

УДК 612.88:612.886:612.017.2):796.83

DOI 10.37279/2413-1725-2021-7-2-179-190

## МЕТОДОЛОГИЯ МНОГОФАКТОРНОГО АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РЕЗЕРВОМЕТРИИ В СПОРТЕ ВЫСШИХ ДОСТИЖЕНИЙ

*Хадарцев А. А.<sup>1</sup>, Минина Е. Н.<sup>2</sup>, Ластовецкий А. Г.<sup>3</sup>, Хромушин В. А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Тульский государственный университет, Тула, Россия*

<sup>2</sup>*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

<sup>3</sup>*ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, Россия*

*E-mail: cere-el@yandex.ru*

Спорт высших достижений требует максимально полного включения психофизических возможностей спортсмена, что нуждается в принципиально ином подходе, по сравнению с массовыми видами спорта, в подготовке спортсменов с использованием современных научных методов диагностики функционального состояния организма. Выявлено, что дисфункциональная направленность регуляторных механизмов у квалифицированных спортсменов в группах с нарушением ритма и нарушением процессов реполяризации на фоне снижения физической работоспособности и напряжения механизмов адаптации достоверно классифицировалось фазографическими скоростными показателями электрической активности сердца, что было определено на основе референтных границ скоростных показателей электрической активности сердца с помощью АМКЛ. Многофакторный анализ показателей функционального состояния организма спортсмена с применением АМКЛ может явиться методологией решения задач резервометрии в спорте высших достижений.

**Ключевые слова:** многофакторный анализ, алгебраическая модель конструктивной логики, резервометрия.

### ВВЕДЕНИЕ

Спорт высших достижений требует максимально полного включения психофизических возможностей спортсмена, что нуждается в принципиально ином подходе, по сравнению с массовыми видами спорта, к подготовке и диагностике функционального состояния организма (ФСО) спортсменов с использованием современных научных методов. Анализ ФСО по отдельным факторам или анализ только конечного результата, не позволяет выявить слабые места и оценить резервы организма спортсмена, а нуждается в использовании многофакторного анализа полученных первичных данных, характеризующих ФСО [1].

Для раннего выявления нарушения стресс-индуцированных нарушений миокарда актуально использовать диагностические методы, позволяющие в режиме мониторинга информативно и объективно оценивать динамику значимых показателей. При этом производить такую оценку не только на плановых углублённых медицинских осмотрах 2 раза в год, а в процессе учебно-тренировочной и соревновательной деятельности в рамках оперативного

тестирования, что дополнительно позволит выявлять особенности адаптационных резервов сердечной деятельности. При этом важна простота и возможность применения в широком диапазоне условий диагностических методов и экспертных решений.

Важно отметить, что в процессе первичной профилактики сердечно-сосудистой патологии в спорте высших достижений важно выявление индикаторов, информативно отражающих риски возникновения патологии. Однако по данным ФГБУ «Центральный НИИ организации и информатизации здравоохранения» Министерства Здравоохранения РФ вопрос, какие показатели принимать за индикаторы и мониторировать, остаётся открытым [2].

Указанным требованиям к многофакторному анализу удовлетворяет алгоритм алгебраической модели конструктивной логики (АМКЛ), который используется в здравоохранении [3–7]. АМКЛ как аналитический инструмент позволяет выполнять сложные аналитические расчеты и строить на их основе экспертные системы, что является важным направлением исследований в медикобиологической области.

**Цель** данной работы составила оценка возможностей многофакторного анализа как методологии решения задач резервометрии у спортсменов [8].

**Задачи:**

- применить многофакторный анализ для выявления референтных границ показателей электрической активности сердца в норме и при срыве адаптации у квалифицированных спортсменов;
- оценить возможности использования многофакторного анализа АМКЛ для определения индикаторов эффективности адаптации у спортсменов.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для участия в исследовании были отобраны 182 квалифицированных спортсмена-юноши 19–22 лет ( $20,5 \pm 1,5$ ), занимающихся видами спорта с высокой динамической и статической компонентой (футбол, баскетбол, волейбол, бокс, плавание, лёгкая атлетика), согласно классификации, Mitchell J. H. и соавт., находящихся на этапе совершенствования спортивного мастерства.

