

УДК 796.015.6:796.122.2:612.741.4:611.731.5

Изменение упруго-вязких свойств скелетных мышц после воздействия тренировочных нагрузок в гребле на байдарках

Д.А. ХИХЛУХА

На основании проведенных исследований и анализа научно-методической литературы изучено влияние тренировочной и соревновательной деятельности на функциональное состояние скелетных мышц у юных гребцов. Выявлена нагрузочная деятельность, улучшающая упруго-вязкие свойства нервно-мышечной системы. Определены упражнения и их параметры, применение которых в методике подготовки юных спортсменов повышает функциональное состояние скелетных мышц.

Ключевые слова: скелетные мышцы, функциональное состояние, упруго-вязкие свойства, индекс жесткости, тренировочный процесс, юные гребцы.

On conducting the research and analyzing the scientific and methodical literature the author points out the influence of training and competitive activities on the functional state of young rowers' skeletal muscles. The loading activity that improves the elastic-viscous properties of the neuromuscular system was revealed. The exercises and their parameters, the use of which in the training methodology of young athletes increase functional state of skeletal muscles, were determined.

Keywords: skeletal muscles, functional state, elastic-viscous properties, stiffness index, training process, young rowers.

Введение. Развитие современного спорта обусловлено научно-техническим прогрессом, оказывающим влияние как на появление нового инвентаря, так и на внедрение современных средств и методов исследования различных процессов спортивной тренировки, что дает возможность ученым разрабатывать новые технологии, основанные на инновационных научных подходах. В системе подготовки выдвигается доскональное изучение всех аспектов тренировочного процесса с целью нахождения скрытых резервов, а также способов их эффективного применения в современных условиях.

Конкурентоспособность спортсмена в гребле на байдарках и каноэ зависит от способности организма спортсмена выполнять работу в субмаксимальной зоне мощности. В этом временном диапазоне организм гребца подвергается высоким нагрузкам, что предъявляет большие требования к функциональному состоянию скелетных мышц, так как именно скелетная мускулатура является непосредственным исполнителем двигательных действий.

Механизм мышечной усталости скелетных мышц связан с изменением их упруго-вязких свойств. Многочисленные зарубежные [1]–[4] и отечественные [5]–[12] исследования подтверждают, что по этим свойствам скелетных мышц можно дать заключение о степени утомления нервно-мышечной системы и времени восстановления ее функций. Снижение функционального состояния скелетных мышц, вызванное их повышенной усталостью, может приводить к нарушению техники соревновательного упражнения [5], [13]. В частности, влияют на кинематические характеристики гребкового движения в гребле на байдарках, что способствует снижению эффективности выполнения гребка и ухудшению спортивного результата [14].

В связи с этим достижение наивысших спортивных результатов невозможно без учета закономерностей адаптации скелетных мышц спортсменов к нагрузочной и соревновательной деятельности. Определение функционального состояния скелетных мышц и, при необходимости, повышение их уровня является важным фактором при подготовке спортсменов различной квалификации.

Целью исследования является разработка комплекса упражнений, повышающего функциональное состояние скелетных мышц.

Методика и организация исследования. Исследование проводилось в научно-исследовательской лаборатории физической культуры и спорта учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

В исследовании принимали участие 16 спортсменов (девушек) в возрасте от 15 до 17 лет, имеющих спортивную квалификацию первого взрослого разряда и кандидат в мастера спорта. Для определения функционального состояния скелетных мышц использовалась методика миоэлектрики. Сущность методики состоит в оказании внешнего, неинвазивного, механического воздействия на поверхность скелетной мышцы или ее части с последующей регистрацией механического ответа мышцы, полученного датчиком ускорения. Этот сигнал характеризует тоническое напряжение и свойства эластичности мышечной ткани в виде механических собственных колебаний, анализируется, регистрируется с помощью миометра «Myoton-3» и программного обеспечения анализа данных.

