

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ПОСЛЕ ИСТОЩАЮЩЕЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

С.А. Прохожий, Э.С. Питкевич

Учреждение образования «Витебский государственный университет  
имени П.М. Машерова»

Оценка функционального состояния спортсменов, определение их спортивной формы, возможность достижения прогнозируемого результата являются одними из самых приоритетных вопросов в процессе спортивной подготовки.

Цель статьи – прогнозирование уровня физической подготовки спортсменов по определенному показателю – индексу функционального состояния организма и готовности к выполнению физической работы (Health).

**Материал и методы.** В качестве материалов для исследования применялись данные измерений показателя индекса (Health) студентов после выполнения упражнений с периодичностью регистрации через 4 минуты. Использованы методы выборочного наблюдения, группировки, нейросетевого анализа.

**Результаты и их обсуждение.** Проведены двухэтапные обследования студентов ВГМУ с четырехминутным интервалом для исследования динамики изменения интегрального показателя Health, а также для вынесения экспертного заключения о принадлежности испытуемого к определенной группе по скорости восстановления функционального состояния организма. Результаты обработки данных представлены таблицами и графиками, на основе которых эксперт принимает решение об отнесении студента к той или иной группе по скорости восстановления интегрального показателя Health. С использованием модуля «Автоматизированные нейронные сети» системы статистического анализа STATISTICA построен ансамбль искусственных нейронных сетей для прогнозирования динамики восстановления функционального состояния.

**Заключение.** Полученные результаты могут найти применение при подготовке спортсменов для составления оптимального режима тренировок, а также для составления графика физических нагрузок для студентов высших учебных заведений.

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, анализ данных, индекс Health.

# PREDICTION OF THE REHABILITATION OF THE ORGANISM FUNCTIONAL STATE AFTER EXHAUSTIVE PHYSICAL EXERCISE

S.A. Prokhozhiy, E.S. Pitkevich

Educational Establishment "Vitebsk State P.M. Masherov University"

Assessment of the organism functional state, testing sportsmen's competition form and achieving maximal result are the most priority issue in the process of athletic performance.

The purpose of the article is prediction of sportsmen's performance level based on the index of organism functional state (Health-index).

**Material and methods.** The material source is measurement data of students' Health-index after physical exercises made at 4 min intervals. The methods of sample survey, categorization and neural network analysis are used.

**Findings and their discussion.** Two-stage measurements at 4 min interval of students of Vitebsk State Medical University are made both for the investigation of Health-index dynamic pattern and making expert advice. Taking into account sportsman's rehabilitation speed of organism functional state, the expert concludes what category we should place him into. Derived results are represented by tables and graphs. Further, using the module "Automated Neural Networks" of the software package STATISTICA, the artificial neural network ensemble is built in order to predict the rehabilitation speed of the organism functional state.

**Conclusion.** The results may be applied both for making sportsmen's optimal exercise regime and compilation of the physical load schedule for higher educational establishment students.

**Key words:** artificial neural network, data analysis, Health-index.

Одними из самых приоритетных вопросов при подготовке спортсменов являются оценка их функционального состояния, определение спортивной формы, возможность достижения прогнозируемого результата. Установление уровня функциональной готовности спортсмена в реальном времени и прогноз в ближайшем и

отдаленном периодах является насущной проблемой для специалистов спортивной медицины, тренеров и самих атлетов. В настоящее время в этих целях используются многочисленные методы скрининг-диагностики: функциональные методы, лабораторные тесты, психофизиологические диагностические комплексы, нагрузочные и фармакологические пробы и многие другие. Их диагностическая значимость для оценки функционального состояния организма прогноза специфической физической работоспособности не однозначна. Ограничением для многих применяемых сегодня тестов в спортивной педагогике является слишком большой временной интервал от момента обследования до получения заключения; кроме того, результаты обследований далеко не всегда однозначно трактуются специалистами. Решение этой проблемы достигается созданием новых и совершенствованием существующих методов диагностики, терапии и реабилитации, базой для разработки которых выступают современный уровень математического анализа и прогнозирования, а также компьютерные технологии. Обозначенным задачам соответствует созданная в космической медицине в 70-х годах XX столетия технология анализа variability ритмов сердца по RR-интервалам электрокардиограммы. Она оказалась очень плодотворной, и в настоящее время анализ variability сердечного ритма является одной из самых популярных методик [1; 2]. Космические технологии оценки variability сердечного ритма внедрены в практику здравоохранения и физиологии [3], что достаточно полно в нынешнее время отражено в материалах VI Всероссийского симпозиума с международным участием, посвященного 85-летию образования Удмуртского государственного университета [3–5].

