



Экспертный Центр здоровья и фитнеса в Германии

Исследование:

**Влияние компрессионной одежды
2XU на выносливость и
функциональный энергетический
метаболизм**

Халле/ Вестфалия, июль 2013

Клаудиа Нолден (дипломированный специалист в области
спортивных наук): проведение и оценка исследования

Профессор Д-р Эльмар Винек (ученый в области спорта):
учредитель и собственник, план клинического
исследования

Общество спорта и здоровья, ООО SALUTO

Gausekampweg 2 • D-33790 Halle/Westfalen (Халле, Вестфалия)

Тел.: 0 52 01 - 81 50 50 • Факс: 0 52 01 - 81 50 60

Email: info@saluto.de • www.saluto.de

Содержание

1	Введение в предмет исследования	3
2	Методология исследования	3
2.1	Исследуемые спортсмены	3
2.2	Критерии исследования	4
2.3	Материал для исследования	5
2.4	План и выполнение исследования	5
3	Представление результатов.....	6
4	Обсуждение результатов	10
5	Дополнительные результаты	11
5	Вывод	13
6	Библиографические источники	13

1 Введение в предмет исследования

Компрессионная одежда сейчас настолько широко используется во многих видах спорта, что трудно представить хотя бы один, где бы она не применялась. Из медицинских и спортивных научных исследований, проведённых в последние годы, нам известно, что компрессионные ткани являются эффективным средством, используемым во время занятий спортом и для восстановления, в плане различных метаболических параметров (см. «Библиографические источники»). Тем не менее, необходимо отметить, что эти научные исследования базировались на различных материалах для исследования, и, соответственно, имела место ограниченная применимость для сравнения.

Одним из факторов, который не учитывался ни в одном из предыдущих исследований, является влияние компрессионной одежды на функциональный энергетический метаболизм, определяемый биохимическими параметрами, которые являются ключом к физическому состоянию спортсмена. Это – предыстория к настоящему исследованию, целью которого является изучение влияния компрессионных материалов на выносливость, с одной стороны, и на функциональный энергетический метаболизм, с другой.

Точнее говоря, цель нижеописанного практического эксперимента - установить, влияет ли компрессия, и если влияет, то до какой степени, на опознаваемые изменения зависимых переменных: *индивидуальный анаэробный порог (IAT), фиксированный порог (FT) и биохимические параметры энергетического метаболизма.*

2 Методология исследования

2.1 Исследуемые спортсмены

Участники исследования были подобраны в середине июня 2013 года; это были 20 мужчин в возрасте от 18 до 31 года, средний возраст составил 25,21 года. Однако, одного из исследуемых лиц пришлось вскоре исключить, поскольку у него поднялась температура. Все исследуемые – это футболисты из команды региональной лиги, и поэтому обладают хорошей аэробной выносливостью. В таблице 2-1 представлены средние значения (M) и средние отклонения (SD) по антропометрическим характеристикам участников:

Таблица 2-1: Средние значения и средние отклонения антропометрических данных

Параметр	Единица измерения	Среднее значение $\pm$ среднее отклонение
Возраст	Лет	25.21 $\pm$ 3.17
Вес	Кг	78.63 $\pm$ 4.75
Индекс массы тела	кг/м ²	23.53 $\pm$ 1.22

2.2 Критерии исследования

Собранные для исследования данные включали общие персональные данные, а также медицинские и биохимические параметры. Основными критериями для оценки эффективности компрессионной одежды являлись выносливость, измеренная на основании индивидуального анаэробного порога (IAT) и фиксированного порога (FT) (в м/с и пульс), а также функциональный энергетический метаболизм, измеренный на основании следующих карбоновых кислот и продуктов обмена веществ: лимонная кислота, цис-аконитиновая кислота, альфа-кетоглутаровая кислота, янтарная кислота, яблочная кислота и пируват.

