

УДК 581.184.91

А.В. БОРИСОВА, Ф.В. ТАХАВИЕВА, М.С. БУТОВСКИЙ

Казанский государственный медицинский университет МЗ РФ, г. Казань

Использование диагностического комплекса Biodex в профилактике травматизма у спортсменов

Контактная информация:**Борисова Алёна Владимировна** — к.м.н., ассистент кафедры неврологии и реабилитации**Адрес:** 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49, **тел.:** +7 (843) 236-06-52, **e-mail:** doc-borisova@bk.ru

Цель исследования — определить силу мышц бедра при максимальной мышечной выработке при разгибании и сгибании у футболистов юношеской футбольной лиги.

Материал и методы. В группу исследования вошли спортсмены юношеской футбольной лиги 14–17 лет в количестве 60 человек. Им проводили обследование на роботизированном комплексе Biodex 4 Pro, сгибание и разгибание в коленных суставах поочередно на скорости 60 °/сек и 180 °/сек.

Результаты. Наибольший дефицит между нижними конечностями был выявлен при разгибании коленного сустава в 60°/сек и составил 19,33%, при сгибании коленного сустава на скорости 60°/сек дефицит между конечностями составил 10,4, что является допустимым, но требует коррекции. При сгибании коленного сустава на скорости 180°/сек дефицит мышечной силы составил 12%, что также является дополнительным фактором риска для получения травм при работе на «выносливость», при сгибании на скорости 180°/сек дефицит был минимальный и составил 4,3%, что является вариантом нормы.

Выводы. У юных футболистов максимальный дефицит мышечной силы наблюдался между конечностями при максимальной мышечной выработке силы при разгибании на 60 °/сек. и при разгибании на 180 °/сек, что является дополнительным фактором риска для получения мышечных повреждений бедра и травм капсульно-связочного аппарата коленного сустава как при работе в тренажерном зале, так и на поле при выполнении специфической работы. Исследование показало, что данный метод оценки является объективным и может быть использован для разработки профилактических мероприятий и в программах реабилитации у футболистов.

Ключевые слова: изокинетическое тестирование, динамометрия, мышечная сила, пиковый вращающий момент, юные футболисты.

(Для цитирования: Борисова А.В., Тахавиева Ф.В., Бутовский М.С. Использование диагностического комплекса Biodex в профилактике травматизма у спортсменов. Практическая медицина. 2023. Т. 21, № 3, С. 64–67)

DOI: 10.32000/2072-1757-2023-3-64-67

A.V. BORISOVA, F.V. TAKHAVIEVA, M.S. BUTOVSKY

Kazan State Medical University, Kazan

Biodex diagnostic complex for prevention of injuries in athletes

Contact details:**Borisova A.V.** — PhD (medicine), Assistant Lecturer of the Department of Neurology and Rehabilitation**Address:** 49 Butlerov St., Kazan, Russian Federation, 420012, **tel.:** +7 (843) 236-06-52, **e-mail:** doc-borisova@bk.ru

The purpose — to determine the strength of thigh muscles with maximum muscle workout of extension and flexion in football players of a youth football league.

Material and methods. The study group included 60 athletes of a youth football league aged 14–17 y. o. They were examined on a Biodex 4 Pro robotic complex, flexion and extension of knee joints alternately at a speed of 60 °/sec and 180 °/sec.

Results. The greatest deficit between the lower extremities was found when the knee joint was extended at 60 °/sec and amounted to 19.33%. When the knee joint was flexed at 60 °/sec, the deficit between the limbs was 10.4, which is acceptable, but requires correction. When bending the knee joint at a speed of 180 °/sec, the deficit of muscle strength was 12%, which is also an additional risk factor for injury when working for «endurance». When bending at a speed of 180 °/sec, the deficit was minimal and amounted to 4.3%, which is a variant of the norm.

Conclusion. In young football players, the maximum deficit of muscle strength was observed between the extremities with maximum muscle workout in extension by 60 °/sec and by 180 °/sec, which is an additional risk factor for getting muscle damage in the hip and

injuries to the capsule-ligamentous apparatus of the knee joint, both when working in the gym and on the field when performing specific work. The research showed that this assessment method is objective and can be used to develop prophylaxis measures and in rehabilitation programs for football players.

