



УДК 796.012

## Классификация уровня сложности сенсомоторной задачи для спортсменов на основании физиологических показателей методами машинного обучения

А. В. Ковалева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр новых и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» (НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина), Москва, Россия

<sup>2</sup> ГКУ «Центр инновационных спортивных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы (ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта), Москва, Россия

### Аннотация

Целью исследования было выявление наиболее информативных вегетативных показателей, отражающих уровень сложности выполняемого спортсменами сенсомоторного задания с применением различных классификационных моделей. В качестве заданий двух уровней сложности использовали задачу на слухомоторную синхронизацию с заданным ритмом под метроном (простое задание) и удержание его по памяти (сложное задание). Регистрировались показатели работы сердца, параметры дыхания, кожная проводимость, ЭЭГ. Наиболее точную классификацию продемонстрировала модель Classification and Regression Trees (C&RT) – ошибка составила 18,3%.

**Ключевые слова:** сложность задачи, классификаторы, спортсмены, вегетативные показатели, машинное обучение

---

## Classification a sensorimotor task level of complexity for athletes based on physiological indicators using machine learning methods

A. V. Kovaleva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies (Anokhin Research Institute of Normal Physiology), Moscow, Russia

<sup>2</sup> Moscow Center of Advanced Sports Technologies, Moscow, Russia

### Abstract

The study aimed to identify the most sensitive autonomic indicators reflecting the level of complexity of the sensorimotor task performed by athletes using various machine learning methods (classification algorithms). As tasks of two levels of difficulty, we used the audio-motor

synchronization task: to tap in synchrony with a metronome rhythmic sound (a simple task) and to tap the same rhythm without auditory cues (rhythm memory task, a complex task). Heart rate, respiratory parameters, skin conduction, and EEG were recorded. The most accurate classification was demonstrated by the Classification and Regression Trees (C&RT) model – the error was 18.3%.

**Keywords:** task complexity, classifiers, athletes, autonomic indicators, machine learning

---

## Введение

Оценка субъективной сложности выполняемой задачи объективными методами является важной проблемой в психофизиологии профессиональной деятельности, в том числе и в спортивной. Применение мультимодальной регистрации физиологических показателей в процессе выполнения сенсомоторной задачи позволяет получить множество показателей, отражающих уровень психоэмоционального напряжения спортсмена [1]. Однако на практике применение такого числа показателей ограничено. Методы машинного обучения позволят выявить наиболее информативные объективные индикаторы «нагруженности» выполняемого задания и эмоционального переживания [2].

Цель исследования – выявление наиболее информативных вегетативных показателей, отражающих уровень сложности выполняемого спортсменами сенсомоторного задания с применением различных классификационных моделей.

## Материал и методы

В исследовании приняли участие 41 спортсмен в возрасте от 15 до 30 лет, представители различных видов спорта. Спортсменам предлагалось выполнить сенсомоторное задание, состоящее из двух частей: простая часть (30 с) – ударять ладонью по сенсорной поверхности максимально синхронно с изохронным (равномерным) ритмом компьютерного метронома (частота 60 уд/мин), более сложная часть (30 с) – продолжать ударять ладонью по сенсорной поверхности в том же темпе без звука метронома (после выключения звука).

Во время выполнения задания регистрировали следующие физиологические показатели (полиграф ThoughtTechnology): ЭЭГ (одно отведение, Cz), фотоплетизмограмма (ФПГ), кожная проводимость, дыхание. Из записи ФПГ выделялись кардиоинтервалы (программа BiographInfiniti) и затем вычисляли показатели вариабельности ритма сердца по временно-му, частотному (спектральному) и нелинейному методам анализа (программа Kubios HRV Standard 3.5.0) [3].

Показателям, соответствующим первой части задания, под метроном, присваивался класс 1 – легкий, а соответствующим второй части, по памяти – класс 2, то есть сложный. Таблица с массивом данных проверялась на предмет «выбросов» (outlier detection), которые исключались из дальнейшего анализа. Затем весь массив данных использовался для построения классификационных моделей.

Применяли пять вариантов, предлагаемых в стандартном пакете статистических программ Statistica 12 (StatSoft) – Data Miner Recipes: Support Vector Machine (SVM), Classification and Regression Trees (C&RT), Random Forest, Boosted Trees, Neural Network (70% – обучающая выборка, 30% – тестовая).

