

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ РАБОТЫ РУКАМИ И НОГАМИ

Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В., Маслова Г.М.
Институт возрастной физиологии РАО

С целью оценки возрастных особенностей реакции физиологических систем на нагрузку для верхних и нижних конечностей, исследовали эргометрические показатели при циклической работе разной мощности у мальчиков от 7 до 17 лет, а также реакцию вегетативных систем и показатели энергопродукции у мальчиков 10–11 и юношей 16–17 лет. Во всех случаях мощность нагрузки задавали в расчете на единицу массы работающих мышц. Показано, что в исследованном возрастном периоде не всегда наблюдается синхронизация в ростовых процессах в мышцах верхних и нижних конечностей, как и в процессах формирования аэробных и анаэробных энергетических систем. В младшем возрасте (до 10 лет) мышцы рук отличаются более высокими показателями работоспособности, тогда как от 14 до 17 лет, по-видимому, под воздействием половых гормонов, происходят синхронизированные изменения, приводящие к резкому увеличению анаэробных возможностей, причем мышцы ног оказываются более работоспособными в зонах большой и субмаксимальной мощности уже с 12 лет. Как у детей, так и у юношей экономичность циклической работы руками ниже, чем ногами. При этом кинетика погашения кислородного долга после предельной нагрузки руками и ногами почти одинакова, что свидетельствует о системном характере кислородного долга. Делается вывод, что работоспособность – это понятие, характеризующее возможности не отдельных мышечных групп, а организма в целом.

Ключевые слова: дети, физическая нагрузка, верхние конечности, нижние конечности, скелетные мышцы, работоспособность физическая.

The aim of the investigation was to evaluate age peculiarities of physiological systems' reactions for work load for upper and lower extremities. The results of ergometric testing with different level of work load in boys 7–17 years were obtained as well as vegetative and energetic systems' reaction in boys 10–11 and adolescents 16–17 years old. In all cases the work power was estimated in relation to muscle mass of working extremities. It was shown that during the investigated period of ontogenesis the processes of muscle growth and development of aerobic and anaerobic energy systems are not obligatory synchronized. In juniors (till 10 years) arms muscle had higher working performance than legs muscle, while since 14 to 17 the synchronized and strong activation of working performance took place which seemed to be a result of sexual hormones action, and legs muscles at this period became more efficient than arms (after 12 years). Energy efficiency of legs cyclic work is higher than arms both in boys and in adolescents. The kinetics of oxygen debt recovery after exhaustive legs and arms work was nearly similar that means that the oxygen debt had a systemic character. It is stated as a conclusion that working capacity is an organism property but not of different muscle groups.

Key word: children, work load, arms, legs, muscle, working capacity.

Результаты исследований возрастных преобразований энергетического и вегетативного обеспечения мышечной деятельности касаются, главным образом, работы больших мышечных групп, поскольку чаще всего получены в тестах на ножном велоэргометре. В такой модели нагрузки в работу вовлечены мышцы ног и тазового пояса, то есть самая крупная группа мышц организма, составляющая около 40% от всех скелетных мышц тела. Работа такого рода может считаться **глобальной** [1]. Однако значительная доля нагрузок, как в физическом воспитании, так и в спорте, а тем более в труде, выполняются руками, то есть **локальны**, поскольку требуют участия сравнительно небольших групп мышц. К тому же, типичные двигательные задачи, выполняемые верхними конечностями, у человека значительно отличаются от работы нижних конечностей. Мускулатура ног в первую очередь участвует в простых, но достаточно трудоемких ритмических движениях, связанных с перемещением всего тела в пространстве, а также в статических нагрузках, связанных с удержанием тела в вертикальном положении при стоянии. Мышцы человеческой руки способны выполнять тонкие, четко дозированные и дифференцированные движения в процессе трудовой деятельности. В то же время, это не может не сказаться на особенностях организации энергетического метаболизма и вегетативного обеспечения при выполнении работы верхними и нижними конечностями, что и стало предметом наших исследований в данном случае.

Большинство авторов, которые исследовали показатели энергетического обмена и вегетативных реакций при работе верхними и нижними конечностями, производили эксперименты со взрослыми людьми [11, 17,18, 21,24]. В этих работах показано, что при одинаковой по абсолютной мощности нагрузке реакции всех показателей деятельности вегетативных систем – в том числе частоты пульса и дыхания, легочной вентиляции, скорости объемного кровотока, потребления кислорода и выделения углекислого газа – значительно больше, когда работа производится руками. Это приводит к тому, что максимальные возможности вегетативных систем реализуются при более низком уровне нагрузки, в результате – при работе руками значительно ниже величины PWC170, МПК, критической мощности и т.п. [17, 18, 24]. К тому же, существенно ниже экономичность работы верхними конечностями [18, 22]. Аналогичные различия зарегистрированы в немногочисленных исследованиях, где сопоставляются реакции вегетативных систем организма детей и подростков разного возраста на циклические нагрузки для верхних и нижних конечностей [12,13,22].

Во всех этих случаях различия в реакции вегетативных систем на нагрузку могут быть связаны с различиями в массе скелетных мышц, участвующих в работе [23]. Так, известно, что объем нижних конечностей у взрослых испытуемых в 2,4 раза больше, чем объем верхних конечностей [17]. Ясно, что такая разница в объеме отражает значительную разницу в массе скелетных мышц, а следовательно – и в относительном уровне нагрузки на эти мышцы.