Результаты клинической медицины, а также ставшие известными данные о функциональном состоянии космонавтов в процессе специальной подготовки, в том числе при использовании сверхинтенсивных психических и физических нагрузок, явились основой применения методов variability сердечного ритма в спортивной педагогике и спортивной медицине. Практически этот метод используется во всех видах спорта и во всех вариантах тренировок и соревнований. Широко известны аппаратно-компьютерные комплексы «Омега-М» производства фирмы «Динамика», которые позволяют объективно и документально представить характеристику состояния организма непосредственно после завершения регистрации 300 кардиокомплексов электрокардиограммы. Продолжительность обследования составляет 5–6 минут. Современные электрокардиографы оснащаются программами как для краткосрочного, так и для продолжительного анализа, включая непрерывную регистрацию в течение многосуточных космических полетов. В спорте наиболее известны в настоящее время разработки Н.И. Шлык [4] и Е.А. Гавриловой [5; 6].

Выявление показателей variability сердечного ритма позволяет прогнозировать физические возможности спортсменов, определить критерии отбора для занятий спортом, более рационально строить график тренировок и осуществлять контроль состояния здоровья спортсменов [7].

В [8] при помощи программно-аппаратного комплекса «Омега-М» изучалось влияние величины динамической нагрузки на показатели variability сердечного ритма и функциональное состояние организма, определяемые по данным измерений, полученным комплексом. Однако регулярные измерения не всегда возможны в силу различных обстоятельств (недоступность эксперта, отсутствие квалифицированного персонала для работы с комплексом и т.п.). В связи с этим актуальной задачей становится возможность прогнозирования функционального состояния спортсмена, а также предсказания реакции его организма на физические нагрузки.

Цель статьи – прогнозирование уровня физической подготовки спортсменов по определенному показателю – индексу готовности к выполнению физической нагрузки (Health).

**Материал и методы.** Исследование проходило в Витебском государственном ордена Дружбы народов медицинском университете с применением программно-аппаратного комплекса «Омега-М». Проведено 143 измерения различных показателей 13 студентов второго курса лечебного факультета дневного отделения с физической нагрузкой только на занятиях физической культурой. Группа однородна по возрасту. Обследование проводилось в одни и те же дни недели и время суток. Для сравнительного анализа показателей применялся режим динамического наблюдения с экспортом полученных данных в таблицы Excel. В дальнейшем обработка и прогнозирование выполнялись с использованием аппарата искусственных нейронных сетей [9] в системе статистического анализа Statistica.

В качестве материалов для исследования применялись данные измерений показателя состояния организма студентов после выполнения упражнений с периодичностью 4 минуты. При этом учитывались следующие показатели аппаратно-компьютерного комплекса «ОМЕГА»:

- частота сердечных сокращений, уд./мин (ЧСС);
- интегральный показатель функционального состояния, % (Health);
- мода, мс;
- вариационный размах, мс (dX);
- высокочастотный компонент спектра (HF);
- низкочастотный компонент спектра (LF);
- соотношение частот спектра (LF/HF);

- полный спектр частот (Total);
- индекс напряженности, у.е. (ИН);
- стандартное отклонение разностей соседних RR-интервалов, мс (SDSD).

