

10.25  
392

ЛЕНИНГРАДСКИЙ  
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ им. П. Ф. ЛЕСГАФТА

---

На правах рукописи

ИЗРАЭЛЬ ПАЧЕКО ГАРСИЯ

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫЗВАННЫХ  
И ПРОИЗВОЛЬНЫХ СОКРАЩЕНИЙ  
МЫШЦ КОНЕЧНОСТЕЙ У СПОРТСМЕНОВ

(03.00.13 — Физиология человека и животных)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

ЛЕНИНГРАД  
1978

Работа выполнена на кафедре физиологии (зав. кафедрой доктор биологических наук, профессор *А. С. Мозжухин*) и в проблемной лаборатории (зав. кандидат медицинских наук *Ю. В. Высочин*) Государственного ордена Ленина и ордена Красного Знамени института физической культуры (ректор — и. о. профессора *В. У. Агеев*).

Научные руководители:

доктор медицинских наук, профессор *Н. В. Зимкин*,  
доктор биологических наук, профессор *А. С. Мозжухин*

Официальные оппоненты:

доктор медицинских наук, профессор *Ю. И. Данько*,  
кандидат биологических наук, доцент *И. М. Козлов*

Ведущее научное учреждение — Ленинградский научно-исследовательский институт физической культуры.

Защита диссертации состоится « *7* » *декабря* 1978 г.  
в *19<sup>00</sup>* часов на заседании ученого Совета ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта (Ленинград, ул. Декабристов, 35).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан « *07* » *ноября* 1978 г.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу: Ленинград, Ф-121, ул. Декабристов, 35, ГДОИФК им. П. Ф. Лесгафта.

Ученый секретарь Совета — доцент *Г. И. Черняев*.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** При мышечной деятельности, в частности при выполнении физических упражнений, в нервно-мышечном двигательном аппарате могут происходить значительные изменения функциональных свойств. Эти изменения могут иметь различную направленность, связанную, в одних случаях, с улучшением (в результате возникновения явлений экзальтации), в других — с ухудшением их (при наступлении утомления).

Большой интерес представляет вопрос о структурах, в которых первично возникают процессы, вызывающие изменение работоспособности.

Выяснение этого вопроса имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение. Зная эту локализацию, можно целенаправленно воздействовать на соответствующие системы организма и тем самым, с одной стороны, предупредить возможность возникновения утомления или снизить его выраженность, с другой же — ускорить процессы восстановления.

Анализ механизмов развития утомления с локализацией первичных очагов его возникновения проводился преимущественно на животных. Между тем для физиологии труда и спорта весьма важно явления утомления анализировать при мышечной деятельности самого человека. Это имеет большое значение, так как и производственная мышечная работа и выполнение физических упражнений в спорте при наличии у человека сознательной речевой регуляции характеризуется многими такими особенностями, которые невозможно изучать на животных. В связи с этим тема диссертации «Физиологические характеристики вызванных и произвольных сокращений мышц конечностей у спортсменов» и вопросы, изучавшиеся в ней, несомненно являются весьма актуальными.

**Цель работы и задачи исследования.** Основная цель работы заключалась в выявлении: 1) роли центральной нервной системы и самих мышц в первичных положительных

АКАДЕМИИ НАУК СССР

(эксальтация) и отрицательных (утомление) изменениях амплитудных и временных параметров сократительной деятельности мышц при некоторых формах работы; 2) возможности использования примененных в исследовании методов для определения степени утомления при мышечной деятельности.

Для осуществления поставленной цели в проведенных исследованиях разрешались следующие задачи.

А. Выявление значения длительности электрических стимулов при вызванном одиночном и тетаническом сокращении мышц с целью обнаружения в них различных, в том числе быстро утомляющихся двигательных единиц.

Б. Исследование восстановления амплитудных и временных параметров вызванной сократительной деятельности после раздражения одиночным электрическим импульсом.

В. Изучение степени изменений амплитудных и временных параметров одиночного и тетанического вызванного сокращения мышцы после однократной, трехкратной и пятикратной работы «до отказа» на протяжении 15 минут восстановительного периода.

Г. Исследование изменений амплитудных и временных показателей произвольного сокращения мышцы после однократной работы «до отказа» на протяжении 15 минут.

Д. Выявление характера изменений амплитудных и временных показателей произвольного сокращения мышцы у легкоатлетов-метателей и боксеров до и непосредственно после окончания тренировочного занятия.

**Научная новизна.** В результате проведенных исследований был получен ряд новых данных. Выявлено, что при вызванном сокращении мышц дифференциация двигательных единиц с различной скоростью сокращения и с разной утомляемостью лучше всего обнаруживается при длительности электрических стимулов от 5 до 10 мс. Обнаружены специфические особенности изменений амплитудных и временных параметров вызванного сокращения мышц в зависимости от количества повторений работы «до отказа». Эти изменения отражали функциональные особенности мышц, связанные с фазовыми сдвигами как в сторону эксальтации, так и утомления. В исследованиях произвольного мышечного сокращения были обнаружены три фазы последовательного развития изменений функционального состояния мышц: 1) улучшение функциональных свойств, 2) ухудшение параметров, непосредственно связанных с мышечным сокращением,

3) ухудшение параметров, связанных с регуляторными влияниями со стороны центральной нервной системы. Выявлено также, что обычная тренировка легкоатлетов и боксеров не сопровождалась какими-либо существенными достоверными изменениями в сократительной деятельности трехглавой мышцы плеча. Изменения в сторону ухудшения сократительных свойств были обнаружены только после силовой тренировки с поднятием штанги.

