Дата публикации: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_37
УДК 796.422.093.554

Publication date: 01.06.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_37
UDC 796.422.093.554

БЕГ ПОД ГОРУ И В ГОРУ КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ СКОРОСТНОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ БЕГУНОВ НА ДЛИННЫЕ ДИСТАНЦИИ (ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

Б.А. Жгир
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет физической культуры и спорта», г. Омск, Россия

Аннотация. Настоящая работа представляет собой аналитический обзор современных зарубежных исследований, посвященных влиянию бега в гору и под уклон на развитие скоростной выносливости у бегунов на длинные дистанции. В рамках систематизации научных данных рассмотрены два ключевых направления: травматизация и отсроченная мышечная боль при эксцентрической нагрузке, а также повышение эффективности тренировочного процесса посредством оптимизации беговой техники и метаболических процессов. Особое внимание уделено биомеханическим и физиологическим аспектам воздействия бега по наклонной плоскости, особенностям адаптации у бегунов разного пола, а также тренировочным стратегиям, направленным на повышение беговой экономичности. Полученные результаты позволяют сформулировать практические рекомендации по включению наклонного бега в структуру подготовки спортсменов на выносливость, учитывая индивидуальные характеристики и цели тренировочного процесса.

Ключевые слова: бег под гору, бег в гору, скоростная выносливость.

RUNNING DOWHILL AND UPNHILL AS A MEANS OF DEVELOPING THE SPEED ENDURANCE OF LONG-DISTANCE RUNNERS (REVIEW OF FOREIGN LITERATURE)

B.A. Zhgir
Siberian State University of Physical Culture and Sport, Omsk, Russia

Abstract. This paper provides an analytical review of current international studies dedicated to the impact of uphill and downhill running on speed endurance development in long-distance runners. The review systematizes two key research directions: injury risk and delayed onset muscle soreness associated with eccentric loading, and enhancement of training efficiency through optimization of running technique and metabolic processes. Special emphasis is placed on biomechanical and physiological aspects of inclined running, gender-specific adaptive responses, and training strategies aimed at improving running economy. The summarized data offer practical insights for integrating inclined running into endurance training programs, with consideration for athletes' individual characteristics and performance goals.

Keywords: downhill running, uphill running, speed endurance.

Введение. Современные методы подготовки бегунов на длинные дистанции основываются на комплексном подходе к развитию ключевых физических качеств, среди которых особое значение имеет скоростная выносливость. В поиске эффективных стратегий для ее совершенствования все большее внимание уделяется вариативным формам бега, включающим бег по наклонной плоскости (в гору и под гору). Эти методики тренировки представляют собой инновационный инструмент, позволяющий целенаправленно воздействовать на специфические физиологические и биомеханические характеристики бегунов, тем самым улучшая их соревновательные показатели.

Бег в гору, как известно, предъявляет повышенные требования к аэробной и анаэробной выносливости спортсменов. В то же время бег под гору изменяет механику движения, увеличивая длину шага, частоту шагов и контакта с поверхностью и акцентируя нагрузку на эксцентрическое сокращение мышц. Комбинированное применение этих тренировочных режимов создает уникальный адаптационный эффект, способствующий улучшению локальной мышечной выносливости, развитию нейромышечной координации и повышению общей экономичности бега.

Целью нашего исследования было обобщение данных современной зарубежной

англоязычной научной литературы, посвященной теме бега в гору и под гору.

Методы и организация исследования. С целью раскрытия тематики данной статьи был осуществлен поиск зарубежных источников на доступных поисковых системах Science Research Portal, FreeFullPdf, Academia.edu. Поиск осуществлялся по ключевым словам – «downhill running», «uphill running», «speed endurance». Полученные результаты могут стать основой для пересмотра традиционных тренировочных моделей и внедрения прогрессивных методов подготовки в долгосрочные планы подготовки высококвалифицированных бегунов на длинные дистанции.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ литературных источников показал, что большинство исследований сфокусированы на изолированном анализе подъемов и спусков, тогда как их интеграция в тренировочный процесс бегунов на длинные дистанции требует более детального изучения. В данном обзоре мы предприняли попытку анализа исследований, в которых показано влияние бега в гору и под гору на показатели скоростной выносливости стайеров и марафонцев, а также представлены оптимальные параметры их сочетания в подготовительном цикле.

