

## ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОКИНЕТИЧЕСКИХ ДИНАМОМЕТРОВ В РЕАБИЛИТАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ ПОСЛЕ ТРАВМ И ОПЕРАЦИЙ КОЛЕННОГО СУСТАВА

**В.В. Петрова\*, А.В. Хан, С.Е. Назарян, П.А. Шулепов, М.С. Петрова**

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна», Москва

## ISOKINETIC DYNAMOMETERS IN THE REHABILITATION AND RECOVERY OF HIGHLY QUALIFIED ATHLETES AFTER KNEE JOINT INJURIES AND SURGERIES

**V.V. Petrova\*, A.V. Khan, S.E. Nazaryan, P.A. Shulepov, M.S. Petrova**

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Russia, Moscow

\* E-mail: stotesto@gmail.com

### Аннотация

В статье приведены сведения о различных подходах к практическому применению изокинетических динамометров (роботизированных биомеханических комплексов) на разных этапах реабилитационного процесса высококвалифицированных спортсменов после травм и операций коленного сустава. Обоснованы рациональность и необходимость применения роботизированных биомеханических комплексов у спортсменов. При этом обращает на себя внимание отсутствие методологического аппарата адекватных диагностических и реабилитационных методик. Не доработан вопрос о единых протоколах диагностического тестирования, уровень погрешности в измерениях у авторов имеет широкий диапазон, отсутствует единое мнение о критериях возврата к спортивной деятельности.

**Ключевые слова:** изокинетические тренировки, биомеханические комплексы, роботизированная биомеханика, спортсмены, травмы коленного сустава.

### Abstract

The article is an analytical literature review on the application of isokinetic dynamometers (robotic biomechanical complexes) at various rehabilitation stages of highly qualified athletes after injuries and surgeries in the knee joint. The authors have grounded the reasonability of their application in athletes. At the same time, the authors draw attention to the lack of methodological component for adequate diagnostic and rehabilitation techniques. Unified diagnostic testing protocols have not been developed yet. There is a bias dispersion in various authors as well as there is no common opinion on the criteria for athletes to resume their sports activity.

**Keywords:** isokinetic training, biomechanical complexes, robotic biomechanics, athletes, knee joint injury.

*Ссылка для цитирования: Петрова В.В., Хан А.В., Назарян С.Е., Шулепов П.А., Петрова М.С. Применение изокинетических динамометров в реабилитации и восстановлении высококвалифицированных спортсменов после травм и операций коленного сустава. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2023; 4: 69–72.*

### Введение

Одной из основных задач спортивной медицины является увеличение функциональных резервов организма спортсмена, а медицинская реабилитация как часть спортивной медицины одной из своих задач предполагает восстановление спортсмена в кратчайшие сроки с минимальными потерями в уровне показателей функционального состояния и физической работоспособности.

Подготовка высококвалифицированных спортсменов представляет собой сложный многолетний и многоэтапный процесс спортивного совершенствования. Современный спорт характеризуется значительной интенсификацией тренировочного процесса, высокой конкуренцией на международной спортивной арене, все более сложными условиями достижения каждого нового спортивного рекорда и сопряжен с опасностью травматизма спортсмена, а правильная организация медико-биологического обес-

печения тренировочного и восстановительного циклов служит залогом снижения частоты травм и заболеваний в спорте.

Распространенными травмами колена являются переломы, вывихи, надрывы и разрывы связок, травмы менисков. Переломы могут произойти в любой из костей вокруг колена. Наиболее часто встречающимися являются переломы надколенника, хотя концы большеберцовой и бедренной костей также могут быть сломаны. Переломы колена в спорте могут быть вызваны неудачным падением или резким ударом по колену.

Технический прогресс дает возможность включения новых методик в практику лечения различных заболеваний. В настоящее время спортивную биомеханику рассматривают с позиций физики, что позволяет использовать новые подходы и методики в лечении спортивных травм.

## Материалы и методы

Проведен анализ данных практического применения изокинетических динамометров и роботизированных комплексов у пациентов с травмой колена, особое внимание уделялось изокинетическому тестированию в спорте и реабилитации после травм коленного сустава у спортсменов.

