



УДК 796.058:612.76:004.9

Методика контроля функционального состояния опорно-двигательного аппарата скалолазов дисциплины «Лазание на скорость» на основе кинематического анализа характеристик прыжка: применение светодиодных технологий

Н.Н. Соколов¹, Д.В. Сарычев²

¹Федеральный научный центр физической культуры и спорта (ВНИИФК), Москва, Россия

²Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, Россия

Аннотация

Актуальность работы обусловлена потребностью в надежных и неинвазивных инструментах для оценки функционального состояния спортсменов и своевременной коррекции тренировочного процесса.

Цель: разработка методики оценки характеристик опорно-двигательного аппарата скалолазов дисциплины «Лазание на скорость» в тренировочном процессе посредством применения экспериментального образца контактной светодиодной дорожки (ЭОКСД).

Методы и контингент исследования: кинематический анализ прыжковых упражнений с помощью ЭОКСД; в исследование приняли участие скалолазы дисциплины «скорость», мужчины, $n=9$ (мастера спорта – 6 человек; кандидаты в мастера спорта – 3 человека).

Результаты: установлены отрицательные корреляции между высотой прыжка: из приседа ($r=-0,85$), с махом рук ($r=-0,87$); индексом реактивной силы ($r=-0,75$), удельной высотой прыжка ($r=-0,76$) и временем прохождения эталонной трассы дисциплины скалолазания «Лазание на скорость».

Выводы. Полученные результаты позволяют предположить, что в дисциплине скалолазания «Лазание на скорость» преимущество имеют спортсмены с высоким уровнем максимальной силы и способные к более быстрому достижению пиковых значений мощности по сравнению с соперниками. Дистанционная работа скалолазов-скоростников имеет выраженный скоростно-силовой характер. Возможно, преимущество на дистанции будут иметь спортсмены, обладающие высоким градиентом силы, способные при высоком темпе существенно увеличить мощность и создать необходимые условия для отталкивания и реализации эффективной прыжковой техники.

Разработанная методика контроля функционального состояния опорно-двигательного аппарата скалолазов дисциплины «Лазание на скорость» на основе кинематического анализа характеристик прыжка с применением ЭОКСД представляет собой мобильный, объективный, информативный метод для оперативного мониторинга и оптимизации скоростно-силового потенциала спортсменов.

Ключевые слова: скалолазание, биомеханика, прыжок, контактная светодиодная дорожка, мониторинг, скоростно-силовая подготовка

A method for monitoring the functional state of the locomotor system system of speed climbers on kinematic analysis of jump characteristics: application of LED technologies

N. N. Sokolov¹, D. V. Sarychev²

¹Federal Scientific Center for Physical Culture and Sports (VNIIFK), Moscow, Russia

²Russian University of Sport (SCOLIPE), Moscow, Russia

Abstract

The relevance of the work lies in the need for reliable and non-invasive tools to assess the functional state of athletes and to correct the training process.

The goal is to develop a methodology for assessing the characteristics of the locomotor system in speed rock climbers during training using an experimental sample of a contact LED track (CLT).

Methods and participants of the study included kinematic analysis of jumping exercises using the CLT; with speed rock climbers participating, including men ($n = 9$), with master of sport (6 people) and candidate master of sport (3 people).

Results of the study showed correlations between the height of the seated jump ($r = -0.85$), counter-movement jump with arm swing ($r = -0.87$), index of reactive strength ($r = -0.75$), specific height of jump ($r = -0.76$), and competition time during the passage of a standard route for speed rock climbers.

Conclusions. The results obtained suggest that in speed climbing, athletes with high maximum strength and the ability to achieve peak power faster than their opponents have an advantage. The speed-climbing work of athletes is characterized by a pronounced strength-speed nature. Athletes with a high strength gradient, able to significantly increase power at a fast pace and create the necessary conditions for taking off and performing effective jumps, may have an advantage in long-distance climbing.

The method developed for assessing the characteristics the locomotor system characteristics using CLT is a mobile, objective, and informative method for promptly monitoring and optimizing of the speed-strength potential of athletes.

Keywords: rock climbing, biomechanics, jump, contact LED track, monitoring, speed and strength training

Введение

Современные оптоэлектронные измерительные системы становятся важным инструментом оптимизации спортивной результативности [1]. Эти технологии обеспечивают оперативный мониторинг биомеханических параметров в режиме реального времени, что способствует более глубокому пониманию механики движений человека.

Системы на основе инфракрасных (ИК) датчиков создают световую сетку на высоте 3–5 мм над поверхностью и регистрируют временные интервалы при прерывании светового поля.

Это позволяет точно определять время контакта с опорой и время полетной фазы. Исследование Glatthorn et al. [1] показало высокие коэффициенты корреляции между показателями силовой платформы и устройством OptoJump, при этом систематическое смещение составляло около 2,5%. Van den Tillaar [2] подтвердил сопоставимость кинематических измерений между различными оптоэлектронными системами. Существует значительное различие в профилях нейромышечной усталости между спортсменами с разным тренировочным опытом при выполнении нагрузки силового характера [3].

