Министерство спорта и туризма Республики Беларусь

Белорусский государственный университет физической культуры
Центр координации научно-методической и инновационной деятельности
Информационно-аналитический отдел

Цикл научно-практических мероприятий
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ СПОРТИВНОГО РЕЗЕРВА И СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОГО КЛАССА»

АППАРАТНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ СПОРТСМЕНОВ (ГРЕБЛЯ НА БАЙДАРКАХ И КАНОЭ)

Мастер-класс

Информационно-аналитические материалы

06.2023

Минск
2023

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Инновационные технологии тестирования подготовленности спортсменов в гребных видах спорта 4

Агафонова Маргарита Евгеньевна, начальник информационно-аналитического отдела БГУФК, доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук, доцент

Общие тенденции в применении инновационных технологий в контроле технической подготовленности спортсменов-гребцов 10

Харькова Виктория Александровна, заведующий кафедрой боевых единоборств и специальной подготовки, ведущий специалист Центра координации научно-методической и инновационной деятельности, кандидат педагогических наук, доцент

Проблемы и перспективы количественной оценки производительности и результативности в гребных видах спорта 15

Разуванов Владимир Михайлович, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Использование современных технологий для подготовки спортсменов в гребных видах спорта 26

Дарануца Кристина Сергеевна, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Использование интеллектуальных сенсорных систем регистрации силовых параметров в гребле на каноэ 30

Шешко Валентина Владимировна, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Анализ зарубежной публикации

Беспроводная система измерения гребли для улучшения гребных характеристик спортсменов 35

A Wireless Rowing Measurement System for Improving the Rowing Performance of Athletes / R. Hohmuth [et al.] // Sensors. – 2023. – № 23. – P. 1–13.

Перевод: Л.И. Кипчакбаева, ведущий специалист информационно-аналитического отдела.

Научная редакция: М.Е. Агафонова, начальник информационно-аналитического отдела БГУФК, доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук, доцент.

◇◇◇◇ Инновационные технологии тестирования подготовленности спортсменов в гребных видах спорта ◇◇◇◇

Агафонова Маргарита Евгеньевна, начальник информационно-аналитического отдела БГУФК, доцент кафедры спортивной медицины БГУФК, кандидат биологических наук, доцент

Каждый вид спорта предъявляет специфические требования к развитию различных сторон подготовленности спортсменов. Не являются исключением гребля на байдарках и каноэ. Гребля на байдарках и каноэ – это гребной вид спорта, в котором используются лодки двух типов: байдарки и каноэ, и который относится к группе циклических видов спорта, которые имеют следующие специфические характеристики:

1. Тенденции развития современной гребли на байдарках и каноэ характеризуются значительным увеличением интенсивности нагрузки вследствие усиления спортивной конкуренции, которые предопределяют необходимость мониторинга функциональной подготовленности гребцов в гребле на байдарках и каноэ как одного из важных направлений подготовки спортсменов.

2. В тренировочном процессе методам воздействия на основные факторы развития специальной выносливости с учетом особенностей биомеханики циклических локомоций и воздействий внешней среды уделяют повышенное внимание.

3. Ведущим фактором, оказывающим значительное влияние на спортивную работоспособность в соревновательном периоде в циклических видах спорта, является «фактор метаболизма миокарда», что подчеркивает значимость состояния миокарда спортсменов, необходимость постоянного контроля состояния сердечно-сосудистой системы.

Использование современных методик оценки соревновательной и тренировочной деятельности, а также специфических тестов, комплексно оценивающих подготовленность спортсменов, позволит повысить эффективность тренировочного процесса и результативность соревновательной деятельности. Для информирования о новейших достижениях в области мониторинга и коррекции функциональной подготовленности гребцов представлен краткий обзор современных публикаций научных исследований.

Научный коллектив специалистов спортивной биохимии и тренерский состав национальной команды по гребле в рамках задания Государственной программы развития физической культуры и спорта в Республике Беларусь на 2007–2010 годы 61-08п «Разработать комплексный метод индивидуализации подготовки высококвалифицированных спринтеров на основе особенностей кинетики эндогенного лактата» разработали и обосновали эффективность метода индивидуализации подготовки высококвалифицированных гребцов на байдарках на основе особенностей кинетики эндогенного лактата [1]. По мнению ав-

торов данной методики, контроль и коррекция энергообеспечения мышечной деятельности являются ведущими факторами, которые определяют спортивный результат у гребцов-спринтеров высокой квалификации. Разработанная методика количественного определения вклада анаэробного гликолиза в энергообеспечение мышечной деятельности может осуществляться с использованием гребного тренажера-эргометра DANSPRINT и биохимического анализатора BIOSEN 5040, EKF DIAGNOSTIC (рисунки 1, 2).

Рисунок 1 – Тренажер-эргометр DANSPRINT

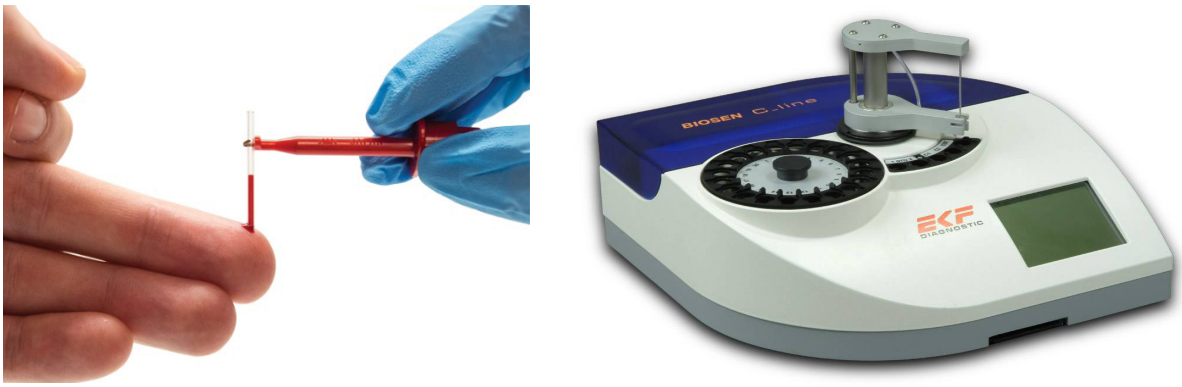

Рисунок 2 – Биохимического анализатора BIOSEN 5040, EKF DIAGNOSTIC

На основании результатов работы специалистов комплексной научной группы (КНГ) по гребле на байдарках и каноэ в сотрудничестве с тренерским составом, которая была направлена на совершенствование системы управления тренировочным процессом, было установлено следующее [2]:

– особенности соревновательной деятельности гребцов;

– показатели, характеризующие функциональную готовность спортсменов к достижению высоких спортивных результатов.

Специалисты использовали комплекс диагностического оборудования:

аппаратный комплекс «СИМОНА 111» при проведении тестов безнагрузочного тестирования для интегральной оценки состояния здоровья (рисунок 3);

Рисунок 3 – Аппаратный комплекс «СИМОНА 111»

диагностический комплекс Firstbeat BODYGUARD для контроля ЧСС и вариабельности с применением системы (рисунок 4);

Рисунок 4 – Диагностический комплекс Firstbeat BODYGUARD

программно-аппаратный комплекс «Полиспектр» для оценки вариабельности ритма сердца (рисунок 5);

Рисунок 5 – Программно-аппаратный комплекс «Полиспектр»

Для оценки уровня развития технических навыков использовался метод педобарографии опорных взаимодействий спортсменов с лодкой и видеоанализ движений с использованием программного обеспечения Dartfish Connect и Kinovea для оценки уровня развития технических навыков (эффективность комплекса «спортсмен-лодка») (рисунки 6, 7)

Рисунок 6 – Программное обеспечение Dartfish Connect

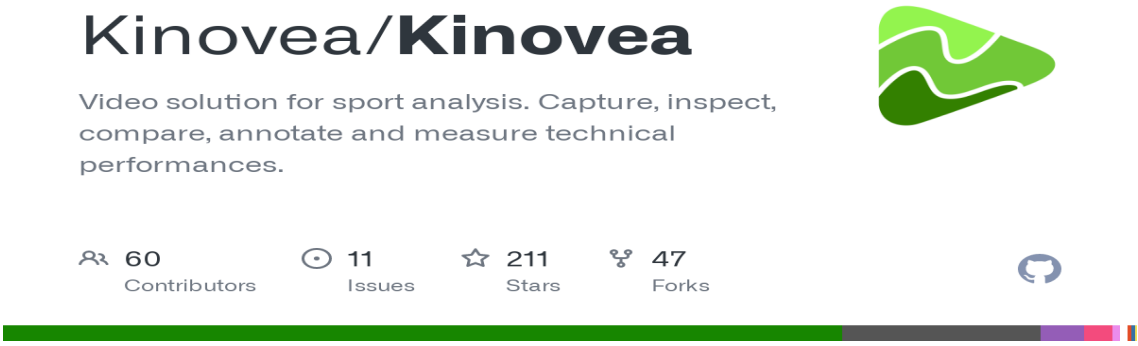

Рисунок 7 – Программное обеспечение Kinovea

Коллектив авторов определил комплекс факторов, формирующих функциональную готовность спортсмена-гребца:

– морфофункциональные: степень физического развития, состав тела спортсменов на различных этапах тренировочного процесса;

– функциональные: возможности основных физиологических систем, значимых для вида спорта (кардиореспираторные показатели, состояние нервно-мышечной проводимости, состояние опорно-двигательного аппарата);

– психофизиологический статус; уровень общей и специальной работоспособности;

– технические навыки, оптимизация деятельности системы «спортсмен-лодка»;

– методические основы организации тренировочного процесса: режим тренировок, объем и интенсивность нагрузок, соотношение средств и методов развития физических качеств.

Специалистами в области спортивной медицины были изучены индивидуальные особенности механизмов адаптации к направленности тренировочного и соревновательного процесса на этапах годичной подготовки у гребцов-байдарочников [3]. Для этого у гребцов национальной сборной по гребле на байдарках и каноэ изучили при помощи ПАК «Омега-С» типологические особенности вегетативной регуляции с использованием метода кардиоинтервалоритмографии (рисунок 8).

Рисунок 8 – Программно-аппаратный комплекс «ОМЕГА-С»

Особенности восстановления адаптационных резервов оценивались по показателям спектрального анализа вариабельности ритма сердца (ВРС) в подготовительном и предсоревновательном периодах на протяжении двух лет, в начале недельных микроциклов после дня отдыха. В результате проведенных исследований установлено, что у гребцов были выделены три метаболических типа мышечной деятельности: аэробный «стайер», анаэробный «спринтер» и

аэробно-анаэробный, что соответствовало характеру соревновательной деятельности спортсменов, и установлены индивидуальные типологические особенности вегетативного обеспечения ВРС, которые реализуются включением разных регуляторных систем. При этом установлено, что выраженность снижения показателей спектрального анализа ВСР у спортсменов отражает физиологическую цену адаптации к направленности соревновательной деятельности. Авторы считают, что регулярный анализ вариабельности сердечного ритма у спортсмена в состоянии покоя, перед каждой тренировкой позволяет оценить уровень восстановления адаптационных резервов и индивидуальную устойчивость организма к физическим нагрузкам. Показатели спектрального анализа ВРС позволяют осуществлять раннюю диагностику утомления и переутомления спортсмена, а также помогают тренеру управлять тренировочным процессом и своевременно его корректировать.

Заключение

Анализ вышеперечисленных источников дает основание полагать, что осуществление комплексного подхода к мониторингу подготовленности спортсменов в гребных видах спорта с использованием современных программных диагностических комплексов предоставляет тренеру следующие возможности:

оперативно контролировать и своевременно корректировать тренировочный процесс на основании индивидуальных особенностей функционального состояния каждого спортсмена;

объективно формировать состав команды с учетом потенциала каждого спортсмена;

эффективно выстраивать стратегию и тактику соревновательной деятельности;

профилактировать возникновение спортивных травм и жизнеугрожающих состояний при выполнении тренировочной и соревновательной нагрузок.

Литература:

1. Шкуматов, Л. М. Метод индивидуализации подготовки высококвалифицированных гребцов на байдарках на основе особенностей кинетики эндогенного лактата : практ. пособие / Л. М. Шкуматов, В. В. Шантарович, Е. А. Мороз. – Минск : БГУФК, 2014. – 39 с.

2. Каллаур, Е. Г. Показатели оценки функциональной готовности спортсменов-гребцов / Е. Г. Каллаур // Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна. – 2020. – № 2 (56). – С. 88–93.

3. Штаненко, Н. И. Индивидуально-типологические особенности механизмов адаптации и вариабельности сердечного ритма у гребцов в зависимости от направленности соревновательной деятельности / Н. И. Штаненко, Г. Н. Галицкий, Л. А. Будько // Проблемы здоровья и экологии. – 2017. – № 1. – С. 48–53.

◇◇◇◇ Общие тенденции в применении инновационных технологий в контроле технической подготовленности спортсменов-гребцов ◇◇◇◇

Харькова Виктория Александровна, заведующий кафедрой боевых единоборств и специальной подготовки, ведущий специалист Центра координации научно-методической и инновационной деятельности, кандидат педагогических наук, доцент

Гребные виды спорта по «медалеемкости» занимают одну из лидирующих позиций в олимпийской программе. Поэтому изучение инновационных технологий подготовки и результатов, полученных отечественными и зарубежными исследователями, представляет большой интерес для спортивной науки и практики. Функциональная подготовленность и правильная техника – два ключевых компонента для успешной соревновательной деятельности в гребле.

Гребля относится к циклическим видам спорта и состоит из взаимосвязанных движений, образуя единое двигательное действие. Полный цикл состоит из гребков и паузы между гребками. Каждый гребок состоит из опорной фазы, когда лопасть весла находится в воде, и безопорной фазы, когда весло находится в воздухе. Для более подробного описания изменений кинематической структуры гребка опорная фаза условно разделяется на фазы захвата воды (начало захвата и непосредственно захват воды), гребка (первая и вторая половина проводки) и окончания гребка (начало вывода лопасти весла из воды и полный вывод лопасти весла из воды). Безопорная фаза характеризуется периодом подготовки к новому гребку [6].

Техника гребли – совокупность целесообразно организованных двигательных действий гребца, обеспечивающих поступательное перемещение лодки и ее удержание на заданном курсе [5]. Существуют качественные рекомендации по технике гребли от национальных и международных ассоциаций гребли, которые объясняют основы хорошей техники гребли. Ключевые аспекты включают эффективность гребка, ритм, хронометраж и устойчивость лодки. Существуют количественные (например, скорость, количество гребков) и качественные (например, плавность движений) показатели, но как у гребцов, так и у тренеров существует острая потребность в большем количестве количественных показателей [11].

Чтобы выступать на высшем уровне, элитные гребцы должны быть как физически сильными, так и обладать отличной техникой. Хорошая техника гребли важна не только для скорости прохождения дистанции, но и чтобы свести к минимуму риск получения травм. Чтобы контролировать и совершенствовать свою технику, гребцы обычно полагаются на тренеров, которые сопровождают тренировки и дают обратную связь. Тренеры получают поддержку от традиционных инструментов, таких как секундомеры и высокоскоростные видеокамеры, а также от растущего числа подходов, основанных на применении сенсорных систем. С помощью этих подходов может быть зарегистрирован широкий спектр модальностей техники. Поиск методов автоматического анализа полученных данных и предоставления соответствующей обратной связи тренерам и

спортсменам является активной областью исследований в сообществе биомеханики и спортивных технологий [14].

Основной целью анализа и оценки техники гребли является выявление факторов, лимитирующих повышение скорости лодки в процессе соревновательной деятельности, и принятие обоснованных решений о возможных путях совершенствования технического мастерства гребцов. Эффективность техники гребли может быть определена на основании: сравнения индивидуальных показателей техники с модельными значениями; установления взаимосвязи индивидуальных показателей техники и спортивного результата. В целом, биомеханический анализ гребли следует разделять на две взаимосвязанные составляющие: анализ движения спортсмена и анализ движения весла [4]. Благодаря современным технологиям, оценивать технику гребли стало доступно через трехмерное моделирование, электромиографию (ЭМГ) и использование инерциальных датчиков.

