

ИЗМЕНЕНИЕ КАРДИОРИТМА И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРОВООБРАЩЕНИЯ ЮНЫХ ПЛОВЦОВ СПРИНТЕРОВ И СТАЙЕРОВ

А.П. Исеев, Т.В. Потапова, В.В. Эрлих
ЮУрГУ, г. Челябинск

Впервые показана полифункциональная мобильность значений кардио-васкулярной системы юных пловцов стайеров и спринтеров. Выявлены ее особенности и механизмы в зависимости от специализации спортсмена. При этом ключевые значения для приобретения фазы стабилизации аллостаза имеют интегративное значение межсистемного и внутрисистемного характера.

Ключевые слова: адаптация, аллостаз, кардиоинтервалы, спектральный анализ, кровообращение.

Межсистемные функциональные связи при долговременной компенсаторной адаптации (ДКА) к частичной гипоксии, сопровождаемой интенсивными воздействиями, ослабевают, и уменьшается число переменных взаимно коррелирующих между собой. Однако увеличивается количество значимой малой структуры автономной внутрисистемной связи. В начале ДКА эффективность двигательной деятельности околопредельной мощности определяется функционально емкими системами (кардиогемодинамики, внешнего дыхания, функционального состояния периферического нейромоторного аппарата, резкими гормональными сдвигами). По мере ДКА происходит детерминированное узкоспецифическое снижение сосудистых изменений, изменений кислородотранспортной системы и электронейромиографических характеристик. На этом фоне ограничилось количество функционально связанных параметров. Вполне очевидно, что возмущающие воздействия частичной гипоксии приводят к увеличению внутрисистемных связей автономного характера.

Результаты КИГ в позе лежа и стоя у юных пловцов 16–19 лет представлены в табл. 1. Расчеты показали, что индекс напряжения (ИН) у спринтеров в положении лежа был $45,71 \pm 1,76$ у.е., а у стайеров – $29,23 \pm 1,24$ у.е. ($P < 0,01$). В позе стоя значения ИН соответственно равнялись $51,78 \pm 1,84$ и $33,9 \pm 1,78$ у.е. ($P < 0,01$).

Следовательно, состояние КИГ существенно различалось у спринтеров и стайеров как в покое ($P < 0,001$), так и при ортопробе. Реакция на ортостаз как у спринтеров ($P < 0,05$), так и у стайеров ($P < 0,05$) различна. В целом значения КИГ лежа характеризуются парасимпатикотонией или эйтонией и согласуются с результатами при активном ортостазе. В частности это касается значений Мо и ДА.

Исключительно важны значения КСУ и КПВ, отражающие степень реагирования S-отдела ВНС на ортопробу. У спринтеров КСУ оказался выше на 14 %, а величина КПВ (скорость реституции ЧСС по отношению к фоновым данным) была выше у стайеров на 18,50 %.

Таблица 1

Значения ортокардиоинтервалографии юных пловцов

Параметр	Спринтеры	Стайеры	Вероятность различий P
Лежа			
Мо, с	$1,01 \pm 0,05$	$1,10 \pm 0,06$	$> 0,05$
АМо, %	$35,20 \pm 1,40$	$30,10 \pm 1,34$	$< 0,05$
Мо/ДХ	$2,88 \pm 0,30$	$2,45 \pm 0,25$	$> 0,05$
АМо/Δх	$100,52 \pm 6,98$	$67,10 \pm 5,76$	$< 0,01$
Δх	0,38	0,47	
Стоя			
Мо, с	$1,02 \pm 0,06$	$1,12 \pm 0,09$	$< 0,05$
Δх, с	$0,36 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,04$	$< 0,05$
ДА, с	$0,26 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,04$	$> 0,05$
КСУ, %	$8,76 \pm 0,52$	$7,65 \pm 0,40$	$> 0,05$
КПВ, %	$2,32 \pm 0,18$	$2,73 \pm 0,19$	$> 0,05$
Сумма баллов	$37,20 \pm 1,90$	$38,70 \pm 1,75$	$> 0,05$

Необходимо отметить, что в группе спринтеров выявилось большее количество спортсменов с признаками дезадаптивной направленности, включающими резкое увеличение ЧСС, САД, хитериндекса, нарушения вегетативного обеспечения деятельности по гиперсимпатикотоническому типу: 30 против 14 % у стайеров. Это вызвало необходимость применения для этой группы спортсменов реабилитационного курса в виде детензор- и редокс-терапии, массажа восстановительно-успокаивающего характера, снижения объема и интенсивности больших тренировочных нагрузок (БТН).

