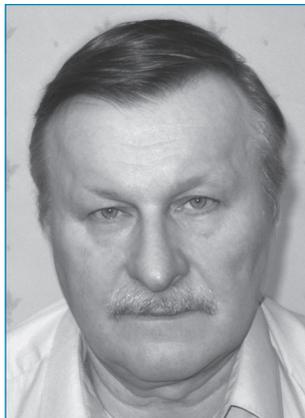


ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ МЫШЦ-СГИБАТЕЛЕЙ КОЛЕННОГО СУСТАВА

УДК/UDC 796.012.2

Поступила в редакцию 23.06.2023 г.



Информация для связи с автором:
voronov3057@gmail.com

Доктор биологических наук **А.В. Воронов¹**

А.А. Воронова¹

Доктор педагогических наук, профессор **П.В. Квашук^{1, 2}**

Аспирант **Н.Н. Соколов¹**

¹Федеральный научный центр физической культуры и спорта (ВНИИФК), Москва

²Московская государственная академия физической культуры, Москва

DETERMINING OPTIMAL EXERCISES FOR TRAINING THE KNEE FLEXOR MUSCLES

Dr. Biol. **A.V. Voronov¹**

A.A. Voronova¹

Dr. Hab., Professor **P.V. Kvashuk^{1, 2}**

Postgraduate student **N.N. Sokolov¹**

¹Federal Science Center of Physical Culture and Sport (VNIIFK), Moscow

²Moscow State Academy of Physical Culture, Moscow

Аннотация

Цели исследования – выявить оптимальные упражнения для тренировки мышц-сгибателей коленного сустава футболистов.

Методика и организация исследования. В эксперименте принял участие один футболист Академии ФК «Локомотив» (возраст – 16 лет, вес – 62 кг, длина тела – 165 см). Сравнивалась эффективность применения прыжковых упражнений, грузоблочного тренажера и упражнения «Нордические наклоны» для силовой тренировки BFCL. Электрическая активность мышц регистрировалась с помощью программно-аппаратного комплекса «СпортЛаб».

Результаты исследования и выводы. Было выявлено, что если в уступающем режиме мощность внешних сил достигает или превосходит уровень зависимости сила-скорость волокон *m. biceps femoris caput longus*, то возникают биомеханические условия получения травм. Также показано, что максимальная амплитуда сгЭМГ упражнения «Нордические наклоны» не превышает 500 мкВ при средней амплитуде 260 мкВ. По силовой нагрузке, оцениваемой по амплитуде сгЭМГ, упражнение почти в два раза менее эффективно, чем сгибание ног в коленном суставе на грузоблочном тренажере с весом отягощения в диапазоне 70-80% от веса.

Ключевые слова: футбол, электромиография, плечо силы, сила, математическое моделирование, скорость, коленный сустав, силовая тренировка, профилактика травмы, *m. biceps femoris caput brevis*, *m. biceps femoris caput longus*, hamstring.

Abstract

Objective of the study was to identify optimal exercises for training the knee flexor muscles of football players.

Methods and structure of the study. One football player of FC "Lokomotiv" Academy (age – 16 years, weight – 62 kg, body length – 165 cm). The effectiveness of the use of jumping exercises, a load-block simulator and the exercise "Nordic slopes" for strength training BFCL was compared. The electrical activity of the muscles was recorded using the "SportLab" software and hardware complex.

Research results and conclusions. It was found that if in the inferior mode the power of external forces reaches or exceeds the level of the force-velocity relationship of the fibers *m. biceps femoris caput longus*, then biomechanical conditions for injury arise. It has also been shown that the maximum amplitude of the sgEMG exercise "Nordic tilts" does not exceed 500 μ V with an average amplitude of 260 μ V. In terms of power load, assessed by the amplitude of the sgEMG, the exercise is almost two times less effective than bending the legs at the knee joint on a weight block machine with a weight in the range of 70-80% of the weight.

Keywords: football, electromyography, shoulder strength, strength, mathematical modeling, speed, knee joint, strength training, injury prevention, *m. biceps femoris caput brevis*, *m. biceps femoris caput longus*, hamstring.

Актуальность. Мышцы задней поверхности бедра *hamstring* (HAMS): *m. biceps femoris caput longus* (BFCL), *m. biceps femoris caput brevis* (BFCB), *m. semimembranosus* и *m. semitendinosus* часто травмируются. Травмы HAMS составляют от 6% до 29% всех травм в легкой атлетике, футболе, австралийском футболе, регби, баскетболе и крикете [14]. На BFCL приходится 80% травм от HAMS [4], вероятность получения повторной травмы составляет 30% [7]. По всем видам спорта с 2001 по 2013 годы число травм мышц задней поверхности бедра увеличилось на 4% [9].

