

УДК 531/534: [57+61]

## Определение функционального состояния скелетных мышц у юных гребцов

Д.А. ХИХЛУХА, К.К. БОНДАРЕНКО

На основании проведенных исследований функционального состояния скелетных мышц юных гребцов были выявлены основные критерии их тонуса, жесткости и эластичности. Большое количество измерений данных показателей в различные периоды тренировочной деятельности дали возможность рассчитать оценочную шкалу девяти мышечных групп для юных гребцов на байдарке. Данная шкала оценки позволяет корректировать тренировочный процесс юных спортсменов в зависимости от характера восприятия предлагаемых тренировочных нагрузок скелетными мышцами.

**Ключевые слова:** скелетные мышцы, функциональное состояние, мышечный тонус, тренировочный процесс, шкала оценки.

Based on the studies of the functional state of the skeletal muscles of young rowers, the main criteria for their tone, stiffness and elasticity were revealed. A large number of measurements of these indicators in different periods of training activity made it possible to calculate the scoring scale of nine muscle groups for young rowers in a kayak. This scale of assessment allows adjusting the training process of young athletes, depending on the nature of the perception of the proposed training loads of skeletal muscle.

**Keywords:** skeletal muscles, functional state, muscle tone, training process, assessment scale.

Подготовка высококвалифицированных гребцов – многогранный целенаправленный процесс, в котором для повышения мастерства спортсменов и уровня их физической подготовленности должны быть задействованы в полной мере все компоненты подготовки. От широты получаемой информации различного характера (педагогической, медико-биологической, биомеханической и т. д.) во многом зависит качество тренировочного процесса и, следовательно, спортивный результат.

Управление тренировочной деятельностью должно базироваться на объективных данных о физическом и функциональном состоянии организма спортсмена. В этой связи появляется возможность определения модельных показателей всех сфер деятельности подготовки спортсменов, что служит основой для прогнозирования развития и становления спортивной формы, а также спортивного результата.

Определение текущего уровня функционального состояния организма спортсмена имеет первостепенное значение, так как раскрывает особенности влияния получаемой нагрузки на организм спортсмена, что позволяет сравнить текущие показатели с модельными и, при необходимости, своевременно скорректировать тренировочную программу.

Функциональное состояние скелетных мышц определяется их упруго-вязкими свойствами [1], [2]. Исследованиями различных авторов выявлены модельные показатели мышечной деятельности [3], [4], [5], [6]. На основании полученных данных определены факторы, влияющие на показатели вязкости мышцы, одним из которых является различная композиция мышечных волокон [7], [8]. В том числе высказывается мысль, что оценивание механических свойств скелетной мышцы должно осуществляться в расслабленном состоянии в целях исключения влияния напряжения на показатели упругости и вязкости [9].

Выявлено влияние изменения функционального состояния скелетных мышц на биомеханику движения спортсменов в различных видах спорта и, в частности, на кинематические характеристики гребка у гребцов на байдарке [10], [11], [12]. А также определено, что достижение наивысших спортивных результатов невозможно без учета закономерностей адаптации различных систем организма человека к нагрузочной деятельности и определения критериев оценки его функциональных возможностей.

Целью нашего исследования явилась разработка критериев оценки функционального состояния скелетных мышц юных гребцов на байдарке.

Исследование проводилось в течение годичного цикла в научно-исследовательской лаборатории физической культуры и спорта учреждения образования «Гомельский государ-

ственный университет имени Франциска Скорины» в рамках государственной программы научных исследований «Конвергенция-2020».

В исследовании принимали участие спортсмены в возрасте от 15 до 17 лет, имеющие спортивную квалификацию «Кандидат в мастера спорта». Периодичность тестирования определялась задачами этапов и проводилось один раз в три недели. Всего было проведено 147 тестирований спортсменов, на основании которых были разработаны оценочные шкалы функционального состояния групп мышц для данного контингента занимающихся.

Для определения функционального состояния скелетных мышц использовалась методика миометрии, определяющая мышечный тонус, эластичность, жесткость и силовой потенциал скелетной мышцы. Сущность метода 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 тонусе, жесткости, эластичности и силовом потенциале исследуемой мышцы.

