

Установка для измерения силы мышц голени

Аннотация

Предложено устройство для определения силы изометрических сокращений мышц – сгибателей и разгибателей стопы. Особенностью устройства является возможность проводить тестирование мышц при установке стопы в голеностопном суставе под углами от 80 до 115° и определять функциональный оптимум (изометрический максимум Бликса) как критерий диапазона оптимальных условий функционирования мышц, имеющий диагностическое значение в оценке их функциональных возможностей.

В таблице представлены абсолютные и отнесенные к весу силовые показатели исследуемых групп мышц у здоровых людей с учетом пола, возраста и функциональной специализации, которые могут служить нормативными ориентирами в инструментальной оценке тяжести двигательной патологии.

Полученные сведения оценки динамометрии мышц отражают клиническую картину и позволяют уточнить тактику и характер реабилитационных мероприятий с учетом особенностей восстановительного процесса.

Проблема оценки полноты восстановления сократительной способности мышц после повреждения голени является одной из важнейших в травматологии и ортопедии, в спортивной медицине. Снижение показателя сократительной способности мышц при заболеваниях опорно-двигательной системы сопровождается уменьшением темпа ходьбы, проходимого за сутки пути и может привести к затруднению поддержания устойчивого положения тела в ортостатической позе. Данные о силах, действующих на сегмент конечности, необходимы при выборе метода фиксации отломков костей голени, а также при расчетах оптимальной конструкции эндопротеза. Оперативное увеличение длины конечности по Илизарову приводит к временному снижению способности мышц к произвольным сокращениям и к последующему восстановлению динамометрических показателей, которое обычно бывает не в полном объеме [1], [2]. Для исследования параметров силы мышц у спортсменов можно использовать градиент силы, когда спортсмен максимально высоко выпрыгивает с тензоплатформы [3]. Кроме того, например у космонавтов, для оценки сократительных функций и мышечной работоспособности при выполнении дина-

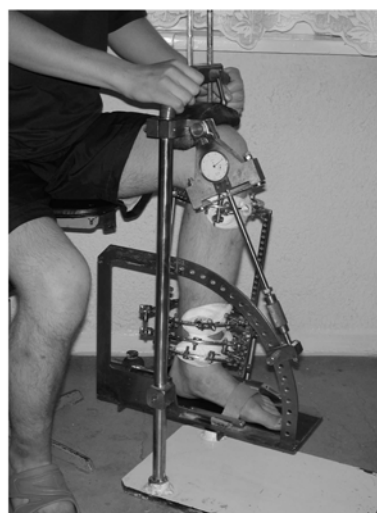
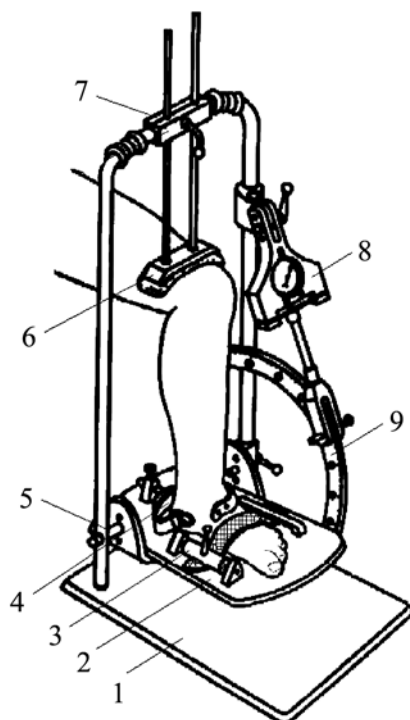
мических концентрических и эксцентрических произвольных сокращений разных мышц используется изокINETический динамометр «LIDO® Active Multi-Joint Isokinetic Rehabilitation System», «Loredan Biomedical» [4].

Имеющиеся методы не позволяют использовать их у детей и у ортопедо-травматологических больных. В ФБГУ РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова разработано и успешно используется устройство для определения силы мышц голени в режиме, близком к изометрическому [5].

Цель исследования: инструментальное тестирование и количественная оценка силы изометрических сокращений мышц-сгибателей и разгибателей стопы.

Методика исследования

Устройство содержит неразборную станину, включающую в себя платформу и закрепленную на ней П-образную стойку (1). Педаль (2) соединена со стойкой (1) подвижно с помощью полусей (3). На педали (2) закреплены запятник (4) с ремненным креплением и фиксатор переднего отдела стопы, состоящий из эксцентрика (5) и прижимного ремня с ограничителем.