В исследовании E. Limonta et al. [15] авторы, используя трехмерный анализ технических действий, оценили симметричность гребли спортсменов разной квалификации, но с одинаковыми антропометрическими данными. Высококвалифицированные гребцы показали повышенный уровень двусторонней симметрии и самый низкий диапазон угловых движений таза во фронтальной плоскости (высокие значения приводят к «раскачиванию лодки», что негативно сказывается на скорости). В работе C. López и J. Ribas Serna [16] с помощью 3D-моделирования техники гребли высококвалифицированных байдарочников количественно оценили траекторию движения весла, площадь опорной и безопорной фаз и определили оптимальный профиль гребка. Принимая во внимание, что в эксперименте принимали участие гребцы международного класса, можно считать, что биомеханика их техники гребли является эффективной.

Для сбора и анализа динамических характеристик гребли широко используют инерциальные датчики, которые можно устанавливать на корпус лодки. Для еще более точной оценки техники на весле и подножке располагают тензодатчики [2, 12].

Аппаратно-программные комплексы (АПК), адаптированные под греблю, предлагаются как зарубежными специалистами, так и российскими, например тренажер Ефремова и АПК, разработанный применительно к нему [2]. Программное обеспечение рассчитывает такие данные как: количество гребков, темп, средняя скорость, километраж, сила и др. Также возможно посмотреть данные по каждому гребку, распределение усилий на весле и подножке, разворот туловища и влияние этих параметров на продвижение лодки или тележки, если используется гребной тренажер.

Технология SEMG (Surface Electromyography Technology – поверхностной электромиографии) широко используется в исследованиях спортивной науки. В основном она сосредоточена на изучении силы мышц и мышечного утомления, времени мышечной реакции, анализе функции мышечной активности, ко-

ординации мышц, состава мышечных волокон, скорости сокращения мышц и мышечной стабильности. В гребле с помощью SEMG получают информацию о доминирующих группах мышц во время цикла гребка, силу сокращения, последовательность активации мышц, координацию и баланс двух сторон тела.

Последние технологические разработки сделали носимые инерциальные датчики легкодоступными. Это привело к тому, что спортивные тренеры интегрировали эти устройства в свои тренировочные программы, чтобы получать больше показателей спортивных результатов спортсмена в режиме реального времени [13].

На протяжении многих лет тренеры и ученые рассматривали возможность роста спортивных достижений в циклических видах спорта в большей мере через улучшение их функциональной подготовленности, развитие специальных качеств (выносливости, скоростно-силовых качеств и т. д.) [10]. Однако специалисты отмечают, что повышение результативности достигается и благодаря другому важному фактору – уровню технического мастерства, что обусловливает становление экономичной техники на всех этапах многолетней подготовки [7]. Наиболее благоприятные предпосылки к совершенствованию техники создаются на основе усвоения и воспроизведения двигательного ритма. Специалисты отмечают, что двигательный ритм в разнообразных физических упражнениях формируется и сознательно регулируется спортсменом в соответствии с объективными закономерностями построения рациональной техники, с необходимостью решения двигательной задачи [9].

Ритм гребли – это отношение времени гребка к времени подготовки. Ритм хороших команд обычно меньше одного, то есть на гребок тратится времени меньше, чем на подготовку. Такой ритм считается положительным. Если гребок длится дольше, чем подготовка, то ритм отрицательный [8].

Соотношение фаз гребка и подготовки обычно используется для описания ритма спортсмена [17]. На ритм гребца может непосредственно влиять увеличение или уменьшение частоты гребков [19].

Силовые и временные характеристики ритма являются, по сути, отражением интегрального двигательного ритма на различных уровнях глубины биомеханического анализа, и как показывают многочисленные исследования, изучение особенностей распределения активных мышечных усилий во время выполнения двигательных действий позволяет выявить ритмическую организацию движений и повысить эффективность техники в различных видах спорта, в том числе и в гребле.

Для оценки степени сформированности двигательного ритма по его основным проявлениям необходимо учитывать количественные и качественные критерии. Количественными критериями являются: оптимальный темп преодоления дистанции; количество фаз гребка и подготовки на разных отрезках дистанции. Качественными критериями являются: рациональное соотношение фаз; равномерность распределения мышечных усилий, чередование напряжения и

расслабления необходимых мышечных групп; степень согласованности дыхательного и двигательного ритма; постепенное нарастание скорости движений и сохранение устойчивого рабочего состояния. Все эти показатели можно получать используя вышеуказанные сенсорные технологии.

Нельзя забывать, что ритм также относят к видам координационных способностей, то есть техника гребли обусловлена высоким уровнем развития координационных способностей, гребцу необходимы такие виды координационных способностей, как способность выполнения двигательных действий без излишней мышечной напряженности и способность удержания статического и динамического равновесия [1, 3].

В связи с этим специалисты [5] предлагают использовать в качестве критериев подготовленности спортсменов-гребцов такие показатели, как уровень дифференцировки мышечных усилий и межмышечной координации, а также постурального контроля.

Таким образом, техническое мастерство спортсменов-гребцов является одним из важнейших факторов обеспечения высокого спортивного результата, в том числе и на этапе высшего спортивного мастерства: без правильного исполнения гребка спортсмен не может в полной мере реализовать накопленный уровень энергообеспечения и развития специальной силы. Моделирование процесса развития ритмичности в циклических движениях обусловливает системное освоение сущности и особенностей двигательной деятельности, обеспечивающей повышение кинезиологического потенциала, технической подготовленности, всестороннее гармоничное развитие организма; прирост показателей базовых и ведущих двигательно-координационных способностей. Современные технологии позволяют всесторонне оценить технику гребли как в лабораторных условиях, так и в естественных условиях тренировочного процесса, в том числе на воде. Своевременное выявление неэффективных элементов техники, их методически грамотная коррекция, дают возможность в кратчайшие сроки устранять проблему и продолжать повышение спортивного результата.

Литература:

1. Брюханов, Д. А. Совершенствование методики обучения гребле на байдарках и каноэ на основе использования комплекса специальных упражнений / Д. А. Брюханов, Д. С. Петров // Sochi Journal of Economy. – 2015. – № 2 (35). – С. 146–148.

2. Ефремов, Г. М. Методика оценки и совершенствования специальной подготовленности гребцов байдарочников высокой квалификации с использованием тренажера Ефремова / Г. М. Ефремов // Современные проблемы, перспективы и направления подготовки спортивного резерва и квалифицированных кадров в училищах олимпийского резерва. Матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летнему юбилею Московского среднего специального УОР № 2 Москомспорта (15–16 февраля 2017 г.). – М. : Изд-во Спутник+, 2017. – С. 33–40.

3. Карпов, А. А. Моделирование соревновательной деятельности высококвали-фицированных гребцов на каноэ в макроцикле подготовки : автореф. дис. … канд. пед. наук / А. А. Карпов. – Краснодар, 2018. – 24 с.

4. Квашук, П. В. К вопросу о биомеханической эффективности гребли на байдарках и каноэ / П. В. Квашук, С. В. Верлин, И. Н. Маслова // Ученые записки. – 2014. – № 10 (116). – С. 79–85.

5. Мавлютов, А. В. критерии эффективности развития координационных способностей в процессе совершенствования техники гребли байдарочников 15-16 лет / А. В. Мавлютов, А. С. Гареева // Наука и спорт: современные тенденции. – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 19–23.

6. Останний, К. Д. Техника гребли на байдарках. Современные методы и критерии ее оценки / К. Д. Останний // День спортивной информатики : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф., Москва, 04–05 декабря 2020 г. – Сочи: Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «НТУ «Сириус»», 2021. – С. 75–80.

7. Платонов, В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения : [учеб. для тренеров] : в 2 кн. / В. Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2015. – 752 с.

8. Чернышева, А. В. Формирование рационального двигательного ритма у бегуний на средние дистанции / А. В. Чернышева, Л. И. Костюнина. – Ульяновск : Ульяновский гос. тех. ун-т, 2011. – 96 с.

9. Чхаидзе, Л. В. Об управлении движениями человека / Л. В. Чхаидзе. – М. : Физкультура и спорт, 1970. – 136 с.

10. Belli, A. Moment and power of lower limb joints in running / A. Belli, H. Kyrolainen, P. V. Komi // Int. J. Sports Med. – 2002. – Feb. – 23 (2). – P. 136–141.

11. Bernd Tessendorf, Franz Gravenhorst, Bert Arnrich, and Gerhard Tröster. An imu-based sensor network to continuously monitor rowing technique on the water. In Proceedings of the Seventh International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP 2011). IEEE press, 2011.

12. A new measurement system for performance analysis in flatwater sprint kayaking / V. Bonaiuto [et al.] // MDPI Proceedings. – 2020. – 49 (1): 39.

13. Anytime, anywhere! Inertial sensors monitor sports performance / H.G. Espinosa [et al.]. – 2019. – P. 11–16.

14. Sonicseat: design and evaluation of a seat position tracker based on ultrasonic sound measurements for rowing technique analysis / G. Franz [et al.] // Springer Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2014. – P. 1–10.

15. Tridimensional kinematic analysis on a kayaking simulator: key factors to successful performance / E. Limonta [et al.] // Sport Sciences for Health. – 2010. – Vol. 6, N 1. – P. 27–34.

16. López, C. Quantitative analysis of kayak paddling technique: definition of an optimal stroke profile / C. López, Ribas Serna J. // Revista Andaluza de Medicina del Deporte. – 2011. – Vol. 4, N 3. – P. 91–95.

17. Matthew, W. A Systematic Review of Performance Analysis in Rowing Using Inertial Sensors / W. Matthew [et al.] // Electronics 2019, 8 (11), 1304. – Mode of access: https://doi.org/10.3390/electronics8111304.

18. Sinclair, P. The effects of horizontal and vertical forces on single scull boat orientation while rowing / P. Sinclair, A. Greene, R. Smith // In ISBS-Conference Proceedings Archive. – 2009. – Vol. 1.

19. Tessendorf, B. An IMU-based sensor network to continuously monitor rowing technique on the water / B. Tessendorf // In Proceedings of the 2011 Seventh International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, Adelaide, Australia, 6–9 December 2011; IEEE: Adelaide, Australia, 2011. – P. 253–258.

◇◇◇◇ Проблемы и перспективы количественной оценки производительности и результативности в гребных видах спорта ◇◇◇◇

Разуванов Владимир Михайлович, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Как известно, время победителей и призеров в гребле, в отличие от других видов спорта, весьма сильно варьируется в зависимости от множества факторов, в том числе места проведения соревнований, конкретных условий окружающей среды, уровня конкуренции. При этом данное явление наблюдается не только на состязаниях местного значения, но и на самых престижных международных стартах (Олимпийские игры, чемпионаты мира).

Высокая изменчивость скорости движения лодки при относительно однородных усилиях наблюдается и в тренировочной среде, где условия еще менее контролируемые (потоки воды в конкретном водоеме или его части, нечетко обозначенные дистанции и др.), меньшее число участников мирового класса, работа на «несоревновательных» режимах с точки зрения усилий и интенсивности. Такого рода комбинация внешних факторов затрудняет задачу объективного анализа данных, в том числе скоростей движения лодок и собственно результатов гонок в определенный соревновательный или тренировочный день.

В настоящее время в науке и практике используется большое разнообразие подходов для количественной оценки времени выполнения соревновательного упражнения, оценки скорости лодки, однако полного согласия по этим весьма важным вопросам, а именно – квантификации производительности и результативности в гребле, до сих пор согласия не достигнуто.

Для улучшения понимания факторов, определяющих скорость гребли на воде, среди прочих, были предложены методы, основанные на использовании так называемой «относительной производительности» (т. е. времени прохождения дистанции по сравнению с другими участниками), учете влияния погоды и внешних условий (например, ветра и температуры воды), а также оснащении лодок инновационным измерительным оборудованием, в том числе приборами измерения мощности.

Ниже будут обсуждены такого рода подходы, дана оценка их перспективности на основе современной научной литературы и практического опыта в элитном гребном спорте.

В настоящее время на Олимпийских играх проводятся 14 гребных соревнований, а на ежегодном чемпионате мира добавляются еще 6 дистанций в легких весовых категориях. Как и во всех «гоночных» видах спорта, в гребле результат, который в конечном счете имеет значение – это занятое место, или позиция по отношению к другим участникам на ключевых стартах. Однако не менее важно понимания «реальной», или абсолютной производительности, лежащей в основе этого результата, что особенно актуально для отбора спортсменов, мониторинга прогресса и оценки успешности подготовки для достижения результатов мирового класса. Также необходимо учитывать, что весь трениро-

вочный процесс обычно происходит в «домашней» среде, которая часто связана с менее контролируемыми условиями, включая течение рек и отсутствие буевых дорожек. В силу указанных причин важно искать подходы, которые помогают интерпретировать различия в производительности между различными тренировочными и соревновательными средами.

В более стандартизированных с точки зрения среды видах спорта, таких как плавание или велотрек, можно контролировать улучшение атлетических качеств, методов тренировки, технологий и/или тактики на основе изменений в конечной производительности, что отражается в лучших мировых результатах времени прохождения дистанции (world best time – WBT). Однако в открытых водных видах спорта, таких как гребля, дополнительная сложность динамической среды (например, ветер, температура воды) затрудняет количественную оценку производительности.

Если в качестве примера обратиться к последним Олимпийским играм (Токио 2021), где были установлены новые олимпийские рекорды в 12 из 14 дисциплин, причем 6 из этих рекордов также стали новыми WBT, можно заметить, что 10 из 12 новых олимпийских рекордов, включая все 6 WBT, были установлены в один и тот же день (28 июля 2021 года)! И, хотя можно предположить, что это указывает на объективное улучшение спортивной формы атлетов на самом последнем олимпийском старте, нельзя не принимать во внимание иные потенциально значимые факторы, такие как благоприятные погодные условия, особенно если учесть относительно более медленное время прохождение дистанций практически в каждой дисциплине (в среднем на 2,3 %) на последнем Чемпионате мира 2022 года в Чехии. Фактически, историческая информация о погоде для конкретных дат и мест этих событий подчеркивает значительную разницу в погодных условиях, которая может, по крайней мере отчасти, объяснить наблюдаемые различия во времени прохождения дистанций (Токио, 23–30 июля 2021 года – примерно 31 °C, и средняя скорость ветра 5,6 м/с, Чехия, 18–25 сентября 2022 года – 15 °C, и средняя скорость ветра 2,0 м/с). Дополнительно, для поддержки аргумента о специфическом влиянии места проведения на событие, 12 из 20 WBT в гребле сейчас разделяются только двумя гребными дорожками (Sea Forest Waterway/Токио, Япония и Босбаан/Амстердам, Нидерланды).

Следует признать, что изменчивость времени победного финиша в гребле не является новым открытием [1, 2], однако по-прежнему не существует полного согласия относительно лучшего способа учета этой вариации для контекстуализации результатов гонки или оценки той или иной тренировочной сессии. В связи с этим необходимо проанализировать имеющуюся информацию, а также опыт повседневной тренировочной практики элитных гребцов. Предлагается, среди прочего, учитывать ряд факторов, включая уровень конкуренции (в том числе стадию соревнования – отборочные заезды против финалов, которая может влиять на тактику и усилия спортсменов), скорость движения окружающей среды (место проведения гонки и погодные условия), а также класс лодки [2].

Предполагается, что более полное понимание производительности, полученное с помощью приборов для измерения мощности, может помочь оценить как индивидуальные, так и командные результаты, независимо от времени или занятого места [3, 4]. Наконец, учитывая количество времени, проводимого в тренировочной среде, следует рассмотреть переносимость и информационную значимость результатов, полученных в условиях тренировочной и соревновательной среды. Новые знания в этой области помогут тренерам и практикам более четко понимать базовый стандарт производительности, необходимый для достижения желаемого результата гонки.

