023666288 Российская Федерация. Анализатор латерального профиля электрической активности мышц стопы: № 2023665544 от 25.07.2023 / Лазаренко В.А., Бобровский Е.А., Бобровская Е.А., Привалова И.Л., Артёменко М.В., Петровский А.С.
28. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика / В.Ф. Венда. — М.: ЛЕНАНД, 2020. — 448 с.
29. Намозов Т.Б. Врачебный контроль и самоконтроль здорового образа жизни спортсмена / Т.Б. Намозов [и др.] // Вестник педагогического университета (Серия Педагогики и психологии, методики преподавания гуманитарных и естественных дисциплин). — 2020. — №1(1). — С. 64-71.

Список литературы на английском языке / References in English

- Farrokhi A. Application of Internet of Things and artificial intelligence for smart fitness: A survey / A. Farrokhi [et al.] // *Computer Networks*. — 2021. — №189. — 107859.
- Jordan F.A. Digital technologies in monitoring training and remote training processes of athletes and physical education participants / F.A. Jordan // *Bulletin of sports science*. — 2020. — № 3. — P. 31-44.
- Rostovcev V.L. Innovacionnye tehnologii optimizacii trenirovochnogo processa na osnove primeneniya «Umnyh veshhej, nejronnyh setej i iskusstvennogo intellekta [Innovative technologies for optimizing the training process based on the application of "Smart Things", neural networks and artificial intelligence] / V.L. Rostovcev, F.V. Rostovcev, S.V. Krjazhev // *Vestnik sportivnoj nauki [Bulletin of Sports Science]*. — 2020. — №3. — S. 60-64. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-optimizatsii-trenirovochnogo-protssessa-na-osnove-primeneniya-umnyh-veschey-nejronnyh-setej-i> (accessed: 04.05.2024) [in Russian]
- Malik H. AI and machine learning paradigms for health monitoring system: intelligent data analytics / H. Malik, F. Nuzhat Fatema, A. Alzubi. — New York, 2021.
- Korjagina Ju.V. Vozможности apparatno-programmnogo kompleksa v sisteme sportivnoj orientacii, otbora i jetapnogo kontrolja v dzjudo i sambo [Possibilities of hardware-software complex in the system of sports orientation, selection and stage control in judo and sambo] / Ju.V. Korjagina [et al.] // *Teoriya i praktika fizicheskoj kul'tury [Theory and practice of physical culture]*. — 2022. — №3. — P. 3-5. [in Russian]
- Aralova N.I. Avtomatizirovannye rabochie mesta dlja funkcional'noj diagnostiki sportsmenov [Automated workstations for functional diagnostics of athletes] / N.I. Aralova [et al.] // *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*. — 2021. — Vol. 66. — №4. — P. 137-149. [in Russian]
- Kuramshin Ju.F. Ocenka sportivnoj odarennosti detej na osnove individual'no-tipologicheskogo podhoda [An assessment of sports giftedness of children on the basis of individual-typological approach] / Ju.F. Kuramshin, O.A. Dvejrina, V.S. Terehin // *TiPFK*. — 2022. — №4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sportivnoy-odarennosti-detey-na-osnove-individualno-tipologicheskogo-podhoda> (accessed: 04.05.2024). [in Russian]
- Dinasilov I.A. Opytnyj obrazec avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy dlja sbora, hranenija i obrabotki dannyh o sportsmenah [A prototype of the automated information system for collecting, storing and processing data on athletes] / I.A. Dinasilov, A.V. Chuvaev // *Vsemirnye studencheskie igry: istorija, sovremennost' i tendencii razvitija [World University Games: History, Modernity and Development Tendencies]*. — 2022. — P. 524-527. [in Russian]
- Shahriar M.T. Player Classification Technique Based on Performance for a Soccer Team Using Machine Learning Algorithms / M.T. Shahriar, Y. Islam, M.N. Amin // *IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies*. — 2019.
- Rajesh P. A Data Science Approach to Football Team Player Selection / P. Rajesh, M. Bharadwaj, M. Alam [et al.] // *IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)*. — Chicago, 2020. — P. 175-183. — DOI: 10.1109/EIT48999.2020.9208331
- Kapilevich L.V. Fiziologicheskie metody kontrolja v sporte [Physiological control methods in sport] / L.V. Kapilevich [et al.] — 2009. — 172 p. [in Russian]
- Sharif A. Development of a portable electromyography for fixing bioelectric potentials arising in muscle / A. Sharif, A.H. Fuad, G.L. Raisovna // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics*. — 2022. — Vol. 22. — №. 2. — P. 87-95.
- Voroncov I.M. Zdorov'e. Sozdanie i primenenie avtomatizirovannyh sistem dlja monitoringa i skrinirujushhej diagnostiki narushenij zdorov'ja [Health. Creation and application of automated systems for monitoring and screening diagnostics of health disorders] / I.M. Voroncov, V.V. Shapovalov, Ju.M. Sherstjuk. — Kosta, 2006. — 432 p. [in Russian]
- Mudrov V.A. Algoritmy ispol'zovaniya klasternogo analiza v biomedicinskih issledovanijah s pomoshh'ju paketa programm SPSS [Algorithms of using cluster analysis in biomedical research with the help of SPSS software package] / V.A. Mudrov // *Zabajkal'skij medicinskij vestnik [Transbaikal Medical Bulletin]*. — 2020. — №4. — P. 215-221. [in Russian]
- Gorst V.R. Zolotye proporcii adaptacionnogo potenciala serdechno-sosudistoj sistemy [Golden proportions of the adaptation potential of the cardiovascular system] / V.R. Gorst, I.A. Bykov, I.N. Polunin [et al.] // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]*. — 2018. — № 5-2. — S. 380-384. — URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12273> (accessed: 30.04.2024). [in Russian]