По этой причине мы сочли необходимым оценить реакции физиологических систем на нагрузку для верхних и нижних конечностей, приблизительно одинаковую в расчете на единицу массы работающих мышц. Для того, чтобы учесть массу

скелетных мышц, выполняющих работу конечностей, мы использовали методику расчета мышечной массы звеньев конечностей, разработанную нами ранее [8].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1) Методика оценки массы скелетных мышц. Для оценки мышечной массы периферических звеньев тела была использована масс-инерционная модель и коэффициенты плотности отдельных звеньев тела, измеренные В.Н.Селуяновым и др. [7] с помощью радиографического анализа у лиц различного возраста и пола. Ошибка метода при таком анализе колеблется от 5 до 13%. Полученные в этом исследовании коэффициенты учитывают плотность звеньев тела человека и отличие их формы от модели цилиндра (табл.2). Пользуясь этими коэффициентами, можно на основании антропометрических измерений оценить все основные компоненты тех звеньев тела, которые по форме приближаются к цилиндру и не имеют внутренних полостей. Этим требованиям отвечают плечо, предплечье, голень и бедро, т.е. те звенья, в которых сосредоточена почти вся масса мышц конечностей.

Таблица 1

*Величина поправочного коэффициента К для людей 6–60 лет
по: Селуянов и др., 1990 [7]*

Сегмент тела	Мужчины	Женщины
Голень	$5,85 \cdot 10^{-5}$	$6,58 \cdot 10^{-5}$
Бедро	$6,64 \cdot 10^{-5}$	$6,48 \cdot 10^{-5}$
Предплечье	$6,26 \cdot 10^{-5}$	$6,43 \cdot 10^{-5}$
Плечо	$9,67 \cdot 10^{-5}$	$9,49 \cdot 10^{-5}$

Для более точной оценки объема звеньев мы производили измерения окружностей в трех точках: в дистальной, срединной и проксимальной зонах каждого сегмента. В этих же точках калипером измеряли толщину кожно-жировой складки. Все измерения производили на правой руке и правой ноге. Расчет объема производили по формуле цилиндра, но в качестве диаметра брали среднее из трех измерений. Наименее определенным элементом расчета является соотношение костной и мышечной массы. Для тела человека в целом оно составляет 0,36, однако для конечностей эту величину можно принять равной 0,2 [14]. Тогда масса мышц составит 83% от общей массы костно-мышечного аппарата конечностей. Поскольку у новорожденных эта величина ниже – около 70% [16], а закономерность ее возрастного изменения неизвестна, для соблюдения единообразия и стандартизации расчета мы приняли этот показатель равным 80% для всех детей в возрасте от 7 до 17 лет. Масса крови, кровеносных сосудов и тканевой жидкости не была отдифференцирована.

Исходя из изложенного, был предложен [8] следующий алгоритм расчета массы мышц звеньев конечностей:

$$M_{mi} = L_i * C_i * (0.8 K * C_i - 3.85 * 10^{-5} * D_i - 1.1425 * 10^{-5})$$

Где: M_{mi} – масса мышц i -го сегмента, кг; L_i – длина i -го сегмента, см; C_i – средний обхват i -го сегмента, см; D_i – средняя толщина кожно-жировой складки (показания калипера) i -го сегмента, мм; K – коэффициент из табл. 1.

Данные о массе мышц звеньев конечностей мы использовали для расчета нагрузок, а также для вычисления относительных величин различных физиологических показателей, измеряемых при физической работе, для сопоставления рабочих возможностей и характера реакции организма на нагрузку для мышц верхних и нижних конечностей.

2) Методика проведения велоэргометрического тестирования

В каждой возрастной группе одни и те же испытуемые (12–15 мальчиков на возрастную группу) выполняли в разные дни работу руками и ногами до «отказа». Работа ногами производилась в режиме обычной велоэргометрии. Работа руками выполнялась с помощью аналогичного прибора, снабженного специальными педалями для рук, в положении сидя. Величину нагрузки в зоне большой мощности при работе руками устанавливали на уровне около 75 % от МПК; нагрузка субмаксимальной мощности была примерно в 2 раза больше. По результатам измерений рассчитывали коэффициенты уравнения Мюллера [2], общий объем выполненной работы, другие эргометрические показатели, а также величины ИНПД [3].

Наряду с этим проводили тестирование по протоколу ступенчато возрастающей нагрузки до отказа с регистрацией показателей работы сердца, дыхания (ВТПС) и газообмена (СТРД) в покое и на каждой ступени нагрузки, а также в восстановительном периоде.

Методические особенности проведения циклоэргометрической пробы для рук состояли в том, что нагрузку дозировали не в относительных, а в абсолютных единицах, начиная с 10 Вт, увеличивали ступенеобразно на 10–20 Вт, а время работы на каждой ступени было не менее 2 и не более 4 минут. В остальном все проводили так же, как и в велоэргометрической пробе для ног.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных антропометрических измерений приведены в таблице 2.

На основании полученных данных были рассчитаны по формуле И.И.Шмальгаузена [15] константы скорости роста мышц верхних и нижних конечностей у мальчиков 6–17 лет (рис. 1).

