

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-892-894>

УДК 612.1/.8; 613.65

© Коллектив авторов, 2020

Шитова Е.С., Малахова И.С., Лемешко В.И.

Возможность использования миоэлектронметрии для оценки мышечного утомления работников физического труда

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, Россия, 105275

Введение. Применение классических методов диагностики мышечного утомления работников физического труда, включающих динамометрию и электромиографию, часто ограничено ввиду трудоемкости процесса, невозможности их использования на производстве, а также субъективности методики. В то же время такой метод, как миоэлектронметрия, не имеет перечисленных недостатков, однако основной сферой его использования на данный момент является клиническая практика.

Цель исследования — определение возможности использования миоэлектронметрии для оценки мышечного утомления.

Материалы и методы. В ходе исследования с помощью прибора «MyotonPRO» («Myoton AS», Эстония) оценивали биомеханические характеристики мышц, различающихся глубиной расположения. Определяли тонус и жесткость бицепса плеча, камбаловидной мышцы и мышцы, выпрямляющей спину, в различные периоды времени в условиях воздействия на них максимальной нагрузки.

Результаты. Установлено, что исследуемые параметры данных мышц сразу после выполнения серии упражнений «до отказа» статистически значимо увеличивались, а через 30 минут — снова снижались, однако не достигали исходного уровня.

Выводы. Миоэлектронметрическое исследование показало объективность, достоверность, повторяемость и зарекомендовало себя как один из перспективных современных методов оценки мышечного утомления, в том числе для решения задач в области медицины труда.

Ключевые слова: мышечное утомление; миоэлектронметрия; тонус мышц; жесткость мышц

Для цитирования: Шитова Е.С., Малахова И.С., Лемешко В.И. Возможность использования миоэлектронметрии для оценки мышечного утомления работников физического труда. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(11): 892–894. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-892-894>

Для корреспонденции: Шитова Евгения Сергеевна, мл. науч. сотр. лаб. средств индивидуальной защиты и промышленных экзоскелетов ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова». E-mail: shitova.zhe@gmail.com

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 31.08.2020 / **Дата принятия к печати:** 19.10.2020 / **Дата публикации:** 03.12.2020

Evgeniya S. Shitova, Inga S. Malakhova, Vladislav I. Lemesenko

The possibility of using myotonometry to assess the muscle fatigue of physical labor workers

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, Russia, 105275

Introduction. The use of classical methods for diagnosing muscle fatigue of physical workers, including dynamometry and electromyography, is often limited due to the complexity of the process, the inability to use them in production, and the subjectivity of the methodology. At the same time, such a method as myotonometry does not have these disadvantages, but the main area of its use at the moment is clinical practice.

The aim of study was to determine the possibility of using myotonometry to assess muscle fatigue.

Materials and methods. In the course of the study, the biomechanical characteristics of muscles that differ in their depth were evaluated using the "MyotonPro" device (Myoton AS, Estonia). We determined the tone and stiffness of the biceps of the shoulder, the soleus muscle, and the muscle that straightens the back at different periods of time under the influence of maximum load on them.

Results. It was found that the studied parameters of these muscles immediately after performing a series of exercises "to failure" statistically significantly increased, and after 30 minutes — again decreased, but did not reach the initial level.

Conclusions. The myotonometric study showed objectivity, reliability, repeatability and proved to be one of the most promising modern methods for assessing muscle fatigue, including for solving problems in the field of occupational health.

