

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ДЕТСКО-ЮНОШЕСКОГО СПОРТА

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МЫШЦ ЮНЫХ СПОРТСМЕНОВ

**Т.А. ПОГОСЯН, И.А. РУБИНШТЕЙН,
М.М. ПОГОСЯН,
МГАФК, п.г.т. Малаховка,
Московская обл., Россия**

Аннотация

В статье представлена модификация методики А.В. Шишкиной для оценки композиционного состава мышечных волокон четырехглавой мышцы бедра юных спортсменов. Разработаны не только формулы по данным истощения алактатных источников энергообеспечения у детей и подростков, но и система оценивания полученных показателей. Результатом исследования стало внесение формул и интерпретаций результатов тестирования в разработанную компьютерную программу комплексного тестирования функциональной тренированности юных спортсменов «Чемпион».

Ключевые слова: композиционный состав мышечных волокон, юные спортсмены, спортивная ориентация, компьютерная программа тестирования функциональной тренированности «Чемпион».

THEORETICAL ASPECTS OF ASSESSING THE BIOENERGETIC CAPABILITIES OF THE MUSCLES OF YOUNG ATHLETES

**T.A. POGOSYAN, I.A. RUBINSHTEYN,
M.M. POGOSYAN,
MSAPE, pos. Malakhovka,
Moscow region, Russia**

Abstract

The article presents a modification of A.V. Shishkina to assess the composition of the muscle fibers of the quadriceps femoris in young athletes. Not only formulas have been developed according to the data on the exhaustion of alactic sources of energy supply in children and adolescents, but also a system for evaluating the obtained indicators. The result of the study was the introduction of formulas and interpretations of the test results into the developed computer program for the complex testing of the functional fitness of young athletes "Champion".

Keywords: compositional composition of muscle fibers, young athletes, sports orientation, computer testing program "Champion".

Введение

Становление механизмов энергообеспечения мышечной деятельности в ходе естественного онтогенетического развития и процессе тренировки юных спортсменов представляет собой сложный гетерохронный процесс, который приводит к поэтапным дифференцировочным процессам, направленным на созревание мышечных волокон I и II типов. Тренировочные нагрузки в детском

возрасте приходится на промежуточный этап созревания наиболее сложно устроенной в организме человека мышечной ткани и должны быть адекватны энергетическим возможностям юных спортсменов в условиях точного, информативного и своевременного контроля.

В то же время существующие прямые методы оценки композиции мышечных волокон в скелетных мышцах



человека, основанные на биопсии, редко применимы у взрослых спортсменов и совсем не используются у детей. Так как оценка состава мышечных волокон спортсменов имеет важнейшее прогностическое значение, но сама процедура биопсии весьма болезненна, учеными ведется поиск методов косвенной оценки композиции мышечных волокон. Одним из методов является определение механической мощности прыжков в течение 60 с [18]. Авторами показано, что величина мощности прыжков имеет тесную корреляцию с распределением мышечных волокон в мышцах-разгибателях бедра. Взаимосвязь между механической мощностью прыжков в первые 15 с работы имеет высокую корреляцию с быстро сокращающимися волокнами ($r = 0,86, p < 0,005$). На основе высказанных идей, автор А.В. Шишкина [13] разработала расчетную формулу для оценки композиции мышечных волокон в четырехглавой мышце бедра. Как отмечает автор, установлена высокая положительная корреляция ($r = 0,93$) между значениями рассчитанного показателя и результатами оценки медленно сокращающихся мышечных волокон взрослых спортсменов методом прямой биопсии с последующим гистохимическим исследованием ($p < 0,05$).

Цель исследования: модифицировать расчетные формулы и методику А.В. Шишкиной по определению содержания медленно сокращающихся мышечных волокон в четырехглавой мышце бедра для применения в компьютерной программе комплексного тестирования функциональной тренированности «Чемпион» с целью контроля и спортивной ориентации юных спортсменов.

Методы и организация исследования: использовался анализ научно-методической литературы и методика А.В. Шишкиной в модификации Т.А. Погосян для определения композиционного состава мышечных волокон непрямым способом.