Key words: *isokinetic testing, dynamometry, muscle strength, peak torque, young football players.*

(For citation: Borisova A.V., Takhavieva F.V., Butovsky M.S. Biodex diagnostic complex for prevention of injuries in athletes. Practical medicine. 2023. Vol. 21, № 3, P. 37–41)

Изокинетическое тестирование имеет клинические средства управления, такие как изолирование определенных мышечных групп, определение типов мышечного сокращения, диапазона движения, приспособление сопротивления [1, 2]. Можно также изолировать отдельную группу мышц для ее оценки. Это легко сделать, выбирая определенные типы мышечного сокращения, что позволяет оценивать концентрические и эксцентрические компоненты мышц [3].

Диапазон движений (ROM — range of motion) — заданная амплитуда движений. Управляя ROM, тестирования и упражнения могут выполняться в области ROM, свободной от боли.

Приспосабливаемое сопротивление, предлагаемое системой, — это пики и впадины кривой силы. Боль пациента или его «слабые» места в диапазоне движений представлены на кривой вращающего момента как понижение (рис. 1).

Изокинетика определяет параметры функционирования мышц. Определенная группа мышц может быть оценена по следующим параметрам:

1. Максимальный вращающий момент — максимальная мышечная выработка силы, равная одному повторному максимальному усилию в изотонике.

2. Работа — наиболее функциональный параметр мышечной деятельности, поскольку работа — это вращающий момент, поддерживаемый определенное расстояние в случае активного тестирования, и вращающий момент, поддерживаемый определенное время в случае изометрического тестирования.

3. Энергия — насколько эффективно мышцы могут выполнять работу в течение определенного времени.

Принцип изокинетических упражнений и тестирований состоит в том, что плечо рычага движется с заданной фиксированной скоростью, позволяя, таким образом, приспособлять сопротивление к усилиям, прилагаемым субъектом, то есть сопротивление всегда будет равно усилиям субъек-

та. Установки скорости плеча рычага позволяют динамометру осуществлять измерения выработки вращающего момента пациентом через диапазон движения (ROM). Изокинетическое тестирование отличается от ручного статического мышечного, а также от изотонического тестирования, которые измеряют силу в максимальной точке ROM и зависят от скорости движения. Изокинетическое сопротивление приспособляется к боли, усталости, изменениям кривой напряжения и биомеханической силы мышц, что позволяет выполнять безопасные и эффективные упражнения и тестирования.

Благодаря приспособляющемуся сопротивлению мышцы задействованы по всему ROM, а сопротивление пациента равно усилию, которое он прикладывает, независимо от длины кривой напряжения, которая изменяется в зависимости от изотонической нагрузки или боли. Следовательно, изокинетические упражнения являются более безопасными и эффективными, по сравнению с изотоническими упражнениями, которые максимально нагружают мышцы в самых слабых точках. Кроме того, если пациент устает и не может дальше продолжать выполнение упражнений, он все еще должен выполнять упражнения с максимальным изотоническим сопротивлением, в отличие от изокинетического сопротивления, которое приспособляется к данной переменной [4, 5].

Для клинического применения и проведения тестирования важно запомнить один принцип изокинетики: выработка вращающего момента изменяется в зависимости от скорости [2]. Чем меньше заданная скорость, тем больше может быть концентрически произведено вращающего момента. Увеличение заданной скорости будет способствовать уменьшению выработки вращающего момента. На низкой скорости будет задействовано больше моторных единиц, чем на высокой скорости, что способствует большему производству вращающего момента. Одновременно, чем выше заданная скорость,



Рисунок 1. График кривой вращающего момента в диапазоне движения
Figure 1. Diagram of the curve of torque in the range of motion

тем больше вращающего момента будет выработано — это происходит благодаря эксцентричной мышечной физиологии. Низкой считается скорость от 2 до 180 °/сек, средней — 180–240 °/сек и высокой — 300–500 °/сек. Традиционно низкие скорости считаются «скоростями силы» (от 60 до 120°/сек), а высокие скорости (от 180 до 300°/сек) — «скоростями выносливости» [6].