Пороговые величины регистрировались на основании пошагового практического теста, связанного с анализом крови исследуемого спортсмена (включая, среди прочего, лейкоциты, содержание гемоглобина и гематокрит) непосредственно перед забегом. Данные энергетического метаболизма устанавливались на основании анализа мочи в день после забега. Пульс участников во время теста на лактат регистрировались при помощи телеметрической измерительной системы *Polar Team²*.

Различные продукты обмена веществ и карбоновые кислоты энергетического метаболизма измерялись при помощи метода жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией, что представляет собой специальную процедуру обнаружения чрезвычайной точности. Это позволило нам объединить преимущества процедур, которые использовались до настоящего момента (*высокоэффективная жидкостная хроматография и сверхпроизводительная жидкостная хроматография*) с новой более совершенной технологией двойного масс-спектрометра.

Цикл Кребса (цикл лимонной кислоты) является центром всего метаболического процесса. Метаболические пути для углеводов, жиров и белков проходят через этот цикл. Отсутствие элементарных питательных микроэлементов (аминокислот, витаминов, минералов и микроэлементов) могут оказывать негативное влияние на функционирование митохондрии (митохондриальная дисфункция). По этой причине увеличение и/или снижение в продуктах метаболизма может свидетельствовать о нарушении деятельности в функциональной энергетической системе, и, следовательно, о снижении выработки энергии. Таким образом, значения в пороговом диапазоне могут быть причиной снижения результативности.

Наша команда (состоящая из медицинского персонала, ученых в области спорта, физиотерапевтов и биохимиков) создала полную систему анализа с соответствующей базой данных. Результаты показывают отклонения от средних значений в процентах у спортсменов, сравнимых по возрасту, стилю жизни, медицинской истории и спортивной деятельности. Нарушение функционирования некоторых ферментов показано в Таблице 2-2:

Таблица 2-2: Толкование параметров функционального энергетического метаболизма

Параметр	Зоны нарушения функционирования Среднее значение	Толкование
Лимонная кислота	Значения < - 60 % или > + 60 %	Маркер дефицита питательных микроэлементов (блокировка микроэлементов)
Цис-аконитиновая кислота	Значения < - 60 % или > + 50 %	Среди прочего - нарушение деятельности определенных ферментов, увеличение означает повышение утомляемости, связанной с ЦНС
Альфа-кетоглутаровая кислота	Значения > + 60 %	Митохондриальная дисфункция, ухудшение расщепления некоторых элементарных аминокислот
Янтарная кислота	Значения > + 60 %	Три продукта обмена веществ цикла лимонной кислоты – янтарная кислота, фумаровая и яблочная кислота – показатели дефицита витамина В. Увеличение может привести к прерыванию переноса электронов и снижению выработки энергии.
Фумаровая кислота	Значения > + 30 %	
Яблочная кислота	Значения > + 30 %	
Пируват	Значения > + 40 %	Нарушение функции пируват-дегидрогеназа, причиной чего, среди прочего, является дефицит витамина В.

2.3 Материал для исследования

Материал для исследования состоял из компрессионной ткани от компании 2XU. В дни проведения теста исследуемые спортсмены носили шорты, футболку и носки из серии одежды для занятий спортом «*perform pure active*», а на следующую ночь они одевали трико из восстановительной серии одежды «*refresh pure recovery*». Подходящие размеры одежды для исследуемых спортсменов, от XS до XL, выбирались в соответствии с замерами голени и бедер, произведенными персоналом 2XU.

2.4 План и выполнение исследования

Пошаговые практические тесты проводились в зале в стандартных условиях на протяжении трехдневного периода, включая один день отдыха. В дни непосредственно перед проведением тестов, и сразу после них, не проводились футбольные тренировки. Приросты скорости составляли 2.5 м/с, 2.9 м/с, 3.3 м/с, 3.7 м/с, 4.1 м/с, 4.5 м/с и 4.9 м/с на расстоянии 1200 м, до тех пор, пока спортсмены не достигали своих индивидуальных точек истощения.