**Возрастные изменения параметров
анаэробной производительности фосфагенной фракции
общего кислородного долга (ОКД) мальчиков школьного возраста [11],
соотнесенные с числом прыжков в методике А.В. Шишкиной [13]**

Показатель	Возраст (лет)					
	9–11	12–13	14	15	16	17
Бескислородная фракция ОКД (мл/кг)	23,9 ± 3,85	28,0 ± 1,3	28,3 ± 1,06	28,3 ± 1,11	38,2 ± 2,36	42,7 ± 2,32
% от взрослого уровня	55,97	65,57	66,27	66,27	89,46	100
Средняя длина прыжка от норматива взрослого уровня (%)	18	21	21	21	29	32
Диапазон прыжков, соответствующих истощению креатинфосфата	17–19	20–22	20–22	20–22	28–30	31–33

У детей фосфагенная фракция ОКД связана с изменением тканевого энергетического потенциала в результате дифференцировочных процессов, происходящих на протяжении периода полового созревания [2, 7, 8, 9].

Руководствуясь этой информацией, мы приняли показатели 17-летних детей за уровень взрослых (100%) и рассчитали, сколько процентов от уровня взрослого составляет бескислородная фракция ОКД у детей раз-

Результаты исследования и их обсуждение

При реализации косвенного метода оценки композиции мышечных волокон автор предлагает анализировать изменения высоты последовательно выполненных прыжков с места. С этой целью взрослые спортсмены должны совершить от 40 до 50 прыжков. Показатель содержания медленных волокон в четырехглавой мышце бедра рассчитывается по формуле [13]:

$$K = \frac{H_{30}(17)}{H_{\max}} \times 100\% ,$$

где:

H_{30} – среднее арифметическое значение высоты 31-го, 32-го, 33-го прыжков;

H_{\max} – среднее арифметическое высоты трех первых прыжков.

Метод А.В. Шишкиной основан на скорости истощения фосфагенного источника энергообеспечения после выполнения 30 прыжков (приблизительно 40 с), в результате чего предполагается падение высоты прыжков с течением времени одновременно с переходом на окислительные энергетические возможности медленных мышечных волокон.

Нам представляется, что предложенная формула справедлива для взрослых спортсменов и не может быть применима для детей из-за более низкой емкости фосфагенных источников энергообеспечения. Мы оптимизировали скоростно-силовую тестовую нагрузку юных спортсменов таким образом, чтобы они не попадали в зону анаэробного лактатного энергообеспечения мышечного сокращения. За основу для измерения анаэробных фосфагенных возможностей были взяты общепринятые в физиологии спорта показатели кислородного долга с выделением его «быстрой» или «алактатной» фракции, представленные в табл. 1 [11].

Таблица 1

ного возраста: у 10–11-летних – это 55,97%, а в 16 лет – 89,46%. Зная, на сколько процентов возрастают фосфагенные возможности детей с возрастом, было рассчитано нужное число прыжков для истощения алактатных источников энергообеспечения (табл. 1).

Так, для детей 9–11 лет следует в формуле учитывать высоту 17-го, 18-го и 19-го прыжков; для 12–15-летних: 20-го, 21-го и 22-го; для возраста 16 лет: 28-го, 29-го, 30-го



прыжков и, начиная с 17 лет, как для взрослых – 31-го, 32-го, 33-го прыжков соответственно.

Таким образом, для детей 9–11 лет формула будет иметь вид:

$$K = \frac{H_{10}}{H_{\max}} \times 100\% ,$$

где:

H_{10} – среднее арифметическое значение высоты 17-го, 18-го, 19-го прыжков;

H_{\max} – среднее арифметическое высоты трех первых прыжков.

Для детей 12–15 лет формула будет такая:

$$K = \frac{H_{20}(1)}{H_{\max}} \times 100\% ,$$

где:

$H_{20}(1)$ – среднее арифметическое значение высоты 20-го, 21-го, 22-го прыжков;

H_{\max} – среднее арифметическое высоты трех первых прыжков.

Для подростков 16 лет:

$$K = \frac{H_{20}(2)}{H_{\max}} \times 100\% ,$$

где:

$H_{20}(2)$ – среднее арифметическое значение высоты 28-го, 29-го, 30-го прыжков;

H_{\max} – среднее арифметическое высоты трех первых прыжков.

Поскольку предложенная методика входит в компьютерную программу комплексного тестирования функцио-

нальной тренированности «Чемпион» [4, 5], разработанную для спортивных школ в помощь тренеру-исследователю, мы исходили из доступности и в то же время точности измерительных приборов и приспособлений. При реализации методики тестирования высоту прыжка измеряли закрепленной в полу сантиметровой лентой с зажимом и протягивающим устройством.

