

УДК 612.13:796

DOI 10.34014/2227-1848-2024-2-143-154

ВЛИЯНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ЦЕНТРАЛЬНУЮ ГЕМОДИНАМИКУ И РАСТЯЖИМОСТЬ АРТЕРИЙ У ПОДРОСТКОВ-СПОРТСМЕНОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ПЛАВАНИЕМ И ЛЫЖНЫМИ ГОНКАМИ

Т.Г. Комлягина, В.В. Гульятеева, М.И. Зинченко, Д.Ю. Урюмцев,
Е.А. Брызгалова, В.Н. Мельников

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины»,
г. Новосибирск, Россия

Цель работы – сравнить растяжимость артерий у легкоатлетов и пловцов – представителей циклических видов спорта, у которых адаптация к мышечной деятельности формируется во взаимодействии с различающимися факторами среды.

Материалы и методы. Квалифицированные спортсмены – юноши и девушки в возрасте 13–17 лет – выполняли 5-минутную кистевую изометрическую нагрузку, составлявшую 20 % от максимальной силы сжатия, с оценкой гемодинамики, эластичности артерий и сердечных показателей на аппарате «Сфигмокор» методом анализа пульсовой волны давления в лучевой артерии и восходящей аорте.

Результаты. В покое у пловцов зафиксировано повышенное систолическое АД, меньшие значения ЧСС, аугментационного индекса и относительной длительности систолы. Сразу после нагрузки у них отмечался рост АД, аугментационного давления, сократимости левого желудочка как следствие активации симпатoadрeналовоy системы при нагрузке. У лыжников ответы были редуцированными. Через 20 мин восстановления у пловцов диастолическое давление и аугментационный индекс опускались ниже исходного уровня, что, вероятно, было связано с вазодилататорным действием вымываемых после нагрузки кислых продуктов обмена из изометрически сокращенных ишемизированных мышц предплечья.

Выводы. Специфика тренировки в водной среде оказывает влияние на фоновые гемодинамические показатели, растяжимость артерий и реактивность на локальную изометрическую нагрузку.

Ключевые слова: кистевая изометрическая нагрузка, центральная гемодинамика, растяжимость артерий, сердечный цикл, подростки, спортсмены.

Введение. Уменьшение растяжимости крупных артерий мышечно-эластического типа снижает их способность демпфировать пульсовую волну давления, генерированную левым желудочком (ЛЖ), и повышает систолическое артериальное давление (САД) [1], что увеличивает риск патологических кардиоваскулярных событий [2]. Данные о повышенном АД у субъектов с жесткими артериями в настоящее время являются хрестоматийными [3].

Большинство исследований влияния спортивных занятий на сердечно-сосудистую систему (ССС) проведено на взрослых людях, тогда как влияние регулярных интенсивных

тренировок на центральную гемодинамику растущего организма остается неизученным. Специфичность физиологических эффектов тренировочных нагрузок определяется объемом вовлеченных мышц, характером и интенсивностью локомоций, положением тела в пространстве и другими факторами, которые могут существенно влиять на формирование как краткосрочных, так и долгосрочных механизмов адаптации ССС атлетов [4].

Неинвазивная оценка контура пульсовой волны давления методом аппланационной тонометрии информативна для врачей и физиологов [5]. Строгие половозрастные нормы по-

казателей центральной гемодинамики установлены только для взрослых людей, тогда как стандарты распространения пульсовой волны у подростков не определены. Более того, использованию этого метода в исследованиях центральной гемодинамики и эластичности артерий у юных спортсменов посвящены только единичные работы [6–9].

Описано увеличение фонового САД у квалифицированных спортсменов-пловцов [10–12], однако такое увеличение не обнаружено при экспериментальных тренировках. Так, 8-недельный курс ежедневных плавательных нагрузок у молодых мужчин с избыточной массой тела привел к уменьшению САД и общего периферического сопротивления [13]. При 12-недельном курсе плавания гипотензивный эффект, повышение растяжимости общей сонной артерии и увеличение чувствительности кардиовагального рефлекса у мужчин старше 50 лет показали N. Nualnim et al. [14]. Такие неоднозначные данные ставят вопрос о причинах несоответствия.

Цель исследования. Сравнить растяжимость артерий у пловцов и лыжников – представителей циклических видов спорта, у которых адаптация к мышечной деятельности формируется во взаимодействии с различающимися факторами среды.

Материалы и методы. Неинвазивным методом оценивалось оказание немедленных и отсроченных эффектов однократной кистевой изометрической нагрузки (КИН) на растяжимость крупных мышечно-эластических артерий верхней конечности и другие показатели контурного анализа пульсовой волны у юных пловцов и лыжников как суммарный ответ на регулярные интенсивные физические тренировки, выполняемые в различающихся физических средах. КИН выбрана как воздействие, которое при регулярном повторении оказывает депрессорный эффект у гипертонзивных пациентов [15, 16].

В исследовании участвовали спортсмены обоого пола в возрасте 13–17 лет, регулярно в течение 4–9 лет занимающиеся лыжными гонками (15 чел.) в спортивных центрах г. Ново-

сибирска, либо спортивным плаванием на короткие и средние дистанции (13 подростков) в Региональном центре спортивной подготовки сборных команд и спортивного резерва. Все спортсмены находились в подготовительном периоде тренировочного годового цикла. Достигнутые квалификации варьировали от 2-го взрослого разряда до кандидата в мастера спорта.

Протокол обследования был одобрен этическим комитетом НИИ нейронаук и медицины. Информированное согласие на участие в проекте было подписано законными представителями испытуемых.

