**Современный взгляд на проблему морфобиомеханических состояний мышц в зависимости от их силовой динамики**

Доктор медицинских наук, профессор Р.Н. Дорохов Доктор педагогических наук, профессор В.П. Губа Смоленский государственный институт физической культуры, Смоленск

Структуре, архитектонике и функции скелетных мышц посвящено множество работ физиологов, микро- и макроморфологов, биомехаников и педагогов. Каждый год появляются новые исследования, которые опровергают заключение Alan J. Me Comas [8]: "Изучение мышечной структуры практически завершено". Действительно, работы Хью Хакели при помощи электронной микроскопии исследования Эндрю Хакели с помощью интерференционной микроскопии раскрыли механизм сокращения толстой мышечной миофибриллы, положив начало теории скольжения нитей актина и миозина относительно друг друга [9, 10]. Была экспериментально построена модель сокращения саркомера, описана динамика изменения его длины. Показано, что сила зависит от количества задействованных актино-миозиновых мостиков, а следовательно, от сближения z-линий.

Однако тренера интересовали не только микроструктурные внутримышечные преобразования, но и проявление силы в зависимости от возраста, распределения и характера мышечных образований. Раскрыты факторы, влияющие на проявление силы мышц (группы синергистов), скоростные качества и т.д. В работах В.В. Язвикова [7] представлены микробиохимические различия строения мышечных волокон у элитных спортсменов, демонстрирующих выдающиеся результаты на спринтерских и марафонских дистанциях. Показана зависимость между скоростью, укорочением, нагрузкой и мощностью мышц.

Эти процессы сокращения поперечно-полосатых мышц начинаются еще в эмбриональном периоде и нарастают в фетальном. В послеродовом периоде сокращения мышц - один из главнейших факторов, стимулирующий рост и развитие органов и систем организма, - "правило скелетной мускулатуры", сформулированное И.А. Аршавским [1].

Рост мышц в длину, увеличение числа саркомеров стимулируется гормоном роста и ростом костей и имеет периоды интенсивного и замедленного роста [11]. Прирост мышечной массы не совпадает с периодом прироста их силы. Сила мышц достигает максимума через год-полтора, что подтверждает фактор волнообразности прироста силы [2]. В связи с этим представляет интерес изучение динамики силы мышц на всей амплитуде движения суставов биокинематических звеньев и пар с учетом варианта биологического развития и соматических особенностей на отрезках онтогенеза: пуэрильном, препубертатном, пубертатном, ювенильном и матурантном.

Материал и методы исследования. Анализируемый материал - фрагмент 13-летних лонгитудинальных исследований детей г. Смоленска (с 7 до 20 лет). Обследования велись с использованием метрического метода соматодиагностики и оценки биологического варианта развития: дети общеобразовательных школ, ДЮСШОР по методу Р.Н. Дорохова, В.Г. Петрухина [5]. Дополнительно проводилась тензодинамография 13 групп мышц. Сила мышц измерялась через 10° в крупных суставах и через 5° - в мелких. Использовалась ступенчатая динамография, разработанная Р.Н. Дороховьм, Ю.Д. Кузьменко [4]. При соматодиагностике выделялось пять основных соматических типов по непрерывной линии варьирования от нано- до мегалосомии. Весь цифровой материал обрабатывался с использованием разработанных компьютерных программ "Прогноз" и "Сила" [6].