По команде испытуемый из исходного положения «основная стойка» выполнял максимальный подскок вверх со взмахом рук. Результаты каждого прыжка заносились в программу «Чемпион», которая производила расчеты по разработанным формулам, строила графики скорости падения высоты прыжка в зависимости от его порядкового номера, осуществляла интерпретацию данных.

На рисунке 1 представлен фрагмент компьютерной программы «Чемпион».

В зависимости от возраста спортсмена программа определяет необходимое число прыжков. На рисунке видно, что для возраста 11 лет предложено выполнить 30 прыжков. А само тестирование показало, что у юного спортсмена медленно сокращающихся волокон I типа содержится 83,93%, быстро сокращающихся волокон II типа – 16,07%. Полученные данные соотносятся с исследованиями других авторов, которые отмечают, что относительное соотношение волокон I типа в латеральной мышце бедра у взрослых людей составляет около 50% с широким диапазоном варибельности (5–90%), что и объясняет различия индивидов в потенциале развития аэробных и анаэробных возможностей [10, 22, 24].

Тест 5. Определение композиционного состава мышечных волокон

Фамилия/Имя	Кандауров Максим	Дата обследования	29.03.2023
		Возраст	11 лет

ВНИМАНИЕ! ОКОНЧАТЕЛЬНО КОМПОЗИЦИЯ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН СФОРМИРУЕТСЯ К ВОЗРАСТУ 17-18 ЛЕТ

Выполните прыжки вверх со взмахом рук из полуприседа на максимальную высоту

Осталось прыжков	Высота прыжка (см)
30	30

Результат тестирования

Медленных мышечных волокон	83.93 %
Быстрых мышечных волокон	16.07 %

Нажмите на звездочку и посмотрите полный результат теста

Рис. 1. Фрагмент компьютерной программы комплексного тестирования функциональной тренированности спортсменов «Чемпион», раздел «Тестирование композиционного состава мышечных волокон»



Аналогичные исследования у детей показали, что к моменту рождения все дифференцированные мышечные волокна ребенка являются медленно сокращающимися и достигают своей окончательной зрелости только к возрасту 17–18 лет, проходя поэтапные дифференцировки на протяжении всего этого времени [2, 7, 8, 9, 11]. Обратим внимание, что возрасту испытуемого соответствует наивысшая концентрация цитохрома «а», которая регистрируется в скелетных мышцах мальчиков как раз в возрасте 9–11 лет [2]. Известно, что аэробная мощность скелетных мышц увеличивается до начала полового созревания, в дальнейшем стабилизируется и даже снижается. Это подтверждается и данными электронно-микроскопических исследований [9]: количество митохондрий по отношению к площади миофибрилл достигает максимума в препубертатный период. Примечательно, что и капиллярная сеть в мышцах конечностей оказывается наиболее развитой у детей 9–11 лет [8]. Это обстоятельство подтвердилось и нашим исследованием, что выразилось в высоком содержании медленно сокращающихся мышечных волокон в четырехглавой мышце бедра наблюдаемого нами спортсмена.

На формирование мышечных волокон оказывает влияние и специфика тренировочных воздействий. Так, у стайеров значительно выше содержание волокон I типа

в тренированных мышцах [12, 25, 28], а у спринтеров и тяжелоатлетов мышцы состоят преимущественно из волокон типа IIА/IIХ [16]. При этом показано, что суммарный вклад генотипа в определение состава мышечной ткани составляет 40–50%, а состав мышцы определяется не только генетическими, но и средовыми факторами [1, 6, 10, 14, 23].

Авторы подчеркивают, что наиболее распространенным является переход волокон из типа IIв в тип IIа и наоборот [26]. Существующие исследования доказывают, что физическая работа может привести к трансформации быстрых волокон в медленные [19, 20, 21, 27], а детренированность или денервация может приводить к смене медленных волокон на быстрые [17].

Анализ литературы показал, что мышечная композиция генетически детерминирована, однако под воздействием тренировок определенной направленности возможно изменение экспрессии генов и, соответственно, свойств мышечных волокон. При этом чем более подходящая генетически детерминированная композиция мышечных волокон, тем меньше усилий нужно потратить на перестройку волокон из одного типа в другой [3]. Все это требует осмысления и экспериментальных доказательств в исследованиях юных спортсменов, не достигших своей дефинитивной зрелости.