Существенные различия нами были выявлены при спектральном анализе медленноволновой variability показателей центральной и периферической гемодинамики. В табл. 2 представлены результаты спектрального анализа показателя ритма сердца. Как видно из табл. 2, показатели ОМС у стайеров по сравнению со спринтерами достоверно выше, что детерминировано более высокой мощностью спектра в диапазонах НЧ и ВЧ ($P < 0,01$). Мощность колебаний в двух других диапазонах была одинакова.

нения отделов ВНС в регуляции кардиоритма (индекс парасимпатического и симпатического взаимодействия ВЧ/НЧ равнялся примерно 1 у.е.), но различался вклад факторов в ОМС: суммарная площадь колебаний в диапазонах НЧ и ВЧ равнялась у спринтеров $34,32 \text{ м/с}^2$, а у стайеров $49,42 \text{ м/с}^2$ (более чем в 1,4 раза).

Следует также отметить, что у пловцов-стайеров в регуляции сердечного ритма наиболее высокая значимость ВНС: 30,40 % относится к факторам ВЧ (объемрегулирующие Р с дыхательной составляющей), и НЧ-колебаний (Σ60,80 %) симпатический отдел ВНС, а доля ОНЧ-колебаний составила 27,30 %. В группе спринтеров эти значения соответственно были 53,22 и 31,32 %. Достоверный уровень различий в последнем случае подтверждается и более высокой значимостью парасимпатических влияний.

При переходе в позу стоя наблюдалось уменьшение ОМС за счет снижения во всех диапазонах variabilityности, кроме низкочастотного у стайеров. Нами выявлено повышение мощности НЧ-колебаний в 1,4 раза и роли отдела ВНС в ре-

Таблица 2

Значения спектральных компонентов сердечного ритма у юношей пловцов 16–19 лет

Наименование	Группа	Занимаемая поза	
		Лежа	Стоя
Общая мощность спектра, м/с	СП	$64,50 \pm 6,10$	$43,10 \pm 5,50$
	СТР	$81,40 \pm 5,75$	$65,20 \pm 5,20$
	Р	$< 0,05$	$< 0,01$
УНЧ, м/с ²	СП	$9,98 \pm 0,86$	$6,60 \pm 0,64$
	СТР	$9,70 \pm 0,90$	$7,70 \pm 0,70$
	Р	$> 0,05$	$> 0,05$
ОНЧ, м/с ²	СП	$20,20 \pm 2,00$	$17,20 \pm 1,50$
	СТР	$22,30 \pm 2,10$	$20,60 \pm 2,02$
	Р	$> 0,05$	$> 0,05$
НЧ, м/с ²	СП	$16,94 \pm 1,60$	$16,10 \pm 1,42$
	СТР	$24,70 \pm 1,70$	$31,24 \pm 2,00$
	Р	$< 0,01$	$< 0,01$
ВЧ, м/с ²	СП	$17,40 \pm 1,42$	$3,25 \pm 0,40$
	СТР	$24,74 \pm 1,65$	$5,70 \pm 0,46$
	Р	$< 0,01$	$< 0,001$

Условные обозначения: СП – спринтеры, СТР – стайеры.

В группе стайеров ключевое значение в регуляции кардиоритма принадлежит надсегментарному уровню (ОНЧ-колебания) и симпатическому отделу ВНС (НЧ-колебания). В этой связи индекс централизации (ОНЧ+НЧ/ВЧ) был выше у спринтеров, чем у стайеров, соответственно 2,13 у.е. и 1,90 у.е. Вегетативный баланс у пловцов-стайеров был ненапряженным (ОНЧ < НЧ < ВЧ), а у спринтеров находился в состоянии напряжения (НЧ < ОНЧ > ВЧ).