Ключевым принципом развития силовых качеств у спортсменов элитного уровня является обеспечение тесной интеграции тренировочного процесса с биомеханическими и энергетическими особенностями соревновательной деятельности [4, 5]. Сравнение высоты прыжков из полуприседа с результатами изокинетической динамометрии показало, что коэффициенты корреляции (r) между высотой прыжков и нормированными моментами *m. quadriceps* на угловой скорости разгибания в коленном суставе 60 град/с в зависимости от вида спорта находятся в диапазоне $0,5 < r < 0,9$ [6]. Уровень скоростно-силовой подготовленности является лимитирующим фактором достижения высоких спортивных результатов. Согласно Ю.В. Верхошанскому [7], ключевой характеристикой эффективности спортивного движения является скорость его выполнения. Мощность отталкивания имеет решающее значение в соревнованиях, где спортсмены стремятся поднять тело на максимально возможную высоту. Для того чтобы создать высокое начальное ускорение, спортсмены дисциплины «Лазание на скорость» должны быть способны развивать максимальную силу в начале мышечного сокращения. С физиологической точки зрения, такая способность зависит от мышечной композиции и скорости развития силы (градиента силы). Способность быстро преодолеть инерцию массы тела спортсмена зависит от относительной силы спортсмена (максимальной силы относительно массы тела) и относительной мощности.

Биомеханическая эффективность разгибательных движений в коленном суставе при скоростном прохождении эталонной трассы определяется способностью к генерации максимальной мощности в минимальные временные отрезки. Прыжковые тесты являются информативным диагностическим инструментом для оценки скоростно-силовых характеристик благодаря включению в работу основных двигательных единиц нижних конечностей [8].

Целью данной работы является разработка методики оценки состояния опорно-двигательного аппарата скалолазов дисциплины «Лазание на скорость» в процессе подготовки к выполнению нагрузок скоростно-силового характера посредством применения экспериментального образца контактной светодиодной дорожки (ЭОКСД).

Материалы и методы

Контингент испытуемых

В исследование приняли участие спортсмены скалолазы, специализирующиеся в дисциплине «Лазание на скорость», мужчины спортивной квалификации мастер спорта (МС) и кандидат в мастера спорта (КМС). Антропометрические данные представлены в табл. 1.

Таблица 1: Антропометрические данные исследуемого контингента

Испытуемые	Длина тела (см)	Вес (кг)
МС, n=6	$176,67 \pm 5,92$	$70,75 \pm 6,34$
КМС, n=3	$178,33 \pm 5,69$	$69,27 \pm 7,22$

Методика оценки кинематических характеристик

Участники выполняли следующие прыжковые тесты:

1. Прыжок из приседа (угол в коленном суставе 90° , руки на поясе).
2. Прыжок с подседом (руки на поясе).
3. Прыжок с подседом и махом рук.
4. Прыжок в глубину с высоты 30 см.
5. Серия из 20 прыжков на максимальную высоту.

Регистрация параметров осуществлялась с помощью ЭОКСД [6] (частота дискретизации 1000 Гц), разработанного в ФГБУ ФНЦ ВНИИФК под руководством д.б.н. А.В. Воронова (рис. 1).



Рис. 1: Выполнение прыжка "в глубину"
Fig. 1: Performing a deep jump

В рамках работы были использованы математические формулы для вычисления параметров прыжка (таблица 2), характеризующих состояния опорно-двигательного аппарата.

Таблица 2: Математические формулы вычислений параметров прыжка

Показатель	Формула и обозначения
Высота прыжка	$h = \frac{g \times t^2}{8}$ где: h – высота прыжка (м); g – ускорение свободного падения (м/с²); t – время полёта (с)
Мощность прыжка	$P = \frac{m \times g \times h_{\text{п}}}{t_{\text{п}}}$ где: P – мощность прыжка (Вт); m – масса тела (кг); g – ускорение свободного падения (м/с²); $h_{\text{п}}$ – высота прыжка (м); $t_{\text{п}}$ – время полёта (с)
Удельная высота прыжка	$h_{\text{уд}} = \frac{h_{\text{п}}}{\sqrt{m_{\text{т}} \times h_{\text{т}}}}$ где: $h_{\text{уд}}$ – удельная высота прыжка; $h_{\text{п}}$ – высота прыжка (м); $m_{\text{т}}$ – масса тела (кг); $h_{\text{т}}$ – длина тела (м)
Индекс реактивности	$RI = \frac{h_{\text{п}}}{t_{\text{оп}}}$ где: RI – индекс реактивности; $h_{\text{п}}$ – высота прыжка (м); $t_{\text{оп}}$ – время опоры (с)
Относительная мощность нескольких прыжков	$P_{\text{отн}} = \frac{g^2 \times \sum t_{\text{п}} \times (\sum t_{\text{п}} + \sum t_{\text{оп}})}{4 \times n \times \sum t_{\text{оп}}}$ где: $P_{\text{отн}}$ – относительная мощность нескольких прыжков (Вт); g – ускорение свободного падения (м/с²); $t_{\text{п}}$ – время полёта (с); $t_{\text{оп}}$ – время опоры (с); n – количество прыжков

Результаты

Анализ высоты прыжка выявил значительные различия между спортсменами разной квалификации (таблица 3):

Таблица 3: Результаты прыжков спортсменов различной квалификации (см)

Вид прыжка	МС	КМС
Прыжок из приседа	47,07 ± 4,25	40,77 ± 4,38
Прыжок с подседом	51,35 ± 5,93	45,60 ± 5,17
Прыжок с махом рук	64,98 ± 4,41	52,47 ± 3,36

Взаимосвязь между соревновательным временем и высотой прыжка различных типов показаны на рис. 2 (прыжок вверх из приседа), рис. 3 (прыжок с подседом) и рис. 4 (прыжок с махом рук).