В положении лежа после измерения АД в брахиальной артерии по методу Короткова с помощью профессионального полуавтоматического тонометра CS-110 Premium (CS Medica, Germany) и регистрации профиля пульсовой волны давления в радиальной артерии на левом запястье оценивались параметры центральной гемодинамики методом аппланационной тонометрии на аппарате «Сфигмокор» (AtCor Medical, Австралия): проводилась реконструкция волны давления в восходящей аорте согласно передаточной функции, как описано ранее [17]. Кроме значений стандартных показателей, вычисляемых прибором: уровней АД (аортального систолического (ASP), диастолического (ADP) и пульсового (APP)), аугментационного давления ($\text{АугД}=\text{P2}-\text{P1}$) (рис. 1), аугментационного индекса ($\text{АугИ \%}=\text{АугД}/\text{АД}$ пульсовое), рассчитанного для ЧСС 75 уд./мин, длительностей систолы и диастолы, временных и амплитудных параметров отраженной волны, – дополнительно вычислялась скорость нарастания пульсовой волны давления в аорте ($\text{P1}/\text{T1}$), которая рассматривалась как суррогатная характеристика сократимости ЛЖ. Показатель субэндокардиального кровотока (Buckberg's sub-endocardial viability ratio, SEVR), характеризующий условия кровоснабжения миокарда, вычислялся как отношение площади (интеграла) под диастолической частью кривой к площади под систолической частью (рис. 1).

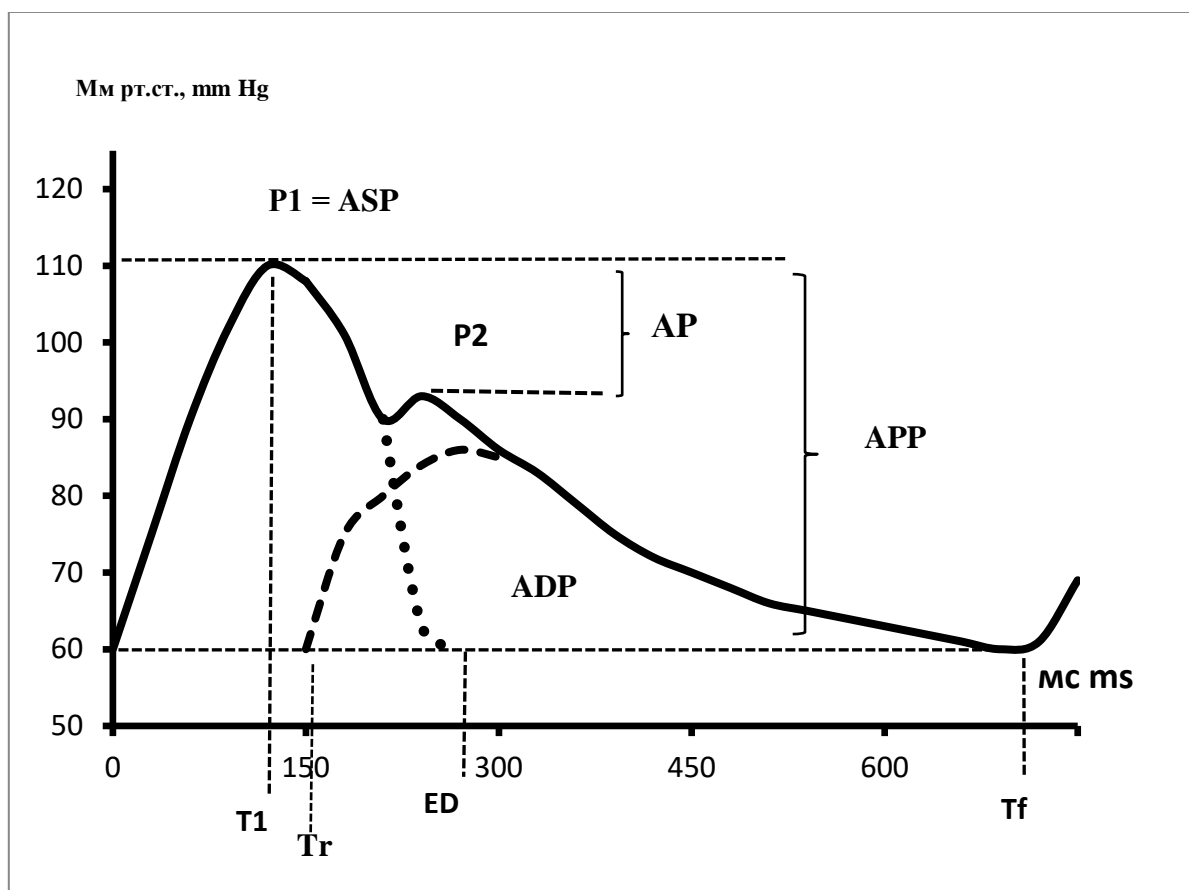


Рис. 1. Схема профиля пульсовой волны давления в корне аорты (T1 – время максимума первичной волны; P1 – амплитуда антеградной (желудочковой) волны давления; Tr – время начала отраженной волны; P2 – результирующее давление (сумма первичной и отраженной волн); ASP, ADP, APP – систолическое, диастолическое, пульсовое артериальное давление соответственно; AP – аугментационное давление; ED – длительность систолы; Tf – длительность кардиоцикла; линейчатый пунктир – профиль восходящей ветви отраженной волны; точечный пунктир – ниспадающая ветвь антеградной волны; ось абсцисс растянута для лучшей демонстрации временных точек)

Fig. 1. Aortic pressure profiles in healthy young individuals (T1 – primary wave peak time; P1 – amplitude of the antegrade (ventricular) pressure wave; Tr – start time of the reflected wave; P2 – resultant pressure (sum of primary and reflected waves); ASP, ADP, APP – systolic, diastolic, and pulse pressure; AP – augmentation pressure; ED – duration of systole; Tf – duration of the cardiac cycle; the dashed line corresponds to ascending branch of reflected wave, the dotted line corresponds to descending part of antegrade wave, the x-axis is stretched for visual proximity)

После 6-минутного отдыха в положении лёжа испытуемые сжимали в течение 5 мин пружинный кистевой динамометр правой рукой с нагрузкой, соответствующей 20 % от предварительно измеренной максимальной силы сжатия. В состоянии покоя и через 1, 5, 10, 15 и 20 мин после КИН на противоположной руке измеряли тонометрические и сфигмоманометрические показатели.