В футбольных матчах на 1000 часов игры приходится в среднем 2% травм, из них от 5 до 15% травм приходится на HAMS [8]. По данным UEFA, на 1000 часов игр в профессиональном футболе, включая игры в лиге чемпионов, число травм достигает 30±11. Самой травмоопасной является Английская футбольная лига – число травм достигает 41,8±3,3 на 1000 часов игры, большинство травм приходится на мышцы задней поверхности бедра [17]. Одной из причин травм является дисбаланс между силами HAMS *m. gluteus maximus* и *m. quadriceps* [5, 15]. Определение эффективных упражнений и травмобезо-

пасных режимов занятий на грузоблочных тренажерах при силовой тренировке HAMS является актуальной задачей.

Для решения поставленных задач была зарегистрирована миоэлектрическая активность BFCL при различных видах прыжков, силовой тренировке на грузоблочном тренажере и выполнении упражнения – «Нордические наклоны».

Цели исследования:

1) сравнить миоэлектрическую эффективность применения прыжковых упражнений, грузоблочного тренажера и упражнения «Нордические наклоны» для силовой тренировки BFCL;

2) определить оптимальные углы при тренировке HAMS в коленном суставе на грузоблочном тренажере.

Методика и организация исследования. Регистрировали электрическую активность мышц (ЭМГ): BFCL с помощью телеметрической системы ПАК «СпортЛаб» на правой нижней конечности. Частота регистрации 1000 Гц, полоса фильтрации 15–500 Гц, входное сопротивление 1 GΩ, подавление синфазной помехи 110 дБ, коэффициент усиления сигнала 1000. Наводку 50 Гц программно вырезали полосно-пропускающим фильтром Баттерворта 4-порядка в диапазоне.

Особенности обработки ЭМГ. ЭМГ-сигнал программно инвертировали, убирали механическому методом скользящего среднего с временным окном 20 мс и сглаживали методом скользящего среднего с временным окном 50 м, т.е. анализировали амплитуду сглаженной электромиограммы (сгЭМГ) [2, 12, 13].

Контингент. В эксперименте принял участие один футболист Академии ФК «Локомотив» (возраст – 16 лет, вес – 62 кг, длина тела – 165 см). Участник эксперимента выполнял следующие упражнения:

– прыжки: «прыжок вверх с махом рук» (№ 1); прыжок в «глубину» (№ 2); прыжок на тумбу (высота 90 см, № 3); прыжки через барьеры (высота 70 см, № 4). Каждый вид прыжка испытуемый выполнял 3 раза;

– разгибание в тазобедренном суставе с сопротивлением резинового жгута (2 серии по 6 движений, упражнение № 5);

– силовая тренировка на грузоблочном тренажере – сгибание коленного сустава с увеличивающимся отягощением 40, 73 и 90% от веса тела (упражнения № 6, № 7, № 8). На каждом весе испытуемый выполнял 6 повторений;

– «Нордические наклоны» были выполнены в эксцентрическом режиме (3 упражнения, № 9).

Обсуждение результатов. В каждом упражнении рассчитывали по нескольким попыткам: среднее значение максимальной амплитуды сгЭМГ и среднее значение сгЭМГ за цикл движения. Максимальная амплитуда сгЭМГ BFCL ($BFCL_{max}^{сгЭМГ№7}$) достигается в упражнении № 7 – сгибание коленного сустава на тренажере отягощением 73% от веса тела и составляет $BFCL_{max}^{сгЭМГ№7} = 1100 \pm 164$ мкВ. Нормирован-

ли сгЭМГ BFCL в упражнениях № 1–9 на $BFCL_{max}^{сгЭМГ№7}$. Результаты расчетов представлены на рисунке 1.

Максимальная электрическая активность BFCL в прыжках не превышает 48% от величины $BFCL_{max}^{сгЭМГ№7}$ (№ 1–4). Увеличение внешнего сопротивления до 90% от веса тела снижает пик максимальной активности сгЭМГ на 20%, но увеличивает значение средней амплитуды сгЭМГ за цикл движения до 480 мкВ (83%) или на 22% (№ 8), по сравнению с упражнением № 7. Снижение максимальной амплитуды сгЭМГ при выполнении сгибания в коленном суставе с относительным весом 90%, происходит вследствие торможения мотонейронов BFCL комплексами Гольджи [1], а увеличение средней амплитуды сгЭМГ за цикл связано с тем, что при отягощении 90% снижается сила инерции грузоблочного тренажера, что увеличивает среднюю нагрузку на BFCL за цикл (№ 8).