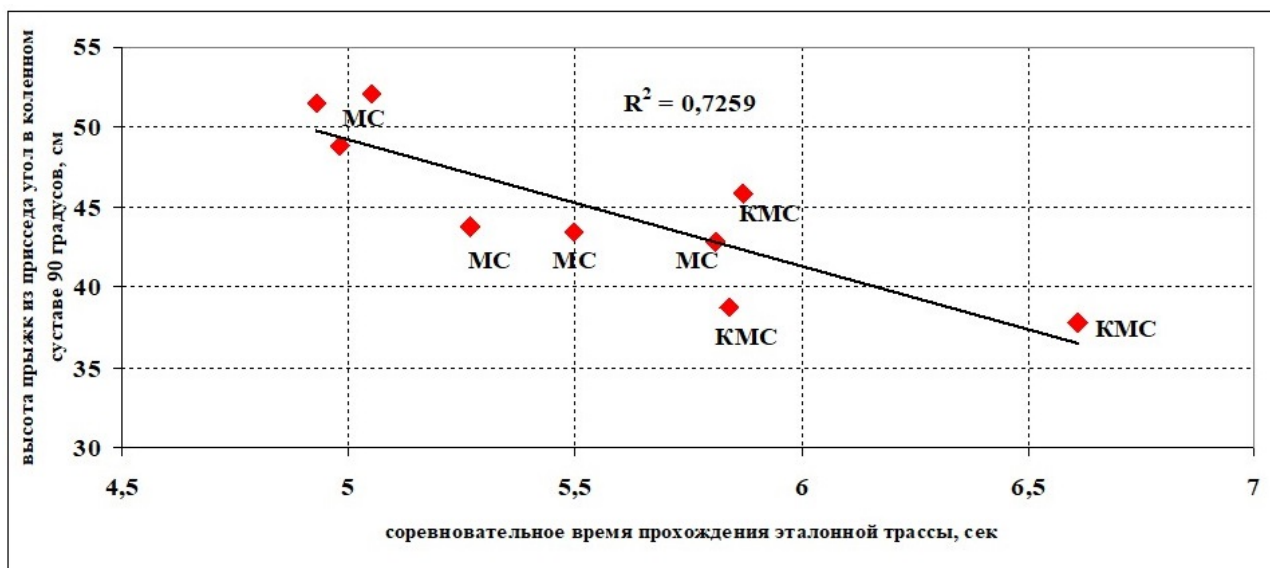


Рис. 2: Взаимосвязь между соревновательным временем и высотой прыжка вверх из приседа (угол в коленном суставе 90 градусов)

Fig. 2: The relationship between the competition time and the height of the jump up from the squat (90 degree angle at the knee joint)