Регистрация динамометрических показателей мышц-сгибателей и разгибателей стопы в процессе лечения аппаратом Илизарова

Рис. 1. Устройство для измерения силы мышц голени (пояснения – в тексте)

Педаля (2) имеет два кронштейна с регулировочными отверстиями. Сбоку к педали (2) прикреплена дуга (9) с градуированной шкалой, на которой рисками обозначены углы установки стопы в градусах и через каждые пять градусов имеются отверстия. Дуга (9) соединена вилкой, фиксируемой к чувствительному элементу силоизмерительного прибора (8), корпус которого жестко соединен со стойкой (1) станины. Через перекладину стойки (1) проведены два стержня с обрезиненным упором (6) на конце. Стержни зафиксированы в узле крепления упора для бедра с помощью винтового зажима (7) (патент [5], рис. 1).

Устройство работает следующим образом. Обследуемого сажают на стул с регулируемой высотой сидения. С помощью подбора высоты сидения обеспечивают прямой угол в коленном суставе при установке стопы на педаль (2). Стопу устанавливают в положении, при котором ось вращения голеностопного сустава совпадает с осью подвески педали (2), для чего педаль может быть поднята или опущена с использованием регулировочных отверстий, а также при необходимости смещена вперед или назад. Положение стопы фиксируют с помощью запятника (4) с ремненным захватом переднего отдела стопы, а бедро – с помощью упора (6) для бедра.

При незафиксированной штيفом вилке силоизмерительного прибора (8) обследуемый производит активные, максимально возможные тыльные и подошвенные сгибания стопы. Вилка используется в качестве указателя градуированной шкалы, нанесенной на дугу (9) для определения крайних значений при изменениях установки стопы. После штифтования вилки определяют изометрические максимумы моментов силы мышц-антагонистов голени при различных углах установки стопы. Обследуемый при этом держит руками за перекладину стойки (1). Расчет моментов силы мышц производят на основании показателей предварительного тестирования и метрологически выверенного реверсивного силоизмерительного прибора или при преобразовании деформации чувствительного элемента в электрический сигнал цифрового прибора.

Для расчета величины момента силы тестируемых групп мышц используют абсолютные значения произвольного максимального усилия F , определяемого с помощью индикаторной головки динамометра, и расстояния L от оси вращения голеностопного сустава до точки фиксации конца штанги, находящейся на оси реверсивного динамометра. Размерность показателей представляется в ньютонах на метр. Из трех попыток тестирования с одно- или двухминутным интервалом за конечный результат принималось максимальное значение. Чтобы исключить влияние мышечной массы на силовые параметры изометрических сокращений, мы использовали относительные показатели момента силы мышц (ОМС), выражающиеся в ньютонах на метр на 1 кг массы тела.

Результаты исследований

С использованием данного стенда проведено обследование 299 человек без ортопедической патологии в возрасте от 7 до 60 лет (мужчин – 183 человека, женщин – 116 человек) (табл. 1). Силовые различия мышц – тыльных и подошвенных сгибателей стопы наиболее отчетливо проявляются в возрастном

аспекте. В период пубертатного скачка роста прирост абсолютных и относительных (к весу) показателей силы мышц задней группы голени больше, чем передней, и соответственно увеличивается индекс мышц-антагонистов. У девочек в возрасте 12-14 лет он составляет 2,9 отн. ед., а у мальчиков к 18-20 лет достигает значений 2,8 отн. ед. У взрослого человека максимальная сила мышц – подошвенных сгибателей стопы в 1,7...2 раза превышает максимальную силу мышц – тыльных сгибателей стопы и определяется уровнем их физической подготовки. У здоровых обследуемых относительный момент силы мышц тыльных сгибателей стопы увеличивается с возрастом до 30 лет, после чего увеличение массы тела не сопровождается адекватным приростом динамометрического показателя.

У детей после травмы сократительная способность мышц – тыльных сгибателей стопы и мышц – подошвенных сгибателей начинает восстанавливаться, достигая к 1,5 мес. после снятия аппарата соответственно 63 и 75 % от уровня интактной конечности. К 2 годам после травмы показатели большой и интактной конечностей выравниваются между собой [6]. У взрослых пациентов и через 2 года после снятия аппарата сохраняется асимметрия показателей динамометрии мышц голени: при закрытых двойных переломах – до 40 %, открытых двойных переломах голени – до 60 % [7]. При оперативном удлинении голени у больных наблюдается снижение силы передней группы мышц голени [8].