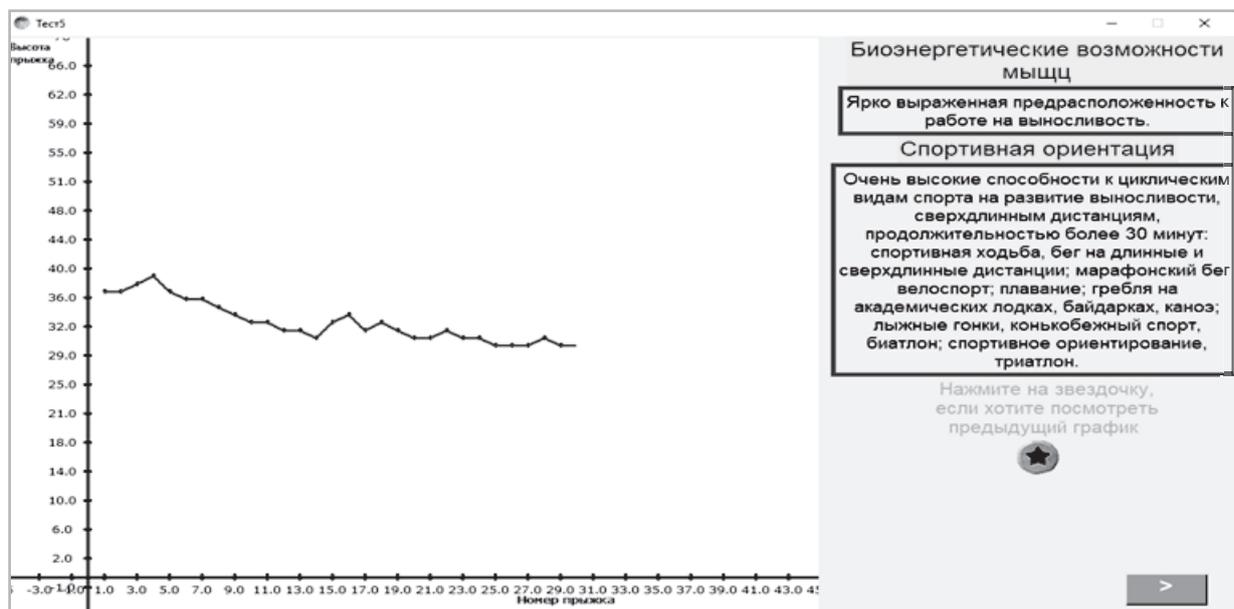


Рис. 2. Фрагмент компьютерной программы комплексного тестирования функциональной тренированности спортсменов «Чемпион», раздел «Тестирование композиционного состава мышечных волокон», результаты

Фрагмент разработанной нами программы комплексного тестирования функциональной тренированности «Чемпион» [4, 5], в которую вложены интерпретации полученных результатов тестирования, представлен на рис. 2.

Были составлены оценочные алгоритмы композиционного состава мышечных волокон юных спортсменов с оценкой биоэнергетических возможностей мышц спортсменов и ориентацией по виду спорта (табл. 2).



Таблица 2

**Биоэнергетические возможности скелетных мышц и спортивная ориентация
по данным содержания медленно сокращающихся мышечных волокон
в четырехглавой мышце бедра юных спортсменов**

