

УДК 612.821

РЕАКЦИИ ПУЛЬСА НА ДОЗИРОВАННУЮ ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

© 2022 г. Р. М. Васильева¹, О. И. Парфентьева², Н. И. Орлова¹,
А. В. Козлов³, В. Д. Сонькин¹, *

¹ФГБНУ Институт возрастной физиологии РАО, Москва, Россия

²НИИ и Музей антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ГКУ Центр спортивных технологий и сборных команд Москомспорта, Москва, Россия

*E-mail: sonkin@mail.ru

Поступила в редакцию 16.06.2022 г.

После доработки 18.07.2022 г.

Принята к публикации 22.07.2022 г.

Проведено исследование реакции пульса на дозированную физическую нагрузку (10 приседаний в максимальном темпе) у 122 мальчиков и 128 девочек в возрасте от 4 до 7 лет, посещающих детский сад и отнесенных к 1 или 2 группе здоровья. Регистрацию пульса в покое во время нагрузки и в восстановительном периоде (5 мин) осуществляли с помощью кардиомониторов *Polar*. По результатам тестирования вычисляли интенсивность накопления пульсового долга (ИНПД) для каждого испытуемого. Существенных половых различий в реакциях организма выявлено не было. С возрастом длительность выполнения 10 приседаний сокращается, что отражает интенсификацию нагрузки. Соответственно возрастают показатели ИНПД, характеризующие энергозатраты организма. У части детей в восстановительном периоде наблюдалась отрицательная фаза пульса. Индивидуальный анализ пульсовых кривых позволил выявить три типичных варианта динамики пульса в работе и восстановительном периоде. Тип этой динамики не связан ни с полом, ни с возрастом, ни с антропометрическими характеристиками, однако от него зависит итоговая величина ИНПД. Выявлены некоторые парные корреляции между антропометрическими и функциональными показателями в группе детей от 4 до 7 лет. В целом, полученные данные указывают на необходимость более индивидуализированного подхода при использовании физических нагрузок и оценке эффективности занятий по физической культуре в дошкольных учреждениях.

Ключевые слова: дети дошкольного возраста, дозированная физическая нагрузка, пульсовая кривая, отрицательная фаза пульса, интенсивность накопления пульсового долга.

DOI: 10.31857/S0131164622600513

Физические качества человека начинают формироваться в дошкольном возрасте, когда развитие скелетно-мышечной системы позволяет совершать разнообразные движения, обеспечиваемые энерговегетативными системами организма. Формирование энергетических и вегетативных механизмов обеспечения мышечной деятельности происходит на фоне быстрого роста, характерного для детей дошкольного возраста. Изучение реакций детского организма на физическую нагрузку необходимо для обоснованного подбора режимов физической активности, направленных на развитие двигательной сферы, укрепление здоровья и профилактику последствий гипокинезии [1].

В то же время, измерение и оценка показателей работы организма при физической нагрузке у детей дошкольного возраста представляет собой непростую методическую проблему. В значитель-

ном числе зарубежных работ для этого изучают двигательную активность, время пассивного проведения, иногда в сочетании с записью пульсограммы [2]. В мире имеются единичные работы, в которых представлены результаты физиологического тестирования детей начиная с 3 лет, когда они уже могут выполнять нагрузки на беговой дорожке [3].

Не располагая техникой для проведения метаболических измерений у детей дошкольного возраста, мы поставили перед собой цель описать реакцию пульса на дозированную физическую нагрузку (10 приседаний в максимально быстром темпе) у детей обоего пола от 4–5 до 6–7 лет, сопоставляя возрастную и половую специфику этих реакций. В качестве показателя реакции использовали данные о текущей частоте сердечных сокращений (ЧСС), а также величине пульсового долга (ПД) за 5 мин восстановительного периода.

Исходя из значений ПД, рассчитывали величину интенсивности накопления пульсового долга – ИНПД [4]. Обычно ИНПД используется в качестве показателя, позволяющего измерить физиологическое напряжение организма при выполнении физической работы и охарактеризовать физиологическую “стоимость”, которую “платит” при этом организм ребенка [5]. ИНПД можно применять для характеристики функциональных возможностей организма при выполнении дозированной нагрузки анаэробного и смешанного характера. Его можно трактовать как показатель работоспособности, учитывая, что при одинаковой мощности нагрузки работоспособность тем выше, чем ниже величина ИНПД. Величина ИНПД хорошо отражает напряжение функциональных систем организма при выполнении физических упражнений [6].

МЕТОДИКА

Проведено исследование пульсовых реакций у детей 4–7 лет на стандартную физическую нагрузку – 10 приседаний в максимально быстром темпе.

Исследование было выполнено на базе детских садов г. Реутова (Московская область). В нем принимали участие практически здоровые дети 1–2 группы здоровья, не имеющие медицинских противопоказаний к занятиям по физическому воспитанию.

В ходе исследования после вводной инструкции и небольшого тренинга ребенку предлагали выполнить 10 приседаний за 10 с, при этом отсчет секунд осуществляли голосом вслух, задавая темп по секундомеру. Следует констатировать, что не все дети укладывались в отведенное время, с возрастом время, затраченное на выполнение 10 приседаний, сокращалось, т.е. интенсивность работы возрастала. Измерение пульса проводили до нагрузки и в течение 5 мин восстановления, что давало возможность охарактеризовать индивидуальную реакцию организма ребенка на физическую нагрузку.

Регистрацию пульса во время физической нагрузки проводили с помощью нагрудного пульсометра “Polar H10” размера XS-S, предназначенного для измерения ЧСС у детей. Запись параметров ЧСС с пульсометра Polar H10 осуществляли на смартфон Samsung Galaxy A20s на базе Android с функцией Bluetooth с установленными спортивными мобильными приложениями Polar Beat и Polar Flow. После окончания эксперимента записи со смартфона перенесли на компьютер в формате CSV и проводили дальнейший индивидуальный анализ пульсовых кривых с использованием возможностей MS Excel.

Далее анализировали динамику восстановления ЧСС, рассчитывали ПД. Для расчета ПД в восстановительном периоде была создана программа на языке VBA, с помощью которой в формате в MS Excel по значениям ЧСС вычисляется ПД каждого испытуемого. В указанной программе подсчитывается площадь под кривой записи пульса в восстановительном периоде. Эта величина, за вычетом базового значения ЧСС покоя (вычисленного как среднее значение пульса за 3 мин предстартового измерения), представляет собой ПД за 5 мин восстановления с учетом всех индивидуальных колебаний пульса ребенка.