**Практическая ценность.** Полученные данные позволяют рекомендовать исследование вызванного и произвольного сокращения мышц для определения у спортсменов функционального состояния мышц после тренировочных занятий и соревнований.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались и обсуждались: на заседании Ленинградского общества физиологов, биохимиков и фармакологов; на конференции молодых ученых института физической культуры им. П. Ф. Лесгафта; на конференции грузинского института физической культуры в Тбилиси; на итоговой научной конференции института физической культуры; на всесоюзной конференции по вопросу «Адаптация человека и животных в норме и патологии» в Ярославле.

**Публикации.** По теме диссертации имеется 5 публикаций (4 — тезисы, 1 — статья).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из следующих разделов: 1) введение, 2) глава I — обзор литературы, 3) глава II — методика, 4) глава III — вызванное сокращение мышц человека, 5) глава IV — произвольное сокращение мышц человека, 6) общее заключение, 7) выводы, 8) литературный указатель. Она изложена на 147 страницах машинописи. Фактические материалы представлены в 11 таблицах и 24 рисунках. В литературном указателе приведено 246 работ, из них 158 на русском и 88 на иностранных языках.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены на 77 студентах института физической культуры. Первые три серии исследований, связанные с выяснением: а) значения при вызванном сокращении электрических импульсов, б) изменений в мышцах, возникающих в них после одиночного сокращения и в) влияния однократной, трехкратной, пятикратной работы «до отказа»

на восстановительные процессы, проведены на студентах без учета специализации. Исследования с произвольным мышечным сокращением в 4-й и 6-й сериях были выполнены на легкоатлетах-метателях и в 5-й серии на боксерах.

При исследовании вызванного сокращения применялся датчик И. П. Блохина (1968), накладывавшийся на мышцу. При сокращении мышцы щуп датчика давил на пружину, деформация же пружины передавалась на сопротивление и вызывало изменения напряжения тока. Изменения тока, возникавшие при деформации пружины, регистрировались на бумаге шлефным осциллографом Н-105.

Для раздражения мышцы был использован стимулятор фирмы «Альвар». Форма тока была прямоугольной. Исследуемая конечность фиксировалась в специальной установке.

При изучении произвольного изометрического напряжения применялся полиграфический метод Ю. В. Высочина, позволяющий производить одновременную, непрерывную, синхронную графическую регистрацию биоэлектрической активности (ЭМГ), силы (динамограммы — ДГ) и поперечной твердости (тонусограммы — ТГ) мышц при их произвольном напряжении и расслаблении в изометрическом режиме (Ю. В. Высочин, 1970, 1971, 1972; Высочин Ю. В., Попов С. Н., 1971, 1972).

При включении сигнального звонка от испытуемого требовалось возможно быстрее разгибать предплечье с максимальной силой и удерживать это напряжение во время звучания звонка. Как только сигнал выключался, испытуемый должен был максимально быстро полностью расслабить работавшую мышцу.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вопрос о природе утомления при мышечной деятельности, имеющий большое значение в прикладной физиологии, особенно актуален в физиологии спорта. Физические упражнения не только на соревнованиях, но и в процессе тренировочных занятий во многих случаях осуществляются при напряжениях значительной мощности. Менее же мощные движения часто характеризуются весьма большой длительностью работы. И в том, и в другом случае в организме возникает утомление, препятствующее дальнейшей эффективной деятельности. В связи с этим изучение физиологических механизмов развития утомления при мышечной работе пред-

ставляет большой интерес, так как своевременное диагностирование наличия утомления и степени его выраженности позволяет более рационально регулировать тренировочный режим.

Спор о том, где первично локализуются процессы, связанные с возникновением мышечного утомления только в центральной нервной системе (А. Моссо, 1893; И. М. Сеченов, 1903; Н. К. Верещагин, В. В. Розенблат, 1955; Д. Матеев, 1961; В. В. Розенблат, 1972, 1975 и др.) или же только непосредственно в самих мышцах (Р. А. Мертон, 1954; К. Naess, A. Storm Mathissen, 1955; Е. К. Жуков, Ю. З. Захарьянц, 1960; Ю. И. Данько, 1974 и др.) продолжался очень долго. В настоящее время больше всего разделяется точка зрения, что, в зависимости от характера мышечной работы и функционального состояния нервной системы, в одних случаях утомление первично возникает в нервной системе, в других — в мышцах, в третьих — почти одновременно и в нервной системе и в мышцах (М. Е. Маршак, 1946; Н. В. Зимкин, 1972; Н. В. Зимкин, В. С. Фарфель, 1975 и др.).

