

1,2 Антонов А.Г.^a,  2 Мирошников А.Б.,  1,2 Сергеев А.С. 

¹Государственное казенное учреждение г.Москвы «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта, г. Москва, Российская Федерация

²«Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПЕДАЛЕЙ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЗДОРОВЫХ МУЖЧИН: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Антонов Алексей Геннадьевич, Мирошников Александр Борисович, Сергеев Александр Сергеевич

Влияние частоты вращения педалей на физиологические и биохимические параметры здоровых мужчин: пилотное исследование

Аннотация. Частота вращения педалей – важный параметр, влияющий на эффективность и экономичность работы спортсмена, представляющий интерес для изучения. Цель исследования – изучить влияние частоты вращения педалей на физиологические и биохимические показатели здоровых активных взрослых мужчин. Исследование соответствовало перекрестному дизайну, участниками являлись 8 спортсменов-любителей мужского пола. Спортсмены проходили нагрузочный ступенчатый тест на велоэргометре до волевого отказа по двум протоколам частоты вращения педалей: 40 и 90 об./мин, при этом оценивались: потребление кислорода, частота сердечных сокращений, концентрация лактата крови. Диапазон вращения педалей 40 и 90 об./мин не оказывает статистически-значимого влияния на показатели мощности, потребления кислорода и частоты сердечных сокращений при отказе от работы. Концентрация лактата при отказе от работы была выше при частоте вращения педалей 90 об./мин. Клиренс лактата во время восстановления был выше при частоте вращения педалей 90 об./мин. Полученные данные демонстрируют роль частоты вращения педалей как модифицирующего фактора биохимических и физиологических реакций организма, и могут быть использованы для оптимизации тренировочных протоколов и оценки функционального состояния спортсменов.

Ключевые слова: частота вращения педалей, каденс, функциональная подготовка, утомление, работоспособность, велоспорт.

Антонов Алексей Геннадьевич, Мирошников Александр Борисович, Сергеев Александр Сергеевич

Педаль айналымы жиілігінің дені сау ер адамдардың физиологиялық және биохимиялық көрсеткіштеріне әсері: пилоттық зерттеу

Аңдатпа. Педаль айналымының жиілігі спортшының жұмыс тиімділігі мен үнемділігіне әсер ететін маңызды параметр болып табылады және оны зерттеу өзекті. Зерттеудің мақсаты – педаль айналымы жиілігінің дені сау, белсенді ересек ер адамдардың физиологиялық және биохимиялық көрсеткіштеріне әсерін бағалау. Зерттеу айқаспалы дизайнда жүргізілді, оған 8 әуесқой спортшы ер адам қатысты. Қатысушылар велоэргометрде екі түрлі педаль айналымы жиілігімен (40 және 90 айн./мин) ерікті түрде тоқтағанға дейін сатылы жүктеме тестінен өтті. Бағаланған көрсеткіштер: оттегіні тұтыну, жүрек соғу жиілігі, қандағы лактат концентрациясы. Педаль айналымының 40 және 90 айн./мин диапазоны жұмыс тоқтаған сәттегі қуат, оттегіні тұтыну және жүрек соғу жиілігіне статистикалық тұрғыдан мәнді әсер етпеді. Жұмысты тоқтату кезіндегі лактат концентрациясы 90 айн./мин жиілігінде жоғары болды. Қалпына келу кезеңіндегі лактат клиренсі де 90 айн./мин кезінде жоғарырақ болды. Алынған деректер педаль айналымы жиілігінің ағзаның биохимиялық және физиологиялық реакцияларын өзгертетін фактор ретіндегі рөлін көрсетеді және жаттығу протоколдарын оңтайландыру мен спортшылардың функционалдық жағдайын бағалауда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: педаль айналымы жиілігі, каденс, функционалдық жаттығу, шаршау, жұмыс қабілеттілігі, велосипед спорты.