На основе значений ПД был рассчитан показатель – ИНПД, который вычисляли как частное от деления ПД на время выполнения упражнения в секундах [4]:

$$\text{ИНПД} = \text{ПД}_{\text{уд}} / t_c \text{ [уд./с]}.$$

На основе полученных показателей оценивали функциональные возможности организма дошкольников.

Статистический и корреляционный анализ полученных результатов проводили с использованием возможностей программной среды R (версия 4.2.1). Разведочный анализ был проведен согласно стандартному протоколу и включал анализ соответствия распределения полученных данных нормальному (тест Шапиро-Уилка, графики квантиль-квантиль, визуальный анализ диаграмм), наличия выбросов (тест Граббса, визуальный анализ диаграмм) и гомогенности дисперсий в каждой группе. В связи с тем, что большинство показателей не соответствовали нормальному распределению, было решено в качестве меры центральной тенденции использовать медиану (Me), а меры статистической дисперсии – межквартильный размах ($Q1 : Q3$). Межквартильный размах определяется как разница между 75 и 25 процентилями данных. Данные в тексте статьи представлены в формате $Me (Q1 : Q3)$. Для анализа различий количественных переменных использовали критерий Краскела-Уоллиса. Парные различия оценивали с помощью критерия Манна-Уитни. В качестве поправки на множественное тестирование была использована поправка Бонферрони, поэтому значимыми считали различия при $p < 0.001$. Парные корреляции вычисляли по методу Спирмена. Для оценки взаимосвязи возраста и показателей функциональных возможностей организма была использована квантильная регрессия, реализованная в пакете “rq”.

Таблица 1. Антропометрические данные детей 4–7 лет

Показатель	4–5 лет		5–6 лет		6–7 лет	
	девочки (<i>n</i> = 34)	мальчики (<i>n</i> = 35)	девочки (<i>n</i> = 34)	мальчики (<i>n</i> = 36)	девочки (<i>n</i> = 60)	мальчики (<i>n</i> = 51)
	<i>Me</i> (<i>Q1</i> : <i>Q3</i>)	<i>Me</i> (<i>Q1</i> : <i>Q3</i>)	<i>Me</i> (<i>Q1</i> : <i>Q3</i>)	<i>Me</i> (<i>Q1</i> : <i>Q3</i>)	<i>Me</i> (<i>Q1</i> : <i>Q3</i>)	<i>Me</i> (<i>Q1</i> : <i>Q3</i>)
Возраст, лет	4.8 (4.6 : 4.9)	4.8 (4.6 : 4.9)	5.3 (5.0 : 5.4)	5.3 (5.1 : 5.5)	6.9 (6.6 : 7.1)	6.8 (6.5 : 7.0)
	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	
Рост, см	109.5 (106.0 : 111.0)	110.0 (107.3 : 112.0)	111.9 (110.0 : 114.0)	113.4 (109.5 : 115.7)	122.0 (118.4 : 125.1)	123.0 (120.3 : 126.4)
	<i>ns</i>		<i>ns</i>		0.07	
Вес, кг	17.5 (16.6 : 19.6)	17.9 (17.0 : 19.1)	19.1 (17.7 : 21.5)	19.7 (18.7 : 22.4)	23.0 (21.6 : 26.0)	24.4 (22.1 : 27.4)
	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	
ИМТ, кг/м ²	14.8 (14.0 : 16.1)	14.8 (14.0 : 15.7)	15.0 (14.3 : 16.4)	15.5 (14.6 : 16.9)	15.9 (14.5 : 16.9)	16.1 (15.1 : 17.1)
	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	
% жира	15.0 (13.7 : 16.9)	11.7 (11.0 : 13.0)	13.3 (11.2 : 15.2)	11.5 (10.5 : 13.1)	16.6 (13.0 : 20.6)	14.9 (10.9 : 17.8)
	<i>p</i> = 0.004		<i>p</i> = 0.04		<i>p</i> = 0.05	
Длина ног, см	50.0 (48.5 : 51.8)	51.0 (48.5 : 52.7)	53.4 (52.2 : 55.9)	54.8 (52.1 : 56.8)	58.0 (54.9 : 59.5)	58.9 (55.4 : 60.0)
	<i>ns</i>		<i>ns</i>		<i>ns</i>	

Примечание: *p* – уровень значимости различий между мальчиками и девочками внутри возрастной группы; *ns* – различия незначимы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены усредненные антропометрические показатели обследованных детей 4–5, 5–6 и 6–7 лет.

Внутри возрастных групп различия между мальчиками и девочками по большинству антропометрических показателей оказались незначимы. С возрастом происходят значимые изменения антропометрических показателей, для всех переменных значимость различий между 4–5-летними и 6–7-летними детьми $p < 0.001$.

Перед выполнением физической работы измеряли ЧСС у мальчиков и девочек в состоянии покоя (табл. 2).

Оказалось, что ЧСС покоя у мальчиков и девочек внутри каждой возрастной группы практически не различалась (табл. 2 и 3).

Между возрастными подгруппами были обнаружены значимые различия с учетом поправки на множественное тестирование ($p < 0.001$). С возрастом от 4–5 к 6–7 годам у детей происходило закономерное и достоверное снижение частоты пульса в покое (табл. 2 и 3).

В ходе исследования выяснилось, что только в возрасте 6–7 лет большинство детей смогли работать в предложенном темпе и более-менее точно выдерживать заданный ритм работы (табл. 2 и 3).

В возрасте 5–6 лет большинство детей не смогли работать в предложенном темпе, дети не успевали выполнить 10 приседаний за 10 с, причем таких детей было больше среди мальчиков, чем среди девочек. В результате оказалось, что среднее время выполнения нагрузки у девочек было значительно меньше (табл. 2 и 3).

В возрасте 4–5 лет только около 23% детей как среди мальчиков, так и среди девочек, смогли выполнить задание за 10–12 с. Остальным детям понадобилось больше времени, чтобы справиться с этой задачей. В результате оказалось, что среднее время выполнения нагрузки было одинаковым в обеих группах испытуемых (рис. 1).

Необходимо также отметить, что дети 6–7 лет выполняли предложенное упражнение (приседание) более четко и уверенно по сравнению с детьми 4–6 лет.

Под влиянием нагрузки ЧСС в одинаковой степени возрастала как у мальчиков, так и у девочек 4–5 лет (табл. 2 и 3).

В возрасте 5–6 лет ЧСС после работы была значимо выше у девочек по сравнению с мальчиками (табл. 2). Это непосредственно связано с тем, что девочки этого возраста лучше справлялись с удержанием темпа и выполняли 10 приседаний за более короткое время, чем мальчики – т.е. работали более интенсивно.

