

УДК 531/534: [57+61]

## **ВЛИЯНИЕ УТОМЛЕНИЯ МЫШЦ НА КИНЕМАТИКУ ДВИЖЕНИЙ ПРИ ГРЕБЛЕ НА БАЙДАРКЕ**

**К.К. Бондаренко<sup>1</sup>, Д.А. Хихлуха<sup>1</sup>, А.Е. Бондаренко<sup>1</sup>, С.В. Шилько<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь, 246699, Гомель, ул. Советская, 104

<sup>2</sup> Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Республика Беларусь, 246050, Гомель, ул. Кирова, 32-а, e-mail: Shilko\_mpri@mail.ru

**Аннотация.** В работе исследованы изменения кинематической структуры гребкового движения вследствие утомления. В эксперименте принимали участие юные гребцы в возрасте 15–16 лет, имеющие квалификацию первого спортивного разряда и кандидата в мастера спорта. При прохождении дистанции 1000 м на гребном эргометре происходила регистрация динамических параметров каждого гребка с непрерывной видеозаписью. С использованием полученных видеоматериалов проводился анализ гребковых движений в различные фазы гребка по ряду кинематических пар: весло–вода, туловище–вертикаль, вращение туловища вокруг вертикальной оси, туловище–плечо, плечо–предплечье. Показана возможность определения параметров гребкового движения и оценки изменения кинематических характеристик гребка под воздействием утомления.

**Ключевые слова:** фазы гребка, кинематические пары, углы сгибания, скелетные мышцы, утомление.

### **ВВЕДЕНИЕ**

На соревнованиях самого высокого уровня бывает, что спортсмена отделяют от золотой медали десятые, а часто и сотые доли секунды. Среди резервов, способствующих уменьшению времени прохождения дистанции, отмечается повышение технической подготовленности гребца. Большинство авторов, исследующих технику гребли, уделяют основное внимание особенностям кинематической структуры движений спортсменов [1, 2–5, 7, 8].

Целью настоящей работы является исследование особенностей кинематической структуры гребкового движения, сравнение модельных кинематических характеристик гребка с параметрами гребка, появляющихся на фоне накопленного утомления, и определение причин их возникновения.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

В исследовании принимали участие юные гребцы в возрасте 15–16 лет, имеющие спортивную квалификацию первого спортивного разряда и кандидата в мастера спорта. Тестирование проводилось в научно-исследовательской лаборатории физической культуры и спорта Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины на гребном эргометре «Бранча» (Венгрия), показанном на рис. 1.

© Бондаренко К.К., Хихлуха Д.А., Бондаренко А.Е., Шилько С.В., 2010

Бондаренко Константин Константинович, к.п.н., завкафедрой физкультуры и спорта, Гомель

Хихлуха Дмитрий Александрович, аспирант кафедры физкультуры и спорта, Гомель

Бондаренко Алла Евгеньевна, к.п.н., доцент, замдекана факультета физкультуры, Гомель

Шилько Сергей Викторович, к.т.н., завлабораторией адаптивных материалов и биомеханики, Гомель



Рис. 1. Выполнение упражнения на гребном эргометре

Задавалась дозированная нагрузка в зависимости от веса спортсмена и моделировалось прохождение дистанции 1000 м с постоянной видеозаписью. По видеозаписи производилось сравнение кинематических параметров гребли с интервалом 100 м.

Гребля на байдарке состоит из ряда циклических, взаимосвязанных движений, создающих целостное двигательное действие. Полный цикл состоит из двух поочередных гребков каждой лопастью весла с двух сторон лодки и паузы между гребками. Каждый гребок с одной стороны лодки состоит из нескольких фаз. Вопрос о фазовом составе движений является одним из наиболее противоречивых в теории гребли, так как среди исследователей нет единого мнения по поводу разделения фазовой структуры гребка на составляющие. Так, Г.М. Краснопевцев делит опорную фазу на начало проводки, проводку и конец проводки [6]. В работах немецких биомехаников [9, 10] производится деление цикла движения на главные и промежуточные фазы, а в главной фазе различают более мелкие компоненты: введение весла, протягивание, извлечение. Ю.А. Гагин в [1] рассматривает порознь фазовый состав гребка (проводка, вынос) и фазовый состав проводки. Т.В. Михайлова делит фазовый состав гребка на захват, проводку (первая половина и вторая половина), конец проводки, занос весла [7].