Keywords: muscle fatigue; myotonometry; muscle tone; muscle stiffness

For citation: Shitova E.S., Malakhova I.S., Lemesenko V.I. The possibility of using myotonometry to assess the muscle fatigue of physical labor workers. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60(11): 892–894. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-11-892-894>

For correspondence: Evgeniya S. Shitova, junior researcher of laboratory for personal protective equipment (PPE) and industrial exoskeletons of Izmerov Research Institute of Occupational Health. E-mail: shitova.zhe@gmail.com

Information about authors: Shitova E.S. <https://orcid.org/0000-0002-4379-5187>

Malakhova I.S. <https://orcid.org/0000-0002-3215-3517>

Lemesenko V.I. <https://orcid.org/0000-0002-2212-3832>

Funding. The study has no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 31.08.2020 / **Accepted:** 19.10.2020 / **Published:** 03.12.2020

Введение. Любая физическая нагрузка, осуществляемая человеком в процессе профессиональной деятельности, приводит к возникновению утомления, которое объективно проявляется в снижении силы и выносливо-

сти мышц, а также в изменении их биоэлектрической активности и биомеханических параметров. Классическими способами определения данных характеристик являются мануальное тестирование, динамометрия и электромиография (ЭМГ). Несмотря на широкое применение и простоту проведения, мануальное тестирование и динамометрия не могут служить адекватными индикаторами мышечного утомления ввиду их субъективности и невысокого уровня достоверности. ЭМГ-исследование является более объективным, однако и более трудоемким. Из всех его видов наиболее приемлемым для решения задач в области медицины труда считается поверхностная ЭМГ. Наряду с неоспоримыми преимуществами и широкой пространственностью данного метода, в нем есть существенные недостатки: возможность регистрации сигнала лишь с поверхностно расположенных мышц, значительное влияние факторов окружающей среды на проведение исследования и качество полученных данных, а также отсутствие единого подхода к их анализу ввиду разнообразия как самой аппаратуры, так и большого числа регистрируемых параметров.

Задача объективного измерения биомеханических характеристик мышц с целью определения их напряжения и утомления ставилась довольно давно, однако до настоящего времени, несмотря на существующий опыт проведения подобных исследований, так и не было сформировано окончательного экспертного мнения и единого методического подхода. Одним из методов, способных определять биомеханические параметры скелетных мышц является миоэлектродметрия, а одним из современных инструментов, с помощью которого она может проводиться — прибор для объективной и неинвазивной цифровой пальпации поверхностных скелетных мышц, сухожилий и других мягких биологических тканей «MyotonPro» («Myoton AS», Эстония). Прибор имеет компактный размер, прост в использовании и не требует особых условий для проведения измерений. Существенным недостатком данного прибора является ограничение его использования при оценке характеристик глубоко расположенных, малых по размеру мышц и мышц, покрытых подкожно-жировой клетчаткой толщиной более 20 мм. Кроме того, доказательная база валидности его применения все еще пополняется, а у измеряемых параметров нет унифицированных норм. В последние годы данный прибор широко применяется в клинической практике [1, 2], и был использован для тестирования космонавтов на Международной космической станции. Тем не менее, результаты работ по исследованию мышечного утомления, развивающегося вследствие повышенной физической нагрузки, с помощью данного прибора в открытой печати не опубликованы.

В рамках научно-исследовательских работ по оценке физиологической эффективности применения промышленных экзоскелетов нами были проведены исследования тонуса и жесткости некоторых мышц человека, отвечающих за поддержание конкретных рабочих поз и выполнение рабочих движений [3]. Однако в некоторых случаях динамика исследуемых параметров была разнонаправленной, имела низкую повторяемость, носила ассиметричный и, возможно, случайный характер. В связи с этим, возникла необходимость проведения дополнительных исследований по специально разработанному протоколу, предусматривающему оценку биомеханических характеристик отдельных мышц в условиях их максимального утомления.

Цель исследования — определение возможности

использования миоэлектродметрии для оценки мышечного утомления.

Материалы и методы. К исследованию привлекались 6 практически здоровых мужчин, в возрасте $30,7 \pm 2,1$ лет, с ИМТ $26,1 \pm 1,9$, прошедших скрининговый медицинский осмотр, не имеющих в анамнезе заболеваний опорно-двигательной системы и не предъявляющих жалоб на момент проведения исследования.

Миоэлектродметрическое исследование (МТМ) проводили с использованием прибора для неинвазивной цифровой пальпации мышц «MyotonPRO» («Myoton AS», Эстония).