Особого изучения требуют особенности вегетативной регуляции ритма миокарда. В группах спринтеров и стайеров выявлены симватные изме-

гуляции кардиоритма – его вклад в ОМС увеличился до 47,82 %.

В группе спринтеров при ортопробе доминирующим было влияние надсегментарных механизмов регуляции ритма миокарда (ОНЧ-колебания равнялись 40 %). Приоритетно в обеих группах уменьшилась доля ВЧ-колебаний. При этом УНЧ-компонента не претерпела существенных изменений в обеих группах пловцов. Можно полагать, что метаболические факторы не доминируют в управлении ритмом миокарда. Адекватная реакция на ортопробу, опосредованная повышением роли отдела ВНС, отмечалась у стайеров. Рассмотрим

спектральные звенья ударного объема юных пловцов (табл. 3).

Как видно из табл. 3, ОМС систолического объема в группах также различалась, но у спринтеров по сравнению со стайерами была выше мощность флюктуации ($P < 0,01$), соответственно, степени влияния на гипотропную функцию надсегментарного уровня регуляции (ОНЧ-волны). У стайеров выше мощность УНЧ- и ВЧ-колебаний, отражающих большую значимость воздействий на сократительную функцию миокарда пловцов-стайеров, по сравнению со спринтерами интракардиальных факторов и PS-отдела ВНС. В позе стоя указанные различия нивелируются, за исключением ВЧ-волн (достоверно выше у стайеров). При ортостазе наблюдалось снижение ОМС в обеих группах за счет уменьшения мощности спектра в трех диапазонах (СНЧ, ОНЧ, ВЧ) при повышении мощности НЧ-волн в 1,5 раза.

при двукратном снижении значимости высокочастотных волн. Следовательно, при ортостазе уменьшаются объемрегулирующие влияния и усиливаются гуморально-гормональные, связанные с гравитационным воздействием.

Таким образом, в позе стоя происходит уменьшение венозного возврата, вследствие чего снижается ударный объем (УО), что служит пусковым фактором для активации экстракардиальных механизмов регуляции инотропной функции сердца. Обнаружено при анализе спектра УО-отклонения от диапазона адаптивных изменений у 30,20 % спринтеров и 12,60 % стайеров. Это обстоятельство свидетельствует о накоплении аллостатического груза у юных спортсменов, детерминированного стресс-напряжением ТП и гравитационными воздействиями.

Изменение волновой активности ОМС по частотам спектра среднечастотного давления

Таблица 3
Значения спектральных компонентов систолического объема юных пловцов

Наименование	Группа	Занимаемая поза	
		Лежа	Стоя
Общая мощность спектра (ОМС), м/с	СП	36,57 ± 4,05	22,36 ± 2,47
	СТР	41,60 ± 4,30	25,20 ± 2,80
	P	> 0,05	> 0,05
УНЧ, м/с ²	СП	2,65 ± 0,23	1,57 ± 0,20
	СТР	7,00 ± 0,69	1,17 ± 0,15
	P	< 0,001	> 0,05
ОНЧ, м/с ²	СП	12,88 ± 1,40	4,44 ± 0,42
	СТР	8,04 ± 0,98	4,45 ± 0,38
	P	< 0,01	> 0,05
НЧ, м/с ²	СП	8,26 ± 0,90	12,37 ± 1,30
	СТР	9,88 ± 0,95	13,94 ± 1,42
	P	> 0,05	> 0,05
ВЧ, м/с ²	СП	12,90 ± 1,24	4,05 ± 0,47
	СТР	16,76 ± 1,32	5,70 ± 0,56
	P	< 0,05	< 0,05

Распределение ОМС систолического объема по частотам спектра позволило также выделить ряд значимых различий. В группе спринтеров исходно наиболее значительный вклад ОНЧ-волн (35,10 %) и ВЧ-колебаний (35,20 %). В группе стайеров соответственно ВЧ (40,20 %), НЧ (23,70 %). Кроме этого, у спринтеров в два раза меньше значимость интракардиальных факторов регуляции инотропной функции по сравнению со стайерами (доля УНЧ-волн составила соответственно 7,20 и 16,80 %).