Авторами предлагается следующая структура гребка. Один цикл гребка, с одной стороны, делится на опорную фазу, соответствующую нахождению лопасти весла в воде, и безопорную фазу нахождения весла в воздухе. Опорная фаза условно разделяется на фазы захвата воды, гребка и окончания гребка. Безопорная фаза характеризуется периодом подготовки к новому гребку. Для более подробного описания изменений кинематической структуры гребка авторы разделили фазу захвата воды на начало захвата и непосредственно на захват воды, фазу гребка на первую и вторую половины проводки, фазу окончания гребка на начало вывода лопасти весла из воды и полный вывод лопасти весла из воды. Границы выделенных фаз определялись по положению весла относительно вертикальной оси гребца и горизонтальной оси лодки. Положение гребца, при которой линия плеч гребца перпендикулярна длине лодки, принимается исходным для определения вращения туловища вокруг вертикальной оси и соответствует углу  $0^\circ$ . Угол поворота туловища гребца влево (против хода часовой стрелки) принимается отрицательным ( $-1$ ,  $-2$ ,  $-3^\circ$  и т.д.), а вправо (по ходу часовой стрелки) считается положительным ( $1$ ,  $2$ ,  $3^\circ$  и т.д.).

Модельная структура движений в различные фазы гребка

№ п/п	Биокинематические пары	Фазы гребка (углы в биокинематических парах)							
		Опорная						Безопорная	
		Фаза захвата воды		Фаза гребка		Фаза окончания гребка		Фаза подготовки к новому гребку	
		Начало захвата воды, $x \pm \sigma$	Захват воды, $x \pm \sigma$	1-я половина проводки, $x \pm \sigma$	2-я половина проводки, $x \pm \sigma$	Начало вывода лопастей весла из воды, $x \pm \sigma$	Полный вывод лопастей весла из воды, $x \pm \sigma$	Занос весла для следующего гребка, $x \pm \sigma$	
1	Весло–вода	48± 3,21°	62± 3,52°	79± 3,44°	110± 3,35°	131± 3,17°	145± 3,62°	163± 3,27°	
2	Туловище–вертикаль	12± 2,12°	12± 2,23°	11± 2,35°	11± 2,45°	8± 2,21°	7± 2,32°	7± 2,29°	
3	Вращение туловища вокруг вертикальной оси ( $\gamma$ )	-56± 3,45°	-35± 3,32°	-4± 3,65°	25± 3,23°	43± 3,72°	48± 3,34°	56± 3,64°	
4	Тянущая рука	Туловище–плечо	67± 3,22°	54± 3,27°	43± 3,12°	26± 3,34°	-1± 3,57°	-11± 3,68°	-21± 3,36°
		Плечо–предплечье ( $\alpha$ )	176± 3,75°	172± 3,89°	166± 3,48°	153± 3,89°	98± 3,78°	88± 3,68°	69± 3,47°
5	Толкающая рука	Туловище–плечо ( $\beta$ )	163± 3,78°	191± 3,85°	250± 3,56°	263± 3,67°	264± 3,25°	270± 3,59°	258± 3,78°
		Плечо–предплечье	106± 3,43°	114± 3,67°	125± 3,55°	146± 3,58°	176± 3,49°	177± 3,68°	177± 3,4°

С целью получения информации о кинематических характеристиках техники гребли в различные моменты гребка проведен видеоанализ гребкового движения.