Представляет интерес тот факт, что некоторые мышцы человека при малых по мощности нагрузках могут произвольно сокращаться весьма длительное время. Так в исследованиях И. М. Товбина (1956), проведенных на человеке, разгибатель шеи, разгибатели и сгибатели туловища, поддерживавшие при 80% нагрузке (от величины максимальной силы) статистическое напряжение не больше 1,5—4 мин, при нагрузке в 20% могли удерживать груз свыше 1 часа. Следовательно, какие-то двигательные единицы могут непрерывно функционировать весьма длительное время. Вместе с тем другие двигательные единицы, в частности вовлекающиеся в деятельность при значительных произвольных усилиях, могут поддерживать напряжение весьма короткое время — не больше нескольких минут или секунд.

Данные И. М. Товбина нашли подтверждение в работах А. R. Lind (1959), W. Rohmert (1961, 1965) и В. П. Замостьяна (1976). В опытах В. П. Замостьяна (1976) на мышцах крыс было показано, что при полной сохранности кровообращения в трехглавой мышце бедра электрическое раздражение нерва вызывает вначале значительную амплитуду сокращения мышцы, которое в последующие минуты и часы начинает снижаться, а затем на уровне 15—20% от

максимального тетанического напряжения может поддерживаться даже несколько суток.

Для понимания особенностей развития утомления непосредственно в самих мышцах много дали данные, полученные при регистрации у животных утомления отдельных двигательных единиц. Оказалось, что утомляемость разных двигательных единиц весьма различна (G. Steg, 1962, 1964; J. Lannergren, R. Smith, 1966 и др.). Это проявляется и в частоте импульсации, при которой возникает гладкий тетанус, и скорости снижения амплитуды сокращения и в возникновении полного выключения из деятельности при утомлении.

Весьма интересные данные были получены В. П. Замостьяном и С. В. Зотовым (1976) с непрерывным электрическим раздражением двигательного нерва крысы в тетаническом режиме. При отведении во время работы биотоков от отдельных двигательных единиц мышц оказалось, что одни двигательные единицы непрерывно воспроизводят ритм стимуляции на протяжении десятков минут и даже часов, другие отвечают пучками биопотенциалов с интервалами между ними, наконец третьи, воспроизводят только отдельные импульсы, повторяющиеся со значительными интервалами между ними.

Таким образом, снижение силы и амплитуды при длительном сокращении мышц можно трактовать как результат не только ухудшения сократительных свойств двигательных единиц, но и выключения многих из них на некоторое время из деятельности.

Так как в результате физической работы в мышце быстро утомляются не все двигательные единицы, а только некоторые из них, возникает вопрос о методике выявления их у человека. С целью разрешения этой задачи нами было сделано предположение, что двигательные единицы с различной степенью утомляемости могут при вызванном сокращении дифференцированно реагировать на электрические стимулы различной длительности. Экспериментальная проверка, сделанная нами, подтвердила это предположение. Оказалось, что при электрических стимулах длительностью от 5 до 10 мс, по сравнению с длительностью от 0,1 до 1 мс, наблюдаются большие изменения как при одиночном, так и, в особенности, при тетаническом сокращении.

При одиночном сокращении с увеличением длительности импульсов наблюдается повышение амплитуды сокращения

и уменьшение времени от начала сокращения до достижения максимума амплитуды. При этом с увеличением продолжительности электрического стимула на кривой сокращения регистрируется большее число пиков (вершин). При длительности импульсов 0,1—0,2 мс на кривой одиночного сокращения в преобладающем большинстве случаев регистрируется одна вершина и лишь у отдельных испытуемых число их достигает двух вершин. При длительности же импульса 5,0 и 10,0 мс часто встречаются кривые с 3 и 4 вершинами. В среднем число вершин при стимулах 5,0 и 10,0 мс примерно в 2 раза больше, чем при стимуле 0,1 мс (табл. 1). На этом основании можно считать, что с увеличением длительности импульсов в сокращение вовлекаются двигательные единицы с разным отношением к продолжительности электрического стимула.

Таблица 1

Среднее число вершин на кривой одиночного сокращения при раздражении двигательной точки трехглавой мышцы плеча электрическим током двойной реобазной силы с длительностью импульса от 0,1 до 10,0 мс ( $n=12$ ).

Статистические показатели	Длительность импульса в мс						
	0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	10,0	
M	1,25	1,58	1,05	2,00	2,42	2,57	
$\pm m$	0,19	0,25	0,26	0,25	0,25	0,27	
$\sigma$	0,44	0,86	0,85	0,81	0,86	0,91	
cv%	35	54	48	40	35	35	
между 0,1 и 10 мс							$P < 0,01$
между 1,0 и 10 мс							$P < 0,05$

Примечание: количество вершин при длительности стимула 5,0 и 10,0 мс достоверно больше, чем при стимулах 0,1 ( $P < 0,01$ ) и 1,0 мс ( $P < 0,05$ ).

При тетаническом сокращении с повышенном длительности импульсов наблюдалось увеличение амплитуды сокращения, длительность же времени от начала сокращения до достижения максимального пика снижалась (табл. 2). Что касается длительности времени полурасслабления, то изменения были большей частью недостоверными, так как при

этом суммируются данные двигательных единиц с различной скоростью сократительного пика.