Antonov Aleksei Gennadievich, Miroshnikov Aleksandr Borisovich, Sergeev Aleksandr Sergeevich

Effect of pedal cadence on physiological and biochemical parameters in healthy men: a pilot study

Abstract. Pedal cadence is an important parameter influencing the efficiency and economy of an athlete's performance and therefore warrants detailed investigation. The aim of this study was to examine the effect of pedal cadence on physiological and biochemical indicators in healthy, physically active adult men. The study employed a crossover design and included eight male amateur athletes. Participants completed an incremental cycling test to volitional exhaustion under two cadence protocols: 40 and 90 rpm. The following variables were assessed: oxygen consumption, heart rate, and blood lactate concentration. The cadence range of 40 and 90 rpm did not exert a statistically significant effect on power output, oxygen consumption, or heart rate at exhaustion. Blood lactate concentration at exhaustion was higher at a cadence of 90 rpm. Lactate clearance during recovery was also greater at 90 rpm. These findings highlight the role of pedal cadence as a modifying factor of biochemical and physiological responses and may be used to optimize training protocols and assess athletes' functional status.

Key words: pedal cadence, measure, functional training, fatigue, performance, cycling.

Введение. Частота вращения педалей (ЧВП) является одним из ключевых параметров, определяющих эффективность и экономичность работы спортсмена в циклических видах спорта, особенно в велоспорте и триатлоне. Несмотря на кажущуюся простоту, выбор оптимальной ЧВП представляет собой сложный компромисс между нейромышечной нагрузкой, метаболическими затратами и субъективным восприятием усилия. В последние десятилетия исследователи активно изучают влияние различных уровней ЧВП на физиологические и биомеханические показатели работоспособности, включая потребление кислорода, продукцию лактата, мышечную активацию и утомляемость [1, 2].

Традиционно считалось, что более низкая ЧВП (60-80 об./мин) способствует снижению метаболических затрат за счёт меньшей частоты мышечных сокращений, но при этом увеличивает механическую нагрузку на суставы и мышцы [3]. В то же время, более высокая ЧВП (90-110 об./мин), характерная для профессиональных велогонщиков, ассоциируется с повышенным потреблением кислорода и меньшей мышечной нагрузкой на каждый цикл, что может способствовать снижению локального утомления [4]. Однако универсального ответа на вопрос о «наилучшей» ЧВП не существует, поскольку она зависит от уровня подготовки спортсмена, типа нагрузки, длительности усилия и индивидуальных биомеханических особенностей [5].

Особое внимание в современных исследованиях уделяется взаимодействию ЧВП с показателями аэробной и анаэробной работоспособности.

Изменение ЧВП может существенно влиять на распределение энергетических систем, уровень лактата в крови, эффективность мышечной работы и субъективное восприятие нагрузки [5-7]. Кроме того, оптимизация ЧВП может играть важную роль в профилактике травм и повышении устойчивости к утомлению при длительных нагрузках.

Цель исследования – изучить влияние ЧВП на физиологические и биохимические показатели здоровых активных взрослых мужчин.

Задачи исследования:

Оценить влияние различных уровней ЧВП на физиологические показатели работоспособности, включая потребление кислорода, частоту сердечных сокращений и субъективное восприятие нагрузки.

Определить изменения биохимических маркеров метаболической реакции (уровень лактата, показатели утомления) при выполнении нагрузки с разной ЧВП.

Сравнить эффективность работы мышечной системы при различных режимах ЧВП.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе лаборатории ГКУ «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта Москвы (г. Москва). Согласно Хельсинской декларации, все участники подписали добровольное информированное согласие на участие и могли завершить участие в исследовании в любой момент и без объяснения причин [8]. Исследование проводилось в соответствии перекрестным контролируемым дизайном, согласно рекомендациям CONSORT-2025 (Consolidated Standards of Reporting Trail) (рисунок 1) [9].