Таблица 2. Функциональные показатели в покое и после физической нагрузки у мальчиков и девочек 4–7 лет

Показатель	4–5 лет		5–6 лет		6–7 лет	
	девочки (n = 34)	мальчики (n = 35)	девочки (n = 34)	мальчики (n = 36)	девочки (n = 60)	мальчики (n = 51)
	Me (Q1 : Q3)	Me (Q1 : Q3)	Me (Q1 : Q3)	Me (Q1 : Q3)	Me (Q1 : Q3)	Me (Q1 : Q3)
ЧСС покой, уд./мин	105 (102 : 109)	105 (99 : 110)	105 (99 : 109)	101 (94 : 107)	90 (84 : 96)	90 (84 : 96)
	ns		ns		ns	
ЧСС конец работы	125 (121 : 130)	128 (123 : 136)	130 (127 : 133)	125 (119 : 129)	127 (115 : 133)	121 (115 : 128)
	ns		p = 0.007		ns	
Время работы	15.5 (13.0 : 18.0)	16.0 (13.0 : 19.0)	12.0 (10.0 : 13.8)	13.5 (11.0 : 17.0)	12.0 (11.0 : 13.0)	11.0 (10.0 : 12.0)
	ns		p = 0.006		ns	
Пульсовой долг за 5 мин	14.9 (9.1 : 21.4)	17.7 (5.2 : 25.7)	20.9 (8.4 : 31.1)	19.9 (8.2 : 27.9)	54.0 (42.0 : 67.0)	48.0 (30.0 : 58.5)
	ns		ns		p = 0.03	
ИНПД	1.0 (0.6 : 1.6)	(1.0 0.3 : 1.7)	1.7 (0.7 : 2.6)	(1.2 0.7 : 2.1)	4.9 (3.7 : 5.5)	3.8 (2.8 : 5.4)
	ns		ns		ns	

Примечание: p – уровень значимости различий между мальчиками и девочками внутри возрастной группы; ns – p-значение больше порогового значения, различия незначимы.

Таблица 3. Значимость возрастных различий для мальчиков и девочек по антропометрическим и функциональным показателям

Показатель	Мальчики			Девочки		
	4–5 лет против 5–6 лет	5–6 лет против 6–7 лет	4–5 лет против 6–7 лет	4–5 лет против 5–6 лет	5–6 лет против 6–7 лет	4–5 лет против 6–7 лет
Рост, см	ns	***	***	ns	***	***
Вес, кг	ns	***	***	ns	***	***
ИМТ, кг/кв. м	ns	ns	***	ns	ns	ns
% жира	ns	ns	***	ns	***	ns
Длина ног, см	***	***	***	***	***	***
ЧСС в покое	ns	***	***	ns	***	***
ЧСС после работы	ns	ns	***	ns	ns	ns
Время работы	ns	***	***	***	ns	***
Пульсовой долг за 5 мин	ns	***	***	ns	***	***
ИНПД	ns	***	***	ns	***	***

Примечание: ns – различия незначимы; *** – p-значения ниже порогового, различия значимы. Парные сравнения возрастных групп проведены по критерию Манна-Уитни.

У детей 6–7 лет ЧСС после работы была ниже, чем у детей 4–5 и 5–6 лет, при этом различия между мальчиками и девочками этого возраста по данному показателю не значимы (табл. 2 и 3).

Однако для корректной оценки трудоемкости нагрузки важны не столько абсолютные значения ЧСС (с возрастом закономерно снижающиеся),

сколько прибавка пульса в диапазоне от уровня покоя до максимального (пикового) значения на фоне нагрузки. Хотя ЧСС в покое была ниже у детей 6–7 лет по сравнению с детьми 4–6 лет, ее максимальный прирост по сравнению с покоем оказался больше у старших, чем у младших детей. Это может быть связано с тем фактом, что стар-