Нами были выделены семь мышц, которые, по нашему мнению, наиболее полно задействованы при выполнении тренировочной и соревновательной деятельности в гребле на байдарках. Контролю подвергались следующие группы мышц: наружные косые мышцы живота (*Musculus obliquus externus abdominis*), прямые мышцы живота (*Musculus recti abdominis*), двуглавая мышца плеча (*musculus biceps brachii*), трехглавая мышца плеча (*musculus triceps brachii*), длинный лучевой разгибатель запястья (*Musculus extensor carpi radialis longus*), широчайшая мышца спины в крыловидных точках (*musculus latissimus dorsi*), грудная мышца (*musculus pectoralis major*).

Тестирование скелетных мышц проводилось в состоянии покоя и в напряженном состоянии в положении лежа. Каждый отдельный цикл в исследуемом режиме состоял из трех отдельных измерений в выбранной точке исследуемой мышцы. По завершении цикла измерений выбирался лучший результат из трех показателей.

Метаболические процессы в биологических тканях протекают по закономерностям физиологии и биомеханики. В результате физиологических процессов производятся компоненты крови в объемах, необходимых для нормального функционирования биологических тканей, обеспечения концентрации солей и ионов плазмы крови и состава белков. Поступление вышеупомянутых компонентов в каждую отдельную клетку биологической ткани в значительной мере зависит от тонуса, жесткости и эластичности данной биологической ткани.

Наиболее значимым при оценке функционального состояния скелетной мышцы является ее тонус, определяющий механическое напряжение, свойственное мышцам в состоянии покоя. Каждая скелетная мышца имеет характерный для нее уровень мышечного тонуса, соответствующий ее функциональным особенностям и независящий от волевых усилий. В зависимости от характера и направленности физических нагрузок наблюдаются изменения уровня мышечного тонуса, соответствующие повышению либо снижению данного показателя.

Жесткость – способность мышц оказывать сопротивление изменениям формы в результате воздействия внешних сил. Значение понятия жесткости мышц в случае спортивных достижений связано с действием мышц антагонистов при движении.

Эластичность (декремент затухания колебаний) – способность мышц восстанавливать первоначальную форму после окончания воздействия силы, деформирующей мышцы. Свойство эластичности характеризует условия кровоснабжения мышцы во время работы и способность увеличивать скорость движения. Чередование сокращений и расслаблений в процессе мышечной работы является одной из предпосылок для нормальной микро капиллярной циркуляции.

Показатели тонуса, эластичности и жесткости мышцы достаточно сильно различаются не только для разных мышц, но и для идентичных мышц у отдельных спортсменов, то есть в данном случае можно говорить об индивидуальной норме. Поэтому на основании полученных данных при проведении тестирований нервно-мышечного аппарата юных гребцов на байдарках нами были составлены оценочные шкалы функционального состояния семи мышц, выполняющих основную деятельность при гребле на байдарке (таблица).