Непосредственно перед проведением теста на лактат и сразу после него измерялась центральная температура тела спортсменов. Кроме того, во время восстановления фиксировались данные лактата через 5 и через 10 минут после забега. Спортсмены были в произвольном порядке разделены на две группы, при этом первая группа была одета в компрессионную одежду при проведении первого пошагового практического теста и на следующую ночь, а вторая группа - наоборот. Исходное значение энергетического метаболизма участников было измерено по утренним пробам мочи в первый день теста. Для более точного установления изменений биохимических параметров, утром после проведения пошагового практического теста были сделаны еще по два замера у каждого из участников.

3 Представление результатов

Данные оценивались с помощью статистического программного обеспечения SPSS. Чтобы сделать обоснованный вывод из различий между значениями, полученными в результате тестов с использованием компрессионной одежды и без нее, данные анализировались при помощи t-критерия (критерия Стьюдента) по зависимой выборке.

В нижеприведенной таблице показаны значения лактата (Рис. 3-1) и кривые пульса (Рис. 3-2), зарегистрированные во время проведения пошагового практического теста. На этапе 4,9 м/с данные не представлены, поскольку в нем участвовали всего 8 спортсменов, и те не выдержали до конца. Тест прерывался в большинстве случаев после 4,5 м/с, и даже раньше этого этапа в случае трех исследуемых спортсменов в группе, одетой в компрессионную одежду, и двух спортсменов – в группе, не носившей компрессионную одежду.

Лактат:

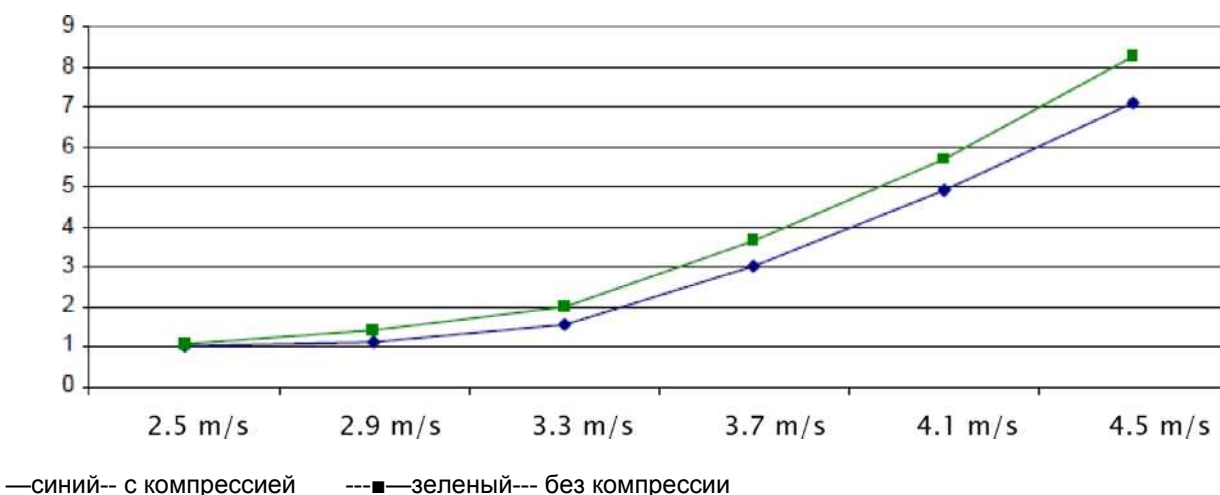


Рис. 3-1: Средние значения лактата в ходе пошагового практического теста с компрессионной одеждой и без нее