Принцип работы миометра заключается в вызове колебания исследуемой ткани, что является ответом на дозированный удар по мышце наконечником ударника миометра, установленного на поверхности исследуемой мышцы. Ударник миометра, производя удар, вызывает кратковременную деформацию ткани, в результате чего исследуемая мышца вместе с ударником выполняет свободные затухающие колебания. Данные мышечного колебания регистрируются и выстраиваются посредством графика, по которому можно дать заключение о тоне, жесткости, эластичности исследуемой мышцы.

Результаты и их обсуждение. Для разработки комплекса упражнений, повышающих функциональное состояние скелетных мышц, в начале сезона были протестированы скелетные мышцы, которые наиболее полно задействованы при выполнении тренировочной и соревновательной деятельности в гребле на байдарках, а также определена мышца с наименьшим средним показателем индекса жесткости по всей группе. Этой мышцей оказалась трехглавая мышца плеча. Измерение трехглавой мышцы плеча происходило в средней части латеральной головки. Оценка индекса жесткости производилась на основе ранее разработанных оценочных шкал функционального состояния скелетных мышц юных гребцов на байдарках [15]. 16 девушек были разделены на 2 подгруппы: 1-я подгруппа (контрольная) состояла из 8 человек с показателем индекса жесткости $0,32 \pm 0,06$ у.е.; 2-я подгруппа (экспериментальная) также состояла из 8 девушек со средним значением индекса жесткости по подгруппе $0,31 \pm 0,07$ у.е. Экспериментальная подгруппа выполняла специально подобранный комплекс упражнений в осенне-зимнем периоде подготовки (с ноября по февраль), когда минимум два раза в неделю занятия проходили в тренажерном зале.

Для определения упруго-вязких свойств скелетных мышц выбрано биомеханическое свойство скелетных мышц жесткость. Жесткость – это способность мышц оказывать сопротивление изменениям форм в результате воздействий внешних сил [4]. В ранее проведенных исследованиях установлено, что именно уровень жесткости может использоваться в качестве оценки мышечной усталости [2], [16], [17], обнаружения перегрузок и предотвращения травм [18]–[20].

Физиологически повышение жесткости мышцы связано с повышением ее силовых возможностей, что доказано в ряде исследований [4], [19], [21], [22]. В гребле на байдарках при прохождении соревновательной дистанции спортсмену необходимо проявлять высокий уровень именно силовых возможностей [23]. Поэтому использование жесткости как оценки функционального состояния скелетных мышц в гребле на байдарках является вполне обоснованным.

Ряд авторов отмечают, что наиболее ценная информация при оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарата представляет данные о соотношении показателей упруго-вязких свойств напряженной и расслабленной мышцы, так как это характеризует ее сократительную способность [8], [24], [25]. С улучшением функционального состояния нервно-мышечной системы повышается сократительная функция мышц, что проявляется в увеличении тонуса напряжения и уменьшении тонуса расслабления. Полученное соотношение характеризует работоспособность мышцы и скорость восстановительных процессов (транспорт кислорода, питательных веществ, продукты метаболизма). Утомление мышцы сопровождается возрастанием тонуса расслабления, снижением тонуса напряжения мышцы и, следовательно, уменьшением амплитуды, что свидетельствует об ухудшении ее функционального состояния. Получаемая информация дает возможность своевременно определить местное утомление и принять соответствующие меры (изменить режим тренировки, назначить соответствующие восстановительные процедуры и т. д.), что позволяет избежать патологических и патологических изменений в мышцах [25].

В нашем исследовании для определения эффективности комплекса упражнений использовался индекс жесткости, который, с одной стороны (как показатель жесткости мышцы), яв-

ляется предпосылкой для эффективного проявления силовых возможностей спортсмена, а другой (как индекс – соотношение показателей жесткости в расслабленном и напряженном состоянии), отражает работоспособность и скорость течения восстановительных процессов.

