

ИЛЬЮТИК Анна Вячеславовна, канд. биол. наук, доцент

ЗУБОВСКИЙ Дмитрий Константинович, канд. мед. наук

ЗАГОРОВСКИЙ Виктор Александрович

*Белорусский государственный университет физической культуры,
Минск, Республика Беларусь*

ФИЗИЧЕСКАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ГРЕБЦОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ГЕМОДИНАМИКИ

В статье представлены результаты тестирования физической работоспособности высококвалифицированных спортсменов 18–22 лет, специализирующиеся в гребных видах спорта, с разными типами кровообращения. У 74,0 % высококвалифицированных гребцов зарегистрирован гиперкинетический тип кровообращения, характеризующийся значимо более высокими показателями ударного объема крови, минутного объема кровообращения, сердечного индекса, и низкими значениями общего периферического сопротивления сосудов по сравнению с гребцами с нормокинетическим типом. У спортсменов с нормокинетическим типом с высокой частотой отмечена брадикардия как показатель экономизации функционирования сердечно-сосудистой системы в покое. Гребцы с исходным гиперкинетическим типом демонстрировали более высокую физическую работоспособность, однако это достигалось напряжением функционирования системы кровообращения.

Ключевые слова: центральная гемодинамика; сердечно-сосудистая система; типы кровообращения; гребцы; физическая работоспособность.

PHYSICAL PERFORMANCE OF ROWERS DEPENDING ON THE TYPE OF HEMODYNAMICS

The article presents the results of testing the physical performance of highly qualified 18–22-year-old athletes with different types of blood circulation, specializing in rowing sports. In 74.0 % of highly qualified rowers a hyperkinetic type of blood circulation has been registered, characterized by significantly higher indicators of stroke blood volume, minute volume of blood circulation, cardiac index, and low values of total peripheral vascular resistance compared to rowers with the normokinetic type. In athletes of a normokinetic type has been registered a high frequency of bradycardia as an indicator of the economization of the functioning of the cardiovascular system at rest. Rowers with the initial hyperkinetic type demonstrated higher physical performance achieved by straining the functioning of the circulatory system.

Keywords: central hemodynamics; cardiovascular system; types of blood circulation; rowers; physical performance.

Введение. Тренировочная и соревновательная деятельность гребцов характеризуется напряженными физическими нагрузками, отличающимися высокой интенсивностью и большой продолжительностью при чередовании напряжения и расслабления мышц на фоне натуживания при проводке весел [1]. Нередко выполнение таких нагрузок и недостаточность восстановительных мероприятий приводят к развитию утомления и истощению компенсаторных резервов организма. При этом развивающиеся донозологические изменения, которые могут ограничивать достижение высоких спортивных резуль-

татов, в первую очередь обнаруживаются в сердечно-сосудистой системе [1–4].

В процессе спортивной подготовки именно сердечно-сосудистая система чаще других систем организма подвергается перенапряжениям, особенно в таких видах спорта, как гребля академическая, гребля на байдарках и каноэ, в которых особенно высоки требования к транспорту кислорода. С другой стороны, повышение уровня физической подготовленности гребцов, обеспечивающее развитие необходимых физических качеств и совершенствование технико-тактической подготовки, сопряжено с процессами адаптации

сердечно-сосудистой системы, происходящими на регуляторном, метаболическом и морфологическом уровне [4–6]. В связи с этим одним из перспективных направлений функциональной диагностики спортсменов является мониторинг параметров центральной гемодинамики (ЦГД), который позволяет оценить эффективность протекания приспособления к физическим нагрузкам, так как показатели кровообращения являются высокоточными индикаторами функционального состояния организма [2–6]. Изучение особенностей кровообращения спортсменов является актуальным вопросом и имеет большое практическое значение, так как оценка показателей гемодинамики при выполнении тренировочных нагрузок как маркеров адаптивных перестроек позволяет дифференцированно подходить к организации тренировочного процесса, своевременно выявлять снижение функциональных возможностей организма, способствовать сохранению здоровья спортсменов.

Цель исследования – сравнить показатели физической работоспособности высококвалифицированных спортсменов 18–22 лет, специализирующихся в гребных видах спорта, исходя из исходного состояния системы кровообращения.