16. Exel J. Precision Sports Science: What Is Next for Data Analytics for Athlete Performance and Well-Being Optimization? / J. Exel, P. Dabnichki // *Applied Sciences*. — 2024. — 14(8). — 3361.
17. Nematollahi A.F. A novel meta-heuristic optimization method based on golden ratio in nature / A.F. Nematollahi, A. Rahiminejad, B. Vahidi // *Soft Computing*. — 2020. — Vol. 24. — №2. — C. 1117-1151.
18. Wang Y.M. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean / Y.M. Wang [et al.] // *Expert systems with applications*. — 2019. — Vol. 36. — №2. — P. 1195-1207.
19. Tiwari L. Detection of lung nodule and cancer using novel Mask-3 FCM and TWEDLNN algorithms / L. Tiwari [et al.] // *Measurement*. — 2021. — Vol. 172. — P. 108882.
20. 5 variantov srednego ili kakaja srednjaja temperatura v bol'nice? [5 variations of average or what is the average temperature in a hospital?] — URL: <https://waksoft.susu.ru/2015/09/26/5-variantov-srednego-ili-kakaya-srednyaya-temperatura-v-bolnitse/> (accessed: 04.05.2024) [in Russian]
21. Artemenko M. Synthesis of Decisive Rules for SMART Expert System of Predictive Adaptation to Sport by Digital / M. Artemenko [et al.] // *Technologies Proceedings of the 2023 International Conference on Systems and Technologies of the Digital HealthCare (STDH — 2023)*. — Tashkent, 2023
22. Kak primenjat' metodologiju 6 sigm dlja uluchsheniya medicinskih processov [How to apply 6 sigma methodology to improve medical processes]. — URL: <https://www.dmt.ru/publications/kak-primenyat-metodologiyu-6-sigm-dlya-uluchsheniya-meditsinskih-protsessov/> (accessed: 04.05.2024) [in Russian]
23. Eremenko K. Rabota s dannymi v ljuboj sfere: Kak vyjti na novyj uroven', ispol'zuja analitiku [Working with data in any sphere: How to reach a new level using analytics] / K. Eremenko. — M.: Alpina Publisher, 2020. — 303 p. [in Russian]
24. Korenevskij N.A. Metodologija sinteza gibridnyh nechjotkih reshajushih pravil dlja medicinskih intellektual'nyh sistem podderzhki prinjatija reshenij [Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decisive rules for medical intelligent decision support systems] / N.A. Korenevskij, S.N. Rodionova, I.I. Hripina. — St. Oskol: Fine Science-Intensive Technologies, 2019. — 472 p. [in Russian]
25. Artjomenko M.V. Analiz funkcional'nyh razlichij sostojanija organizma sredstvami kognitivnoj grafiki [Analysis of functional differences in the state of the organism by means of cognitive graphics] / M.V. Artjomenko, I.L. Privalova, E.A. Bobrovskij [et al.] // *Ot molekuly k sistemoj organizacii fiziologicheskikh funkcij [From molecules to system organization of physiological functions]*. — Kursk, 2023. — P. 62-67. [in Russian]
26. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2007611654 Rossijskaja Federacija. Mul'tiplikativnaja approksimacija metodom gruppovogo ucheta argumentov [Certificate of State Registration of Computer Programme No. 2007611654 Russian Federation. Multiplicative approximation by the method of group accounting of arguments]: № 2007611654: applied 25.04.2007 / Artemenko M.V., Obolenskij A.N. [in Russian]
27. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2023666288 Rossijskaja Federacija. Analizator lateral'nogo profilja jelektricheskoy aktivnosti myshc stopy [Certificate of State Registration of Computer Programme No. 2023666288 Russian Federation. Analyser of lateral profile of electrical activity of foot muscles]: № 2023665544 dated 25.07.2023 / Lazarenko V.A., Bobrovskij E.A., Bobrovskaja E.A., Privalova I.L., Artjomenko M.V., Petrovskij A.S. [in Russian]
28. Venda V.F. Sistemy gibridnogo intellekta: Jevoljucija, psihologija, informatika [Hybrid Intelligence Systems: Evolution, Psychology, Informatics] / V.F. Venda. — M.: LENAND, 2020. — 448 p. [in Russian]
29. Namozov T.B. Vrachebnyj kontrol' i samokontrol' zdorovogo obraza zhizni sportsmena [Medical control and self-control of healthy lifestyle of an athlete] / T.B. Namozov [et al.] // *Vestnik pedagogicheskogo universiteta (Serija Pedagogiki i psihologii, metodiki prepodavaniya gumanitarnyh i estestvennyh disciplin) [Bulletin of Pedagogical University (Series of Pedagogy and Psychology, methods of teaching humanities and natural disciplines)]*. — 2020. — №1(1). — P. 64-71. [in Russian]