

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 796/799

DOI: 10.26456/vtbio406

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АЭРОБНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В СОСТОЯНИИ ПОКОЯ У СПОРТСМЕНОВ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ВЫРАЖЕННОСТИ МЫШЕЧНОГО КОМПОНЕНТА МАССЫ ТЕЛА

Н.Ю. Арепина, Н.А. Федорова, Е.В. Белоусова, Ю.Н. Лисицина

¹Тверской государственный университет, Тверь

На основании данных корреляционного анализа рассматриваются особенности взаимосвязей потребления кислорода и вторичных/относительных показателей аэробного обеспечения у спортсменов с разной степенью выраженности мышечной массы тела. В группе испытуемых с низкими значениями мышечной массы механизмы регуляции автоматически поддерживают необходимый уровень аэробного обеспечения. В группе испытуемых с мезосомными показателями мышечной массы удовлетворение кислородного запроса осуществляется в полном объеме за счет синхронизации деятельности кардиореспираторных регуляторных механизмов. В группе испытуемых с макросомными показателями мышечной массы сохраняется тенденция к удовлетворению кислородного запроса в связи с увеличением мышечной массы, но эффективность действия регуляторных механизмов лимитируется морфофункциональными возможностями респираторной системы.

Ключевые слова: *соматотипы (морфотипы) спортсменов, мышечный компонент массы тела, кислородный запрос, потребление кислорода, вторичные показатели аэробной производительности.*

Введение. В процессе спортивного соматотипирования и функциональной диагностики тотальные показатели не всегда отражают истинную картину значимости того или иного параметра. Классическим примером является диагностическое значение величины потребления кислорода, которое может быть одинаковым у спортсменов, но имеющих разную массу тела. Понятно, что эффективность аэробного обеспечения будет выше у спортсмена с меньшей массой тела, чем у спортсмена с большей массой тела (Исаев, 1990; Таймазов, Мариянович, 2002; Губа, Чесноков, 2008). В контексте задачи формирования стандартных модельных морфофункциональных характеристик спортсменов, также следует обратить внимание не

только на тотальные, но и вытекающие из них вторичные (или относительные) показатели. Такой подход позволит более точно определить особенности аэробного обеспечения у спортсменов с разными конституциональными признаками в условиях покоя.

В настоящей работе, на основании корреляционного анализа, детализируются особенности взаимосвязи показателя потребления кислорода и вторичными/относительными показателями аэробной производительности в состоянии покоя в группах спортсменов с разной степенью выраженности мышечного компонента массы тела, что и составило цель исследования.

Методика. В исследовании приняли участие 71 спортсмен в возрасте 20-26 лет, занимающихся разными видами спорта и с квалификацией не ниже 1-го разряда. Испытуемые, по показателю мышечной массы тела, были распределены на три группы - «ММТ-группы». Первую «ММТ-группу» составили спортсмены с мышечной массой до 34,9 кг (18 спортсменов), во 2-ой «ММТ-группе» – мышечная масса составляла 35-44,9 кг (34 спортсмена), 3-я «ММТ-группа» – мышечная масса составляла 45 кг и более (19 спортсменов). Расчет компонентов мышечной массы (ММТ) осуществляли по методике J. Mateika (Мартиросов и др., 2006).

Исследование проводилось в лабораторных условиях по завершении спортсменами основного подготовительного периода. Показатели внешнего дыхания (минутный объем дыхания – V л/мин), потребление кислорода (Vo_2 мл/мин) и частоты сердечных сокращений (ЧСС уд/мин) у участников исследования регистрировали в состоянии покоя при помощи аппаратно-программного комплекса «Метаболограф VO_{2000} ». По указанным показателям рассчитывали следующие вторичные и относительные показатели:

- коэффициент использования кислорода - отношение величины потребления кислорода к минутному объему дыхания (KVo_2 мл/л мин⁻¹);
- «кислородный пульс» - отношение величины потребления кислорода к частоте сердечных сокращений (КП мл/уд мин⁻¹);
- относительное потребление кислорода ⁽¹⁾ - отношение величины потребления кислорода к общей массе тела (Vo_2/OMT мл/мин кг⁻¹);
- относительное потребление кислорода ⁽²⁾ - отношение величины потребления кислорода к мышечной массе тела (Vo_2/MMT мл/мин кг⁻¹)

Результаты и обсуждение. Основные (тотальные) и вторичные/относительные морфофункциональные показатели участников исследования приведены в таблицах 1, 2.