Сравнение значений у представителей разных видов спорта проводилось с помощью теста Манна – Уитни или t-критерия для несвязанных выборок в зависимости от нормальности распределения и равенства дисперсий, которые определялись с помощью тестов Колмогорова – Смирнова и Ливиня. Динамика показателей после нагрузочного теста, отдельное влияние факторов времени, вида спорта и

их взаимодействия оценивались посредством анализа повторных измерений в опции GLM repeated measures (пакет SPSS-19) с post hoc парными сравнениями согласно поправке Бонферрони. Алгоритм вычисляет значимость p как отдельных эффектов каждого из двух факторов на измеренные переменные, так и взаимодействия факторов. Частное значение эта-квадрат (partial eta-squared), которое характеризует долю общей дисперсии показателя, объясняемую данным фактором, в сравнительном контексте показывает степень его влияния на показатель. Уровень значимости для отклонения нулевой гипотезы выбран как $p \leq 0,05$, однако уровень $0,05 < p \leq 0,1$ также указывается как свидетельство тенденции различия или эффекта. Результаты представлены в виде $M \pm SD$.

Результаты. Группы лыжников и пловцов не различались по возрасту, росту, спортивному стажу, но пловцы имели больший вес и индекс массы тела. У пловцов в покое обнаружены более высокие значения аортального систолического и пульсового давления при меньшей ЧСС (табл. 1). Они имели меньшую длительность выброса, или относительную продолжительность систолы, выраженную в процентах от длины кардиоцикла. Увеличенное в связи с этим значение показателя субэндокардиального кровотока SEVR свидетельствовало о лучших условиях кровоснабжения сердца. Меньшее значение аугментационного индекса указывало на более эластичные артерии. Пловцы демонстрировали существенно большую сократимость ЛЖ как в исходном состоянии, так и во время посленагрузочного отдыха. Не были выявлены различия в аортальном диастолическом и среднем давлении. Также не различались и такие суррогатные показатели эластичности артерий, как время воз-

врата отраженной волны от периферии в аорту (Tr), амплитуда отраженной волны и превышение (амплификация) пульсового давления в брахиальной артерии относительно восходящей аорты.

Реакция аортального систолического давления на КИН в обеих группах была однотипной: зафиксировано заметное повышение в первые минуты после работы с последующим снижением до исходного уровня к концу периода восстановления. В поздние сроки после КИН заметна тенденция к снижению диастолического давления по сравнению с исходным уровнем за счет дилататорного действия вымываемых из ишемизированной мышцы в общий кровоток накопленных при изометрическом сокращении недоокисленных продуктов обмена [18]. У лыжников отмечалась тенденция к плавному снижению ЧСС к концу периода восстановления, а у пловцов – неравномерная реакция пульса на нагрузку с достоверным повышением сразу после нее и таким же по величине снижением в последующем периоде.

Аугментационное давление у лыжников не изменялось, а у пловцов в конце восстановления снижалось, что указывает на уменьшение в это время тонуса и увеличение растяжимости артерий. Сократимость ЛЖ, повышавшаяся сразу после нагрузки, через 20 мин возвращалась к исходному уровню.

У пловцов динамика длительности выброса крови ED из ЛЖ в посленагрузочный период, аналогичная таковой для ЧСС, заключалась в ее возрастании, полного восстановления через 20 мин отдыха не наблюдалось. Значения показателя субэндокардиального кровотока SEVR сразу после нагрузки уменьшались из-за удлинения систолы и соответствующего укорочения диастолы.

Таблица 1

Table 1

Гемодинамические показатели до и после кистевой изометрической нагрузки

Hemodynamic parameters before and after the isometric handgrip exercise

Параметр Parameter	Группа Group	Исходно (1) Baseline (1)	Восстановление Recovery					^ (1-2)	^ (1-3)	^ (2-3)
			1 мин (2) 1 min (2)	5 мин 5 min	10 мин 10 min	15 мин 15 min	20 мин (3) 20 min (3)			
ЧСС, уд./мин HR, bpm	Пл Sw	55,3±6,0	58,3±7,4	55,2±6,6	54,5±6,0	54,2±5,5	55,8±6,6	0,052		0,057
	Лыж Sk	62,5±8,2 **	62,6±5,3	61,2±5,6 *	61,1±7,1 **	63,0±5,7 ***	60,1±5,8 #			0,050
a-ASP, мм рт. ст. a-ASP, mmHg	Пл Sw	97,4±7,9	100,1±6,2	97,0±7,9	96,2±6,3	95,3±6,2	95,0±5,3	0,058		<0,001
	Лыж Sk	89,4±8,2 **	91,8±8,5 **	88,4±6,3 **	87,9±7,2 **	87,6±6,4 ***	88,3±7,8 *			0,082
a-ADP, мм рт. ст. a-ADP, mmHg	Пл Sw	63,2±7,0	62,8±6,4	60,5±5,3	59,9±5,3	61,3±4,9	59,1±6,1		0,048	
	Лыж Sk	61,2±6,0	61,8±7,4	58,4±6,8	59,3±7,2	59,7±5,9	59,0±8,1			
a-AIx75, %	Пл Sw	-13,2±8,2	-9,0±11,5	-9,2±9,5	-14,6±14,1	-4,7±8,8	-18,5±10,8		0,050	0,045
	Лыж Sk	-3,9±9,6 **	-4,13±9,5	-5,7±8,2	-5,2±9,4	-1,4±11,0 #	-5,5±10,3 **			
P1/T1, мм рт. ст./мс P1/T1, mm Hg/ms	Пл Sw	0,32±0,07	0,36±0,09	0,35±0,06	0,32±0,06	0,32±0,06	0,32±0,08	0,044		0,058
	Лыж Sk	0,25±0,06 ***	0,26±0,04 ***	0,28±0,05 **	0,25±0,06 **	0,27±0,05 *	0,26±0,05 *	0,040	0,051	
ED, %	Пл Sw	30,1±3,4	31,8±3,9	30,4±3,6	30,0±3,5	29,7±3,1	30,5±3,9	0,010		0,011
	Лыж Sk	34,6±4,1 **	34,9±7,0 *	33,8±4,6 *	33,8±4,4 *	34,5±4,3 **	33,2±4,3			
SEVR, %	Пл Sw	196±30	178±31	189±32	192±27	195±27	190±32	0,004		0,018
	Лыж Sk	163±27 **	160±30	171±52	172±44	166±42 *	175±45			