В возрасте 6–7 лет мышцы верхних и нижних конечностей растут относительно медленно. В возрастном интервале 8–9 лет скорости роста увеличиваются. Это относится в особенности к мускулатуре рук. Затем, в возрасте 10–11 лет интен-

сивность ростовых процессов резко понижается. Можно полагать, что это в какой-то степени связано с активацией дифференцировочных процессов в смешанных мышцах. На 12-летний возраст приходится увеличение скорости роста мышц рук (препубертатный рост начинается с верхних конечностей, в чем проявляется известная закономерность кранио-каудального градиента развития). В 12–13 лет наиболее интенсивно растет мускулатура ног, которая в интервале 13–14 лет вновь демонстрирует торможение роста, явно связанное с первой фазой пубертатных дифференцировок. Вторая фаза этого процесса приходится на 16 лет, когда вновь тормозится скорость роста. На рис. 1 приведена также динамика константы скорости роста массы тела обследованных. Видно, что она в значительной степени синхронизирована, но не вполне совпадает с изменениями скорости роста мышечной массы.

Таблица 2

Возрастные изменения размеров тела и массы скелетных мышц конечностей у мальчиков 7–17 лет

Возраст, лет	n	Масса тела, кг		Длина тела, см		Масса мышц верхних конечностей			Масса мышц нижних конечностей		
		M	±m	M	±m	кг		%%	кг		%%
						M	±m		M	±m	
7	16	26.4	0.63	130	1.5	1.79	0.18	6.5	6.12	0.55	23.3
8	16	27.5	0.89	126	2.0	1.86	0.09	6.82	6.20	0.30	21.4
9	19	30.9	0.63	137	1.4	2.30	0.08	6.99	6.76	0.24	22.0
10	17	32.6	0.84	134	1.0	2.35	0.07	7.21	6.82	0.31	20.9
11	17	34.3	1.24	141	1.8	2.47	0.09	7.20	7.29	0.37	21.3
12	16	37.3	1.33	145	1.8	2.93	0.16	7.86	7.87	0.33	21.1
13	16	42.4	1.73	154	2.0	3.32	0.14	7.83	10.0	0.57	23.6
14	16	50.3	1.70	165	1.7	4.03	0.16	8.01	10.9	0.44	21.8
15	14	66.6	2.60	175	1.4	5.20	0.23	8.32	13.84	0.54	20.8
16	19	62.4	3.55	176	1.2	5.54	0.30	8.33	13.89	0.83	22.2
17	14	70.9	2.92	176	1.8	5.83	0.25	8.22	14.56	1.13	20.5

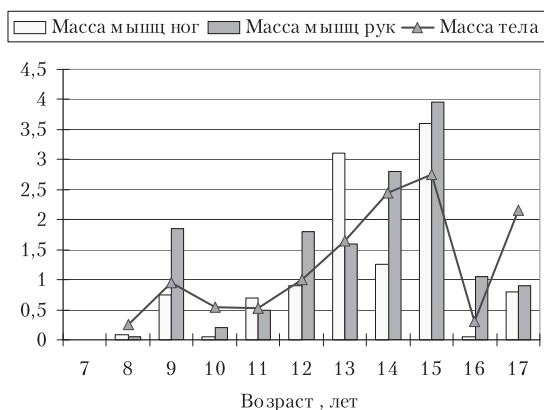


Рис. 1 Константы скорости роста массы тела, мышц верхних и нижних конечностей у мальчиков школьного возраста

Приведенные данные показывают, что изучение возрастной динамики скорости роста мышечной массы путем антропометрических измерений позволяет оценить основные этапы развития скелетной мускулатуры. При этом выявляется ряд существенных деталей, таких как синхронность и гетерохронность роста различных групп мышц в зависимости от возраста. Медленные темпы роста мышц у детей 6–7 лет позволяют предполагать, что в этом возрасте в мышечной ткани происходят существенные изменения, тем более что об этом же свидетельствуют данные В.И.Пузик [6]. Наши исследования состояния креатинового обмена свидетельствуют о том, что в возрасте 5–7 лет происходят значительные изменения энергетики скелетных мышц [5].

Синхронные изменения мышечной массы верхних и нижних конечностей выявляются только в 15–16 лет, когда наступает контролируемая тестостероном фаза роста и развития мышц. Этот период сопровождается наибольшей скоростью нарастания площади поперечного сечения мышечных волокон II типа [9], да и самих скелетных мышц, что полностью совпадает с материалами табл.2, показывающими, что скорость увеличения массы мышц верхних и нижних конечностей в этом возрасте действительно максимальна.

Во всех других случаях организация ростовых процессов мышц верхних и нижних конечностей гетерохронна, что, по-видимому, отражает тот факт, что основными инициаторами ростовых процессов могут быть нейротрофические влияния. Наиболее интересно расхождение пиков скорости роста в 12–13 лет, когда мышцы рук достигают максимума скорости роста на 1 год раньше, чем мышцы ног. Это соответствует известному в антропологии факту опережающего роста верхних конечностей в длину по сравнению с нижними (кранио-каудальный градиент) [10]. После первого пубертатного пика скорости роста в 12 лет для мышц верхних конечностей и в 13 лет для мышц нижних конечностей наступает некоторое замедление ростовых процессов (14 лет).



Рис. 2 Возрастная динамика отношения массы мышц ног к массе мышц рук у мальчиков школьного возраста

Результаты, приведенные на графике (рис. 2), показывают, что мускулатура ног и рук существенно отличается по темпам роста. Так, если в 7–8 лет отчетливо видно опережение интенсивности роста мышц ног (отношение 3,3–3,4), то к концу наблюдения у 14–17-летних подростков и юношей более интенсивно растет мускулатура рук – величина отношения снижается до 2,4–2,5. Следует отметить, что в возрасте 11 и 13 лет временно (на 1 год) вновь относительно увеличивается количество мышц ног. Очевидно, это связано с гетерохронией ростовых процессов при прохождении начальных стадий полового созревания.