Выбор упражнений для разработки комплекса был основан на исследовании о влиянии тренировочной и соревновательной нагрузки на функциональное состояние скелетных мышц юных гребцов на байдарках [26]. Был проведен корреляционный анализ различных параметров нагрузочной и соревновательной деятельности с показателями миометрии, характеризующими функциональное состояние скелетных мышц. Установлено, что наибольшее положительное влияние на функциональное состояние скелетных мышц оказывают упражнения с отягощениями, выполняемые юными гребцами в осенне-зимнем периоде в тренажерном зале. Полученные результаты совпадают с исследованиями многих авторов, которые подтверждают, что использование в тренировочном процессе нагрузок силового характера способствует улучшению упруго-вязких свойств скелетных мышц [21], [22], [27], [28].

В связи с этим, для повышения функционального состояния скелетных мышц нами были использованы упражнения со штангой, гантелями, блочными тренажерами, собственным весом. Одним из преимуществ данных упражнений является возможность изолированно воздействовать на необходимую мышцу или группы мышц, а также дозировать нагрузку по различным параметрам (вес отягощения, интенсивность, количество повторений, подходов и период восстановления).

Для установления оптимальной ответной реакции скелетных мышц и периодичности выполнения разработанного комплекса мы исходили из исследования, проведенного К.К. Бондаренко в соавт. В 2008 г [7]. В данном исследовании с помощью методики миометрии измерялся мышечный тонус икроножной мышцы при выполнении упражнения по подъему на стопе на высоту 5 см в течение 30 сек. В ходе исследования установлено, что с 5-го подхода выполнения подъемов стопы наблюдается значительное повышение мышечного тонуса, выходящего за границы нормы.

При повышенном мышечном тонусе нарушается кровообращение и циркуляция лимфы, что приводит к сокращению объема кислорода, транспортируемого в единицу времени. Повышенный тонус скелетных мышц является источником дополнительного давления на суставные поверхности, что может являться причиной быстрого износа суставных тканей и, как следствие, возникновения травм [4].

Также в этом исследовании установлено, что снижение мышечного тонуса начинается через 72 часа, что согласуется с иностранными исследованиями, в которых восстановление упруго-вязких свойств нервно-мышечной системы после интенсивной физической нагрузки происходит на 3–5 сутки [1], [3].

При проведении нами тестирования миометром одного тренировочного занятия после применения разработанного комплекса упражнений были получены похожие результаты. После 4 подхода в первом упражнении идет незначительное уменьшение показателя индекса жесткости, а после второго – происходит более существенное его снижение.

Исходя из вышеприведенных исследований и анализа научно-методической литературы, разработан комплекс упражнений, который должен повысить функциональное состояние трехглавой мышцы плеча (таблица 1).

Таблица 1 – комплекс упражнений, направленный на повышение функционального состояния трехглавой мышцы плеча

№	Упражнения	Параметры нагрузки		
		Количество повторений ¹	Количество подходов	Время восстановления
1	Жим штанги узким хватом лежа на скамье	8–12	4	2–3 мин
2	Разгибание рук с рукояткой верхнего блока хватом сверху	8–12	4	2–3 мин
3	Разгибание рук лежа на скамье	8–12	4	2–3 мин
4	Разгибание одной руки с гантелью из-за головы сидя	12–15	4	1–2 мин
5	Отжимания от пола при узко расставленных ладонях ²	12–15	4	1–2 мин
6	Отжимания трицепсами спиной к скамье ²	12–15	4	1–2 мин

¹ – вес отягощения должен соответствовать необходимому диапазону повторений, исходя из своих физических и функциональных возможностей.

² – при невыполнении необходимого количества повторений в упражнениях со своим весом двигательное действие необходимо выполнять в облегченных условиях (с дополнительной опорой, помощью партнера и т. д.).