Компрессионные и трансляционные силы сустава также изменяются в зависимости от скорости. У высокой скорости меньше компрессионных сил, чем у низкой. Например, при патологии пателло-фemorального сустава следует начинать с высокой скорости, чтобы уменьшить компрессионные силы, что защитит поверхность сустава и в результате чего пациент будет чувствовать себя более комфортно [7]. С другой стороны, при мультинаправленной неустойчивости плеча следует начинать с низкой скорости, чтобы компрессионные силы могли способствовать стабилизации плеча в суставной ямке. Низкая скорость должна использоваться с осторожностью или вообще быть исключена при реабилитации пациентов с несостоятельной передней крестообразной связкой или после операций [8].

Скорости надо учитывать и при анализе кривой: дефициты лучше видны при более низких скоростях [9]. Это происходит из-за того, что у мышц есть достаточно времени для пополнения моторными единицами и выработки вращающего момента, что способствует возникновению компрессионных и трансляционных сил, которые могут вызвать боль, или в случае с дефицитом передней крестообразной связки большеберцовой кости, при котором изменяется биомеханика сустава [10, 11]. Это становится очевидным, если кривая вращающего момента убывает. На высоких скоростях часто возникают помехи. Это происходит из-за того, что плечо рычага замедляется перед остановкой, вызывая резкое повышение кривой вращающего момента в конце ROM. Такое резкое повышение можно принять за максимальное значение вращающего момента [4, 10].

Так как пациент фактически должен «поймать» устройство, чтобы развить сопротивление, изокинетические упражнения имеют следующие положительные эффекты:

1. Время, необходимое для развития напряжения (TRTD — Time Rate of Tension Development) — угол наклона кривой. Показывает, насколько быстро может быть выработан вращающий момент во время сокращения мышц. Пример: вращающий момент в 20 сек.

2. Уменьшение реципрокного времени иннервации (RIT — Reciprocal Innervation Time) — временной интервал между окончанием мышечного сокращения агониста и началом мышечного сокращения антагониста. Например, время между окончанием четырехглавой мышцы и началом сокращения подколенного сухожилия.

3. Укрепление мышечно-сухожильных соединений происходит при выполнении любых упражнений на сопротивление, поскольку тело приспосабливается к требованиям [2].

В группу исследования вошли спортсмены юношеской футбольной лиги 14–17 лет (ЮФЛ-1, ЮФЛ-2, ЮФЛ-3) в количестве 60 человек (этап спортивного совершенствования). Им проводилось обследование на роботизированном комплексе Biodex 4 Pro, сгибание-разгибание в коленных суставах поочередно на скорости 60 и 180 °/сек. Перед исследованием все спортсмены проходили активацию на велотренажере в течение 10 мин, с частотой оборотов 55–65 в мин. Скорость 60 °/сек отражает силу мышц при работе в тренажерном зале. Скорость 180 °/сек отражает силу мышц при специфической работе (например, скоростной дриблинг, спринты в футболе). Результаты исследования представлены в табл. 1.

Как видно из представленной таблицы, наибольший дефицит между нижними конечностями был выявлен при разгибании коленного сустава в 60 °/сек и составил 19,33%, при таком дефиците риск получения травмы при выполнении силовой работы будет значительно выше, при сгибании коленного сустава на скорости 60 °/сек дефицит между конечностями составил 10,4%, что является допустимым, но требует коррекции. При сгибании коленного сустава на скорости 180 °/сек дефицит мышечной силы составил 12%, что также является дополнительным фактором риска для получения травм при работе на «выносливость», при сгибании на скорости 180 °/сек дефицит был минимальным и составил 4,3%, что является вариантом нормы.