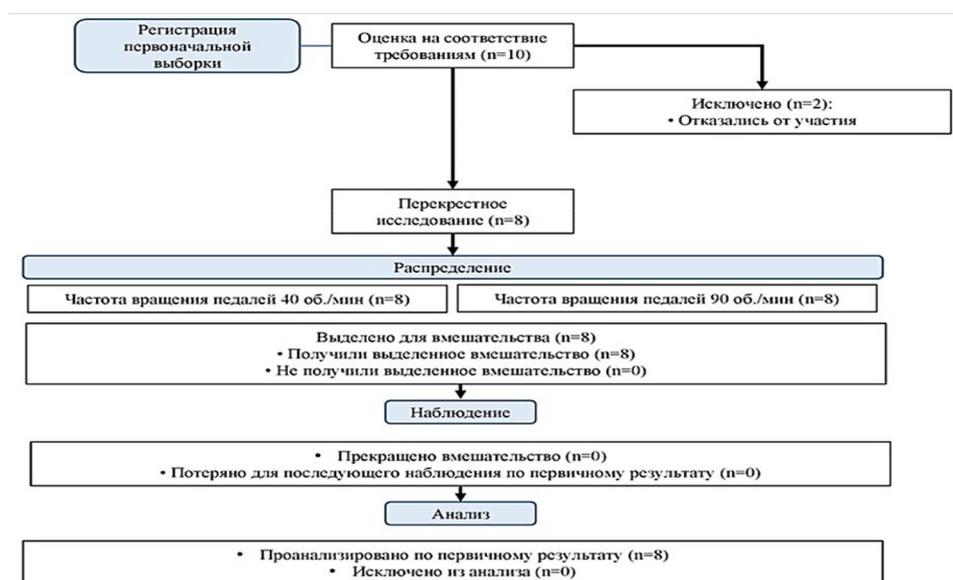


Рисунок 1 – Блок-схема CONSORT, (составлено авторами)

Участниками являлись 8 спортсменов-любителей (циклические виды спорта: велоспорт) мужского пола (в возрасте $32,4 \pm 3,1$ лет и массой тела $81,1 \pm 10,9$ кг) со средним объемом тренировок 9 ± 2 часа в неделю. В течение последних 3 месяцев до исследования ни один из участников не проводил систематических спринтерских тренировок на велосипеде. Участникам было поручено придерживаться обычного рациона питания, за сутки до начала тестирования и на все время исследования исключить прием эргогенных биологически активных добавок, алкоголя и никотина.

Каждый из участников посещал лабораторию 3 раза (с промежутком 1-2 дня между каждым тестированием) для проведения каждого протокола через 3 часа после стандартизированного завтрака. Был измерен лактат капиллярной крови до начала тестирования. Далее спортсмены выполняли разминку (5 минут) с мощностью, соответствующей Вт/кг массы тела. После участники проходили нагрузочный ступенчатый тест (нагрузка увеличивалась каждые 2 минуты на 20 Вт) на велоэргометре до отказа от выполнения работы (отказ) по двум протоколам ЧВП – 40 и 90 об./мин. Порядок выполнения протоколов ЧВП – 40 и 90 об./мин являлся случайным для каждого участника, для процесса рандомизации использовался помощник на базе искусственного интеллекта «Microsoft 365 Copilot» (Microsoft, США). При достижении отказа фиксировались: потребление кислорода, частота сердечных сокращений (ЧСС), лактат. Затем спортсмен садился на стул, и в течение 10 минут фиксировалось потребление кислорода и ЧСС. Лактат фиксировался на 3, 5 и 7 минутах восстановления.

В последний день участники приходили в лабораторию для определения оптимальной ЧВП, все участники выполняли работу в течение 5 мин на велоэргометре на мощности анаэробного порога, который определялся по вентиляционному порогу методом графического анализа.

Участники получали задание закончить упражнение с максимально комфортной ЧВП которую они выбирали самостоятельно, участники не видели показатели ЧВП с устройства, оптимальная ЧВП фиксировалась как средняя величина за последнюю минуту теста.