Что касается тотальных морфофункциональных показателей, то их сравнительный анализ подробно изложен в предыдущих работах (Арепина и др., 2024). Здесь лишь напомним, что согласно среднегрупповым значениям тотальных показателей у спортсменов в условиях покоя величина потребления кислородного детерминирована общей и мышечной массой тела (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения тотальных морфофункциональных показателей в состоянии покоя у спортсменов с разной мышечной массой тела

	Vo ₂ , мл/мин	ОМТ, кг	ММТ, Кг	ЧСС, уд/мин	V, л/мин
1-я ММТ группа	232,5 ±6,3	65,4 ±1,0	32,7 ±0,5	59,4 ±1,1	8,1 ±0,2
2-я ММТ группа	287,7 ±8,8	76,2 ±1,2	40,0 ±0,5	63,2 0,7	9,1 ±0,3
Р*	<0,01	<0,01	<0,01	>0,05	<0,01
3-я ММТ группа	374,1 ±11,1	92,1 ±2,3	49,9 ±1,4	63,7 ±1,2	10,4 ±0,3
Р**	<0,01	<0,01	<0,01	>0,05	<0,01
Р***	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01

Таблица 2

Средние значения вторичных/относительных морфофункциональных показателей в состоянии покоя у спортсменов с разной мышечной массой тела

	Vo ₂ мл/мин	KVo ₂ мл/л мин ⁻¹	КП мл/уд мин ⁻¹	Vo ₂ /ОМТ мл/мин кг ⁻¹	Vo ₂ /ММТ мл/мин кг ⁻¹
1-я ММТ группа	232,5 ±6,3	29,3 ±0,8	4,1 ±0,1	3,6 ±0,1	7,1 ±0,2
2-я ММТ группа	289,7 ±8,8	32,1 ±0,9	4,6 ±0,1	3,8 ±0,1	7,2 ±0,1
Р*	<0,01	<0,05	<0,01	<0,05	>0,05
3-я ММТ группа	374,1 ±11,1	36,4 ±1,4	5,9 ±0,2	4,1 ±0,1	7,5 ±0,2
Р**	<0,01	<0,05	<0,01	<0,05	<0,05
Р***	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05

Примечание для таблиц 1 и 2. Р* – достоверность различий между 2-й и 1-й ММТ-группами, Р** - достоверность различий между 3-й и 2-й ММТ- группами, Р*** достоверность различий между 3-й и 1-й ММТ- группами

Для вторичных и относительных показателей аэробного обеспечения характерна тенденция, аналогичная тотальным показателям, – их значения увеличиваются от групп спортсменов с меньшим габитусом к группам с большим габитусом (табл. 2). Это было ожидаемо, поскольку межгрупповая динамика значений тотальных показателей, в той или иной мере, будет определять динамику частных/относительных показателей, в основу которых заложены тотальные показатели. То есть отмечаем, что увеличение значений показателей, определяющих габитус испытуемых, повышает и энергетические запросы организма, запуская механизмы регуляции функционирования кардиореспираторной системы, обеспечивая необходимый и достаточный уровень метаболизма в условиях мышечного покоя.

Некоторые замечания по поводу показателей относительного потребления кислорода ($Vo2/OMT$ и $Vo2/MMT$), межгрупповые средние значения которых приведены в таблице 2. Согласно формулам, увеличение значения указанных показателей будет определяться либо увеличением потребления кислорода, либо уменьшением общей или мышечной масс тела. Для спортсменов 1-й «ММТ-группы» повышение аэробных возможностей будет более реальным, нежели уменьшение массы тела. Для спортсменов 3-й «ММТ-группы», наоборот, в силу более ограниченных возможностей кардиореспираторной системы, реальнее оптимизировать общую массу тела или ее динамических компонентов (Таймазов, Мариянович, 2002; Арпина и др., 2022, 2024). С практической точки зрения показатели относительного потребления кислорода дают возможность корректировать направленность тренировочных нагрузок.

В целях выявления особенностей взаимосвязей потребления кислорода и вторичных/относительных показателей аэробной производительности был проведен корреляционный анализ, по результатам которого составлены графы коэффициентов корреляции у спортсменов разных «ММТ-групп» (рис. 1А, Б, В). Подобный подход, хотя и несколько косвенно, позволяет судить, как механизмы регуляции обеспечивают необходимый уровень аэробного обеспечения.

Анализ представленных данных показывает, что графы коэффициентов корреляции в исследуемых «ММТ-группах» имеют свои особенности.