Результаты определения биомеханических параметров после прохождения первых 200 м были приняты в качестве модельных (без выраженного утомления) и приведены в таблице.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа данных видеосъемки модельные параметры (после прохождения первых 200 м дистанции) сопоставлялись с характеристиками, изменившимися под действием утомления. Выявлено четыре наиболее характерных показателя отклонения в кинематической структуре гребковых движений, возникающих на фоне утомления по сравнению с модельными параметрами. В частности, наиболее ярко выраженными отклонениями в технике гребка во второй

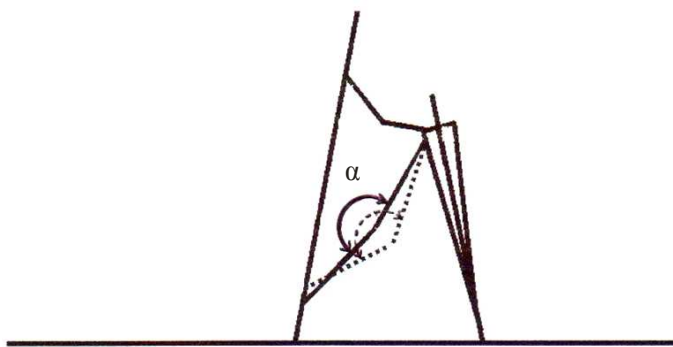


Рис. 2. Чрезмерное сгибание тянущей руки в локтевом суставе в первой половине проводки весла (уменьшение угла  $\alpha$ ): вид сбоку

половине дистанции является чрезмерное сгибание тянущей руки в локтевом суставе в первой половине проводки, уменьшение угла  $\alpha$  (рис. 2).

Первая часть проводки выполняется при более выгодном положении лопасти весла в воде, так как здесь реализуются оптимальные углы атаки веслом и достигается максимальное усилие, создаваемое на весле. Это определяет важность данной фазы для увеличения скорости байдарки.

Особенностью проводки весла является наиболее быстрое возрастание давления лопасти весла на воду и сохранение данной величины до окончания проводки. Это достигается за счет включения согласованной работы определенной группы мышц спины, плечевого пояса и рук. В этой фазе основную работу выполняют наружные косые мышцы живота и мышцы плечевого пояса. Руки осуществляют вспомогательную функцию. Однако тянущая рука, передавая усилие туловища на лопасть весла при разгибании толкающей руки в локтевом суставе, также создает усилие, которое является суммарной силой,двигающей лодку вперед и включает силу рук, плечевого пояса и туловища.

Туловище гребца активно поворачивается вокруг вертикальной оси. При его развороте необходимо добиваться, чтобы направление усилия шло не в сторону, а параллельно движению лодки. Руки двигаются одновременно с туловищем.

Толкающая рука, разгибаясь в локтевом суставе, толкает цевье весла вперед, в результате чего создается более жесткая опора лопастью о воду. Тянущая рука в первой половине проводки остается практически прямой и передает на весло усилие, развиваемое поворотом туловища.

Чтобы сила опорного действия лопасти весла на воду стала силой тяги лодки, необходимо передать ее с лопасти весла на опору гребца. Усилие с лопасти весла передается последовательно через его цевье, руки гребца, грудной отдел позвоночного столба и далее через туловище и таз гребца на слайд (платформа эргометра, движущаяся по рельсам), подножку и лодку.

Поскольку в этой фазе концентрируется максимальное усилие на лопасти, оно по цепочке передается на тянущую руку, которая должна быть выпрямленной для увеличения длины проводки лопасти весла в воде. На фоне накопившегося утомления становится трудно передавать большое усилие через прямую руку, и вся нагрузка переходит на плечевой пояс, где основную работу выполняют дельтовидная и трапециевидная мышцы. В результате при утомлении эти мышцы не могут поддерживать оптимальную работу тянущей руки, и происходит ее сгибание в локтевом суставе. Сгибание руки уменьшает плечо силы, действующей на кисть руки и создающей момент относительно плечевого сустава, что приводит к уменьшению

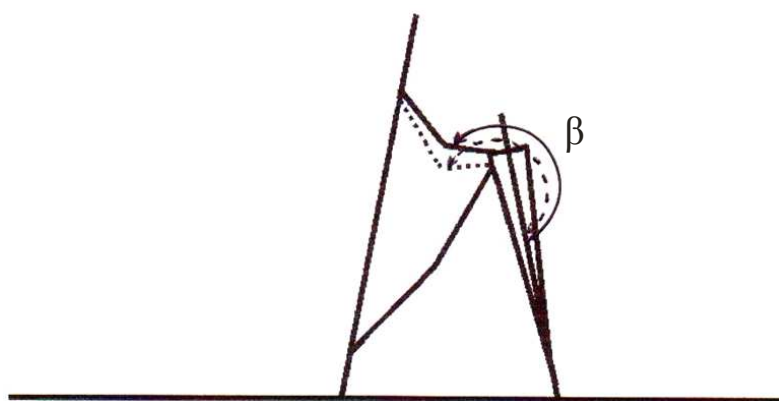


Рис. 3. Опускание локтя толкающей руки в первой половине проводки весла (увеличение угла  $\beta$ ): вид сбоку