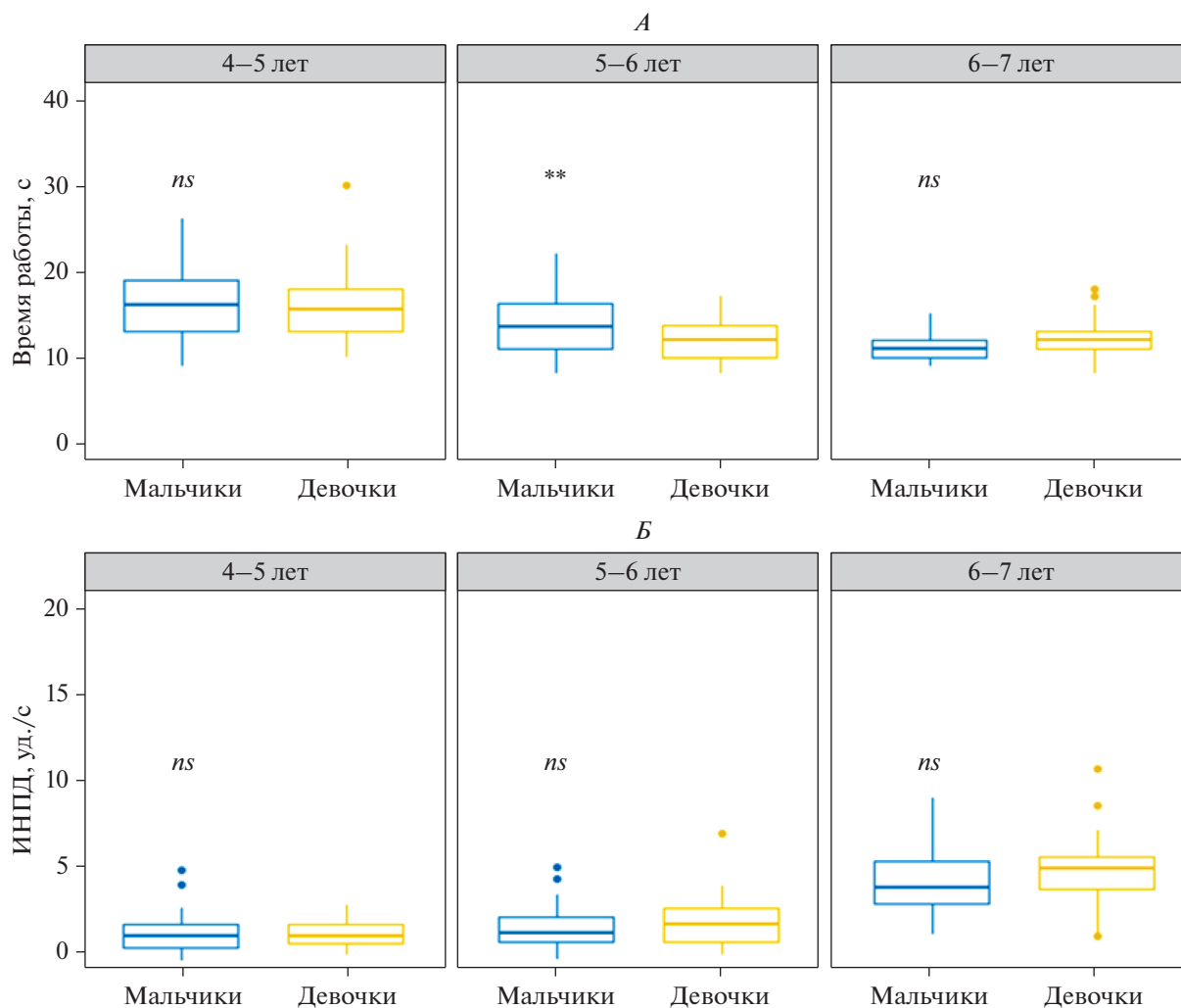


Рис. 1. Время работы и величина интенсивности накопления пульсового долга (ИНПД) у мальчиков и девочек 4–7 лет при заданной физической нагрузке.

шие дети выполняли задание с большей интенсивностью, что и должно было приводить к более существенному проявлению рабочей тахикардии.

Прирост ЧСС в момент окончания работы у детей 6–7 лет составил свыше 30 уд./мин, в то время как у детей 4–6 лет он достигал только 20.9–25.6 уд./мин. Тот факт, что дети старшей возрастной группы выполняли более интенсивную нагрузку, проявился в большем приросте величины ЧСС.

Далее был проведен индивидуальный анализ динамики изменения ЧСС при работе и в восстановительном периоде (5 мин) и рассчитаны величины ПД и ИНПД для каждого испытуемого. Оказалось, что ПД при подсчете его за 5 мин восстановительного периода у девочек и мальчиков как в возрасте 4–5, так и в возрасте 5–6 лет статистически значимо не различался, даже, несмотря на более высокие значения ЧСС после работы,

которые отмечались у девочек по сравнению с мальчиками в 5–6 лет (табл. 2 и 3). И только в 6–7 лет ПД был статистически значимо выше у девочек, чем у мальчиков (табл. 2 и 3).

В то же время выяснилось, что дети 6–7 лет в результате работы накопили намного более высокий ПД, чем дети 4–5 и 5–6 лет (табл. 2, 3). Так, ПД у детей 6–7 лет составил 48 уд. у мальчиков и 54 уд. у девочек, в то время как у детей 4–6 лет он не превышал 14.9–17.7 уд. С одной стороны, это обусловлено более интенсивной нагрузкой, которую выполняли старшие дети. С другой стороны, это свидетельствует о том, что с возрастом у детей увеличивается возможность работать “в долг”, и это происходит на рубеже 6 лет – т.е. совпадает по времени с полуростовым скачком, имеющим огромное значение в становлении физиологических регуляций [7]. Вероятно, именно совершенствование физиологических регуляций позволяет детям старше 6 лет выполнять нагрузку с большей

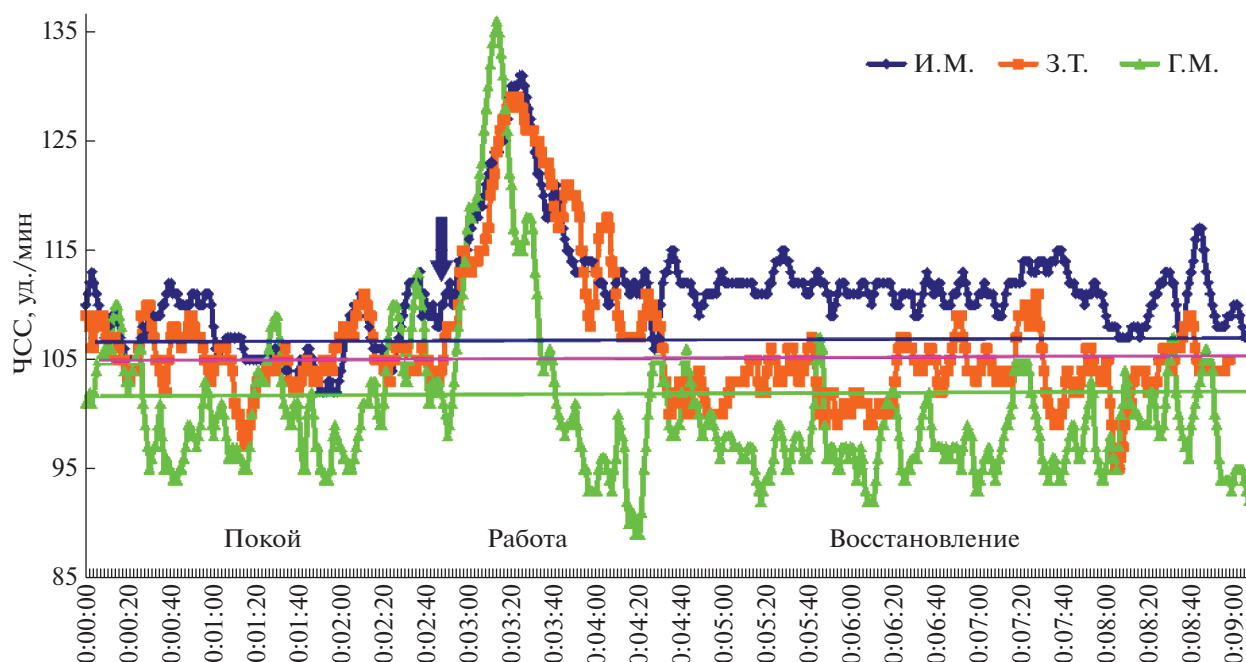


Рис. 2. Пульсовые кривые трех испытуемых 4–5 лет при выполнении ими физической нагрузки (10 приседаний в быстром темпе). Стрелкой показано начало работы. Испытуемый И.М. – высокий ПД. Испытуемый З.Т. – средний ПД. Испытуемый Г.М. – низкий ПД.

интенсивностью, используя возросшие возможности анаэробного энергообеспечения.