Относительная производительность

Использование относительного времени для индексирования производительности в гребле получило широкое распространение [5, 7]. В частности, WBT для каждого класса лодок используются для установления фиксированного эталона, относительно которого определяется процент относительной скорости, часто называемой прогностической или «золотым стандартом» скорости [1]. Далее эти относительные скорости используются для определения интенсивности тренировок, установления стандартов отбора экипажей и оценки производительности в конкретных классах лодок [1]. У этого подхода, очевидно, есть ограничения, поскольку большинство используемых для установления этих прогностических скоростей WBT устанавливаются в лучших сценариях атлетической производительности (т. е. в отношении лучших спортсменов в мире, находящихся в пиковой форме) и при благоприятных погодных условиях (т. е. попутный ветер, теплая вода). В связи с этим на практике, вероятно, необходимо применять этот метод в более тонко скорректированном виде.

Один из методов, предложенный относительно недавно [5], включает дополнительный уровень относительности, применяемый внутри каждого соревнования с целью контроля факторов, специфичных для события, таких как место проведения, погодные условия и сила конкуренции. Время победы в каждом классе лодок отражалось как разница наиболее быстрого времени победы в данный день соревнования (чаще всего восьмерки с рулевым у мужчин). Эти разницы были рассчитаны на основе всех финалов, проведенных на Олимпийских играх и чемпионатах мира с 2005 по 2016 год и использованы для разработки скорректированного прогностического времени прохождения дистанции [5]. Одно из ключевых предположений в этом подходе – стабильность погодных условий в 2-часовом окне, в которое обычно проводятся эти события. Однако наблюдения на местности свидетельствуют о том, что это не всегда так. Вполне возможны резкие изменения погоды как между гонками, так и внутри них, а также переменные эффекты одинаковых погодных условий на разные классы лодок в зависимости от их расположения на дистанции (в т. ч. защита от ветра или боковой ветер) [2, 8]. Тем не менее, смоделированные таким образом времена гонок хорошо проявили себя при ретроспективном анализе, достаточно точно прогнозируя стандарт, который дает время победы в 80 % (диапазон

58–100 %) гонок в исторической базе данных (2005–2016 гг.). Однако когда эти времена были применены к последним Олимпийским играм в Токио 2021 года, они включили лишь 36 % (5/14) победных результатов. Это не означает, что самые быстрые экипажи, указанные этим скорректированным прогностическим стандартом, не могли быть самыми быстрыми экипажами в благоприятных условиях Токио, однако это подчеркивает ограничение прогностического подхода к установлению стандартов производительности в гребле.

Кроме целей отбора, прогностические скорости регулярно используются для определения интенсивности тренировочных нагрузок и отчетности о прогрессе спортсмена в различных тренировочных режимах [1]. Учитывая высокие требования к тренировочным нагрузкам гребцов [9], обычно оцениваются максимальные скорости на нерейсовых дистанциях и при заданных частотах гребков [4]. Конкретно максимальные усилия на дорейсовых дистанциях или продолжительные усилия на субмаксимальных частотах гребков часто используются в качестве прокси-показателей производительности на различных этапах сезона. Учитывая хорошо установленную связь между частотой гребка и скоростью лодки [1, 3, 10, 12], субмаксимальные частоты гребков часто соотносятся с целевой прогностической скоростью лодки. Так, в австралийской системе подготовки гребцов ставиться цель достичь 80 % прогностической скорости при частоте гребка 20 уд/мин [13]. Хотя этот метод масштабирования позволяет довольно точно оценивать производительность, во время тренировки нередко сталкиваются с переменными погодными условиями (течение, отсутствие буевой дорожки), что может существенно затруднить интерпретацию результатов. Специально организованные тренировочные сессии на контролируемом месте (т. е. с буевой дорожкой) или сессии, которые включают повторяющиеся усилия с различными внешними условиями (против ветра/течения, по ветру/течению), могут помочь снизить дополнительные источники изменчивости и систематические ошибки.

Подобно подходу Кимминса и Цай [5], тренеры и практики часто обращаются к относительной производительности для оценки спортсменов в рамках каждой отдельной тренировочной сессии. Это также помогает понять контекст погодных условий, однако очевидным ограничением данного метода является качество подготовленности гребца в данной тренировочной среде (помимо надежности его выступлений).

В целом, хотя относительное время может предложить улучшенный контекст оценки результатов в рамках конкретного события (т. е. дня соревнования или отдельной тренировочной сессии), оно ограничено в возможности оценки изменений, когда речь идет о различных местах занятий или с течением времени, во всяком случае без более глубокого понимания влияния иных факторов, таких как погодные условия.

Влияние окружающей среды

Учет влияния окружающей среды на производительность на воде является особенно интересным и важным в гребле, однако сложность этой задачи нельзя недооценивать из-за многофакторного и динамического характера влияния окружающих условий как над водой (например, ветер и состояние волн), так и под водой (например, температура воды, течение и глубина гребного канала), а также последующего влияния этих условий на стабильность лодки и технику гребцов.

Первое препятствие, которое нужно преодолеть в процессе решения этой проблемы – точное определение всех окружающих факторов. Хотя существуют некоторые основные стандарты для международных гребных трасс (например, глубина воды и минимальное течение), прочие факторы остаются неустановленными (например, ветер, температура воды), и эта изменчивость усиливается в менее контролируемых тренировочных средах (например, переменное направление движения, течение). В настоящее время не существует стандартизированного метода сбора и отчетности данных об окружающей среде с международных соревнований, и, вероятно, большинство тренировочных баз также не используют стандартизированные системы сбора данных. В число данных, подлежащих сбору, могут быть включены показатели метеостанций, расположенных рядом с местом проведения тренировок или соревнований, или комбинации данных нескольких станций, размещенных в определенной области, с тем, чтобы более точно учесть возможную изменчивость на заданном месте. Отмечают, что различия в силе и направлении ветра могут отличаться для разных экипажей даже внутри одной и той же гонки (например, защита от ветра в полосах ближе к берегу), поэтому подобная детализация данных может быть весьма важной [1, 2, 8].

Альтернативным вариантом сбора данных является использование установленных на лодку датчиков, которые непосредственно измеряют влияние ветра на каждую лодку. Одной из доступных к применению систем является система, предложенная Клешневым [1], однако ограниченное количество рецензируемых научных данных не позволяет оценить в полной мере ее достоверность. Даже если бы удалось точно собрать такие данные об окружающей среде, оставалась бы нерешенной проблема определения степени их влияния на скорость лодки.

Основное воздействие окружающей среды на скорость лодки в гребле происходит от гидродинамического сопротивления [14]. Эксперименты в аэродинамической трубе показали, что примерно 13 % гидродинамического сопротивления вызвано аэродинамическим сопротивлением над поверхностью воды, из которых 50 % приходится на весла, 35 % на тела гребцов и 15 % на лодку и такелаж [1, 14]. Эти пропорции могут увеличиваться до 4 раз в условиях встречного ветра, но могут уменьшаться до нуля при благоприятном ветре с кормы, при этом техника гребца (например, правильное раскрытие лопасти весла) также влияет на аэродинамическое сопротивление и скорость лодки [15]. Исходные

экспериментальные данные Фильтера [14] показали, что встречный, боковой и попутный ветры могут влиять на лодки по-разному, что также может меняться в зависимости от размера/формы гребца (например, мужчины или женщины) [14, 16]. Возможно, изменчивость скорости ветра во время гонки (например, порывы ветра) создает больше сложностей, чем можно учесть с помощью простого среднего показателя скорости ветра.

Среда под водой, трение воды о лодку, а также генерация волн составляют оставшиеся 80 % и 7 % гидродинамического сопротивления соответственно [1, 14]. Первое существенно зависит от температуры воды, – с увеличением температуры вязкость и плотность среды уменьшаются, соответственно уменьшается и трение воды [14, 17]. В 1970-х годах был разработан фактор коррекции скорости лодки в зависимости от температуры воды на основе экспериментальных данных, однако данные, представленные Австралийским институтом спорта, показали, что этот коэффициент все же недооценивает влияние температуры воды [17]. Течение воды представляет дополнительную сложность в тренировочных средах на проточных водных путях. Корпусные импеллеры, измеряющие скорость лодки относительно течения воды, могут предоставить решение этой проблемы, однако они сложны в установке и калибровке, часто подвержены воздействию речных отложений.

Несмотря на сложности с учетом и корректировкой влияния окружающих условий на скорость лодки, было предпринято множество попыток подобного рода [18–21]. Одним из практических примеров применения коррекций окружающей среды являются данные, опубликованные Rowing Australia на основе испытаний национальной юношеской сборной, проведенных в Канберре в мае 2022 года. В данном исследовании экипажи соревновались на дистанциях 1500 или 1800 м. Специальные метеостанции были размещены на интервалах вдоль обеих сторон трассы (0, 300, 800, 1300 и 1800 м) с тем, чтобы измерить скорость и направление ветра над уровнем воды. Температура воды также измерялась и отображалась для каждой гонки. Были собраны повторные результаты с одними и теми же экипажами в каждом классе лодок, а средние скорости гонок скорректированы для стандартизированных условий окружающей среды (ветер 0 м/с и вода 26 °C), которые выбраны для представления идеальных условий в европейском сезоне гребли. Коррекция температуры воды проводилась с использованием регрессионного уравнения, предложенного Лазаускасом [17], а коррекция ветра основывалась на работе Фильтера [14], однако поправки были уменьшены до 50 % от тех, которые предоставлялись на основе исторических испытаний этой модели. Хотя условия, отраженные в исследовании, были благоприятными (ветер 0–2,4 м/с), все же наблюдалось повышение надежности результатов для одних и тех же экипажей по сравнению с исходным временем, которое демонстрировало смещение к более холодным температурам вод. Безусловно, этот пример имеет очевидные ограничения из-за переменных дистанций гонок и относительно небольшой выборки, однако он подчеркивает потенциальную

пользу коррекции факторов окружающей среды для достижения более точного стандарта в различных условиях.

Моделирование с целью прогнозирования ожидаемого/необходимого времени прохождения дистанции на предстоящих соревнованиях или ретроспективный анализ стандартизированных результатов соревнований, полученных при различных окружающих условиях, имеют большую ценность для тренеров и практиков гребли. Для дальнейшего развития существующих исследований в этой области [2, 3] требуется больше данных, полученных в более широком спектре окружающих условий. Кроме того, учитывая сложность этой задачи, требуется более четкая и последовательная методология сбора и корректировки окружающих данных. Недавние работы Холта с соавторами [3] подчеркивают ценность включения дополнительных контекстуальных показателей гребли, таких как частота гребков и мощность в целях совершенствования прогнозирования результатов тренировок на воде.

Инструменты оценки мощности

Один из потенциальных способов развития более глубокого понимания скорости лодки или времени гонки в гребле – оценка кинетических данных, доступных благодаря оснащению лодок измерительными приборами [2]. В водных видах спорта наблюдается нелинейная связь между мощностью и скоростью [3, 23, 24], при которой рост скорости лодки на 1 % требует увеличения выходной мощности на 2,9–3,7 % для преодоления сопротивления воды [3]. Хотя эта связь может зависеть от окружающих условий и особенностей спортсмена (например, веса тела, эффективность техники), измерения мощности на воде могут предоставить более точную оценку интенсивности тренировки и производительности [10, 24, 25].

Так, в исследовании Холта с соавторами [3] было обнаружено, что средняя мощность во время гонки на 2000 м на воде является наилучшим предиктором прогнозирования скорости гонки, если при этом учитывать показатели частоты гребка и направления ветра. Развитие знаний в этой области имеет непосредственную ценность для тренеров и практиков спорта, поскольку дает возможность использовать целевую мощность в тренировочной среде для подготовки к желаемым скоростям гонок. Как было указано ранее, следует учитывать также дополнительную переменную – поток воды в тренировочных средах и его влияние на отношение мощности к скорости.

В работе Хогана с соавторами на примере гребли на байдарках [24] был продемонстрирован разрыв связи между мощностью и скоростью при работе с постоянной интенсивностью (мощностью и частотой гребка) вверх и вниз по течению реки. Была проведена корректировка связи мощности со скоростью, измеренной с помощью установленного на лодке импеллера, так как это позволяет более точно учесть скорость движения воды по сравнению с традиционным измерением скорости на суше (например, с помощью GPS). Следовательно, вместо попыток индивидуального учета всех внешних факторов окружаю-

щей среды, которые могут влиять на скорость лодки (например, ветер и поток), мощность может предоставить более холистический и надежный метод оценки производительности на воде в гребле. Более того, измерение мощности может предоставить дополнительные преимущества во время тренировочного процесса, если ее использовать в качестве инструмента оперативной обратной связи, поскольку доказано, что качество дозирования тренировочной работы по интенсивности на 65 % выше при использовании данного метода по сравнению с обратной связью от тренера на основании скорости лодки и частоты гребков [25].

По сравнению с более технологически развитыми видами спорта, такими как велосипедный, очевидно, что оценка мощности на воде в гребле имеет весьма богатый потенциал для количественной оценки производительности посредством связи с мощностно-зависимой скоростью в сочетании с физиологическими показателями спортсмена.

В процессе сравнительного исследования достоверности некоторых доступных измерительных систем наибольший уровень точности и надежности показала британская система Peach (Peach Innovations, Кембридж, Великобритания) [26]. Однако следует отметить, что использование таких измерительных систем требует довольно значительных затрат (приблизительно 700–1400 долларов/место) и повышает массу лодки (приблизительно на 250–400 г/место) [30]. Кроме того, были высказаны отдельные концептуальные замечания относительно показателей мощности, которые предоставляется широко используемыми системами измерительных приборов, в том числе потому, что эти методы не учитывают все силы, действующие на систему лодка–гребец (например, силу, передаваемую через ноги, и определяющую ускорение спортсмена). Предполагаемая недооценка истинной мощности механической работы составляет около 10 % [3, 28]. В связи с этим Хофмийстер и соавторы [28] предложили, что в случаях, когда требуется расчет истинной механической мощности, например, при сравнении тренировок на воде и на лабораторных эргометрах, или при определении интенсивности тренировки с использованием мгновенной обратной связи по мощности, следует применять поправочный коэффициент к показателю так называемой «псевдомощности».

Более того, следует отметить, что показатели мощности в отдельности не могут заменить более полную и целостную оценку работы гребцов, поэтому для более полного объяснения индивидуальных показателей спортсмена и производительности лодки следует учитывать дополнительные переменные, включая частоту гребков и техническую эффективность [3]. С учетом указанных ограничений, измерения мощности на воде имеют большой потенциал для использования в целях углубления понимания тренерами, практиками и спортсменами стандартов производительности в гребле на воде.

На основании проведенного обзора можно сделать следующие выводы:

сегодня весьма актуальны проблемы, связанные с получением достовер-

ных показателей производительности в гребле на воде, поскольку необработанные показатели скорости лодки и времени гонки подвержены влиянию множества факторов как в соревновательных, так и в тренировочных условиях;

сравнение относительного времени является наиболее доступным и достаточно эффективным методом учета контекста для конкретного события (например, дня соревнований или одной тренировочной сессии), но существенно ограничено по возможности оценки продолжительных изменений или сравнения результатов, полученных в различных местах и условиях;

количественная оценка влияния окружающей среды является крайне сложной, однако коррекция на основе температуры воды, скорости и направления имеет смысл в умеренных условиях, при этом исследования должны быть направлены на разработку стандарта сбора данных об окружающей среде и проверку достоверности коррекций окружающей среды в более широком диапазоне условий и гребных классов;

измерение мощности представляет собой многообещающую инновационную область исследований, имеющую значительный потенциал для обеспечения более глубокого и качественного понимания как индивидуальной производительности спортсмена, так и производительности лодки в условиях реальной гребли на воде;

следует интенсифицировать дальнейшие исследования, направленные на более глубокое понимание взаимосвязи между мощностью и скоростью, разработку стандартов производительности с учетом новых доступных параметров, а также верификацию достоверности трансляции информации между тренировочной и соревновательной средой.

Литература:

1. Kleshnev, V. Biomechanics of rowing: 2nd edn. / V. Kleshnev. – Wiltshire, England: The Crowood Press Ltd, 2020. – 192 p.

2. Smith, T. B. Variability and predictability of finals times of elite rowers / T. B. Smith, W. G. Hopkins // Med Sci Sports Sci. – 2011. – Vol. 43 (11). – P. 2155–2160.