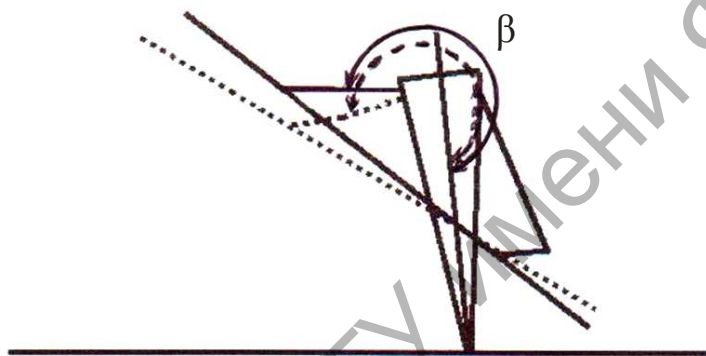


Рис. 4. Опускание толкающей руки в фазе полного вывода лопасти весла из воды ( $\beta$ ): вид сбоку

нагрузки на указанные в статье группы мышц. Модельный угол между плечом и предплечьем  $\alpha$  (сплошная линия) составляет  $166 \pm 3,48^\circ$ , а на фоне утомления (пунктирная линия) этот угол меньше  $163^\circ$  (см. рис. 2). В данном случае к выполнению движения более активно подключаются мышцы плеча (двуглавая и трехглавая). Они воспринимают часть усилия, увеличивая тем самым сгибание руки в локтевом суставе. В итоге облегчается удержание руки в заданном положении. Раннее включение мышц плеча приводит к их быстрой утомляемости, поскольку основную нагрузку они получают во второй половине проводки и в фазе начала вывода лопасти из воды. Кроме того, из-за сгибания тянущей руки в локтевом суставе уменьшается длина проводки лопасти весла в воде при одинаковых углах поворота туловища и уменьшается использование силы мышц туловища.

Второй показатель изменения в технике гребка на фоне утомления определяется опусканием локтя толкающей руки в первой половине проводки, увеличением угла  $\beta$  (рис. 3).

В первой части проводки придается наибольшее ускорение ходу лодки, так как создается максимальное усилие на весле. Данное усилие передается через весло, руки (кость, предплечье, плечо), туловище и таз гребца на слайд и подножку лодки. Если на этом пути из-за воздействия постоянной физической нагрузки и появления неминуемого утомления в одном из сегментов эффективность передачи нагрузки снижается, то выполняемая структура движения нарушается. А именно, в результате накопившегося утомления в слабых звеньях биокинематической цепи появляется нарушение эффективности техники гребка. Авторами выявлено опускание локтя

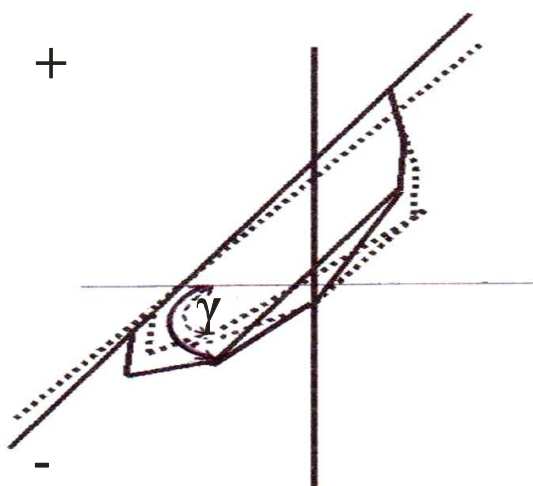


Рис. 5. Отсутствие «доворота» туловища по вертикальной оси в фазе заноса для следующего гребка ( уменьшение угла  $\gamma$ ): вид сверху

толкающей руки (угол  $\beta$  больше  $253^\circ$ ), в то время как модельные показатели угла между осью туловища и плечом ( $\beta$ ) составляют  $250 \pm 3,56^\circ$ . В результате отклонения структуры гребка от модельного слабеет упор толкающей руки по отношению к веслу, что приводит к уменьшению усилия на лопасть.

