

физического воспитания, Казахский национальный педагогический университет им. Абая., mihail.khliystov@gmail.com; Надежда Анатольевна Огиенко – кандидат педагогических наук, заведующая кафедрой теории и методики физической культуры, спорта и туризма, Костанайский государственный педагогический институт, nadejda_kstzk@mail.ru; Евгений Курмамбаев – студент факультета физической культуры, спорта и туризма, Костанайский государственный педагогический институт.

УДК 612.746+612.75+ 612.766.1+ 612.081.2

**ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
ЧЕЛОВЕКА НА РОБОТИЗИРОВАННЫХ
БИОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ**

В.А. Мазницына, Ю.В. Корягина, Е.В. Костюк
ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно клинический центр
Федерального медико-биологического агентства», Ессентуки, Россия

Ключевые слова: роботизированные комплексы, биомеханика, спортсмены, опорно-двигательный аппарат, силовые способности.

Аннотация. В статье рассмотрены результаты исследований российских и зарубежных авторов по проблеме оценки функции мышц с использованием роботизированных комплексов с биологической обратной связью в качестве динамометра. Данные комплексы предназначены для диагностики и объективной оценки функционального состояния опорно-двигательного и нейро-мышечного аппаратов на основе объема выполняемого движения, регистрируемого силового напряжения и определения оптимальных скоростных характеристик движения. Использование роботизированного комплекса в качестве динамометра позволяет провести различные нагрузочные силовые тесты и пробы и максимально объективно оценить функциональное состояние мышц в силовых, скоростно-силовых и биомеханических параметрах, получаемых при измерении.

OPPORTUNITIES FOR DETERMINING THE FUNCTIONAL CONDITION OF THE HUMAN SUPPORT-MOVEMENT APPARATUS ON ROBOTIZED BIOMECHANICAL COMPLEXES

V.A. Maznitsyna, Yu.V. Koryagina, E.V. Kostyuk

The Federal State-Financed Institution «North Caucasian Research and Clinical Center» under the Federal Medical Biological Agency, Essentuki, Russia

Key words: robotic complexes, biomechanics, athletes, musculoskeletal system, power abilities.

Annotation. In the article results of researches of the Russian and foreign authors on a problem of an estimation of function of muscles with use of the robotized complexes with biological feedback as a dynamometer are considered. These complexes are intended for diagnostics and objective evaluation of the functional state of the musculoskeletal and neuromuscular apparatus based on the volume of the movement performed, the registered power voltage and the determination of the optimal speed characteristics of motion. The use of a robotic complex as a dynamometer allows carrying out various load-carrying power tests and samples and as much as possible objectively assess the functional state of the muscles in the force, speed-force and biomechanical parameters obtained in the measurement.

Введение. Измерение функции мышц включает в себя оценку силы и мощности мышцы [7]. Для этого используются различные методики: от мануального тестирования, которое является самым простым, но не всегда достаточно точным, т.к. является субъективным, до изокINETического тестирования, наиболее точного и объективного. Сила мышц обычно измеряется одним из трех способов: 1) как максимальное усилие, которое может быть получено в результате изометрического сокращения; 2) как максимальная нагрузка, которая может быть поднята за один раз; и 3) максимальный крутящий момент во время изокINETического концентрического или эксцентрического сокращения. Одним из современных направлений в области оценки функции мышц является использование роботизированных биомеханических комплексов в качестве динамометров. Нами была рассмотрена и проанализирована отечественная и зарубежная литература, описывающая примеры использования данных динамометров для оценки функции мышц.

Цель работы. Провести анализ российских и зарубежных источников по проблеме оценки мышечной работы с применением роботизированных

биомеханических комплексов. Выполнить поисковое исследование по оценке силовых параметров у спортсменов с помощью данного комплекса.

Методы и организация исследований. Осуществлялись поиск и сбор источников информации. Найденные зарубежные материалы переводились на русский язык и подвергались научному редактированию и анализу.

В нашем исследовании оценка функционального состояния и силы нижних конечностей проводилась на роботизированном комплексе (РБК) CON-TREX (PHYSIOMED, Elektromedizin AG, Германия) – биомеханическом диагностическом тренажерном комплексе с биологической обратной связью (БОС).

Задачами данного комплекса является диагностика и объективная функциональная оценка состояния опорно-двигательного и нейромышечного аппаратов человека на основе объема выполняемого движения, регистрируемого усилия и определения оптимальных скоростных характеристик движения. Комплекс разделен на несколько модулей и позволяет проводить диагностику и тренировку с БОС для всех основных суставов верхних и нижних конечностей: запястье, локтевой, плечевой, тазобедренный, коленный, голеностопный в изолированных и смешанных движениях; комплексные движения нижних конечностей в унилатеральном, билатеральном или поочередном режимах; разгибание и сгибание туловища стоя; мелкие моторные и комплексные повседневные движения.