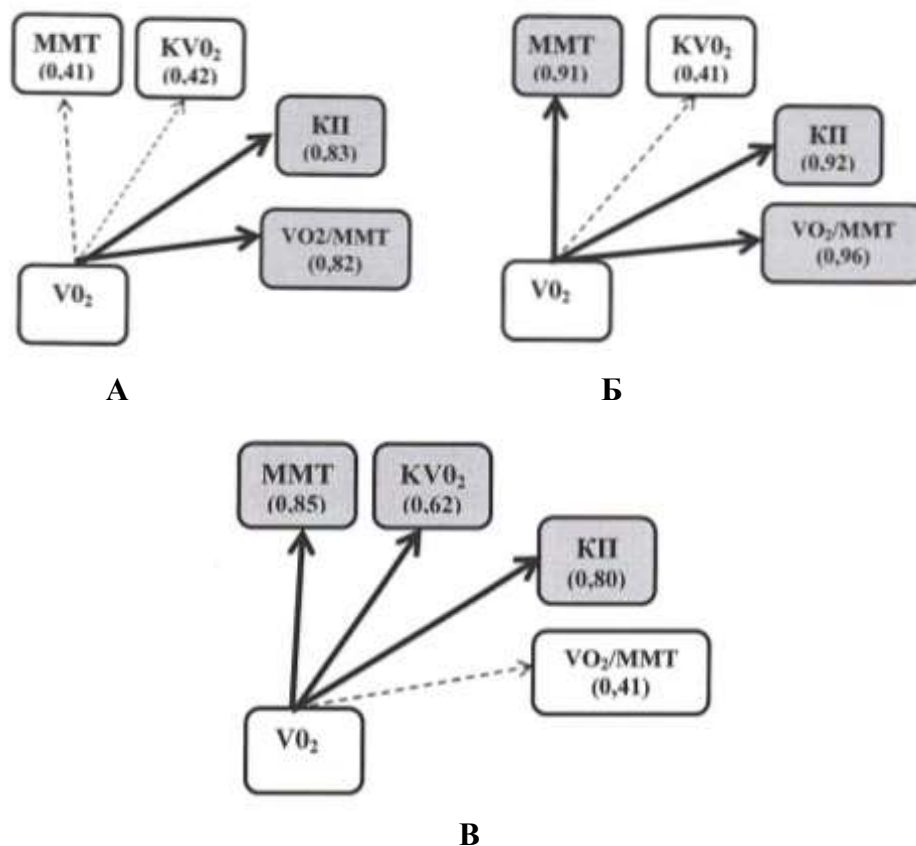


Рис. 1. Графы коэффициентов корреляции показателя потребления кислорода с показателями мышечной массы и вторичными/относительными показателями аэробного обеспечения у спортсменов исследуемых групп.

Значения коэффициентов корреляции даны в скобках.

Критические значения коэффициентов корреляции:

для 1-ой «ММТ-группы» (А) $P < 0,05$ при $r_{xy} > 0,47$ и $P < 0,01$ при $r_{xy} > 0,60$.

для 2-ой «ММТ-группы» (Б) $P < 0,05$ при $r_{xy} > 0,34$ и $P < 0,01$ при $r_{xy} > 0,45$.

для 3-ей «ММТ-группы» (В) $P < 0,05$ при $r_{xy} > 0,46$ и $P < 0,01$ при $r_{xy} > 0,58$.

В 1-й «ММТ-группе» отмечаем слабую взаимосвязь ($P > 0,05$) величины потребления кислорода со значениями мышечной массы и коэффициента использования кислорода (рис. 1А). В обеих парах показателей (« Vo_2 –ММТ» и « Vo_2 – KVo_2 ») – основная причина – малая вариабельность значений указанных показателей в данной группе. Это дает основание полагать, что регуляторные механизмы респираторной системы в достаточной степени обеспечивают кислородный запрос в условиях покоя у испытуемых данной «ММТ-группы» (Исаев, 1990; таймазов, маотянович, 2002). В паре « Vo_2 –КП» причиной значимой

взаимосвязи ($P < 0,01$) является вариабельность обоих показателей, что свидетельствует о корригирующем действии механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы в целях оптимального обеспечения кислородного запроса в данном диапазоне значений мышечной массы (Грабельников и др., 2018; Арепина и др., 2022, 2024). Что касается пары « $\text{Vo}_2\text{-Vo}_2/\text{ММТ}$ », можно предположить, что относительный показатель $\text{Vo}_2/\text{ММТ}$ является более чутким индикатором в регулировании кислородного запроса, в связи с чем и отмечаем в этой паре высокую значимость взаимосвязи ($P < 0,01$). В данной группе испытуемых, действие механизмов регуляции аэробной производительности потенциально направлено на повышение кислородной стоимости внешнего дыхания при незначительных колебаниях мышечной массы. Иными словами, при низких значениях мышечной массы механизмы регуляции в любом случае поддерживают необходимый и достаточный уровень аэробного обеспечения.