Третье изменение гребкового движения характеризуется опусканием толкающей руки в фазе полного вывода лопасти весла из воды (рис. 4).

Полный вывод лопасти весла из воды происходит за счет резкого поднимания предплечья и кисти тянущей руки. Немного не доходя до туловища, кисть тянущей руки вместе с предплечьем быстрым движением поднимается вверх – в сторону. Лопасть весла верхней кромкой выходит из воды. Толкающая рука (практически прямая) остается неподвижной на уровне подбородка. Туловище осуществляет разворот относительно вертикальной оси. При правильном выводе лопасти из воды брызг практически не наблюдается.

Под воздействием утомления происходит опускание толкающей руки. Угол  $\beta$  между туловищем и плечом толкающей руки становится больше  $273^\circ$ . Это снижает эффективность использования фазы заноса для придания лопасти весла наиболее выгодного положения при входе в воду в последующем гребке, так как опускание толкающей руки уменьшает вертикальную скорость весла при захвате воды. В результате увеличивается время захвата воды и, следовательно, уменьшается длина проводки и снижается мощность гребка.

Четвёртым изменением в технике гребли, ухудшающим качество гребка, является отсутствие «доворота» туловища по вертикальной оси в фазе заноса перед последующим гребком, уменьшение угла  $\gamma$  (рис. 5).

При выполнении гребка с левого борта лодки вытянутая вперед левая рука находится на уровне подбородка, кисть и предплечье правой руки, опережая локоть, поднимаются вверх до уровня глаз. Все движения заноса весла осуществляются правой рукой. Туловище гребца, освобожденное от тяги весла, «доворачивается» в правую сторону, что обеспечивает предварительную подготовку скелетных мышц к эффективному выполнению следующего гребкового движения, имеющему большое значение для придания гребку наибольшей мощности. Предварительное растяжение мышц перед гребком увеличивает величину и скорость прилагаемого усилия в основном движении вследствие того, что мышца, накопив упругую энергию в предварительном растяжении, отдает ее в последующей преодолевающей работе. Отмечается увеличение скорости нервного импульса, снижение порога возбуждения и

вовлечение в работу большого числа двигательных единиц. Кроме того, предварительное растяжение мышц способствует последующему рефлексорному их сокращению, поэтому начало гребка будет выполняться автоматически.

В последующем левая рука активно опускается вниз – влево, а правая продолжает движение кистью вверх – вперед. Начинается гребок с левого борта, и все движения повторяются.

В нашем случае в результате накопившегося утомления происходит уменьшение поворота туловища по вертикальной оси (угол  $\gamma$  меньше  $-53^\circ$ , рис. 5) из-за отсутствия «поворота» в фазе заноса. Предварительное растяжение мышц уменьшается, что в целом ведет к снижению мощности гребка.

Нарушение техники гребка на фоне накопившегося утомления происходит из-за того, что определенные скелетные мышцы не справляются со своими прямыми анатомо-функциональными обязанностями – необходимой траекторией движения или удержанием конкретного звена либо звеньев тела.

По мнению авторов, чрезмерное сгибание тянущей руки в локтевом суставе и опускание локтя толкающей руки в первой половине проводки, а также опускание толкающей руки в фазе полного вывода лопасти весла из воды связаны со слабым развитием (или низкими функциональными возможностями) дельтовидных мышц. Поскольку основные функции дельтовидной мышцы (*m. deltoideus*) – отведение, сгибание и разгибание плеча, поворот его внутрь или наружу, а также опускание поднятой руки, то, исходя из анатомо-функциональных особенностей, эта мышца должна удерживать плечо в заданном положении. Этого не происходит при развивающемся утомлении в первой половине проводки и фазе полного вывода лопасти весла из воды. Первая половина проводки и фаза полного вывода лопасти весла из воды очень важны для продуктивного использования опорной фазы гребка, так как первая половина проводки придает наибольшее ускорение ходу лодки, а любое отклонение в технике ведет к уменьшению скорости. В фазе полного вывода лопасти из воды создаются предпосылки для оптимального использования опорной фазы последующего гребка.