Активных жалоб никто не предъявлял. Однако при настойчивом сборе и изучении анамнеза у спортсменов, было определено, что состояние дискомфорта в разной степени в области сердца, эпизоды снижения работоспособности и недовосстановления испытывали все спортсмены.

Спортсмены находились в середине подготовительного периода годового цикла спортивной подготовки. Все спортсмены были сформированы в 3 группы:

Группа НР – 74 спортсмена характеризовались признаками хронического физического перенапряжения и нарушениями ритма по данным ЭКГ и Холтеровского мониторирования (эктопические нарушения ритма и миграция водителя ритма у 35 юноша (47 %), суправентрикулярная и желудочковая экстрасистолия у 15 спортсмена (22 %), атриовентрикулярная блокада 1 степени – 14 атлета (18 %), атриовентрикулярная блокада 2 степени – 10 атлетов (13 %).

Группа НПП – 67 спортсмена характеризовались признаками хронического физического перенапряжения и относились к 1 и 2 стадиям дистрофии миокарда,

согласно классификации А. Г. Дембо в модификации Л. А. Бутченко и имели различные нарушения процессов реполяризации (изменения конечного отдела желудочкового комплекса (сегмента ST и зубца T), снижение зубца T менее 10 % от R в левых грудных отведениях (V5-V6), двугорбый или двухфазный зубец T в V1-V3, двухфазный или отрицательный зубец T во II и III стандартных отведениях).

Группа К – 39 спортсменов без изменений на ЭКГ покоя и в нагрузке, без наличия соматических заболеваний по данным диспансеризации, острых инфекционных заболеваний в течение 3х недель до исследования, жалоб на момент исследования – группа контроля.

Во всех группах были оценены особенности нейрогуморальной регуляции в покое и при ступенчато возрастающей нагрузке при велоэргометрии, оценена физическая работоспособность и дана характеристика фазографическим скоростным показателям электрической активности сердца.

Исследование вегетативной регуляции осуществляли методом автоматизированной электрокардиографии и методика вариационной пульсометрии (по Р. М. Баевскому).

С помощью ПТК «ФАЗАГРАФ®» регистрировали показатели вариационной пульсометрии, рассчитываемые автоматически по данным тахограмм, спектрограмм и стандартизированной интервалограммы. Длительность наблюдения при регистрации показателей составляла 5 минут при каждом измерении.

Автоматически рассчитывались: средняя продолжительность интервалов R-R (RR), стандартное отклонение интервалов R-R (SDNN), коэффициент вариации (Dx), индекс напряжения регуляторных систем (ИН), моду (Mo, мс), амплитуду моды (AMo, %), спектральные показатели сердечного ритма: высокочастотная компонента (HF, %), медленные волны 1-го порядка (LF, %), медленные волны (VLF, %), коэффициент вагосимпатического баланса рассчитывали по формуле LF/HF (усл. ед.).

При велоэргометрии (ВЭМ) на велоэргометре ВЭ-02 оценивали физическую работоспособность (кгм/мин) по методике В. Л. Карпмана с соавт. (1974). Она предполагала выполнение 2 нагрузок возрастающей мощности (продолжительностью каждая 5 мин) с интервалом отдыха 3 минуты. Измеряли значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), уровень артериального давления (АД), исходно и на каждой ступени нагрузки. Систолическое артериальное давление (САД, мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (ДАД, мм рт. ст.) измеряли методом М. С. Короткова. Адаптационный потенциал определяли расчётным способом по Р. М. Баевскому.

Оценивали уровень максимального потребления кислорода (МПК) в мл/мин/кг, реакцию АД, клинические и ЭКГ-признаки нарушения функции миокарда.

МПК рассчитывали по формуле  $MПК = (1,7 \times PWC170 + 1240) / \text{вес (кг)}$

Регистрация электрического сигнала миокарда и получение фазометрических и фазографических данных осуществлялась в покое с использованием графитовых пальцевых электродов информационно-программного электрокардиографического комплекса ФАЗАГРАФ®, в котором реализована оригинальная информационная технология обработки электрокардиосигнала в фазовом пространстве с

использованием идей когнитивной компьютерной графики и методов автоматического распознавания образов [9, 10].