3. Prediction of 2000-m on-water rowing performance with measured derived from instrumented boats / A. C. Holt [et al.]. // Scand J Med Sci Sports. – 2022. – Vol. 32. – P. 710–719.

4. Smith, T. B. Measures of rowing performance / T. B. Smith, W. G. Hopkins // Sports Med. – 2012. – Vol. 42 (4). – P. 345–358.

5. Kimmins, K. M. Towards a more objective time standard in competitive rowing / K. M. Kimmins, M. C. Tsai // J Quant Anal Sports. – 2021. – Vol. 17 (4). – P. 307–311.

6. Kleshnev, V. Q & A / V. Kleshnev // Rowing Biomechanics Newsletter. – 2005. – Vol. 1 (5). – P. 387–411.

7. McArthur, J. High performance rowing / J. Mc. Arthur. – Wiltshire, England : The Crowood Press Ltd, 1997. – 160 p.

8. Bonetti, D. L. Variation in performance times of elite flat-water canoeists from race to race / D. L. Bonetti, W. G. Hopkins // Int J Sports Physiol Perform. – 2010. – Vol. 5 (2). – P. 210–217.

9. Profiling the training practices and performance of elite rowers / J. Tran [et al.]. // Int J Sports Physiol Perform. – 2015. – Vol. 10 (5). – P. 572–580.

10. Technical determinants of on-water rowing performance / A. C. Holt [et al.]. // Front Sports Act Living. – 2020. – Vol. 2. – P.1–10.

11. Coker, J. Using a boat instrumentation system to measure and improve elite on-water sculling performance: dissertation / doctor of philosophy thesis / J. Coker. – Auckland (NZ): Auckland University of Technology, 2010. – 82 p.

12. Martin, T. P. Effect of stroke rate on velocity of a rowing shell / T. P. Martin, J. S. Bernfield // Med Sci Sports Exerc. – 1980. – Vol. 12 (4). – P. 250–256.

13. Rice AJ. Rowing Australia: training speed tables [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tinyurl.com/449kn8an. – Дата доступа: 06.06.2023.

14. Filter, K. B. "The system crew-boat", FISA juniors' coaches conference, Naples, Italy, 15–18 Oct (2009). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://data.wintechracing.com/wp-content/uploads/2020/01/System-Crew.pdf. – Дата доступа: 06.06.2023.

15. Lazauskas, L. Rowing Science Notes: 7 September 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tinyurl.com/4jfxzuxc. – Дата доступа: 06.06.2023.

16. Kleshnev V. Rowing Biomechanics Newsletter. (2009) 9 (105) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.biorow.com/RBN_en_2009_files/2009RowBiom News12.pdf. – Дата доступа: 06.06.2023.

17. Lazauskas L. Rowing Science Notes: 4 July (2012) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tinyurl.com/2p8r2xxt. – Дата доступа: 06.06.2023.

18. Diafas, V. Weather conditions during Athens Olympic rowing and flatwater canoe-kayak regatta at the Olympic rowing centre in schinias / V. Diafas // Kinesiology. – 2006. – Vol. 38 (1). – P. 72–77.

19. Development of a kayak race prediction including environmental and athlete effects / A. Higgens [et al.]. // Procedia Eng. – 2016. – Vol. 147. – P. 305–310.

20. Mola, A. Multi-physics and multilevel fidelity modelling and analysis of Olympic rowing boat dynamics : dissertation / doctor of philosophy thesis / A. Mola. – Blacksburg (VA) : Virginia Tech, 2010. – 68 p.

21. Pomerantsev, A. The retrospective comparison of Olympic rowing results considering weather / A. Pomerantsev [et al.]. // BIO Web Conf. (2022) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2022/07/bioconf_shlc2022_01 014. pdf. – Дата доступа: 06.06.2023.

22. Results of single sculling technique analysis using 3d mathematical model / M. Wychowanski [et al.] // IFAC-Papers OnLine. – 2018. – Vol. 51 (2). – P. 879–883.

23. Hill, H. The impact of fluctuations in boat velocity during the rowing cycle on race time / H. Hill, S. Fahrig // Scand J Med Sci Sports. – 2009. – Vol. 19 (4). – P. 585–594.

24. Quantifying sprint kayak training on flowing river: exploring the utility of novel power measures and its relationship to measures of relative boat speed / C. Hogan [et al.] // Eur J Sport Sci – 2021. – Vol. 22 (11). – P. 1668–1677.

25. Lintmeijer, L. L. Real-time feedback on mechanical power output: facilitating crew rowers' compliance with prescribed training intensity / L. L. Lintmeijer // Int J Sports Physiol Perform. – 2019. – Vol. 14 (3). – P. 303–309.

26. Relationships between measures of boat acceleration and performance in rowing, with and without controlling for stroke rate and power output / A. C. Holt [et al.] // PLoS One. – 2021. – Vol.16 (8). – P. 249–262.

27. Holt, A.C. Concurrent validity of power from three on-water rowing instrumentation systems and a concept-2 ergometer / A. C. Holt // Front Physiol. – 2021. – Vol. 12. – P. 58–105.

28. Mechanical power output in rowing should not be determined from oar forces and oar motion alone / M. J. Hofmijster [et al.] // J Sport Sci. – 2018. – Vol. 36 (18). – P. 2147–2153.

29. Improved determination of mechanical power output in rowing: experimental results / L. L. Lintmeijer [et al.] // J Sports Sci. – 2018. – Vol. 36 (18). – P. 2138–2146.

30. Peach Innovations – Rowing Telemetry and Instrumentationhttp [Электронный ресурс]. – Режим доступа: //www.peachinnovations.com/. – Дата доступа: 06.06.2023.

◇◇◇◇ Использование современных технологий для подготовки спортсменов в гребных видах спорта ◇◇◇◇

Дарануца Кристина Сергеевна, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

На основании результатов многолетних исследований установлено, что при выполнении соревновательных нагрузок в гребных видах спорта участвует около 95 % мышц всего тела спортсмена [1]. При этом основная нагрузка приходится на мышцы спины и верхнего пояса. На всех этапах многолетней подготовки гребцов приходит изучение двигательных действий овладение техникой, детализация техники, стабилизация и совершенствование [2].

Важно понимать, что данный вид спорта оказывает значительную нагрузку на позвоночный столб, помимо этого требуется умение держать равновесие, поэтому набор юных гребцов происходит с 12–13 лет. Также при отборе в грибные виды спорта учитывают уровень развития физических качеств.

На результаты в гребных видах спорта влияет не только подготовка спортсменов во время тренировки, но и соревновательные нагрузки. Итоги соревнований зависят от ряда показателей: интегральный показатель – механическая мощность гребли; частные показатели – максимальная сила, темп гребли, время опорной фазы, ритм гребли, длина гребка, амплитуда движений и т. д. Все это обусловливается высокой степенью саморегуляции движений и специальной работоспособностью гребцов [3].

Ученые выявили, что в условиях соревнований все физические качества проявляются одновременно, поэтому высокий уровень как отдельных физических качеств, так и их сочетаний является одним из важнейших условий достижения высокой скорости на дистанции [3].

Для планирования тренировочных нагрузок необходимо учитывать приоритетность развития специальных физических качеств спортсмена, а также вид упражнений (аэробного характера или гликолитической анаэробной направленности) [4]. Так в гребных видах спорта применяются современные тренажеры, эффективность использования которых можно увеличить, дополнительно применяя инновационное оборудование.

Для совершенствования физических качеств во время тренировочного процесса можно использовать многофункциональные тренажеры (рисунки 1, 2) [5, 6].

Рисунок 1 – Гребной тренажер Body Style TR220

Рисунок 2 – Многофункциональный тренажер TOTAL GYM Elevate Encompass TG\5200-B2

Данные тренажеры имитируют занятие греблей на воде, повторяя движения веслами. Функциональная тренировка на тренажерах способствует развитию и укреплению мускулатуру, поддержке тонуса мышц, растяжению и укреплению сухожилий и связок, выравниванию осанки и закреплению двигательных действий.

При использовании многофункциональных тренажеров дополнительно происходит улучшение кровообращения, улучшение работы легких, укрепление сердечной мышцы и сосудов, нормализация работы ЦНС, активизация обмена веществ [7].

Однако не смотря на эффективность применения данных тренажеров, существует вероятность неправильного исполнения двигательных действий, что в свою очередь может привести к значительным нарушениям в работе опорно-двигательного аппарата. В рамках контроля правильного исполнения движений можно использовать датчики активности – многофункциональные устройства, которые считывают информацию с активных точек спортсмена и посылают ее на устройство тренера, что позволяет анализировать состояние спортсмена и проделанную им работу в режиме реального времени [8].

К датчикам активности можно отнести 3D-фитнес-трекер NOTCH – комплекс датчиков, которые отслеживают физическую активность спортсмена. Устройство, изобретенное американской компанией Notch Interfaces, вмещает в себе акселерометры, гироскопы и компасы, а также датчики, записывающие информацию и передающие ее в мобильное приложение, в котором все движения воспроизводятся в 3D-формате (рисунок 3) [9].

Рисунок 3 – 3D-фитнес-трекер NOTCH

Преимуществами 3D-фитнес-трекера NOTCH являются:

– возможность для тренера получать данные о физической форме атлетов и выявлять проблемы с техникой в режиме реального времени;

– наличие вибромоторов, которые сигнализируют о неправильном выполнении движений;

– возможность отслеживать прогресс физических тренировок;

– возможность настроить датчики под каждого спортсмена, с учетом его физических и физиологических показателей;

– влагостойкость, что является огромным плюсом при гребле или плавании и т. д. [9].

Данное устройство возможно применять для любого вида спорта и в любой период тренировочного процесса.

В совокупности, во время тренировочного процесса на многофункциональных и гребных тренажерах с применением 3D-трекеров или датчиков активности позволит тренеру получить необходимую информацию для корректировки тренировок и поддержания высокой работоспособности спортсменов. Это будет способствовать совершенствованию навыков и умений при выполнении двигательных действий, а также уменьшит до минимума риски травматизма опорно-двигательного аппарата. Применение данных технологий со второго этапа многолетней подготовки (детализация техники) значительно повысит эффективность подготовки и увеличит результативность спортсменов во время соревнований.

Литература:

1. Академическая гребля: история и правила / В. В. Вольский [и др.] // Ломоносовские чтения. Актуальные вопросы фундаментальных и прикладных исследований : сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф.. – Петрозаводск, 2021. – С. 175–180.

2. Купашин, Ю. Ф. Теория и методика физической культуры / Ю. Ф. Купашин. – М., 2002. – 320 с.

3. Боровая, В. А. Особенности соревновательной деятельности в гребле на байдарках и каноэ / В. А. Боровая, М. Н. Лубкова, А. Е. Причинич // Здоровье для всех : сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Пинск, 2012. – С. 138–140.

4. Структура тренировочных нагрузок в гребле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://apni.ru/article/4472-struktura-trenirovochnikh-nagruzok-v-greble. – Дата доступа: 29.10.2020.

5. Гребные тренажеры : Каталог фитнесс оборудования SSTBY. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sst.by/grebnyie-trenazheryi/. – Дата доступа: 19.05.2022.

6. Многофункциональный тренажер TOTAL GYM Elevate Encompass TG\5200-B2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.wellgallery.ru/products/ mnogofunktsionalnyj-trenazher-total-gym-elevate-encompass-tg5200-b2/. – Дата доступа: 16.01.2021.

7. Занятия на гребном тренажере: какие мышцы работают и рекомендации к упражнениям «гребля» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https:// vashnarkolog.com/sport-i-zozh/grebnoj-trenazer-kak-pravilno-zanimatsa-tehnika-grebli. – Дата доступа: 07.02.2023.

8. Современные технологии в спортивной тренировке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://traveltimes.ru/современные-технологии-в-спортивной/. – Дата доступа: 26.03.2022.

9. 3D-фитнес-трекер NOTCH для эффективной тренировки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://madrobots.ru/blog/post/notch-3D/. – Дата доступа: 03.12.2019.

Использование интеллектуальных сенсорных систем регистрации силовых параметров в гребле на каноэ

Шешко Валентина Владимировна, ведущий специалист информационно-аналитического отдела центра координации научно-методической и инновационной деятельности

Высокого спортивного результата в современном спорте невозможно достичь без совершенствования алгоритмов управления процессом подготовки спортсменов, основанных на использовании инновационных технических средств для количественной оценки и контроля техники выполнения соревновательных упражнений [1]. Такой подход позволяет определить основные факторы, влияющие на эффективность выполнения упражнений, выявить характерные особенности взаимодействия отдельных элементов двигательных действий, а также отслеживать динамику подготовленности спортсмена в доступных для понимания тренеру и спортсмену величинах [2].

Безусловно, гребля относится к видам спорта, результативность осуществления соревновательной деятельности в котором в равной степени обусловлена уровнем физических кондиций и технического мастерства спортсмена. Сложность количественного описания техники гребли в условиях естественной управляющей среды обусловливается тем, что гребная локомоция осуществляется одновременно в воздушной и водной средах [3]. Подобное обстоятельство предъявляет дополнительные требования к защищенности контрольно-измерительных систем и устройств, что сказывается на их габаритных размерах и качестве регистрируемых данных. Вследствие этого, основными и широко распространенными инструментальными средствами контроля уровня технической подготовленности спортсменов-гребцов являются: секундомер, высокоскоростная видеокамера, специализированное программное обеспечение видеоанализа движений, а также различные инерционные измерительные системы, основанные на технологии GPS и, как правило, состоящие из набора стандартных модулей (акселерометр, магнитометр, гироскоп) [4]. Данные, получаемые посредством подобных устройств и систем, описывают исключительно кинематическую структуру гребных локомоций и носят следственный характер, что не позволяет судить о факторах, обеспечивающих текущую производительность спортсменов-гребцов [5].

Одним из факторов, непосредственно оказывающих влияние на спортивный результат в гребле, является взаимодействие весла спортсмена с поверхностью воды: усилие, прикладываемое к веслу; скорость нарастания усилия; распределение развиваемого усилия во времени; выполняемая спортсменом работа; затрачиваемая спортсменом энергия и т. д. Взаимодействие спортсмена с веслом в цикле гребных локомоций сопровождается деформацией инвентаря, а величина деформации, как правило, пропорциональна величине прикладываемого усилия. Вследствие этого одним из наиболее объективных методов количественной оценки и контроля эффективности гребка, позволяющем получить точные и достоверные данные, является тензометрия. При этом стоит отметить,

что метод тензометрии в области спорта и в гребле на каноэ, в частности, неоднократно применялся с целью определения динамических параметров, характеризующих выполнение соревновательного упражнения, а также отдельных его элементов [6–12]. Однако системы, используемые в такого рода исследованиях, достаточно громоздки, анализ массива полученных данных трудоемок и требует значительных временных затрат, что не позволяет внедрять подобные средства в практику подготовки спортсменов.

В современном спорте необходимо использовать компактные беспроводные датчики на базе микрокомпьютеров и аналого-цифровых преобразователей, не влияющие (либо незначительно) на эргономические свойства снарядов и инвентаря, а также позволяющие регистрировать данные в условиях, приближенных к соревновательным [13]. На сегодняшний день основным и наиболее достоверным методом регистрации и оценки силового взаимодействия гребца с поверхностью воды посредством весла является тензометрия. Тензометрический метод исследования основывается на использовании в составе измерительных систем и устройств тензорезистивных элементов. Вследствие конструкции и схемотехнических особенностей подключения тензорезисторов в электрическую схему, регистрируемые данные пропорциональны величине деформации инвентаря, в данном случае древка весла.

В лаборатории спортивной биомеханики Белорусского национального технического университета ведется разработка интеллектуальных тензометрических датчиков, позволяющих регистрировать упругие деформации индивидуального инвентаря с передачей информации по каналу беспроводной передачи данных Bluetooth на устройство-приемник (мобильный телефон или компьютер). Конструктивно датчик представляет собой секционное устройство, монтируемое посредством крепежных хомутов на древко весла (рисунок 1).