Отсутствие «поворота» туловища в фазе заноса связаны с функционированием наружных косых мышц живота (*m. obliquus externus abdominis*). Наружные косые мышцы выполняют вращение туловища, опускание грудной клетки, сгибание и наклон позвоночника в сторону. Следовательно, данные мышцы на фоне утомления не справляются с поставленными задачами в полном объеме.

## Выводы

1. Эффективность выполнения гребкового движения в гребле на байдарке напрямую зависит от характера взаимодействия звеньев тела в биокинематических парах и степени передачи усилия, развиваемого группами мышц.

2. Изменение в технике гребка спортсмена-байдарочника на фоне накопленного утомления вызвано тем, что определенные скелетные мышцы не обеспечивают необходимое движение или удержание конкретного звена либо звеньев тела.

3. В результате биомеханического анализа установлено, что даже небольшое изменение кинематической структуры гребка приводит к изменениям характера гребкового движения и снижению эффективности их взаимодействия.

4. Установлено, что ошибки технического плана, вызванные утомлением, могут быть следствием слабого развития конкретной мышцы или группы мышц. Результаты исследования позволяют внести коррекцию в тренировочную программу для своевременного устранения выявленных недостатков, что является предпосылкой к улучшению спортивного результата.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагин Ю.А. Гребной спорт. – М.: ФиС, 1976. – С. 30–65.
2. Жмарев Н.В. Тренировка гребцов. – Киев: Здоровье, 1976. – 124 с.
3. Иссурин В.Б., Шарабайко И.В., Шубин К.Ю. Динамика спортивно-технического мастерства в процессе многолетней подготовки гребцов высокого класса // Программирование тренировки квалифицированных гребцов: сб. науч. трудов. – Л., 1987. – С. 37–43.
4. Иссурин В.Б., Бегак В.М., Краснов Е.А., Разумов Г.Г. Сравнительная эффективность различных вариантов техники гребли на байдарках и каноэ // Теория и практика физической культуры. – 1983. – № 9. – С. 11–13.
5. Краснов Е.А., Химич О.К. Некоторые вопросы техники гребли на байдарках и каноэ // Гребной спорт. Ежегодник. – 1986. – С. 31–34.
6. Краснопевцев Г.М., Силаева А.П., Фомин С.К. Гребной спорт. – М.: ФиС, 1966. – С. 100–127.
7. Михайлова Т.В., Комаров А.Ф., Долгова Е.В. Гребной спорт: учеб. для студентов высших педагогических учебных заведений. – М.: Академия, 2006. – 400 с.
8. Никоноров А.Н. Фазовая структура движений в гребле на байдарках // Гребной спорт. Ежегодник. – 1983. – С. 44–48.
9. Schnabel G. Bewegungslehre. – Berlin: Volksgener Verlag, 1976. – P. 59–220.
10. Wozniak K.H. Kanusport: Ein Lehrbuch für Trainer, Übungsleiter und Aktive. – Berlin: Sportverlag, 1972. – P. 77–94.

### EFFECT OF MUSCLE EXHAUSTION ON KINEMATICS OF KAYAK ROWING

**K.K. Bondarenko, D.A. Khikhlukha, A.E. Bondarenko, S.V. Shilko (Gomel, Belarus)**

Changes in kinematic structure of stroke movements caused by exhaustion are investigated in the paper. Young oarsmen at the age of 15–16 years having qualification of the first sports category and the candidate for the master of sports took part in the experiment. At passage of a distance of 1000 m on rowing ergometer, a registration of dynamic parameters of every stroke with continuous videorecording has been made. Using obtained videodata, the analysis of stroke movements in various phases of stroke for a number of kinematic pairs has been carried out: oar–water, trunk–vertical, rotation of trunk around vertical axis, trunk–shoulder, shoulder–forearm. Possibility of determination of stroke movements parameters and estimations of change of stroke kinematic characteristics under the influence of exhaustion are shown.

**Key words:** stroke phases, kinematic pairs, bending corners, skeletal muscles, exhaustion.

*Получено 10 января 2010*