Поскольку масса мышц ног во всех возрастных группах значительно превышает массу мышц рук, рассмотрение абсолютных показателей работоспособности не представляет интереса, так как они всегда значительно выше при работе ногами. Иное дело возрастная динамика тех же показателей, отнесенных к массе участвующих в работе скелетных мышц. Здесь, несмотря на приблизительность такого расчета, выявляется целый ряд качественных различий в возрастной динамике показателей.

Как и при работе ногами, **время удержания** руками циклических нагрузок в зоне большой мощности в 5–20 раз превышало предельное время работы в зоне субмаксимальной мощности. Соответственно, такие же различия зарегистрированы в объеме выполненной работы. При этом, если рассматривать относительные величины, объем выполненной работы в зоне субмаксимальной мощности до 13 лет оказывается выше при работе руками, а после 14 лет – при работе ногами. В зоне большой мощности работоспособность рук выше до 16 лет, и лишь после этого возраста рабочие возможности мышц ног становятся больше (рис. 3). Иными словами, в младшем возрасте руки оказываются относительно более развитыми, и лишь на завершающих этапах полового созревания мышцы ног достигают такого уровня развития, при котором их рабочие возможности становятся выше.

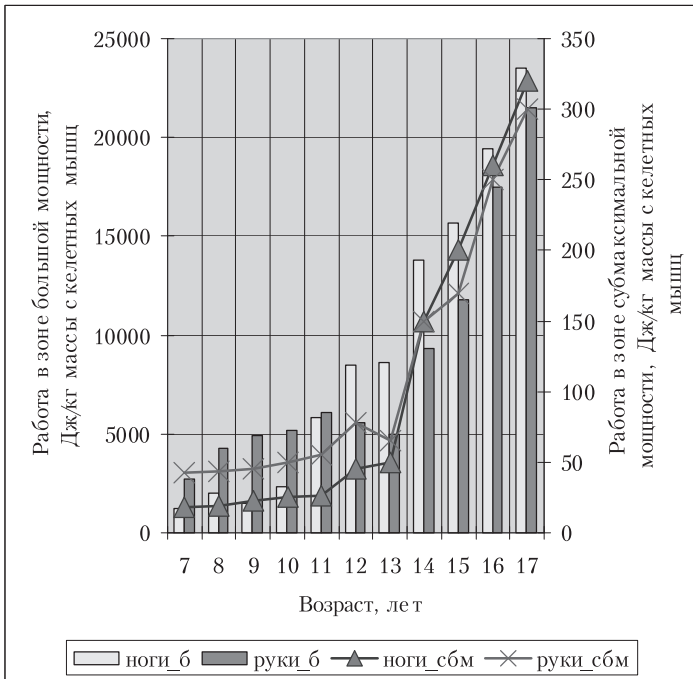


Рис. 3 Предельный объем работы при циклической работе руками и ногами в зонах большой и субмаксимальной мощности

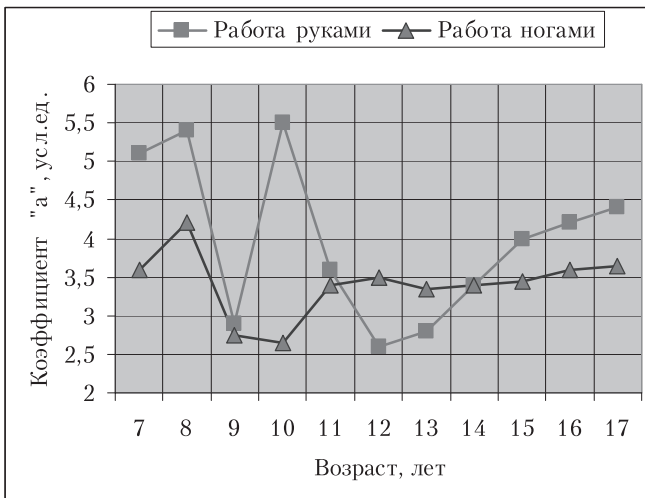


Рис. 4 Возрастная динамика коэффициента «а» уравнения Мюллера у мальчиков школьного возраста при работе руками и ногами

Безразмерный коэффициент «а» уравнения Мюллера при работе руками в большинстве возрастных групп оказался выше, чем при работе ногами. Это означает, что зависимость предельного времени удержания нагрузки от ее мощности для мышц рук, в целом, сильнее, чем для мышц ног (рис. 4).

Не меньший интерес представляют возрастные изменения максимальной анаэробной мощности, рассчитанной по уравнению Мюллера (рис. 5). Динамика этого показателя для мышц рук резко контрастирует со сравнительно равномерным повышением его с возрастом для мышц ног. Острый пик, приходящийся на возраст 12 лет, свидетельствует о резких перестройках в энергетическом профиле мышц верхних конечностей в период полового созревания. После его завершения данный показатель для рук становится достоверно ниже, чем для ног. Такое соотношение может означать некоторое преобладание в мышцах рук аэробных процессов над анаэробными (разумеется, по сравнению с мышцами ног у детей тех же возрастных групп), кроме периода полового созревания.