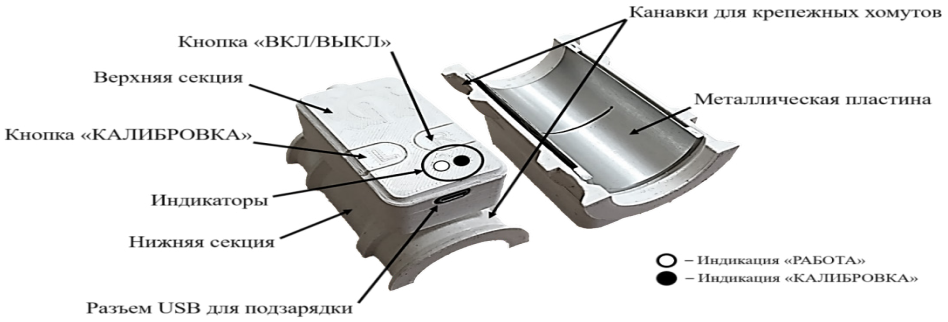

Рисунок 1 – Интеллектуальный тензометрический датчик на весло

Чувствительный элемент, представленный тензорезистором, наклеен на упругую тонкую металлическую пластину и располагается в нижней секции, прилегающей непосредственно к древку весла. В нижней секции предусмотрены

канавки для крепежных хомутов. Микросхемы, органы управления датчиком и индикаторы, сигнализирующие о том, что датчик включен, а также о переходе в режим калибровки, расположены в верхней секции. Режим калибровки, предустановленный в программном обеспечении датчика, активируется нажатием соответствующей кнопки. Повторным нажатием кнопки при действии нагрузочного веса производится калибровка весла. Параметры калибровки сохраняются при выключении датчика, однако обнуляются при полной его разрядке. Сброс данных калибровки осуществляется посредством нажатия кнопки калибровки при условии наличия в оперативной памяти устройства калибровочных данных.

Использование интеллектуального датчика в гребле на каноэ позволяет получить как количественные данные, так и графический материал, представленный тензодинамограммой, которая демонстрирует зависимость суммарной нагрузки, прикладываемой к веслу, от времени и отражает выполнение спортсменом как опорной, так и безопорной части гребка. В опорной части гребка деформация древка весла обеспечивается за счет активного взаимодействия спортсмена с веслом и поверхностью воды в цикле гребных локомоций, а также инерционными силами, возникающими в ответ на резкое изменение пространственного положения весла. Часть кривой зависимости, находящейся в области положительных значений, соответствует опорной части гребка, а часть кривой, находящейся в области отрицательных значений, соответствует безопорной части гребка. Однако точное определение фаз гребка требует наличия в датчике встроенной системы видеосинхронизации со скоростной камерой, что предполагается сделать на последующих стадиях разрабатываемой методики. Общие закономерности поведения кривой при выполнении гребка представлены на рисунке 2.

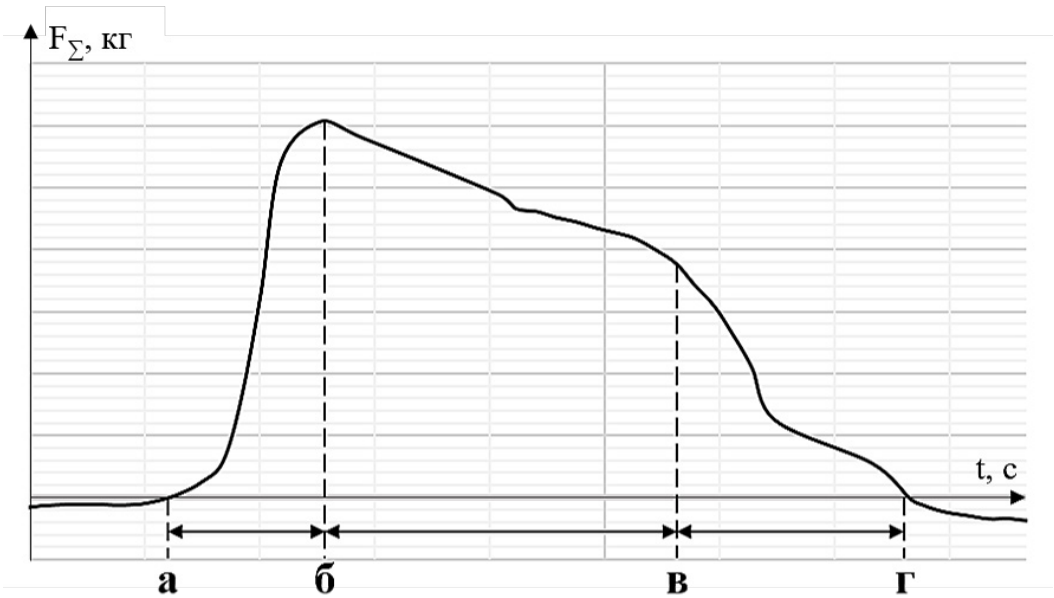

Рисунок 2 – Участки кривой тензодинамограммы при выполнении гребка

В частности, участок кривой, ограниченный отрезком «а–б», соответствует фазе зацепа и началу опорной части гребка, которая характеризуется резким повышением величин прикладываемой к веслу нагрузки. Участок кривой, ограниченный отрезком «б–в», соответствует фазам подтягивания и отталкивания от поверхности воды и характерен изменением величин нагрузки в пределах 30–40 % от максимального значения за гребок. На участке кривой, ограниченной отрезком «в–г», происходит существенное снижение прикладываемой нагрузки, что соответствует извлечению лопасти весла из воды.

Таким образом, согласно алгоритмам анализа результирующей кривой тензодинамограммы, в динамике выполнения упражнений, и математического расчета составляющих суммарного усилия, прикладываемого к веслу в процессе гребли, возможно оценить уровень скоростно-силовой и технической подготовленности спортсменов. Получаемые данные позволяют качественно оценивать технику гребли в режиме реального времени, а регистрируемые цифровые показатели количественно характеризуют качество гребка. Применение подобных датчиков может быть востребованным и при подборе индивидуальных весел различных производителей, а также в качестве средств биологической обратной связи при выполнении специальных упражнений, способствующих коррекции техники движений спортсменов, в естественных условиях выполнения гребных локомоций [14].

Литература:

1. Козина, Ж. Л. Концепция индивидуального подхода в спорте / Ж. Л. Козина, К. Прусик, Е. Прусик // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. – Харків : ХДАДМ, 2015. – № 3. – С. 28–37.

2. Ashley, K. Sensors in sports: analyzing human movement with AI / K. Ashley, P. Ryan, O. Vigdorovich // MSDN Magazine. – 2018. – Vol. 33, № 4. – P. 28–37.

3. Померанцев, А. А. Биомеханический анализ водных локомоций на основе методики пространственной реконструкции гребка / А. А. Померанцев // Российский журнал биомеханики. – 2014. – Т. 18, № 1. – С. 73–82.

4. Croft, H. G. Developing and applying a tri-axial accelerometer sensor for measuring real time kayak cadence / H. G. Croft, D. C. Ribeiro // Procedia Engineering. – 2013. – № 60. – P. 16–21.

5. Fong, D. T.-P. The use of wearable inertial motion sensors in human lower limb biomechanics studies: a systematic review / D. T.-P. Fong, Y.-Y. Chan // Sensors. – 2010. – Vol. 10 iss. 12. – P. 11556–11565.

6. Анциперов, В. В. Технология тензометрического измерения в спорте: монография / В. В. Анциперов. – Волгоград : ФГОУВПО «ВГАФК», 2013. – 129 с.

7. Варошкин, Г. Изследване стойностите на допълнитления импулс на силата при скислалома / Г. Варошкин // Въпроси на физическата култура. – 1979. – № 5. – С. 230–235.

8. Тихонин В. И. Методы исследования динамических характеристик в прыжках в высоту : метод. пособие / В. И. Тихонин. – Волгоград : ВГАФК, 2004. – 32 с.

9. Přibramsky, M. Tenzometricke snimace silke sledovani smen v satizeni lyzi / M. Přibramsky // Teorie ta praxe telesne vychovy. – 1976. – № 3. – S. 169–174.

10. Sperlich, J. Biomechanical testing in elite canoeing / J. Sperlich, J. Baker // 20 International

Symposium on Biomechanics in Sports, Cáceres, July 1–5, 2002. – Cáceres, 2002. – P. 44–47.

11. Sperlich, J. Biomechanics of canoe slalom: measuring techniques and diagnostic possibilities / J. Sperlich, J. Klauck // 10 International Symposium on Biomechanics in Sports, Milan, June 15–19, 1992. – Milan, 1992. – P. 82–84.

12. Tullis, S. Detailed on-water measurements of blade forces and stroke efficiencies in sprint canoe / S. Tullis, C. Galipeau, D. Morgoch // Proceedings. – 2018. – Vol. 2. – P. 306–314.

13. Sensor Fusion and Smart Sensor in Sports and Biomedical Applications / J. J. A. Jr. Mendes [et al.] // Sensors. – 2016. – Vol. 16, iss. 10. – P. 1569–1600.

14. Лукашевич, Д. А. Использование интеллектуальных систем для подбора индивидуального весла в гребле на каноэ / Д. А. Лукашевич, Д. И. Гусейнов // Прикладная спортивная наука. – 2019. – № 1 (9). – С. 18–25.

Беспроводная система измерения гребли для улучшения гребных характеристик спортсменов

*Ричард Хохмут *, Даниэль Швенсоу, Хаген Мальберг и Мартин Шмидт*
Институт биомедицинской инженерии, ТУ Дрезден, 01307 Дрезден, Германия

A WIRELESS ROWING MEASUREMENT SYSTEM FOR IMPROVING THE ROWING PERFORMANCE OF ATHLETES

Richard Hohmuth *, Daniel Schwensow, Hagen Malberg and Martin Schmidt
Institute of Biomedical Engineering, TU Dresden, 01307 Dresden, Germany

Аннотация. Техника гребли является ключевым фактором во всех гребных видах спорта. Сегодня спортсмены демонстрируют такие высокие показатели, что даже небольшие различия в технике могут повлиять на результаты спортивного соревнования. Дальнейшее повышение показателей спортсменов требует индивидуального подхода к технике гребли. Этого можно достичь с использованием интеллектуальной технологии измерений, которая обеспечивает прямую обратную связь со спортсменом. Для решения этой проблемы авторы статьи разработали новую беспроводную систему измерения гребли (wireless rowing measurement system, WiRMS), которая анализирует гребное движение и измеряет мышечную активность с помощью электромиографии (EMG). Данная система способна одновременно измерять несколько параметров: гребные силы, распределение давления на весло, углы весла, смещение сиденья и ускорение лодки. WiRMS прошел оценку в пилотном исследовании с участием семи опытных спортсменов, проводивших тренировку на воде. Результаты испытания показали, что WiRMS способна оценить работоспособность гребца, регистрируя его движения и силу, прилагаемую к веслу. Обнаружена значительная корреляция ($p<0{,}001$) между количеством гребков в минуту (stroke rate) и отношением фаз проводка–исходное положение (drive-to-recovery ratio)*. Данные электромиографии (ЭМГ) позволили определить точное время активации мышц и их вклад в выполнение гребного движения (гребка). Кроме того, было показано, что гребец прикладывает силу к веслу в основном указательным и средним пальцами.

Ключевые слова: гребля; тренировка с обратной связью; анализ движения; поверхностная ЭМГ.

** Фаза проводка–исходное положение (drive-to-recovery ratio) – время проводки и подготовки (исходное положение) в гребном цикле находится в определенном соотношении – ритме (классический вариант 1:1,5–1:2).*

1. Введение

Гребля – технически требовательный вид спорта, для занятий которым требуются высокие уровни выносливости и двигательной координации. С целью оказания помощи спортсменам была разработана специальная техника измерений для контроля и совершенствования движений спортсменов во время тренировки [1]. Ошибки в технике гребли могут быть причиной неэффективных

движений и привести к травмам [2, 3]. Анализ гребного движения и обратная связь с гребцом способны предотвратить вероятность получения травмы. Новые датчики и аналитические методы позволяют совершенствовать технологии измерений и предоставлять спортсмену обратную связь в режиме реального времени [4, 5]. Эффективность тренировочного процесса и в конечном счете результативность спортсменов могут быть повышены [6]. Цель данного исследования – разработка новой системы измерений, которая объединяет несколько датчиков для регистрации силы и движений спортсменов и посылает данные в режиме реального времени на компьютер, находящийся в лодке. Была поставлена цель – разработать простую в использовании модульную систему измерения, которая может использоваться на любой гребной лодке на воде. Датчики полностью интегрированы в весло для измерения силы и движения весла. Кроме того, сила, приложенная к веслу, измеряется датчиками давления для получения информации о способе хвата весла гребцом. Другой датчик прикреплен к сиденью (банке) и к лодке для измерения ее положения и скорости. Для обоснования методики измерений и подтверждения концепции проведено исследование с участием семи опытных гребцов. Был проведен сравнительный анализ полученных значений датчиков с данными новейших методов исследования. Ожидается, что многомодальные системы измерения будут в состоянии оценить показатели гребца лучше современных систем, так как наличие обратной связи со спортсменом способствовало повышению результативности.

1.1. Техника гребли и проблемы измерений

Показатели в гребле зависят от применяемой техники гребли, а также от точности исполнения. Гребля – это физически требовательный вид спорта, в котором движения должны быть точно скоординированы [6]. Во время гребного цикла задействованы 80 % мышц организма [3].

Гребное движение можно разделить на четыре фазы: а) начало проводки означает момент погружения лопастей весел в воду. Ноги спортсменов находятся в согнутом положении, туловище наклонено вперед, руки вытянуты; б) во время фазы проводки спортсмен генерирует продвижение лодки. Гребец толкает подножку, вытягивает ноги и приводит руки к груди; в) в конце проводки ноги полностью вытянуты. Лопасти весел поднимаются из воды, и гребец полностью выходит из положения начала проводки; г) исходное положение, когда спортсмен возвращается в положение начала проводки, а лопасти весел вышли из воды [7].

Системы регистрации в гребле позволяют измерять движение и анализировать технику гребли. Исследования использовали данные измерений для анализа распространенных ошибок в технике гребли. В соответствии с литературными источниками [5, 7] в этом отношении могут быть перечислены следующие примеры:

1. Согласованная длина гребка и модель.
2. Глубина лопасти.

3. Правильное начало проводки и конец проводки.

4. Расслабленное исходное положение.

5. Мощное, плавное движение в целом.

Во время выполнения гребка ускорение лодки имеет характерную кривую, которая является результатом техники гребли [8]. Ошибки в индивидуальной технике гребли изменяют процесс ускорения лодки. В дополнение к ускорению лодки, также важна кривая силы, прикладываемой к веслу [8, 9]. Существуют различные известные стили гребли, такие как Rosenberg-, DDR-, Adam- или Ivanov-style, для которых характерны разные кривые силы [6]. Для оценки техники гребли необходимо создать условие, при котором движение соответствует стилю гребли. Гребцы стараются поддерживать постоянную скорость лодки во время гребли, чтобы минимизировать негативные побочные эффекты. Для скорости лодки во время гребли характерна модель, при которой максимальная скорость достигается только после фазы возвращения в исходное положение (восстановление), так как в этой фазе масса тела гребца движется в противоположном направлении, и лодка ускоряется [8, 9]. Отклонения от идеального продвижения указывают на ошибки в технике гребли и приводят к неэффективному движению лодки. Другим рассматриваемым параметром является соотношение фаз проводка–исходное положение. Этот параметр представляет соотношение между продолжительностью фазы проводки и фазы исходного положения. Теоретически оптимальное соотношение фаз проводка–исходное положение составляет 1:2. Соотношение фаз проводка–исходное положение снижается при увеличении количества выполняемых гребков (при высокой частоте гребка). Фаза проводки важна для передачи импульса от гребца к лодке. Если эта фаза слишком короткая, эффективность гребли снижается [9]. Ранее проводившиеся исследования максимального ускорения и замедления показали, что лодка замедляется в большей степени во время фазы начала проводки при большем количестве гребков и ускоряется в меньшей степени во время фазы проводки. Поскольку лодка имеет более высокую скорость при выполнении большего количества гребков, погружение лопастей весел во время начала проводки оказывает значительно большее влияние на скорость лодки. Также при более высоких скоростях лодки повышается сила трения, которую необходимо преодолеть для ускорения лодки [8].