В данном исследовании использовался мультисуставный модуль CON-TREX MJ - для проведения тренировок и диагностики всех основных суставов верхних и нижних конечностей в изокинетическом баллистическом режиме с настройками для правого коленного сустава, максимальный крутящий момент - 500 Нм. Коленный сустав исследовался в положении тестируемого сидя на кресле динамометра (рис. 1).

Крутящий момент при тестировании коленного сустава был определен от $0,9^\circ$ (разгибание) до 40° относительного сгибания. Программа измерения состояла из разминки и заминки в режиме постоянного пассивного движения из 40 и 50 повторений соответственно, концентрического, эксцентрического и комбинированного режима по 20 повторений, пауза между подходами 30 секунд, регистрируемые параметры - нормализованный средний максимальный крутящий момент (Нм/кг%), коэффициент утомления (Дж/с%).

Программное обеспечение CON-TREX HUMAN KINETICS позволяет для каждого пациента документировать, анализировать, сравнивать в различных сводных таблицах и графиках все результаты диагностики и тренировки (например, до, во время и после определенного вида терапии или нового тренировочного процесса). Проведение диагностики, тренировок и реабилитации также возможно при высоких функциональных скоростях движения.



Рис. 1. Мультисуставный модуль CON-TREX MJ

Результаты исследования и их обсуждение. Использование роботизированных комплексов в диагностических и лечебных целях.

Измерение функции мышц включает в себя оценку силы и мощности мышцы [6,7]. Для этого используются различные методики: от мануального тестирования, которое является самым простым, но не всегда достаточно точным, так как является субъективным, до изокINETического тестирования, наиболее точного и объективного. Проведение такого тестирования возможно лишь при наличии специальных тренажеров. Серьезный недостаток применения таких программ состоит в громоздкости, сложности и высокой стоимости используемого в этом случае оборудования. Сила мышц обычно измеряется одним из трех способов: 1) как максимальное усилие, которое может быть получено в результате изометрического сокращения; 2) как максимальная нагрузка, которая может быть поднята за один раз; и 3) максимальный крутящий момент во время изокINETического концентрического или эксцентрического сокращения. Одним из современных направлений в области оценки функции мышц является использование роботизированных

биомеханических комплексов в качестве динамометров. Роботизированный биомеханический диагностический тренажерный комплекс с биологической обратной связью предназначен для диагностики и объективной функциональной оценки состояния опорно-двигательного и нейро-мышечного аппаратов на основе объема выполняемого движения, регистрируемого усилия и определения оптимальных скоростных характеристик движения.

Анализ существующих источников показал, для оценки функции мышц используются РБК. Чаще для тестирования в рассмотренных нами работах использовался РБК CON-TREX в качестве динамометра. Во многих исследованиях для оценки функции мышц был выбран изокинетический режим, угловая скорость варьировалась для каждого сустава, но в целом была в диапазоне от $30 \text{ }^\circ\text{s}^{-1}$ до $180 \text{ }^\circ\text{s}^{-1}$ [2-5].

Группа физиологов из Франции и Швейцарии изучали механизмы адаптации мышц-антагонистов плеча к возрастающей нагрузке у метателей копья. Работа проводилась при участии 14 добровольцев (7 здоровых молодых людей, не атлетов и 7 - профессиональные метатели копья, имеющие результаты $69 \pm 6 \%$ от национального рекорда). Измерения проводились на динамометре РБК CON-TREX. В ходе исследования ученые выяснили, что практика метания копья приводит к увеличению диапазона движения в плечевом суставе доминирующей конечности по сравнению с неиспользуемой при метании [4].

Комплекс CON-TREX [1] используют и в лечебных целях. Была проведена оценка физического состояния спортсменов после пластики передней крестообразной связки с целью предупреждения повторных травм. Для этого специалистами использовался изокинетический тест оценки силы мышц бедер, который проводили при угловой скорости $30 \text{ }^\circ\text{s}^{-1}$ по программе с 5 повторениями во время каждого подхода. Определяли показатели пикового вращающего момента при разгибании и сгибании коленных суставов обеих ног, общую работу конечности. Изокинетический режим тестирования на скорости $30 \text{ }^\circ\text{s}^{-1}$ был выбран с учетом возможности параллельной оценки функции коленных суставов во время динамического теста и силы мышц бедер в условиях, близких к изометрическому режиму тестирования. В ходе исследования было выяснено, что тестирование на специализированных комплексах позволяет уточнить природу снижения показателей, характеризующих физическое состояние спортсмена.