Для оценки биомеханических свойств были выбраны 3 мышцы, отличающиеся по глубине расположения, которые, по заявлению производителя прибора, могли быть им измерены, и для которых возможно было создать условия максимальной нагрузки (МН).

В качестве поверхностно расположенной мышцы была выбрана двуглавая мышца плеча. Выполняемое упражнение — сгибание руки в локтевом суставе с утяжелением с помощью гантелей, массой 10 кг и 5 кг. Доброволец выполнял упражнение левой рукой с гантелей, массой 10 кг, до момента, пока движение становилось невозможным, а затем менял утяжеление на меньшее (5 кг) и повторял движения «до отказа».

Вторая исследуемая мышца — камбаловидная, основная часть которой расположена под двумя головками трехглавой мышцы голени. Выполняемое упражнение — подъем «на носки» на правой ноге (левая нога расслаблена) с максимально возможной амплитудой движения, «до отказа». Доброволец при этом стоял на краю степ-платформы.

Для оценки глубоко расположенных мышц была выбрана мышца, выпрямляющая спину. Доброволец в положении лежа на кушетке на животе выполнял перерастягивание в груднопоясничном отделе позвоночника с гантелью в руках, при этом его таз и нижние конечности были зафиксированы на кушетке, а верхняя часть туловища свободно располагалась за ее пределами. Упражнение сначала выполнялось с утяжелением 10 кг, затем — с 5 кг, в каждом случае — «до отказа».

После каждого цикла упражнений следовал минутный перерыв, а затем цикл повторялся. Общее количество циклов каждого упражнения — 3.

МТМ проводили в положении добровольца лежа в расслабленном состоянии до начала выполнения упражнений (фоновое тестирование), сразу после окончания трех циклов (промежуточное тестирование) и через 30 минут после окончания (контрольное тестирование). Оценивали тонус (частота колебаний), [Гц] и жесткость мышц [Н/м].

Полученные данные подвергали статистическому анализу в ПО *Statistica 10.0* и *MS Office Excel 2019*. Ввиду ненормального распределения данных значимость различий определяли с помощью критерия Уилкоксона для связанных выборок, их описание производили с помощью медианы и интерквартильного размаха. Критический уровень значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. В результате статистического анализа было установлено, что сразу после МН тонус и жесткость бицепса плеча слева были выше, чем до начала выполнения упражнения на 13,2% (по медиане) и 20,2% соответственно ($p=0,03$), что свидетельствовало об утомлении данной мышцы. Через 30 минут после МН значения показателей тонуса и жесткости уменьшились на 8,6% и 11,3% ($p=0,03$) соответственно, что может свидетельствовать о постепенной нормализации состояния

мышцы. При этом наблюдалась разница между контрольными и фоновыми показателями тонуса и жесткости на 3,4% и 6,7% соответственно ($p=0,05$ и $p=0,04$), что характеризует неполное восстановление мышцы. Для параметров бицепса плеча справа, который на протяжении всего исследования находился в расслабленном состоянии, подобных статистических значимых изменений обнаружено не было.

Аналогичная картина в динамике показателей наблюдалась при оценке характеристик камбаловидной мышцы справа: сразу после МН ее тонус и жесткость повысились на 23,4% и 34,6% соответственно ($p=0,03$), затем их значения снизились на 15,3% и 16,9% ($p=0,03$). Разница между тонусом и жесткостью в контрольных и фоновых тестированиях составляла 4,5% и 11,8%, однако она не была статистически значимой. Значения параметров камбаловидной мышцы слева, не участвующей в выполнении упражнения, статистически значимо не изменялись и во всех тестированиях были практически одинаковы.