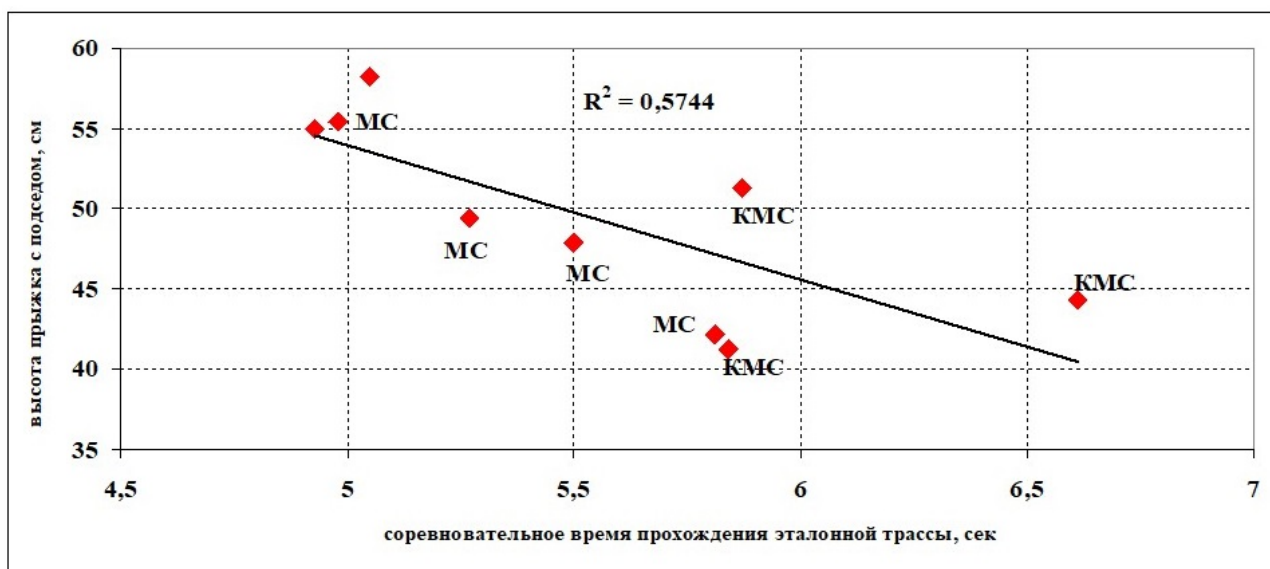


Рис. 3: Взаимосвязь между соревновательным временем и высотой прыжка с подседом

Fig. 3: The relationship between the competition time and the height of the squat jump

Полученные данные демонстрируют обратную корреляцию между соревновательным временем и высотой прыжка (таблица 4). Сильная обратная корреляция между соревновательным временем и высотой прыжка (от -0,76 до -0,87) говорит о том, что высота прыжка является значимым фактором, влияющим на соревновательное время.

Наиболее сильная корреляция выявлена между соревновательным временем и высотой прыжка с махом рук ($r = -0,87$), что указывает на ключевую роль координационно-силовых способностей в скоростном скалолазании.

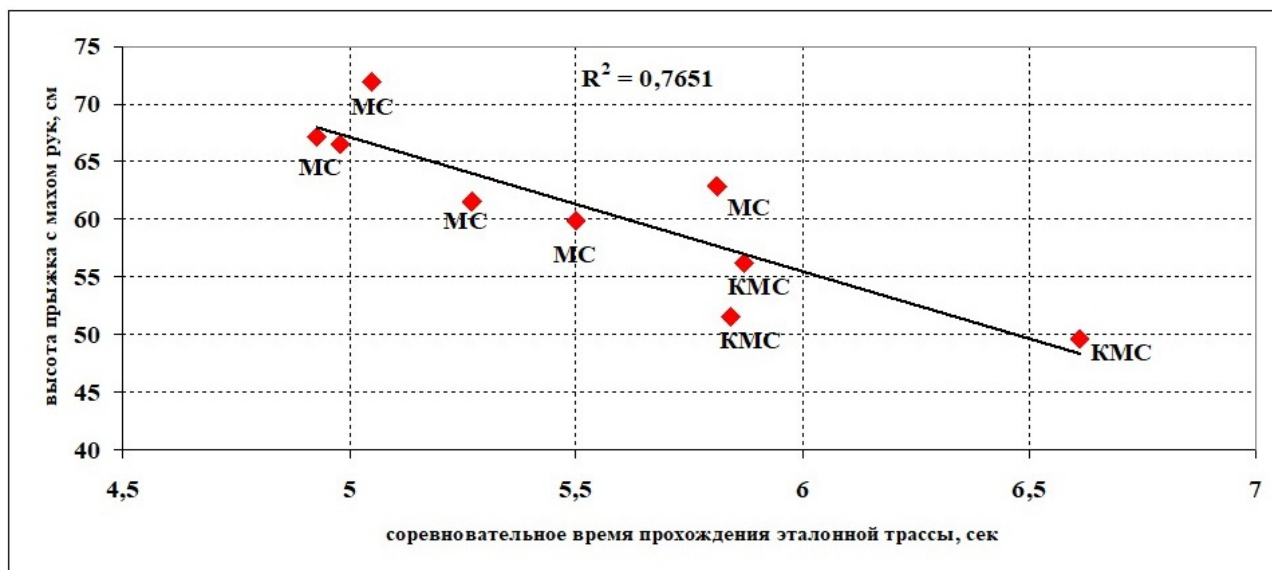


Рис. 4: Взаимосвязь между соревновательным временем и высотой прыжка с махом рук
 Fig. 4: The relationship between the competition time and the height of the arm swing jump

Спортсмены с более высоким прыжком, как правило, показывают лучшее (меньшее) соревновательное время. Особенно важна высота прыжка с махом рук, так как она имеет самую сильную корреляцию с соревновательным временем (-0,87).

Таблица 4: Корреляция между соревновательным временем и высотой/мощностью прыжка

Вид прыжка	Высота	Мощность
Из приседа	-0,85	-0,5
С подседом	-0,76	-0,45
С махом рук	-0,87	-0,48

Удельная высота прыжка — это показатель, который учитывает антропометрические характеристики спортсмена, такие как масса и длина тела, способность генерировать силу и мощность с учетом индивидуальных анатомо-физиологических характеристик. Данный параметр позволяет объективно оценивать прыгучесть с учетом вариаций телосложения (рис. 5). Это позволяет сравнивать результаты спортсменов с разной массой и ростом, минимизируя влияние физических параметров на оценку эффективности прыжкового действия.