Ученые из ортопедической клиники (Швейцария) исследовали мышечную функцию сгибателей и разгибателей колена, используя в качестве динамометра РБК CON-TREX (CMV AG Dübendorf, Switzerland) [2]. Участники были протестированы дважды с разницей в 7 дней. Тестирование состояло из «разогревающих» 20 субмаксимальных концентрических и эксцентрических сокращений мышц бедра (реципрокных сгибателей и разгибателей колена) на низкой угловой скорости (15° и -15° соответственно). Также использовались от двух до трех субмаксимальных повторений каждого из упражнений, для изокинетических нагрузок крутящий момент сгибателей колена составлял 70° , от 80° до 10° (при условии, что 0° - полное разгибание). В результате исследования была доказана надежность изокинетических и изометрических измерений для оценки функции мышц с использованием РБК CON-TREX в качестве изокинетического динамометра.

Исследователи из Центра спортивной кинезиологии (г.Лион, Франция) сравнивали два наиболее используемых в настоящее время динамометра - CYBEX NORM и CON-TREX [3]. Они выяснили, что оба комплекса не отличаются по показателям крутящего момента (в одинаковой угловой позиции), когда они развивают постоянную скорость. Таким образом, отмечается, что внутренний потенциал этих комплексов идентичен. При этом CON-TREX является наиболее удобным для исследуемых, так как имеет более надежную систему крепления туловища, что особенно важно в момент развития исследуемым максимальной скорости.

Ученые из нескольких университетов Китая и США совместно исследовали мышечную силу сгибателей и разгибателей туловища, коленного и локтевого суставов на РБК CON-TREX [5]. Переменные, представляющие интерес, это максимальный крутящий момент, нормализованный крутящий момент (Нм/кг), показатели утомления (среднее из трех максимальных усилий в первых трех циклах / среднее значение максимальных усилий за последние три цикла) и скорость развития крутящего момента (Нм/с). Результаты показывают значительные различия между группами только в максимальном крутящем моменте сгибания туловища, нормализованном крутящем моменте и скорости развития силы, тогда как различия между скоростями движения были небольшими для нескольких переменных в каждой анатомической области.

В другом исследовании авторы изучали сокращения реципрокных мышц колена в концентрическом и эксцентрическом режимах РБК REV9000 (Technogym) [2]. Все измерения были проведены в одно и то же время, через три часа после обеда. Тестированию предшествовала 10-ти минутная тренировка на велоэргометре и упражнения на растяжение для сгибателей и разгибателей колена. Результаты этого исследования показали высокую эффективность в эксцентрическом (0,95-0,97), концентрическом (0,95-0,96), изометрическом (0,93-0,96), изокинетическом режимах для измерения силы разгибателей и сгибателей колена, что указывает на то, что изокинетический динамометр REV9000 может использоваться в исследованиях спортсменов, а также в реабилитационной и спортивной медицине.

Была сделана оценка силовых параметров у спортсменов с помощью РБК CON-TREX. В таблице представлены результаты исследования функции мышц сгибателей и разгибателей колена у спортсменов специализаций бокс и дзюдо (4 боксера, 8 дзюдоистов, возраст $20,0 \pm 0,9$ лет и $21,7 \pm 1,5$ лет соответственно, мужчины, квалификация КМС и МС). Согласно представленным данным у всех спортсменов сила и силовая выносливость мышц разгибателей колена преобладает над силой и силовой выносливостью мышц сгибателей. В большей степени эти различия выражены у боксеров.

Таблица

Показатели функционального состояния мышц сгибателей и разгибателей колена

Вид спорта	Вес, кг	Макс.крутящий момент, Нм, Сгиб/Разг[%]			Коэффициент утомления, Дж/с, Сгиб/Разг[%]		
		Концентрический режим	Разг. с сопр.	Сгибание с сопр.	Разг\ Сгиб	Разг с сопр.	Сгибание с сопр.
Дзюдо	$80,3 \pm$		$124,0 \pm$		$127,8 \pm$	$282,2 \pm$	
	21,3	$64,8 \pm 14,6$	29,0	$87,8 \pm 14,6$	180,3	266,3	$84,2 \pm 101,0$
Бокс	$82,5 \pm$		$155,2 \pm$		$56,9 \pm$	$353,8 \pm$	
	17,3	$72,9 \pm 24,5$	82,0	$98,1 \pm 22,2$	47,9	532,4	$122,1 \pm 131,2$

Заключение. Таким образом, результаты исследований ученых и специалистов разных стран доказывают, что использование роботизированных биомеханических комплексов с БОС, в качестве

динамометра, позволяет оценивать функциональное состояние мышц в абсолютных цифрах и графиках, получаемых при измерении. Это делает оценку теста максимально объективной, что необходимо для дальнейшего исследования проблемы выбора силовых упражнений, соответствующих координационной структуре основного двигательного действия. Проведение такого тестирования возможно лишь при наличии специальных тренажеров.

