

ИЗМЕНЕНИЕ РЕГИОНАРНОГО КРОВОТОКА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ В ПЕРИОД РАННЕГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

УДК/UDC 57.087.1

Поступила в редакцию 22.05.2024 г.



Информация для связи с автором:
avkabachkova@gmail.com

Доктор биологических наук, доцент **А.В. Кабачкова**¹
Аспирант **Ф. Сяо**¹
Аспирант **Л. Цзяо**¹
Аспирант **С.Н. Капитанов**¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

CHANGES IN REGIONAL BLOOD FLOW OF THE LOWER LIMB DURING THE PERIOD OF EARLY RECOVERY AFTER PHYSICAL ACTIVITY

Dr. Biol., Associate Professor **A.V. Kabachkova**¹
Postgraduate student **F. Syao**¹
Postgraduate student **L. Tszyao**¹
Postgraduate student **S.N. Kapitanov**¹

¹National Research Tomsk State University, Tomsk

Аннотация

Цель исследования – изучить реакцию регионарного кровотока нижних конечностей у здоровых мужчин в период раннего восстановления после физической нагрузки при погружении всего тела в воду.

Методика и организация исследования. В научной работе приняли участие 20 условно здоровых волонтеров первого зрелого возраста (все – мужчины). Помимо половозрастных критериев были обозначены следующие условия включения в группу наблюдения – рост 170–180 см, индекс массы тела – 20–24 кг/м², средний уровень двигательной активности – 3000–4000 MET-мин/нед. Критерии исключения – хронические заболевания органов дыхания, острое заболевание в анамнезе в течение последних трех месяцев, курение, регулярное закаливание водой (в том числе моржевание). Реовазографическое исследование нижних конечностей осуществлялось с помощью аппаратно-программного комплекса «Валента» (ООО «Компания Нео», Россия).

Результаты исследования и выводы. В статье представлены результаты исследования реакции регионарного кровотока нижних конечностей у здоровых мужчин в период раннего восстановления после физической нагрузки при погружении всего тела в воду. Показано, что нахождение в комфортных условиях водной среды приводит к пролонгированной сосудистой реакции. На этапе раннего восстановления в обеих группах повышается эффективность работы сердца и реактивность сосудов. При этом в группе TWI комфортная водная среда значительно способствует более продолжительному расширению сосудов. Таким образом, использование для пассивного восстановления после интенсивных физических нагрузок полного погружения в комфортную водную среду является перспективным.

Ключевые слова: реовазография, здоровые волонтеры, комфортная температура, утомление, восстановление.

Abstract

Objective of the study was to study the response of regional blood flow of the lower extremities in healthy men during the period of early recovery after physical exercise when the whole body is immersed in water.

Methods and structure of the study. 20 conditionally healthy volunteers of the first mature age (all men) took part in the scientific work. In addition to gender and age criteria, the following conditions for inclusion in the observation group were identified: height 170–180 cm, body mass index 20–24 kg/m², average level of physical activity (3,000–4,000 MET-min/week). Exclusion criteria were chronic respiratory diseases, a history of acute illness within the last three months, smoking, regular water hardening (including winter swimming). Rheovasographic examination of the lower extremities was carried out using the Valenta hardware and software complex (Neo Company LLC, Russia).

Results and conclusions. The article presents the results of a study of the reaction of regional blood flow of the lower extremities in healthy men during the period of early recovery after physical activity when the whole body is immersed in water. It has been shown that being in comfortable conditions of an aquatic environment leads to a prolonged vascular response. At the stage of early recovery in both groups, the efficiency of the heart and vascular reactivity increase. Moreover, in the TWI group, a comfortable water environment significantly contributes to longer-lasting vasodilation. Thus, the use of complete immersion in a comfortable aquatic environment for passive recovery after intense physical activity is promising.

Keywords: rheovasography, healthy volunteers, comfortable temperature, fatigue, recovery.

Введение. Утомление всегда сопровождает тренировочный процесс, а недостаточное восстановление или неправильно организованный восстановительный период после длительных и интенсивных занятий может негативно сказаться на результатах последующих тренировок или соревнова-

ний [3, 5]. В период раннего восстановления широко используются гидротерапевтические методы [2], например погружение в холодную воду [4]. Тем не менее, исследования, посвященные анализу эффективности использования нейтральной или теплой воды после физических нагрузок, остаются ограни-

ченными. В частности, по данным собственного метаанализа (2023 г.) было показано, что использование воды разной температуры имеют сходные восстановительные эффекты [6].