Интервал показателей	Биоэнергетическая характеристика	Спортивная ориентация
1-й (0–10%)	Двигательная одаренность, предрасположенность к развитию быстроты	Прирожденный спринтер, способен к реализации взрывной, интенсивной работы в зоне максимальной мощности продолжительностью 20–25 с: бег на 200 м, плавание на 50 м, велогонка на 200 м с хода, метания, тяжелая атлетика, многоборье, конькобежный спорт (спринт), современное пятиборье, гимнастика, фигурное катание и др.
2-й (11–20%)	Ярко выраженная предрасположенность к развитию быстроты	Высочайшие способности к реализации взрывной, интенсивной работы в зоне максимальной мощности продолжительностью 20–25 с: бег на 200 м, плавание на 50 м, велогонка на 200 м с хода, метания, тяжелая атлетика, многоборье, конькобежный спорт (спринт), современное пятиборье, гимнастика, фигурное катание и др.
3-й (21–30%)	Выраженная предрасположенность к развитию скоростно-силовых способностей	Высокие способности к спринтерской работе, успешен в реализации взрывной, интенсивной работы в зоне максимальной мощности продолжительностью 20–25 с: бег на 200 м, плавание на 50 м, велогонка на 200 м с хода, метания, тяжелая атлетика, многоборье, конькобежный спорт (спринт), современное пятиборье, гимнастика, фигурное катание и др.
4-й (31–40%)	Предрасположенность к развитию скоростно-силовых способностей	Способности к преодолению дистанций субмаксимальной мощности продолжительностью от 25 с до 3–5 мин: бег на 400, 800, 1000, 1500 м; плавание на 100, 200, 400 м; бег на коньках на 500, 1500, 3000 м; велогонки на 300, 1000, 2000, 3000, 4000 м; лыжные гонки на 3, 5 км и др.
5-й (41–50%)	Предрасположенность к работе в зонах субмаксимальной и большой мощности к работе на скоростную или силовую выносливость	Способности к реализации работы в зоне субмаксимальной мощности продолжительностью от 25 с до 3–5 мин: бег на 400, 800, 1000, 1500 м; плавание на 100, 200, 400 м; бег на коньках на 500, 1500, 3000 м; велогонки на 300, 1000, 2000, 3000, 4000 м; лыжные гонки на 3, 5 км и др. Доступна работа в зоне большой мощности продолжительностью от 3–5 до 30 мин: бег на 2, 3, 5, 10 км; плавание на 800, 1500 м; бег на коньках на 5, 10 км; велогонки на 100 км и более; лыжные гонки на 10 км
6-й (51–60%)	Предрасположенность к работе в зонах большой и субмаксимальной мощности к работе на скоростную или силовую выносливость	Способности к реализации работы в зоне большой мощности продолжительностью от 3–5 до 30 мин: бег на 2, 3, 5, 10 км; плавание на 800, 1500 м; бег на коньках на 5, 10 км; велогонки на 100 км и более; лыжные гонки на 10 км. Доступна работа в зоне субмаксимальной мощности продолжительностью от 25 с до 3–5 мин: бег на 400, 800, 1000, 1500 м; плавание на 100, 200, 400 м; бег на коньках на 500, 1500, 300 м; велогонки на 300 м, 1, 2, 3, 4 км; лыжные гонки на 3, 5 км и др.
7-й (61–70%)	Предрасположенность к работе на выносливость	Способности к циклическим видам спорта умеренной зоны мощности продолжительностью более 30 мин и сверхдлинным дистанциям: спортивная ходьба; бег на длинные и сверхдлинные дистанции; марафонский бег; велоспорт; плавание; гребля на академических лодках, байдарках, каноэ; лыжные гонки; конькобежный спорт; биатлон; триатлон. Доступна работа в зоне большой мощности продолжительностью от 3–5 до 30 мин: бег на 2, 3, 5, 10 км; плавание на 800, 1500 м; бег на коньках на 5, 10 км; велогонки на 100 км и более, лыжные гонки на 10 км
8-й (71–80%)	Выраженная предрасположенность к работе на выносливость	Высокие способности к циклическим видам спорта на развитие выносливости в умеренной зоне мощности продолжительностью более 30 мин: спортивная ходьба; бег на длинные и сверхдлинные дистанции; марафонский бег; велоспорт; плавание; гребля на академических лодках, байдарках, каноэ; лыжные гонки; конькобежный спорт; биатлон; спортивное ориентирование, триатлон. Доступна работа в зоне большой мощности продолжительностью от 3–5 до 30 мин: бег на 2, 3, 5, 10 км; плавание на 800, 1500 м; бег на коньках на 5, 10 км; велогонки на 100 км и более, лыжные гонки на 10 км



Интервал показателей	Биоэнергетическая характеристика	Спортивная ориентация
9-й (81–90%)	Ярко выраженная предрасположенность к работе на выносливость	Очень высокие способности к циклическим видам спорта на развитие выносливости и сверхдлинным дистанциям продолжительностью более 30 мин: спортивная ходьба; бег на длинные и сверхдлинные дистанции; марафонский бег; велоспорт; плавание; гребля на академических лодках, байдарках, каноэ; лыжные гонки, конькобежный спорт, биатлон; спортивное ориентирование, триатлон
10-й (91–100%)	Двигательная одаренность, предрасположенность к работе на выносливость	Прирожденный стайер. Высочайшие способности к циклическим видам спорта на развитие выносливости и сверхдлинным дистанциям продолжительностью более 30 мин: спортивная ходьба; бег на длинные и сверхдлинные дистанции; марафонский бег; велоспорт; плавание; гребля на академических лодках, байдарках, каноэ; лыжные гонки, конькобежный спорт, биатлон; спортивное ориентирование, триатлон