Упражнение «Нордические наклоны» (№ 9) предлагается в многочисленных зарубежных статьях как основное силовое упражнение для тренировки силы HAMS [6, 11, 16]. Исследование ЭМГ HAMS показало, что максимальная амплитуда сгЭМГ не превышает 500 мкВ при средней амплитуде 260 мкВ, что соответствует 46% и 24% от $BFCL_{max}^{сгЭМГ№7}$. По силовой нагрузке, оцениваемой по амплитуде сгЭМГ, это упражнение почти в два раза менее эффективно, чем тренировка на грузоблочном тренажере с весом отягощения в диапазоне 70–80% от веса (рис. 1).

Одним из недостатков занятий на «традиционных» грузоблочных тренажерах является высокая инерционность, что не дает возможность совершать движения в высоком темпе со стабильной нагрузкой. Добиться равномерности движения на грузоблочном тренажере, можно за счет включения в нагрузочный блок упругого элемента, демпфирующего ускорение [3]. Проведенные расчеты показали, при начальных углах сгибания в коленном суставе 170–175° возникают травмоопасные силы > 2000 Н – следствие малого плеча тяги HAMS в коленном суставе < 2,0 см. В диапазоне углов в коленном суставе 160–80° сила тяги меньше 1000 Н, что создает условия для тренировки силы HAMS на грузоблочных тренажерах без перенапряжения, как показано на рис. 2.

Выводы. На BFCL приходится 80% травм [4] мышц задней поверхности бедра. Одной из причин травм BFCL является то, что эта мышца является двусуставной. Ее длина, например при беге, увеличивается в фазах заднего толчка и начала маха. Дистальная часть мышцы, «опираясь» на голень, тянет ее вверх, одновременно удлиняя волокна в фазе завершения заднего толчка. После завершения отталкивания на проксимальном конце происходит сгибание в тазобедренном суставе (начало маха), что приводит к увеличению длины мышечных волокон BFCL в проксимальной части. Короткая головка BFCS, сокращаясь, осуществляет сгибание в коленном суставе, прикладывая силу в середине мышечного брюшка BFCL. Мышечные волокна BFCL под действием внешних и внутренних сил удлиняются. И если в уступающем режиме сила внешних сил достигает или превосходит уровень зависимости «сила-скорость» волокон BFCL, то возникают биомеханические условия возникновения травмы.

Одним из способов предотвращения травмы BFCL является силовая тренировка. Сравнительный анализ максимальной и средней электрической активности мышц в 9-ти упражнениях показал, что занятия на грузоблочном тренажере в диапазоне углов в коленном суставе 160–80° с внешней нагрузкой 70–75% от веса тела являются оптимальными для силовой тренировки мышц задней поверхности бедра. «Нордические наклоны», выполняемые в эксцентрическом режиме, обладают низкой эффективностью, по сравнению с тренировкой на грузоблочном тренажере. Как следует

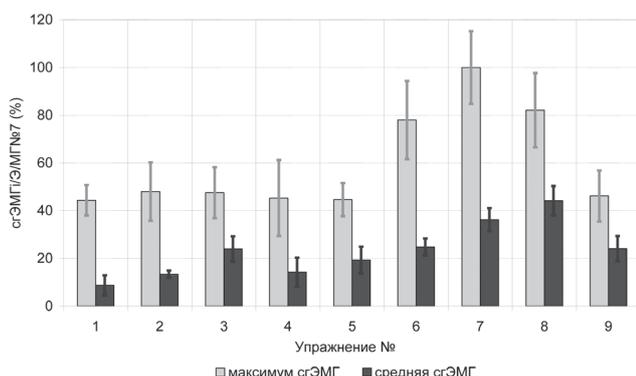


Рис. 1. Максимальная амплитуда сигнала сгЭМГ, среднее значение сгЭМГ в силовых упражнениях



Рис. 2. Силовая тренировка HAMs с учетом кинематических ограничений, рассчитанных по математической модели [3]. Слева направо: начальный угол в коленном суставе $\approx 160^\circ$ градусов; угол в коленном суставе $\approx 130^\circ$; максимум сгибания коленного сустава $\approx 80^\circ$

из результатов исследования, «Нордические наклоны» можно заменить прыжками, по двигательной адекватности, обладающие большим соответствием соревновательным действиям футболистов.

Авторы высказывают благодарность директору Академии ФК «Локомотив» А.Н. Щиголеву, Д. Д. Колтяпину, Е.М. Калинину, Г.К. Чилингоряну за помощь в организации исследования.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ФНЦ ВНИИФК № 777-00036-23-01 (код темы № 001-22/4).