Анализ значений показателя ИНПД, характеризующего физиологическую стоимость выполненной работы, выявил, что внутри каждой из трех возрастных групп различия по этому показателю между мальчиками и девочками не значимы. При этом как у мальчиков, так и у девочек величина ИНПД увеличивалась с возрастом от 4–5 к 5–6 годам и далее к 6–7 годам (рис. 1). Так, в 6–7 лет показатель ИНПД равнялся 3.8 уд./с у мальчиков и 4.9 уд./с у девочек, в то время как у детей 5–6 лет он составлял 1.2–1.7 уд./с соответственно.

В то же время, внутри каждой возрастно-половой группы – как у мальчиков, так и у девочек – индивидуальные значения ИНПД различались в несколько раз, а коэффициент вариации в обеих группах превышал 33%, т.е. группы были неоднородны по этому признаку.

При индивидуальном анализе пульсовых кривых, отображающих процесс восстановления, показано, что у разных детей эта динамика может заметно различаться. В частности, было выявлено три наиболее типичных варианта динамики пульсовой кривой, различающихся между собой.

На рис. 2 приведены реальные пульсовые кривые трех испытуемых одного возраста, которые различаются по многим характеристикам: по исходному уровню, по реакции на нагрузку, значениям ЧСС в момент окончания работы, по скоро-

сти восстановления, а также по динамике показателя в восстановительном периоде.

Было обнаружено, что у части детей в восстановительном периоде наблюдалось снижение ЧСС ниже ее величины, зарегистрированной в состоянии покоя – так называемый “феномен отрицательной фазы пульса” (рис. 2).

В литературе описаны различные варианты переходных процессов работы сердца в восстановительном периоде у детей школьного возраста. Ряд авторов обнаружили, что в одном из вариантов на первых минутах восстановительного периода – после выполнения функциональных проб и дозированных физических нагрузок – возросший при работе пульс опускается ниже исходного уровня покоя, т.е. восстановление происходит через “отрицательную фазу” пульса (ОФП). Однако данные о возникновении ОФП в восстановительном периоде немногочисленны. Те немногие авторы, которые наблюдали в своих исследованиях проявление ОФП, расходятся в интерпретации этого феномена [8–11].

Ряд авторов такой вариант, при котором происходит быстрое восстановление показателей к исходному уровню покоя через “отрицательную фазу”, относят к прогностически благоприятным, и высказывают мнение, что снижение ЧСС ниже исходных величин после выполнения мышечной нагрузки является одним из проявлений

механизмов формирования брадикардии тренированности [10].

В исследованиях А.А. Бирюкович выявлена ОФП после двигательного беспокойства во время сна у детей 1-го года жизни [9]. Автор трактует ОФП как отражение механизма развития возрастной брадикардии.

По нашим наблюдениям, у подростков в разгар пубертатного периода ОФП встречается довольно часто, и не является позитивным прогностическим признаком для оценки работоспособности [11].

На рис. 2 представлены пульсовые кривые трех испытуемых. У испытуемого Г.М. хорошо выражена отрицательная фаза пульса. ЧСС у этого испытуемого полностью восстановилась за первую минуту релаксации. Далее наблюдается снижение ЧСС ниже дорабочих величин. У таких детей регистрировали низкий уровень пульсового долга и ИНПД.

У испытуемого З.Т. наблюдалась достаточно часто встречающаяся динамика ЧСС и типичная кривая восстановления, когда основное восстановление пульса происходит на первой-второй минуте после работы, а далее ЧСС колеблется в пределах дорабочих значений пульса. У таких испытуемых наблюдался средний уровень ПД и ИНПД в пределах возрастного-половой группы.

Также на рис. 2 показана пульсовая кривая испытуемого И.М., у которого наблюдался затяжной характер восстановления. На рис. 2 видно, что у данного ребенка пульс так и не вернулся к значениям, зарегистрированным до начала нагрузки, и значительно превышал свои дорабочие величины до конца наблюдаемого периода восстановления. У таких детей оказался очень высокий ПД и ИНПД за 5 мин восстановительного периода.

Таким образом, можно выделить три типа восстановления пульса после физической нагрузки:

- 1) “*ригидный*”: нормальное вработывание и замедленное восстановление (испытуемый И.М.) — соответствует высокому уровню ИНПД;
- 2) “*оптимальный*”: нормальное вработывание и нормальное восстановление (испытуемый З.Т.) — соответствует среднему уровню ИНПД;
- 3) “*гиперреактивный*”: быстрое вработывание и быстрое восстановление (испытуемый Г.М.) — соответствует низкому уровню ИНПД.

Можно полагать, что “оптимальный” тип представляет собой наиболее зрелый вариант регуляции сердечной деятельности в процессе работы и восстановления. В этом случае “ригидный” и “гиперреактивный” типы могут считаться ювенильными.

Представляет интерес взаимосвязь показателей функционального развития с возрастом и по-

казателями физического развития детей. Это сопоставление было проведено методом корреляционного анализа (табл. 3).

Выявлена ожидаемая отрицательная корреляционная связь между возрастом и ЧСС в покое (табл. 4). Квантильная регрессия позволила выявить, что влияние возраста на ЧСС выше у девочек, чем у мальчиков. Так, с увеличением возраста ЧСС в покое снижался на 7.6 уд./мин на единицу возраста (0.1 лет), а у мальчиков — на 6.6 уд./мин.

Обнаружена отрицательная корреляция между возрастом и временем работы как у мальчиков, так и у девочек. Как показано выше, у детей с возрастом от 4–5 до 6–7 время выполнения теста уменьшалось, а, следовательно, интенсивность нагрузки с возрастом увеличивалась, поскольку задание оставалось одинаковым — 10 приседаний в максимально быстром темпе. Именно по этой причине выявляется положительная взаимосвязь между возрастом и величиной пульсового долга, между возрастом и величиной ИНПД как у мальчиков, так и у девочек.

Оказалось также, что ПД и ИНПД имеют положительную корреляционную взаимосвязь средней силы с показателями физического развития — ростом стоя, длиной ног и весом ребенка. При этом значения коэффициентов корреляции между этими показателями у девочек имели более высокие значения, чем у мальчиков.

Следует отметить, что такой показатель как индекс массы тела (ИМТ), характеризующий телосложение, по полученным нами данным не коррелирует в возрасте 4–7 лет с функциональными показателями в покое и при физической нагрузке. Между тем, для детей более старших возрастных групп подобные связи описаны в литературе [1], и они демонстрируют большее напряжение функциональных систем организма при сопоставимой физической нагрузке у детей с более высоким ИМТ и признаками ожирения.