Цель исследования – изучить реакцию регионарного кровотока нижних конечностей у здоровых мужчин в период раннего восстановления после физической нагрузки при погружении всего тела в воду.

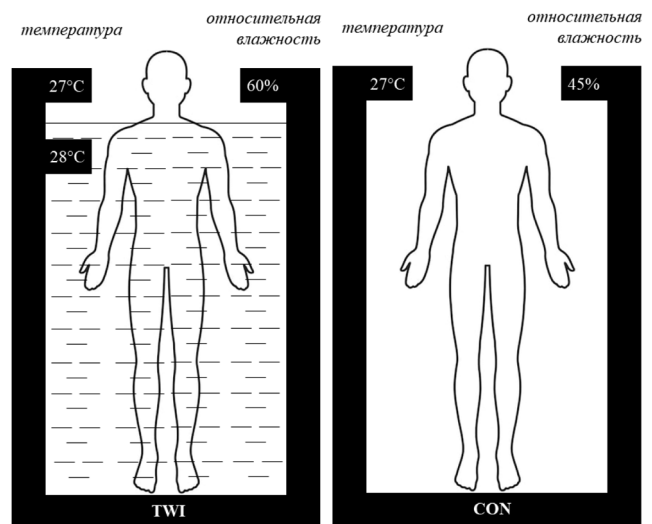
Методы и организация исследования. В научной работе приняли участие 20 условно здоровых волонтеров первого зрелого возраста (все – мужчины), всех участников разделили на две группы – CON и TWI. Помимо половозрастных критериев были обозначены следующие условия включения в группу наблюдения – рост 170–180 см, индекс массы тела – 20–24 кг/м², средний уровень двигательной активности – 3000–4000 MET-мин/нед. Критерии исключения – хронические заболевания органов дыхания, острое заболевание в анамнезе в течение последних трех месяцев, курение, регулярное закаливание водой (в том числе моржевание).

Реовазографическое исследование нижних конечностей осуществлялось с помощью аппаратно-программного комплекса «Валента» (ООО «Компания Нео», Россия). Регистрация показателей проводилась в состоянии относительного покоя, сразу после физической нагрузки и после восстановления в течение 15 минут. Физическая нагрузка включала бег с высоким подниманием бедра в течение 20 секунд с последующим выполнением двойного прыжка со встречным движением (countermovement jump или CMJ) и 30-секундным периодом отдыха между повторениями. Критерием достижения утомления было снижение высоты прыжка более чем на 40% от исходного уровня.

После этого волонтеры либо погружались в воду (группа TWI), либо находились в стандартных условиях (группа CON) в течение 15 минут (см. рисунок). На первой неделе исследования все волонтеры были распределены в группу CON. После недели отдыха все волонтеры были переведены в группу TWI. Для статистической обработки данных использовалась программа SPSS 21.0. Различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Полученные результаты реовазографии разделены на показатели кровенаполнения, притока и оттока крови, а также их соотношение [1]. Для дальнейшего анализа и интерпретации были использованы данные, полученные на участке «правое бедро» (у всех волонтеров ведущая нога – правая) (см. таблицу).

Показатели кровенаполнения. В обеих группах CON и TWI после выполнения физической нагрузки наблюдалось увеличение показателей кровенаполнения. Относительный объемный пульс (Pr) значительно увеличился во всех группах наблюдения, что указывает на повышение эффективности работы сердца и реактивности сосудов. В фазе восстановления значение показателя Pr в обеих группах показало тенденцию к снижению на 12%. Реографический индекс (РИ) и максимум артериальной компоненты (А) значительно увеличились после физической нагрузки ($p \leq 0,05$), что свидетельствует об увеличении кровотока вследствие локального повышения температуры и расширения сосудов. В группе CON после 15 минут пассивного восстановления отмечается значительное снижение РИ и А ($p \leq 0,05$). В то время как в группе TWI показатели РИ и А увеличились на 5%, что свидетельствует о том, что комфортная водная среда способствовала поддержанию гиперемии и улучшению гемодинамики. После физической нагрузки в обеих группах амплитудно-частотный показатель (АЧП) увеличился, отражая физиологическую реакцию сердца на интенсивные упражнения. На стадии восстановления показатели кровенаполнения в группе TWI значимо превышали показатели группы CON ($p \leq 0,05$).