В позе стоя процентное распределение по частотам спектра в группах было относительно равным. Отмечалась различная динамика сдвигов по диапазонам при смене положения тела.

Ключевыми факторами регуляции сократительной функции миокарда при активном ортостазе является симпатический отдел ВНС. Доля флюктуаций в НЧ-диапазоне от величины ОМС равнялась 55,22 % у спринтеров и 55,32 % у стайеров

представлено в табл. 4. Комментируя показатели табл. 4, необходимо сказать о большой вариабельности значений ОМС и вследствие этого отсутствии различий между группами. Однако тенденция к снижению ОМС у стайеров по сравнению со спринтерами обнаружена. Величина СрД выявилась посредством интеграции следующих уровней регуляции: надсегментарным, сегментарным, симпатическим, барорефлекторным, гуморально-гормональным и объемрегулирующим факторами.

У пловцов-спринтеров по сравнению со стайерами отмечались более высокие значения ОМС в ОНЧ-диапазоне ($P < 0,01$).

Под воздействием ортостаза ОМС возрастала в обеих группах на 50,00 %. Следовательно, сохранение в позе стоя исходного уровня СрД требовало больших энергозатрат. Поддержание СрД осуществлялось преимущественно за счет факторов барорефлекторных, гуморально-гормональных и активации симпатического отдела ВНС. Однако

Спектральные характеристики среднединамического давления в пробах лежа и стоя у юношей пловцов

Наименование	Группа	Занимаемая поза	
		Лежа	Стоя
Общая мощность спектра, м/с	СП	46,30 ± 6,40	60,85 ± 7,20
	СТР	39,70 ± 4,10	52,60 ± 5,10
	P	> 0,05	> 0,05
УНЧ, м/с ²	СП	8,84 ± 0,90	9,92 ± 1,02
	СТР	10,06 ± 0,99	10,87 ± 1,10
	P	> 0,05	> 0,05
ОНЧ, м/с ²	СП	28,20 ± 2,70	19,26 ± 1,90
	СТР	18,55 ± 2,10	18,20 ± 1,82
	P	< 0,01	> 0,05
НЧ, м/с ²	СП	9,30 ± 1,05	31,70 ± 2,98
	СТР	11,20 ± 1,25	23,64 ± 2,32
	P	> 0,05	< 0,05
ВЧ, м/с ²	СП	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,001
	СТР	0,015 ± 0,001	0,012 ± 0,001
	P	> 0,05	> 0,05

достоверных межгрупповых различий в процентном распределении ОМС по диапазонам спектра лежа – стоя, а также в изменении спектральных компонентов при ортопробе не выявилось. Итак, по итогам спектрального анализа автономные факторы регуляции наряду с сегментарными и надсегментарными воздействиями интегративно способствуют поддержанию уровня системного АД, детерминирующего при активном ортостазе адаптивно-компенсаторными реакциями сосудов [2, 4]. Более напряженные механизмы регуляции адаптивно-компенсаторных механизмов отмечались у пловцов-спринтеров при функциональных пробах.

Как видно из анализа спектральных характеристик амплитуды револн мелких сосудов (табл. 5), наблюдаются вариативные, с доминированием сегментарных факторов различного уровня регуляции.

Явно просматривается приоритетная роль барорегуляции в устойчивом поддержании системы кровообращения в горизонтальном и вертикальном положении. Снижен вклад объемрегулирующих влияний СрД и мелких сосудов, и наоборот, достаточно высок вклад в управление сердечным ритмом и ударным объемом.