Организация и методы исследования.

Было обследовано 250 спортсменов мужского пола в возрасте от 17 до 22 лет, которые специализируются в гребных видах спорта: гребле академической и гребле на байдарках и каноэ. Спортсмены имели высокую спортивную квалификацию: КМС, МС и МСМК. В качестве тестирующей нагрузки гребцы выполняли субмаксимальный ступенчатый тест на гребном тренажере “Концепт 2”. Начальная скорость гребли составляла 2,5 м/с и повышалась через каждые 3 минуты на 0,5 м/с. Работа выполнялась до достижения спортсменом частоты сердечных сокращений (ЧСС) 170 уд/мин. Тестирования проводили в подготовительном периоде годичного цикла подготовки.

Для оценки состояния системы кровообращения у спортсменов в исходном состоянии (состояние покоя) и сразу после выполнения тестирующей физической нагрузки регистрировали показатели ЦГД методом дифференциальной тетраполярной реографии с использованием компьютерного реографа «Импекард-М». В данной работе представлены показатели систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД, мм рт. ст.), ЧСС (уд/мин), ударного объема (УО, мл), минутного объема кровообращения (МОК, л/мин), сердечного индекса (СИ, л/мин×м²), общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС, дин×с×м⁻⁵) и общего гемодинамического показателя (ОГП, у. е.).

Математическая обработка эмпирических данных проводилась с использованием методов вариационной статистики с помощью пакета программ “Microsoft Office Excel” и “IBM SPSS Statistics 20”. Так как количественные признаки не подчинялись закону нормального распределения (по критерию Колмогорова – Смирнова), то для оценки значимости различий между показателями в сравниваемых независимых выборках использовали U-критерий Манна – Уитни. Значимость различий в частоте встречаемости признака определяли с помощью ф-критерия углового преобразования Фишера. Данные представлены в виде медианы значений (Me) и интерквартильного размаха с описанием значений 25 и 75 перцентилей: Me (25 %; 75 %), критическое значение уровня значимости 0,05.

Основные результаты исследования и их обсуждение. По результатам реографического исследования гребцы были разделены на группы в зависимости от исходного типа кровообращения. В зависимости от соотношения величин СИ, МОК и ОПСС выделяют несколько типов центральной гемодинамики: нормокинетический, гипокинетический и гиперкинетический,

а также эукинетический, промежуточный между гипо- и нормокинетическим. Согласно результатам исследований, для обладателей гиперкинетического типа характерна достаточно высокая активность симпатoadреналовой системы, а интенсификация кровообращения при выполнении физических нагрузок осуществляется за счет инотропной и хронотропной функций сердца при малом участии механизма Франка – Старлинга [2–4]. Данное состояние обуславливает напряжение функционирования сердечно-сосудистой системы и может послужить существенным фактором, лимитирующим спортивный результат. С другой стороны, гипокинетический тип кровообращения отражает экономичность и широкий функциональный диапазон сердечно-сосудистой системы.

По данным проведенного анализа, у 74,0 % гребцов выявлен гиперкинетический тип кровообращения, что значительно чаще, чем нормокинетический тип, который регистрировался в 26,0 % случаев ($P < 0,01$ по критерию Фишера, $\varphi_{\text{эм.}} = 11,2$).

Гипокинетический тип кровообращения у обследованных спортсменов не зарегистрирован. Соответственно, гребцов с гиперкинетическим типом отнесли к группе 1, с нормокинетическим – к группе 2.

Для гиперкинетического типа характерны низкие значения ОПСС при высоких величинах МО и СИ [2–4]. Данный тип гемодинамики отражает наименее экономичный режим функционирования сердца, снижение приспособительных возможностей на фоне высокой активности симпатoadреналовой системы. В то же время изменение регуляции кровообращения в сторону преобладания гиперкинетического типа у высококвалифицированных спортсменов рассматривается как признак адаптированности к физическим нагрузкам скоростно-силового характера [2].

Для гребцов 1-й и 2-й групп рассчитаны среднegrupповые величины показателей центральной гемодинамики в покое до нагрузки и после выполнения физической нагрузки, представленные в таблице 1.