Мощность прыжка демонстрирует умеренную обратную корреляцию с соревновательным временем (таблица 3). При этом разница в высоте прыжка между уровнями спортсменов оказывается значительно меньшей, чем разница в мощности прыжка (рис. 6). Это указывает, что несмотря на то, что мощность характеризует общий энергетический потенциал, именно удельная высота прыжка, более тесно связана с эффективностью соревновательной деятельности, отражая лучшее использование силы и техники.

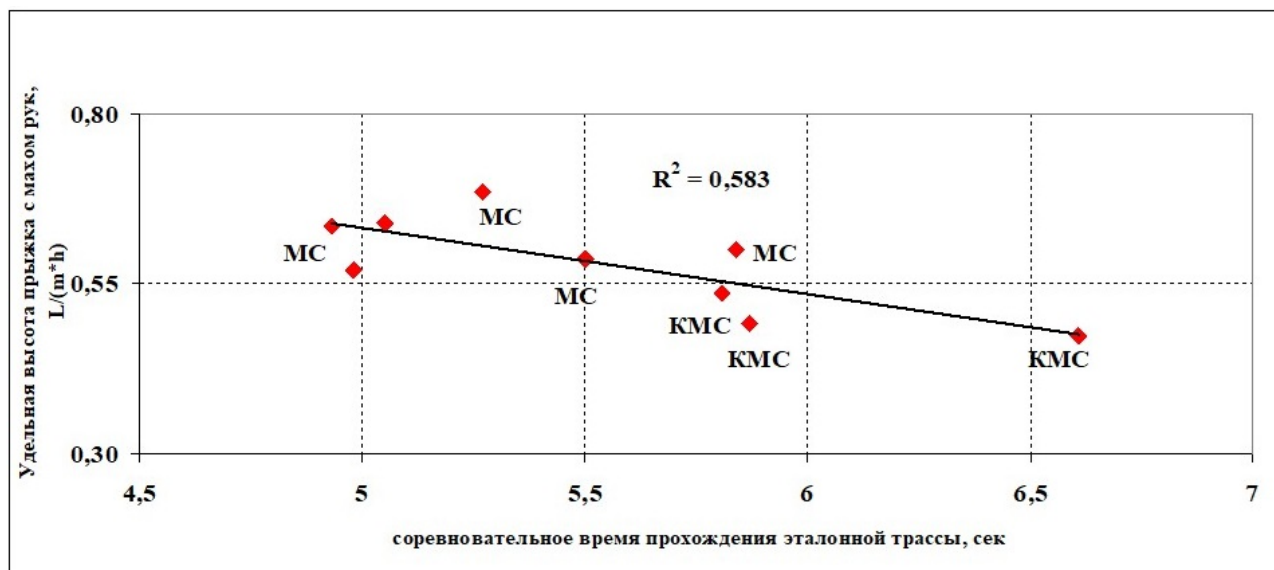


Рис. 5: Взаимосвязь между соревновательным временем и удельной высотой прыжка с махом рук

Fig. 5: The relationship between the competition time and the specific height of the arm swing jump

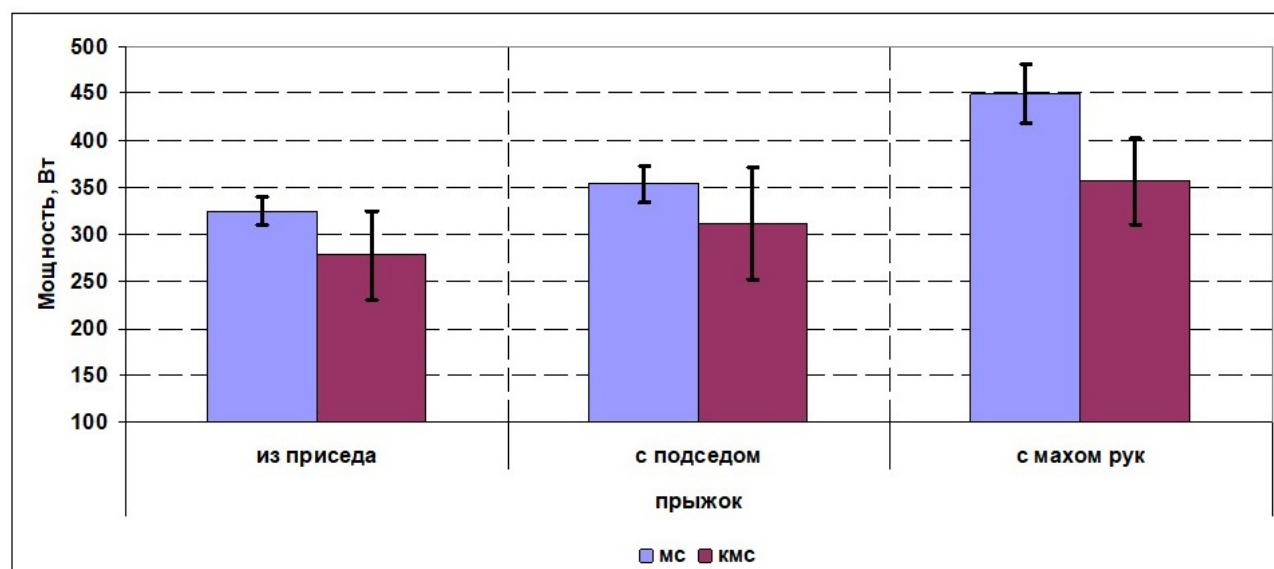


Рис. 6: Мощность трех видов прыжков

Fig. 6: The power of three types of jumps

Таким образом, можно заключить, что ключевыми факторами, влияющими на соревновательное время прохождения эталонной трассы, являются технические и координационные аспекты, а также эффективность реализации силового потенциала в специфичных двигательных задачах. Следовательно, тренировочный процесс должен включать комплексные мероприятия, направленные не только на развитие силовых показателей, но и на совершенствование техники и реактивной способности спортсмена для оптимизации соревновательных результатов.