Таблица 1. Динамика силы мышц, ВР "В" лиц мужского пола 15 лет

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сгибание бедра | | | | | | | | | | | | | | |
| Угол, ° | 330 | 340 | 350 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| М, кг | 71,3 | 72,7 | 63,8 | 52,7 | 47,6 | 44,3 | 36,5 | 32,4 | 27,8 | 24,2 | 22,1 | 17,7 | 14,1 | 4,3 |
| КВ, % | 18,8 | 27,0 | 17,7 | 21,3 | 17,6 | 13,8 | 13,0 | 19,0 | 25,5 | 27,1 | 22,7 | 24,7 | 37,8 | 39,5 |
| % max | 98 | 100 | 87 | 72,5 | 63,8 | 60,7 | 50,3 | 44,5 | 38,2 | 33,2 | 30,2 | 24,3 | 20,2 | 5,3 |
| Разгибание бедра | | | | | | | | | | | | | | |
| М, кг | 13,5 | 22,3 | 28,3 | 35,0 | 43,7 | 45,9 | 56,9 | 63,4 | 68,7 | 83,2 | 84,8 | 88,3 | 96,3 | 71,2 |
| КВ, % | 33,8 | 39,0 | 23,3 | 13,1 | 12,5 | 11,8 | 15,0 | 16,0 | 15 | 17 | 18 | 20 | 15 | 18 |
| % max | 13,5 | 23 | 29 | 36,4 | 44,7 | 47,8 | 58,4 | 65,6 | 70,8 | 86,4 | 87,3 | 91,0 | 10,0 | 73,9 |
| Отношение силы сгибателей к силе разгибателей бедра, % | | | | | | | | | | | | | | |
| % | 327 | 225 | 148 | 107 | 96,5 | 64,2 | 50,7 | 39,7 | 28,9 | 26,1 | 19,3 | 14,5 | 16,0 | 5,6 |
| Сгибание голеностопного сустава | | | | | | | | | | | | | | |
| Угол, ° | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| М, кг | 30,2 | 29,5 | 27,0 | 24,1 | 21,7 | 19,1 | 16,1 | 14,2 | 11,1 | 7,8 | 4,2 | 3,3 | - | - |
| КВ, % | 27 | 19 | 20 | 17 | 14 | 18 | 22 | 16 | 23 | 37 | 60 | 54 | - | - |
| % max | 100 | 96 | 90 | 80 | 70 | 70 | 63 | 53 | 46 | 36 | 26 | 14 | - | - |
| Разгибание голеностопного сустава | | | | | | | | | | | | | | |
| М, кг | 22,9 | 30,7 | 34,3 | 36,1 | 41,7 | 46,2 | 50,9 | 47,8 | 44,7 | 42,0 | 39,8 | 37,2 | 40,1 | - |
| КВ, % | 44 | 36 | 22 | 28 | 19 | 23 | 20 | 24 | 22 | 20 | 27 | 19 | 20 | - |
| % max | 78 | 74 | 58 | 70 | 80 | 90 | 100 | 92 | 86 | 85 | 82 | 72 | 78 | - |
| Отношение силы сгибателей к силе разгибателей голени, % | | | | | | | | | | | | | | |
| % | 136 | 96 | 79 | 66 | 51 | 45 | 38 | 37 | 31 | 26 | 33 | 10 | - | - |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сгибание позвоночника | | | | | | | | | | | |
| Угол, ° | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| М, кг | 16 | 21 | 37 | 45 | 50 | 50 | 48 | 40 | 25 | 15 | 7 |
| КВ, % | 25 | 29 | 24 | 25 | 18 | 14 | 24 | 31 | 35 | 27 | 24 |
| % max | 32 | 42 | 74 | 80 | 100 | 100 | 96 | 80 | 50 | 30 | 14 |
| Разгибание позвоночника | | | | | | | | | | | |
| М, кг | 9 | 30 | 47 | 61 | 63 | 66 | 68 | 82 | 93 | 107 | 74 |
| КВ, % | 32 | 27 | 29 | 31 | 25 | 21 | 20 | 27 | 27 | 35 | 17 |
| % max | 8 | 28 | 43 | 57 | 58 | 61 | 63 | 76 | 86 | 100 | 69 |
| Отношение силы сгибателей к силе разгибателей позвоночника, % | | | | | | | | | | | |
| % | 177 | 70 | 78 | 73 | 79 | 75 | 70 | 48 | 26 | 14 | 9 |

Результаты и их обсуждение. "Морфобиомеханическое состояние мышц" - расширенное понятие, включающее не только растяжение группы мышц при изменении суставного угла между кинематическими звеньями, но и изменение угла приложения силы этих мышц к передвигаемому звену. Несомненно, учитывается изменение состояния периферических рецепторов, т.е. датчиков длины мышцы - нервно-мышечных веретен. В спортивных движениях основной управляющей системой является не простой рефлекс на растяжение, замыкающийся через спинной мозг, а более сложная следящая система - система управления.