При статистическом анализе результатов проведенных исследований использовались пакеты компьютерных программ SPSS 12.0 и Statistica 8.0.

При нормальном распределении в качестве мер центральных тенденций определяли значение среднего ( $M$ ) и ошибку стандартного отклонения ( $Sx$ ) – ( $M \pm Sx$ ). Для выявления внутригрупповых различий в случае нормально распределенных данных применяли  $t$ -критерий Стьюдента.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Возможность миокарда потреблять кислород, являясь чувствительным индикатором приспособления при увеличении внешней нагрузки, может быть лимитирующим фактором аэробных функциональных возможностей всего организма. При этом повышение потребности миокарда в кислороде и неспособность организма её обеспечивать, приводят к ишемическим нарушениям. При состоянии ишемии в миокарде страдают все процессы мембранного электрогенеза: возбудимость клеток миокарда, автоматизм биоэлектрических процессов в миокарде, и в том числе процессы де- и реполяризации. Mitchell J. H. и соавторами отмечают: – «...что с увеличением требований к аэробной производительности в процессе тренировочной деятельности по показателю МПК, увеличивается процент спортсменов с зафиксированными нарушениями кардиогемодинамического функционирования». Значительная роль нервно-психического фактора на фоне усиленных тренировочных нагрузок в развитии сердечно-сосудистых нарушений у квалифицированных спортсменов аргументирует изучение вегетативной дисфункции у юношей с нарушением процессов реполяризации и при нарушении ритма. Как известно, нарушение вегетативной деятельности может иметь решающее значение в развитии АВ-блокад, экстрасистолий и других нарушений ритма. Так же показана ведущая роль вегетативной дисфункции в развитии дистрофии миокарда физического перенапряжения.

В Таблице 1. отображены особенности нейрогуморальной регуляции сердечного ритма квалифицированных спортсменов 19–22 лет с нарушением процессов реполяризации, нарушением ритма и в контрольной группе.

В группах спортсменов с реполяризационным и аритмическим синдромом, в отличие от группы контроля были выявлены особенности вегетативной регуляции ритма сердца. С изменением типа вегетативной регуляции от симпатической к парасимпатической в группах с ЭКГ-нарушениями происходило выраженное отклонение физиологических параметров.

Так, в группе НР относительно контрольной группы наблюдалось значительное снижение ИН в среднем на 45 % ( $p < 0,05$ ) и показателя вагосимпатического баланса LF/HF более чем в 4 раза ( $p < 0,001$ ), на 50 % ( $p < 0,01$ ) показателя очень низких частот ритма сердца (VLF,  $ms^2$ ), который тесно связан с психоэмоциональным напряжением. Эти факты свидетельствовали о преобладании влияния центров парасимпатической регуляции на деятельность сердца.

Таблица 1

Показатели нейрогуморальной регуляции сердечного ритма квалифицированных спортсменов 19-22 лет с нарушениями кардиогемодинамического функционирования и в контрольной группе (M± Sx), n = 182

Показатели	Условия	Группы			Достоверность 1-3
		НР (n = 74) (1)	НПР (n = 67); (2)	К (n = 39) (3)	
VLF, мс <sup>2</sup>	покой	654,9±145,3	1599,5±324,4	1226,2±453,6	1-2,3 (<0,01)
	РВП	355,7±98,5**	690,5±150,5*	1010,6±237,5	1-2 (<0,01) 1-3 (<0,001) 2-3 (<0,001)
LF/HF, у.е.	покой	0,25±0,05	2,10±0,63	1,25±0,23	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,05) 2-3 (<0,05)
	РВП	0,56±0,05**	4,56±0,58**	1,54±0,39*	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,01) 2-3 (<0,001)
ИИ, у.е.	покой	25,0±2,5	205,3±55,8	55,9±18,6	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,05) 2-3 (<0,001)
	РВП	94,7±3,2**	295,9±54,6*	90,3±22,9*	1-2 (<0,01) 2-3 (<0,001)
SDNN, мс	покой	95,9±5,8	27,5±1,5	49,6±2,2	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,01) 2-3 (<0,001)
	РВП	66,4±4,5***	20,4±1,7***	36,5±2,5**	1-2 (<0,001) 1-3 (<0,01) 2-3 (<0,05)