Использовались следующие методы и оборудование:

- потребление кислорода (непрямая калориметрия): система кардиореспираторной нагрузочной диагностики («Metalyzer 3B», Cortex, Германия);

- нагрузочное тестирование: велоэргометрия («Lode Excalibur Sport» с использованием программного обеспечения «Lode Ergometry Manager», Нидерланды);

- оценка ЧСС: пульсометрия («Polar H10», Polar, Финляндия);

- оценка лактата капиллярной крови (безымянный палец правой руки): анализатор лактата («Biosen C-line», Германия).

Клиренс лактата рассчитывался как модуль разности концентрации лактата крови между промежутками восстановления. Пульсовая сумма рассчитывалась как сумма ударов с 0 по 5 мин восстановления.

Статистическая обработка проводилась с помощью пакета программ «IBM SPSS Statistics 26.0» (IBM Corporation, США), статистическая значимость различий в каждой из групп была проведена с помощью W-критерия Вилкоксона. Уровень достоверности $p < 0,05$ был принят за статистически-значимый.

Заявление об использовании ИИ-генераторов: авторы заявляют, что ИИ-генератор использовался только для проведения рандомизации.

Результаты. В данном исследовании мы приняли попытку изучить влияние двух протоколов ЧВП на физиологические и биохимические показатели здоровых взрослых мужчин. В таблице представлены результаты исследования в виде: медиана [первый квартиль; третий квартиль].

Таблица 1 – Физиологические и биохимические параметры, оцененные при выполнении двух протоколов ЧВП

Показатель	Протокол		Уровень значимости, p
	40 об./мин	90 об./мин	
Мощность при отказе, Вт	251 [225;266]	264 [238;275]	p=0,063
Мощность при отказе, Вт/кг	3,21 [2,6;3,9]	3,36 [2,8;4,3]	p=0,068
ПК при отказе, л/кг	44,5 [37;49]	45 [37,5;50,6]	p=0,336
ПК (в течение 10 мин восстановления), л/мин	9 [8,2;0,09]	9,22 [8,7; 9,6]	p=0,249

Продолжение таблицы 1

ЧСС при отказе, уд./мин	180 [167,7;181,7]	180 [171,25;189,75]	p=0,293
Пульсовая сумма (0-5 мин восстановления), уд./мин	637,5 [592;661,2]	645 [584,3;666,2]	p=1,00
Лактат при отказе, ммоль/л	10,4 [6,9;10,9]	12,7 [9,6;14]	p=0,028*
КЛ (3 и 5 мин восстановления), ммоль/л	0,86 [0,46;1,35]	1,24 [0,95;1,7]	p=0,225
КЛ (5 и 7 мин восстановления), ммоль/л	0,52 [0,26;1,95]	2,06 [1,1;5]	p=0,028*
КЛ (3 и 7 мин восстановления), ммоль/л	1,25 [0,1;3,2]	2,8 [2,1;5,1]	p=0,138

Примечание: КЛ – клиренс лактата, ПК – потребление кислорода, ЧСС – частота сердечных сокращений
* – статистически-значимые различия при p<0,05