Примечание. а – значение показателя в восходящей аорте; ^ (1-2), (1-3), (2-3) – уровень значимости различий между периодами исследования по Бонферрони; #, *, **, *** – уровень значимости различий между группами при $p < 0,1, 0,05, 0,01, 0,001$ соответственно; Aix75 – аугментационный индекс, рассчитанный для ЧСС 75 уд./мин; P1/T1 – скорость нарастания пульсовой волны давления в проксимальной аорте; ED – длительность фазы изгнания; SEVR – показатель субэндокардиального кровотока.

Note. а – aortic parameter; ^ (1-2), (1-3), (2-3) – Bonferroni corrected significance levels; #, *, **, *** – statistical significance of between-group differences ($p < 0,1, 0,05, 0,01, 0,001$ respectively); ED – ejection phase duration; SEVR – subendocardial flow indicator; Sw – swimming, Sk – cross-country skiing.

Влияние межгруппового фактора «вид спорта» на измеренные параметры, оцененное значением эта-квадрата, убывало в следующей последовательности: САД (35,8 %), P1/T1 (21,2 %), АугИ75 (16,4 %), ДАД (15,0 %) и ЧСС (14,1 %) (табл. 2). Такой ряд означает, что наибольшие различия между видами спорта во временной динамике показателя в ответ на нагрузку отмечались для САД, наименьшие – для ЧСС. Внутригрупповой

фактор «время (повторность)» в наибольшей мере сказывался на динамике сократимости ЛЖ (P1/T1, 31,3 %), в наименьшей – на ДАД (10 %). Влияние взаимодействия обоих проверяемых факторов (время и вид спорта) на все измеренные показатели не достигало порогового уровня достоверности, т.е. отдельные эффекты каждого из двух факторов, где они были значимыми, проявляются независимо друг от друга.

Таблица 2
Table 2

Влияние факторов «вид спорта» и «временная точка теста» на гемодинамические показатели при рассмотрении трех моментов: исходно, через 1 мин и 20 мин восстановления, – оцененное по значению эта-квадрата

Effect of sport and time on hemodynamic parameters: baseline, 1 min and 20 min recovery, eta-squared estimate

Показатель Parameter	Вид спорта Kind of sport		Временная точка теста Time point	
	p	Эта-квадрат, η^2 Eta-square, η^2	p	Эта-квадрат, η^2 Eta-square, η^2
ЧСС / HR	0,049	0,141	0,030	0,169
ASP	0,001	0,358	0,008	0,238
ADP	0,058	0,150		0,010
Aix75	0,032	0,164	0,010	0,230
P1/T1	0,014	0,212	0,002	0,313

Примечание. p – уровень значимости влияния фактора; P1/T1 – скорость нарастания пульсовой волны давления в проксимальной аорте.

Note. p – significance level of factor influence; P1/T1 – rate of pulse pressure elevation in the proximal aorta.

Обсуждение. Обнаруженный в данной работе факт наличия более мягких артерий у пловцов, имеющих более высокое в сравнении с лыжниками центральное ($97,4 \pm 7,9$ против $89,4 \pm 8,2$ мм рт. ст., $p < 0,005$) и периферическое САД ($120,3 \pm 8,1$ против $107,0 \pm 8,9$ мм рт. ст., $p < 0,001$), является парадоксальным на фоне многочисленных данных о жёстких артериях у людей с повышенным САД [11, 19]. Причина такого несоответствия заключается в том, что перманентная артериальная гипертензия у пловцов относительно лыжников не

вызвана повышенным тонусом или увеличенной структурной жёсткостью артериальных стенок, на что указывают низкие значения аугментационного индекса. Сниженная у пловцов ЧСС свидетельствует о том, что гипертензия не связана и с хронотропной симпатической активацией сердечной деятельности. Полученные данные о более высокой скорости возрастания АД в корне аорты (P1/T1), являющейся суррогатной характеристикой контрактильности ЛЖ, как в покое, так и на протяжении всего периода восстановления у пловцов

указывают на увеличенную у них инотропную функцию ЛЖ, что, вероятно, носит перманентный характер и сопровождается увеличением ударного объема ЛЖ. Последнее заключение является гипотетическим из-за отсутствия работ, изучавших насосную функцию ЛЖ у пловцов в сравнении с другими спортсменами, например, эхокардиографическим методом.

