1. МТ и амплуа имеет значимую статистическую межфакторную ассоциацию с рядом показателей компонентного состава тела футболистов. Однако вычисленные коэффициенты корреляции не позволяют рассматривать данную связь как биологически значимую (коэффициенты корреляции имеют среднюю силу связи, что указывает на нелинейный характер связи).
2. Для фиксируемого фактора «МТ» было установлено наибольшая и биологически значимая связь с рядом показателей компонентного состава тела футболистов: рост, ИМТ, ТМ(%), АКМ%, СММ%, ВнжЖ и ВнутЖ с прямой зависимостью: чем больше МТ, тем больше значение исследуемого показателя.
3. Для фиксируемого фактора «амплуа» установлена достоверная и биологически значимая связь с показателем СММ (кг). При этом для полузащитников она достоверно меньше, чем у защитников.

1. Лисенков, А.Н. Математические методы планирования многофакторных медико-биологических экспериментов / А.Н. Лисенков // Медицина. – 1979. – С. 15-123.
2. Выборная К.В., Тимонин А.Н., Семенов М.М., Лавриненко С.В., Раджаббадиев Р.М., Клочкова С.В., Никитюк Д.Б. Оценка состава тела футболистов на основании данных антропометрии и биоимпедансометрии и сравнение двух методов регистрации. Спортивная медицина: наука и практика. 2020;10(4):55–63. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.4.2>
3. Хафизова Г.Н., Губайдуллина С.И., Асманов Р.Ф. Композиционный состав тела спортсменов игровых видов спорта // Наука и спорт: современные тенденции. 2018. №3.
4. Мачнев Андрей Игоревич, Лаврентьева Дарья Андреевна Сравнение результатов биоимпедансного анализа состава тела футболистов и школьников 14-15 лет // Ученые записки университета Лесгафта. 2015. №11.

Тимонин А.Н., Раджаббадиев Р.М., Выборная К.В.
Многофакторный анализ клинико-лабораторных показателей спортсмен-ов с
использованием критерия Хотеллинга

ФГБУН ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/trnio-11-2021-35

Аннотация

В работе представлены метаналитические аспекты клинико-лабораторных показателей спортсменов циклических видов спорта, проведенные в рамках модели «черного ящика» при планировании многофакторного пассивного эксперимента. Конечная модель плана пассивного эксперимента была представлена как 2^3 , а ведущим методом анализа – трехфакторный дисперсионный анализ и многомерный анализ с использованием критерия Хотеллинга. В качестве фиксируемых факторов были использованы: пол (фактор А), на котором два уровня; вид спорта (фактор В) с двумя уровнями; условия тренинга (фактор С) с двумя уровнями, а в качестве зависимых переменных рассматриваются концентрация гемоглобина и гематокрит. Установлено, что пол, вид спорта, условия тренинга имеют значимую факторную нагрузку на эти зависимые переменные. Установлена достоверная парная межфакторная взаимосвязь между полом, видом спорта и условиями тренинга, где достоверно наибольшую по весу значимость имеет пол и вид спорта.

Ключевые слова: спортсмены, гемоглобин, гематокрит, пассивный эксперимент, корреляция.

Abstract

The article presents the met analytic aspects of the clinical and laboratory indicators of athletes in cyclic sports, carried out within the framework of the "black box" model when planning a multifactorial passive experiment. The final model of the passive experiment design was

presented as 2^3 , and the leading analysis method was three-way ANOVA and multivariate analysis using Hotelling's test. The following factors were used as fixed factors: gender (factor A), at which there are two levels; sport (factor B) with two levels; training conditions (factor C) with two levels, and hemoglobin concentration and hematocrit are considered as dependent variables. The following factors were used as fixed factors: gender (factor A), at which there are two levels; sport (factor B) with two levels; training conditions (factor C) with two levels, and hemoglobin concentration and hematocrit are considered as dependent variables. It was found that gender, sport, training conditions have a significant factor load on these dependent variables. There was established a reliable paired interfactor relationship between gender, sport and training conditions, where gender and sport are of the highest weight.

Keywords: athletes, hemoglobin, hematocrit, passive experiment.