Таблица 1. – Показатели центральной гемодинамики высококвалифицированных гребцов (юноши, 17–22 года, Мс (25 %; 75 %))

Показатели		Группы гребцов в зависимости от типа гемодинамики	
		нормокинетический	гиперкинетический
До нагрузки	САД, мм рт. ст.	120 (115; 125)	120 (110; 125)
	ДАД, мм рт. ст.	70 (60; 75)	70 (60; 70)
	ЧСС, уд/мин	57 (52; 64)	65 (59; 71)
	Частота брадикардии, %	61,5*	26,5*
	УО, мл	122,0 (109,7; 131,7)*	155,4 (140,8; 173,0)*
	МОК, л/мин	6,8 (6,4; 7,5)*	9,8 (8,9; 10,9)*
	СИ, л/мин×м ²	3,4 (3,2; 3,6)*	4,8 (4,4; 5,4)*
	ОПСС, дин×с×см ⁻⁵	1044,7 (947,6; 1142,4)*	745,7 (675,7; 801,3)*
ОГП, у. е.	142,3 (135,0; 151,7)	150,3 (142,2; 158,3)	
После нагрузки	САД, мм рт. ст.	190 (180; 210)	180 (180; 200)
	ДАД, мм рт. ст.	50 (40; 60)	40 (0; 50)
	ЧСС, уд/мин	172 (171; 175)	173 (171; 177)
	УО, мл	120,0 (99,7; 139,3)	135,9 (108,5; 158,2)
	МОК, л/мин	21,7 (17,0; 24,5)	23,1 (18,8; 27,4)
	СИ, л/мин×м ²	10,3 (8,6; 12,3)	11,6 (9,0; 13,6)
	ОПСС, дин×с×см ⁻⁵	652,6 (599,2; 870,4)	588,2 (509,2; 698,7)

274 *Примечание:* * – значимые различия показателей, $P < 0,05$.

Следует отметить, что группы 1 и 2 были однородны по составу: средний возраст гребцов 1-й группы составил 18,0 (17,0; 21,0) лет, гребцов 2-й группы – 19,0 (18,0; 21,0) лет. Длина тела и масса тела спортсменов 1-й группы находились в диапазоне 182,5 (179,0; 186,0) см и 82,6 (76,1; 90,7) кг, спортсменов 2-й группы – 183,0 (178,0; 186,5) см и 78,4 (73,6; 86,0) кг соответственно.

Показатели артериального давления у спортсменов обеих групп в состоянии покоя до выполнения физической нагрузки соответствовали физиологическим нормам и не отличались между собой. В целом в выборке гребцов с высокой частотой регистрировалась брадикардия как признак экономизации функционирования сердечно-сосудистой системы в состоянии покоя (таблица 1). В 1-й группе брадикардия отмечена в 61,5 % случаев, что значимо чаще по сравнению со 2-й группой ($P < 0,01$ по критерию Фишера, $\varphi_{\text{эмп.}} = 5,0$).

У гребцов обеих групп отмечены высокие индивидуальные и среднегрупповые значения УО, МОК и СИ (таблица 1), типичные для умеренной гипердинамики сердечной деятельности. Рассматриваемые показатели у спортсменов с исходным гиперкинетическим типом кровообращения значимо выше по сравнению с юношами с нормокинетическим типом ($P < 0,05$, по U-критерию). Рост показателей УО и МОК выше физиологических значений рассматривается как один из компенсаторных механизмов при адаптации организма спортсменов к физическим нагрузкам, обеспечивающим эффективное функционирование сердечно-сосудистой системы по доставке кислорода и энергетических субстратов к сокращающимся мышцам.

Информативным показателем состояния системы кровообращения является ОПСС, характеризующее суммарное сопротивление системы артериол току крови. Оно определяется трансмуральным давлением, эластическими свойствами

соединительной ткани сосудистой стенки, уровнем активации гладких мышц и другими факторами. Сниженное сопротивление периферических кровеносных сосудов – частое явление для тренированного организма [2–5]. Это один из ключевых факторов, определяющих повышенный УО и, как результат, высокие значения МОК даже при наличии брадикардии. Кроме того, уменьшение сопротивления рассматривается как благоприятный постнагрузочный эффект в периферическом сосудистом русле, необходимый для протекания отставленных восстановительных процессов: метаболизации кетоновых тел, аммиака, лактата, восстановления запасов гликогена. У гребцов 2-й группы величины ОПСС значимо ниже, чем у гребцов 1-й группы: 1044,7 (947,6; 1142,4) $\text{дин} \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$ и 745,7 (675,7; 801,3) $\text{дин} \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$ соответственно (таблица 1, $P < 0,05$, по U-критерию).