Комментируя данные табл. 5, необходимо отметить отсутствие различий в значениях ОМС в позе лежа. В позе стоя отмечалось снижение ОМС во всех диапазонах, кроме ВЧ-колебаний. Более низкие величины ОМС были у спринтеров по сравнению со стайерами. Наиболее значимо представлены в позе лежа УНЧ- и ОНЧ-волны, но в отличие от абсолютных показателей, доля УНЧ-колебаний под воздействием ортопробы возросла на 8,50 % у спринтеров и на 6,82 % – у стайеров, а НЧ- и ОНЧ-волны соответственно снижались у спринтеров на 4,82 и 3,40 % и на 6,72 и 0,92 % – у стайеров.

Повышение при активном ортостазе относительной мощности колебаний (в %) в диапазоне

УНЧ, по-видимому, может свидетельствовать о увеличении значимости местных факторов регуляции периферической гемодинамики в поддержании тонуса мелких сосудов, а следовательно, системного АД на целесообразном уровне в зависимости от потребности.

Разницу спектральной мощности колебаний мелких и крупных сосудов при активном ортостазе можно объяснить неодинаковой степенью участия в барорефлекторной активности. Крупные сосуды более подвержены центральной регуляции, чем мелкие, которые зависимы от периферических тканевых факторов.

Общая мощность спектра УО, сердечного ритма и мелких сосудов при смене позы лежа – стоя снижалась, а СрД – повышалась. При этом диапазон частотных волн был самым высоким в значениях ОНЧ. Для АД, ритма сердца и пульсации мелких сосудов колебания варьируют между гуморально-гормональным диапазоном и барорефлекторными факторами. При этом достаточно значима роль центрально-нервных и объемрегулирующих воздействий в регуляции систолического объема и кардиоритма. Однако каждый уровень регуляции специфичен и вносит определенный вклад в общую регуляцию кровообращения юных спортсменов при гравитационных воздействиях. На фоне влияния БТН несомненно присутствуют факторы ауколлогических изменений, в том числе пубертатного развития. Из всего спектра гормональных воздействий трудно выделить факторы эндокринной системы в интегративной деятельности организма. Их можно дифференцировать по возрасту активного проявления и стабилизации гормонов. Например, у юношей устойчивость гормональных проявлений относится к 15–16 годам, а у девушек биологическая надежность варьирует от 13 до 15 лет [1].

Изменение мощности выполняемых БТН по-

Таблица 5
Значения спектральных компонентов амплитуды револуны пальца стопы
в позах лежа – стоя у юношей пловцов

Наименование	Группа	Занимаемая поза	
		Лежа	Стоя
Общая мощность спектра, м/с	СП	41,10 ± 3,20	19,30 ± 2,40
	СТР	46,20 ± 2,70	27,59 ± 1,96
	Р	> 0,05	< 0,05
УНЧ, м/с ²	СП	10,50 ± 1,30	6,55 ± 0,68
	СТР	13,05 ± 1,25	9,65 ± 0,92
	Р	> 0,05	< 0,05
ОНЧ, м/с ²	СП	22,40 ± 2,42	9,60 ± 0,94
	СТР	25,92 ± 2,52	13,34 ± 1,38
	Р	> 0,05	< 0,05
НЧ, м/с ²	СП	8,24 ± 0,92	3,22 ± 0,32
	СТР	7,26 ± 0,76	4,58 ± 0,40
	Р	> 0,05	< 0,01
ВЧ, м/с ²	СП	0,011 ± 0,001	0,01 ± 0,001
	СТР	0,012 ± 0,001	0,011 ± 0,001
	Р	> 0,05	> 0,05

зволюло выявить стресс-реализующие и стресс-лимитирующие факторы кровообращения и вклада в регуляцию на различных уровнях управления. Под влиянием систематической спортивной тренировки в организме развивается комплекс структурно-функциональных изменений, проявляющийся в повышенной, формирующей, развивающей и стабилизирующей фазе аллостаза. При этом нерациональное, неадекватное резервам организма программирование зачастую приводит к накоплению аллостатического груза. Нарушается основной критерий аллостаза – достижение стабильности через изменчивость. Возраст 16–19 лет – период вариативных адаптивно-компенсаторных сдвигов развивающей фазы аллостаза.