Заключение

Руководствуясь разработанной шкалой оценки, мы выявили, что обследуемый юный спортсмен, имеющий 83,93% медленно сокращающихся мышечных волокон, относится к 9-му интервалу значений и имеет ярко выраженную предрасположенность к работе на выносливость. С одной стороны, это говорит о высоких окислительных возможностях мышечной системы возрастного характера, а с другой – определяет способности к аэробным нагрузкам в конкретный период времени. Изменится ли

это соотношение кардинально, покажет время и математико-статистический анализ данных, вложенный в программу «Чемпион».

Мы возлагаем большие надежды на предложенное тестирование, которое, предположительно, должно пролить свет на изменение возрастной динамики композиции мышечных волокон у спортсменов разного возраста и спортивной специализации в связи с взрослением и при воздействии на организм тренировочных нагрузок.

Литература

1. Борисов, А.В. Исследование вклада генетических факторов в вариабельность морфофункциональных характеристик мышечных волокон человека с помощью комбинации биоинформатических методов полногеномного ассоциативного анализа: автор. дис. канд. биол. наук / А.В. Борисов. – М., 2020. – 21 с.
2. Корниенко, И.А. Возрастные изменения энергетического обмена и терморегуляции / И.А. Корниенко. – М.: Наука, 1979. – 156 с.
3. Мякотных, В.В. О трансформации мышечных волокон в процессе спортивной тренировки / В.В. Мякотных // Вестник спортивной науки. – 2019. – № 2. – С. 14–20.
4. Погосян, Т.А. Инновационная методика комплексного мониторинга функциональной тренированности юных спортсменов с использованием компьютерных технологий / Т.А. Погосян, И.А. Рубинштейн, М.М. Погосян // Подготовка высококвалифицированных спортсменов-тяжелотлетов на современном этапе: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Малаховка, 22–23 декабря 2022 г. – Малаховка: Московская государственная академия физической культуры, 2022. – С. 91–96.
5. Погосян, Т.А. Инновационная программа комплексного мониторинга функциональной тренированности спортсменов «Чемпион» с использованием компьютерных технологий / Т.А. Погосян, И.А. Рубинштейн, М.М. Погосян // Наука и спорт: современные тенденции. – 2023. – Т. 11. – № 1. – С. 79–88.
6. Семенова, Е.А. Вариабельность структуры ДНК и состав мышечных волокон человека / Е.А. Семенова, С.А. Хабибова, О.В. Борисов // Физиология человека. – 2019. – Том 45. – № 2. – С. 128–136.
7. Сонькин, В.Д. Узловые периоды развития мышечных функций у детей и подростков / Методическое пособие для педагогов // В.Д. Сонькин, Р.В. Тамбовцева, Г.М. Маслова. – 2017. – 50 с.
8. Сонькин, В.Д. Возрастное развитие тканевых источников энергообеспечения мышечной функции / В.Д. Сонькин, Р.В. Тамбовцева, Г.М. Маслова // Вестник спортивной науки. – 2009. – № 6. – С. 32–38.
9. Тамбовцева, Р.В. Влияние различных типов мышечных волокон на спортивный результат у легкоатлетов и конькобежцев / Р.В. Тамбовцева // Человек, здоровье, физическая культура и спорт в изменяющемся мире: материалы XXVII международной научно-практической конференции по проблемам физического воспитания учащихся. – Коломна, 2017. – С. 102–105.
10. Трофимов, А.М. Факторы, обуславливающие влияние мышечной композиции на достижения в спорте / А.М. Трофимов, Е.В. Карташова, А.Ю. Кравцов // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2020. – № 3 (181). – С. 443–447.
11. Физиология развития ребенка: теоретические и прикладные аспекты / под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. – М.: Образование от «А до «Я», 2000. – С. 223.



