

ОЦЕНКА МЫШЕЧНЫХ УСИЛИЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ В ПЛЕЧЕВОМ СУСТАВЕ МЕТАТЕЛЕЙ КОПЬЯ

К.К. Бондаренко

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
г. Гомель, Беларусь*

Аннотация. При проведении исследований определялись параметры момента сил эксцентрического сокращения антагониста и концентрического сокращения агониста при выполнении метания копья в фазе финального усилия. Результаты исследования на основании оценки функционирования скелетным мышц, отражающей динамическую стабильность плечевого сустава во время метания копья в определённых диапазонах движения, способствовало подбору тренировочных упражнений для профилактики травмирования плеча.

Ключевые слова: *эксцентрическое и сокращение, ротация плеча, мышцы агонисты и антагонисты.*

Стабильность плечевого сустава в силу своей костной конфигурации в основном поддерживается связками и мышечно-сухожильными звеньями [7]. Метание копья требует хорошо скоординированных и синхронизированных действий мышц плеча. Повторяющиеся и сильные движения при выполнении метаний делают плечо уязвимым для травм [5]. Чрезвычайная разница в силе между группами мышц-агонистов и антагонистов в плече связана со скоростью движения в этом суставе [11].

Ранее были изучены соотношения мышечной силы агонистов и антагонистов при максимальном крутящемся моменте [13]. Кинезиологические и миометрические исследования дали описание роль мышц-агонистов, которые выполняют концентрическое сокращение для ускорения движения конечности. Мышцы-антагонисты создают эксцентрическое сокращение для замедления этой концентрической работы и предотвращения перегрузки сустава [12]. Эффективность метательного движения копья определяется адекватным соотношением силы эксцентрических мышц-антагонистов к силе концентрических мышц-агонистов и имеет решающее значение для динамической стабильности и оптимального функционирования [4, 8]. В этом случае для определения эффективности силовой производительности было бы целесообразно сравнивать группы мышц-антагонистов, сокращающихся эксцентрически, с группой мышц-агонистов, сокращающихся концентрически в диапазоне, в котором антагонист действует на торможение движения [9]. За исключением одного исследования, проведенного с участием игроков в бадминтон [15], нами не выявлено исследований об оценке силы вращающей манжеты плеча при выполнении спортсменами

вращательных движений с максимальными усилиями [3, 14].

Цель исследования заключалась в определении эксцентрических и концентрических усилий мышц и реакций в плечевом суставе при внутреннем и внешнем вращении во время выполнения метания копья.

Мышечные усилия определялись для мышц вращательной манжеты в процессе отведения руки с копьем перед выполнением финального усилия в метании при внутренней и наружной ротации плечевого сустава. Усилия мышц и реакций плечевого сустава рассчитывалось путём решения прямой задачи динамики верхней конечности [1]. Реакции в суставах определялись с помощью принципа Даламбера [6].

Суставная реакция определялась на основании принципа Даламбера, при помощи уравнения сил, приложенных к плечу и предплечью в системе координат XYZ (рис. 1). Видеоанализ движений выполнялся с помощью трёх видеокамер «Fastvideo-200» в трёх проекциях со скоростью видеосъёмки 200 к/с. Оценка видеogramм выполнялась в координатно-осевой проекции. Проводилось сравнение кинематических параметров движения плечевого сустава и оценивался характер угла поворота плечевых суставов в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Пиковое производство крутящего момента в выбранном конкретном диапазоне движений определялось для каждого испытуемого.