Во 2-й «ММТ-группе» высокая взаимосвязь ($P < 0,01$) (рис. 1Б) в паре « $\text{Vo}_2\text{-ММТ}$ » также указывает на удовлетворение кислородного запроса со стороны мышечной массы, которое обеспечивается за счет изменения (увеличения/уменьшения) объема легочной вентиляции. В отношении анализа высокой взаимосвязи ($P < 0,01$) в парах « $\text{Vo}_2\text{-КП}$ » и « $\text{Vo}_2\text{-Vo}_2/\text{ММТ}$ » применима та же аргументация, что и для 1-й «ММТ-группы». Взаимосвязь в паре « $\text{Vo}_2\text{-KVo}_2$ », которая характеризуется как несущественная ($P > 0,05$, рис. 1Б), позволяет говорить, что регуляторные механизмы обеспечивают постоянство баланса кислородного запроса и кислородной стоимости объема вентиляции при вариабельности мышечной массы. Можно констатировать, что в данной группе испытуемых, механизмы регуляции аэробной производительности оптимизируют уровень кислородного обеспечения в соответствии с увеличением/уменьшением значения мышечной массы в условиях минимальной мышечной активности.

У испытуемых 3-й «ММТ-группы» (с выраженными признаками макросомии) высокая взаимосвязь ($P < 0,01$) выявлена для пар « $\text{Vo}_2\text{-ММТ}$ », « $\text{Vo}_2\text{-KVo}_2$ » и « $\text{Vo}_2\text{-КП}$ » (рис. 1В). В данном случае, очевидно, что удовлетворение кислородного запроса со стороны увеличивающейся мышечной массы сопровождается повышением потребления кислорода и увеличением кислородной стоимости внешнего дыхания (KVo_2). Для пары « $\text{Vo}_2\text{-КП}$ » механизм очевиден. С повышением кислородного запроса, обусловленного увеличением мышечной массы, потребление кислорода также увеличивается на фоне незначительного увеличения ЧСС (табл.1), что приводит к увеличению объема кровотока, а, следовательно, и объема доставляемого к мышцам кислорода (Исаев, 1990; Таймазов,

Мариянович, 2002). Таким образом, графы коэффициентов корреляции указывают, что оптимизация процессов аэробного обеспечения обусловлено действием соответствующих регуляторных механизмов. Но есть нюанс. Действие регуляторных механизмов в данной группе испытуемых лимитируется морфофункциональными возможностями кардиореспираторной системы, на что указывает отсутствие значимой связи в паре « $\text{Vo}_2\text{-Vo}_2/\text{ММТ}$ » ($P > 0,05$, рис. 1В). Действительно, достижение определенного потолка возможностей кардиореспираторной системы становится препятствием для удовлетворения кислородного запроса в случае с макросомными конституциями. При отсутствии же таких ограничений, взаимосвязь в паре « $\text{Vo}_2\text{-Vo}_2/\text{ММТ}$ » была бы значимой.

Также следует отметить, что состояние относительного мышечного покоя относится к стационарным состояниям, при которых колебания значений тех или иных параметров могут быть весьма незначительны. Это касается не только показателей аэробной производительности, но и интенсивности проприоцептивной импульсации, которая играет роль модулирующего фактора, так или иначе влияющего на механизмы регуляции аэробного обеспечения (Исаев, 1990). Естественно, что интенсивность фоновой проприоцептивной импульсации будет увеличиваться от микросомных соматотипов, к макросомным (Исаев, 1990; Таймазов, Мариянович, 2002; Губа, Чесноков, 2008). В подобных случаях статистическая значимость коэффициентов корреляции будет определяться тонкими нюансами варибельности значений исследуемых показателей при минимальной мышечной активности, что и подтверждает проведенный корреляционный анализ.