Измерение силы мышц на всей амплитуде движения (сустава) при изометрическом напряжении для чистоты педагогического эксперимента выполнялось со строгим соблюдением определенных правил:

1. Оптимальное время для измерения силы мышц исходя из исследований специалистов хрономедицины - 17-19 ч.

2. Предварительная разминка с использованием стретчинговых и скоростно-силовых упражнений -- 5-7 мин.

3. Измерения проводить через 5-7 мин после разминки.

4. Положение испытуемого вертикальное, с фиксацией нерабочих суставов с помощью динамометрического стенда "Школьник".

5. Плечо приложения силы к регистрирующей части динамометра должно быть постоянным (сообразуясь с длиной измеряемого звена).

6. Угол между динамометром и осью измеряемого звена, к которому приложена сила, должен быть прямым!

7. Условия при измерении силы должны быть комфортными.

8. Измерения целесообразно проводить в виде соревнований.

9. Все расчеты осуществлять с учетом соматического типа и варианта биологического развития.

10. Исследователям силы мышц обязательно нужно указывать позу измеряемого, фиксацию звеньев тела и осевого скелета. "Свободное" измерение силы без соблюдения указанных правил приводит к получению несопоставимых и курьезных данных. "Свободное" измерение силы приводит к подключению добавочных мышц кинематической цепи и переносу массы тела (или звена) на динамометр. Отклонение тела (или звена) на 50 существенно меняет показатели силы. Точность проявленной силы при "рабочей позе" и скорости ее нарастания имеет принципиальное значение при анализе техники движения спортсменов различной подготовленности [3].

Измерения силы были выполнены с соблюдением всех рекомендаций. В эксперименте участвовали 948 детей и подростков. В качестве примера приведем результаты измерения силы у детей пубертатного возраста мезосоматического типа (0,53-0,545 усл. ед.) и обычного варианта биологического развития (табл.1).

Таблица 2. Показатели изменчивости силы изучаемых суставов (кгс, %)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | max  F | min  F | F | max  KB | min  KB | KB | max | min | V | KB  max  F | KB  min  F | KB | M  измен  F |
| Сустав | Сгибание в суставах | | | | | | | | | | | | |
| Тазобедренный | 72,7 | 4,3 | 68,4 | 40 | 13 | 27 | 19,4 | 1,6 | 17,8 | 27 | 39 | 12 | 48 |
| Коленный | 30,2 | 3,0 | 27,2 | 60 | 14 | 46 | 8,1 | 1,7 | 6,4 | 27 | 60 | 33 | 2,2 |
| Голеностопный | 44 | 5,0 | 39 | 32 | 28 | 4 | 14 | 1,4 | 12,6 | 32 | 18 | 14 | 4,8 |
| Позвон.: поясн. отдел | 50 | 7 | 43 | 35 | 14 | 21 | 9,0 | 1,7 | 7,3 | 14 | 24 | 10 | 3,9 |
| Сустав | Разгибание в суставах | | | | | | | | | | | | |
| Тазобедренный | 96,3 | 13,5 | 49,8 | 39 | 11 | 28 | 14,4 | 1,4 | 13,0 | 39 | 11 | 28 | 5,7 |
| Коленный | 50,9 | 22,9 | 28 | 20 | 22 | -2 | 10 | 2,5 | 7,5 | 44 | 19 | 25 | 15,3 |
| Голеностопный | 37 | 3,5 | 33,5 | 32 | 18 | 14 | 14,6 | 1,2 | 13,4 | 31 | 12 | 19 | 25 |
| Позвон.: поясн. отдел | 10,7 | 9 | 98 | 35 | 32 | 3 | 37 | 2,8 | 34,2 | - | - | - | - |

Обозначение: F - сила мышц (кГс)

Цифровой материал иллюстрирует внутригрупповую изменчивость силы мышц в зависимости от изменения суставного угла, состояние мышц и соотношение силы сгибателей и разгибателей. Неясны причины неравномерного изменения силы мышц при равномерном изменении суставного угла в шаровидном (тазобедренном) суставе. Ряд авторов предлагают воспользоваться анализом динамики статистических характеристик. Для косвенного решения этой задачи Дж. Юна и М. Канделла (1973) анализируют динамику изменения среднего квадратичного отклонения. Ю.С. Куршакова (1965) предлагает анализировать изменение коэффициента вариации.