Комплекс упражнений гребцы экспериментальной группы выполняли на протяжении 4-х месяцев в осенне-зимнем (общеподготовительном) периоде подготовки, когда тренировочные занятия также проводились в тренажерном зале. Данный комплекс применялся два раза в неделю с перерывом между первым и вторым не менее 72 часов. При каждом использовании комплекса из списка выбирались по два упражнения и выполнялись по 4 подхода. Первое упражнение в разработанном комплексе занимает порядковый номер 1, 2 или 3 и направлено, в большей степени, на развитие силового потенциала и повторяется 8–12 раз. Второе (с 4 по 6 в списке) выполняется по 12–15 повторений с укороченной фазой восстановления и направлено на максимальное воздействие нагрузки на мышцу. Период восстановления между упражнениями составляет 3–5 мин. Первое и второе упражнение выбирается произвольно, исходя из минимального количества их сочетаний, т. е. комплекс состоит из упражнений 9 вариантов (3 первого и 3 второго, 9 возможных сочетаний), а затем повторяется.

После применения данного комплекса упражнений индекс жесткости в экспериментальной группе стал значительно выше контрольной (достоверность различий $p < 0,01$), (рисунок 1).

Исходя из разработанных ранее оценочных шкал функционального состояния трехглавой мышцы плеча [15], индекс жесткости после применения комплекса упражнений в экспериментальной группе значительно увеличился с «низкого» уровня со значением $0,31 \pm 0,07$ у.е. до «выше среднего» – $0,59 \pm 0,09$ у.е. В контрольной группе также произошел прирост индекса жесткости, но в меньшей степени: изначально значение соответствовало «низкому» уровню функционального состояния трехглавой мышцы плеча и составляло $0,32 \pm 0,06$ у.е., а через 4 месяца – $0,39 \pm 0,08$ у.е. что попадает под интервал уровня функционального состояния «ниже среднего» (таблица – 2).

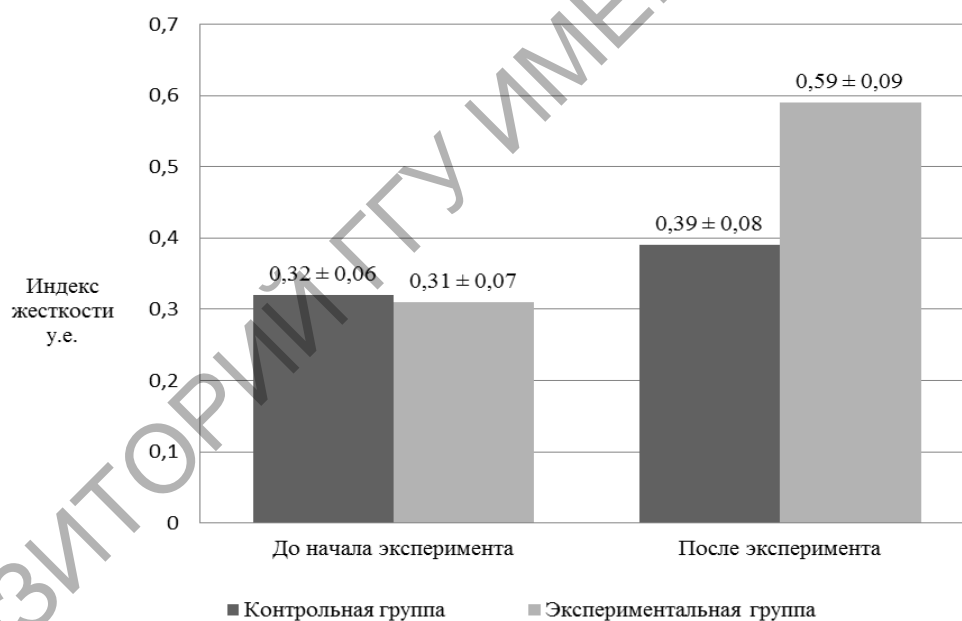


Рисунок 1 – Значение индекса жесткости до и после применения разработанного комплекса упражнений

Таблица 2 – Оценочная шкала функционального состояния скелетных мышц юных гребцов

Название мышцы	Параметры мышцы	Уровень функционального состояния мышцы				
		Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий
Трехглавая мышца плеча	Индекс жесткости (у.ед)	$< 0,37$	$0,37-0,45$	$0,46-0,54$	$0,55-0,62$	$> 0,62$

Заключение. Индекс жесткости как показатель упруго-вязких свойств скелетных мышц, характеризующий их функциональное состояние, может изменяться под воздействием применяемых средств и методов.