После анализа литературных источников мы пришли к выводу, что по своим основным, глобальным целям эти исследования представляют два тесно связанных между собой, но все же различающихся по приоритетам, направления:

1. Исследования, направленные на изучение отсроченной мышечной боли – DOMS (англ. Delayed onset muscle soreness) и травматизма в результате эксцентрической мышечной работы при беге по наклонной поверхности и возможностей их профилактики;

2. Исследования, направленные на повышение тренировочного эффекта и беговой экономичности RE (англ. Running Economic) посредством улучшения и оптимизации беговой техники и метаболических процессов.

Большой блок исследований, в которых использовались эксцентрические нагрузки при беге под уклон, направлены на изучение физиологических и механических изменений, возникающих вследствие специфических требований к работе мышц. Бег под уклон увеличивает нагрузку на разгибатели коленного сустава, что приводит к активации эксцентрических сокращений, сопровождающихся повышенным риском мышечного повреждения и отставленной болезненности мышц (DOMS). При этом адаптация к таким нагрузкам позволяет развивать устойчивость опорно-двигательного аппарата к травмирующим факторам, тем самым снижать вероятность травм [1-11].

Ряд исследований посвящен анализу повреждений мышечной ткани и времени восстановления при использовании бега по наклонной плоскости. В исследованиях Byrnes et al. (1985) показано, что регулярные тренировки на спусках могут снизить проявления DOMS за счет постепенной адаптации мышц к эксцентрическим нагрузкам. DeVita et al. (2008) отметили, что увеличение эксцентрической силы мышц через тренировки на уклонных поверхностях может снизить биомеханическую нагрузку на суставы, что особенно важно для спортсменов, подверженных хроническим травмам нижних конечностей [3, 12-14]. Kuhman et al. (2015), Hammerberg & Kramer (2021) и другие авторы отмечают, что существенную роль играет точка приложения усилий стопы при амортизационном торможении и отталкивании во время бега под гору и в гору [15-20].

Наиболее эффективные методы адаптации к эксцентрическим нагрузкам включают предварительные тренировки с контролируемыми эксцентрическими сокращениями, постепенное увеличение наклона и нагрузки, а также использование специальных восстановительных протоколов. Исследования показали, что после нескольких недель бега под уклон у спортсменов наблюдается снижение уровня мышечного повреждения, а также уменьшение времени, необходимого для восстановления после интенсивных тренировок. Кроме того, адаптация к эксцентрическим нагрузкам играет ключевую роль в профилактике травм, особенно у спортсменов, регулярно

испытывающих воздействие высокоинтенсивных механических нагрузок [7, 8, 21-23].

Существенным недостатком большинства исследований является невысокая квалификация испытуемых. Еще меньше исследований было проведено по изучению влияния бега по наклонной поверхности на организм женщин-бегуний. Тем не менее, те исследования, в которых участвовали женщины-бегуньи на длинные дистанции, отмечают существенные различия в механизмах адаптации между мужчинами и женщинами. Женщины быстрее и эффективнее восстанавливаются после бега по наклонной поверхности, но они в большей степени подвержены травматизму [24-28].

В свою очередь, бег в гору проходит с меньшей скоростью и меньшей амплитудой шага. Сам по себе бег в гору носит силовой характер. Из-за снижения скорости бега в гору биомеханический рисунок бега хорошо контролируется, что позволяет избежать технических ошибок во время бега. При беге в гору ударный характер нагрузки на суставы ног значительно снижен.