Литература

1. Воронов А.В. Методика применения измерительных устройств с элементами обратной связи при скоростно-силовой тренировке конькобежцев / А.В. Воронов. – М.: Социально-политическая мысль, 2010. – 110 с.
2. Воронова А.А. Определение методами электромиографии мышечных групп, влияющих на результат в скоростном спортивном скалолазании / А.А. Воронова, А.В. Воронов, П.В. Квашук, Т.В. Красперова // Теория и практика физической культуры. – 2019. – № 12. – С. 24–26.
3. Современные подходы к применению тренировочных средств скоростно-силовой направленности и тренажеров в подготовке квалифицированных спортсменов в видах спорта с высоким проявлением силовых качеств отчет о НИР (промежуточный) / рук. А.В. Воронов, П.В. Квашук, А.А. Шпаков с соавт. // ВНИИФК. – М., 2022. – 274 с.
4. Bourne M.N., Opar D.A., Williams M.D. et al. Muscle activation patterns in the Nordic hamstring exercise: Impact of prior strain injury//Scand. J. Med. Sci. Sports. 2016. V. 26. Pp. 666–674.
5. Bourne M.N.; Williams M.D., Opar D.A. et al. Impact of exercise selection on hamstring muscle activation // Br. J. Sports Med. 2017. V. 51. Pp. 1021–1028.
6. Brent J., Raiteri B., Beller R., Hahn D. Biceps Femoris Long Head muscle fascicles actively lengthen during the Nordic Hamstring Exercise//Front Sports Act Living. 2021. V.3. 669813.
7. Dalton S.L., Kerr Z.Y., Dompier T.P. Epidemiology of Hamstring Strains in 25 NCAA Sports in the 2009–2010 to 2013–2014 Academic Years// Am. J. Sports Med. 2015. V. 43. Pp. 2671–2679.
8. Diemer W. M., Winters M., Tol J. L. Incidence of acute hamstring injuries in soccer: a systematic review of 13 studies involving more than 3800 athletes with 2 million sport exposure hours//J. Orthop. Sports Phys. Ther. 2021. Vol. 51. Pp. 27–36.
9. Ekstrand J., Waldén M., Hägglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA elite club injury study // Br. J. Sports Med. 2016. Vol. 50. Pp. 731–737.
10. Ekstrand J., Healy J. C., Waldén M. Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play // Br. J. Sports Med. 2012. Vol. 46. Pp. 112 – 115.
11. Çilli M., Yaşar M., Cakir O. Electromyographic responses to Nordic curl and prone leg curl exercises in football players//Physical Education of Students. 2021. V. 25. No. 5. Pp. 288–298.
12. Hermie J., Hermens H.J., Freriks B., Disselhorst-Klug C. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures//Journal of Electromyography and Kinesiology. 2000. V. 10. Pp. 361–374.
13. Massó N., Rey F., Romero D. et al. Surface electromyography applications in the sport//Apunts Med Esport. 2010. V. 45. No. 165) . P.121-130.
14. Mendiguchia J., Alentorn-Geli E., Brughelli M. Hamstring strain injuries: Are we heading in the right direction // Br. J. Sports Med. 2012. V. 46. Pp. 81–85.
15. McCurdy K.; Walker J.; Yuen D. Gluteus Maximus and Hamstring Activation During Selected Weight-Bearing Resistance Exercises//J. Strength Cond. Res. 2018. V. 32. Pp. 594–601.
16. Oliveira de T., Medeiros T., Vianna K. et al. A four-week training program with the Nordic hamstring exercise during preseason increase eccentric strength of male soccer player//Int J Sports Phys Ther. 2020 Aug. V. 15. No. 4. Pp. 571–578.
17. Walden M., Hägglund M., Ekstrand J. UEFA Champions League study: a prospective study of injuries in professional football during the 2001–2002 season //Br J Sports Med. 2005. Vol. 39. Pp. 542–546.

НОВЫЕ КНИГИ

ШИРИНЯН А.А. СПОРТИВНОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ: ПРАКТИКУМ ПО ТОПОГРАФИИ И ОРИЕНТИРОВАНИЮ НА МЕСТНОСТИ / А.А. ШИРИНЯН. – (ПОЛНОЦВЕТНАЯ ПЕЧАТЬ). – САНКТ-ПЕТЕРБУРГ: ЛАНЬ, 2023. – 48 С. – ISBN 978-5-507-44939-2.

Данное учебное пособие поможет в проведении теоретических занятий в секциях туризма, спортивного ориентирования, краеведения, топографии и картографии. Предназначено для студентов различных направлений подготовки (специальностей) высшего образования, в первую очередь, специалистов в области физической культуры и спорта по направлениям «Спортивный туризм» и «Спортивное ориентирование».