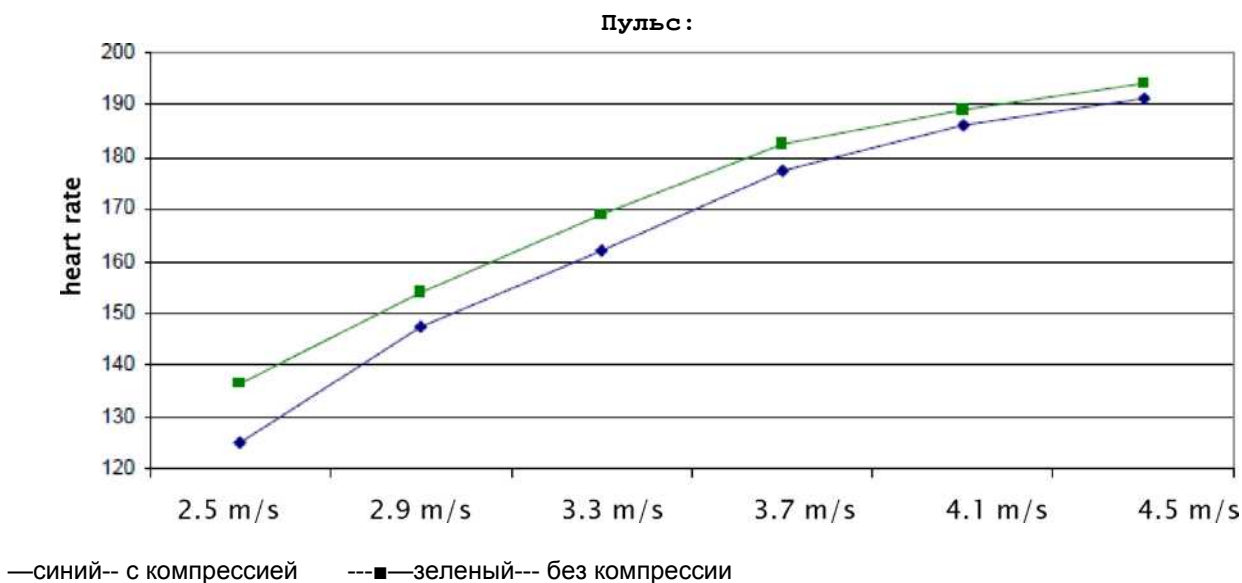


Рис. 3-2: Средние значения пульса в пошаговом практическом тесте с использованием компрессионной одежды и без нее

Совершенно очевидно, что обследуемые спортсмены, носившие компрессионную одежду, продемонстрировали более низкие значения лактата в среднем на всех этапах. Кривые пульса показали похожую картину, причем в этом случае при увеличении скорости разрыв сужался, а в случае значений лактата - увеличивался.

Чтобы установить различия в выносливости, исследователи вычислили значения IAT и FT для каждого спортсмена. В Таблице 3-1 показаны средние значения, включая среднее отклонение, вместе с основными цифрами из сравнительного теста:

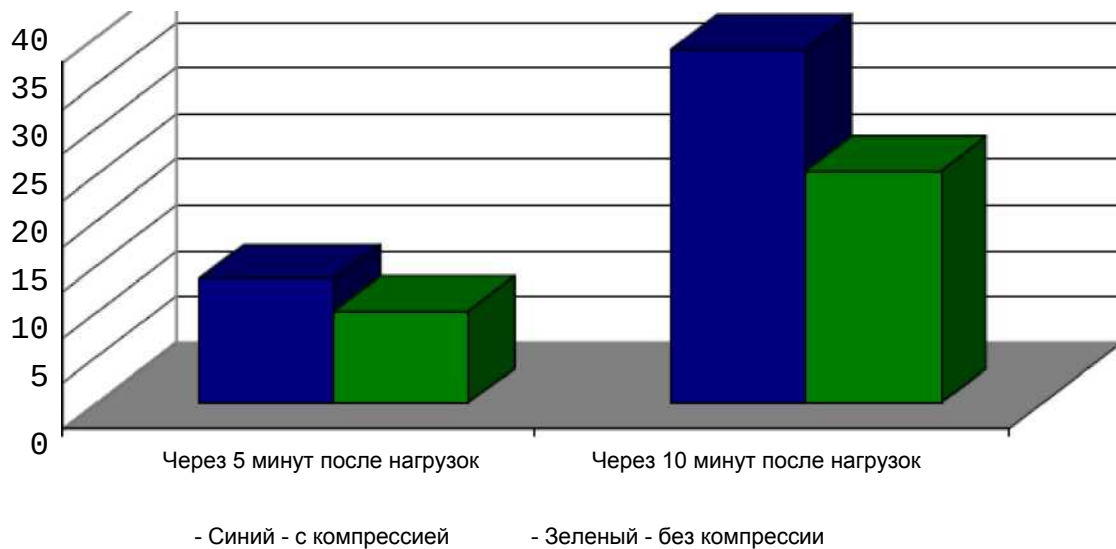
Таблица 3-1: Среднее значение и среднее отклонение по выносливости с использованием компрессионной одежды и без нее