Примечания: РВП – ранний восстановительный период 3 мин; \* – различия показателей достоверны относительно группы контроля (p<0,05); \*\* – (p<0,01); \*\*\* – (p<0,001) различия достоверны по t-критерию Стьюдента

При этом наиболее значительные различия, по сравнению с контролем, по показателю SDNN выявлены в группе спортсменов из группы НР.

Увеличение значений этого показателя в группе с НР в среднем на 65 % (p<0,01) в сравнении с группой контроля отражают «функцию разброса» длительностей кардиоинтервалов. Механизм регуляции сердечного ритма у спортсменов этой группы характеризовал перестройку на автономный контур регулирования. Усиление влияния парасимпатического отдела с минимальной централизацией управления проявляется дыхательной синусовой аритмией.

В данном случае можно говорить о реакциях дезадаптации при несбалансированности ответа отделов автономной нервной системы.

Значения VLF-спектра, количественно отражающие активность сердечно-сосудистого подкоркового нервного центра или надсегментарных уровней регуляции, были значительно снижены в группе НР по сравнению со спортсменами контрольной группы. Известно, что гуморально-метаболическая система является самой медленной системой регуляции. Она связана с активностью тканевых гормонов, циркулирующих в крови гормонов и отражает уровень основного обмена, терморегуляции, эрготропных функций.

В группе спортсменов НПП установлено, что мощность волн очень низкой частоты была больше в два раза ( $p < 0,01$ ), чем в группе спортсменов НР и не различалась от значений группы контроля. Однако на фоне большего на 60 % ( $p < 0,05$ ) показателя вагосимпатического баланса в группе НПП и в 4 раза большего ИН ( $p < 0,001$ ) было выявлено снижение значения SDNN в среднем в два раза ( $p < 0,001$ ) в данной группе относительно группы контроля, что отображало преобладание симпатической регуляции. При этом избыточная активация симпатoadренальной системы, сопровождалась не оптимальной реактивностью парасимпатического отдела ВНС.

Исследование вегетативного обеспечения деятельности на основании спектрального и временного анализа сердечного ритма после физической нагрузки установило, что в группе НПП происходило достоверное увеличение коэффициента LF/HF в два раза ( $p < 0,001$ ), увеличивался ИН на 43 % ( $p < 0,05$ ), что свидетельствовало об избыточной активации симпатoadренальной системы. Данный факт подтверждает и снижение SDNN на 36 % ( $p < 0,001$ ).

В группе НР в 2 раза ( $p < 0,01$ ) уменьшается показатель очень низких частот ритма сердца (VLF,  $мс^2$ ), что свидетельствовало о недостаточной активации механизмов гуморальной и симпатической регуляции деятельности сердечной мышцы. Такой механизм переэкономизации деятельности сердечно-сосудистой системы нарушает мобилизацию функции и в конечном счёте снижает адаптацию к физической нагрузки, что может свидетельствовать о функциональном дисбалансе сердечно-сосудистой системы спортсменов группы НР.

Таким образом, нейрогуморальная регуляция в группе НПП при регуляции сердечным ритмом характеризовалась эрготропными церебральными симпатическими влияниями на фоне снижения парасимпатического влияния. Напротив в группе НР отмечалось преувеличенное влияние парасимпатического отдела нервной системы на фоне падения симпатических и гуморальных воздействий. Такое смещение вегетативных механизмов в исследуемых группах не обеспечивало рациональное обеспечение деятельности и характеризовало симпатическое влияние в группе НПП как избыточное, а в группе НР – как недостаточное.

Полученные результаты подтверждают тезис о вегетативной дисфункции на системном или органном уровне и как результате вегетативном дисбалансе, как главном патогенетическом звене в формировании кардиологических нарушений, в том числе нарушения реполяризации миокарда и нарушении ритма.