Ещё одним фактором, обуславливающим обнаруженные различия между видами спорта, особенно в контрактильной функции ЛЖ, является то, что тестирование проводилось в привычном для пловцов горизонтальном положении тела, в котором они длительно пребывают во время интенсивных тренировок и в котором облегчается венозный возврат к сердцу. Увеличенный объем крови в грудной клетке позволяет левому желудочку обеспечивать больший ударный объем. Можно предположить, что у лыжников этот механизм непривычен из-за тренировок в вертикальном положении и проявляется в меньшей степени.

Наблюдающиеся у пловцов через 1 мин отдыха после работы слабые гипертензивная (САД +3 мм рт. ст., $p=0,058$) и положительная хронотропная (+2 уд./мин, $p=0,052$) реакции на нагрузку объясняются активацией метабо-рефлекса [20] (феномен Линдгарда), который проявляется при раздражении продуктами метаболизма в мышце [21] и эффекторами которого служат симпатoadреналовые механизмы [22].

Отмечаемое в конце периода расслабления мышц предплечья уменьшение центрального аугментационного индекса и диастолического давления ниже исходного уровня по типу посленагрузочного перерегулирования объясняется вазодилататорным действием кислых продуктов обмена [18], главным образом лактата [23], вымываемых из ишемизированной мышцы в общий кровоток. Еще в 1964 г. Peretz et al. [24] показали, что метаболический ацидоз вызывает клинически манифестирующий гипотензивный шок, что послужило основой для способа коррекции посттравматической (сдавление конечностей) или постокклюзионной системной гипотензии путем инфузии щелочных растворов.

Обнаруженные различия между видами спорта могут объясняться тем, что физическая работа выполняется пловцами в условиях навязанного ритма дыхания и изменённой амплитудно-частотной сопряжённости его с ритмом сердечных сокращений. Кроме того, горизонтальное положение тела и гидростатическое давление уменьшают обычный у людей обусловленный силой тяжести верхне-нижний градиент АД и жёсткость артерий ног, приводят к известному регионарному перераспределению кровотока в верхнюю часть тела и облегчают венозный приток к сердцу [25, 26]. Важность последнего механизма подтверждает описанная Августом Крогом в 1912 г. зависимость насосной функции сердца от венозного возврата [27], которая выражается «законом сердца» Старлинга – Франка.

Следует отметить, что все приведенные литературные данные для объяснения обнаруженных фактов получены либо на здоровых взрослых людях, либо на больных артериальной гипертензией.

Хотя вопрос о том, отличаются ли пловцы и лыжники от атлетов других циклических видов спорта: конькобежцев, бегунов, велосипедистов – не изучался, обнаруженные различия, вероятно, можно приписать специфичности показателей именно спортсменов-пловцов, которая фенотипически возникла у них при интенсивной регулярной мышечной деятельности в водной среде. Показано, что жесткость периферических артерий, которая оценивалась по скорости распространения пульсовой волны и аугментационному индексу, у пловцов в бассейне, в открытой воде и у ватерполистов была обратно пропорциональна недельной плавательной нагрузке: спортсмены с большей нагрузкой имели меньшие значения показателей, т.е. податливые артерии [25].

Заключение. Параметры центральной гемодинамики как в покое, так и после статической изометрической нагрузки у подростков-спортсменов различаются в зависимости от вида спорта. В покое пловцы по сравнению с лыжниками имеют более высокие показатели центрального и периферического систолического и пульсового давления, низкие значения аугментации, что говорит о более высокой

эластичности артерий. У них длительная диастола обеспечивает лучшую перфузию миокарда.

Можно полагать, что в основе снижения АД в поздний срок восстановления у пловцов лежит большая чувствительность артерий большого круга и сосудодвигательного центра к недоокисленным продуктам обмена [18, 23, 24], которые вымываются из изометриче-

ски сокращенных мышц предплечья после их расслабления и снижают тонус артерий.

Полученные данные позволяют предполагать, что основной причиной обнаруженных гемодинамических различий между видами спорта являются особенности тренировочного процесса у пловцов: горизонтальное положение тела, гидростатическое давление, облегченный венозный возврат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Написание и редактирование текста, выполнение апланационной тонометрии, обработка материала: Комлягина Т.Г.

Разработка дизайна, выполнение изометрического теста: Гуляева В.В.

Медицинское обеспечение, составление протокола исследования: Зинченко М.И.

Литературный поиск и анализ, взаимодействие с родителями и тренерами: Урюмцев Д.Ю.

Подбор испытуемых, администрирование базы данных: Брызгалова Е.А.

Анализ и статистическая обработка данных: Мельников В.Н.