Параметр	Единица измерения	С компрессией	Без компрессии	Сравнительный тест		
		Среднее значение ± среднее отклонение	Среднее значение ± среднее отклонение	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
IAT (индивидуальный анаэробный порог)	м/с	3.60 ± 0.22	3.46 ± 0.21	5,804	18	.000
	Количество ударов в минуту	165.14 ± 40.33	174.74 ± 6.34	-1,018	18	.322
FT (фиксированный порог)	м/с	3.96 ± 0.29	3.83 ± 0.27	7,976	18	.000
	Количество ударов в минуту	183.58 ± 8.13	185.26 ± 8.25	-2,099	18	.050

Результаты показали высококо значимые пороги лактата в отношении фактора скорости ($p < .05$ в каждом случае). Спортсмены, носившие компрессионную одежду, показали значительно меньший уровень пульса для обоих порогов, но разница была только статистически значимой ($p = .050$) в случае фиксированного порога.

Пошаговый тест прерывался, когда участники достигали своего индивидуального предела изнеможения, на 4,5 либо 4,9 м/с. Индивидуальный уровень переносимости спортсменов влиял также на продолжительность последнего преодоленного ими этапа. Итоговое зарегистрированное окончательное значение лактата было значительно ниже у участников, которые носили компрессионную одежду ($t(i\ 8) = -6.261$; $p = .000$). Кроме того, было установлено, что на восстановительной стадии процентное снижение лактата у этой группы было выше (см. Рис. 3-3).

Рис. 3-3. Процентное снижение лактата через 5 и через 10 минут после нагрузок



Результаты функционального энергетического метаболизма изначально представлены в виде процентного отклонения от среднего значения для соответствующего параметра (см. Рис. 3-4).