Результатом снижения эффективности и экономичности функционирования на фоне вегетативного дисбаланса, выраженного в группах сравнения в разной

степени, явилось падение уровня физической работоспособности и напряжение механизмов адаптации у квалифицированных спортсменов в группах ННР и НР (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели физической работоспособности и адаптационного потенциала квалифицированных спортсменов 19-22 лет с нарушениями кардиогемодинамического функционирования и в контрольной группе (M± Sx), n = 182**

Показатели	Группы			Достоверность
	НР (n = 74) (1)	ННР (n = 67); (2)	К (n = 39) (3)	
PWC <sub>170</sub> /кг, Вт/кг	3,01±0,13	2,68±0,25	3,65±0,15	1-3 (<0,001) 2-3 (<0,001)
АП, у.е.	2,13±0,03	2,25±0,03	1,90±0,03	1-2 (<0,01) 1-3 (<0,001) 2-3 (<0,001)

*Примечания:* \* – различия показателей достоверны относительно группы контроля (p<0,05); \*\* – (p<0,01); \*\*\* – (p<0,001) различия достоверны по t-критерию Стьюдента

Так, падение значений физической работоспособности у квалифицированных спортсменов в группе НР относительно юношей группы контроля произошло на 18 % (p<0,001), а в группе ННР на 27 % (p<0,001). Несмотря на отсутствие различий между группами НР и ННР, наименьшие значения были присущи юношам из группы ННР.

Высокий уровень работоспособности у юношей контрольной группы сопровождался оптимальными соотношениями адаптационных резервов по показателю АП, значение которого характеризовало состояние высоких резервов адаптации. Напротив, в группе ННР у исследуемых юношей АП указывает на функциональное напряжение адаптационных механизмов, будучи увеличенным на 18 % (p<0,001), относительно группы контроля. В группе НР также отмечался рост напряжения адаптационных механизмов при росте АП на 12 % (p<0,001).

Таким образом, дисфункциональная направленность регуляторных механизмов у квалифицированных спортсменов в группах НР и ННР привела к снижению физической работоспособности и напряжению механизмов адаптации.

К информативным показателям можно отнести изучаемые фазографические показатели электрической активности сердца. Фундаментальные электрокардиологические исследования показали, что именно скорость изменения потенциалов сердца и её неоднородность отражает степень электрогенности ионных насосов, состояние клеточных мембран и их способность к стабильному функционированию. Так же отмечается, что при увеличении внешнего стресс-фактора, изменение скоростных показателей ЭАС происходит раньше, чем изменение величины ТМП.

В результате математического моделирования при анализе показателей фазографических показателей электрической активности сердца у обследованных здоровых лиц и у обследованных квалифицированных спортсменов с нарушением процессов реполяризации (НПР) и нарушением ритма (НР) информативным показателем определён интервал QT фазового усреднённого кардиоцикла (ФУК) одноканальной ЭКГ. Интервал QT ЭКГ отражает суммарную продолжительность деполяризации и реполяризации кардиомиоцитов желудочков.

На Рисунке 1, а представлены зоны интервала QT ФУК, соответствующие дисфункциональному состоянию по результатам математического моделирования, которые находятся в диапазоне 0,46–0,56 с.