Предлагаемое устройство для определения силы мышц голени позволяет определять изометрические максимумы моментов силы мышц – тыльных и подошвенных сгибателей стопы при различных установках стопы. При растягивании активной поперечно-полосатой мышцы ее сила сначала возрастает, а затем падает, и максимум значений («максимум Бликса») достигается при естественной (нормальной) длине мышцы в организме (длине покоя). Исследование тыльных и подошвенных сгибателей стопы проводили в положении «сидя» при угле в коленном суставе 90° и угле в голеностопном суставе от 80° до 115° , что позволяло оценить кривую зависимости силы мышц от их длины, характер которой определяется длиной мышечных волокон, а также углом между линией, совпадающей с направлением тяги сухожилия, и вектором силы, развиваемой волокном до начала сокращения. Вершина кривой соответствует наибольшему значению момента силы мышц (изометрический максимум Бликса (V.T. Inman, 1964, по [9]), выявляемое при их длине покоя. Смещение изометрического максимума передней группы мышц голени в сторону увеличения отмечается в период естественного скачка роста детей, когда преобладает растяжение мышц [10].

Определение изометрического максимума Бликса является частным случаем определения диапазона оптимальных условий функционирования мышц и имеет диагностическое значение в оценке функциональных возможностей мышц (рис. 2). Показано, что величина силы передней группы мышц поврежденной голени восстанавливается до уровня показателя интактной конечности лишь в узком диапазоне продольных размеров мышц, соответствующем установке стопы под углом 100° [11]. При варусной деформации костей голени максимум Бликса мышц голени смещен в направлении тыльной флексии [12].

Таблица 1

Показатели динамометрии мышц голени в норме ($M \pm \delta$, n – число наблюдений)

Возраст, лет	Тыльные сгибатели стопы						Подошвенные сгибатели стопы					
	мужчины			женщины			мужчины			женщины		
	n	Н·м	Н·м/кг	n	Н·м	Н·м/кг	n	Н·м	Н·м/кг	n	Н·м	Н·м/кг
7-11	15	12,9 ± 3,61	0,48 ± 0,02	12	14,7 ± 3,11	0,49 ± 0,02	15	35,1 ± 4,63	1,24 ± 0,07	12	34,7 ± 3,01	1,14 ± 0,07
12-14	21	28,1 ± 5,21	0,54 ± 0,03	17	19,6 ± 4,55	0,41 ± 0,03	21	58,5 ± 8,21	1,22 ± 0,08	17	58,2 ± 3,41	1,18 ± 0,07
15-18	25	48,4 ± 8,33	0,76 ± 0,04	15	30,6 ± 5,15	0,54 ± 0,02	25	107,7 ± 18,23	1,73 ± 0,09	15	76,6 ± 5,47	1,31 ± 0,06
19-29	32	63,5 ± 12,21	0,82 ± 0,04	24	38,9 ± 7,86	0,57 ± 0,03	32	169,1 ± 15,55	2,21 ± 0,11	24	75,1 ± 8,60	1,19 ± 0,08
30-39	45	62,0 ± 13,52	0,72 ± 0,04	23	39,6 ± 7,11	0,53 ± 0,03	45	144,8 ± 14,62	1,88 ± 0,09	23	70,5 ± 12,1	0,90 ± 0,08
40-49	24	61,9 ± 15,44	0,72 ± 0,04	17	38,5 ± 7,80	0,53 ± 0,03	24	127,6 ± 11,61	1,62 ± 0,08	17	60,2 ± 3,56	0,92 ± 0,08
50-59	21	61,6 ± 15,11	0,71 ± 0,04	8	37,7 ± 7,18	0,52 ± 0,03	21	114,1 ± 12,54	1,37 ± 0,08	8	60,7 ± 2,32	0,92 ± 0,08

Установлено, что у человека вид зависимости «длина – сила» активных мышц определяется соотношением сократительного и упругого компонентов [9]. Отсутствие нормализации изометрического максимума Бликса через 1 год после удлинения голени свидетельствует о том, что сохраняется преобладание увеличенного растяжения мышц. Повторное удлинение голени целесообразно рассматривать после нормализации изометрического максимума Бликса – регистрации максимальных значений силы мышц тыльных сгибателей стопы при ее установке в голеностопном суставе под углом в 95° [8].