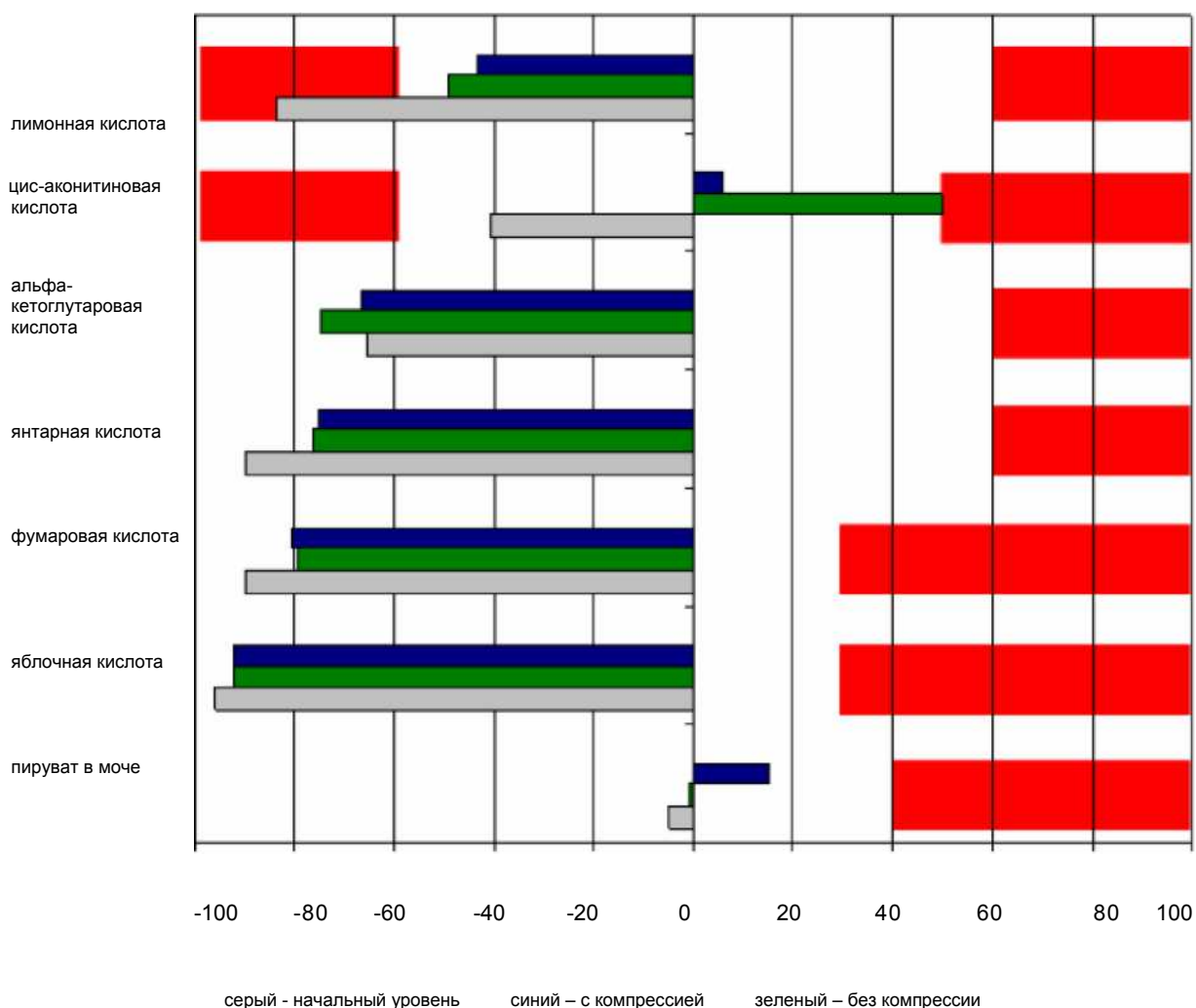


Рис. 3-4: Процентное отклонение параметров энергетического метаболизма от среднего значения. Красное поле показывает зону пониженной активности.

Есть очевидное отличие по параметру цис-аконитиновой кислоты между спортсменами, использовавшими компрессионную одежду, и без нее; статистический анализ основных цифр по этому параметру показывает высокую значимость ($p = .003$). Для всех остальных параметров энергетического метаболизма результаты – статистически несущественны (см. Таблицу 3-2).

Таблица 3-2: Средние значения и среднее отклонение по функциональному энергетическому метаболизму с использованием компрессионной одежды и без нее

Параметр	Единица измерения	С		Сравнительный тест		
		компрессией	Без компрессии	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
		Среднее значение ± среднее отклонение	Среднее значение ± среднее отклонение			
лимонная кислота	мг/г креатинин	104.34 ± 102.86	93.99 ± 129.40	0.427	17	.674
цис-аконитиновая кислота	мг/г креатинин	44.38 ± 16.34	63.02 ± 13.12	-3.521	17	.003
альфа-кетоглутаровая кислота	мг/г креатинин	3.05 ± 3.05	2.31 ± 2.33	0.788	17	.441
янтарная кислота	мг/г креатинин	4.31 ± 1.51	4.10 ± 2.80	0.239	17	.814
фумаровая кислота	мг/г креатинин	1.11 ± 0.63	1.20 ± 0.71	-0.341	17	.737
яблочная кислота	мг/г креатинин	0.37 ± 0.18	0.38 ± 0.28	-0.159	17	.875
пируват	мг/г креатинин	2.59 ± 2.28	2.23 ± 1.34	0.599	17	.557