12. Шенкман, Б.С. От медленных к быстрым. Гипогравитационная перестройка миозинового фенотипа мышечных волокон / Б.С. Шенкман // Acta Naturae. – 2016. – Том 8. – № 4 (31). – С. 52–65.
13. Шишкина, А.В. Биодинамическая оценка мышечной композиции / А.В. Шишкина // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2008. – № 11. – С. 108–111.
14. Янсен, П. ЧСС, лактат и тренировки на выносливость [пер. с англ.] / Петер Янсен. – Мурманск: Тулома, 2006. – 157 с.
15. Ahmetov, I.I. Gene polymorphisms and fiber-type composition of human skeletal muscle / I.I. Ahmetov, O.L. Vinogradova, A.G. Williams // Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. – 2012. – Vol. 22. – No. 4. – P. 292.
16. Andersen, J.L. Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of sprinters, influence of training / J.L. Andersen, H. Klitgaard, B. Saltin // Acta Physiol. Scand. – 1994. – Vol. 151. – P. 135.
17. Biering-Sorensen, B. Muscle after spinal cord injury / B. Biering-Sorensen, I.B. Kristensen, M. Kjaer // Muscle Nerve. – 2009. – Vol. 40. – P. 499.
18. Bosco, C. Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles / C. Bosco, P.V. Komi, J. Tihanyi et al. // Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. – 1983. – 51 (1). – Pp. 129–135.
19. Canepari, M. Effects of resistance training on myosin function studied by the in vitro motility assay in young and older men / M. Canepari, R. Rossi, M.A. Pellegrino et al. // J. Appl. Physiol. – 2005. – Vol. 98. – No. 6. – P. 2390.
20. Gollnick, P.D. Effect of exercise and training on mitochondria of rat skeletal muscle / P.D. Gollnick, D.W. King // The American journal of physiology. – 1969. – Vol. 216. – No. 6. – Pp. 1502–1509.
21. Pette, D. Training effects on the contractile apparatus / D. Pette // Acta Physiol. Scand. – 1998. – Vol. 162. – P. 367.
22. Saltin, B. Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance / B. Saltin, P.D. Gollnick // Comprehensive Physiology. Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 2011. – P. 555.
23. Simoneau, J-A., Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle / J-A. Simoneau, C. Bouchard // FASEB J. – 1995. – Vol. 9. – No. 11. – P. 1091.
24. Staron, R.S. Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women / R.S. Staron, F.C. Hagerman, R.S. Hikida et al. // J. Histochem. Cytochem. – 2000. – Vol. 48. – No. 5. – P. 623.
25. Walklet, J. Isoforms of myosin and cross-mechanochemical cycle / J. Walklet, Z. Ujfalusi // Journal of experimental biology. – 2016. – No. 219. – Pp. 168–174.
26. Wilson, G.J., Newton, R.U., Murphy, A.J., Humphries, B.J. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance / G.J. Wilson, R.U. Newton, A.J. Murphy // Med. Sci. Sports Exerc. – 1993. – Vol. 25. – No. 11. – P. 1279.
27. Yan, Z. Exercise training-induced regulation of mitochondrial quality / Z. Yan, V.A. Lira, N.P. Greene // Exercise and Sport Sciences Reviews. – 2012. – Vol. 40. – No. 3. – Pp. 159–164.
28. Zawadowska, B. Characteristics of myosin profile in human vastus lateralis muscle in relation to training background / B. Zawadowska, J. Majerczak, D. Semik et al. // Folia Histochem. Cytobiol. – 2004. – Vol. 42. – No. 3. – Pp. 181–190.

References

1. Borisov, A.V. (2020), *Study of the contribution of genetic factors to the variability of morphofunctional characteristics of human muscle fibers using a combination of bioinformatic methods of genome-wide association analysis*. Author. Diss. Ph.D. (Biology), Moscow, 21 p.
2. Kornienko, I.A. (1979), *Age-related changes in energy metabolism and thermoregulation*, Moscow: Nauka, 156 p.
3. Myakotnykh, V.V. (2019), On the transformation of muscle fibers during sports training, *Vestnik sportivnoy nauki*, no. 2, pp. 14–20.
4. Pogosyan, T.A., Rubinshteyn, I.A. and Pogosyan, M.M. (2022), Innovative method of complex monitoring of the functional fitness of young athletes using computer technology, In: *Training of elite weightlifters at the present stage: materials II All-Russian scientific and practical conference with international participation. Malakhovka, December 22–23, 2022*, Malakhovka: Moscow State Academy of Physical Culture, pp. 91–96.
5. Pogosyan, T.A., Rubinshteyn, I.A. and Pogosyan, M.M. (2023), Innovative program for complex monitoring of the functional fitness of athletes “Champion” using computer technology, *Nauka i sport: sovremennye tendencii*, vol. 11, no. 1, pp. 79–88.
6. Semenova, E.A., Khabibova, S.A. and Borisov, O.V. (2019), DNA structure variability and composition of human muscle fibers, *Fiziologiya cheloveka*, vol. 45, no. 2, pp. 128–136.
7. Sonkin, V.D., Tambovtseva, R.V. and Maslova, G.M. (2017), *Nodal periods of development of muscle functions in children and adolescents: Methodological guide for teachers*, 50 p.
8. Sonkin, V.D. Tambovtseva, R.V. and Maslova, G.M. (2009), Age-related development of tissue sources of energy supply for muscle function, *Vestnik sportivnoy nauki*, no. 6, pp. 32–38.
9. Tambovtseva, R.V. (2017), Influence of different types of muscle fibers on sports results in athletes and skaters, In: *Man, health, physical culture and sport in a changing world: materials of the XXVII international scientific and practical conference on the problems of physical education of students*, Kolomna, pp. 102–105.
10. Trofimov, A.M. Kartashova, E.V. and Kravtsov, A.Yu. (2020), Factors that determine the influence of muscle composition on achievements in sports, *Uchyonye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, no. 3 (181), pp. 443–447.