Литература

1. *Safar M.E.* Systolic blood pressure, pulse pressure and arterial stiffness as cardiovascular risk factors. *Curr Opin Nephrol Hypertens.* 2001; 10: 257–261.
2. *Nemes A., Forster T., Csanády M.* Reduction of coronary flow reserve in patients with increased aortic stiffness. *Can J Physiol Pharm.* 2007; 85: 818–822.
3. *Boutouyrie P., Chowienzyk P., Humphrey J.D., Mitchell G.F.* Arterial stiffness and cardiovascular risk in hypertension. *Circ Res.* 2021; 128 (7): 864–886.
4. *Мавлиев Ф.А., Назаренко А.С., Асманов Р.Ф., Сиразетдинов А.Ф., Мاستров А.В.* Особенности реакции артериального давления на физическую нагрузку у представителей различных видов спорта. *Наука и спорт: современные тенденции.* 2020; 8 (1): 62–68.
5. *Kim D.H., Braam B.* Assessment of arterial stiffness using applanation tonometry. *Can J Physiol Pharm.* 2013; 91 (12): 999–1008.
6. *Zhang Ya, Fan X., Qi L., Du Ch.* Comparison of central hemodynamic parameters for young basketball athletes and control group. *Acta Cardiol.* 2017; Dec 28: 1–7.
7. *Haapala E.A., Laukkanen J.A., Takken T., Kujala U.M., Finni T.* Peak oxygen uptake, ventilator threshold, and arterial stiffness in adolescents. *Eur J Appl Physiol.* 2018; 118: 2367–2376.
8. *Fernström M., Heiland E.G., Kjellenberg K., Ponten M., Tarassova O., Nyberg G., Helgadottir B., Ekblom M.M., Ekblom Ö.* Effects of prolonged sitting and physical activity breaks on measures arterial stiffness and cortisol in adolescents. *Acta Pediatr.* 2023; 112 (5): 1011–1018.
9. *Zhang Ya., Lin Qi, Frans van de Vosse, Chenglin Du, Yudong Yao, Jianhang Du, Guifu Wu, Lisheng Xu.* Recovery responses of central hemodynamics in basketball athletes and controls after the Bruce test. *Front Physiol.* 2020; 11: 593277.
10. *Varga-Pintér B., Horváth P., Kneffel Z., Major Z., Osváth P., Pavlik G.* Resting blood pressure values of adult athletes. *Kidney Blood Press Res.* 2011; 34 (6): 387–395.
11. *Zhang Yi, Lacolley P., Protogerou A.D., Safar M.* Arterial stiffness in hypertension and function of large arteries. *Am J Hypertens.* 2020; 33 (4): 291–296.
12. *Nualnim N., Barnes J.N., Tarumi T., Renzi C.P., Tanaka H.* Comparison of central artery elasticity in swimmers, runners, and the sedentary. *Am J Cardiol.* 2011; 107 (5): 783–787.
13. *Yuan W.X., Liu H.B., Gao F.S., Wang Y.X., Qin K.R.* Effect of 8-week swimming training on carotid arterial stiffness and hemodynamics in young overweight adults. *Biomed Eng Online.* 2016; 15 (suppl. 2): 151.

14. Nualnim N., Parkhurst K., Dhindsa M., Tarumi T. Effect of swimming training on blood pressure and vascular function in adults >50 years of age. *Am J Cardiol.* 2012; 109 (7): 1005–1010.
15. Brook R.D., Appel L.J., Rubenfire M., Ogedegbe G., Bisognano J.D. Beyond medication and diet: alternative approaches to lowering blood pressure: a scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension.* 2013; 61 (6): 1360–1383.
16. McGowan C.L., Proctor D.N., Swaine I. Isometric hand grip as an adjunct for blood pressure control: a primer for clinicians. *Curr Hypertens Rep.* 2017; 19 (6): 51.
17. Butlin M., Quasem A. Large artery stiffness assessment using SphygmoCor technology. *Pulse.* 2016; 4: 180–192.
18. Гайнуллина Д.К., Швецова А.А., Тарасова О.С. Механизмы влияния ацидоза на тонус кровеносных сосудов. *Авиакосм. Экологич. мед.* 2022; 56 (5): 38–45.
19. Safar M.E., Asmar R., Benetos A., Blacher J., Boutouyrie P., Lacolley P., Laurent S., London G., Pannier B., Protogerou A., Regnault V., French Study Group on Arterial Stiffness. Interaction and Arterial Stiffness. *Hypertension.* 2018; 72 (4): 796–805.
20. Delaney E.P., Greaney J.L., Edwards D.G., Rose W.C., Fadel P.J., Farquhar W.B. Exaggerated sympathetic and pressor responses to handgrip exercise in older hypertensive humans: role of the muscle metaboreflex. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2010; 299: H1318–H1327.
21. Kaur J., Senador D., Krishnan A.C., Hanna H.W., Alvarez A., Machado T.M., O’Leary D.S. Muscle metaboreflex-induced vasoconstriction in the ischemic active muscle is exaggerated in heart failure. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2018; 314: H11–H18.
22. Goodwin G.M., McCloskey D.I., Mitchell J.H. Cardiovascular and respiratory responses to changes in central command during isometric exercise at constant muscle tension. *J Physiol.* 1972; 226: 173–190.
23. Devereux G.R., Coleman D., Wiles J.D., Swaine I. Lactate accumulation following isometric exercise training and its relationship with reduced resting blood pressure. *J Sports Sci.* 2012; 30 (11): 1141–1148.
24. Peretz D.I., McGregor M., Dossetor J.B. Lactic acidosis: A clinically significant aspect of shock. *Canad Med Ass J.* 1964; 90: 673–675.
25. Cheung C.P., Coates A.M., Currie K.D., King T.J., Mountjoy M.L., Burr J.F. Examining the relationship between arterial stiffness and swim-training volume in elite aquatic athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2021; 121: 2635–2645.
26. Осадчий Л.И. Работа сердца и тонус сосудов. Ленинград: Наука; 1975: 188.
27. Joyce W., Wang T. How cardiac output is regulated: August Krogh’s proto-Guytonian understanding of the importance of venous return. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2021; 253: 110861.

Поступила в редакцию 13.10.2023; принята 04.03.2024.

Авторский коллектив

Комлягина Тамара Григорьевна – научный сотрудник, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины». 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4; e-mail: tkomlyagina@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5992-4721>.

Гультяева Валентина Владимировна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины». 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4; e-mail: Gultyayevavv@neuronm.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9981-2452>.

Зинченко Маргарита Ивановна – кандидат медицинских наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины». 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4; e-mail: Zinchenkomi@neuronm.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3107-0493>.

Урюмцев Дмитрий Юрьевич – кандидат медицинских наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины». 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4; e-mail: Uryumcevdy@neuronm.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6434-8220>.

Брызгалова Екатерина Алексеевна – врач-терапевт, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины». 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4; e-mail: bryzgalova_e.a@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2161-7357>.