Анализ углов весла дает прямое представление о движениях гребца. Углы весла отражают движение весла в уключине. Это позволяет определить фазы гребли, траекторию движения весла [7], а также проанализировать типичные ошибки в технике гребли, такие как «промашка» весла по воздуху (skying) [5]. Для анализа гребного движения можно исследовать различные системы показателей. Корреляция между длиной гребка и количеством гребков дает информацию об эффективности движения [7]. Soper et al. [9] описали сокращение продолжительности гребка при более высоком количестве гребков. Это означает, что весь потенциал не может быть использован во время гребка и работа,

проделанная гребком, не соответствует теоретической максимальной передаче энергии.

Задача системы измерения заключается в захвате (регистрации) сложного движения спортсмена, а также движения лодки. Поэтому необходимо исследовать движение весел в трехмерном пространстве, результирующие силы и движение спортсмена в лодке. Внешние воздействия, такие как течения и погодные условия, также оказывают влияние на реакцию лодки. Из-за изменений уровня воды в реке и связанных с ними изменениями водного пути оценка системы измерения или гребли по одному показателю не является достаточной. Система измерения должна охватывать широкий спектр различных условий окружающей среды.

1.2. По последнему слову техники

Современные измерительные системы различаются в зависимости от их предполагаемого использования. С одной стороны, есть системы, которые предназначены для использования в спорте и для оценки тренером. Эти системы характеризуются легкой установкой в лодке. Данные записываются компьютерным блоком и предоставляются тренеру. Обработка данных часто осуществляется самой системой, что облегчает тренеру оценку полученных данных. Наиболее распространенными системами, используемыми в тренеровочном процессе в гребле, являются приборная уключина (instrumented oarlock), например, Nielsen-Kellermann Co., Boothwyn, PA, USA, EmPower Oarlock. Эти системы крепятся к лодке как уключина, образуя связь между веслом и лодкой. Приборные уключины способны измерять угол и силу весла контактными методами, а также все производные параметры, такие как длину гребка и мощность. Возможна установка других систем непосредственно на весло, таких как BioRow Ltd., Slough, UK,4D Handle или WEBASport und Med Artikel GmbH, Вена, Австрия, OarPowerMeter, которые способны измерять силу с помощью датчиков нагрузки (тензодатчиков) и угол весла с помощью блока инерциальный измерений (Inertial Measurement Unit, IMU). Опираясь на свой опыт, тренер выбирает способ повышения техники гребли спортсменом. С другой стороны, существуют системы научной оценки спортивными физиологами. С помощью этих систем регистрируются необработанные данные о движении и приложении силы по аналогии с системами, описанными Tessendorf et al. [7]. Ученые обрабатывают записанные данные таким образом, чтобы стали видны конкретные аспекты моделей движения. Настройка измерительной системы часто является сложной задачей, требуя больше времени на ее установку, что препятствует широкому доступу гребцов к подобному тренировочному оборудованию.

2. Материалы и методы

2.1. Беспроводная система измерений в гребном спорте

Беспроводная система измерений в гребле (WiRMS), разработанная и представленная в данной статье, состоит из трех блоков (рисунок 1). Каждое из двух весел имеет блок, интегрированный в рукоятку весла. Лодочный кине-

матический измерительный блок установлен на гребной лодке позади гребца, а планшетный компьютер находится перед гребцом на скользящих упорах для ног (ползунах подножек). Два измерительных устройства подключены к планшетному ПК по беспроводной связи через Bluetooth Low Energy (BLE). Все три блока питаются от батарей, поэтому вся система свободна от кабелей.

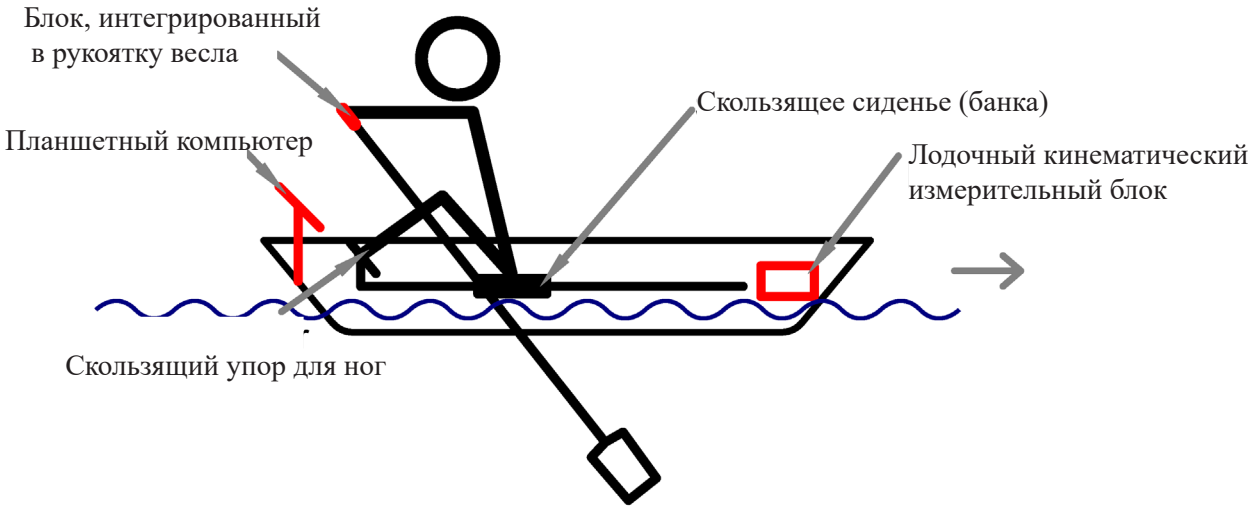

Рисунок 1. – Структура беспроводной системы измерения гребли (WiRMS) с блоком управления, блоком кинематических измерений лодки и планшетным ПК. Блоки выделены красным цветом

2.1.1. Блок рукоятки весла

Разработанный блок рукоятки весла способен измерять пространственные углы (угол наклона, отклонение от заданного направления движения и крен), ускорение по трем осям и прикладываемые к веслам силы в двух осях (рисунок 2). Кроме того, сенсорные датчики давления типа «два на четыре» встроены в рукоятку весла для измерения давления, прикладываемого рукой гребца.

Для сбора данных был разработан пользовательский модуль. Модуль основан на микроконтроллере Espressif System, Шанхай, КНР, ESP32 с Bosch Sensortec GmbH, Reutlingen, Германия, BNO055 IMU и прецизионном ADC Texas Instruments, Dallas, TX, USA. Силы измеряли двухосно тензодатчиками, соединенными мостиком Уитстона (Wheatstone bridge). Давление захвата измеряется матрицей, состоящей из восьми поверхностных датчиков давления, предназначенных для измерения силовых показателей.

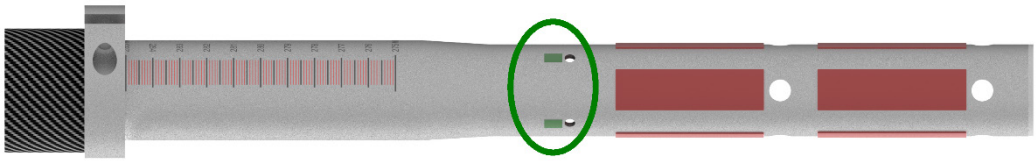

Рисунок 2. – САПР-система (CAD-система), передающая сигналы давления поверхностных датчиков с рукоятки (красный) и тензодатчики (зеленый), установленные на весло Concept 2

2.1.2. Блок кинематических измерений лодки

Разработанный лодочный кинематический измерительный блок способен улавливать ускорение лодки (трехосный), пространственные углы и положение скользящего сиденья относительно измерительного блока. Он также оснащен GPS-датчиком. Измерительное оборудование основано на микроконтроллере Espressif System ESP32 с Bosch Sensortec BNO055 IMU в качестве акселерометра. Смещение скользящего сиденья измеряется с помощью STMicroelectronics N.V, Plan-les-Outes, Швейцария, VL531L1X датчика времени полета, а положение GPS измеряется с помощью CDtop Technology, Kaohsyung City, Тайвань, PA1010D с частотой выборки 10 Гц. Блок кинематических измерений лодки прикреплен к корпусу лодки присоской. Дальнейшая обработка данных не требует последующей калибровки системы и обеспечивает готовность прибора к использованию в течение нескольких минут.

2.2. Электромиография

Для получения дополнительных физиологических показателей предусмотрено расширение с помощью датчиков ЭМГ [10, 11]. Для записи использовались беспроводные датчики EMG Menios GmbH, Ratingen, Germany, waterproof MiniWave Plus с частотой выборки 2 kГц. Данные хранились на ЭМГ-датчике и передавались на планшетный ПК после измерения. Обработка сигнала описана Schwensow et al. [11]. Для этого исследования мы изучали следующие мышцы: правая и левая двуглавая мышца плеча (biceps brachii dexter, sinister); правая и левая широчайшая мышца (latissimus dorsi dexter, sinister); правая и левая крестцово-позвоночная мышца (erector spinae dexter, sinister); прямая мышца правого бедра (rectus femoris dexter) и двуглавая мышца правого бедра (biceps femoris dexter) (рисунок 3). Два поверхностных электрода Ag-Ag/Cl (Ambu GmbH, Bad Nauheim, Germany, BlueSensor N, 2.2 cm) на датчик были размещены в соответствии с рекомендациями «Поверхностная электромиография для неинвазивной оценки мышц» (Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles, SENIAM) [12].

2.3. Планшетный ПК

Планшетный компьютер фирмы Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, Surface используется для сбора данных и для обеспечения визуальной и акустической обратной связи о целевой частоте гребка спортсмена. Было разработано пользовательское программное обеспечение для обработки и визуализации сигналов, основанное на Unity (Unity Technologies, Сан-Франциско, Калифорния, США). Программное обеспечение устанавливает соединение между блоками датчиков и планшетным персональным компьютером (ПК). Данные датчика принимаются и хранятся в реальном времени на ПК. Соединение осуществляется через Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth Low Energy, BLE). Это обеспечивает надежное и энергоэффективное соединение между датчиками и планшетным ПК. Поскольку стандарт BLE не требует сопряжения устройств, соединение может быть установлено быстро. Для передачи данных через BLE была разработана пользовательская услуга BLE и характеристика BLE.

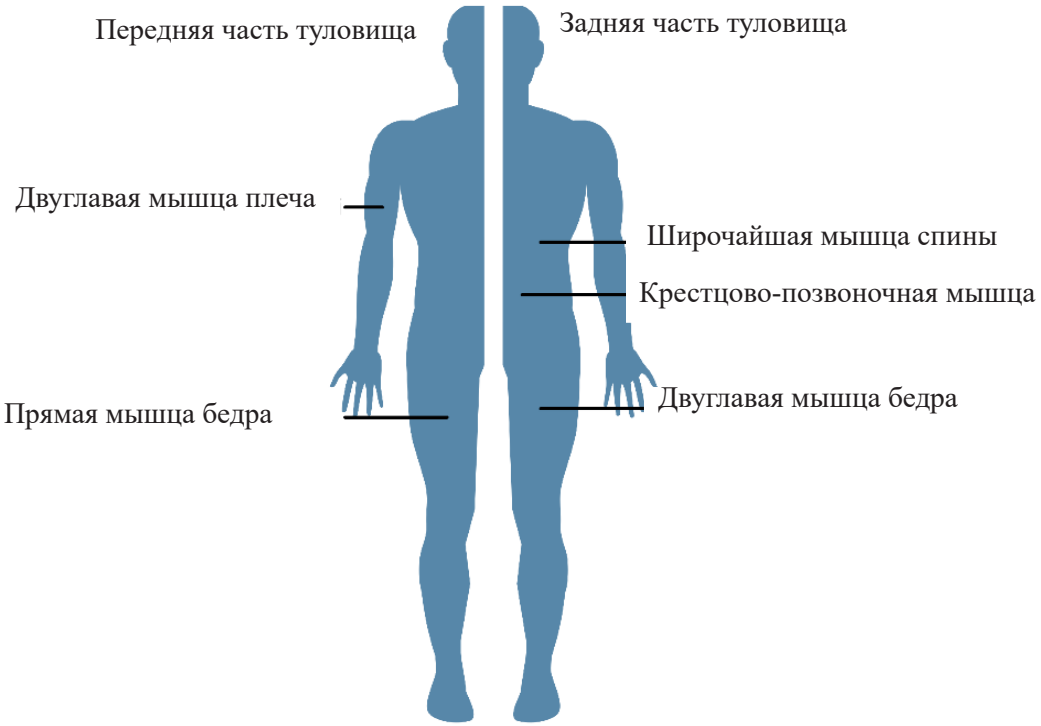

Рисунок 3. – Мышцы, регистрируемые датчиками ЭМГ

2.4. Сравнение с современными технологиями

В данном разделе проводится сравнительный анализ функции WiRMS с системами, уже имеющимися на рынке. В то время как современные системы измеряют силы весла, действующие только в горизонтальной оси [4, 13], WiRMS может дополнительно измерять силы, направленные вертикально. Таким образом, WiRMS предлагает возможность анализа процесса подъема, который представляет особый интерес в фазах начала проводки и исходного положения (catch and release phase). Кроме того, измеряется модель хвата, который впервые предоставляет информацию о распределении давления, оказываемого руками спортсмена на рукоятку весла. Встроенные IMU позволяют измерять углы весла по трем осям. Датчики в блоке рукоятки полностью интегрированы в рукоятку гребного весла (рисунок 2). Все сенсорные блоки полностью беспроводные, а смещение сиденья измеряется бесконтактно. Разработанная система измерений является первой в своем роде, которая позволяет синхронизировать данные внешней ЭМГ-системы и бортовой системы гребных измерений. Для этого используются отметки времени отдельных систем, а также данные датчиков ускорения, установленных в измерительной системе, а также в каждом ЭМГ-датчике. Системы были первоначально синхронизированы друг с другом, и максимальное отклонение по времени составляет одну выборку. Сравнение между WiRMS и современными технологиями показано в таблице 1.

Таблица 1. – Сравнение различных системных параметров современных технических средств и WiRMS

Параметр	Современные технологии	WiRMS [1]
Угол весла	3D	3D
Сила рукоятки	1D	3D
Давление хвата	нет	8 областей на рукоятку
Смещение банки	контактная	бесконтактная
Ускорение лодки	да	Yes
Скорость лодки	да	Yes
Мышечная деятельность	нет	Yes

[1] WiRMS – Беспроводная система измерения гребли

2.5. Гребные параметры

WiRMS регистрирует движения и силу гребца. Переменные, используемые для расчета движения гребца, – это углы весла, сила хвата, смещение сиденья, ускорение и скорость лодки (таблица 2). Одновременное получение разных параметров обеспечивает как точный, так и надежный сбор данных о гребном движении.

Таблица 2. – Параметры гребли, зарегистрированные WiRMS

Параметр	Sensor	Единица измерения
Угол весла	IMU	Градус [°]
Сила рукоятки	тензодатчик	Ньютон [N]
Давление хвата	Датчик усилия	Паскаль [Pa]
Смещение баки	Лазерный датчик времени пролета	Метр [м]
Ускорение лодки	IMU [1]	Метр в секунду в квадрате [м/с^2]
Скорость лодки	Датчик GPS[2]	Метр в секунду [м/с]
Мышечная деятельность	Датчик ЭМГ	Микровольт [μV]

[1] IMU – инерциальный измерительный блок, 2 GPS –глобальная система навигации и определения положения

2.5.1. Углы весла

Из пространственных углов весла можно вычислить длину гребка, глубину погружения лопастей весла в воду и вращение лопастей весла. Для расчета углов весла использовались данные IMU, записанные блоком рукоятки. Поворот вокруг оси Z определяется как горизонтальный поворот и определяет длину хода как угол между началом проводки и окончанием проводки, когда весло выходит из воды (release). Вращение вокруг оси X определяет глубину погружения лопасти, а ось Y определяет вращение весла. Вышеуказанные измерения позволяют исследовать общие ошибки техники гребли, приводящие к снижению эффективности, то есть к замедлению темпа движения лодки [6].