4 Обсуждение результатов

В отличие от других параметров, имеющих отношение к пороговым величинам, разница пульса IAT не оказалась статистически значимой, но даже при этом результаты отчетливо дают понять, что ношение компрессионной одежды оптимизирует **выносливость**.

Если посмотреть на **восстановительную стадию** сразу же после проведения пошагового теста, мы видим, что спортсмены, использовавшие компрессионную одежду, показали ускоренное снижение лактата, даже в том случае, если достигали более высоких порогов, а также более низкий пульс в целом. Эта зависимость может рассматриваться как первый признак улучшения восстановительной способности.

Анализ **энергетического метаболизма** участников обнаруживает значительные результаты по параметру цис-аконитиновой кислоты, который в случае отсутствия компрессионной одежды при проведении теста демонстрировал критическое увеличение, приводящее к функциональному ухудшению. Высокая концентрация цис-аконитиновой кислоты ведет к значительному накоплению аммиака и быстрому уставанию центральной нервной системы. По этой причине исследуемые спортсмены, не носившие компрессионную одежду, первыми показали признаки функционального воздействия на свой энергетический метаболизм, что считается негативным влиянием на способность справляться с увеличивающимися нагрузками, а также на восстановительную способность. Для того чтобы лучше понять эти процессы, ниже описывается роль карбоновой кислоты:

Пониженная концентрация **цис-аконитиновой кислоты** вызывается пониженной деятельностью ферментов из-за дефицита аминокислоты и/или железа. Например, фермент цис-аконитазы, который превращает лимонную кислоту в цис-аконитиновую кислоту, отвечает за функционирование при достаточном запасе сульфгидрильных групп аминокислот метионина, цистеина и глутатиона, а также бивалентного железа. Дефицит этих питательных микроэлементов, тяжелые металлы с высоким сродством с сульфгидрильными группами (ртуть, сурьма, мышьяк), окислительный стресс и ксенобиотики (чужеродные организму вещества) – все это ослабляет деятельность этого фермента. Это приводит к накоплению лимонной кислоты. Высокие концентрации неразрывно связаны с низким содержанием аргинина. Цис-аконитиновая кислота – это следующий промежуточный продукт цикла лимонной кислоты, участвующий в цикле образования мочевины и поддерживающий концентрацию аммиака.

5 Дополнительные результаты

Питательные микроэлементы, такие как магний, цинк, селен и ферритин, не были ни основным критерием измерения для этого исследования, ни предметом запланированных эмпирических анализов. Поскольку дефицит в балансе питательных микроэлементов может оказывать влияние на выносливость и на восстановление, мы выступили с идеей расширить наш анализ, чтобы охватить соответствие между магнием, цинком, селеном и ферритином (параметры, измеряемые на внутриклеточном уровне путем атомной абсорбционной спектроскопии), и основными критериями измерений, такими как IAT, FT и функциональный энергетический метаболизм. В таблице 5-1 приведены значения, рассчитанные для коэффициентов корреляции Пирсона r_{xy} :