Анализ динамики квадратичного отклонения не решил проблемы, интересующей тренеров. В табл. 2 приведены зоны вариации основных статистических показателей.

Разность силы мышц в их крайних состояниях при сгибании тазобедренного сустава достигает 68,4 кГс, а при разгибании - 49,8 кГс (см. табл. 2). Наиболее выраженное различие в силе характерно для поясничного отдела позвоночного столба - 43 и 98 кГс соответственно. Коэффициент вариации (КВ) силы, действующей на изученные суставы в зависимости от изменения суставных углов, изменяется в широких пределах. По его значениям можно судить только о подготовленности мышц работать в определенных углах, что создается длительной тренировкой при выполнении ими "рабочего движения" или привычной бытовой работой у лиц, не занимающихся спортом.

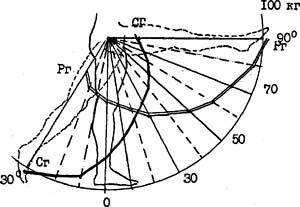


Рис. 1. Углы и сила мышц - сгибателей и разгибателей бедра

Таблица 3. Углы звеньев тела максимальных, минимальных и средних значений силы мышц

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Звенья тела | Суставы | Углы максимальных значений СМ | Углы минимальных значений СМ | Углы совпадения СМ сгибателей и разгибателей |
| Туловище-бедро | Тазобедренный | Сг 330 - 340°  Рг 90-80° | 75 - 90°  330 - 340° | 10-20° |
| Бедро-голень | Коленный | Сг 5-15°  Рг 60-80° | 100-110°  10-20° | 20 - 30° |
| Голень-стопа | Голеностопный | Сг 60 - 65°  Рг 95-103° | 125-130°  60-65° | 80 - 85° |
| Плечо-предплечье | Локтевой | Сг 85 - 95°  Рг 80 - 85° | 90-105°  15-0° | 80 - 90° |
| Предплечье-кисть | Лучезапястный | Сг 10 - 20°  Рг 70 - 60° | 75 - 80°  10-0° | 30 - 40° |
| Таз-туловище | Межпозвоночные | Сг 40 - 50°  Рг 100-80° | 100,0-10°  0-10° | 5-15° |

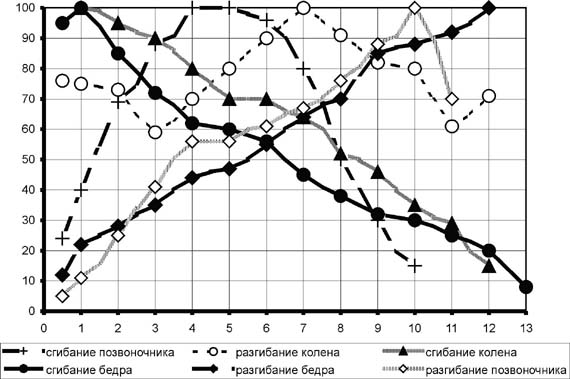


Рис. 2. Изменение силы мышц в процентах от максимальной силы, показанной при изменении суставного угла на 10°

Наименьшие значения КВ (17%) отмечены при минимальном проявлении силы, т.е. при укороченном состоянии мышцы, а при проявлении максимальной силы значения КВ достигают 42% ( у того же испытуемого) (рис. 1).

Сила мышц, действующая на голеностопный сустав, характеризуется наименьшими значениями статистических характеристик, что объясняется постоянной нагруженностью мышц этого сустава при ходьбе и беге, а также биомеханической особенностью сустава.