Введение. В систематических научных обзорах в рамках метанализа данных научных публикаций все более востребованным является планирование многофакторного многомерного исследования с целью значимого повышения информативности ранее проведенных работ, которые не использовали подобного подхода[1]. Не противореча научным выводам, сделанным авторами, пользовавшиеся однофакторными одномерными исследованиями, тем не менее, если к тем же данным применить более общие методы анализа, то уровень информативности значительно повышается. В частности, это касается работ в области физкультуры и спорта, исследованиям различных показателей спортсменов высокой квалификации, что особенно актуально в циклических видах спорта из-за значимой связи между состоянием здоровья спортсмена и его профессиональным результатом. Одними из таких показателей является клиничко-лабораторные показатели крови и биохимии крови [2, 3]. Данные показатели являются выходными переменными или зависимыми переменными в рамках многофакторного многомерного анализа. Если анализ рассматривается как многомерный, тогда в качестве зависимой переменной используется вектор-отклик тех выходных данных, которые используются в исследовании состояния спортсменов. При планировании пассивного эксперимента следует рассмотреть модель эксперимента[1]. В данном обзоре можно воспользоваться одной из наиболее распространенных моделей для решения подобных задач как модель «черного ящика», для которой априори неопределенны причинно-следственные связи исследуемого объекта, а задача исследования сводится к установлению достоверных статистических связей с оценкой их значимости (веса). В качестве независимых фиксируемых факторов можно использовать пол, вид спорта, условия тренинга [3]. В качестве выходных переменных рассмотрим гемоглобин и гематокрит, поскольку в этом случае выполняется требование применимости многомерного анализа в отношении корреляции выходных переменных.

Материалы и методы. В рамках указанной модели проведем трехфакторный двумерный анализ с использованием критерия Хотеллинга в качестве ведущего метода многомерной статистики, а также трехфакторный дисперсионный анализ, в качестве многофакторного одномерного исследования. План пассивного эксперимента представим как симметричный 2^3 , где для фактора «пол» два уровня: мужчины и женщины; для фактора «вид спорта» два уровня: лыжные гонки и биатлон; для фактора «условия тренинга» два уровня: равнинная и горная местности. Данные представлены таблично, а результаты анализа в виде протокол-отчета. Уровень значимости составил $p=0,05$.

Результаты исследования. При использовании критерия Хотеллинга было установлено, что для всех фиксируемых факторов был достоверный отклик ($p<0,01$) (Таблица 1).

Таблица 1

Клиничко-лабораторные показатели представителей циклических видов спорта при подготовке в равнинных и горных условиях[3]

Показатель		муж		муж		жен		жен
		рав		гор		рав		гор

Лыжные гонки								
Гемоглобин, г/л	43	140,9±10,5	96	142,4±10,8	52	164,8±7,2	128	167,5±6,8
Гематокрит, %	43	42,3±3,3	96	43,7±2,9	52	48,9±2,9	128	50,6±2,3
Биатлон								
Гемоглобин, г/л	63	154,3±7,0	39	156,4±8,5	209	141,1±7,0	152	145,2±6,6
Гематокрит, %	63	47,5±2,2	39	48,4±3,0	209	43,8±2,1	152	45,0±1,9

Примечание: «рав» - равнинная местность, «гор» - горная местность

Также было установлено, что существует достоверная межфакторная взаимосвязь между полом и условиями тренинга, между полом и видом спорта, между видом спорта и условиями тренинга ($p < 0,01$). Однако нет достоверной связи между полом, условиями тренинга и видами спорта сочетано (Таблица 2).

Таблица 2

Протокол-отчет анализа данных клинико-лабораторных показателей представителей циклических видов спорта при подготовке в равнинных и горных условиях с использованием критерия Хотеллинга

	Критерий	F	df1	df2	p
пол	64,3	739,5	2	23	10^{-21}
условия	17,2	197,9	2	23	10^{-15}
спорт	37,9	435,1	2	23	10^{-19}
Пол*усл	1,3	15,1	2	23	$6 \cdot 10^{-5}$
Пол*спорт	599,5	6894,7	2	23	10^{-32}
Спорт*усл	0,613	7,1	2	23	0,004
Пол*спорт*услов	0,122	1,4	2	23	0,267

Примечание: «пол» - фактор пол (мужчины, женщины), «условия» - фактор условия тренинга (равнинная и горная местности), «спорт» - фактор вид спорта (лыжные гонки и биатлон), «Пол*усл» - сочетание факторов «пол/условия тренинга», «пол*спорт» - сочетания факторов «пол/вид спорта», «спорт*усл» - сочетания факторов «вид спорта/условия тренинга», «пол*спорт*услов» - сочетания факторов «пол/вид спорта/условия тренинга»

С использованием Z-трансформации Фишера относительно достоверности (p) и полученных z, можно оценить вес статистически значимых факторов и межфакторных взаимосвязей, а также дать оценку межфакторной взаимосвязи с точки зрения линеаризации регрессионного уравнения прямой Таблица 3.