Мода (Mo) указывает на доминирующий уровень функционирования синусного узла, при симпатотонии мода минимальна, при ваготонии – максимальна. Вариационный размах (dX) – разница между максимальным и минимальным значениями RR-интервалов (чем он выше, тем больше выражено влияния вагуса на ритм сердца). Высокие частоты (HF – High Frequency, быстрые колебания) отражают влияние парасимпатического отдела ВНС на модуляцию сердечного ритма. Низкие частоты (LF – Low Frequency, медленные колебания) отражают преимущественно влияние симпатико-адреналовой системы. Соотношение симпатических и парасимпатических влияний характеризуется с помощью отношения мощностей LF/HF. При этом при повышении тонуса симпатического отдела данный показатель значительно возрастает, при ваготонии – наоборот снижается. Полный спектр частот (Total) является интегральным и отражает воздействие и симпатического, и парасимпатического отдела автономной нервной системы. При этом усиление симпатических воздействий приводит к уменьшению общей мощности спектра, а активация вагуса – к обратному воздействию. Индекс напряжения (ИН) регуляторных систем (нормальные значения ИН – 10–100) характеризует, в основном, активность симпатического отдела вегетативной нервной системы и снижение вагусных влияний на ритм сердца. При эмоциональном стрессе и физической работе значения ИН увеличиваются до 300–500 единиц. SDNN (Standart Deviation of the NN interval) зависит от влияния на синусовый узел симпатического и парасимпатического отделов ВНС. Увеличение или уменьшение этого показателя свидетельствует о смещении вегетативного баланса в сторону преобладания одного из отделов ВНС.

После выполнения работы в виде приседаний до отказа последовали повторные обследования с четырехминутным интервалом для изучения динамики изменения интегрального показателя организма Health, а также для вынесения экспертного заключения о принадлежности испытуемого к определенной группе по скорости восстановления функционального состояния организма.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты обработки данных представлены таблицами и графиками, на основе которых эксперт принимает решение об отнесении студента к той или иной группе по скорости восстановления интегрального показателя здоровья Health.

По данным таблиц и графиков экспертом были определены 4 группы испытуемых:

1. *Отличная физическая подготовка и высокая скорость восстановления.*
2. *Хорошая физическая подготовка, но не столь высокая скорость восстановления.*
3. *Средний уровень физической подготовки и средняя скорость восстановления.*
4. *Низкий уровень физической подготовки и низкая скорость восстановления.*

Например, для одного из обследуемых получены следующие результаты измерений интегрального показателя функционального состояния организма и на их основе построен следующий график (рис. 1).



Рис. 1. Результаты измерений индекса Health

Из данного графика видно, что вначале происходит резкое падение показателя Health до 8%. Далее наблюдается его плавное восстановление практически до исходного уровня, а затем повторный спад с последующим восстановлением (так называемое «второе дыхание»). На основании визуального анализа этого графика эксперт выносит заключение о принадлежности испытуемого к 3-й группе.

Рассмотрим методику прогнозирования экспертного заключения на примере. Получены следующие экспериментальные данные по испытуемому (рис. 2):

Health – Интегральный показатель состояния	
69,40950584	
28,65638435	
35,97338775	
36,02195418	
23,41551985	
22,15939964	
46,60140277	
36,73405501	
58,08167556	
60,51399066	
40,14491055	
45,09188615	

Рис. 2. Индекс Health у тестируемого студента

Для составления прогноза о принадлежности студента к той или иной группе эти данные экспортируются в пакет Statistica, где уже сохранены обученные на предыдущих экспериментальных данных нейронные сети. В результате каждая сеть дает свой прогноз экспертного заключения. Консолидированное мнение всего ансамбля сетей и является искомым результатом.

Рис. 3. Прогнозы нейросетей

Как видно из рис. 3, большинство сетей отнесли данного испытуемого ко 2-й группе, что визуально подтверждается общей формой графика, изображенного на рис. 4.



Рис. 4. График восстановления тестируемого

**Заключение.** Таким образом, использование модуля «Автоматизированные нейронные сети» системы статистического анализа Statistica позволило на основе экспериментальных данных построить ансамбль искусственных нейронных сетей для прогнозирования динамики восстановления функционального состояния организма после истощающей физической нагрузки.