Положение человека во время пассивного восстановления
Примечание – слева – полное погружение в воду (TWI), справа – нахождение в комнате (CON)

Показатели регионарного кровотока на уровне сегмента «правое бедро»

Показатель	Группа наблюдения					
	CON			TWI		
	Baseline	Fatigue	Recovery	Baseline	Fatigue	Recovery
Pr	0,43±0,13	0,77±0,211	0,68±0,07	0,66±0,12	1,06±0,371	0,93±0,143
РИ	1,15±0,18	1,55±0,331	1,25±0,212	1,19±0,31	1,54±0,271	1,62±0,213
АЧП	1,18±0,41	1,41±0,59	1,51±0,29	1,42±0,31	2,00±0,791	2,00±0,363
А	114,64±17,84	154,92±33,201	125,58±20,552	118,40±31,39	154,30±26,991	161,23±21,493
МУ	11,00±3,74	21,80±3,561	18,80±2,952	14,50±3,93	25,38±4,631	20,38±2,392
Vб	1,21±0,31	0,89±0,26	0,97±0,11	1,36±0,30	0,95±0,211	1,19±0,223
ВО	14,52±6,78	6,32±4,88	11,78±13,67	25,30±26,89	15,15±8,19	27,40±26,68
ДКИ	0,27±0,23	0,39±0,15	0,14±0,072	0,27±0,16	0,32±0,25	0,30±0,20
ДСИ	0,53±0,39	0,96±0,79	0,65±0,45	0,57±0,31	1,90±1,63	0,36±0,132

Примечание – Pr – относительный объемный пульс (в %), РИ – реографический индекс (в усл. ед.), АЧП – амплитудно-частотный показатель (в с⁻¹), А – максимум артериальной компоненты (в Ом), МУ – модуль упругости (в %), Vб – средняя скорость быстрого наполнения (в Ом/с), ВО – венозный отток (в %), ДКИ – дикротический индекс (в усл. ед.), ДСИ – диастолический индекс (в усл. ед.); CON – пассивное восстановление при нахождении в комнате в стандартных условиях, TWI – пассивное восстановление при полном погружении в воду при комфортной температуре; Baseline – результаты измерений в состоянии относительного покоя до нагрузки, Fatigue – результаты измерений сразу после нагрузки, Recovery – результаты измерений после 15 минут пассивного восстановления; ¹ – статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) при сравнении Baseline и Fatigue, ² – статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) при сравнении Fatigue и Recovery, ³ – статистически значимые различия ($p \leq 0,05$) при сравнении CON и TWI.

Показатели притока крови. После физической нагрузки в обеих группах значение модуля упругости (МУ) значительно превышало аналогичный параметр в состоянии относительного покоя ($p \leq 0,05$). Это указывает на то, что сосуды временно увеличивали свою жесткость, предотвращая чрезмерное их расширение, в ответ на увеличение сердечного выброса. После восстановления в обеих группах значение МУ значительно снизилось ($p \leq 0,05$), что связано с ослаблением тонуса сосудистой стенки и восстановлением естественной упругости сосудов. Однако между группами CON и TWI различий не наблюдалось ($p \leq 0,05$). Во всех наблюдаемых группах средняя скорость быстрого наполнения (Vб) снижается после нагрузки, что отражает влияние выполняемого упражнения на эффективность работы миокарда (в частности, диастолическое кровенаполнение). Кроме того, перераспределение крови во время физической нагрузки уменьшило объем крови, возвращающейся к сердцу, что дополнительно замедлило скорость его кровенаполнения. После достаточного отдыха нормальная диастолическая функция сердца постепенно восстанавливается. Объем крови, возвращающийся к сердцу, увеличивается, что постепенно приводит к повышению Vб. В фазе восстановления гидростатическое давление воды способствует ускорению возврата крови к сердцу, что, предположительно, служит основной причиной значительного повышения показателей Vб в экспериментальной группе TWI, по сравнению с контрольной группой CON ($p \leq 0,05$).