Таблица 5-1 Тесты на взаимосвязь между разными параметрами

Параметр	Магний		Цинк		Селен		Ферритин	
	r_{xy}	N	R_{xy}	N	r_{xy}	N	r_{xy}	N
С компрессией								
лимонная кислота	-0.268	19	0.28	19	0.474*	19	-0.94	19
цис-аконитиновая кислота	-0.275	19	0.673	19	0.647	19	0.638	19
альфа-кетоглутаровая кислота	0.734	19	0.500	19	0.794	19	0.267	19
янтарная кислота	0.183	19	-0.137	19	0.686**	19	0.275	19
фумаровая кислота	0.41 1	19	0.251	19	-0.18	19	-0.131	19
яблочная кислота	-0.418	19	-0.231	19	0.594**	19	0.105	19
пируват	-0.120	19	0.209	19	0.492*	19	-0.140	19
Без компрессии								
лимонная кислота	0.137	18	0.101	18	0.521*	18	-0.059	18
цис-аконитиновая кислота	0.423	18	0.068	18	0.462	18	-0.030	18
альфа-кетоглутаровая кислота	0.129	18	-0.234	18	0.189	18	0.264	18
янтарная кислота	-0.147	18	-0.352	18	-0.388	18	-0.231	18
фумаровая кислота	-0.236	18	-0.034	18	-0.222	18	-0.251	18
яблочная кислота	0.163	18	-0.131	18	0.435	18	-0.187	18
пируват	-0.082	18	-0.334	18	-0.142	18	-0.056	18

Примечания: *Взаимосвязь статистически значима при пороге $p < .05$ (2-сторонний).
 ** Взаимосвязь высоко значима при пороге $p < .01$ (2-сторонний).

Результаты демонстрируют статистически значимые взаимосвязи в тесте с компрессионной одеждой, между концентрацией селена и четырьмя биохимическими параметрами энергетического метаболизма. В тесте без компрессии единственным статистически значимым является взаимосвязь между селеном и лимонной кислотой.

5 Вывод

В соответствии с вышеприведенными результатами компрессионная одежда не только имеет потенциал к оптимизации результативности, но в контексте постоянно увеличивающейся рабочей нагрузки на спортсменов (в плане объема и интенсивности тренировок) также играет основную роль в восстановительном процессе. То, оказывает ли компрессионная ткань также продолжительное воздействие, при более длительных циклах тренировки, на профилактику блокирования или снижения выработки энергии, является предметом дальнейшего исследования и анализа, в которых индивидуальные взаимосвязи должны быть подтверждены доказательствами.

Кроме того, представляют интерес результаты, полученные нами в ходе расширенного исследования, включающего корреляционные вычисления. В результате в случае компрессионной одежды мы обнаружили взаимосвязь (и в некоторых случаях высоко значимую) между селеном и почти всеми параметрами функционального энергетического метаболизма. Компрессионная одежда, по-видимому, улучшает транспортировку индивидуальных питательных микроэлементов к индивидуальным клеточным структурам, и при этом оптимизирует определенные метаболические процессы в функциональном энергетическом метаболизме. Это – интересный новый подход, заслуживающий дальнейшего исследования и анализа, которые послужат убедительным подтверждением.

6 Библиографические источники

Duffield, R & Portus, M. «Comparison of three types of full-body compression garments on throwing and repeat-sprint performance in cricket players. British Journal of Medicine 2007; 41: 409 - 414

Hängerle, S M. Kompressionsbekleidung und ihre Auswirkungen auf die sportlicher Leistungsfähigkeit unter der Berücksichtigung respiratorischer, metabolischer sowie psychologischer Parameter. Cologne 2008

Kemmler W et al. Einfluss von kompressiven Sportstrümpfen auf leistungsphysiologische und physikalische Parameter bei ambitionierten Hobbyläufern. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2009;7-8: 203

Simon G, Berg A, Dickhuth H-H, et al. Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit von Alter und von der Leistungsfähigkeit. Dtsch Z Sportmed 1981; 32: 7-14, quoted from: Oliver Faude, Wilfried Kindermann, Tim Meyer: Lactate Threshold Concepts. In: Sports Medicine. 39, No. 6, 2009, 469 - 490

Sperlich B et al. Zum Einsatz von Kompressionstextilien zur Leistungssteigerung und Regenerationsförderung im Leistungssport. Sportverl Sportschad 2011; 25: 227 – 234.