Список литературы

1. Преображенский В.Ю. Влияние современных методов реабилитации на восстановление спортсменов после пластики ПКС / В.Ю. Преображенский, Е.В. Сидоренко, О.В. Зиновьев, Д.В. Внуков, А.В. Преображенский, К.В. Лядов // Академический журнал Западной Сибири. – 2011. - № 6. – С. 27.
2. Carvalho F.A. Reliability of Concentric, Eccentric and Isometric Knee Extension and Flexion when using the REV9000 Isokinetic Dynamometer / A.C.P de Carvalho Froufe Andrade, P.Caserotti, C.M.P. de Carvalho, E.A. de Azevedo Abade, A. J. da EiraSampaio // Journal of Human Kinetics. - 2013. - № 37. - С. 47-53.
3. Cotte T. Comparative study of two isokinetics dynamometers: CYBEX NORM vs CON-TREX MJ / T. Cotte, J.-M. Ferret // Isokinetics and Exercise Science. – 2003. - № 11. – С. 37–43
4. Edouard P. Static and dynamic shoulder stabilizer adaptations in javelin thrower / P. Edouard, A. Damotte, G.Lance, F. Degache, P.Calmels // Isokinetics and Exercise Science. - 2013. - №21. - С. 47–55.
5. Jiang C. Determination of biomechanical differences between elite and novice San Shou female athletes / C. Jiang, M.W. Olson, L. Li // Journal of Exercise Science & Fitness. - 2013. - № 11. - С. 25 – 28.
6. Maffiuletti N. A. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer / N. A. Maffiuletti, M. Bizzini, K. Desbrosses, N. Babault, U. Munzinger // ClinPhysiolFunct Imaging. – 2007. - № 27. – С. 346–353.
7. Maffiuletti, N. A. Assessment of Hip and Knee Muscle Function in Orthopaedic Practice and Research / N. A. Maffiuletti // The Journal of Bone & Joint Surgery. – 2010. - № 1 – С. 200-229.

References

1. Preobrazhensky V.Yu. Influence of modern methods of rehabilitation on restoring athletes after plastics PKS / V.Yu. Preobrazhensky, E.V. Sidorenko,

- O.V. Zinoviev, D.V. Vnukov, A.V. Preobrazhensky, K.V. Lyadov // Academic Journal of Western Siberia. - 2011. - No. 6. - С. 27.
2. Carvalho F.A. Reliability of Concentric, Eccentric and Isometric Knee Extension and Flexion when using the REV9000 Isokinetic Dynamometer / A.C.P de CarvalhoFroufe Andrade, P.Caserotti ,C.M.P. de Carvalho, E.A. de AzevedoAbade , A. J. da EiraSampaio // Journal of Human Kinetics. - 2013. - № 37. - С. 47-53.
3. Cotte T. Comparative study of two isokinetics dynamometers: CYBEX NORM vs CON-TREX MJ / T. Cotte ,J.-M. Ferret // Isokinetics and Exercise Science. – 2003. - № 11. – С. 37–43
4. Edouard P. Static and dynamic shoulder stabilizer adaptations in javelin thrower / P. Edouard, A. Damotte, G.Lance, F. Degache, P.Calmels // Isokinetics and Exercise Science. - 2013. - №21. - С. 47–55.
5. Jiang C. Determination of biomechanical differences between elite and novice San Shou female athletes / C. Jiang, M.W. Olson, L. Li // Journal of Exercise Science & Fitness. - 2013. - № 11. - С. 25 – 28.
6. Maffiuletti N. A. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-Trex isokinetic dynamometer / N. A. Maffiuletti, M. Bizzini, K. Desbrosses, N. Babault , U. Munzinger // ClinPhysiolFunct Imaging. – 2007. - № 27. – С. 346–353.
7. Maffiuletti N. A. Assessment of Hip and Knee Muscle Function in Orthopaedic Practice and Research / N. A. Maffiuletti // The Journal of Bone & Joint Surgery. – 2010. - № 1 – С. 200-229.

Сведения об авторах. Владислава Александровна Мазницына – научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, 056vlada@gmail.com; Елена Витальевна Костюк – врач травматолог ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, elena_kostyk@inbox.ru; Юлия Владиславовна Корягина - профессор, д-р биол. наук, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, nauka@skfmba.ru.