2.5.2. Сила, прикладываемая к рукоятке

Прикладываемое усилие измеряют по горизонтальной и вертикальной осям. Датчики давления внутри рукоятки позволяют измерять силу, прикладываемую руками спортсменов на весло. Для регистрации начала гребка использовался порог нарастающего возбуждения (или раздражения). Между гребками точки данных повторно дискретизировали до 1000 образцов на ход, после чего вычисляли среднее значение для каждого момента времени гребного хода.

2.5.3. Смещение банки

Смещение банки описывает положение гребца на скользящем сиденье. Используемый лазерный датчик «времени полета» измеряет расстояние между гребцом и блоком кинематических измерений лодки. Датчик расположен в блоке кинематических измерений лодки и направляет лазерный луч на сиденье гребца. Таким образом измеряется расстояние между сиденьем и блоком кинематических измерений лодки. Углы весла и смещение банки являются ключевыми показателями для описания движения гребца.

2.5.4. Ускорение и скорость лодки

Ускорение и скорость лодки измеряется блоком кинематических измерений лодки. Во время гребного движения возникает характерная схема ускорения (раздел 1.1), которая измеряется датчиком ускорения IMU. Для оценки влияния течений и погодных условий скорость лодки измеряется GPS-датчиком.

2.5.5. Мышечная активность

Мышечная активность определяется электромиограммой (ЭМГ). Регистрируя работу нескольких мышц во время гребли, можно определить время активизации измеряемого мышечного волокна. Таким образом, соответствующая мышца вносит вклад в общую эффективную силу, которая приводит в движение лодку. Амплитуда сигнала ЭМГ пропорциональна приложенной силе [14]. Оценка силы по сигналу ЭМГ все еще является темой исследования и не является частью данной работы. Наши результаты относятся только к модели активации во время выполнения гребка, но указывают на осуществимость дальнейшего анализа. Для оценки мышечной активности необработанный сигнал ЭМГ был настроен и нормализован относительно максимальной амплитуды во время тренировочной сессии. Затем применяли подвижный среднеквадратичный фильтр (размер окна = 100 выборок, сдвиг = 1).

2.6. Структура исследования

Для того, чтобы оценить WiRMS, семь опытных гребцов выразили готовность совершить пробный заплыв по реке Эльба (Германия) с лодками из гребного клуба «Laubegaster Ruderverein Dresden e.V». Тренировочная дистанция была согласована с тренером и аналогична обычной процедуре, принятой в клубе. Гребцы прошли пятиэтапную тренировочную дистанцию с различными показателями гребка и продолжительности (таблица 3). Между этапами у гребцов был персональный период отдыха. Лодка оснащалась измерительными веслами и лодочным кинематическим измерительным прибором. Все измерительные си-

стемы были подключены к планшетному ПК, который устанавливался на лодке. Датчики ЭМГ были размещены на теле гребца в соответствии с разделом 2.2. Тренировочный заплыв начался с разминки для ознакомления с модифицированным веслом. После этого начался первый тренировочный этап и завершился пятым этапом (таблица 3). В течение всей тренировки разработанная измерительная система регистрировала все данные на планшетный ПК в режиме реального времени.

Таблица 3. – Этапы нагрузки для пятиэтапной гребной тренировки

Этап	Количество гребков в минуту	Продолжительность [с]
1	20	180
2	22	120
3	24	120
4	26	120
5	28	60

3. Результаты

На рисунке 4 показаны средние показатели движений участника под номером 3 на скользящей банке, а также показатели силы, приложенной к веслу, и ускорение лодки во время каждого этапа испытания (таблица 3). На основании представленных данных можно дать общую оценку движений спортсмена и результат их воздействия на лодку. Для оценки гребков были исключены первые четыре гребка, так как гребцу пришлось преодолевать инерцию лодки. Для регистрации начала гребка использовался порог нарастающей силы. Для классификации фаз гребли положение сиденья использовалось как расстояние между скользящим сиденьем и наиболее передним положением во время выполнения гребка. Гребок начинается с проводки, гребец находится в самой передней позиции. Фаза проводки инициируется быстро возрастающими силами, измеряемыми на рукоятке. В зависимости от скорости гребка максимальное приложение силы достигается в интервале между 27 и 35 % выполнения гребка. Гребец достигает максимальной силы в среднем между 450 N and 510 N. В конце фазы проводки показатели силы гребка снижаются от 40 до 57 % в зависимости от частоты гребка (количества гребков в минуту). Сейчас гребец находится в заднем положении, а весла находятся в самом переднем положении, где они выходят из воды в исходное положение. Из-за сгибания (изгиба) весел сила приобретает некоторое отрицательное значение, поскольку лопасть находится вне воды, эта отрицательная сила не замедляет лодку. Во время фазы исходного положения весла остаются вне воды, и гребец возвращается в положение начала проводки. Гребец переносит свой импульс с фазы проводки на лодку, что способно привести к положительному ускорению лодки (этап 4) или препятствовать замедлению лодки. Однако другие факторы окружающей среды также влияют на ускорение лодки (раздел 4). Между тем, никакая сила не действует на весло.

Ускорение движения лодки является характерным параметром для оценки

рабочих характеристик руля (см. раздел 1.1.). На рисунке 4 показано среднее ускорение лодки в течение пяти этапов нагрузки. Гребок начинается с замедления лодки в результате трения лопасти весла о воду, за которым следует ускорение, когда гребец прикладывает силу к лопасти весла. При большем количестве гребков пиковое ускорение во время гребка происходит позже (рисунок 4). Средний пик первой нагрузочной ступени приходится на 30 % гребка с 4,3 м/с² и на пятую нагрузочную ступень (стадию) – на 41 % с 3,8 м/с². На рисунке 5 показана низкая линейная корреляция между количеством гребков и максимальным ускорением с уклоном 0,05 м·мин/с² (R^2=0,02, p<0,001). Замедление начинается раньше во время большего количества выполняемых гребков и замедляется в большей степени по сравнению с меньшей частотой гребков (рисунок 6). Была обнаружена линейная корреляция с наклоном – 0,21 м·мин/с² (R^2=0,29, p <0,001) (−0.21 m·min/s² (R^2=0.29, p<0.001).

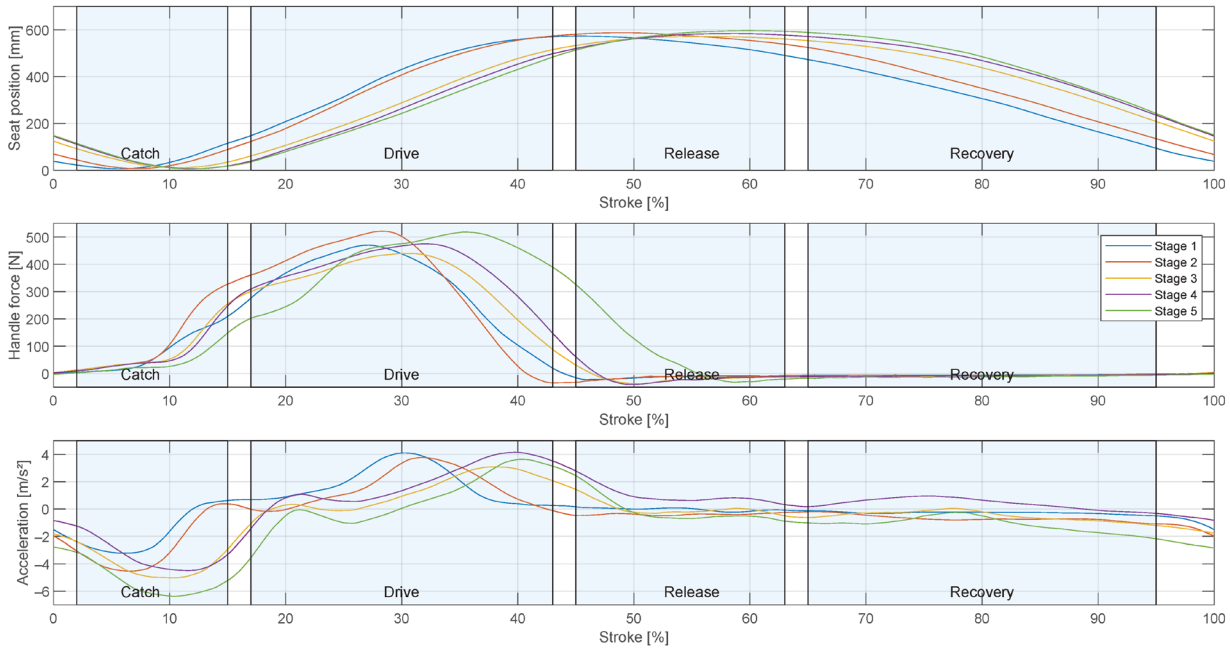

Рисунок 4. – Движение сиденья (банки), угол горизонтального весла и кривая усилия среднего гребка на различных этапах тренировки.

Синие области обозначают фазы гребли

Длина гребка или расстояние, пройденное веслом во время каждого гребка, может влиять на результаты гребли. Как описано в разделе 1.1, на длину гребка может влиять частота гребка. Рисунок 7 показывает длину гребка в сравнении с частотой гребка в течение пяти этапов нагрузки. Из-за ошибки конфигурации датчиков IMU внутри весла для оценки длины гребка подходили данные только трех участников эксперимента. Поэтому данные первых четырех участников пришлось исключить. На третьем этапе стандартное отклонение для частоты гребка (2,85 spm) и длины гребка (10,76 °) было выше, чем на других этапах (таблица 4). Линейная регрессия показала зависимость частоты гребка от длины гребка (R^2=0,038, p<0,001). Однако из-за низкого значения R^2 линейная модель могла объяснить лишь 3,8 % изменчивости длины гребка.

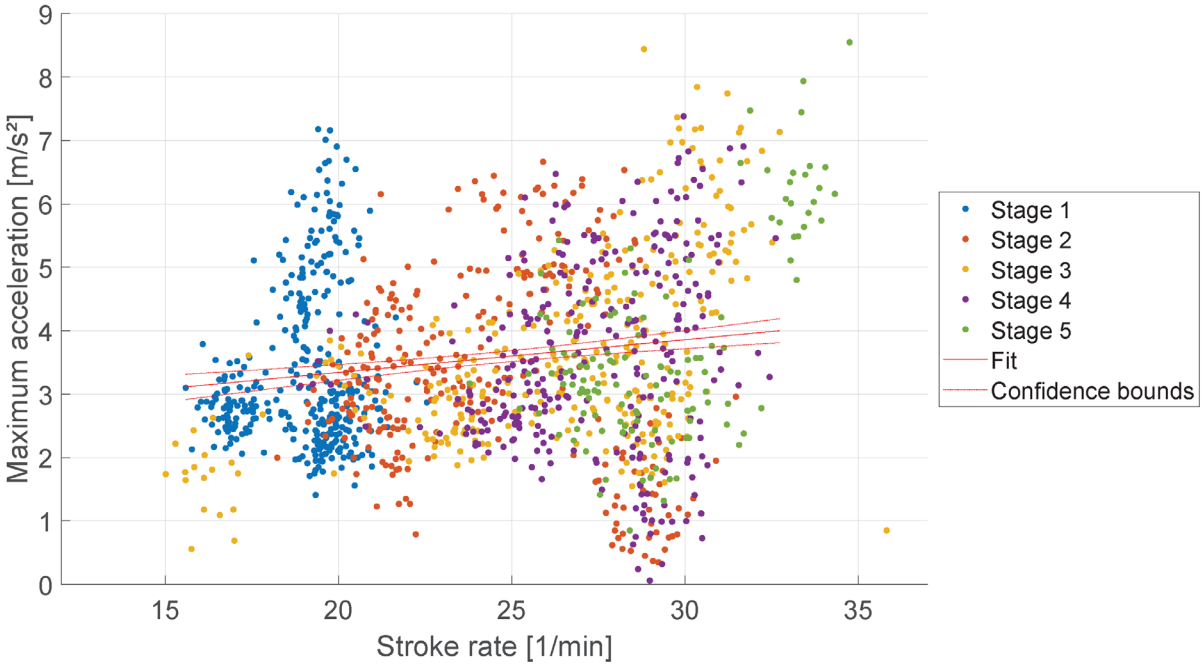

Рисунок 5. – Максимальное ускорение в зависимости от частоты гребка во время пятиэтапной гребной тренировки. Аппроксимация линейной регрессии и 95 % доверительный интервал отмечены красным цветом

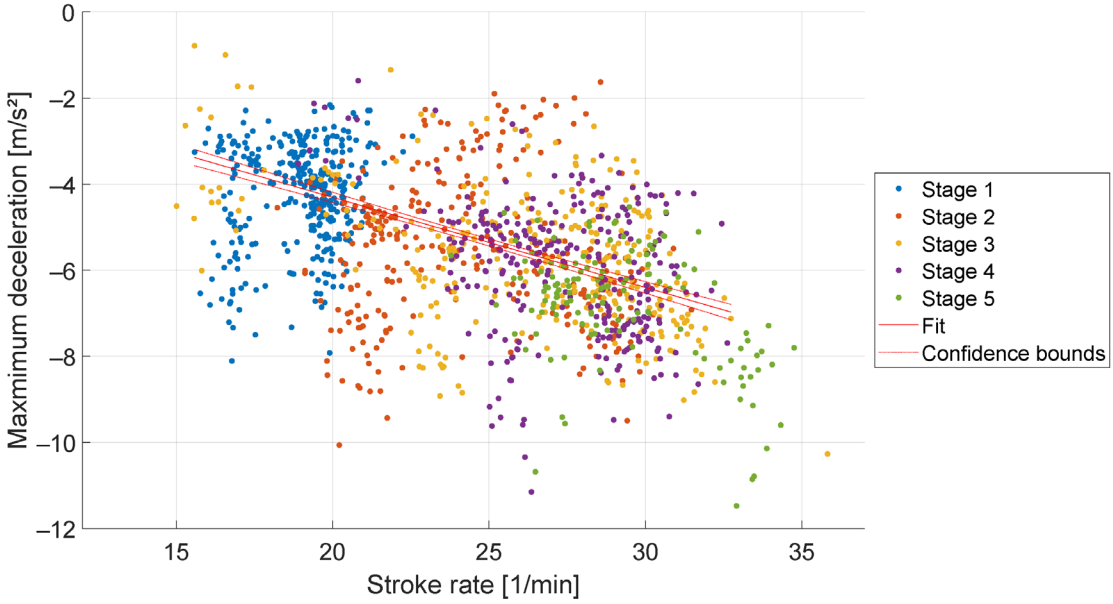

Рисунок 6. – Минимальное ускорение в зависимости от частоты гребка во время пятиэтапной гребной тренировки. Аппроксимация линейной регрессии и 95 % доверительный интервал отмечены красным цветом

Отношение проводка–исходное положение (drive-to-recovery ratio) – это число, используемое для оценки гребных характеристик и зависящее от частоты гребка, как описано в разделе 1.1. На рисунке 8 показано отношение проводка–

исходное положение относительно частоты гребка, которую гребцы достигли во время тренировки. Отношение проводка–исходное положение увеличивается с увеличением частоты гребков. В данном исследовании отношения проводка–исходное положение составляли от 0,31 до 0,65. Наблюдалось пропорциональное увеличение отношения проводка–исходное положение и частоты гребка с наклоном 0,01 мин/1 (R^2=0,37, p <0,001).