В результате применения разработанного комплекса упражнений значительно повышается функциональное состояние трехглавой мышцы плеча. Улучшение биомеханических показателей скелетных мышц положительным образом влияет на кинематические характеристики гребкового движения в гребле на байдарках, что приводит к более эффективному выполнению гребка и улучшению спортивного результата.

Используя результаты данного исследования, появляется возможность дать достоверное заключение о текущем состоянии спортсменов и, при необходимости, скорректировать тренировочный процесс нагрузкой определенной направленности, заранее зная, какое влияние она окажет на функциональное состояние скелетных мышц. В связи с этим, эффективность управления подготовкой юных гребцов на байдарках можно повысить посредством использования специально подобранных комплексов упражнений, основанных на функциональном состоянии скелетных мышц.

Разработанная методика подтверждает свою эффективность и может применяться в системе подготовки спортсменов различной спортивной квалификации.

Литература

1. Effect of post – exercise massage on passive muscle stiffness measured using myotonometry : A double – blind study / P. W. Kong [et al.] // *Journal of Sports Science and Medicine*. – 2018. – Nov 20. – Vol. 17, №4. – P. 599–606.
2. Klich, S. Viscoelastic Properties of Lower Extremity Muscles after Elite Track Cycling Sprint Events : A Case Report / S. Klich, I. Krymski, A. Kawczyński // *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*. – 2020. – Vol. 29, № 1. – P. 5–10.
3. Muscle passive stiffness increases less after the second bout of eccentric exercise compared to the first bout / D. Janecki [et al.] // *Journal of Science and Medicine in Sport*. – 2011. – Vol. 14, №4. – P. 338–343.
4. Vain, A. Role of skeletal muscle tone and elasticity in the workability restoration of male cross – country skiers / A. Vain // *Acta Academiae Olympique Estoniae*. – 2002. – № 10, 1. – P. 95–108.
5. Изменение кинематики гребка при утомлении скелетных мышц / К. К. Бондаренко [и др.] // *Российский журнал биомеханики*. – 2009. – Т. 13, № 2. – С. 24–33.
6. Бондаренко, К. К. Оптимизация тренировочных средств гандболистов на основе функционального состояния скелетных мышц / К. К. Бондаренко, А. П. Маджаров, А. Е. Бондаренко // *Наука і освіта*. – 2016. – № 8. – С. 5–11.
7. Измерение тонуса икроножной мышцы при динамической нагрузке стопы / К. К. Бондаренко [и др.] // *Биомеханика стопы человека : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 18–19 июня 2008 г. / ГНУ НИЦПР НАНБ ; редкол.: А. И. Свириденко (отв. ред.) [и др.]*. – Гродно : ГрГУ, 2008. – С. 53–55.
8. Нарский, Г. И. Особенности взаимосвязи текущего состояния моторного потенциала квалифицированных бегунов на короткие дистанции и направленности их тренировочного процесса / Г. И. Нарский, А. Г. Нарский, Е. П. Врублевский // *Здоровье для всех: научно-практический журнал*. – 2011. – № 1. – С. 41–44.
9. 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 (138). – С. 221–225.
10. Тиманин, Е. М. Теоретические и экспериментальные основы виброакустической вискоэластографии мягких биологических тканей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 01.02.08 / Е. М. Тиманин. – Нижний Новгород, 2007. – 28 с.
11. 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.
12. Шилько, С. В. Неинвазивная диагностика механических характеристик мышечной ткани / С. В. Шилько, Д. А. Черноус, К. К. Бондаренко / *Актуальные проблемы медицины : сб. науч. ст. Республиканской научно-практической конференции и 17-й итоговой научной сессии Гомельского государственного медицинского университета : в 4 т. ; редкол.: А. Н. Лызикив [и др.]*. – Гомель : ГоГМУ, 2008. – Т. 4. – С. 161–164.
13. Changes in the Stiffness of Thigh Muscles in the Left and Right Limbs During Six Weeks of Plyometric Training in Volleyball Players / D. Mroczek [et al.] // *Polish Journal of Sport and Tourism*. – 2018 – Vol. 25, № 2. – P. 20–24.