Мельников Владимир Николаевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины». 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4; e-mail: mevlanic@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5786-1870>.

Образец цитирования

Комлягина Т.Г., Гультяева В.В., Зинченко М.И., Урюмцев Д.Ю., Брызгалова Е.А., Мельников В.Н. Влияние статической физической нагрузки на центральную гемодинамику и растяжимость артерий у подростков-спортсменов, занимающихся плаванием и лыжными гонками. Ульяновский медико-биологический журнал. 2024; 2: 143–154. DOI: 10.34014/2227-1848-2024-2-143-154.

EFFECT OF STATIC PHYSICAL ACTIVITY ON CENTRAL HEMODYNAMICS AND ARTERIAL DISTENSIBILITY IN ADOLESCENT ATHLETES INVOLVED IN SWIMMING AND CROSS-COUNTRY SKIING

T.G. Komlyagina, V.V. Gulytaeva, M.I. Zinchenko, D.Yu. Uryumtsev,
E.A. Bryzgalova, V.N. Melnikov

Research Institute of Neuroscience and Medicine, Novosibirsk, Russia

The purpose of the paper is to compare arterial distensibility in endurance sports athletes (track and field athletes and swimmers), in whom adaptation to muscle activity is formed in interaction with various environmental factors.

Materials and methods. Qualified athletes (adolescents aged 13–17) performed a 5-minute isometric handgrip exercise, corresponding to 20 % of the maximum compression force. The authors assessed athletes' hemodynamics, arterial elasticity and cardiac parameters using the SphygmoCor technology.

Results. At rest, swimmers demonstrated increased systolic blood pressure, lower values of heart rate, augmentation index and relative systole duration. Immediately after load, swimmers showed an increase in blood pressure, augmentation pressure, and left ventricular contractility as a consequence of sympathoadrenal system activation during exercise. In skiers the answers were reduced. After 20-minute recovery, diastolic pressure and augmentation index in swimmers dropped below the baseline. It was probably due to the vasodilatory effect of acidic metabolic products washed out after exercise from isometrically contracted ischemic forearm muscles.

Conclusion. The characteristic aspects of aquatic training influence background hemodynamic parameters, arterial distensibility and responsiveness to local isometric load.

Key words: isometric handgrip exercise, central hemodynamics, arterial distensibility, cardiac cycle, adolescents, athletes.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Author contributions

Text writing and editing, applanation tonometry, data processing: Komlyagina T.G.

Research design, isometric test: Gulytaeva V.V.

Medical support, study protocol: Zinchenko M.I.

Literary search and analysis, interactions with parents and coaches: Uryumtsev D.Yu.

Selection of subjects for study, database administration: Bryzgalova E.A.

Analysis and statistical data processing: Melnikov V.N.

References

1. Safar M.E. Systolic blood pressure, pulse pressure and arterial stiffness as cardiovascular risk factors. *Curr Opin Nephrol Hypertens*. 2001; 10: 257–261.
2. Nemes A., Forster T., Csanády M. Reduction of coronary flow reserve in patients with increased aortic stiffness. *Can J Physiol Pharm*. 2007; 85: 818–822.