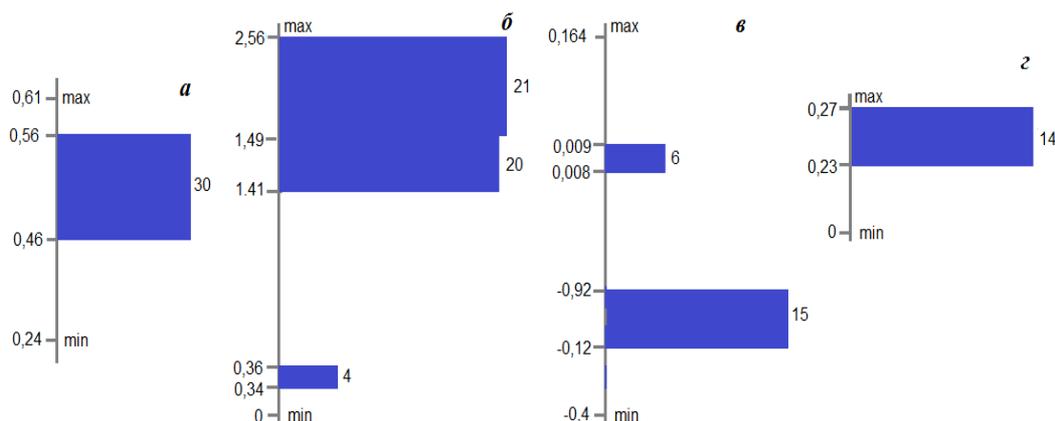


Рис. 1. Графическое отображение математической модели диапазона интервала QT (а), амплитуды зубца R (б), смещения сегмента ST (в), интервала PQ (г) фазового усреднённого кардиоцикла одноканальной ЭКГ, с, соответствующие дисфункциональному состоянию.

Очередной показатель, включённый в полученную математическую модель, – амплитуда зубца R фазового усреднённого кардиоцикла. В норме на 12-канальной ЭКГ амплитуда R не превышает 2 мв и сильно варьирует в зависимости от отведения. Деполяризация желудочков, на ЭКГ отражаемая зубцом R, обычно начинается в середине левой части межжелудочковой перегородки и направляется вперед и слева направо.

Оценивать амплитуду зубца R необходимо в нескольких отведениях. Математическая модель АМКЛ позволила уточнить репрезентативные значения зубца R фазового усреднённого кардиоцикла, характеризующие дисфункциональное состояние, в диапазоне  $R < 0,36$  мв и  $> 1,41$  мв (рис. 1, б.).

Смещение сегмента ST рассматривают как результат расстройства возбуждения вследствие повреждения отдельных отделов миокарда. На Рисунке 1, в диаграмма значений сегмента ST ( $ST < -0,92 > 0,008$  мв), полученная в результате АМКЛ-анализа, отражал значения, характерные дисфункциональному состоянию. Интервал PQ также вошёл в модель и имеет высокую информативность. Как известно,

интервал PQ –это расстояние (временной промежуток) от начала зубца P до начала зубца q (или зубца R; если зубец q отсутствует, тогда речь идет об интервале PR). Интервал PQ (PR) зависит от возраста, массы тела, частоты сердечного ритма. В норме интервал PQ составляет 0,12–0,18 (до 0,2) с. Для измерения интервала PQ выбирают то отведение, где хорошо выражены зубец P и комплекс QRS, например, II стандартное отведение. Погрешности можно избежать, если проводить измерение на многоканальном электрокардиографе. Однако при применении АМКЛ-анализа в оценке фазового усреднённого кардиоцикла получены достоверные значения этого показателя, характеризующие дисфункциональное функционирование (рис. 1, г.). Выявленный диапазон  $> 0,23$  с.

Результаты исследования соотношения площадей зубцов P/R и Q/R, вошедшие в математическую модель, открывают новые перспективы для дальнейших исследований.

Инновационность показателей ФУК предполагало отсутствие верифицированных ранее значений, характеризующих различные состояния. В данном случае АМКЛ позволило выявить наиболее значимые показатели ФУК для характеристики различных состояний и дифференцировать диапазоны их значений.

Таким образом, выявлено, что описательные показатели фазового усреднённого кардиоцикла, характеризующие временные признаки, с незначительными изменениями соответствуют общепризнанным значениям нормы. Показатели ФУК, отражающие амплитудные признаки, значительно отличаются от общепризнанных норм, проявляя новое интегральное качество фазового усреднённого кардиоцикла. С применением факторного анализа АМКЛ установлены маркеры-показатели фазового усреднённого кардиоцикла и их диапазоны, соответствующие дисфункциональному состоянию: QT – 0,46–0,56 с., R < 0,36 мВ и > 1,41 мВ., PQ > 0,23 с., смещение ST < -0,92 > 0,008.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Дисфункциональная направленность регуляторных механизмов у квалифицированных спортсменов в группах НР и ННР на фоне снижения физической работоспособности и напряжения механизмов адаптации достоверно классифицировалось фазографическими скоростными показателями электрической активности сердца, референтные границы которых были определены с помощью АМКЛ.
2. Инновационность показателей ФУК предполагало отсутствие верифицированных ранее значений, характеризующих различные состояния. В данном случае АМКЛ позволило выявить наиболее значимые показатели-индикаторы ФУК для характеристики различных состояний и дифференцировать диапазоны их значений.
3. Многофакторный анализ показателей функционального состояния организма спортсмена с применением АМКЛ может явиться методологией решения задач резервометрии в спорте высших достижений.