Таблица 2

Средние величины времени поддержания максимальной амплитуды тетанического сокращения и степень снижения этой амплитуды в % к максимальной величине, максимальной амплитуды и скорости достижения максимальной величины сокращения при 1 1/2—2-х секундном раздражении двигательной точки трехглавой мышцы плеча электрическим током двойной пороговой силе, с частотой 30 Гц, с длительностью импульсов от 0,1 до 10,0 мс ( $n=12$ )

Показатели	Статистич. показатели	Длительность раздражения в мс					
		0,1	0,2	0,5	1,0	5,0	10,0
Длительность времени от начала сокращения до достижения относительной устойчивости (мс)	<i>M</i>	575,66	488,08	475	508,5	507,33	474,33
	$\pm m$	4,53	3,20	4,87	10,68	6,12	7,96
	$\sigma$	15,03	10,62	16,16	35,42	20,32	26,43
	<i>cv</i> %	2,61	2,17	3,4	6,9	4,0	5,6
Длительность поддержания максимальной амплитуды (мс)	<i>M</i>	236,4	178,25	226,25	267,83	159,5	128,76
	$\pm m$	2,9	3,3	1,59	2,9	1,9	1,4
	$\sigma$	9,9	10,9	5,28	9,6	6,3	4,6
	<i>cv</i> %	4,2	6,1	2,3	3,7	3,9	3,6
Время от начала сокращения до достижения максимального пика (мс)	<i>M</i>	178,66	166,66	170,5	183	167,7	134
	$\pm m$	2,8	5,9	5,72	4,63	3,20	4,14
	$\sigma$	7	19,7	18,9	15,35	10,8	13,73
	<i>cv</i> %	3,9	11,8	11,1	8,3	6,4	10,2
Время полурасслабления	<i>M</i>	116,8	108,5	114,2	108,08	118,3	113,5
	$\pm m$	3,6	2,6	2,09	3,4	2,6	3,38
	$\sigma$	12,06	8,6	6,9	11,3	8,6	11,23
	<i>cv</i> %	10,4	8	6	10,4	7,3	9,9
Максимальная амплитуда (мм записи)	<i>M</i>	77,08	78,33	80,08	83,25	86,9	81,8
	$\pm m$	1,64	1,60	1,69	2,18	2,76	1,43
	$\sigma$	5,42	5,30	5,63	7,22	9,16	4,74
	<i>cv</i> %	7,03	6,77	7,03	8,67	10,54	5,79
Степень снижения амплитуды в % к максимуму		22,79	25,19	22,08	24,21	30,52	40,36

Наиболее выраженные изменения, позволявшие судить о наличии быстро утомляющихся двигательных единиц,

обнаружены в характере кривых тетанического сокращения. При длительности импульсов в 0,1—0,2 мс плато после достижения максимума амплитуды сокращения почти в большинстве случаев оставалось неизменным до конца 1,5—2-х секундного раздражения. При увеличении длительности стимула, в особенности до 5—10 мс, плато на высшем уровне сокращения становилось непродолжительным и уже спустя доли секунды начиналось снижение амплитуды, в некоторых случаях до 1/2—1/3 максимальной величины (табл. 2).

Быстрое и вместе с тем значительное снижение (в среднем на 30—40%) времени поддержания максимальной амплитуды тетанического сокращения при длительности импульсов в 5—10 мс можно трактовать как выключение из деятельности значительного комплекса утомляющихся двигательных единиц. Поэтому для эффективности исследования утомления мышц при двигательной деятельности путем регистрации вызванных сокращений следует рекомендовать стимулировать деятельное состояние мышц сериями электрических импульсов длительностью от 5 до 10 мс.

Наибольшая выраженность явлений утомления в результате вызванной тетанической деятельности при длительности импульсов от 5 до 10 мс обусловила применение в наших дальнейших исследованиях вызванного сокращения электрических стимулов длительностью в 8 мс.

Во второй серии исследования изучалось влияние одиночного сокращения на последующие через интервалы отдыха в 30 и 60 с. Повторение раздражений мышцы через двигательную точку не ограничивается возникновением зубчатого и гладкого тетануса, которые наблюдаются при интервалах между стимулами менее 200 мс (частота раздражений 5 Гц и больше). Некоторая степень влияния одиночных сокращений друг на друга может наблюдаться и при относительно значительных интервалах между ними в 30 и 60 мс. При этом такого рода влияния, по-видимому, имеют фазовый характер и в преобладающем большинстве случаев характеризуются улучшением показателей (табл. 3).

В третьей серии исследовалось влияние значительной мышечной деятельности (сгибание и разгибание руки в локтевом суставе с грузом в 12 кг) после однократной, трехкратной и пятикратной работы с интервалами между работами в 30 с. Эти исследования, отдельно проведенные с раздражением двигательной точки двуглавой мышцы плеча при частоте 1, 5, 10, 15 Гц, выявили, с одной стороны, яв-

ления утомления, с другой же — быстрое восстановление исходного состояния с выраженными явлениями сверхкомпенсации. Исключение составили лишь опыты с пятикратным повторением работы «до отказа». При всех частотах раздражения направленность изменений была однозначной.