3. Boutouyrie P., Chowienzyk P., Humphrey J.D., Mitchell G.F. Arterial stiffness and cardiovascular risk in hypertension. *Circ Res.* 2021; 128 (7): 864–886.
4. Mavliev F.A., Nazarenko A.S., Asmanov R.F., Sirazetdinov A.F., Mastrov A.V. Osobennosti reaktsii arterial'nogo davleniya na fizicheskuyu nagruzku u predstaviteley razlichnykh vidov sporta [Features of arterial pressure response to exercise tests in athletes of various sports]. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii.* 2020; 8 (1): 62–68 (in Russian).
5. Kim D.H., Braam B. Assessment of arterial stiffness using applanation tonometry. *Can J Physiol Pharm.* 2013; 91 (12): 999–1008.
6. Zhang Ya, Fan X., Qi L., Du Ch. Comparison of central hemodynamic parameters for young basketball athletes and control group. *Acta Cardiol.* 2017; Dec 28: 1–7.
7. Haapala E.A., Laukkanen J.A., Takken T., Kujala U.M., Finni T. Peak oxygen uptake, ventilator threshold, and arterial stiffness in adolescents. *Eur J Appl Physiol.* 2018; 118: 2367–2376.
8. Fernström M., Heiland E.G., Kjellenberg K., Ponten M., Tarassova O., Nyberg G., Helgadottir B., Ekblom M.M., Ekblom Ö. Effects of prolonged sitting and physical activity breaks on measures arterial stiffness and cortisol in adolescents. *Acta Paediatr.* 2023; 112 (5): 1011–1018.
9. Zhang Ya., Lin Qi, Frans van de Vosse, Chenglin Du, Yudong Yao, Jianhang Du, Guifu Wu, Lisheng Xu. Recovery responses of central hemodynamics in basketball athletes and controls after the Bruce test. *Front Physiol.* 2020; 11: 593277.
10. Varga-Pintér B., Horváth P., Kneffel Z., Major Z., Osváth P., Pavlik G. Resting blood pressure values of adult athletes. *Kidney Blood Press Res.* 2011; 34 (6): 387–395.
11. Zhang Yi, Lacolley P., Protogerou A.D., Safar M. Arterial stiffness in hypertension and function of large arteries. *Am J Hypertens.* 2020; 33 (4): 291–296.
12. Nualnim N., Barnes J.N., Tarumi T., Renzi C.P., Tanaka H. Comparison of central artery elasticity in swimmers, runners, and the sedentary. *Am J Cardiol.* 2011; 107 (5): 783–787.
13. Yuan W.X., Liu H.B., Gao F.S., Wang Y.X., Qin K.R. Effect of 8-week swimming training on carotid arterial stiffness and hemodynamics in young overweight adults. *Biomed Eng Online.* 2016; 15 (suppl. 2): 151.
14. Nualnim N., Parkhurst K., Dhindsa M., Tarumi T. Effect of swimming training on blood pressure and vascular function in adults >50 years of age. *Am J Cardiol.* 2012; 109 (7): 1005–1010.
15. Brook R.D., Appel I.J., Rubenfire M., Ogedegber G., Bisognano J.D. Beyond medication and diet: alternative approaches to lowering blood pressure: a scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension.* 2013; 61 (6): 1360–1383.
16. McGowan C.L., Proctor D.N., Swaine I. Isometric hand grip as an adjunct for blood pressure control: a primer for clinicians. *Curr Hypertens Rep.* 2017; 19 (6): 51.
17. Butlin M., Quasem A. Large artery stiffness assessment using SphygmoCor technology. *Pulse.* 2016; 4: 180–192.
18. Gaynullina D.K., Shvetsova A.A., Tarasova O.S. Mekhanizmy vliyaniya atsidoza na tonus krovenosnykh sosudov [Mechanisms of the acidosis effect on the vascular tone]. *Aviakosm ekologich med.* 2022; 56 (5): 38–45 (in Russian).
19. Safar M.E., Asmar R., Benetos A., Blacher J., Boutouyrie P., Lacolley P., Laurent S., London G., Pannier B., Protogerou A., Regnault V., French Study Group on Arterial Stiffness. Interaction and Arterial Stiffness. *Hypertension.* 2018; 72 (4): 796–805.
20. Delaney E.P., Greaney J.L., Edwards D.G., Rose W.C., Fadel P.J., Farquhar W.B. Exaggerated sympathetic and pressor responses to handgrip exercise in older hypertensive humans: role of the muscle metaboreflex. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2010; 299: H1318–H1327.
21. Kaur J., Senador D., Krishnan A.C., Hanna H.W., Alvarez A., Machado T.M., O'Leary D.S. Muscle metaboreflex-induced vasoconstriction in the ischemic active muscle is exaggerated in heart failure. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2018; 314: H11–H18.
22. Goodwin G.M., McCloskey D.I., Mitchell J.H. Cardiovascular and respiratory responses to changes in central command during isometric exercise at constant muscle tension. *J Physiol.* 1972; 226: 173–190.
23. Devereux G.R., Coleman D., Wiles J.D., Swaine I. Lactate accumulation following isometric exercise training and its relationship with reduced resting blood pressure. *J Sports Sci.* 2012; 30 (11): 1141–1148.
24. Peretz D.I., McGregor M., Dosssetor J.B. Lactic acidosis: A clinically significant aspect of shock. *Canad Med Ass J.* 1964; 90: 673–675.

25. Cheung C.P., Coates A.M., Currie K.D., King T.J., Mountjoy M.L., Burr J.F. Examining the relationship between arterial stiffness and swim-training volume in elite aquatic athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2021; 121: 2635–2645.
26. Osadchiy L.I. *Rabota serdtsa i tonus sosudov* [Heart function and vascular tone]. Leningrad: Nauka; 1975. 188 (in Russian).
27. Joyce W., Wang T. How cardiac output is regulated: August Krogh's proto-Guytonian understanding of the importance of venous return. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2021; 253: 110861.

Received October 13, 2023; accepted March 04, 2024.

Information about the authors

Komlyagina Tamara Grigor'evna, Researcher, Research Institute of Neuroscience and Medicine. 630117, Russia, Novosibirsk, Timakov St., 4; e-mail: tkomlyagina@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5992-4721>.

Gul'tyaeva Valentina Vladimirovna, Candidate of Sciences (Biology), Leading Researcher, Research Institute of Neuroscience and Medicine. 630117, Russia, Novosibirsk, Timakov St., 4; e-mail: Gultyayevavv@neuronm.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9981-2452>.

Zinchenko Margarita Ivanovna, Candidate of Sciences (Medicine), Researcher, Research Institute of Neuroscience and Medicine. 630117, Russia, Novosibirsk, Timakova St., 4; e-mail: Zinchenkomi@neuronm.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3107-0493>.

Uryumtsev Dmitriy Yur'evich, Candidate of Sciences (Medicine), Researcher, Research Institute of Neuroscience and Medicine. 630117, Russia, Novosibirsk, Timakov St., 4; e-mail: Uryumcevdy@neuronm.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6434-8220>.

Bryzgalova Ekaterina Alekseevna, General Practitioner, Research Institute of Neuroscience and Medicine. 630117, Russia, Novosibirsk, Timakov St., 4; e-mail: bryzgalova_e.a@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2161-7357>.

Mel'nikov Vladimir Nikolaevich, Doctor of Sciences (Biology), Leading Researcher, Research Institute of Neuroscience and Medicine. 630117, Russia, Novosibirsk, Timakova St., 4; e-mail: mevlanic@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5786-1870>.

For citation

Komlyagina T.G., Gulyaeva V.V., Zinchenko M.I., Uryumtsev D.Yu., Bryzgalova E.A., Melnikov V.N. Vliyaniye staticheskoy fizicheskoy nagruzki na tsentral'nuyu gemodinamiku i rastyazhimost' arteriy u podrostkov-sportsmenov, zanimayushchikhsya plavaniem i lyzhnymi gonkami [Effect of static physical activity on central hemodynamics and arterial distensibility in adolescent athletes involved in swimming and cross-country skiing]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskiy zhurnal*. 2024; 2: 143–154. DOI: 10.34014/2227-1848-2024-2-143-154 (in Russian).