11. Bezrukikh, M.M. and Farber, D.A. (Eds.) (2000), *Physiology of child development: theoretical and applied aspects*, Moscow: Obrazovanie ot A to Z, p. 223.
12. Shenkman, B.S. (2016), From slow to fast. Hypogravitational rearrangement of the myosin phenotype of muscle fibers, *Acta Naturae*, vol. 8, no. 4 (31), pp. 52–65.
13. Shishkina, A.V. (2008), Biodynamic assessment of muscle composition, *Uchyonye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, no. 11, pp. 108–111.
14. Jansen, P. (2006), *Heart rate, lactate and endurance training*, Murmansk: Tuloma, 157 p.
15. Ahmetov, I.I., Vinogradova, O.L. and Williams, A.G. (2012), Gene polymorphisms and fiber-type composition of human skeletal muscle, *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, vol. 22, no. 4, p. 292.
16. Andersen, J.L., Klitgaard, H. and Saltin, B. (1994), Myosin heavy chain isoforms in single fibers from m. vastus lateralis of sprinters, influence of training, *Acta Physiol. Scand.*, vol. 151, p. 135.
17. Biering-Sorensen, B., Kristensen, I.B. and Kjaer, M. (2009), Muscle after spinal cord injury, *Muscle Nerve*, vol. 40, p. 499.
18. Bosco, C., Komi, P.V., Tihanyi, J. et al. (1983), Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, vol. 51 (1), pp.129–135.
19. Canepari, M., Rossi, R., Pellegrino, M.A. et al. (2005), Effects of resistance training on myosin function studied by the in vitro motility assay in young and older men, *J. Appl. Physiol.*, vol. 98, no. 6, p. 2390.
20. Gollnick, P.D. and King, D.W. (1969), Effect of exercise and training on mitochondria of rat skeletal muscle, *The American journal of physiology*, vol. 216, no. 6, pp. 1502–1509.
21. Pette, D. (1998), Training effects on the contractile apparatus, *Acta Physiol. Scand.*, vol. 162, p. 367.
22. Saltin, B. and Gollnick, P.D. (2011), Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance, In: *Comprehensive Physiology*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins, p. 555.
23. Simoneau, J-A. and Bouchard, C. (1995), Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle, *FASEB J.*, vol. 9, no. 11, p. 1091.
24. Staron, R.S., Hagerman, F.C., Hikida, R.S., et al. (2000), Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women, *J. Histochem. Cytochem.*, vol. 48, no. 5, p. 623.
25. Walklet, J. and Ujfalusi, Z. (2016), Isoforms of myosin and cross-mechanochemical cycle, *Journal of experimental biology*, no. 219, pp. 168–174.
26. Wilson, G.J., Newton, R.U., Murphy, A.J. and Humphries, B.J. (1993), The optimal training load for the development of dynamic athletic performance, *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol. 25, no. 11, p. 1279.
27. Yan, Z., Lira, V.A. and Greene, N.P. (2012), Exercise training-induced regulation of mitochondrial quality, *Exercise and Sport Sciences Reviews*, vol. 40, no. 3, pp. 159–164.
28. Zawadowska, B., Majerczak, J., Semik, D., et al. (2004), Characteristics of myosin profile in human vastus lateralis muscle in relation to training background, *Folia Histochem. Cytobiol.*, vol. 42, no. 3, pp. 181–190.