## Обсуждение

На протяжении последних двух десятилетий применение изокинетических динамометров (роботизированных биомеханических комплексов) на различных этапах реабилитационного процесса становится все более популярным в спортивной медицине, исследованиях и научных работах в различных ее областях (от диагностики до прогноза функциональной готовности) [5].

Мануальное мышечное тестирование (ММТ) как вид исследования имеет определенные плюсы: просто в использовании, легко выполнимо, не требует применения сложных методов измерения, неэнергозатратно. Несмотря на достаточное количество положительных сторон, у этого вида оценки остаются существенные минусы: субъективность оценки, отсутствие четких критериев проведения, оценки и интерпретации полученных результатов, невозможность сравнения и т.д. С развитием научно-технического прогресса и критическим переосмыслением значения и влияния состояния мышечного аппарата на стабильность суставного аппарата появилась надобность в объективизации полученных результатов и данных. Так, специалисты, заинтересованные в объективности и правильной интерпретации данных, ввели в свою практику ручные динамометры. Таким образом, ММТ при оценке силы мышцы эволюционировало и смогло приобрести достаточную объективность. Ручные динамометры обеспечивают количественное измерение силы. Они считаются простыми в использовании, имеют компактные размеры. Общая доступность этих устройств оправдывает их дальнейшее широкое применение в практике специалистов, но достоверность ручных динамометров для измерения силы нижних конечностей сильно отличается. Например, В.М. Kelln и соавт. [2] сообщают о стандартной ошибке измерения, выраженной в процентах от средней стандартной погрешности измерения, 4% при оценке силы сгибателей колена, в то время как Т.В. Lu и соавт. [3] сообщают о 14% стандартной погрешности измерения. Аналогично в отношении оценки силы отводящих мышц бедра, где В.М. Kelln и соавт. [2] приводят стандартную погрешность измерения только в 1%, тогда как С.М. Arnold и соавт. [4] сообщают о 21% стандартной погрешности измерения. Таким образом, с помощью метода оценки силы мышц специалист может получить объективные цифры генерируемого усилия мышц и соотносить их с контралатеральной стороной. К несомненным плюсам данного вида измерений также относятся следующие: относительная дешевизна, простота и удобство в использовании, объективность получаемых данных. Несмотря на все перечисленные положительные свойства этого вида измерений, оно имеет существенные недостатки: непосредственная привязка получаемых данных к определенному углу флексии в обследуемом суставе с отсутствием возможности переноса данных на

всю амплитуду активного движения в суставе, высокая цена на хэндхелд-динамометры и другое необходимое оборудование в сравнении с таковым для классического ММТ, а главное – влияние на конечный результат тестирования силового дисбаланса между тестируемым пациентом и специалистом [1].

Таким образом, изометрическое тестирование с помощью ручных динамометров, несмотря на их распространенность, не может претендовать на роль «золотого стандарта» диагностики состояния опорно-двигательного аппарата.

Благодаря надежным результатам испытаний, особенно для мышц нижних конечностей, изокинетические динамометры стали главным претендентом на звание «золотого стандарта» диагностики для проведения оценки мышечной силы [6], главным образом потому, что на показатели не влияет дисбаланс сил между участником и экзаменатором, благодаря чему максимальный крутящий момент может поддерживаться на протяжении всего диапазона движения [7]. Действительно, изокинетические динамометры позволяют получить механически достоверные и надежные результаты измерения крутящего момента и скорости движения как для клинических, так и для исследовательских целей [8], но из-за высокой стоимости этих устройств возможность их широкого применения в клинической практике ограничена. Несмотря на то что большая часть авторов считает этот вид исследования «золотым стандартом» диагностики состояния опорно-двигательного аппарата, у многих из них отмечены различия в стандартной погрешности измерения (standard measurement error, SEM, %).

В систематическом обзоре D.A. Lake и соавт. (2011) [9] оценивали различные терапевтические модальности в лечении пателлофemorального болевого синдрома коленного сустава, силу мышц нижних конечностей оценивали с помощью изокинетического динамометра. По результатам тестирования, проведенного в значительной популяции бегунов, было обнаружено, что снижение силовых показателей мышц – разгибателей колена имеет прямую корреляцию с возникновением пателлофemorального болевого синдрома. В систематическом обзоре, опубликованном F.R. Noyes и соавт. (2012) [10], рассматривали программы профилактики травматизма передней крестообразной связки (ПКС) коленного сустава, одним из инструментов оценки выступало изокинетическое тестирование мышц нижних конечностей участников. По результатам оценки у всех участников, прошедших один из трех вариантов программ, направленных на профилактику травматизации ПКС коленного сустава, отмечалось увеличение силы мышц – сгибателей колена, однако в обзоре отсутствуют данные о протоколе, по которому осуществлялось тестирование.