14. Влияние утомления мышц на кинематику движений при гребке на байдарке / К. К. Бондаренко [и др.] // Российский журнал биомеханики. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 48–55.
15. Хихлуха, Д. А. Определение функционального состояния скелетных мышц у юных гребцов / Д. А. Хихлуха, К. К. Бондаренко // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2018. – № 6 (111). – С. 36–39.
16. Clinical, biomechanical, and physiological translational interpretations of human resting myofascial tone or tension / A. T. Masi [et al.] // International Journal of Therapeutic Massage & Bodywork. – 2010. – Vol. 4, № 3. – P. 16–28.
17. The Effects of a Six – week Plyometric Training Program on the Stiffness of Anterior and Posterior Muscles of the Lower Leg in Male Volleyball Players / D. Mroczek [et al.] // Central European Journal of Sport Sciences and Medicine. – 2017. – Vol. 20, № 4. – P. 107–115.
18. Colomar, J. Influence of Strength, Power, and Muscular Stiffness on Stroke Velocity in Junior Tennis Players / J. Colomar, E. Baiget, F. Corbi // Front. Physiol. – 2020. – 11:196.
19. Lower extremity stiffness: considerations for testing, performance enhancement, and injury risk / J. Brazier [et al.] // J. Strength Cond. Res. – 2017. – Vol. 33. – P. 1156–1166.
20. The relationship between lower body stiffness and injury incidence in female netballers / E. C. Rodriguez [et al.] // Sports Biomechanics. – 2017. – Vol. 16, № 3. – P. 361–373.
21. Brughelli, M. A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping : methodology and implications / M. Brughelli, J. Cronin // Scand. J. Med. Sci. Sport. – 2008. – № 18. – P. 417–426.
22. Kalkhoven, J. T. The relationship between mechanical stiffness and athletic performance markers in sub – elite footballers / J. T. Kalkhoven, M. L. Watsford // J. Sports Sci. – 2018. – Vol. 36. – P. 1022–1029.
23. Корнилов, Ю. П. Основные направления организации силовой подготовки в гребле на байдарках и каноэ / Ю. П. Корнилов, Д. А. Брюханов, М. А. Опалев // Ученые записки ун-та им. П. Ф. Лесгафта. – 2016. – № 2 (132). – С. 99–102.
24. Влияние курса электростимуляции четырехглавой мышцы бедра на показатели миоэлектрографии в процессе восстановительного лечения спортсменов с пателлофemorальным артрозом / О. Н. Миленин [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова. – 2011. – Т. 6, № 3. – С. 86–88.
25. Спортивная медицина : курс лекций и практические занятия : учебное пособие / Н. Д. Граевская, Т. И. Долматова. – М. : Советский спорт, 2004. – 304 с. : ил.
26. Хихлуха, Д. А. Влияние нагрузочной деятельности на функциональное состояние скелетных мышц у юных гребцов / Д. А. Хихлуха, К. К. Бондаренко // Научные труды НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь. – 2011. – № 10. – С. 188–192.
27. Different Patterns in Muscular Strength and Hypertrophy Adaptations in Untrained Individuals Undergoing Nonperiodized and Periodized Strength Regimens / E. O. De Souza [et al.] // J. Strength Cond. Res. – 2018. – Vol. 32. – P. 1238–1244.
28. Sheehan, W. B. Examination of the neuromechanical factors contributing to golf swing performance / W. B. Sheehan, M. L. Watsford, E. C. Pickering Rodriguez // J. Sports Sci. – 2018. – Vol. 37. – P. 458–466.