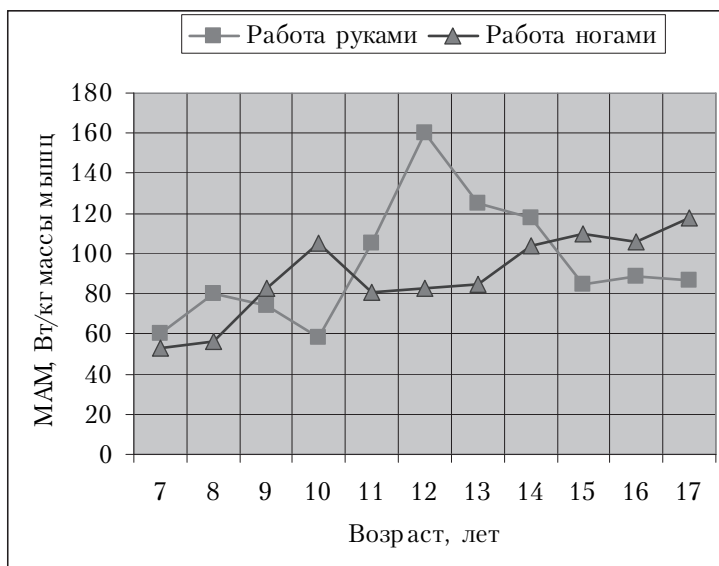


Рис. 5 Возрастная динамика максимальной анаэробной мощности у мальчиков школьного возраста при циклической работе руками и ногами

Величина W_{40} , характеризующая мощность анаэробно-гликолитического источника энергии, в расчете на единицу мышечной массы рук в большинстве возрастных групп значимо больше, чем для мышц ног, хотя в обеих группах мышц заметно увеличение этого показателя с возрастом (рис. 6). Это отражает возрастное увеличение возможностей анаэробно-гликолитического источника энергии.

Таким образом, общая направленность возрастного развития энергетики мышц рук, насколько можно судить по результатам эргометрических исследова-

ний, в целом сходна с аналогичной динамикой для мышц ног. В то же время, как в динамике ростовых процессов, так и в темпах развития энергетических систем в мышцах рук имеется целый ряд особенностей. В препубертатный период (до 11 лет у мальчиков) мышцы рук по уровню своего морфофункционального развития превосходят мышцы ног; в период полового созревания происходят сложнейшие перестройки в энергетике мышц, а по его завершении мышцы ног оказываются более мощными и несколько более выносливыми.

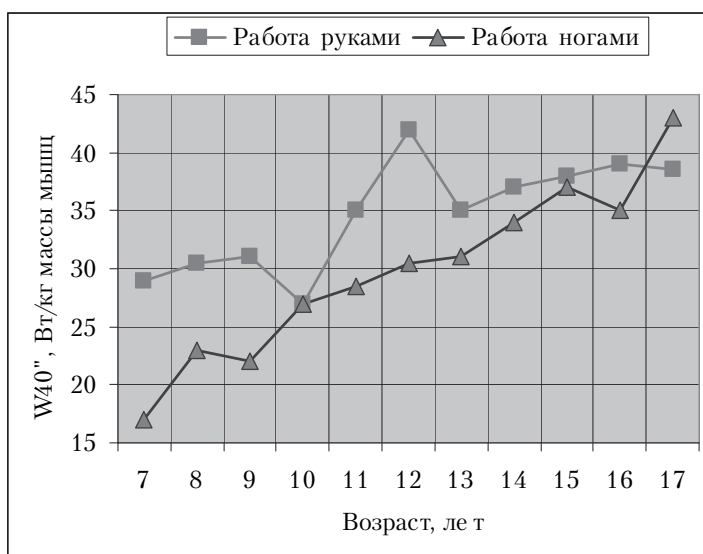


Рис. 6 Возрастная динамика мощности, удерживаемой в течение 40 секунд, у мальчиков школьного возраста при циклической работе руками и ногами

Поскольку работа в этой серии исследований производилась «до отказа», можно было ожидать, что ее трудоемкость проявится в динамике погашения пульсового долга. Полученные результаты приведены на рис.7 в виде возрастной динамики ИНПД в зонах большой и субмаксимальной мощности. До полового созревания при работе руками в обеих зонах мощности наблюдается меньшая величина ИНПД, а по его завершении величины ИНПД при работе руками и ногами выравниваются или даже становятся несколько ниже при работе ногами. Это означает, что физиологическая трудоемкость работы руками до полового созревания ниже, чем при работе ногами. Вероятно, это обусловлено большей степенью морфофункциональной зрелости мышц рук на этом возрастном этапе. При этом 5–10-кратная разница в величинах ИНПД в зонах большой и субмаксимальной мощности сохраняется на протяжении всего изученного периода онтогенеза как при работе руками, так и при работе ногами.

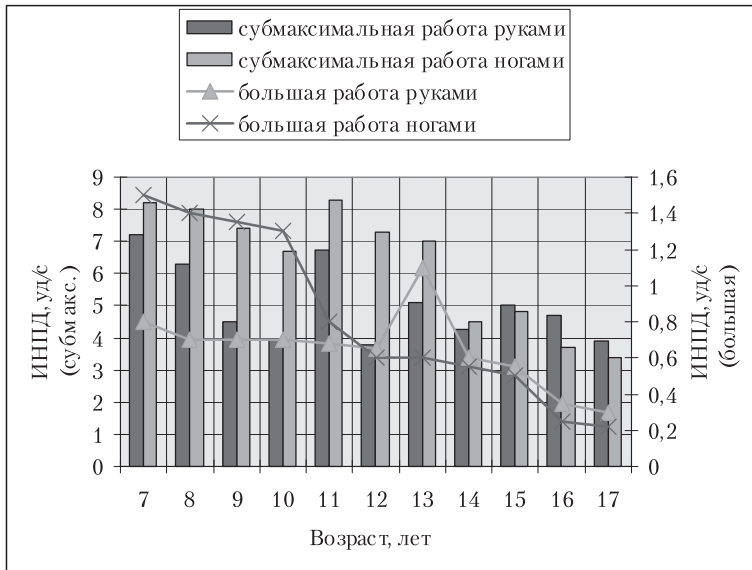


Рис. 7 Возрастные изменения ИИПД в зонах большой и субмаксимальной мощности при работе руками и ногами у мальчиков от 7 до 17 лет