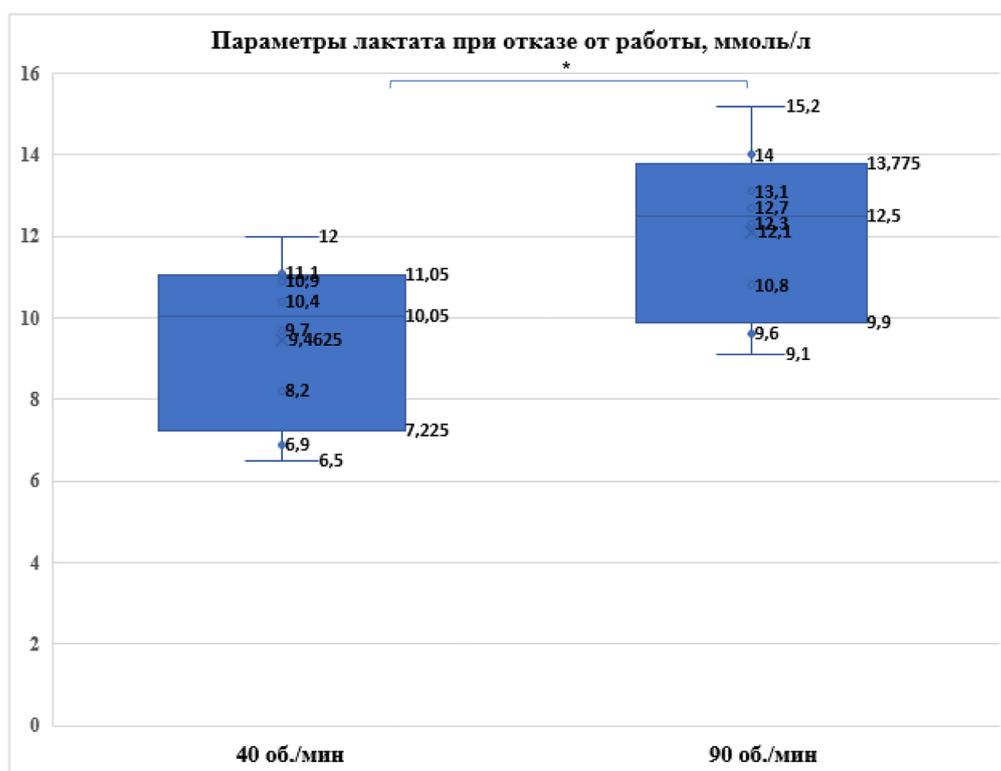


Рисунок 2 - Концентрации лактата крови при отказе по двум протоколам ЧВП (* – статистически-значимые различия при p<0,05), составлено авторами

Было продемонстрировано, что мощность, потребление кислорода и ЧСС при отказе не имели статистически-значимых различий при сравнении двух протоколов ЧВП. При этом, значения лактата на отказе от продолжения работы в тесте были статистически-значимо выше при ЧВП 90 об./мин (рисунок 2). Показатели потребления кислорода за весь измеренный период восстановления, а

также значения ЧСС и лактата на 3-й и 7-й минутах восстановления не были статистически-значимы в сравнении с тестом с ЧВП 40 об./мин. Клиренс лактата был выше на протяжении всего периода восстановления при ЧВП 90 об./мин, однако статистически-значимые различия при сравнении двух протоколов ЧВП наблюдались между 5 и 7 мин восстановления (рисунок 3).

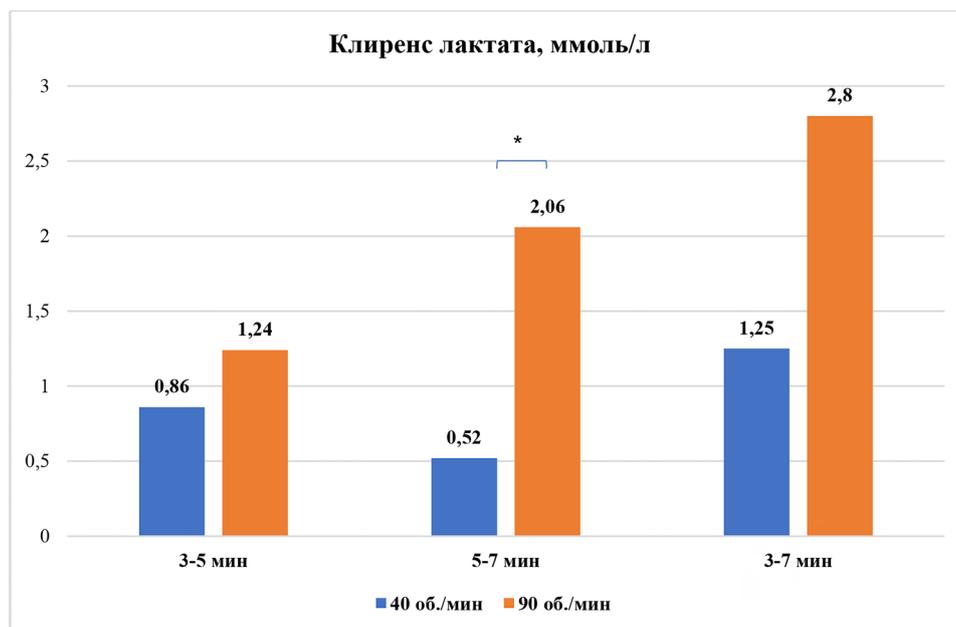


Рисунок 3 – Клиренс лактата крови во время восстановления по двум протоколам ЧВП, (* – статистически-значимые различия при $p < 0,05$), составлено авторами

Медианная оптимальная ЧВП, определенная среди участников исследования, составила 79 об./мин.