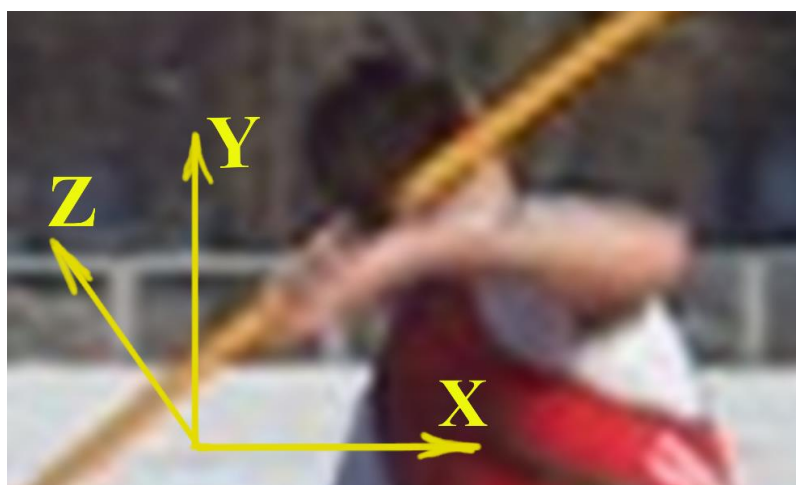


Рис. 1. Координатно-осевая проекция движения в плечевом суставе метателя копья

Аппроксимация функциональной динамики плеча и оценка концентрических и эксцентрических сил как для внутреннего, так и для внешнего вращения определялась в начальной точке движения в отклонении на 30^0 исследуемого движения. Эти значения были описаны как силы предельного диапазона. Чтобы смоделировать действие мышц, которое происходит в фазе выполнения броска, значения силы для внутренних вращателей плеча, сокращающихся эксцентрически (антагонист), и внешних вращателей, со-

кращающихся концентрически (агонист), определялись в диапазоне движения от 10^0 внутреннего вращения до 20^0 внешней ротации. Значения силы для эксцентрически сокращающихся внешних вращателей (антагонист) и концентрически сокращающихся внутренних вращателей (агонист) были определены в диапазоне 30^0 - 90^0 внутренней ротации. Значения концентрического внутреннего и внешнего вращения, а также эксцентрического внутреннего и внешнего вращения в конечных диапазонах во время изотонического движения плеча представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры максимального изотонического крутящегося момента ($H \cdot m$) плечевого сустава в фазе финального усилия метания копья при средней угловой скорости 110 рад/с

Движения		$x \pm \delta$
Наружная ротация	Эксцентрическое внутреннее	$77,8 \pm 6,4$
	Концентрическое наружное	$26,3 \pm 2,8$
Внутренняя ротация	Эксцентрическое наружное	$89,3 \pm 5,9$
	Концентрическое внутреннее	$73,5 \pm 6,1$

Оценка соотношения антагониста к агонисту определялось в конечных соотношениях диапазонов движения. Для внешнего вращения это относится к внутренним ротаторам, изменяющимся эксцентрически, для замедления концентрического усилия внешних ротаторов. И наоборот, для внутреннего вращения это относится к внешним вращающим элементам, изменяющимся эксцентрически, для замедления концентрического усилия внутренних ротаторов. Знание правильной биомеханики броска может способствовать минимизации травм и повышению эффективности метания [2]. Для понимания структуры движения бросок можно разделить на пять фаз: горизонтальное отведение плечевого сустава, внутреннее вращение, движение в локтевом суставе, сгибание лучезапястного сустава и освобождение копья. Правильность выполнения движения определяется выпуском копья через плечо метательной руки. [10]. Фаза горизонтального отведения плечевого сустава начинается с контакта стопы с опорой. Эта фаза заканчивается, когда рычаг плеча достигает максимального внешнего вращения. В точке максимального внешнего вращения, поскольку внешние мышцы-вращатели нагружены концентрически, внутренние мышцы-вращатели нагружаются эксцентрически и также упруго растягиваются. Когда туловище метателя вращается между моментом контакта стопы и максимальным внешним вращением, рука имеет тенденцию отклоняться в сторону от тела. Чтобы предотвратить отклонение, к плечу прилагается суставная сила, создаваемая сокращением мышц.

Управляющее движение руки обеспечивается за счёт высокого уровня эксцентрической силы внутренних вращающих мышц-антагонистов. По сравнению с концентрической силой мышц-агонистов, мышцы-

антагонисты способны эффективно управлять движением внешнего вращения при отведении руки и предотвратить чрезмерное напряжение мышц плечевого сустава. Это свидетельствует, что сила эксцентрического антагониста в момент торможения плеча может быть вдвое выше концентрического момента силы, и способствовать поддержанию стабильности плечевого сустава во избежание травмы вращающей манжеты плеча. Во время финального усилия, плечевой сустав получает чрезмерные нагрузки, которые часто приводят к различным травмам. Когда рычаг достигает максимального внешнего вращения, начинается фаза ускорения рычага. Эта фаза заканчивается выпуском копья. После выпуска копья происходит торможение движения плеча, требующее эксцентрического сокращений подлопаточной и надостной мышц для замедления движения руки.