Полученные в процессе эргометрических исследований результаты выявили серьезные качественные различия в динамике развития энергетики мышц верхних и нижних конечностей. Поэтому нам представлялось важным оценить энергетические возможности и вегетативные реакции организма при работе руками и ногами с помощью традиционных методов физиологического анализа. С этой целью были проведены серии исследований в тестах ступенчато повышающейся мощности с использованием газометрических методов, в которых участвовали дети 10–11 лет и юноши 16–17 лет. Выбор именно этих двух возрастных групп для исследования обусловлен тем, что в детском возрасте, судя по эргометрическим данным, отмечаются наибольшие различия в функциональных возможностях рук и ног, а к юношескому возрасту эти различия нивелируются.

Для сопоставления результатов, полученных в этих сериях экспериментов, нагрузку выражали в удельных (на 1 кг массы мышц) единицах. Это обеспечивает корректные условия сравнения результатов (табл.3).

Суммарный объем работы, выполненный в тесте ступенчато повышающейся мощности до «отказа», в возрасте 10 лет несколько выше (при расчете на 1 кг массы мышц), когда работают руки. В 16 лет, напротив, удельный объем работы выше при нагрузке на мышцы ног. Таким образом, удельная работоспособность мышц рук в период от 10 до 16 лет несколько снижается, а мышц ног – практически не меняется (выявленные сдвиги недостоверны).

Абсолютная величина критической мощности, при которой регистрируется МПК, в период от 10 до 16 лет увеличивается примерно в 2 раза как при работе

верхними, так и нижними конечностями. При этом удельная величина критической мощности практически одинакова для обеих групп мышц и почти не меняется с возрастом, составляя около 20 Вт/кг массы мышц. Такая константность удельной критической мощности может означать, что тканевые механизмы, обеспечивающие активность аэробного источника энергии, развиты примерно в равной степени в мышцах, принадлежащих к разным группам, и остаются практически неизменными в период от 10 до 16 лет. По-видимому, величина предельной аэробной мощности 20 Вт/кг массы мышц может считаться одной из важных биологических констант организма.

Таблица 3

Показатели аэробной и анаэробной производительности мальчиков 10–11 и 16–17 лет при работе верхними и нижними конечностями ($M \pm m$)

Показатели	Работа руками		Работа ногами	
	10–11 лет	16–17 лет	10–11 лет	16–17 лет
Работа абс., кДж	21,8± 0,95	43,7± 4,3	55,0±1,65	125,0±5,2
Работа/м.м., кДж/кг м.м.	9,1±0,4	7,80±0,25	8,10±0,31	8,75±0,37
W _{кр.абс.} , Вт	54,0±2,16	119,0±5,1	138,0±4,2	272,0±10,8
W _{кр./м.м.} , Вт/кг	22,5±0,7	21,5±3,6	20,3±0,7	19,01±0,77
МПК _{абс.} , мл/мин	986±58,7	2480±148	1196±52,8	3126 ±153
МПК/м.м., мл/мин.кг	448±29,7	447±53	191±13,3	218±36,3
МПК/W _{кр.} , усл.ед	18,3±0,97	20,8±1,1	8,67±0,32	11,5±0,39
PWC _{170/м.м.} , Вт/кг	18,8±1,60	20,5±2,65	12,5±0,84	18,35±0,94
АП/м.м., Вт/кг	18,1±0,55	9,7±0,56	10,0±0,40	8,0±0,52
АП по ЧСС, 1/мин	155,0±4,0	115 ±10,0	155,0±4,4	135,0±12,0
АП, % от W _{кр.}	80,4±6,9	45,0± 3,4	49,3±3,4	42,0±3,10
ОКД _{абс.} , мл	843±79	4274± 475	1160±108	3860±430
КПД, %	16,5±0,91	18,0±0,97	23,5±1,50	23,8±1,70
Энергозатраты, кДж/кг	55,1±4,12	39,9±3,10	35,4±2,64	37,0±2,96

Столь же выразительны и данные об удельной величине МПК. Для каждой из групп мышц этот показатель остается неизменным от 10 до 16 лет, однако разница между удельными величинами МПК при работе ногами и руками – более чем двукратная. Трудно предположить, что окислительная активность мышц рук в 2 раза выше, чем таковая мышц ног. Это не находит никакого подтверждения и в результатах гистохимических исследований (Тамбовцева, 2003). Остается предположить, что величина МПК зависит не столько от массы мышц, включенных в работу, сколько от степени участия других тканей в окислительном обмене в про-

цессе мышечной деятельности. Важно подчеркнуть, что абсолютная величина МПК при работе ногами достоверно выше, чем при работе руками.

Абсолютная величина PWC170 растет с возрастом как при работе руками, так и при работе ногами. Удельная величина показателя для мышц рук мало меняется с возрастом, поскольку уже в 10 лет она очень велика и, по-видимому, близка к максимуму возможной для мышц человека аэробной производительности. Удельная величина PWC170 мышц ног возрастает от 10 до 16 лет почти в 1,5 раза.