Таблица 3

Средние данные в % об особенностях вызванного сокращения в восстановительном периоде. Исходное сокращение, первое повторное сокращение через 60 с (б) и второе повторное сокращение на 90-й с после исходного, т. е. 30 с после первого повторного (в) (n=8)

Показатели	Сила раздражения в реобазах	Исходная величина	Восстановительный период. Интервал времени после исходного сокращения в с.	
			60 (б) %	90 (в) %
Латентное время от начала стимуляции до начала сокращения	1,5	100	91	101
	2,0	100	100	87
	2,5	100	84	115
	3,0	100	84	114
Длительность времени развития сокращения от его начала до максимума	1,5	100	87,5	100
	2,0	100	100	100
	2,5	100	100	100
	3,0	100	100	100

После однократной работы небольшое ухудшение вызванной сократительной деятельности отмечалось только в первую минуту после работы, которое уже к 3-й минуте сменялось сверхвосстановлением, т. е. фазой экзальтации. После трех повторений работы «до отказа» с интервалами между ними в 30 сек. снижение амплитуды увеличивалось, длительность фазы полной реституции возрастала и экзальтация наступала только к 5-й или 7-й минуте. Лишь после пятикратного повторения работы «до отказа» отмечалось весьма значительное снижение амплитуды сокращения, которая даже через 15 минут не возвращалась к исходным величинам, зарегистрированным до начала работы (табл. 4).

Изменения других параметров — латентный период времени от начала раздражения до начала сокращения, длительность времени от начала сокращения до достижения

Таблица 4

Средние показатели вызванной сократительной деятельности двуглавой мышцы плеча после одно-, трех- и пятикратной работы «до отказа» (сгибание и разгибание в локтевом суставе с грузом в 12 кг). Частота электрического раздражения 15 Гц ( $n=8$ )

Показатели	Количество повторений работы	Исходные данные	Данные после работы (мин)					
			1	3	5	7	10	15
Амплитуда твердости (мм записи)	1	41	38	43	42	42	41	41
	3	31	35	36	50	48	40	41
	5	53	28	28	29	31	27	27
Время от начала сокращения до достижения макс. амплитуды (мс)	1	46	50	39	35	49	48	46
	3	32	46	45	25	27	31	30
	5	27	35	31	31	30	28	30
Длительность полурасслабления (мс)	1	99	100	91	95	102	105	100
	3	90	110	110	80	90	90	100
	5	100	100	110	120	120	120	110

максимальной амплитуды и длительность времени полурасслабления, как правило, соответствовали изменениям амплитуды сокращения, но с некоторыми различиями в отношении степени изменений и длительности времени до возникновения фазы экзальтации (табл. 4).

Данные, полученные при регистрации напряжения всей мышцы имели совершенно ту же направленность, как изменения локально регистрируемой твердости этой мышцы.

В четвертой — шестой сериях опытов изучались изменения особенностей произвольного сокращения, регистрируемые после работы.

В четвертой серии исследовалось влияние на показатели произвольного сокращения трехглавой мышцы плеча однократной работы «до отказа». Показатели состояния мышцы регистрировались до и после работы на протяжении 15 минут восстановительного периода.

Однократная работа в виде отжиманий от пола, проводившаяся «до отказа», оказала влияние как на амплитудные, так и на временные параметры произвольного сокращения мышц, причем эти изменения были противоположными. Показатели твердости мышцы, непосредственно свя-

занные с сокращением мышцы — амплитуда по твердости, длительность времени от начала сокращения до достижения максимума и длительность времени полурасслабления ухудшились (таблица 5). В то же время показатели, связанные с нервной регуляцией — латентные периоды от момента подачи сигнала до начала сокращения мышцы и возникновения ЭМГ — улучшились (таблица 5). Аналогичные данные были получены и в отношении показателей сокращения всей мышцы.

Т а б л и ц а 5

Средние амплитудные и временные показатели по изменениям твердости трехглавой мышцы плеча после однократной динамической работы (отжимание от пола руками «до отказа») А — абсолютные данные, % — проценты ( $n=10$ )

Показатели	Статистич. показатели	Исходные данные	После работы (минуты)					
			1	3	5	7	10	15
Максимальная амплитуда твердости (мм записи)	<i>M</i>	65,25	53,9	59,9	62,2	64,25	61,6	63,3
	%	100	83	92	95	98	94	97
	$\pm m$	6,25	3,43	4,04	3,05	4,67	5,58	5,99
	$\sigma$	18,76	10,31	12,11	9,15	14,01	16,75	17,98
	<i>cv</i> %	28,75	19,13	20,22	14,71	21,80	27,19	28,40
Длительность времени от начала сокращений до достижения максимума (мс)	<i>M</i>	358	406	455	482	550	515	538
	%	100	113	127	134	153	143	150
	$\pm m$	99,34	81,48	119	123,1	103,9	143	144
	$\sigma$	298,02	244,46	358	369	311	429	433
	<i>cv</i> %	83,2	60,2	78,6	76,5	56,5	83,3	80,4
Длительность полурасслабления	<i>M</i>	111	124	142	108	101	97	109
	%	100	112	127	92	91	87	98
	$\pm m$	11,1	18,8	15,3	16,5	12,6	11,6	10,3
	$\sigma$	33,3	56	46	49,5	37,8	34,9	30,8
	<i>cv</i> %	30	46,1	32,4	45,8	37,4	36,0	28,3
Латентный период от начала сигнала до начала сокращения (мс)	<i>M</i>	242	250	178	167	203	192	171
	%	100	103	73	69	83	79	70
	$\pm m$	9,5	25,2	13,1	5,1	15,4	14,4	14,7
	$\sigma$	52	75	39,2	17,9	46,1	43,3	47,1
	<i>cv</i> %	68,6	30,2	22	10,7	22,7	22,6	25,8