Согласно нашим данным, % жира в организме, определяемый по величине кожно-жировых складок, также не коррелирует с показателями функционального развития детей этого возраста. В то же время, между этим показателем и ИМТ выявлена сильная положительная взаимосвязь ($\rho = 0.47, p = 4 \times 10^{-15}$).

Таким образом, проведенный корреляционный анализ подтвердил, что с возрастом в интервале от 4 до 7 лет в организме детей происходят такие перестройки, которые позволяют увеличивать интенсивность выполняемой околомаксимальной физической нагрузки, что можно интерпретировать как возрастное увеличение работоспособности — несмотря на повышение величин ИНПД, казалось бы, свидетельствующее об обратном. Необходимо подчеркнуть, что величины ИНПД растут с возрастом именно в результате

Таблица 4. Значения коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между антропометрическими и функциональными показателями у детей 4–7 лет

Девочки, <i>n</i> = 128	ЧСС покой, уд./мин	ЧСС после нагрузки, уд./мин	Время работы, с	ПД, уд.	ИНПД, уд./с
Возраст, лет	–0.59 (<i>p</i> = 3 × 10 ^{–11})	–0.25 (<i>ns</i>)	–0.45 (<i>p</i> = 5 × 10 ^{–6})	0.54 (<i>p</i> = 5 × 10 ^{–9})	0.61 (<i>p</i> = 3 × 10 ^{–12})
Рост стоя, см	–0.52 (<i>p</i> = 3 × 10 ^{–8})	–0.24 (<i>ns</i>)	–0.46 (<i>p</i> = 4 × 10 ^{–6})	0.50 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–7})	0.56 (<i>p</i> = 9 × 10 ^{–10})
Длина ног, см	–0.49 (<i>p</i> = 4 × 10 ^{–7})	–0.25 (<i>ns</i>)	–0.33 (<i>p</i> = 8 × 10 ^{–3})	0.41 (<i>p</i> = 7 × 10 ^{–5})	0.47 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–6})
Масса тела, кг	–0.45 (<i>p</i> = 9 × 10 ^{–6})	–0.14 (<i>ns</i>)	–0.43 (<i>p</i> = 3 × 10 ^{–5})	0.53 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–8})	0.57 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–10})
ИМТ, кг/м ²	–0.13 (<i>ns</i>)	0.02 (<i>ns</i>)	0.17 (<i>ns</i>)	0.25 (<i>ns</i>)	0.27 (<i>ns</i>)
% жира	–0.17 (<i>ns</i>)	–0.17 (<i>ns</i>)	–0.06 (<i>ns</i>)	0.21 (<i>ns</i>)	0.20 (<i>ns</i>)
Мальчики, <i>n</i> = 119	ЧСС покой, уд./мин	ЧСС после нагрузки, уд./мин	Время работы, с	ПД, уд.	ИНПД, уд./с
Возраст, лет	–0.74 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–22})	–0.15 (<i>ns</i>)	–0.37 (<i>p</i> = 5 × 10 ^{–3})	0.67 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–16})	0.71 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–19})
Рост стоя, см	–0.64 (<i>p</i> = 7 × 10 ^{–15})	–0.12 (<i>ns</i>)	–0.20 (<i>ns</i>)	0.58 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–11})	0.59 (<i>p</i> = 1 × 10 ^{–11})
Длина ног, см	–0.45 (<i>p</i> = 3 × 10 ^{–6})	–0.13 (<i>ns</i>)	–0.20 (<i>ns</i>)	0.36 (<i>p</i> = 7 × 10 ^{–4})	0.40 (<i>p</i> = 8 × 10 ^{–5})
Масса тела, кг	–0.56 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–10})	–0.09 (<i>ns</i>)	–0.13 (<i>ns</i>)	0.51 (<i>p</i> = 2 × 10 ^{–8})	0.50 (<i>p</i> = 5 × 10 ^{–8})
ИМТ, кг/м ²	–0.15 (<i>ns</i>)	0.02 (<i>ns</i>)	0.05 (<i>ns</i>)	0.18 (<i>ns</i>)	0.14 (<i>ns</i>)
% жира	–0.24 (<i>ns</i>)	–0.13 (<i>ns</i>)	–0.01 (<i>ns</i>)	0.20 (<i>ns</i>)	0.19 (<i>ns</i>)

Примечание: указаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (*p*-значение), *ns* – *p*-значение выше порогового значения (*p* = 0.001).

повышения интенсивности выполняемой нагрузки: один и тот же объем приседаний (10 раз) выполняется старшими детьми за достоверно меньшее время. Кроме того, можно отметить, что, хотя, мы и не производили прямых измерений, было заметно качественное изменение корректности выполнения приседаний: с возрастом приседания становились глубже и выполнялись более четко, чем в младшей возрастной группе. Все это вело к повышению объема выполненной работы и интенсивности нагрузки. Чтобы компенсировать недостатки в выполнении упражнения младшими детьми, можно было бы провести с ними обучающие занятия, в ходе которых они бы научились глубже приседать, четче выполнять движение и действовать быстрее – чтобы уложиться в заданное время 10 с. Однако такие занятия имели бы тренировочный эффект, который было бы невозможно отделить от влияния возраста и меняющихся пропорций тела. В использованном нами протоколе нагрузки дети младшего возраста демонстрировали заведомо меньшую

интенсивность работы, тогда как с возрастом она значительно увеличивалась.

Можно ли количественно оценить это повышение на основании имеющихся данных? Со множеством оговорок, отражающих наше понимание неполной адекватности использованного расчета, мы, тем не менее, применили для этой цели нелинейную модель взаимосвязи ИНПД и мощности предельной циклической нагрузки, разработанную по результатам тестирования квалифицированных спортсменов [6]. Она позволяет приблизительно оценить, какую мощность развивал человек во время нагрузки, в результате которой у него был зарегистрирован конкретный уровень ИНПД. Понятно, что такая модель, разработанная на спортсменах, в приложении к детям может дать лишь самые ориентировочные результаты, тем не менее, они, на наш взгляд, показательны для понимания возрастных преобразований мышечной функции (табл. 5).