G.D. Abrams и соавт. (2014) [11] опубликовали систематическое ревью, где одним из методов оценки также выступало изокинетическое тестирование спортсменов, перенесших реконструктивную операцию на ПКС коленного сустава (функциональное тестирование, включающее оценку силы после реконструкции ПКС). Через шесть месяцев после операции ряд силовых параметров не достигал 80% по сравнению с интактной контралатеральной конечностью. Это было наиболее

распространено при изокинетическом тесте на разгибание колена как в группе «кость – сухожилие – кость» (bone – tendon – bone), так и в группе с аутотрансплантатом сухожилия хамстрингов. При сравнении всех пациентов наблюдался значительно больший дефицит значений в изокинетическом тестировании относительно мышц – разгибателей колена при различных угловых скоростях и нескольких временных точках после операции. Значительные различия наблюдались для изокинетических показателей мышц – сгибателей колена, демонстрирующих меньший дефицит (относительно разгибания) по сравнению с контралатеральной конечностью. При сравнении результатов групп по типу трансплантата дефицит силовых показателей сгибателей колена при угловых скоростях 60°/с и 180°/с был значительно меньше в группе с аутотрансплантатом bone – tendon – bone (97% и 99%) по сравнению с группами с аутотрансплантатом из сухожилия хамстрингов (87% и 91%) через год после операции ( $p = 0.002$  и  $0.015$ ). Не было обнаружено существенных различий в изокинетической силе растяжения между двумя группами в любой момент времени или при любой угловой скорости. Протоколы изокинетического тестирования включали скорости от 30°/с до 240°/с соответственно.

Даже при большом количестве опубликованных исследований, касающихся всех аспектов реконструкции ПКС, а также функционального тестирования после реконструкции ПКС, немногие клиницисты используют объективные данные при определении возврата в спорт и нет единого обоснованного консенсуса в отношении того, когда спортсмену можно вернуться к неограниченному соревновательному режиму.

В недавнем систематическом обзоре S.D. Barber-Westin и соавт. [12] изучили 264 исследования последних 10 лет с описанием возвращения к спорту после первичной реконструкции ПКС. Из числа этих исследований только в 13% случаев описаны объективные критерии для возвращения в спорт, в 40% не приведены никакие критерии, в 32% использован только критерий времени, прошедшего после оперативного вмешательства, и в 15% изученных исследований в качестве критерия использовано время, прошедшее после операции, в комбинации с субъективными оценками функционального состояния пациентов.

Ряд исследователей применяли изокинетическое тестирование с целью прогнозирования травмирования у спортсменов. В систематическом обзоре, выполненном A. McCall и соавт. [13], оценивали факторы риска и методы скрининга и профилактики травм нижних конечностей. В качестве факторов риска были определены предшествующие травмы, усталость, мышечный дисбаланс; методами скрининга служили FMT (functional movement screen), опросники, изокинетическое тестирование мышц-агонистов нижних конечностей; в качестве профилактики – упражнения в эксцентрическом режиме сокращения, упражнения на баланс и проприоцепцию. Текущие результаты исследований по изокинетическому мышечному тестированию для определения риска повреждения подколенного сухожилия у профессиональных футболистов ограничены и неубедительны. Кроме того, недостаточно доказательств для верификации изокинетического тестирования мышц как метода, позволяющего прогнозировать риск возникновения травм в других ча-

стях тела. Следовательно, отсутствуют четкие критерии протокола и рекомендаций по изокинетическому мышечному тестированию для возможности прогнозирования и выявления травм у профессиональных футболистов в настоящее время.