Обсуждение. Полученные результаты позволяют укрепить роль ЧВП в изучении физиологических и биохимических реакций организма при выполнении интенсивной циклической нагрузки. В частности, в нашем исследовании отсутствие статистически-значимых различий в показателях мощности, потребления кислорода и ЧСС между двумя протоколами ЧВП при достижении волевого отказа предположительно может свидетельствовать о том, что данные параметры не чувствительны к изменению в условиях предельной нагрузки. Это может быть связано с тем, что при достижении отказа организм мобилизует максимальные аэробные ресурсы независимо от механических условий работы.

Тем не менее, более высокий уровень лактата при ЧВП 90 об./мин может указывать на более усиленное вовлечение анаэробных механизмов энергообеспечения при более высокой частоте мышечных сокращений. Это согласуется с данными литературы, согласно которым увеличение ЧВП сопровождается ростом метаболических затрат и ускорением гликолитических процессов [10]. Возможно, что ЧВП 90 об./мин может создавать условия для более выраженного метаболического стресса, несмотря на схожие показатели мощности и потребления кислорода. Однако,

повышенный уровень лактата при ЧВП 90 об./мин может быть обусловлен несколькими биомеханическими и физиологическими факторами. Во-первых, ЧВП 90 об./мин ближе к индивидуальной оптимальной частоте (определённой как 79 об./мин), что способствует более равномерному распределению нагрузки между мышечными группами [11]. Это снижает локальное утомление в отдельных мышцах, позволяя вовлекать большее количество мышечных волокон, включая быстросокращающиеся мышечные волокна (БМВ), которые характеризуются высокой гликолитической активностью и, соответственно, более интенсивным образованием лактата [12].

Во-вторых, при ЧВП 40 об./мин, которая значительно отклоняется от оптимальной, возможно неравномерное распределение нагрузки между мышечными группами, приводящее к избыточному напряжению отдельных мышечных групп. Это может способствовать более быстрому локальному утомлению, но при этом – меньшему общему рекрутированию мышечных волокон, особенно БМВ [13, 14], что объясняет более низкий уровень лактата при отказе.

Показатели восстановительного периода (потребление кислорода, ЧСС во время всего периода восстановления) не продемонстрировали значимых различий в разных протоколах, что может свидетельствовать о сходной кинетике восстановления между протоколами. Исключе-

ние составил клиренс лактата между 5 и 7 мин восстановления, который оказался статистически различным при ЧВП 90 об./мин, что может отражать индивидуальные особенности метаболической утилизации лактата в зависимости от ЧВП, что согласуется с предыдущими результатами. Повышение ЧВП приводит к гемодинамическим изменениям, а именно к увеличению венозного возврата и сердечного выброса, что может быть связано с усилением действия скелетно-мышечного насоса и соответственно улучшению перфузии тканей тем самым способствуя лучшему клиренсу лактата [15].

Таким образом, результаты настоящего исследования подчеркивают важность учета ЧВП как модифицируемого параметра, способного влиять на биохимическую нагрузку и характер восстановления, при этом не оказывая существенного влияния на кардиореспираторные показатели при достижении отказа.

Заключение. В результате проведенного исследования мы пришли к следующим выводам:

Изменение ЧВП в диапазоне 40-90 об./мин не привело к статистически-значимым различиям в мощности, потреблении кислорода и ЧСС при работе до волевого отказа, что может указывать на низкую чувствительность кардиореспираторных показателей к ЧВП в условиях предельной нагрузки.