Величины ИНПД у наших испытуемых в возрасте 4 лет в среднем составляли 1.2 уд./с у маль-

Таблица 5. Мощность циклической нагрузки, соответствующая разным значениям интенсивности накопления пульсового долга (ИНПД) (расчет на основании нелинейной модели [6])

ИНПД (уд./с)	Мощность (Вт/кг)
0.7	4.59
1	4.91
1.5	5.44
2	5.97
2.5	6.50
3	7.03
3.5	7.57
4	8.10
4.5	8.63
5	9.16

чиков и 1.0 у девочек; к 7 годам они выросли до 4.1 — у мальчиков и 4.7 уд./с — у девочек. Соответственно, судя по данным, представленным в табл. 5, мощность выполненной нагрузки в тесте “10 приседаний с максимальной скоростью” выросла у мальчиков примерно в 1.6 раза; у девочек — в 1.8 раза, и превысила 8 Вт/кг, что примерно в 2 раза выше мощности, при которой регистрируется максимальное потребление кислорода. Уровень реализуемой мощности, на который выходят дети в старшем дошкольном возрасте 6–7 лет, составляет в относительном выражении 50–70% от максимальной мощности взрослого человека, если он выполняет предельную нагрузку длительностью 10–30 с [12]. Такое, примерно 1.5–2-кратное, увеличение реализуемой мощности около максимальной нагрузки детей от 4 до 7 лет демонстрирует существенные качественные перестройки двигательного аппарата, происходящие в старшем дошкольном возрасте [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что с возрастом у детей дошкольного возраста происходят качественные и количественные изменения рабочих возможностей: повышается способность работать “в долг”, т.е. за счет анаэробных источников; снижается ЧСС в покое и на пике нагрузки, отражая совершенствование автономной регуляции работы сердца; улучшается координация движений и точность выполнения задания, что обеспечивает повышение трудоемкости выполняемого упражнения; движения становятся более быстрыми, что ведет к значительному увеличению доступной интенсивности выполняемой нагрузки. В результате всех этих изменений дети старшего дошкольного возраста уже могут справляться со значительно более высокой мощ-

ностью циклической нагрузки, и при этом демонстрируют более высокую интенсивность физиологических затрат (ИНПД), соответствующих выполненной работе.

Были выявлены три варианта индивидуальной динамики восстановления ЧСС после стандартной физической нагрузки, которые свидетельствуют об индивидуальных различиях энергетических возможностей детей как мальчиков, так и девочек — уже в возрасте 4–7 лет. Соотношение этих вариантов в выборке и его изменение с возрастом позволяет предположить, что оптимальный вариант является проявлением наиболее зрелого паттерна автономной регуляции работы сердца, и постепенно, с возрастом, должен стать преобладающим. Однако, по данным ряда авторов, в подростковом возрасте, на фоне пубертатной временной разрегуляции физиологических процессов, нередко вновь встречается “гиперреактивный” вариант, приводящий к наличию ОФП в восстановительном периоде [10, 11, 14, 15]. В литературе нет консенсуса по вопросу физиологической оценки ОФП, этот феномен требует дальнейшего изучения.

Обнаруженные в наших исследованиях три варианта динамики пульсовой кривой в ответ на стандартную физическую нагрузку свидетельствуют о возможности раннего выявления энергетических особенностей детей, что можно использовать для оптимизации нагрузок, применяемых в физическом воспитании дошкольников. Однако для разработки такого рода алгоритмов потребуются дальнейшие лонгитудинальные исследования.

Хотя, между показателем ИМТ и % жира в организме выявлена сильная значимая корреляционная связь, в рассматриваемом возрастном диапазоне нет признаков влияния этих антропологических факторов на физическое состояние детей — отсутствуют корреляции этих показателей с признаками, отражающими функциональное состояние детей и их реакцию на физическую нагрузку. Тем не менее, согласно литературе, с возрастом такое влияние выявляется у детей старше 7 лет.

В целом, полученные данные демонстрируют радикальное изменение физического состояния детского организма в интервале от 4 до 7 лет, а также указывают на необходимость более индивидуализированного подхода при использовании физических нагрузок и оценке эффективности занятий по физической культуре в дошкольных учреждениях.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях и одобрены локальным этическим

комитетом Института возрастной физиологии РАО (Москва).

Информированное согласие. Родители или законные представители участвовавших в исследовании детей давали письменное информированное согласие, на проведение исследования было получено разрешение администрации детских образовательных организаций.