Таблица 1. Пиковый вращающий момент коленного сустава на сгибании и разгибании 60 и 180°/сек

Table 1. Peak torque of a knee joint in flexion and extension 60°/sec and 180°/sec

	Правая нога	Левая нога	Дефицит
Пиковый вращающий момент разгибание 60 °/сек максимальная мышечная выработка силы при разгибании	134,7 (45,5)	144,3 (41,7)	19,33%
Пиковый вращающий момент сгибание 60 °/сек максимальная мышечная выработка силы при сгибании	80,0 (31,1)	82,6 (25,9)	10,4%
Пиковый вращающий момент разгибание 180 °/сек	91,5 (27,4)	99,3 (25,3)	12%
Пиковый вращающий момент сгибание 180 °/сек	64,4 (18,8)	65,1 (15,1)	4,3%



Как показали результаты исследования, у юншей максимальный дефицит мышечной силы наблюдался между конечностями при максимальной мышечной выработке силы при разгибании на 60 °/сек и при разгибании на 180 °/сек, что является дополнительным фактором риска для получения мышечных повреждений бедра и травм капсульно-связочного аппарата коленного сустава как при работе в тренажерном зале, так и на поле при выполнении специфической работы, именно поэтому в преактивацию и программы реабилитации необходимо включать упражнения на укреплению 4-главой мышцы бедра и мышц группы хамстринг [12].

Борисова А.В.

<https://orcid.org/0000-0002-6786-0510>

Тахавиева Ф.В.

<https://orcid.org/0000-0002-7387-8944>

Бутовский М.С.

<https://orcid.org/0000-0003-1295-9457>

Литература

1. Andrade Mdos S, DeLira C.A., Koffes F. de C., Mascarin N.C., Benedito-Silva A.A., DaSilva A.C. Isokinetic hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio: the influence of sport modality, gender, and angular velocity // *J Sports Sci.* — 2012. — Vol. 30 (6). — P. 547–553.
2. Biodex Medical Systems I. System 4 Pro Application / Operation Manual.
3. Bjordal J.M., Arnly F., Hannestad B., Strand T. Epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in soccer // *Am J Sports Med.* — 1997. — Vol. 25 (3). — P. 341–345.
4. Schwartz F.P., Bottaro M., Celes R.S., Brown L.E., Nascimento F.A. The influence of velocity overshoot movement artifact on isokinetic knee extension tests // *J Sports Sci Med.* — 2010. — Vol. 9 (1). — P. 140–146. PMID: 24149398; PMCID: PMC3737959.
5. Findley B., Brown L., Whitehurst M., Keating T., Murray D., Gardner L. The influence of body position on load range during isokinetic knee extension / flexion // *J Sports Sci Med.* — 2006. — Vol. 5 (3). — P. 400–406. PMID: 24353457; PMCID: PMC3842140.
6. Boden B.P., Dean G.S., Feagin J.A.Jr., Garrett W.E.Jr. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury // *Orthopedics.* — 2000. — Vol. 23 (6). — P. 573–578.
7. Chantrelle M., Menu P., Gernigon M., Louquet B., Dauty M., Fouasson-Chailloux A. Consequences of Patellar Tendinopathy on Isokinetic Knee Strength and Jumps in Professional Volleyball Players // *Sensors (Basel).* — 2022. — Vol. 22 (9). — P. 3590. DOI: 10.3390/s22093590 PMID: 35591280; PMCID: PMC9105239.
8. Lim S.N., Chai J.H., Song J.K., Seo M.W., Kim H.B. Comparison of nutritional intake, body composition, bone mineral density, and isokinetic strength in collegiate female dancers // *J Exerc Rehabil.* — 2015. — Vol. 11 (6). — P. 356–362. DOI: 10.12965/jer.150244 PMID: 26730387; PMCID: PMC4697785.
9. Osternig L.R. Isokinetic dynamometry: implications for muscle testing and rehabilitation // *Exerc Sport Sci Rev.* — 1986. — Vol. 14. — P. 45–80. PMID: 3525192.
10. Alentorn-Geli E., Myer G.D., Silvers H.J., Samitier G., Romero D., Lazaro-Haro C. et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* — 2009. — Vol. 17 (7). — P. 705–729.
11. Allen N., Nevill A., Brooks J., Koutedakis Y., Wyon M. Ballet injuries: injury incidence and severity over 1 year // *J Orthop Sports Phys Ther.* — 2012. — Vol. 42 (9). — P. 781–790.