Более высокая ЧВП (90 об./мин) сопровождалась большим уровнем лактата, что возможно отражает усиленное вовлечение анаэробных механизмов и более выраженный метаболический стресс по сравнению с низкой ЧВП.

Эти различия важны для индивидуализации тренировок, оптимизации энергообеспечения и управления адаптационными процессами у спортсменов. Требуются дополнительные исследования.

Конфликт интересов: авторы заявляют, что исследование проводилось при отсутствии каких-либо коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов.

Список литературы / References

- 1 Mater A., Boly A., Martin A., Lepers R. Cadence Modulation during Eccentric Cycling Affects Perception of Effort But Not Neuromuscular Alterations // *Med Sci Sports Exercise*. – 2024. – №56(5). – pp. 893-901. - DOI: 10.1249/MSS.0000000000003373.
- 2 Beneke R., Granseyer M., Leithäuser R.M. Cadence Paradox in Cycling-Part 1: Maximal Lactate Steady State and Carbohydrate Utilization Dependent on Cycling Cadence // *International Journal of Sports Physiology and Performance*. – 2024. – №19(6). – pp. 558-564. - DOI: 10.1123/ijspp.2023-0427.
- 3 Lucía A., Hoyos J., Chicharro J.L. Preferred pedalling cadence in professional cycling // *Med Sci Sports Exercise*. – 2001. – №33(8). – pp. 1361-1366. - DOI: 10.1097/00005768-200108000-00018.
- 4 Hagberg J.M., Mullin J.P., Giese M.D., Spitznagel E. Effect of pedaling rate on submaximal exercise responses of competitive cyclists // *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology* *Physiol*. – 1981. – №51(2). – pp. 447-451. -DOI: 10.1152/jappl.1981.51.2.447.
- 5 Agrícola P., Machado D., Junior L., Nascimento Neto L., Fonteles A., Silva S., Chao C., Bodnariuc Fontes E., Elsangedy H., Okano A. Slow Down and Enjoy // *Perceptual and Motor Skills*. – 2016. – №124. – pp. 233-247. - DOI: 10.1177/0031512516672774.
- 6 Klich S., Michalik K., Pietraszewski B., Hansen E.A., Madeleine P., Kawczyński A. Effect of applied cadence in repeated sprint cycling on muscle characteristics // *European Journal of Applied Physiology*. – 2024. – №124(5). – pp. 1609-1620. - DOI: 10.1007/s00421-023-05393-z.
- 7 Mater A., Boly A., Assadi H., Martin A., Lepers R. Effect of Cadence on Physiological and Perceptual Responses during Eccentric Cycling at Different Power Outputs // *Med Sci Sports Exercise*. – 2023. – №55(6). – pp. 1105-1113. - DOI: 10.1249/MSS.0000000000003132.
- 8 Harriss D.J., MacSween A., Atkinson G. Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research: 2020 Update // *International Journal of Sports Medicine*. – 2019. – №40(13). – pp. 813-817. - DOI: 10.1055/a-1015-3123.
- 9 Hopewell S., Chan A., Collins G., Hróbjartsson A., Moher D., Schulz K. CONSORT 2025 explanation and elaboration: updated guideline for reporting randomised trials // *BMJ*. – 2025. – №389. – Art. e081124. - DOI: 10.1136/bmj-2024-081124.
- 10 Dunst A., Hesse C. Understanding Optimal Cadence Dynamics // *Frontiers in physiology*. – 2024. – №15. – Art. 1343601. - DOI: 10.3389/fphys.2024.1343601.
- 11 Bieuzen F., Lepers R., Vercruyssen F., Hausswirth C., Brisswalter J. Muscle activation during cycling at different cadences: effect of maximal strength capacity // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. – 2007. – №17(6). – pp. 731-738.
- 12 Riveros-Matthey C.D., Carroll T.J., Lichtwark G.A., Connick M.J. The effects of crank power and cadence on muscle fascicle shortening velocity, muscle activation and joint-specific power during cycling // *Journal of Experimental Biology*. – 2023. – №226(13). – Art. jeb245600. - DOI: 10.1242/jeb.245600.
- 13 Ahlquist L.E., Bassett D.R. Jr, Sufit R., Nagle F.J., Thomas D.P. The effect of pedaling frequency on glycogen depletion rates in type I and type II quadriceps muscle fibers during submaximal cycling exercise // *European Journal of Applied Physiology*. – 1992. – №65(4). – pp. 360-364. - DOI: 10.1007/BF00868141.
- 14 Barstow T.J., Jones A.M., Nguyen P.H., Casaburi R. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise // *Journal of Applied Physiology*. – 1996. – №81(4). – pp. 1642-1650. - DOI: 10.1152/jappl.1996.81.4.1642.
- 15 Gotshall R.W., Bauer T.A., Fahrner S.L. Cycling cadence alters exercise hemodynamics // *International Journal of Sports Medicine*. – 1996. – №17(1). – pp. 17-21. - DOI: 10.1055/s-2007-972802.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ // АВТОРЛАР ТУРАЛЫ АҚПАРАТ // INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