Проведённое исследование позволило определить взаимодействие эксцентрического сокращения антагонистов и концентрического сокращения агонистов в финальном усилии метания копья. Результаты исследования показывают, что эксцентрическое действие внешних ротаторов обладает функциональной способностью обеспечивать значительную динамическую стабильность сустава во время быстрого и сильного внутреннего вращения плеча. Это же верно и для внутренних ротаторов при внешнем вращении. Анализ взаимодействия эксцентрически сокращающихся антагонистов и концентрически сокращающихся агонистов позволит определить наиболее эффективные тренировочные упражнения, для профилактики травматизма плеча метателя копья.

Литература

1. Акулич Ю.В. Методика определения усилий мышц и реакций в суставах при движении нижней конечности человека в реабилитационном тренажере / Ю.В. Акулич, Э.А. Зинатулин // Российский журнал биомеханики. – 2011. – Т. 15, № 2 (52). – С. 7-15.

2. Бондаренко К.К. Взаимосвязь кинематических параметров движения с риском травматизма в метании копья / К.К. Бондаренко, А.Е. Бондаренко, В.А. Боровая // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2019. – № 4 (30). – С. 13-21.

3. Бондаренко К.К. Влияние изменения кинематики движения в метании копья на риск получения травмы / К.К. Бондаренко, А.Е. Бондаренко, П.В.Примаченко // Гуманітарний вісник Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка : зб. наук. праць [ред. кол.; гол. ред. Л. М. Рибалко]. Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2019. Вип. 5-6. – С. 147-154.

4. Вайн А. Миометрия в диагностике функционального состояния скелетной мышцы / А. Вайн. – Тарту: [б. и.], 2002. – 38 с.

5. Оптимизация тренировочного процесса и реабилитации спортсменов на основе динамической контактной диагностики скелетных мышц / Ю.М.

Плескачевский [и др.] / Россия-Беларусь-Сколково: единое инновационное пространство : тезисы междунар. науч. конф. – Минск, 2012. – С. 124-125.

6. Определение усилий мышц и реакций в суставах при движении нижней конечности в тренажере с отягощениями / Ю.В. Акулич и [др.] // Российский журнал биомеханики. – 2004. – Т. 8, № 4. – С. 80-85.

7. Самсонова А.В. Изменение механических свойств скелетных мышц под влиянием физической нагрузки / А.В. Самсонова, М.А. Борисевич, И.Э. Барникова // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2017. – № 2 (144). – С. 221-224.

8. Шилько С.В. Неинвазивная диагностика механических характеристик мышечной ткани / С.В. Шилько, Д.А. Черноус, К.К. Бондаренко / Актуальные проблемы медицины: сборник научных статей Республиканской научно-практической конференции и 17-й итоговой научной сессии Гомельского государственного медицинского университета. 2008. – С. 161-164.

9. Шилько С.В. Обобщенная модель скелетной мышцы / С.В. Шилько, Д.А. Черноус, К.К. Бондаренко // Механика композитных материалов. – 2015. – Т. 51, № 6. – С. 1119-1134.

10. Примаченко П.В. Биодинамика узловых элементов положения тела в метании копья / П.В. Примаченко, К.К. Бондаренко / Спорт высших достижений: интеграция науки и практики: матер. III Междунар. науч.-метод. конф. / редкол.: Н.А. Красулина и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. – С. 157-162.

11. Примаченко П.В. Изменение положений звеньев тела метателей копья в фазе торможения / П.В. Примаченко, К.К. Бондаренко / Перспективы развития студенческого спорта и Олимпизма: сборник статей Всерос. с междунар. уч. научн.-практ. конф. студ. – Воронеж: ООО «РИТМ», 2020. – С. 259-263.

12. Примаченко П.В. Биомеханические параметры фазы торможения в метании копья / П.В. Примаченко, К.К. Бондаренко / Человек в мире спорта : матер. всерос. с междунар. уч. научн.-практ. конф.: в 2 ч. Вып. 16, ч. 2. – Санкт-Петербург: НГУ им. П.Ф. Лесгафта, 2020. – С. 47-51.

13. Wang H.K., Isokinetic performance and shoulder mobility in elite volleyball athletes from the United Kingdom / H.K. Wang, A. Macfarlane, T. Cochrane // J. Sports Med. – 2000. – № 34. – P. 39-43.

14. Meister K. Injuries to the shoulder in the throwing athlete / K. Meister // J. Sports Med. – 2000. – № 28 (2). – P. 265-275.

15. Ng, G.Y. A study of antagonist/agonist isokinetic work ratios of shoulder rotators in men who play badminton / G.Y. Ng, P.C. Lam // J. Orthop. Sports Phys. Ther. – 2002. – № 32 (8). – P. 399-404.