Таблица – Оценочная шкала функционального состояния скелетных мышц юных гребцов

| Название мышцы                       | Параметры мышцы            | Уровень функционального состояния мышцы |               |           |               |         |
|--------------------------------------|----------------------------|---|---------------|-----------|---------------|---------|
|                                      |                            | Низкий                                  | Ниже среднего | Средний   | Выше среднего | Высокий |
| Наружные косые мышцы живота          | Мышечный Тонус (Гц)        | < 8,28                                  | 8,28–8,61     | 8,62–8,95 | 8,96–9,28     | > 9,28  |
|                                      | Индекс жесткости (у.ед)    | < 0,35                                  | 0,35–0,44     | 0,45–0,52 | 0,53–0,6      | > 0,6   |
|                                      | Индекс эластичности (у.ед) | < 0,98                                  | 0,98–1,09     | 1,1–1,2   | 1,21–1,31     | > 1,31  |
| Прямые мышцы живота                  | Мышечный Тонус (Гц)        | < 10,1                                  | 10,1–11,1     | 11,2–12,2 | 12,3–13,2     | > 13,2  |
|                                      | Индекс жесткости (у.ед)    | < 0,39                                  | 0,39–0,6      | 0,61–0,81 | 0,82–1,01     | > 1,01  |
|                                      | Индекс эластичности (у.ед) | < 0,97                                  | 0,97–1,04     | 1,05–1,12 | 1,13–1,19     | > 1,19  |
| Двуглавая мышца плеча                | Мышечный Тонус (Гц)        | < 9,61                                  | 9,61–10,3     | 10,4–11   | 11,1–11,6     | > 11,6  |
|                                      | Индекс жесткости (у.ед)    | < 0,4                                   | 0,41–0,51     | 0,52–0,62 | 0,63–0,73     | > 0,73  |
|                                      | Индекс эластичности (у.ед) | < 1,21                                  | 1,21–1,35     | 1,36–1,5  | 1,51–1,64     | > 1,64  |
| Трехглавая мышца плеча               | Мышечный Тонус (Гц)        | < 10,1                                  | 10,1–10,9     | 11–11,7   | 11,8–12,6     | > 12,6  |
|                                      | Индекс жесткости (у.ед)    | < 0,37                                  | 0,37–0,45     | 0,46–0,54 | 0,55–0,62     | > 0,62  |
|                                      | Индекс эластичности (у.ед) | < 0,99                                  | 0,99–1,11     | 1,12–1,22 | 1,23–1,34     | > 1,34  |
| Длинный лучевой разгибатель запястья | Мышечный Тонус (Гц)        | < 11,9                                  | 11,9–12,9     | 13–13,9   | 14–14,8       | > 14,8  |
|                                      | Индекс жесткости (у.ед)    | < 0,85                                  | 0,85–0,95     | 0,96–1    | 1,01–1,13     | > 1,13  |
|                                      | Индекс эластичности (у.ед) | < 1,12                                  | 1,12–1,2      | 1,21–1,28 | 1,29–1,36     | > 1,36  |
| Широкая мышца спины                  | Мышечный Тонус (Гц)        | < 9,53                                  | 9,53–9,9      | 10–10,4   | 10,5–10,9     | > 10,9  |
|                                      | Индекс жесткости (у.ед)    | < 0,39                                  | 0,39–0,44     | 0,45–0,49 | 0,5–0,54      | > 0,54  |
|                                      | Индекс эластичности (у.ед) | < 1,1                                   | 1,1–1,15      | 1,16–1,22 | 1,23–1,29     | > 1,29  |
| Грудная мышца                        | Мышечный Тонус (Гц)        | < 10,4                                  | 10,4–10,8     | 10,9–11,3 | 11,4–11,8     | > 11,8  |
|                                      | Индекс жесткости (у.ед)    | < 0,53                                  | 0,53–0,64     | 0,65–0,75 | 0,76–0,85     | > 0,85  |
|                                      | Индекс эластичности (у.ед) | < 1,12                                  | 1,12–1,2      | 1,21–1,28 | 1,29–1,35     | > 1,35  |

По динамике этих показателей можно судить о степени воздействия нагрузок на те или иные мышцы раньше, чем спортсмен начнет предъявлять жалобы.

При повышенном мышечном тонусе нарушается кровообращение и циркуляция лимфы, что приводит к сокращению объема кислорода, транспортируемого в единицу времени, так как этот объем равен произведению концентрации кислорода в артериальной крови на объем крови, транспортированный через клетку. Повышенный тонус скелетных мышц является источником дополнительного давления на суставные поверхности, что может являться причиной быстрого износа суставных тканей и изменения их формы.

При повышенной жесткости для растягивания мышц антагонистов необходимо выполнить больше работы, что ведет к уменьшению экономичности расхода энергии при движении. Большая асимметрия жесткости между правой и левой сторонами тела может вызвать нарушение ритма движений. При пониженной жесткости сопротивление мышц антагонистов будет меньше.

Хорошая эластичность позволяет быстро уменьшать напряжение мышечной ткани после сокращения и, следовательно, обеспечивать быстрый рост объема кровотока. Если у мышцы плохая эластичность, то мышечная ткань не освобождается от напряжения в течение периода расслабления в цикле мышечной работы и объем кровотока в мышце остается малым. В этой ситуации могут возникнуть разные патологические процессы, связанные с усталостью и перегрузкой. Пониженная эластичность приводит к быстрой усталости, а также в случае плохой эластичности мышцы ограничивается скорость движения. В дополнение к этому при плохой эластичности во время ускоренных движений мышца не успевает освободиться от механического напряжения после последнего сокращения и растягивается при большем напряжении, что может привести к травмам мышцы. Повышенная эластичность является признаком высокого уровня натренированности мышцы.