Величина ОГП характеризует в целом адаптационные возможности организма на основании показателей гемодинамики. Отмечено, что в среднем значения ОГП у обследованных высококвалифицированных гребцов соответствовали удовлетворительному состоянию кровообращения: 142,3 (135,0; 151,7) у. е. у спортсменов 1-й группы и 150,3 (142,2; 158,3) у. е. у спортсменов 2-й группы (таблица 1). На рисунке 1 показано распределение гребцов обеих групп по частоте встречаемости отличного, хорошего, удовлетворительного и неудовлетворительного состояния гемодинамики.

Отличное состояние гемодинамики ($\text{ОГП} < 125$ у. е.) зафиксировано у 7,7 % спортсменов 1-й группы (рисунок 1), что значимо чаще по сравнению с группой 2, в которой данное состояние отмечено в 0,5 % ($P < 0,01$ по критерию Фишера, $\varphi_{\text{эмп.}} = 2,88$). В то же время в 1-й группе значимо реже (с частотой 35,4 %) отмечали неудовлетворительное состояние гемодинамики, чем в группе 2, в которой

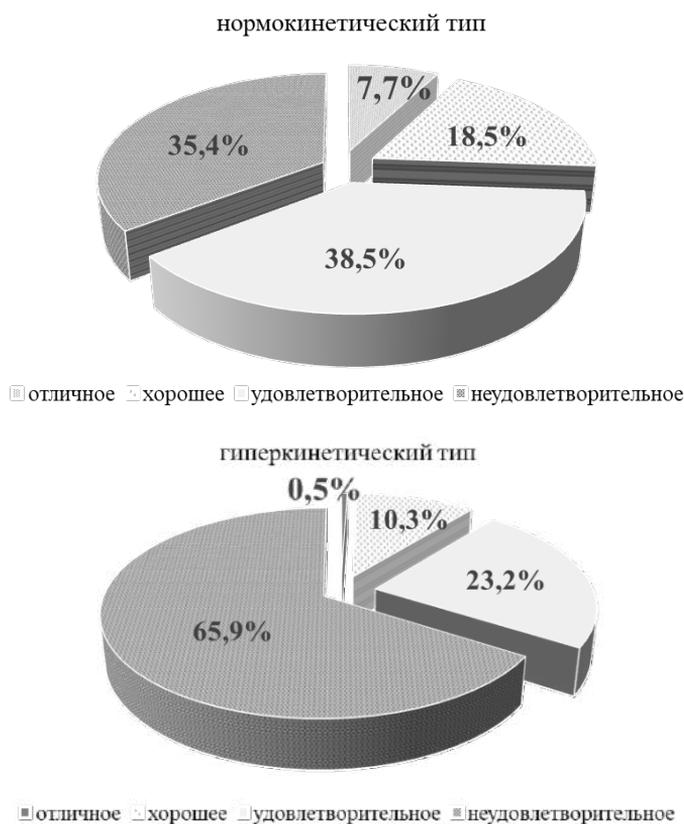


Рисунок 1. – Состояние системы кровообращения у высококвалифицированных гребцов

данное состояние наблюдалось у 65,9 % гребцов ($P < 0,01$ по критерию Фишера, фэмп.=4,31). Таким образом, тот факт, что у спортсменов с исходным гиперкинетическим типом значимо чаще регистрировалось неудовлетворительное и значимо реже – отличное состояние гемодинамики, указывает на напряжение функционирования системы кровообращения у данных спортсменов.

После выполнения тестирующей физической нагрузки на гребном эргометре у гребцов 1-й и 2-й групп отмечено закономерное повышение показателей САД, ЧСС, МОК, СИ, а также снижение величин ДАД и ОПСС (таблица 1).