Наибольшую информацию о подготовленности мышц к работе несет "индекс прироста силы мышц", который корреляционно связан с "рабочими углами" выполнения основного движения в конкретном виде спорта.

Обобщенные данные проявления силы мышц у подростков 15-18 лет, специально не тренирующихся, позволили построить таблицу основных показателей силы мышц (табл. 3). Пользуясь этой таблицей, преподаватель физической культуры может оценивать подготовленность школьников в силовом плане, измерив стандартным динамометром силу в углах ее максимального проявления и сравнив с результатами табл. 1.

Адаптационные и силовые возможности школьников имеют высокие корреляционные связи с соматическими характеристиками компонентного варьирования. Наиболее низкие показатели абсолютной силы мышц у лиц микросоматического типа. Однако по относительной силе (к массе тела и мышечной массе) у этих же детей имеются достоверно более высокие показатели (Р<0,01), чем у лиц макро- и мегалосомного типов.

Приросты силы в углах ее должного максимального проявления наиболее низки у детей ВР "С" по сравнению с хронологическими сверстниками в 7-8 лет. В 13-14 лет различия у этих же детей снижаются. Дети ВР "А" вступают в период пубертатного развития, который характеризуется снижением коэффициента интенсивности прироста мышечной массы и увеличением длиннотных размеров тела. В 17-18 лет вновь восстанавливаются различия в силовых показателях, характерные для 7-8-летних детей. Причина, по всей вероятности, кроется в социальной переориентации подростков. У лиц, опережающих сверстников в развитии, наблюдается снижение интереса к занятиям, развивающим силу. У лиц ВР "С" этот интерес возрастает - они не хотят отставать от своих более зрелых сверстников, хотят быть конкурентными на дискотеках, быть замеченными сверстниками противоположного пола.

Секции по бодибилдингу, восточным единоборствам пополняются за счет детей 16-18 лет ВР "С" в пределах от 28 до 43 %. Однако программ по предварительной подготовке и началу тренировок этого контингента нет. Для изменения этой ситуации необходимы предварительная работа по развитию потребностей в здоровом образе жизни на базе повышения квалификации специалистов, работающих в области охраны детей и подростков, и новые морфобиомеханические исследования по силовой подготовке.

**Список литературы**

1. Аршавский И.А. Физиологические механизмы индивидуального развития// Основы мегонтронной теории онтогенеза. -М.: Наука. - 1982. - 270с.

2. Дорохов А.Р. Развитие силовых качеств девочек 7-12 лет различных соматических типов и вариантов развития. Канд. дис., 1993. - 143 с.

3. Дорохов Р.Н., Ермаков В.В. Измерение силы мышц у лыжников в лабораторных и естественных условиях// Адаптация, макро- и микроскопическая анатомия. Душанбе, 1981, с. 104-107.

4. Дорохов Р.Н., Кузьменко Ю.Д. Ступенчатая динамография // Телосложение спортсмена. Смоленск. 1976, с. 55-67.

5. Дорохов Р.Н., Петрухин В.Г. Метрический метод соматодиагностики // Сб. научных трудов: СГИФК, 1976, с. 43-56

6. Левченков В.А., Дорохов Р.Н. Компьютерные программы оценки соматического типа и варианта развития // Новости спортивной и медицинской антропометрии. М., 1993, № 3, с. 86-87.

7. Язвиков В.В. Состав мышечных волокон смешанных скелетных мышц как фактор конституции человека// Новости спортивной медицины и медицинской антропологии. -М. - 1990, №1, с. 113-115.

8. Alan J. Me Comas. Skeletal Muscle. Form and Function. - 1998. - 406 p.

9. Huxley A.F. Structural changes in muscle during contraction. Intenference mieroscopy of living muscle fibres. - Nature, 173, 971-973.

10. Hanson Bag. CM Saxitoxin building to sodium channels of rat skeletal museles. - Iornal of Physiology, 300, 89-103. - 1980.

11. Williams P.E. Ioldspink Zong: fudinal growth of striatated muscle fibers. - Jornal of Cele Science, 9, 751-767. - 1971.