Используя полученные данные, мы с большой вероятностью можем судить о функциональном состоянии нервно-мышечного аппарата и вносить коррекцию в учебно-тренировочный процесс, а также давать рекомендации по проведению восстановительных мероприятий.

Основным направлением реализации дифференцированного подхода к оценке уровня подготовки юных гребцов является организация и планирование тренировочных нагрузок на основе учета состояния скелетных мышц. Подтверждением эффективности использования оценочных шкал служит способность прогнозирования конечного результата на основании динамики изменения функционирования скелетных мышц и характера адаптационных процессов, протекающих в них под воздействием напряженной нагрузочной деятельности.

При этом эффективность управления подготовкой юных гребцов на байдарке можно повысить посредством оптимального использования особенностей их индивидуального физического развития, эргометрических и биомеханических показателей, а также функционального состояния организма.

Полученные результаты позволяют дополнить целевые установки этапов подготовки, формирования индивидуальной структуры морфофункциональных свойств и двигательных качеств юных спортсменов, а также положением о реализации типоспецифических и индивидуальных особенностей на основе дифференцированного подхода к оценке их подготовленности.

### Литература

1. Вайн, А. Миометрия в диагностике функционального состояния скелетной мышцы / А. Вайн – Тарту, 2002. – 38 с.
2. Шилько, С.В. Метод определения *in vivo* вязкоупругих характеристик скелетных мышц / С.В. Шилько, Д.А. Черноус, К.К. Бондаренко // Российский журнал биомеханики. – 2007. – Т. 11, № 1. – С. 45–54.
3. Бондаренко, К.К. Биомеханическая интерпретация данных миометрии скелетных мышц спортсменов / К.К. Бондаренко, Д.А. Черноус, С.В. Шилько // Российский журнал биомеханики. – 2009. – Т. 13, № 1. – С. 7–17.
4. Черноус, Д.А. Вариант расчетного определения силы в скелетной мышце / Д.А. Черноус // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – 2014. – № 8. – С. 186–190.
5. Шилько, С.В. Феноменологическая модель мышцы как активного композита / С.В. Шилько, Д.А. Черноус // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – № 1 (6). – С. 88–92.
6. Shil'ko, S.V. Generalized model of a skeletal muscle / S.V. Shil'ko, D.A. Chernous, K.K. Bondarenko // Mechanics of composite materials. – 2016. – Т. 51, № 6. – P. 789–800.
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. Самсонова, А.В. Влияние физической нагрузки на механические свойства скелетных мышц человека / А.В. Самсонова, М.А. Борисевич, И.Э. Барникова / Олимпийский спорт и спорт для всех: сб. статей XX Международного научного конгресса. – СПб., 2016. – С. 476–479.
9. Самсонова, А.В. Факторы, влияющие на механические свойства скелетных мышц человека / А.В. Самсонова, М.А. Борисевич, И.Э. Барникова / Культура физическая и здоровье. – 2017. – № 1 (61). – С. 59–62.
10. Бондаренко, К.К. Влияние утомления мышц на кинематику движений при гребле на байдарке / К.К. Бондаренко, Д.А. Хихлуха, А.Е. Бондаренко, С.В. Шилько // Российский журнал биомеханики. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 48–55.
11. Бондаренко, К.К. Изменение кинематики гребка при утомлении скелетных мышц / К.К. Бондаренко, Е.П. Лисевич, С.В. Шилько, А.Е. Бондаренко // Российский журнал биомеханики. – 2009. – Т. 13, № 2. – С. 24–33.
12. Bondarenko, K. Biomechanical characteristics of kayaking / K. Bondarenko, D. Khikhluha, A. Bondarenko // The SIOSS journal of sport science. – 2017. – Vol. 1, is. 12. – P. 6–13.