В 2018 г. V. Green [14] и соавт. провели систематический обзор, в котором оценивали прогностическую способность изокинетического тестирования относительно возникновения травм хамстрингов в будущем. Было включено 12 исследований, в которых зафиксировано 508 травм мышц хамстрингов у популяции спортсменов в 2912 человек. Изокинетические показатели сгибателей коленного сустава, разгибателей коленного сустава и разгибателей бедра исследовали при угловых скоростях в диапазоне 30–300°/с, в концентрических или эксцентрических режимах и относительных (Нм/кг) или абсолютных (Нм) мерах. Соотношения силы варьировались для различных скоростей в пределах 30–300°/с. По результатам метаанализа выявлен незначительный прогностический эффект для абсолютной (стандартизированное среднее отклонение, SMD =  $-0.16$ ,  $P = 0.04$ , 95%-ный доверительный интервал (95% ДИ) – от  $-0.31$  до  $-0.01$ ) и относительной (SMD =  $-0.17$ ,  $P = 0.03$ , 95% ДИ – от  $-0.33$  до  $-0.014$ ) эксцентрической силы сгибателей колена (60°/с). Никакая другая диагностическая скорость или коэффициент прочности не показали статистической значимости. Синтез наилучших доказательств, обнаруженных у более чем половины обследованных, имел умеренные или убедительные доказательства отсутствия связи с будущим повреждением сухожилия хамстрингов. Несмотря на отдельные данные о прогностической значимости эксцентрической силы сгибателей коленного сустава на медленных скоростях, роль и применение изокинетической оценки для прогнозирования риска повреждения сухожилия хамстрингов следует пересмотреть, особенно с учетом затрат и необходимости специальной подготовки.

E.Y.K. Ashigbi и соавт. провели систематический обзор [15], включающий 276 исследований; восемь исследований (от среднего до высокого качества) с участием 6140 пациентов были включены в окончательный анализ. Частота повторных травм, зарегистрированных во включенных исследованиях, варьировалась от 1.5 до 37.5%. В четырех исследованиях сообщалось о комбинации тестов на определение изокинетической силы четырехглавых мышц при различных скоростях и нескольких прыжковых тестах как прогнозирующих с различными величинами эффекта. В одном из исследований сообщено, что изокинетическое соотношение мышц – сгибателей коленного сустава и четырехглавой мышцы (уровень опасности = 10.6) является позволяющим прогнозировать фактором. В двух исследованиях сообщалось о функциональных опросниках (оценка травмы колена и остеоартрита и шкала кинезиофобии-11 в Тампе; отношение рисков – 3.7–13), а в одном исследовании выявлено, что кинетические и кинематические показатели во время прыжков по вертикали были прогностическими (отношение шансов – 2.3–8.4) для повторной травмы и/или будущей ревизионной операции. Исследователи пришли к выводам, что комбинации функциональных тестов с заранее определенными точками, используемых в качестве критериев возврата к спорту (Return-to-Sport, RTS), связаны со снижением числа развития повтор-

ных травм. Комбинация изокINETического тестирования и различных прыжковых тестов рекомендуется во время определения критериев, позволяющих вернуться в спорт.

N. Maniar и соавт. [14] изучили 28 исследований. В случае ранее травмированных конечностей продемонстрирован дефицит сразу по нескольким параметрам. Самая низкая изометрическая сила была отмечена спустя семь дней после травмы ( $d = -1.72$ ), но она не сохранялась далее; пассивный подъем прямой ноги был ограничен в нескольких временных точках после травмы (более 10 дней,  $d = -1.12$ ; 10–20 дней,  $d = -0.74$ ; 20–30 дней,  $d = -0.40$ ), но не через 40–50 дней после перенесенной травмы. Дефицит движения оставался после возвращения к спорту по результатам изокINETического тестирования (с угловой скоростью, равной  $60^\circ/\text{с}$ ,  $d = -0.33$ ) и силе сгибателей коленного сустава с обеих сторон ( $d = -0.39$ ). Традиционные соотношения силы/прочности подколенного сухожилия и четырехглавой мышцы также были значительно снижены после возвращения в спорт ( $60 : 60^\circ/\text{с}$ ;  $d = -0.32$ ;  $240 : 240^\circ/\text{с}$ ,  $d = -0.43$ ) и функциональные показатели ( $30 : 240^\circ/\text{с}$ ,  $d = -0.88$ ), но эти эффекты были противоречивы для разных методов измерения. После повреждения мышц – сгибателей коленного сустава острые изометрический и пассивный подъемы прямой ноги устраняются в течение 20–50 дней. Дефицит эксцентрических и концентрических соотношений силы и прочности сохраняется после возвращения в игру, но этот эффект последовательно не прослеживается во всех методах измерения. Гибкость и изометрическая сила должны контролироваться на протяжении всего периода реабилитации, но динамическая сила должна оцениваться во время и после возвращения спортивной деятельности.