Касательно мышцы, выпрямляющей спину, были получены неоднозначные данные, так как статистически значимые изменения наблюдались только в контрольных тестированиях относительно промежуточных. Уменьшение значений тонуса мышцы через 30 минут после воздействия на нее МН на 6,7% слева ($p=0,05$) и на 7,6% справа ($p=0,03$) и жесткости на 14,7% ($p=0,05$) и 14,1% ($p=0,03$) соответственно может указывать на процессы восстановления ее исходного состояния, однако отсутствие статистически значимости в остальных случаях не позволяет сделать однозначный и вывод о состоянии мышцы в ходе проводи-

мого эксперимента.

Выводы:

1. Миотонометрия позволила установить повышение тонуса (на 13,2–23,4%) и жесткости (на 20,2–34,6%) бицепса плеча и камбаловидной мышцы сразу после их максимальной нагрузки путем выполнения серии упражнений «до отказа». При этом, исследование мышцы, выпрямляющей спину, не показало подобных изменений, что может быть связано со сложностью проведения измерений ввиду ее глубокого расположения.

2. Через 30 минут после воздействия максимальной нагрузки тонус и жесткость всех исследуемых мышц снижались на 6,7–15,3% и 11,3–16,9% соответственно, однако не достигали своего исходного уровня, что можно расценивать как факт неполного расслабления нагружаемых мышц за данный промежуток времени.

3. Вышеописанные изменения свидетельствуют о том, что миотонометрия является объективным, достоверным методом с высокой повторяемостью и может быть использована как современный метод оценки мышечного утомления для мышц сравнительно крупного размера и не покрытых подкожно-жировой клетчаткой толщиной более 20 мм. При этом, чем более поверхностно будет располагаться мышца и чем большая нагрузка будет на нее воздействовать, тем значительнее и показательнее будут изменения ее биомеханических параметров.

4. Миотонометрическое исследование с применением такого инструмента, как «MyotonPRO», может стать одним из стандартов определения утомления мышц, в том числе для решения задач в области медицины труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yuzeng Liu, Aixing Pan, Yong Hai, Wenjing Li, Li Yin, Ruijun Guo. Asymmetric biomechanical characteristics of the paravertebral muscle in adolescent idiopathic scoliosis. *Clinical Biomechanics*. 2019; 65: 81–86.
2. Chen G., Wu J., Chen G., Lu Y., Ren W., Xu W. et al. Reliability of a portable device for quantifying tone and stiffness of quadriceps femoris and patellar tendon at different knee flexion angles. *PLoS ONE*. 2019; 14(7): e0220521.
3. Гереев А.М., Шитова Е.С., Малахова И.С., Шупорин Е.С., Бондарук Е.В., Тах В.Х. Современные методы оценки безопасности и физиологической эффективности применения промышленных экзоскелетов. В кн.: «Анализ риска здоровью — 2020 совместно с международной встречей по окружающей среде и здоровью RISE-2020 и круглым столом по безопасности питания». Пермь, 13–15 мая 2020 г. ч. II: 366–73.

REFERENCES

1. Yuzeng Liu, Aixing Pan, Yong Hai, Wenjing Li, Li Yin, Ruijun Guo. Asymmetric biomechanical characteristics of the paravertebral muscle in adolescent idiopathic scoliosis. *Clinical Biomechanics*. 2019; 65: 81–86.
2. Chen G, Wu J., Chen G., Lu Y., Ren W., Xu W. et al. Reliability of a portable device for quantifying tone and stiffness of quadriceps femoris and patellar tendon at different knee flexion angles. *PLoS ONE*. 2019; 14(7).
3. Geregey A.M., Shitova E.S., Malakhova I.S., Shuporin E.S., Bondaruk E.V., Takh V.Kh. Modern methods for assessing the safety and physiological efficiency of the application of industrial exoskeletons. In.: "Analiz riska zdorov'yu — 2020 sovmestno s mezhdunarodnoy vstrechey po okruzhayushchey srede i zdorov'yu RISE-2020 i kruglym stolom po bezopasnosti pitaniya". Perm', 13–15 maya 2020 g. ch. II: 366–73 (in Russian).