Индекс реактивной силы (ИРС) является важным фактором, оказывающим существенное влияние на соревновательное время. Этот показатель рассчитывается как отношение высоты прыжка к времени контакта с опорой и отражает эффективность использования энергии мышц в фазах растяжения и сокращения (цикл растяжения-сокращения). Высокий ИРС указывает на способность спортсмена быстро и эффективно переходить от эксцентрической к концентрической фазе мышечного сокращения, что тесно связано с проявлением взрывной силы и улучшением динамических характеристик движений.

Полученные данные показывают, что спортсмены с более высоким индексом реактивной силы способны тратить меньше времени на контакт с опорой во время прохождения эталонной трассы, что является одним из ключевых факторов в таком виде спорта как лазание на скорость, требующего быстрых и мощных движений (рис. 7). Помимо влияния на спортивные результаты, ИРС также может использоваться для оценки риска травматизма и контроля усталости спортсменов.

Из полученных данных можно сделать вывод, что преимущество мастеров спорта обусловлено не только большей мышечной силой, но и более эффективным использованием энергии упругой деформации мышц и сухожилий, а также высоким уровнем межмышечной координации опорно-двигательного аппарата. Отрицательная корреляция ($r = -0,54$) между относительной мощностью, развиваемой при выполнении серии из 20 прыжков, и соревновательным временем на эталонной трассе означает, что по мере увеличения относительной мощности прыжков наблюдается снижение соревновательного времени. Иными словами, спортсмены, демонстрирующие более высокую относительную мощность при серии из 20 прыжков, как правило, проходят трассу быстрее. При этом значение корреляции $r = -0,54$ свидетельствует о средней силе этой взаимосвязи. Такая связь косвенно сообщает о важности развития скоростно-силовой выносливости для успешного прохождения эталонной трассы.

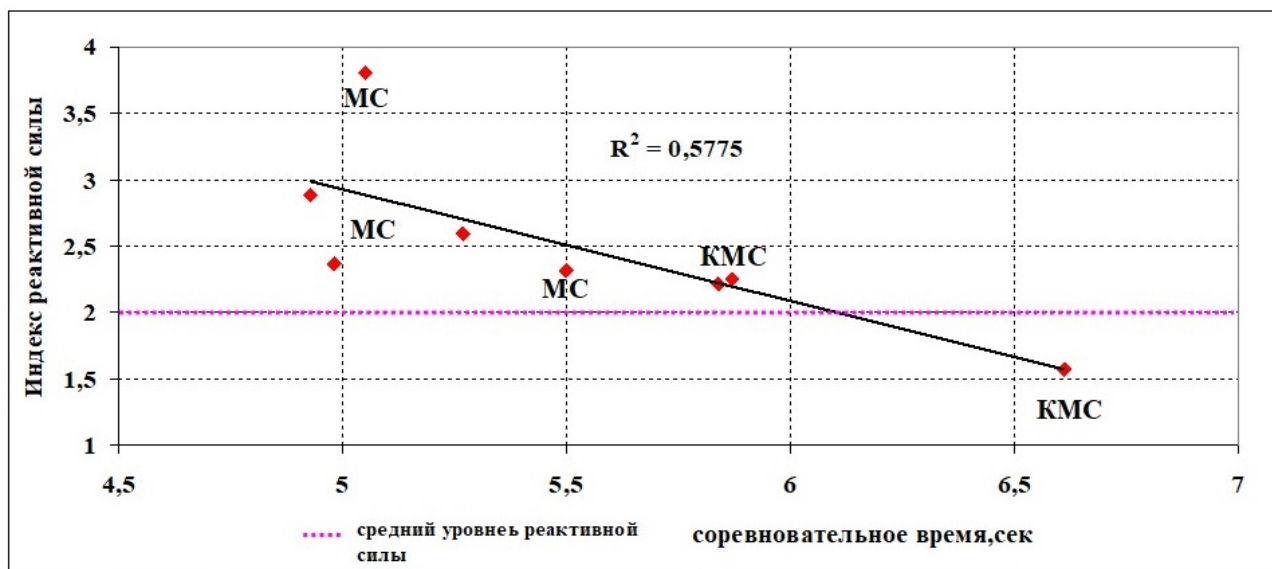


Рис. 7: Взаимосвязь между индексом реактивной силы и соревновательным временем
Fig. 7: The relationship between the index of reactive power and competitive time

Из рис. 8 видно, что относительная мощность 20 прыжков у MC составляет $453,42 \pm 23,33$ Вт, что на 27% превышает аналогичный показатель у KMC, который равен $356,71 \pm 46,01$ Вт. Этот существенный разрыв подчеркивает более высокий уровень развития скоростно-

силовых качеств у спортсменов уровня МС, что связано с их большей эффективностью и подготовленностью к соревновательным нагрузкам. Такое превосходство в относительной мощности 20 прыжков напрямую влияет на улучшение спортивных показателей и снижает соревновательное время, подтверждая важность развития скоростно-силовой выносливости на этапе перехода к уровню «мастер спорта».