Таблица 4. – Среднее и стандартное отклонение длины и частоты гребка всех участников в течение пяти этапов нагрузки

Этап	Частота гребка [spm]	Длина гребка [°]
1	19.35 ± 2.4719.35 ± 2.47	109.55 ± 2.84109.55 ± 2.84
2	24.12 ± 2.5524.12 ± 2.55	109.68 ± 3.71109.68 ± 3.71
3	27.64 ± 2.8527.64 ± 2.85	111.87 ± 10.76111.87 ± 10.76
4	28.97 ± 2.0128.97 ± 2.01	106.38 ± 5.86106.38 ± 5.86
5	31.84 ± 1.731.84 ± 1.7	105.18 ± 2.54

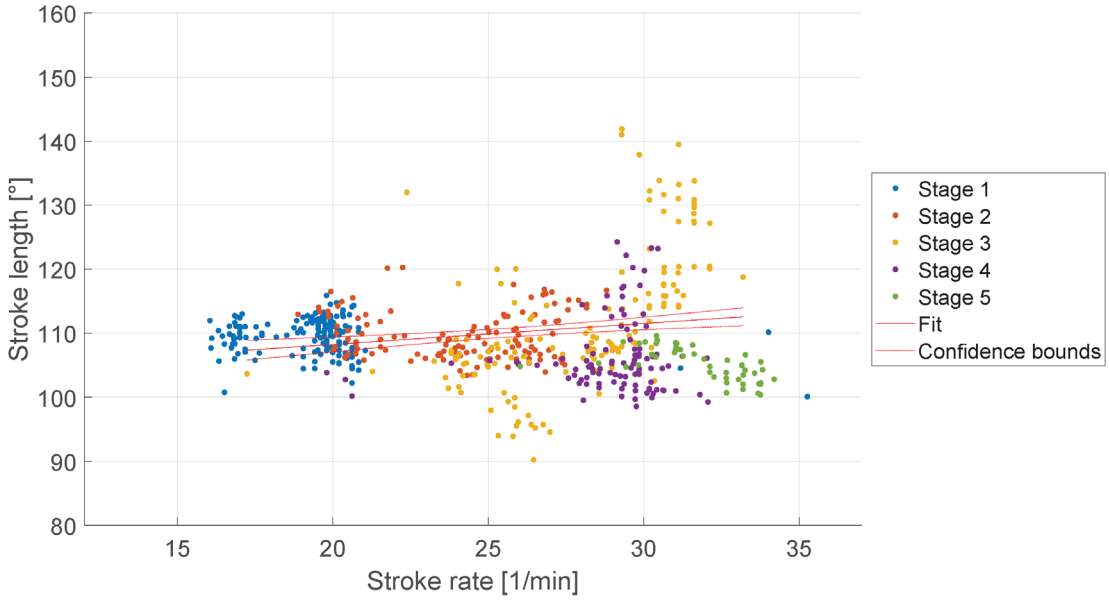

Рисунок 7. – Длина гребка и частота гребков, выполненных спортсменами в течение пяти этапов нагрузки

Усилие спортсмена, прикладываемое к веслу, проходит через поверхность хвата. Это обнаруживается датчиками давления, расположенными на поверхности хвата. На рисунке 9 показано распределение давления руки на весло во время движения всех участников эксперимента. Датчики давления, встроенные в рукоятку, регистрируют силу, прилагаемую гребцом к веслу. На рисунке видно, что сила в основном прикладывается указательным и средним пальцами (в среднем 86,45 % от максимального приложенного давления при максимальной силе), в то время как другие датчики достигают только 31,68 % в среднем во время приложения пиковой силы. Распределение давления вычисляется как процент наибольшего давления, измеренного во время произвольно выбранной

фазы проводки.

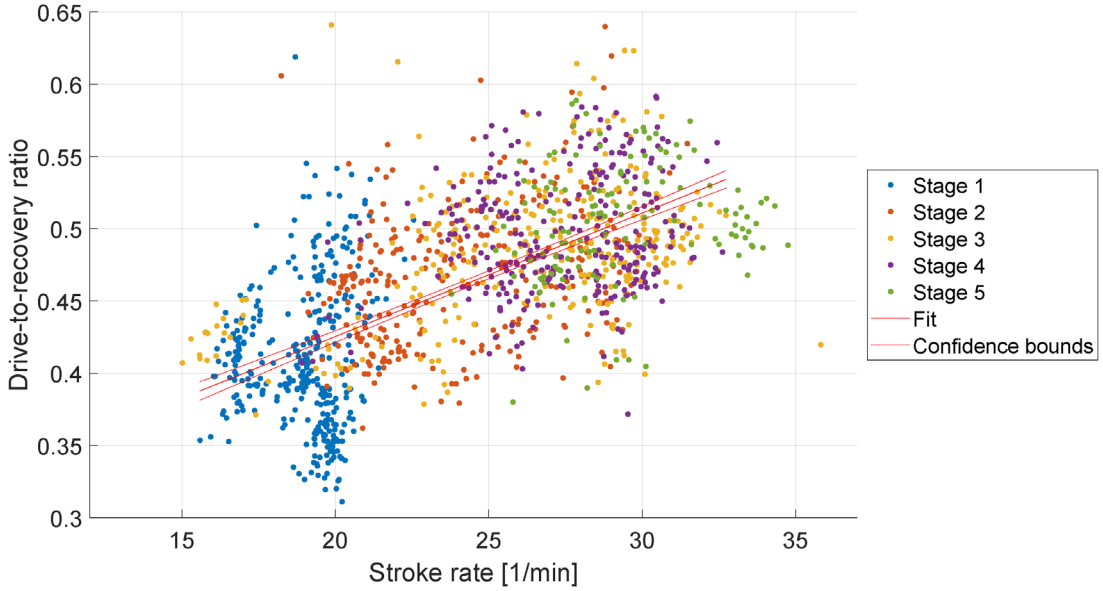

Рисунок 8. – Отношение проводка–исходное положение в сравнении с частотой гребка во время пятиэтапной гребной тренировки.

Аппроксимация линейной регрессии и 95 % доверительный интервал отмечены красным цветом

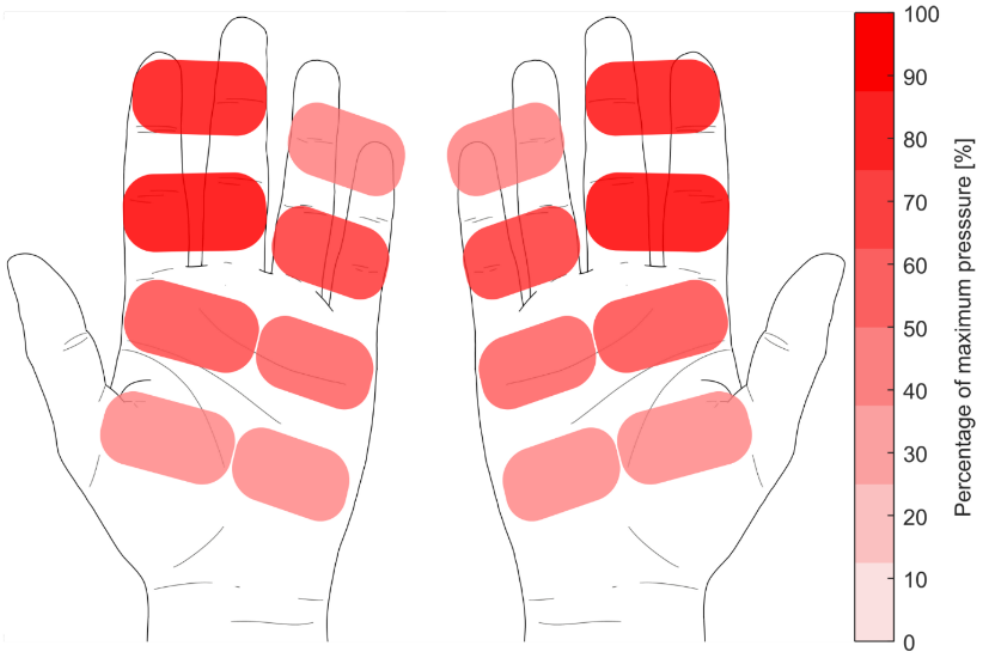

Рисунок 9. – Карта давления рук гребца во время фазы проводки

Гребля – это сложное движение с участием нескольких групп мышц (раздел 1.1). ЭМГ использовали для реконструкции временной структуры активации мышц (раздел 2.5.5). На рисунке 10 показана схема активации мышц участника

под номером 3 во время усредненного гребка на стадии 5. Можно видеть, что мышечная активность повышается во время фазы проводки и остается низкой во время фазы исходного положения. В начале гребка по-прежнему наблюдается активность в двуглавой мышце бедра (m.biceps femoris), сохраняющаяся с момента завершения фазы исходного положения с последующей активностью широчайшей мышцы спины и крестцово-позвоночной мышцы (m. latissimus dorsi и m. erector spinae). При 30 % гребке во время фазы проводки наблюдаются заметные пики сигнала двуглавых мышц правого и левого плеча (m. biceps brachii dexter и m. biceps brachii sinister). Во время фазы исходного положения (весло над водой) (release phase) наблюдается второй пик активности двуглавой мышцы правого плеча (m. biceps brachii sinister).

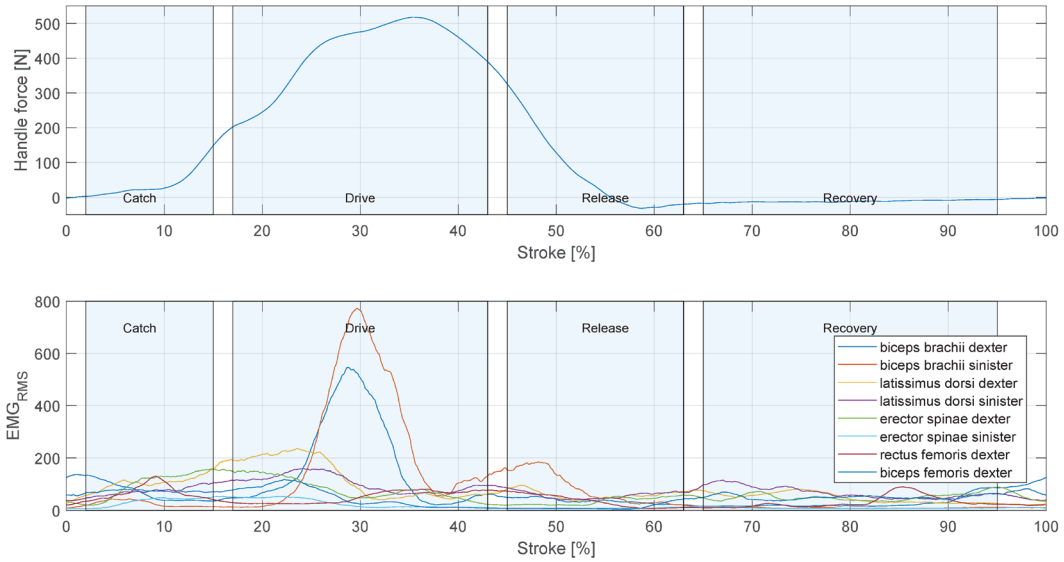

Рисунок 10. – Схема активации регистрируемых мышц во время среднего гребка. EMGRMS: среднеквадратичный сигнал ЭМГ

4. Обсуждение

Система WiRMS, разработанная и представленная в настоящей статье, является прототипом. С целью ее оценки было проведено концептуальное исследование, в котором результаты сравнивались с аналогичными данными исследований с использованием современных технологий. Исследование проводилось с участием семи спортсменов в разные даты в течение четырех недель. Поэтому результаты учитывают только технику гребли отдельных спортсменов и зависят от соответствующих условий окружающей среды.

Важной частью анализа гребного движения является регистрация фазы гребка. В данном исследовании для регистрации использовалось положение скользящего сиденья (банки). Для регистрации фазы начала проводки использовали порог возбуждения (или раздражения).

В. Клешнев [8] исследовал временную структуру ускорения (разгона) лодки. В его исследовании было обнаружено пропорциональное увеличение ускорения лодки и частоты гребков, что согласуется с результатами нашего ис-

следования (рисунок 5). Пропорциональное снижение замедления, наблюдаемое в нашем исследовании (рисунок 6), также было задокументировано В. Клешневым.

Soper et al. [9] описывают оптимальное соотношение фаз проводки и исходного положения, как 0,33. В исследованиях они описывают отношение проводка–исходное положение от 0,37 до 0,53, в результате чего отношение проводка–исходное положение увеличивается с увеличением частоты гребка. Это показано на рисунке 8. В нашем исследовании мы наблюдали среднее отношение проводка–исходное положение 0,46.

Гребное движение инициируется работой двуглавой мышцы бедра (m. biceps femoris), это видно на рисунке 10. Активность двуглавой мышцы бедра начинается в конце фазы исходное положение, когда гребцы возвращаются в положение начала проводки и должны были замедлять движение скользящего сиденья (банки). По сравнению с данными, представленными Pollock et al. [15], активность двуглавой мышцы бедра в начале движения является ожидаемой. Pollock et al. также описывают второй пик активности двуглавой мышцы бедра при 20 % гребка, что не подтверждается в нашем исследовании. Широчайшая мышца спины и крестцово-позвоночная мышца (m. latissimus dorsi и m.erector spinae) проявляют более высокую активность с начала гребка до 30 % гребка, что соответствует наблюдениям Pollock et al. Как указано в разделе 2.5.5, сила, создаваемая мышцами, коррелирует с амплитудой соответствующего сигнала ЭМГ. Однако нельзя сравнивать сигналы ЭМГ различных мышц. Таким образом, различная амплитуда активации двуглавых мышц правого и левого плеча (m. biceps brachii dexter и sinisiter) не приводит к приложению различных сил на левое и правое весло.

При разработке измерительной системы условие для регистрации максимально реалистичных данных заключается в том, что гребец не должен замечать измерительные устройства. Рукоятка весла, оснащенная измерительной технологией, не отличается от оригинальной по внешнему виду. Тем не менее, участники сообщили после тренировки, что гребля с модифицированным веслом вызывала другие ощущения из-за небольшого дополнительного веса. Можно предположить, что этот факт способен привести к отклонениям в гребном движении.

Наш анализ показал, что разработанная система измерений предоставляет данные, сопоставимые с другими современными системами. Параметры гребли, описанные в разделе 2.5, показывают, что разработанная система измерений подходит для оценки работоспособности гребцов. Это подтверждает эффективность разработанной системы в качестве основы для дальнейших исследований.

5. Заключение

В рамках данной работы была разработана эффективная беспроводная измерительная система (WiRMS) для записи и оценки гребного движения. Измерительная система состоит из двух модифицированных весел с датчиками,

встроенными в рукоятку весла. Блок рукоятки способен измерять движение рукоятки и тем самым вычислять углы весла. Он также измеряет силы, прикладываемые к рукоятке, и распределение давления на поверхности рукоятки. Дополнительно интегрированы блок кинематических измерений лодки, который прикреплен к гребной лодке, и планшетный ПК для записи и визуализации измерений. Блок кинематических измерений лодки регистрирует движение лодки с помощью датчика ускорения и GPS. Положение гребца на скользящем сиденье может измеряться бесконтактно. Кроме того, мышечная активность измеряется одновременно с регистрацией ЭМГ. Насколько известно авторам, разработанная система является первой в своем роде, которая позволяет осуществлять одновременное измерение внешних данных ЭМГ, синхронизированных с бортовой системой гребных измерений.

Проведено аналитическое исследование, подтверждающее концепцию метода измерения, а результаты сопоставлены с данными аналогичных современных исследований. Было показано, что измерительная система способна регистрировать определенные параметры для оценки гребного движения, а полученные данные пригодны для оценки гребных характеристик.

6. Перспектива

Разработанная система измерений обеспечивает основу для дальнейших исследований. Для создания обширной базы данных необходимо исследование с участием большого количества испытуемых спортсменов. Дополнительно необходимо сравнить точность данных разработанной системы (WiRMS) с эталонной системой гребных измерений. Созданная база данных будет использоваться для описания модели, на основании которой можно будет измерять и проводить оценку спортивных показателей гребцов. Для этого должны быть определены соответствующие критерии качества техники гребли. Созданная модель позволит спортсмену получать автоматизированную обратную связь о способах совершенствования техники гребли. Таким образом, можно повышать индивидуальные гребные показатели и предотвращать травмы гребцов.

В рукописи используются следующие сокращения:

WiRMS – беспроводная система измерения гребли;

ЭМГ– электромиограмма;

BLE – bluetooth с низким энергопотреблением;

IMU – блок инерциальных измерений;

GPS – система глобального позиционирования.

Статья содержит 15 источников литературы, с которыми можно ознакомиться по адресу: https://www.mdpi.com/1424-8220/23/3/1060.

Перевод с английского *Л.И. Кипчакбаевой*

Научная редакция *М.Е. Агафоновой*