Удельная мощность нагрузки, при которой достигается анаэробный порог, для мышц рук в 10 лет в 1,8 раза выше, чем для мышц ног. Этот результат коррелирует с очень высокой величиной коэффициента «К» уравнения Мюллера при работе руками в 10-летнем возрасте. Судя по всем этим данным, в этот возрастной период аэробные возможности мышц рук хорошо развиты, тогда как анаэробные сравнительно невелики, о чем можно судить, например, по величине МАМ (рис. 5). К 16 годам мощность АП для рук снижается почти вдвое, приближаясь к аналогичному показателю для мышц ног.

Интересно, что пульсовые характеристики АП одинаковы или очень близки при работе руками и ногами. В возрасте 10 лет частота пульса на уровне АП составляет, в среднем, 155 уд/мин независимо от того, какая группа мышц работает. К 16 годам этот показатель снижается при работе руками до уровня 115 уд/мин, а при работе ногами – 135 уд/мин (различия статистически не достоверны), т.е. и в этом возрасте уровень нагрузки, приводящий к активации анаэробно-гликолитического механизма, может быть охарактеризован примерно одинаковой частотой пульса. Следует отметить, что анализ динамики ударного выброса сердца при работе руками и ногами, проведенный в наших совместных исследованиях с В.М.Король, позволил установить, что мощность анаэробного порога является верхней границей увеличения ударного выброса сердца, и в дальнейшем при возрастании интенсивности нагрузки этот показатель либо не растет, либо снижается. Не исключено, что именно ограничения со стороны сердца являются одной из причин активации анаэробного метаболизма в работающих мышцах конечностей [4].

Суммарные затраты энергии изменились с возрастом более или менее пропорционально объему выполненной работы. В итоге КПД работы от 10 до 16 лет не претерпел достоверных изменений и остался существенно выше при работе ногами. Этот факт подтверждает многочисленные указания, имеющиеся в литературе, о меньшей экономичности работы руками.

В чем причина низкой экономичности работы руками? По-видимому, при оценке расхода энергии мы какую-то ее часть все-таки недоучитываем. В настоящее время можно высказать лишь предположения по этому поводу. Вероятно, значительная часть неучтенной энергии расходуется на статическую работу, связанную с фиксацией рук на педалях эргометра. Известно, что число степеней свободы верхней конечности человека существенно выше, чем нижней, а всякое ограничение подвижности в сочленениях, т.е. искусственное ограничение степеней свободы, требует дополнительных затрат энергии [1]. Эта часть энергии не могла быть учтена нами, поскольку она не проявляется во внешней механической работе. Таким образом, необходимость выполнять примитивные движения рука-

ми, обладающими большим числом степеней свободы, вынуждает ограничивать число этих степеней, на что расходуется немалая часть потребляемой мышцами энергии. По-видимому, это характерно для любой сложно-координированной деятельности, связанной с ограничением числа степеней свободы звеньев тела [1]. Фактор статического компонента, ограничивающего число степеней свободы конечностей, должен учитываться при оценке энергозатрат и тяжести спортивной и, особенно, трудовой деятельности.

Расширение анаэробных возможностей с возрастом более выражено при работе руками, если судить о нем по величине кислородного долга, образовавшегося в ходе выполнения теста ступенчато повышающейся мощности до отказа. Величина ОКД при работе руками от 10 до 16 лет выросла примерно в 5 раз, тогда как при работе ногами – только в 3,3 раза. При этом, по абсолютной величине ОКД после работы руками и ногами практически одинаков (различия статистически не достоверны). Это может быть проиллюстрировано динамикой погашения кислородного долга после работы руками и ногами в тесте ступенчато нарастающей мощности до «отказа» у юношей 16 лет (рис. 8). Структура ОКД с возрастом меняется однонаправленно как при работе руками, так и ногами: в основном прирост объема ОКД обеспечен увеличением его медленной фракции, характеризующей емкость анаэробно-гликолитического источника энергии. Доля быстрой фракции при этом заметно снижается, особенно при работе руками.

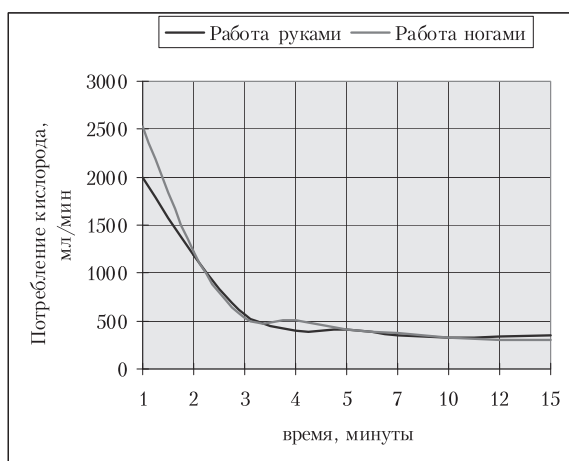


Рис. 8 Погашение кислородного долга после ступенчато возрастающей работы до «отказа» руками и ногами у мальчиков 16 лет

Анализ удельных величин кислородного долга вряд ли имеет строгий физиологический смысл, поскольку долг не может быть признан функцией собственно скелетной мускулатуры. Об этом говорит практическое равенство величин ОКД при работе верхними и нижними конечностями как у мальчиков 10, так и у юношей

16 лет. Ясно, что различающиеся как минимум в 2 раза по массе группы мышц, произведя примерно одинаковую по относительному объему работу, не могли в равной мере воздействовать на химический состав внутренней среды организма, с восстановлением которого обычно связывают кислородный долг [19, 20]. Следовательно, кислородная задолженность и ее погашение представляют собой, по-видимому, системный процесс на уровне целого организма, лишь в небольшой степени зависящий от массы скелетных мышц, непосредственно участвовавших в работе.