Финансирование работы. Работа выполнена в соответствии с Госзаданием Министерства Просвещения РФ для ФГБНУ “Институт возрастной физиологии Российской академии образования” (Москва) на 2019–2022 гг. по проекту “Функциональное развитие (когнитивное, эмоциональное, физическое развитие и здоровье) детей дошкольного возраста (3–7 лет)”. Тема: “Энерговегетативная характеристика детей дошкольного возраста”.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nikolaidis P.T., Kintziou E., Georgoudis G. et al.* The Effect of Body Mass Index on Acute Cardiometabolic Responses to Graded Exercise Testing in Children: A Narrative Review // *Sports (Basel)*. 2018. V. 6. № 4. P. 103.
2. *Collings P.J., Westgate K., Väistö J. et al.* Cross-Sectional Associations of Objectively-Measured Physical Activity and Sedentary Time with Body Composition and Cardiorespiratory Fitness in Mid-Childhood: The PANIC Study // *Sports Med*. 2017. V. 47. № 4. P. 769.
3. *Tuan S.H., Su H.T., Chen Y.J. et al.* Ability of pre-schoolers to achieve maximal exercise and its correlation with oxygen uptake efficiency slope ~ an observational study by direct cardiopulmonary exercise testing // *Medicine (Baltimore)*. 2018. V. 97. № 46. P. e13296.
4. *Король В.М., Сонькин В.Д., Ратушная Л.И.* Мышечная работоспособность и частота сердечных сокращений у подростков в зависимости от уровня полового созревания // *Теория и практика физической культуры*. 1985. № 8. С. 27.
Korol V.M., Sonkin V.D., Ratushnaya L.I. [Muscular performance and heart rate in adolescents depending on the level of puberty] // *Theory and Practice of Physical Culture*. 1985. № 8. P. 27.
5. *Корниенко И.А., Сонькин В.Д.* Энергетическая и физиологическая “стоимость” мышечной работы детей 7–17 лет // *Физиология человека*. 1991. Т. 17. № 5. С. 130.
Kornienko I.A., Sonkin V.D. [Energy and physiological “cost” of muscular work of children 7–17 years] // *Fiziologija Cheloveka*. 1991. V. 17. № 5. P. 130.
6. *Козлов А.В., Розенталь М.Г., Сонькин В.Д.* Взаимосвязь интенсивности накопления пульсового долга со скоростью накопления концентрации лактата в крови при выполнении предельных циклических упражнений различной продолжительности / Сборник тезисов IX Российской, с международным участием, конференции по управлению движением, посвященной 95-летию со дня рождения И.Б. Козловской (Казань, 2–4 июня, 2022 г.) // Под общ. ред. Балтиной Т.В., Томиловской Е.С. Казань: Изд-во “Бриг”, 2022. С. 135.
Kozlov A.V., Rosenthal M.G., Sonkin V.D. Interrelation of the intensity of the accumulation of pulse duty with the rate of accumulation of lactate concentration in the blood when performing maximum cyclic exercises of various durations / Collection of theses of the IX Russian, with international participation, a conference on traffic management dedicated to the 95th anniversary of the birth of I.B. Kozlovskaya (Kazan, June 2–4, 2022) // Edition of Baltina T.V., Tomilovskaya E.S. Kazan: Izd-vo “Brig”, 2022. P. 135.
7. *Федотова Т.К., Горбачева А.К.* Временной тренд соматических размеров детей в возрасте первого и второго детства (по материалам РФ и бывшего СССР) // *Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология*. 2019. № 2. С. 26.
Fedotova T.K., Gorbacheva A.K. [Time trend of somatic dimensions of children aged the first and second childhood (based on the materials of the Russian Federation and the former USSR)] // *Moscow University Anthropology Bulletin*. 2019. № 2. P. 26.
8. *Абзалов Р.А., Нигматуллина Р.Р.* Изменение показателей насосной функции сердца у спортсменов и неспортсменов при выполнении мышечных нагрузок повышающейся мощности // *Теория и практика физической культуры*. 1999. № 8. С. 24.
Abzalov R.A., Nigmatullina R.R. [Change in indicators of the pumping function of the heart in athletes and non-athletes when performing muscle loads of increasing power] // *Theory and Practice of Physical Culture*. 1999. № 8. P. 24.
9. *Бирюкович А.А.* Биоритмы сердечной деятельности и дыхания в онтогенезе человека: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1973. 36 с.
Biryukovich A.A. [Biorhythms of cardiac activity and respiration in human ontogenesis]: Avtoref. dis. ... doct. Biol. Sciences. M., 1973. 36 p.
10. *Вахитов И.Х., Абзалов Р.А., Абзалов Р.Р., Мартыанов О.П.* “Отрицательная фаза” частоты сердечных сокращений и ударного объема крови у юных спортсменов после выполнения гарвардского степ-теста // *Физиология человека*. 2006. Т. 32. № 6. С. 47.
Vakhitov I.Kh., Abzalov R.A., Abzalov R.R., Martyanov O.P. “Negative phase” of heart rate and stroke blood volume in young athletes after performing the Harvard step test // *Human Physiology*. 2006. V. 32. № 6. P. 671.
11. *Васильева Р.М.* Кинетика восстановления показателей гемодинамики после выполнения физических нагрузок максимальной и субмаксимальной мощности у детей школьного возраста // *Новые исследования*. 2009. № 1. С. 218.
Vasilyeva R.M. [Kinetics of recovery of hemodynamic indicators after performing physical exertion of maximum and submaximal power in children of school age] // *New Research*. 2009. № 1. P. 218.
12. *Яружный Н.В.* Максимальные энергетические возможности при мышечной деятельности у школьников 17–18 лет / Новые исследования по возрастной физиологии. М.: Педагогика, 1986. № 1 (26). С. 51.
Yaruzhny N.V. [Maximum energy capabilities in mus-

- cular activity in schoolchildren 17–18 years old] / *New Research on Age Physiology*. М.: Pedagogika, 1986. № 1 (26). P. 51.
13. *Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В.* Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе. Изд. стереотип. М.: URSS, 2018. 368 с.
Sonkin V.D., Tambovtseva R.V. [Development of muscular energy and efficiency in ontogenesis]. Ed. stereotype. М.: URSS, 2018. 368 p.
 14. *Вахитов И.Х., Галимянова Г.Р., Лукманова С.Р., Приданцева К.Д.* Особенности проявления “отрицательной фазы” ЧСС и УОК у юных спортсменов после выполнения мышечной нагрузки / Здоровье человека, здоровый образ жизни, здоровьесберегающие технологии, физическая культура и спорт // *Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции*. СПб.: ООО “НИЦ АРТ”, 2021. С. 21.
Vakhitov I.Kh., Galimyanova G.R., Lukmanova S.R., Pridantseva K.D. Features of the manifestation of the “negative phase” of heart rate and UOC in young athletes after performing muscle load / Human health, healthy lifestyle, health-saving technologies, physical culture and sport // *Materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference*. St. Petersburg: LLC “SIC ART”, 2021. P. 21.
 15. *Прусов П.К., Иусов И.Г., Шаройко М.В.* Характеристика показателей восстановления частоты пульса юных спортсменов после велоэргометрических нагрузок разной интенсивности // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2016. Т. 93. № 2–2. С. 128.
Prusov P.K., Iusov I.G., Sharoyko M.V. [Characteristics of indicators of recovery of the pulse rate of young athletes after bicycle ergometric loads of different intensity] // *Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture*. 2016. V. 93. № 2–2. P. 128.

Pulse Reactions to Dosed Physical Load in Preschool Children

R. M. Vasilyeva^a, O. I. Parfentyeva^b, N. I. Orlova^a, A. V. Kozlov^c, V. D. Sonkin^{a, *}

^a*Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education, Moscow, Russia*

^b*Research Institute and Museum of Anthropology, Moscow State University, Moscow, Russia*

^c*Center for Sports Technology of Moskomspor, Moscow, Russia*

^{*}*E-mail: sonkin@mail.ru*

The aim of the study was to assess effect of the specific physical activity (squatting exercise – 10 times in a maximum pace) in 122 boys and 128 girls aged 4 to 7 years who attend kindergarten. All children were assigned to health groups 1 or 2. Heart rate was recorded at rest, during exercise and the recovery period (5 min) by Polar heart monitors. Based on the test results, intensity of pulse debt accumulation (IPDA) was calculated for each subject. There were no significant differences in physiological reactions between girls and boys. The exercise duration decreased with age, which reflects the intensification. Intensity of pulse debt accumulation, which characterized the specific energy consumption, increase accordingly. In some cases, a negative phase of the pulse was observed during the recovery period. An individual analysis of pulse curves made it possible to identify three variants of pulse response during the exercise and the recovery period. The type of this response is not associated with either sex, age, or anthropometric characteristics, but the final value of the IPDA depends on it. Some pairwise correlations between anthropometric and functional values in the group of children aged 4 to 7 years were revealed. In general, the data indicate the importance of an individualized approach when planning physical activity and evaluating the effectiveness of physical education in preschool children.

Keywords: preschool children, dosed physical activity, pulse curve, negative phase of the pulse in restitution, intensity of pulse debt accumulation.