Показатели оттока крови. В обеих группах показатели венозного оттока (ВО) в состоянии утомления показали тенденцию к снижению, а в фазе восстановления – к повышению. Таким образом, интенсивные нагрузки способствовали затруднению оттока крови, а в период восстановления наблюдались, наоборот, облегченные условия для оттока.

Соотношение притока и оттока крови. Дикротический индекс (ДКИ) и диастолический индекс (ДСИ) являются важными реологическими показателями, оценивающими эффективность сердечного насоса и состояние упругости сосудов. В обеих группах после физической нагрузки значения ДКИ и ДСИ повысились, а после 15 минут пассивного отдыха – снизились.

Выводы. Перспективным является использование для пассивного восстановления после интенсивных физических нагрузок полного погружения в комфортную водную среду. Группа TWI демонстрирует пролонгированную сосудистую реакцию, по сравнению с группой CON. На этапе раннего восстановления в обеих группах повышается эффективность работы сердца и реактивность сосудов. При этом в группе TWI комфортная водная среда значительно способствует более продолжительному расширению сосудов. Также отмечается более выраженное быстрое восстановление функций сердца и сосудов в группе TWI – снижение МУ и повышение Vб.

Полученные результаты отражают потенциальную пользу использования комфортной водной среды для пассивной стимуляции кровообращения и ускорения восстановления функций сердца.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета («Приоритет-2030»).

Литература

1. Кабачкова А.В. Реакция регионарного кровотока нижних конечностей на степ-эргометрическую нагрузку у спортсменов / А.В. Кабачкова, Ю.С. Фролова, Л.В. Каплевич // Теория и практика физической культуры. – 2014. – № 10. – С. 56-58.

References

1. Kabachkova, A.V., Frolova, Yu.S., Kapilevich, L.V. (2014). Reaktsiya regionalnogo krovotoka nizhnikh konechnostey na step-ergometricheskuyu nagruzku u sportsmenov [Reaction of lower limb regional blood flow to step ergometric load in athletes]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury*, 10, 56-58. (In Russ.)
2. Ahokas E.K., Ihalainen J.K., Kyrolainen H., Mero A.A. Effects of water immersion methods on postexercise recovery of physical and mental performance. *Journal of strength and conditioning research*. 2019. No. 33(6). pp. 1488-1495.
3. Brenner J.S., Watson A. Overuse Injuries, Overtraining, and Burnout in Young Athletes. *Pediatrics*. 2024. No. 153(2).
4. Higgins T.R., Greene D.A., Baker M.K. Effects of cold water immersion and contrast water therapy for recovery from team sport: a systematic review and meta-analysis. *Journal of strength and conditioning research*. 2017. No. 31(5). pp. 1443-1460.
5. Kellmann M., Bertollo M., Bosquet L. et al. Recovery and performance in sport: consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*. 2018. No. 13(2). pp. 240-245.
6. Xiao F., Kabachkova A.V., Jiao L., Zhao H., Kapilevich L.V. Effects of cold water immersion after exercise on fatigue recovery and exercise performance-meta analysis. *Frontiers in physiology*. 2023. No. 14.

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

КАЗБЕКУ ДОВЛЕТМИЗОВИЧУ ЧЕРМИТУ – 75 ЛЕТ!

Образовательная и научная деятельность Казбека Довлетмизовича неразрывно связана с физической культурой и спортом.

Профессор К.Д. Чермит является доктором педагогических наук и доктором биологических наук, председателем двух диссертационных советов на базе Адыгейского государственного университета: по общей педагогике, а также по физической культуре и профессиональной подготовке, теории и методике спорта.

Своими научными трудами Казбек Довлетмизович широко известен российской и зарубежной научно-педагогической общественности. Ученым издано более 300 научных публикаций, подготовлено 6 докторов наук и 75 кандидатов наук.

Значительный вклад профессора К.Д. Чермита в развитие отечественной науки отмечен высокими правительственными наградами и почетными званиями.

Руководство и коллектив Адыгейского государственного университета, редакция «ТиПФК» поздравляют Заслуженного деятеля науки Российской Федерации и Республики Адыгея Чермита Казбека Довлетмизовича с юбилеем!

Пусть профессиональный опыт и творческий потенциал ученого и дальше способствуют развитию российского образования, спорта и науки!