(Продолжение)

Показатели	Статистич. показатели	Исходные данные	После работы (минуты)					
			1	3	5	7	10	15
То же до появления биопотенциалов (мс)	<i>M</i>	221	216	171	161	173	170	149
	%	100	97,7	77	73	78	76	67
	$\pm m$	16,4	32,4	3,1	9,4	22,6	15,1	11
	$\sigma$	49,3	54,1	31,8	28,9	45,2	45,4	33
Длительность полного расслабления по ЭМГ	<i>M</i>	270	243	249	285	279	292	292
	%	100	90	92	105	103	108	108
	$\pm m$	20,8	24,3	20,9	43,3	30	30,8	23,5
	$\sigma$	62	72	62	130	90	92	70
	<i>cv</i> %	22,3	25	18,6	17,9	26,1	26,7	22,1
	<i>cv</i> %	23,2	29,9	25,2	45,6	32,3	31,6	24,2

Таким образом, создается впечатление, что функциональное состояние самих мышц начинает ухудшаться раньше, чем иннервационных механизмов, которые могут быть даже в лучшем состоянии, чем до работы, т. е. в состоянии некоторой экзальтации.

Следует также указать, что возвращение к исходным показателям на протяжении 15 минут восстановительного периода большей частью не происходило.

В пятой серии исследований изучалось состояние трехглавой мышцы плеча после обычной тренировки. Оказалось, что в этих условиях произвольное сокращение мышц у боксеров высокой квалификации через несколько минут после окончания тренировки характеризовалось положительными сдвигами как амплитудных, так и временных параметров (табл. 6).

Оценивая совокупность всех исследованных показателей, следует указать, что непосредственно после тренировки большинство показателей как относящихся к мышцам, так и связанным с нервным управлением их деятельности, указывают на благоприятные изменения в сторону улучшения. Это состояние с некоторыми изменениями сохранилось и спустя 12 часов. Через 24 часа после тренировки большинство показателей полностью или почти полностью возвратились к исходным данным. Следовательно, исследование влияния тренировки выявило положительное влияние на трехглавую мышцу плеча.

Таблица 6

Средние показатели произвольного сокращения  
трехглавой мышцы плеча 10 боксеров высокой квалификации  
до и после тренировки на протяжении 24 часов.

A — абсолютные данные, % — то же в %

Показатели		Время исследования			
		До тренировки	Сразу после тренировки	Через 12 часов	Через 24 часа
Максимальная амплитуда твердости (мм записи)	A	40	42	41	40
	%	100	105	102	100
Время от начала сокращения до максимума (мс)	A	383	260	311	401
	%	100	68	81	105
Длительность полурасслабления (мс)	A	120	87	89	118
	%	100	72	74	99
Латентный период от начала сигнала до начала сокращения (мс)	A	260	233	191	249
	%	100	86	74	96
Латентный период до появления биотоков	A	223	186	165	200
	%	100	87	74	94

В шестой серии произвольное сокращение трехглавой мышцы плеча изучалось у легкоатлетов-метателей до и непосредственно после окончания тренировки.

Показатели произвольного сокращения у них исследовались в соревновательном периоде. Эти показатели были зарегистрированы у 10 человек из них после обычной тренировки, а у 3 лиц — после тренировки с поднятием штанги. Результаты исследования выявили различный характер влияния тренировок с разной направленностью на показатели произвольного сокращения трехглавой мышцы.

После обычной тренировки с небольшими силовыми нагрузками было отмечено улучшение сократительной деятельности мышцы (табл. 7). Это улучшение касалось всех показателей твердости и напряжения, как непосредственно связанных с мышечным сокращением (увеличение амплитуды, снижение длительности времени от начала сокраще-

ния до максимума амплитуды, снижения длительности полу-расслабления мышцы), так и зависящих только от нервной системы (латентный период от начала сигнала до начала сокращения мышцы, то же до начала возникновения биопотенциалов в мышце, длительность времени полного расслабления по показателям биопотенциалов на электромиограмме).

Иное случилось после силовой тренировки с подниманием штанги, когда результаты были полностью противоположными тем, которые были зарегистрированы после обычной тренировки без больших силовых напряжений — по всем 10 зарегистрированным показателям результаты ухудшились (табл. 7).