Таблица 3

Z-трансформация Фишера относительно достоверности по отношению к фиксируемым факторам и их межфакторным взаимосвязям

	пол	условия	спорт	Пол*усл	Пол*спорт	Спорт*усл
P	10^{-21}	10^{-15}	10^{-19}	$6 \cdot 10^{-5}$	10^{-32}	0,004
z	9,5	7,9	8,9	4,0	11,9	2,9

Примечание: «пол» - фактор пол (мужчины, женщины), «условия» - фактор условия тренинга (равнинная и горная местности), «спорт» - фактор вид спорта (лыжные гонки и биатлон), «Пол*усл» - сочетание факторов «пол/условия тренинга», «пол*спорт» - сочетания факторов «пол/вид спорта», «спорт*усл» - сочетания факторов «вид спорта/условия тренинга»

Между всеми фиксируемыми факторами по их достоверному вкладу в отклик нет достоверных отличий, то есть все факторы недостоверно отличаются друг от друга по значимости. Но все факторы существенны не только как статистически значимые, но и имеют определенное сильное биологическое значение. Самая достоверно сильная межфакторная связь установлена для пола и вида спорта, а межфакторная взаимосвязь между полом и условием тренинга, и спортом и условием тренинга не имеет достоверных отличий. Тем не менее, все межфакторные взаимосвязи хорошо линеаризованы, что указывает на

значимость этих парных ассоциаций в биологической интерпретации. При использовании критерия Хотеллинга можно в общем виде интерпретировать вектор-отклик выходных переменных с априори известной корреляцией, что, несомненно, имеет важное значение при аналитическом обзоре и метанализе научных публикаций. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что пол, условия тренинга и вид спорта имеют значимые межфакторные взаимосвязи, каждый фактор в отдельности значимо влияет на вектор-отклик гемоглобин/гематокрит. Для детализации результатов данного анализа прибегают к одномерным версиям многофакторного анализа. В данном случае можно провести трехфакторный дисперсионный анализ, где зависимыми переменными будут гемоглобин и гематокрит. По его результатам было установлено, что в целом также как и для критерия Хотеллинга, все фиксируемые факторы были достоверно значимыми ($p < 0,01$) для гемоглобина. Однако для гематокрита фиксируемый фактор «вид спорта» не имел достоверных отличий ($p = 0,339$). Это можно интерпретировать, что данный выходной показатель был менее чувствителен к внешним нагрузочным факторам по сравнению с гемоглобином. Эта тенденция прослеживалась при анализе межфакторной взаимосвязи: спорт*условия тренинга, пол*условия тренинга ($p > 0,05$). Для гематокрита. Во всех остальных случаях результаты анализа совпали с анализом с использованием критерия Хотеллинга. Данное наблюдение подтверждает, что выходные переменные имеют разный уровень чувствительности к нагрузочным факторам, в данном случае гематокрит обладал меньшей чувствительностью по сравнению с гемоглобином, что делает этот маркер менее информативным по сравнению с гемоглобином.

Выводы. Таким образом, по результатам анализа литературных данных с использованием методов многофакторного многомерного анализа с использованием критерия Хотеллинга, можно сделать следующие выводы.

1. С использованием критерия Хотеллинга было установлено, что пол, вид спорта, условия тренинга имеют существенную биологическую значимость и имеют недостоверно отличающийся вес этой значимости.
2. Установлена достоверная парная межфакторная взаимосвязь между полом, видом спорта и условиями тренинга, где достоверно наибольшую по весу значимость имеет пол и вид спорта.
3. Гемоглобин более информативный маркер по сравнению с гематокритом.

1. Сидняев Н. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных 2-е изд., пер. и доп. Учебное пособие для магистров. – Litres, 2021.
2. Макарова Г.А., Ачкасов Е.Е., Барановская И.Б. Биохимический контроль в спорте: основные направления повышения эффективности. Спортивная медицина: Наука и практика. 2017;7(1):46-52.
3. Рыбина, И.Л. Биохимические аспекты оценки адаптации организма высококвалифицированных спортсменов циклических видов спорта к напряженным физическим нагрузкам / И.Л. Рыбина // автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук 14.03.11 – восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия. Москва – 2016.