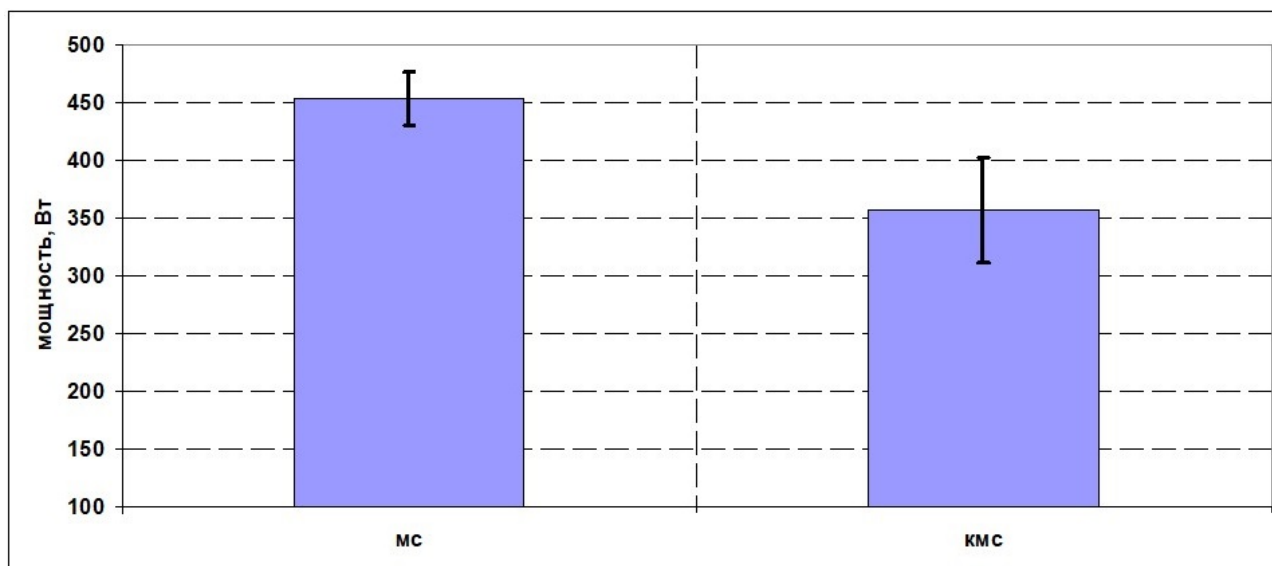


Рис. 8: Относительная мощность 20 прыжков

Fig. 8: Relative power of 20 jumps

Выводы

Выявленные различия в скоростно-силовых характеристиках при выполнении прыжковых тестов у скалолазов различной квалификации обусловлены морфофункциональными особенностями мышечной системы. Спортсмены высшей квалификации демонстрируют превосходство, вероятно связанное с более эффективной мобилизацией быстросокращающихся мышечных волокон (тип II) и их увеличенной представленностью в общем объеме мышечной массы. Основные переменные, оказывающие существенное влияние на результат, включают:

1. Высоту прыжка с махом рук, который является эффективным инструментом мониторинга мощностных и координационных характеристик спортсмена, отражая его способность развивать силу и скорость при отталкивании ($r=-0,87$).
2. Удельную высоту прыжка, которая, учитывая антропометрические характеристики, позволяет сравнивать спортсменов между собой, а так же характеризует относительную эффективность прыжка ($r=-0,76$).
3. Индекс реактивной силы, отражающий способность быстро переключаться между концентрической и эксцентрической фазой и эффективно использовать энергию упругой деформации мышц и сухожилий, что способствует оптимизации движений ($r=-0,75$).
4. Прыжок из седа угол в колене 90 градусов с паузой 3 секунды характеризует такие физические качества, как скоростно-силовая выносливость, способность быстро развивать максимальную динамическую силу, а также изометрическую мышечную силу ($r=-0,85$).

5. Относительную мощность серии из 20 прыжков, показатель скоростно-силовой выносливости спортсмена ($r=-0,58$).

Полученные результаты позволяют предположить, что в дисциплине скалолазания «Лазание на скорость» преимущество имеют спортсмены с высоким уровнем максимальной силы и способные к более быстрому достижению пиковых значений мощности по сравнению с соперниками. Дистанционная работа скалолазов-скоростников имеет выраженный скоростно-силовой характер. Возможно, преимущество на дистанции будут иметь спортсмены, обладающие высоким градиентом силы, способные при высоком темпе существенно увеличить мощность и создать необходимые условия для отталкивания и реализации эффективной прыжковой техники.