«Автор для корреспонденции (первый автор)»

Антонов Алексей Геннадьевич - аналитик отдела спортивной нутрициологии, Государственное казенное учреждение г.Москвы «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта г. Москвы (ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта), аспирант кафедры спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Российская Федерация.

Хат-хабарларга арналган автор (бірінші автор)

Антонов Алексей Геннадьевич - спорттық нутрициология бөлімінің аналитигі, Мәскеу қаласы Спорт департаментінің «Спорттық инновациялық технологиялар және құрама командаларды даярлау орталығы» мемлекеттік қазыналық мекемесі (ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорт); спорттық медицина кафедрасының аспиранты, «ГЦОЛИФК» Ресей Спорт Университеті, Мәскеу қ., Ресей Федерациясы.

«The Author for Correspondence (The First Author)»

Antonov Aleksei Gennadievich – Analyst, Department of Sports Nutrition Science, State Public Institution of Moscow “Center for Sports Innovation Technologies and National Teams Training” of the Moscow City Sports Department (GKU “CSTiSK” Moskomport); postgraduate student, Department of Sports Medicine, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russian Federation.

e-mail: alexantonovk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-4485>

Мирошников Александр Борисович – доктор биологических наук, доцент, Российский Университет Спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Российская Федерация.

Мирошников Александр Борисович – биология ғылымдарының докторы, доцент, «ГЦОЛИФК» Ресей Спорт Университеті, Мәскеу қ., Ресей Федерациясы.

Miroshnikov Alexander Borisovich – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russian Federation.

e-mail: benedikt116@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4030-0302>

Сергеев Александр Сергеевич - аналитик отдела функциональной подготовки, Государственное казенное учреждение г. Москвы «Центр спортивных инновационных технологий и подготовки сборных команд» Департамента спорта г. Москвы (ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта); аспирант кафедры теории и методики тенниса, настольного тенниса и бадминтона, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Российская Федерация.

Сергеев Александр Сергеевич - функционалдық даярлық бөлімінің аналитигі, Мәскеу қаласы Спорт департаментінің «Спорттық инновациялық технологиялар және құрама командаларды даярлау орталығы» мемлекеттік қазыналық мекемесі (ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта); теннис, үстел теннисі және бадминтон теориясы мен әдістемесі кафедрасының аспиранты, «Ресей спорт университеті «ГЦОЛИФК», Мәскеу қ., Ресей Федерациясы.

Sergeev Aleksandr Sergeevich – Analyst, Department of Functional Training, State Public Institution of Moscow “Center for Sports Innovation Technologies and National Teams Training” of the Moscow City Sports Department (GKU “CSTiSK” Moskomport); postgraduate student, Department of Theory and Methods of Tennis, Table Tennis and Badminton, Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russian Federation.

e-mail: srlolymp@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8791-7412>

Дата поступления статьи: 27.01.2026

Дата принятия к публикации: 14.02.2026