Эти результаты позволяют еще раз убедиться в том, что параметры мощности энергетических систем определяются, главным образом, состоянием тканевых механизмов, тогда как емкость суть явление организменное, зависящее в первую очередь от регуляторных возможностей систем, обеспечивающих поддержание гомеостаза на уровне клеток, тканей и целого организма. Если принять, что адекватными характеристиками работоспособности являются именно емкостные показатели, то из представленных данных следует принципиальный вывод: **работоспособность – это понятие, характеризующее возможности не отдельных мышечных групп, а организма в целом.**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зациорский В.М., Алешинский С.Ю., Якунин Н.А. Биомеханические основы выносливости. – М., 1982. – 207 с.
2. Корниенко И.А., Сонькин В.Д., Воробьев В.Ф. Эргометрическое тестирование работоспособности. // Моделирование и комплексное тестирование в оздоровительной физической культуре. – Сб. научных трудов / В.Д. Сонькин – ред. – М.: ВНИИФК, 1991. – с.68–86
3. 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
4. Король В.М., Сонькин В.Д. Мышечная работоспособность подростков 13–14 лет // Физиология человека. – 1983. – 9. – №6. – с.907–912
5. Маслова Г.М. Оценка состояния энергетического обмена по показателям экскреции креатинина и креатина // В сб.: Физическая культура индивида / Под ред. В.Д. Сонькина. – М., 1994. – С. 91–113.
6. Пузик В.И. Возрастная морфология скелетной мускулатуры человека. – М.: АПН СССР, 1961. – 121 с.
7. Селуянов В.Н., Чугунова Л.Г., Вершинскене Д. Геометрия масс тела детей // Факторы, лимитирующие повышение спортивной работоспособности у спортсменов высокой квалификации: Сборник научных трудов. – М., 1990. – С. 65–81.
8. Сонькин В.Д. Простейшая модель кислородного снабжения скелетных мышц мальчиков 9–10 лет // Новые исследования по возрастной физиологии – 1988. – №2 (31). – С.43–48.
9. Тамбовцева Р.В. Возрастные и типологические особенности энергетики мышечной деятельности: Автореф. Дисс.... Д.б.н. – М., 2002. – 48с.
10. Таннер Д. Рост и конституция человека // В кн.: Биология человека. – М., 1979. – С. 366–471.

11. Тхоревский В.И. и др. Зависимость реакций сердечно-сосудистой и дыхательной систем от размеров активных мышц при статической работе // Гигиена труда и проф. заболеваний.– 1986.– №4.– С.5–10.

12. Филимонов В.И., Владова Ю.Р. Динамика показателей физической работоспособности и потребление кислорода у юных спортсменов при работе верхними и нижними конечностями // Теор. и практ. физ. культ.– 1988.– №5.– С. 45–46.

13. Филимонов В.И., Медведев Г.Е., Попова А.Ф. и др. Физическая работоспособность и состояние центральной и регионарной гемодинамики у детей и подростков // Физиология человека. – 1986.–12.– №5.– С. 681–684.

14. Человек: медико-биологические данные: Доклад рабочей группы комитета 2 МКРЗ по условному человеку.– М.: Медицина. 1977.– 496 с.

15. Шмальгаузен И.И. Определение основных показателей в методике исследования роста // Рост животных.– М.–Л., 1935.– С.8–63.

16. Anson B.J. (Ed.) Morris' Human Anatomy. 12th ed. New York, McGraw-Hill Book Co, 1966

17. Boileau R.A., McKeown B.C., Riner W.F. Cardiovascular and metabolic contributions to the maximal aerobic power of the arms and legs // Intern. J. Sports Cardiol.– 1984.– 1.– No. 2. – P.67 –75.

18. Brodie D.A., Eston R. Energy cost of arm, leg and combined arm-leg ergometry in sitting position // J.Physiol. (Gr.Br.).– 1984.– 354.– P.74–79.

19. DeCoster A. Actual conception of oxygen debt // Frontiers of fitness / Ed.Shephard R.J.- Springfield, 1971.– P.174 –191.

20. Dill D.B., Sacktor B. Anaerobic sources of energy during muscular work (exercise and oxygen debt) // J.Sports Med. and Physical Fitness.– 1962.– 2.– P.66–72.

21. Kobryn U., Weise M., Hoffmann B. Herzkreislauf- and Atmungsparameter während lokaler dynamischer Muskelarbeit unterschiedlicher Betätigungsfrequenz im Bereich der Dauerleistungsgrenze // Zgesamte Hyg.und Crenzgeb.– 1985.– 31. – №4.– S.202 – 204.

22. Makarainen M. Physical working capacity at school age, in leg and arm exercise // Acta Univ.oulnen.– 1984.– D.–N 120.– P.64.

23. Shephard R.J., Bouhler E., Vandervalle H. et al. Muscle mass as a factor limiting physical work // J.Appl.Physiol.– 1988.– 64.– №4.– P.1472–1479.

24. Taguchi S., Horvath S.M. Metabolic responses to light arm and leg exercise when sitting // Eur.J.Appl.Physiol. and Occup.Physiol.– 1987.– 56.– №1.– P.53–57.