**Список литературы**

1. Агаджанян Н. А. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Агаджанян Н. А., Баевский Р. М., Берсенева А. П. // М.: Изд-во РУДН, 2006. – 284 с.
2. Стародубов В. И. Заключительный научный доклад "Усовершенствование сбора и использования статистических данных о смертности населения в Российской Федерации (Международный исследовательский проект ZAD913)" / В. И. Стародубов и соавт. // Москва: ЦНИИ организации и информатизации МЗ РФ, 2002. – 59 с.
3. Китанина К. Ю. Совершенствование методов исследования здоровья населения с использованием алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин, Д. А. Аверьянова // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – Т.22. №3. – С. 8–14.
4. Китанина К. Ю. Особенности построения экспертной системы на основе алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин, А. С. Дзасохов, О. В. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2015. – №3.
5. Китанина К. Ю. Целевая направленность многофакторного анализа с использованием алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, В. А. Хромушин, С. Ю. Федоров, О. В. Хромушин // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2015. – №3.
6. Хромушин В. А. Обзор аналитических работ с использованием алгебраической модели конструктивной логики / В. А. Хромушин, А. А. Хадарцев, О. В. Хромушин, Т. В. Честнова // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2011. – №1.
7. Китанина К. Ю. Подготовка данных для многофакторного анализа в медицине и биологии с помощью алгебраической модели конструктивной логики / К. Ю. Китанина, А. А. Хадарцев, О. В. Хромушин, А. Г. Ластовецкий // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – №1. – С. 48–53.
8. Минина Е. Н. Оптимизация скрининг-оценки кардиогемодинамики с использованием алгебраической модели конструктивной логики» / Е. Н. Минина; под ред. проф. А. А. Хадарцева, В. А. Хромушина. – Москва : Русайнс, 2017. – 144 с.
9. Минина Е. Н. Физиологическая объективизация параметров эталонного кардиоцикла одноканальной ЭКГ с использованием алгебраической модели конструктивной логики / Е. Н. Минина // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия Биология. Химия. – 2017. – Т. 3 (69), № 4. – С. 149–165.
10. Файнзильберг Л. С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л. С. Файнзильберг. – К. Освита Украины, 2013. – 190 с.

**METHODOLOGY OF MULTI-FACTOR ANALYSIS IN SOLVING  
RESERVOMETRY PROBLEMS IN THE SPORT OF THE HIGHEST  
ACHIEVEMENTS**

***Khadartsev A. A.<sup>1</sup>, Minina E. N.<sup>2</sup>, Lastovetskij A. G.<sup>3</sup>, Khromushin V. A.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Tula State University, Tula, Russian Federation*

*<sup>2</sup>V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation*

*<sup>3</sup>Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation*

*E-mail: cere-el@yandex.ru*

Sports of the highest achievements requires the fullest possible use of the psychophysical capabilities of an athlete, which requires a fundamentally different

approach, compared to mass sports, in the preparation of athletes using modern scientific methods for diagnosing the functional state of the body (FSB).

Conducting scientific research with the required quality needs the use of multivariate analysis of the obtained primary data characterizing the FSB. Analysis by individual factors or analysis of only the final result does not allow to identify weaknesses and assess the reserves of the athlete's body.