Заключение. Результаты предыдущих и настоящего исследований показывают, что соматотипические особенности спортсменов, в частности, изменения в динамических компонентах массы тела, являются детерминантами в процессах, удовлетворяющих необходимый кислородный запрос в условиях мышечного покоя. На основании корреляционного анализа выявлены особенности аэробного обеспечения у испытуемых в группах с разной степенью выраженности мышечной массы. В 1-й «ММТ-группе» (при низких значениях мышечной массы) механизмы регуляции без труда поддерживают необходимый и достаточный уровень аэробного обеспечения. Во 2-й «ММТ-группе» удовлетворение кислородного запроса осуществляется в полном объеме, что обусловлено синхронизацией деятельности соответствующих регуляторных механизмов. В 3-й «ММТ-группе» сохраняется тенденция к удовлетворению кислородного запроса в связи с увеличением мышечной массы, но эффективность действия регуляторных

механизмов лимитируется морфофункциональными возможностями респираторной системы.

Список литературы

- Арепина Н.Ю., Голоулина Е.А., Лисицына Ю.Н., Резаева А.В.* 2022. Особенности аэробного обеспечения в условиях покоя у спортсменов с разными конституциональными признаками // Вестник ТвГУ. Серия Биология и экология. № 1(65). С. 33-38.
- Арепина Н.Ю., Гужова Т.И., Джорджевич О.Ю., Копкарева О.О.* 2024. Определение характера взаимосвязи потребления кислорода и показателей мышечной массы тела у спортсменов разных морфотипов в состоянии покоя // Вестник ТвГУ. Серия Биология и экология. № 2(74). С. 7-14.
- Волков Н.И., Савельев И.А.* 2002. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности человека // Физиология человека. Т. 28, № 4. С. 80-93.
- Грабельников С.А., Демин А.С., Белоусова Е.В., Вирский П.Е., Джорджевич О.Ю., Куликов И.А., Савкин В.П.* 2018. Влияние многолетнего тренировочного процесса на формирование основных соматотипических признаков у спортсменов разных ростовых групп // Вестник ТвГУ. Серия Биология и экология. № 2. С. 42-54.
- Губа В.П., Чесноков Н.Н.* 2008. Резервные возможности спортсменов. М.: Физическая культура. 146 с.
- Дорохов Р.Н., Губа В.П.* 2002. Спортивная морфология. М.: СпортАкадемПресс. 236 с.
- Исаев Г.Г.* 1990. Регуляция дыхания при мышечной работе. Л.: Наука: Ленингр. отд-ние. 119 с.
- Мартыросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г.* 2006. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука. 248 с.
- Таймазов В.А., Марьянович А.Т.* 2002. Биоэнергетика спорта. СПб.: Шатон. 119 с.

CORRELATION ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN INDICATORS OF AEROBIC PERFORMANCE AT REST IN ATHLETES WITH VARYING DEGREES OF SEVERITY OF THE MUSCULAR COMPONENT OF BODY WEIGHT

N.Yu. Arepina, N.A. Fedorova, E.V. Belousova, Yu.N. Lisitsyna
Tver State University, Tver

Based on the data of the correlation analysis, the features of the interrelationships of oxygen consumption and secondary/relative indicators of aerobic support in athletes with varying degrees of severity of body muscle mass are considered. In the group of subjects with low values of

muscle mass, the regulation mechanisms automatically maintain the required level of aerobic support. In the group of subjects with mesosomal indicators of muscle mass, oxygen demand is fully satisfied due to the synchronization of the activity of cardiorespiratory regulatory mechanisms. In the group of subjects with macrosomal indicators of muscle mass, there is a tendency to satisfy oxygen demand due to an increase in muscle mass, but the effectiveness of regulatory mechanisms is limited by the morphofunctional capabilities of the respiratory system.

Keywords: *somatotypes (morphotypes) of athletes, muscle component of body weight, oxygen demand, oxygen consumption, secondary indicators of aerobic performance.*

Об авторах:

АРЕПИНА Наталья Юрьевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры физического воспитания, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, email: Arepina.NYu@tversu.ru

ФЕДОРОВА Наталья Алексеевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры физического воспитания, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, email: Fedorova.NA@tversu.ru.

БЕЛОУСОВА Елена Владимировна – старший преподаватель кафедры физического воспитания, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, email: Belousova.EV@tversu.ru.

ЛИСИЦЫНА Юлия Николаевна – старший преподаватель кафедры физического воспитания, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, email: Lisitsyna.YN@tversu.ru.

Арепина Н.Ю. Корреляционный анализ взаимосвязи показателей аэробной производительности в состоянии покоя у спортсменов с разной степенью выраженности мышечного компонента массы тела / Н.Ю. Арепина, Н.А. Федорова, Е.В. Белоусова, Ю.Н. Лисицина // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2025. № 2(78). С. 7-15.

Дата поступления рукописи в редакцию: 10.12.24

Дата подписания рукописи в печать: 01.06.25