Таким образом, разработанная методика контроля функционального состояния опорно-двигательного аппарата скалолазов дисциплины «Лазание на скорость» на основе кинематического анализа характеристик прыжка посредством применения экспериментального образца контактной светодиодной дорожки позволяет объективно и оперативно анализировать ключевые параметры, влияющие на спортивный результат. Эта методика способна обеспечить объективную оценку скоростно-силовых качеств спортсменов, таких как высота и мощность прыжка, удельная высота прыжка, индекс реактивной силы и относительная мощность серии прыжков. Полученные данные позволяют выявлять уровень физической подготовленности, спортивного мастерства, эффективность техники и состояние опорно-двигательного аппарата, что может способствовать оптимизации тренировочного процесса и повышению соревновательной результативности. Применение данной методики в условиях спортивной подготовки открывает возможности для системного контроля и корректировки программы тренировок, ориентированных на развитие скоростно-силовых качеств. Также такой подход способствует более точному выявлению резервов спортсмена и предупреждению травматизма за счет мониторинга адаптивных изменений в двигательной активности.

Список литературы/References

1. Glatthorn J.F., Gouge S., Nussbaumer S., Stauffacher S., Impellizzeri F.M., Maffiuletti N.A. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2011, 25(2), pp. 556–560. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ccb18d>
2. Van den Tillaar R. Comparison of step-by-step kinematics of elite sprinters' unresisted and resisted 10-m sprints measured with Optojump or Muscledlab. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2021, 35(5), pp. 419–424. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002898>
3. Jurasz M., Boraczyński M., Wójcik Z., Gronek P. Neuromuscular fatigue responses of endurance-and strength-trained athletes during incremental cycling exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(14), pp. 8839. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19148839> EDN: <https://www.elibrary.ru/svlnis>
4. Бойко В.В. Целенаправленное развитие двигательных способностей человека. – Москва: Физкультура и спорт, 1987. – 143 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001389699>
Boyko V.V. Purposeful development of human motor abilities. *Moscow: Physical Culture and Sport*, 1987, 143 p. (in Russ.)

5. Cowell J.F., McGuigan M., Cronin J. Strength Training Considerations for the Bicycle Motocross Athlete. *Strength and Conditioning Journal*, 2022, 34(1), pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31822f93b4>
6. Воронов А.В., Шпаков А.В., Соколов Н.Н., Воронова А.А. Оценка биомеханических характеристик мышц нижних конечностей с помощью контактной светодиодной дорожки // Теория и практика физической культуры. 2025. №8. С. 96–98. EDN: <https://www.elibrary.ru/ztomba>
Voronov A.V., Shpakov A.V., Sokolov N.N., Voronova A.A. Assessment of biomechanical characteristics of lower limb muscles using a contact LED track. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2025, (8), pp. 96–98. (in Russ.)
7. Верхошанский Ю.В. Основы специальной физической подготовки спортсменов. – Москва: Физкультура и спорт, 1988. – 252 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01011493909>
Verkhoshansky Yu.V. Fundamentals of special physical training of athletes. *Moscow: Physical Culture and Sport*, 1988, 252 p. (in Russ.)
8. Воронов А.В., Воронова А.А., Соколов Н.Н., Малкин Р.В., Чилингарян Г.К., Шпаков А.В., Примаченко Г.К. Оценка точности определения высоты прыжка вверх различными измерительными устройствами и методами // Вестник спортивной науки. 2024. №3. С. 39–47. EDN: <https://www.elibrary.ru/cufmxo>
Voronov A.V., Voronova A.A., Sokolov N.N., Malkin R.V., Chilingaryan G.K., Shpakov A.V., Primachenko G.K. Evaluation of the accuracy of determining the height of an upward jump by various measuring devices and methods. *Bulletin of Sports Science*, 2024, (3), pp. 39–47. (in Russ.)

Сведения об авторах

Соколов Николай Николаевич – Федеральный научный центр физической культуры и спорта (ВНИИФК), Москва; e-mail: sokolov.n.n@vniifk.ru

Сарычев Дмитрий Валериевич – Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва; e-mail: climbing.analitika@yandex.ru

Для цитирования:

Соколов Н.Н., Сарычев Д.В. Методика контроля функционального состояния опорно-двигательного аппарата скалолазов дисциплины «Лазание на скорость» на основе кинематического анализа характеристик прыжка: применение светодиодных технологий. – 2025. – Т. 2, № 3. – С. 52–63. DOI: <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2025-2-3-52-63> EDN: WZWYOU

For citation:

Sokolov N.N., Sarychev D.V. A method for monitoring the functional state of the locomotor system system of speed climbers on kinematic analysis of jump characteristics: application of LED technologies. *Russian Journal of Information Technology in Sports*, 2025, 2 (3), pp. 52–63 (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2025-2-3-52-63> EDN: WZWYOU

Статья поступила в редакцию: 11.10.2025; статья принята в печать: 25.10.2025; статья опубликована: 03.11.2025