В период активных фаз пубертатного развития наблюдались отчетливые изменения гемодинамических показателей при ортопробе. Анализ показал, что ОМС, УО, Ад, СР, АТОЕ, АТНР имеют разное частотное представительство. Усматриваются интеграции в регуляции УО, аорты, но с наклоном в сторону высоких частот. По данным спектрального анализа ключевая роль в регуляции Ад отводится активации катехоламинов и реанингангиотензиновой системы в пубертатном периоде [3].

Установлено, что хронотропная функция и спортивное сердце характеризуются выраженной автоматизацией управления. Между ритмом и силой сердечных сокращений наблюдаются прямые связи [4]. Отмечается тесная связь сосудодвигательного центра с ядром блуждающего нерва, и поэтому сосудистые реакции сочетаются с изменением деятельности миокарда.

В исследовании применялись следующие виды БТН в подготовке юных пловцов: серийное проплавание 10 × 100 м при среднем уровне лактата после нагрузок 7,90 ± 10,36 ммоль/л; анаэроб-

но-аэробные специальные упражнения: 4 × 200 м; 4 × 100 м; 4 × 50 м с постепенным увеличением скорости плавания. После всей серии уровень лактата равнялся 14,70 ± 11,9 ммоль/л; силовое плавание с отягощением и увеличением гребущей поверхности при среднем уровне лактата составил 8,90 ± 0,98 ммоль/л; дозированные нагрузки, связанные с плаванием «на привязи» 3 × 10 с и 60 с при уровне лактата 8,89 ± 1,20 ммоль/л.

Выявлены замыкаемые связи между скоростью плавания, значениями силы тяги и адреналина, результатами, указанными выше: НА, К⁺, Na и лактата. Теснота связей возрастала с увеличением интенсивности БТН.

Обнаружена детерминированность нагрузок прогрессивной тренировки от гормональной активности, содержания биоэлементов, фосфорно-органических значений, значений КИГ, несоответствия показателей ФВД, ССС, ОКИГ должным и неадекватным реакциям на активный ортостаз.

Установлены диапазоны ОКИГ, ведущие к переутомлению при повышении интенсивности тренировочных воздействий на 30–35 %. Разработаны рекомендации, позволяющие снизить объем работы на 30–50 % без ущерба для спортивной результативности, функционального и метаболического состояния. Содержание электролитов, влияющих на сократимость миокарда, изменяется значительно под воздействием БТН. Снижение внутриклеточного содержания К⁺, повышение Na⁺, различия в разных типах мышечных волокон активности электролитов и АТФ связаны с утомлением. Об этом же убедительно свидетельствуют конфигурация, амплитудные и частотные характеристики ЭМГ, а также накопление Ф_n в связи с выполнением БТИ силовой направленности на выносливость.

Применение интенсивных нагрузок (до 35–40 %

в 3–4 зонах относительной мощности) при ЧСС выше 180 уд./мин и уровня лактата до 10–14 ммоль/л вызывало напряжение изучаемых систем вплоть до переутомления, что требовало применения в реакциях прогрессивных восстановительных мероприятий. Для отдельных спортсменов также тренировочные воздействия оказались чрезмерными и им индивидуально рекомендовалось перейти на режим восстановительных нагрузок.

Литература

1. *Морфофункциональные константы детского организма: справочник* / В.А. Доскин, Х. Келлер, Н.М. Мураенко и др. – М.: Медицина, 1997. – 288 с.

2. *Исаев, А.П. Адаптация единой функциональной системы организма детей, подростков и юношей* / А.П. Исаев, С.А. Личагина, В.Д. Юмагуен // *Бюллетень Сибирской медицины. Приложение 1.* – Томск, 2005. – С. 151–152.

3. *Колебательная активность показателей функциональных систем организма спортсменов и детей с различной двигательной активностью: учеб. пособие* / А.П. Исаев, Е.В. Быков, А.Р. Сабирьянов и др. / под ред. А.П. Исаева, Е.В. Быкова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 238 с.

4. *Физиология сердца: учебное пособие* / под ред. акад. Б.И. Ткаченко. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: СпецЛит, 2001. – 143 с.

Поступила в редакцию 25 декабря 2008 г.