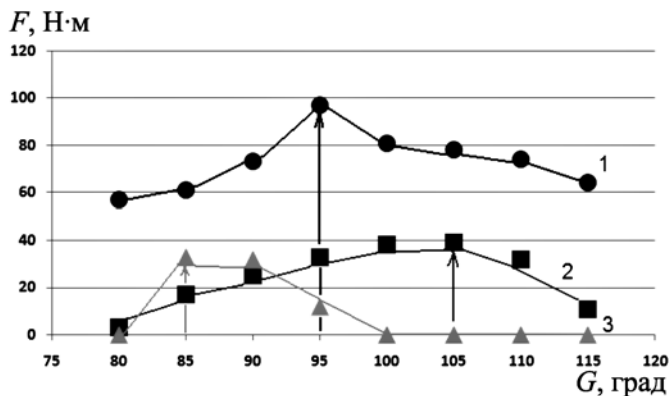


Рис. 2. Пример момента силы мышц (F) тыльных сгибателей стопы в зависимости от установки угла в голеностопном суставе (G): кривая 1 – значения здорового юноши 25 лет; кривая 2 – значения у пациента с остеоартрозом голеностопного сустава II степени; кривая 3 – значения у пациента с остеоартрозом голеностопного сустава III степени, проявления выраженного болевого симптома при установке стопы под углом в 80, 100...115°. Стрелкой отмечен максимум Бликса на каждой кривой

Выводы

1. Предложенный стенд позволяет в адекватных единицах измерения осуществлять количественную оценку функциональной дееспособности тестируемых групп мышц голени и объективизировать индивидуальный и выборочный контроль динамики их функционального состояния.

2. Математически ожидаемые значения абсолютных и относенных к весу силовых показателей исследуемых групп мышц у здоровых людей с учетом пола, возраста и функциональной специализации, представленные в табл. 1, могут служить нормативными ориентирами в инструментальной оценке тяжести двигательной патологии.

3. Динамометрические оценки сократительной способности тестируемых групп мышц дополняют клиническую картину заболевания и, с учетом особенностей восстановительного процесса, позволяют уточнять тактику и характер реабилитационных мероприятий.

Список литературы:

1. Филатов В.И. Клиническая биомеханика. – Л.: Медицина, 1980. 199 с.
2. Щуров В.А., Сагымбаев М.А., Горбачева Л.Ю. Сократительная способность мышц – тыльных сгибателей стопы при заболеваниях и травмах голени // Гений ортопедии. 2003. № 4. С. 57-60.
3. Стеблецов Е.А. Специальный тренажерно-измерительный комплекс для развития скоростно-силовых способностей, проявляющихся в отталкивании / Моделирование спортивной деятельности в искусственно созданной среде (стенды, тренажеры, имитаторы). Материалы конференции. – М., 1999. С. 106-112.

4. Коряк Ю.А. Изменение функций и работоспособности мышечного аппарата человека после космического полета // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2014. № 6-1. С. 87-101.
5. Щуров В.А. Устройство для ангулодинамометрии / Патент 2029536 РФ, МКИ⁶ А 61 Н 1/00 – № 5042260/14; заявл. 15.05.92 г.; опубл. 27.02.95 г. Бюл. № 6. С. 114.
6. Щуров В.А., Колчева О.В., Щуров И.В. Травма как фактор стимуляции последующего восстановления сократительной способности мышц // Гений ортопедии. 2007. № 3. С. 44-47.
7. Долганов Д.В., Долганова Т.И., Мартель И.И. и др. Биомеханические показатели функционального состояния конечностей после лечения аппаратом Илизарова множественных переломов сегментов нижних конечностей // Политравма. 2013. № 4. С. 17-22.
8. Менищикова Т.И., Долганова Т.И., Аранович А.М. Влияние силы мышц бедра и голени на опорные реакции стоп у больных ахондроплазией после коррекции роста // Российский журнал биомеханики. 2014. Т. 18. № 2. С. 248-258.
9. Самсонова А.В. Моторная и сенсорная функция мышц в биомеханике локомоций. – СПб.: Санкт-Петербургский университет им. П.Ф. Лесгафта, 2007. 152 с.
10. Щуров В.А., Гребенюк Л.А. Зависимость биомеханических свойств мышц голени от их длины у больных с патологией опорно-двигательного аппарата // Физиология человека. 1994. Т. 20. № 2. С. 107-114.
11. Щуров В.А., Хубаев Н.Д., Митина Ю.Л., Скрипников А.А. Восстановление сократительной способности мышц после закрытых переломов лодыжек // Физиология человека. 2015. Т. 41. № 1. С. 99-106.
12. Щуров В.А., Новиков К.И., Долганова Т.И. Функциональное состояние больных с варусной деформацией нижних конечностей различной этиологии // Гений ортопедии. 2012. № 3. С. 122-125.

Владимир Алексеевич Щуров,
д-р мед. наук, профессор,
гл. научный сотрудник,
Тамара Игоревна Долганова,
д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник,
Дмитрий Владимирович Долганов,
канд. биол. наук, ст. научный сотрудник,
лаборатория коррекции деформаций
и удлинения конечностей,
ФГБУ «Российский научный центр «ВТО»
им. акад. Г.А. Илизарова Минздрава РФ,
г. Курган,
e-mail: rjik532007@rambler.ru