The indicated requirements for multivariate analysis are satisfied by the Algebraic Model of Constructive Logic Algorithm (AMCLA), which is used in healthcare. AMCLA as an analytical tool allows performing complex analytical calculations and building expert systems on its basis. The AMCLA is based on the logic of predicates, which fundamentally distinguishes this mathematical apparatus from neural networks. The use of AMCLA cannot be considered as an alternative to the use of others methods of multivariate analysis. The best is the result of the analysis, confirmed by fundamentally different methods. Comparative analytical calculations with neural network algorithms have shown coincidence in the fundamental components of the result. Nevertheless, AMCLA can also identify the most characteristic differences, evaluate restrictions in the choice of treatment and the correct choice of factors, which is important in analytical studies in biomedical research.

To participate in the study, 182 qualified male athletes aged 19–22 years ( $20.5 \pm 1.5$ ) were selected, with different levels of functional reserves. They were engaged in sports with a high dynamic and static component (football, basketball, volleyball, boxing, swimming, athletics), according to the classification by Mitchell JH and co-authors, who are at the stage of improving their sportsmanship.

The dysfunctional orientation of regulatory mechanisms in qualified athletes in groups with rhythm disturbances and impaired repolarization processes against the background of a decrease in physical performance and stress of adaptation mechanisms was reliably classified by phasographic speed indicators of the heart electrical activity, which was determined using AMCLA.

Innovation indicators averaged phase of the cardiac cycle suggests a lack of verified earlier values that characterize the different states. In this case, AMCLA made it possible to identify the most significant indicators of the phase averaged cardiac cycle to characterize various states and differentiate the ranges of their values.

Multivariate analysis of the functional state indicators of the athlete's body with the use of AMCLA can be a methodology for solving the problems of reserve measurement in the highest achievements sports.

**Keywords:** multivariate analysis, algebraic model of constructive logic, reserve measurement.

#### References

1. Agadzhanian N. A., Baevskij P. M., Berseneva A. P. *Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostej organizma i risk razvitiya zabolevanij*, 284 s. (M.: Izd-vo RUDN, 2006).
2. Starodubov V. I. i soavt. *Zaklyuchitel'nyj nauchnyj doklad "Uovershenstvovanie sbora i ispol'zovaniya statisticheskikh dannyx o smertnosti naseleniya v Rossijskoj Federatsii (Mezhdunarodnyj issledovatel'skij proekt ZAD913)"*, 59 s. (Moskva: TSNII organizatsii i informatizatsii MZ RF, 2002).

3. Kitanina K. YU., KHromushin V. A., Aver'yanova D. A. Sovershenstvovanie metodov issledovaniya zdorov'ya naseleniya s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij*, **22, 3**, 8 (2015).
4. Kitanina K. YU., KHromushin V. A., Dzasokhov A. S., KHromushin O. V. Osobennosti postroeniya ehkspertnoj sistemy na osnove algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **3** (2015).
5. Kitanina K. YU., KHromushin V. A., Fedorov S. YU., KHromushin O. V. TSelevaya napravlennost' mnogofaktornogo analiza s ispol'zovaniem algeb-raicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **3** (2015).
6. KHromushin V. A., KHadartsev A. A., KHromushin O. V., CHestnova T. V. Obzor analiticheskikh rabot s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konst-ruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **1** (2011).
7. Kitanina K. YU., KHadartsev A. A., KHromushin O. V., Lastovetskij A. G. Podgotovka dannykh dlya mnogofaktornogo analiza v meditsine i biologii s pomoshh'yu algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij. EHlektronnoe izdanie*, **1**, 48 (2016).
8. Minina E. N. *Optimizatsiya skringing-otsenki kardiogemodinamiki s ispol'zovaniem algeb-raicheskoy modeli konstruktivnoj logiki*, pod red. prof. A. A. KHadartseva, V. A. KHromushina, 144 s. (Moskva: Rusajns, 2017).
9. Minina E. N. Fiziologicheskaya ob"ektivizatsiya parametrov ehtalonного kardiotsikla odnoka-nal'noj EHKG s ispol'zovaniem algebraicheskoy modeli konstruktivnoj logiki, *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Seriya Biologiya. KHimiya*, **3 (69), 4**, 149 (2017).
10. Fajnzil'berg L. S. *Komp'yuternaya diagnostika po fazovomu portretu ehlektrokardiogrammy*, 190 s. (K. Osvita Ukrainy, 2013).