Необходимо акцентировать внимание на динамике УО после выполнения тестирующей нагрузки на гребном эргометре, так как в 1-й и 2-й группах она отличалась. У гребцов 1-й группы (нормокинетический тип) величина УО после выполнения нагрузки практически не изменилась по сравнению с состоянием покоя: до тестирования 122,0 (109,7; 131,7) мл и после тестирования 120,0 (99,7; 139,3) мл (таблица 1). У гребцов 2-й группы (гиперкине-

тический тип) величина УО снизилась на 12,5 %: до тестирования 155,4 (140,8; 173,0) мл и после тестирования 135,9 (108,5; 158,2) мл (таблица 1). Уменьшение величины УО при выполнении физической нагрузки, является менее благоприятной реакцией, отражающей снижение мощности сокращения сердечной мышцы и ослабление насосной функции сердца. При таком варианте реакции на нагрузку интенсификация кровообращения и увеличение минутного объема крови реализуется преимущественно за счет хронотропного механизма (увеличение ЧСС).

Изменение ЧСС 18–22-летних гребцов с различными исходными типами гемодинамики в ходе выполнения субмаксимального ступенчатого теста на гребном тренажере “Concept 2” представлено в таблице 2.

Исходные значения ЧСС у спортсменов обеих групп не отличались (таблица 1). Однако уже начиная с первой минуты гребли и до окончания тестирования у гребцов 1-й группы показатели ЧСС были значимо выше по сравнению с гребцами 2-й группы (таблица 2).

На рисунке 2 показаны графики роста ЧСС у спортсменов с нормо- и гиперкинетическим типами в ходе выполнения нагрузочного тестирования.

Таблица 2. – Показатели ЧСС при тестировании спортсменов на гребном тренажере “Concept 2”, Me (25 %; 75 %)

Параметры нагрузки		ЧСС гребцов с различными типами гемодинамики, уд/мин		Статистические характеристики	
Степень задания, скорость гребли	Время гребли, минуты	нормо-кинетическим типом	гипер-кинетическим типом	U-критерий Манна – Уитни	P
Первая ступень 2,5 м/с	1	105 (102; 109)	99 (93; 103)	858,5	0,02
	2	106 (101; 112)	99 (94; 104)	731,0	<0,001
	3	109 (101; 115)	101 (96; 107)	912,0	0,005
Вторая ступень 3,0 м/с	4	122 (116; 127)	110 (106; 117)	557,0	<0,001
	5	124 (121; 130)	113 (107; 119)	439,5	<0,001
	6	129 (124; 132)	116 (110; 122)	444,0	<0,001
Третья ступень 3,5 м/с	7	144 (136; 157)	127 (122; 133)	271,5	<0,001
	8	155 (142; 162)	131 (124; 138)	233,0	<0,001
	9	157 (144; 165)	135 (128; 141)	346,0	<0,001
Четвертая ступень 4,0 м/с	10	163 (156; 169)	149 (142; 157)	310,0	<0,001
	11	165 (160; 168)	155 (147; 164)	276,5	0,005
	12	166 (163; 169)	158 (150; 165)	243,0	0,004
Пятая ступень 4,5 м/с	13	175 (172; 176)	165 (159; 169)	107,5	<0,001
	14	–	167 (164; 170)	–	–
	15	–	168 (166; 170)	–	–
Шестая ступень 5,0 м/с	16	–	172 (170; 173)	–	–
	17	–	173 (171; 173)	–	–



Рисунок 2. – Уровень физической работоспособности высококвалифицированных гребцов

Видно, что на всех ступенях задания при одинаковой скорости гребли значения ЧСС юношей с исходным нормокинетическим типом превышали ЧСС юношей с гиперкинетическим типом (рисунок 2).

Согласно полученным результатам, гребцы 1-й группы в среднем заканчивали тестирование из-за достижения ЧСС, равной 170 уд/мин, на 13-й минуте гребли, это пятая ступень задания (рисунок 2). В то же время гребцы 2-й группы достигали 170 уд/мин на 16-й минуте бега, это шестая ступень теста, демонстрируя тем самым более высокий уровень физической работоспособности. Скорость гребли при завершении тестирования у спортсменов 1-й группы составила 4,5 м/с, у спортсменов 2-й группы – 5,0 м/с (рисунок 2). При этом значимых различий в показателях артериального давления и гемодинамических показателях у юношей обеих групп не обнаружено.