Таблица 7

Средние данные показателей произвольного сокращения трехглавой мышцы плеча легкоатлетов-метателей до и непосредственно после обычной (ОТ) и силовой (СТ) тренировки с подниманием штанги ( $n=13$ )

Показатели	Характер тренировки	До тренировки	После тренировки	Изменение в %	Достоверность
Максимальная амплитуда твердости (мм записи)	ОТ	23,8	27,7	+16	$P < 0,01$
	СТ	16	13	-19	
Время от начала сокращения до достижения максимума (мс)	ОТ	630,3	480,0	-24	$P < 0,05$
	СТ	250,0	510,0	+204	
Длительность полу-расслабления (мс)	ОТ	90,3	80,8	-5	$P < 0,05$
	СТ	76,7	80,0	+14	
Латентный период от начала сигнала до начала сокращения (мс)	ОТ	182	166	-9	$P < 0,05$
	СТ	190	200	+6	
Латентный период от начала сигнала до возникновения биопотенциалов	ОТ	171	156	-9	$P < 0,01$
	СТ	180	190	+5	

Таким образом, по данным регистрации различных параметров произвольного мышечного сокращения можно судить

о состоянии мышечного аппарата после физических напряжений. В одних случаях в результате тренировочных занятий может наблюдаться состояние двигательного аппарата с явлениями экзальтации, с улучшением функций, в других же наоборот — ухудшение их, т. е. проявления утомления.

Таким образом, результаты исследований произвольного сокращения по методу Ю. В. Высочина выявили следующую последовательность изменений картины показателей произвольного мышечного сокращения.

Если мышечные нагрузки при тренировочных занятиях были относительно легкими, то амплитудные и временные показатели произвольного сокращения по методу Ю. В. Высочина характеризовались улучшением. При более значительных нагрузках на мышцу начинали ухудшаться показатели, связанные непосредственно с сокращением самой мышцы при исходных и даже несколько улучшившихся временных показателях, зависящих от функций нервной системы. Если же мышечные нагрузки были очень большими, то наблюдалось ухудшение всех параметров, связанных как с состоянием самих мышц, так и с управлением их деятельностью со стороны центральной нервной системы.

Полученные нами данные позволяют присоединиться к точке зрения исследователей, утверждающих, что явления утомления в ряде случаев могут первично возникать не только в нервной системе, но и непосредственно в самих мышцах. Это можно утверждать, во-первых, на основании опытов с вызванным тетаническим сокращением мышцы, когда уже после нескольких первых стимулов начинается снижение кривой сокращения, по-видимому, вследствие выключения из деятельности недостаточно устойчивых по отношению к утомлению двигательных единиц. Во-вторых, об этом можно говорить на основании результатов исследования произвольного сокращения, когда параметры, связанные непосредственно с сокращением мышцы, начинают ухудшаться раньше, чем параметры, характеризующие по временным показателям нервные влияния. Но это в других условиях не исключает возможность первичного возникновения утомления в центральной нервной системе.

Следует особо отметить высокую степень восстановительных процессов в двигательном аппарате. После обычных тренировок у спортсменов высокой квалификации уже через несколько минут состояние мышц может характеризоваться

не утомлением, а экзальтацией с повышенными функциональными свойствами. Даже работа «до отказа» снижала функциональные показатели при вызванном сокращении на очень короткий срок, и уже на 2—3 минуте отдыха наступала фаза экзальтации. Эта фаза наступала на 5-й минуте даже после трехкратного повторения работы «до отказа». Лишь пятикратное повторение работы «до отказа» приводило к тому, что амплитудные и временные показатели деятельности мышц не восстанавливались к 15-й минуте отдыха, т. е. к концу исследований в восстановительном периоде.

При произвольном сокращении мышц, связанных с нервной системой, после однократной работы «до отказа» также уже с 1—3-й минуты отдыха отмечалась экзальтация, хотя амплитудные показатели были снижены и возвращались к исходным величинам (зарегистрированным до начала работы) к 5—7-й минуте отдыха.

Результаты исследований особенностей мышечного сокращения при вызванной и произвольной стимуляции позволяют считать, что использованные в работе методы могут характеризовать функциональное состояние мышц с выявлением в них явлений экзальтации и утомления. Поэтому их можно рекомендовать для выявления функционального состояния мышечного аппарата у спортсменов, в частности после тренировочных занятий и соревнований.

## ВЫВОДЫ

1. Эффективность выявления двигательных единиц с разными сократительными свойствами зависит от длительности электрических импульсов. При применении их с длительностью от 0,1 до 10,0 мс наибольшая степень дифференциации групп двигательных единиц с различными параметрами сократительной деятельности была выявлена при длительности электрических импульсов в 5,0—10 мс. На кривой одиночного сокращения это проявилось в увеличении числа пиков, свидетельствующих о наличии в мышце групп двигательных единиц с разной скоростью развития сокращения, на кривой тетанического сокращения — в быстром наступлении утомления за счет выключения из деятельности недостаточно выносливых двигательных единиц.

2. После вызванного одиночного сокращения слабо выраженные положительные и отрицательные явления, отражав-

шиеся на латентном периоде, амплитуде сокращения и скорости полурасслабления, могут обнаруживаться при повторных раздражениях через 30 и 60 сек.

3. Утомительная работа «до отказа» (сгибание и разгибание предплечья с грузом 12 кг) вызывала в двуглавой мышце плеча на протяжении 15 минут восстановительного периода отрицательные (утомление) и положительные (эксальтация) изменения. Они проявились при регистрации вызванного сокращения в отношении показателей как напряжения всей мышцы, так и ее локальной твердости (латентный период, амплитуда, длительность полурасслабления).