### Заключение

Длительное время биомеханика оставалась в основном теоретической и экспериментальной наукой. Ее практическое применение в значительной мере сдерживалось несовершенством диагностической аппаратуры. Однако в последние годы достигнут значительный прогресс в этой области, что в перспективе будет способствовать включению биомеханики в процесс подготовки профессиональных спортсменов в качестве метода объективной оценки выполняемых движений и скорейшего возвращения в спорт.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

### Литература

1. Chamorro C. et al. Absolute reliability and concurrent validity of hand held dynamometry and isokinetic dynamometry in the hip, knee and ankle joint: systematic review and meta-analysis // *Open Med (Wars)*. – 2017. – No. 12. – P. 359–375.
2. Kelln B.M. et al. Hand-held dynamometry: reliability of lower extremity muscle testing in healthy, physically active, young adults // *J. Sport Rehabil.* – 2008. – V. 17. – No. 2. – P. 160–170.
3. Lu T.W. et al. Enhancing the examiner's resisting force improves the reliability of manual muscle strength measurements: comparison of a new device

- with hand-held dynamometry // *J. Rehabil. Med.* 2007. – V. 39. – No. 9. – P. 679–684.
4. Arnold C.M. et al. The reliability and validity of handheld dynamometry for the measurement of lower-extremity muscle strength in older adults // *J. Strength Cond. Res.* 2010. – V. 24. No. 3. – P. 815–824.
5. Campos C. et al. Validación y fiabilidad del dispositivo Haefni Health System 1.0 en la medición de la velocidad en el rango isocinetico // *Cuadernos de Psicología del Deporte*. 2014. – No. 14. – P. 91–98. DOI: 10.4321/S1578-84232014000200010.
6. Martin H.J. et al. Is hand-held dynamometry useful for the measurement of quadriceps strength in older people? A comparison with the gold standard Bodex dynamometry // *Gerontology*. 2006. – V. 52. – No. 3. – P. 154–159.
7. Meyer C. et al. Test-retest reliability of innovated strength tests for hip muscles // *PLoS One*. 2013. – V. 8. – No. 11. – P. e81149. DOI: 10.1371/journal.pone.0081149.
8. Drouin J.M. et al. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2004. – V. 91. – No. 1. – P. 22–29. DOI: 10.1007/s00421-003-0933-0.
9. Lake D.A. et al. Effect of therapeutic modalities on patients with patellofemoral pain syndrome: a systematic review // *Sports Health*. 2012. – V. 4. – No. 1. – P. 36–46. DOI: 10.1177/1941738111398583.
10. Noyes F.R. et al. Anterior cruciate ligament injury prevention training in female athletes: a systematic review of injury reduction and results of athletic performance tests // *Sports Health*. 2012. – V. 4. – No. 1. – P. 36–46. DOI: 10.1177/1941738111430203.
11. Abrams G.D. et al. Functional performance testing after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review Geoffrey // *Orthop. J. Sports Med.* 2014. – V. 21. – No. 2 (1). – P. 2325967113518305. DOI: 10.1177/2325967113518305.
12. Barber-Westin S.D. et al. Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction // *Arthroscopy*. 2011. – V. 27. – No. 12. – P. 1697–705. DOI: 10.1016/j.arthro.2011.09.009.
13. McCall A. et al. Injury risk factors, screening tests and preventative strategies: a systematic review of the evidence that underpins the perceptions and practices of 44 football (soccer) teams from various premier leagues // *Br. J. Sports Med.* 2015. – V. 49. – No. 9. – P. 583–589. DOI: 10.1136/bjsports-2014-094104.
14. Maniar N. et al. Hamstring strength and flexibility after hamstring strain injury: a systematic review and meta-analysis // *Br. J. Sports Med.* 2016. – V. 50. – No. 15. – P. 909–920. DOI: 10.1136/bjsports-2015-095311.
15. Ashigbi E.Y.K. et al. Return to sport tests' prognostic value for reinjury risk after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2020. – V. 52. – No. 6. – P. 1263–1271. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002246.