Таким образом, высококвалифицированные гребцы с исходным гиперкинетическим типом гемодинамики демонстрировали более высокий уровень физической работоспособности, однако это достигалось напряжением функционирования системы кровообращения. У данной группы спортсменов отмечен наименее экономичный режим работы сердца в покое и ослабление насосной функции при выполнении физической нагрузки. Отмеченные развивающиеся донозологические изменения в результате выполнения интенсивных физических нагрузок могут стать решающими факторами, лимитирующими достижение высокого спортивного результата. Данная категория спортсменов нуждается в комплексной физической реабилитации для сохранения и поддержания здоровья и увеличения спортивного долголетия.

Заключение. Согласно полученным результатам, у 74,0 % высококвалифицированных гребцов зарегистрирован гиперкинетический тип кровообращения. Поддержание уровня артериального давления при

гиперкинетическом типе гемодинамики у спортсменов осуществляется за счет повышенных значений УО, МОК СИ при низких величинах ОПСС, что отражает высокую производительность миокарда и является признаком адаптации сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам скоростно-силового характера. У спортсменов с нормокинетическим типом с высокой частотой отмечена брадикардия как показатель экономизации функционирования сердечно-сосудистой системы в состоянии покоя.

У высококвалифицированных гребцов с исходным гиперкинетическим типом значимо чаще регистрировалось неудовлетворительное и значимо реже – отличное состояние гемодинамики, что отражает напряжение функционирования системы кровообращения.

При выполнении физических нагрузок сердце юношей с гиперкинетическим типом гемодинамики работает в наименее экономичном режиме, а диапазон компенсаторных возможностей этого типа ограничен. Отмечено, что высококвалифицированные гребцы с исходным гиперкинетическим типом гемодинамики демонстрировали более высокий уровень физической работоспособности. Скорость гребли при завершении тестирования у спортсменов 1-й группы составила 4,5 м/с, у спортсменов 2-й группы – 5,0 м/с. В среднем спортсмены 2 группы выполняли тестирующую нагрузку на 3 минуты дольше. При этом увеличение МОК у высококвалифицированных гребцов с гиперкинетическим типом после выполнения физической нагрузки реализуется преимущественно за счет хронотропного механизма деятельности сердца (увеличение ЧСС) на фоне снижения УО, что отражает напряжение механизмов функционирования сердечно-сосудистой системы.

Контроль функционального состояния спортсменов и изучение показателей гемодинамики и типов кровообращения

является эффективным инструментом для индивидуализации программ тренировок, оптимизации и коррекции спортивных нагрузок, прогноза изменений спортивных результатов, а также решения вопросов,

связанных с ранним выявлением донозологических и патологических изменений в сердечно-сосудистой системе, рисков возникновения состояний перетренированности и перенапряжения.

1. Теоретические и практические аспекты подготовки спортсменов по гребле на байдарках и каноэ / Е. Г. Каллаур [и др.]. – Минск, 2017. – 100 с.

2. Ванюшин, Ю. С. Типологические особенности кровообращения юношей при адаптации к физической нагрузке / Ю. С. Ванюшин, Д. Е. Елистратов // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2017. – № 1. – С. 131–138.

3. Guzii1, O. Differentiation of Hemodynamics of Top Athletes / O. Guzii1, A. Romanchuk // Journal of Advances in Medicine and Medical Research. – 2017. – № 22. – P. 1–10.

4. Интегральные показатели гемодинамики в оценке функциональной готовности спортсмена / В. И. Павлов [и др.] // Российский кардиологический журнал. – 2023. – № 28. – С. 46–47.

5. Ильютик, А. В. Вариабельность сердечного ритма и центральная гемодинамика у высококвалифицированных гребцов с разной активностью вегетативной регуляции / А. В. Ильютик, Д. К. Зубовский, В. А. Загоровский // Ученые записки Белорусского государственного университета физической культуры. – Минск : БГУФК, 2021. – Вып. 24. – С. 296–303.

6. Koziy, T. Adaptive Changes of the Hemodynamics Parameters in Athletes Training to Develop Stability / T. Koziy, M. Topcii // Georgian Med News. – 2018. – № 11. – P. 76–82.

Статья поступила в редакцию 25.10.2023