После однократной работы «до отказа» на 1-й минуте отдыха отмечались фазовые изменения в виде кратковременного относительно небольшого ухудшения исследованных показателей, которое к 3-й минуте сменялось полным восстановлением с наличием сверхкомпенсации. После трехкратной работы «до отказа» с интервалами между ними в 30 сек ухудшение исследованных показателей вызванного сокращения было выражено больше, восстановление же до исходного уровня с последующей гиперкомпенсацией затягивалось до 5—7 минут. После пятикратной работы «до отказа» ухудшение показателей вызванного сокращения было выражено еще резче, при этом амплитудные параметры снижались, а временные увеличивались в большей мере, чем после одно- и трехкратной работы, восстановление же затягивалось и к 15-й минуте отдыха мышечная деятельность не восстанавливалась до исходного уровня.

4. Произвольное сокращение трехглавой мышцы после однократной работы «до отказа» характеризовалось в восстановительном периоде ухудшением показателей, связанных непосредственно с мышечным сокращением (максимальная амплитуда твердости и напряжения, длительность времени от начала сокращения до достижения максимума и длительности полурасслабления). Одновременно наблюдалось улучшение временных показателей, связанных с регулирующей деятельностью мышцы нервной системой (латентный период от начала раздражения до начала возникновения биопотенциалов в ЭМГ, тоже до начала изменений твердости и напряжения всей мышцы, длительность полного расслабления по данным ЭМГ). Возможно, это свидетельствует о положительных сдвигах в первой регуляции сокращения и отрицательных в состоянии самой мышцы.

5. В соревновательном периоде у боксеров непосредственно после тренировочного занятия отмечалось улучшение всех исследованных показателей, связанных как непосредственно с сокращением мышцы, так и с регуляцией со стороны нервной системы.

6. У легкоатлетов-метателей после обычной тренировки все исследованные показатели произвольного мышечного сокращения, связанные как непосредственно с сократительным актом, так и с регуляцией со стороны нервной системы, улучшились. После силовой тренировки с поднятием штанги, наоборот, все показатели ухудшились.

7. Явления экзальтации нервно-мышечного прибора, наблюдаемые непосредственно после работы, при дальнейшем увеличении напряжения работы исчезают и сменяются ухудшением амплитудных и временных параметров мышечного сокращения. Вследствие этого после мышечной работы по мере увеличения напряженности произвольного мышечного сокращения: 1) экзальтация, т. е. улучшение всех исследованных нами показателей, связанных как непосредственно с мышечным сокращением, так и с регуляцией со стороны центральной нервной системы; 2) утомление, т. е. ухудшение показателей, непосредственно связанных с мышечным сокращением и одновременным улучшением или отсутствием ухудшения показателей, связанных с деятельностью центральной нервной системы; 3) ухудшение всех показателей мышечного сокращения.

8. Показатели как вызванного, так и произвольного сокращения мышц могут служить критериями степени утомления нервно-мышечного аппарата и рекомендованы для использования в практике физической культуры и спорта.

**По теме диссертации опубликовано:**

1. Об адаптации двигательного аппарата человека к мышечной деятельности. В сб.: Адаптация человека и животных в норме и патологии. Ярославль, 1975, с. 90—91 (в соавторстве).

2. Функциональная характеристика скелетных мышц человека в связи с их особенностями адаптации к физическим напряжениям у спортсменов. В сб.: Физиологические механизмы адаптации к физиологическим нагрузкам и развитие тренированности у спортсменов. Л., 1976, с. 34—67 (в соавторстве).

3. Особенности свойств мышц и процесса адаптации их к физическим нагрузкам спортсменов. В сб.: Научные основы физического воспитания и спорта. Л., 1976, с. 44—45 (в соавторстве).

4. Некоторые особенности восстановления сократительной способности мышц человека после работы. В сб.: Актуальные проблемы спортивной тренировки. Л., 1976, с. 138—139.

5. Утомление и восстановление при работе мышц человека. В тезисах докладов научной конференции, посвященной 70-летию со дня рождения чл.-корр. АН ГССР, заслуж. деятеля науки ГССР, д. биологических наук проф. С. П. Нарикашвили. Тбилиси, 1976, с. 12 (в соавторстве).

**Материалы диссертации доложены:**

1. На всесоюзной конференции в Ярославле по вопросу «Адаптация человека и животных в норме и патологии», 1975.

2. На заседании Ленинградского общества физиологов, биохимиков и фармакологов, 1976.

3. На конференции молодых ученых института физической культуры им. П. Ф. Лесгафта, 1976.

4. На конференции грузинского института физической культуры в Тбилиси, 1976.

5. На итоговых научных конференциях института физической культуры им. П. Ф. Лесгафта, 1976, 1977.

---

Сдано в набор 26.10.78.

Подписано к печати 13.11.78.

Бумага типограф. № 3. Формат бум. 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Объем 1,25 п. л.

Тираж 150 экз. Заказ 1615. Бесплатно

---

Типография № 3 Ленуприздата, ф. 3. 198005, Ленинград, ул. Егорова, 5/7