Полученные результаты могут найти применение при подготовке спортсменов для составления оптимального режима тренировок, а также для составления графика физических нагрузок для студентов высших учебных заведений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баевский, Р.М. Теоретические и прикладные аспекты оценки и прогнозирования функционального состояния организма при действии факторов длительного космического полета / Р.М. Баевский. – М., 2005. – 36 с.
2. Баевский, Р.М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов // Новые методы электрокардиографии / под ред. С.В. Грачева, Г.Г. Иванова, А.Л. Сыркам. – М.: Техносфера, 2007. – С. 473–498.
3. Берсенева, Е.Ю. Внедрение космических технологий оценки вариабельности сердечного ритма в практику здравоохранения и прикладную физиологию / Е.Ю. Берсенева, О.Н. Исаева, А.Г. Черникова, О.И. Усс // Материалы VI Всероссийского симпозиума с международным участием, посвященного 85-летию образования Удмуртского государственного университета. – Ижевск, 2016. – С. 71–76.
4. Шлык, Н.И. Ритм сердца и тип регуляции при оценке функциональной готовности организма юных и взрослых спортсменов / Н.И. Шлык // Материалы VI Всероссийского симпозиума с международным участием, посвященного 85-летию образования Удмуртского государственного университета. – Ижевск, 2016. – С. 20–25.
5. Гаврилова, Е.А. Вегетативная регуляция ритма сердца как критерий назначения фармакологической коррекции в спорте / Е.А. Гаврилова // Материалы VI Всероссийского симпозиума с международным участием, посвященного 85-летию образования Удмуртского государственного университета. – Ижевск, 2016. – С. 96–101.
6. Гаврилова, Е.А. Ритмокардиография в спорте / Е.А. Гаврилова. – СПб.: Изд-во СЗГМУ, 2014. – 164 с.
7. Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода / В.М. Михайлов. – Иваново, 2000. – 200 с.
8. Питкевич, Э.С. Динамика восстановления функционального состояния организма после истощающей физической нагрузки / Э.С. Питкевич, Б.Г. Шацкий, В.Г. Шпак, Н.А. Макарова // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2016. – № 3(92). – С. 39–43.
9. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – 2-е изд. – М.: Издательский дом Вильямс, 2006. – 1104 с.

#### REFERENCES

1. Baevskiy R.M. *Teoreticheskiye i prikladniye aspekti otsenki i prognozirovaniya funktsionalnogo sostoyaniya organizma pri deistvii faktorov dlitel'nogo kosmicheskogo poleta* [Theoretical and Applied Aspects of Assessment and Prediction of the Organism Functional State during Long-Duration Space Mission], Moscow, 2005, 36 p.
2. Baevskiy R.M., Ivanov G.G. *Noviye metody elektrokardiografii* [New Methods of Electrocardiography], Moscow, 2007, pp. 473–498.
3. Berseneva E.Yu., Isaeva O.N., Chernikova A.G., Uss O.I. *Materiali VI Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiyem, posviashchennogo 85-letiyu obrazovaniya Udmurtskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of VI all-Russian Symposium (with International Participation) Devoted to the 85<sup>th</sup> Anniversary of Udmurt State University], Iszevsk, 2016, pp. 71–76.
4. Shlyk N.I. *Materiali VI Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiyem, posviashchennogo 85-letiyu obrazovaniya Udmurtskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of VI all-Russian Symposium (with International Participation) Devoted to the 85<sup>th</sup> Anniversary of Udmurt State University], Iszevsk, 2016, pp. 20–25.
5. Gavrilova E.A. *Materiali VI Vserossiiskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiyem, posviashchennogo 85-letiyu obrazovaniya Udmurtskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of VI all-Russian Symposium (with International Participation) Devoted to the 85<sup>th</sup> Anniversary of Udmurt State University], Iszevsk, 2016, pp. 96–101.
6. Gavrilova E.A. *Ritmokardiografiya v sporte* [Rythmocardiography in Sports], Saint-Petersburg, 2014, 164 p.
7. Mikhailov V.M. *Variabelnost ritma serdtsa. Opyt prakticheskogo primeneniya metoda* [Variability of Heart Rhythm. Implementation Experience of the Method], Ivanovo, 2000, 200 p.
8. Pitkevich E.S., Shatskiy B.G., Shpak V.G., Makarova N.A. *Vesnik Vitsebskaga dzharzhavnaga universiteta imia P.M. Masherova* [Journal of Vitebsk State P.M. Masherov University], 2016, № 3(92), pp. 39–43.
9. Haykin S. *Neironniye seti: polniy kurs* [Neural Networks], Moscow, Izdatelski dom Williams, 2008, 1104 p.

Поступила в редакцию 16.01.2020

Адрес для корреспонденции: e-mail: kinfiit@vsu.by – Прохожий С.А.