## Результаты

Исходно в построение классификационных моделей была включена 41 запись в процессе выполнения более простого этапа (под метроном) и 41 – более сложного (по памяти). В качестве предикторов изначально были 32 переменные, отражающие различные физиологические показатели. На предварительном этапе из всех переменных были выбраны 14 наиболее значимых предикторов, позволяющих классифицировать этапы задания: SD2/SD1, амплитуда торакального дыхания, SD2, LF/HF, ЧСС (макс-мин), разница между абдоминальным и торакальным дыханием, кожная проводимость, амплитуда ФПГ, частота дыхания, ЧСС макс, ЭМГ мышц лба, амплитуда абдоминального дыхания, частота альфа-пика в ЭЭГ, мощность бета-ритма. Наиболее точную классификацию продемонстрировала модель Classification and Regression Trees (C&RT) – в среднем ошибка составила 18,3%. Точность классификации простой части (удержание ритма под метроном) была несколько выше (ошибка 15,8%), чем более сложной части (удержание ритма по памяти) – ошибка 20,5%. В тех случаях, когда классификатор присваивал неверный класс (более сложную часть по памяти классифицировал как более простую), можно предположить две причины: 1) спортсмен выполнял вторую часть так же хорошо, как первую (а в отдельных случаях даже лучше); 2) спортсмен выполнял вторую часть значительно хуже первой (более чем на 200% росла вариация интервалов).

## Выводы

Применение мультимодальной регистрации физиологических показателей, отражающих состояние различных систем организма, показало значимость самых разных параметров в отношении такой сенсомоторной задачи, как удержание заданного ритма под метроном и по памяти. В перспективе построение математической модели позволит классифицировать сложность выполнения различных задач для спортсменов с использованием минимального и достаточного набора физиологических индикаторов его состояния.

## Список литературы

1. Charles R.L., Nixon J. Measuring mental workload using physiological measures: a systematic review // Applied Ergonomics. – 2019. – Vol. 74. – P. 221–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.028>
2. Zhang J., Yin Z., Cheng P., Nichele S. Emotion recognition using multi-modal data and machine learning techniques: A tutorial and review // Information Fusion. – 2020. – Vol. 59, No 1. – P. 103–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.01.011>
3. Tarvainen M.P., Niskanen J.-P., Lipponen J.A., Ranta-Aho P.O., Karjalainen P.A. Kubios HRV–heart rate variability analysis software // Computer Methods and Programs in Biomedicine. – 2014. – Vol. 113, No 1. – P. 210–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>

## References

1. Charles R.L., Nixon J. Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 2019, 74, pp. 221–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.028>
2. Zhang J., Yin Z., Cheng P., Nichele S. Emotion recognition using multi-modal data and machine learning techniques: A tutorial and review. *Information Fusion*, 2020, 59 (1), pp. 103–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.01.011>
3. Tarvainen M.P., Niskanen J.-P., Lipponen J.A., Ranta-Aho P.O., Karjalainen P.A. Kubios HRV—heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2014, 113 (1), pp. 210–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>

---

## Сведения об авторах

**Ковалева Анастасия Владимировна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр новых и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» (НИИ Нормальной физиологии им. П.К. Анохина), психолог ГКУ «Центр инновационных спортивных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта города Москвы (ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта)

E-mail: [anastasia\\_kovaleva@hotmail.com](mailto:anastasia_kovaleva@hotmail.com)

## Для цитирования:

Ковалева А.В. Классификация уровня сложности сенсомоторной задачи для спортсменов на основании физиологических показателей методами машинного обучения // Российский журнал информационных технологий в спорте. – 2024. – Т. 1, № 1. – С. 17–20. DOI: <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2024-1-1-17-20> EDN: FTFHIY

---

## Cite as:

Kovaleva A.V. Classification a sensorimotor task level of complexity for athletes based on physiological indicators using machine learning methods. *Russian Journal of Information Technology in Sports*, 2024, 1 (1), pp. 17–20 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2024-1-1-17-20> EDN: FTFHIY

---

*Статья поступила в редакцию: 20.12.2023*

*Статья принята в печать: 25.01.2024*

*Статья опубликована: 13.03.2024*