Использование медленных эксцентрических упражнений и акцент на контролируемые нагрузки позволяют минимизировать мышечное повреждение и повысить устойчивость мышц к нагрузке. Подобные тренировки доказали свою эффективность у квалифицированных спортсменов, обеспечивая более быстрое восстановление и снижение риска травм на соревнованиях [11, 19, 25, 29, 30].

В целом, результаты современных исследований подтверждают, что переход к бегу в гору и под уклон требует специфической адаптации с постепенным введением эксцентрических нагрузок. Проведение «адаптационных» тренировок, т.е. тренировок, направленных на подбор оптимальных биомеханических параметров бега, позволяет минимизировать негативные последствия эксцентрического воздействия и способствовать развитию устойчивости мышечных структур к интенсивным физическим нагрузкам. Отдельные авторы приходят к выводу, что показатели экономичности бега по горизонтальной поверхности и по наклонной поверхности схожи, несмотря на выраженные различия в биомеханике бега на различных поверхностях [2, 16, 31-36].

Исследования, направленные на повышение тренировочного эффекта для учета бега в гору и под гору, условно можно классифицировать по их методологическим критериям. Чаще всего бег под гору применяется с целью увеличения скорости передвижения и формирования двигательного стереотипа быстрых движений в условиях обеспечения дополнительной внешней гравитационной нагрузки, которая создает облегченные условия тренировки [28, 37-41].

Ряд работ посвящен сравнительному анализу влияния различных углов наклона беговой поверхности на биомеханические параметры техники бега, а также поиску оптимального угла наклона для реализации тренировочной стратегий. При этом в зависимости от изменения угла наклона для развития скоростных показателей наблюдается вариативность научных подходов, и единое мнение среди исследований отсутствует.

Так, Snyder et al., (2011) и Sheehan et al. (2013) в работах показали изменение частоты шагов в зависимости от угла наклона и их влияние на уровень энергозатрат. Полученные данные говорят о том, что оптимальная нагрузка способствует снижению метаболических затрат и повышению эффективности бега, особенно в условиях переменного наклона поверхности. Напротив, чрезмерные отклонение от ритмичного бега неадекватно увеличивает двигательную активность и, как утверждают данные исследователи, приводит к значительному общему расходу энергии. При беге под гору частота шагов, как правило, увеличивается, что позволяет частично компенсировать влияние гравитационного ускорения и уменьшать ударные нагрузки на опорно-двигательный аппарат. Дополнительное внимание в ряде исследований уделяется влиянию угла наклона на координационные характеристики движений и постуральный контроль. Установлено, что при беге в гору происходит увеличение наклона туловища вперед, что обеспечивает более эффективное использование силы тяжести для создания поступательного движения.

В то же время бег под уклон требует высокой степени контроля пространственного положения центра массы тела, так как его перемещение может привести к ухудшению равновесия и повышению риска падения. Эти данные подчеркивают необходимость тщательного биомеханического анализа с целью оптимизации техники бега на наклонных поверхностях. Следует отметить, что как избыточно длинный шаг, так и попытки ограничить длину шага могут привести к высокому снижению эффективности передвижения под гору и увеличению вероятности получения травм [9, 12, 42-46].

В работах Rowlands et al. (2001) и Toyomura et al. (2018) показали, что при беге под уклон наблюдается увеличение длины шага за счет уменьшения необходимости в активном отталкивании, т.к. на бегуна воздействует дополнительная сила гравитации. Также снижается время контакта стопы с опорной поверхностью. Напротив, при движении в гору наблюдается уменьшение длины шага, обусловленное возрастанием энергозатрат с учетом гравитационной нагрузки. Изменения также касаются фазы полета: при спуске ее продолжительность увеличивается совместно с высокой горизонтальной скоростью, тогда как при беге в гору фаза полета укорачивается из-за необходимости более частого контакта с опорой для поддержания ритма и темпа движения [27, 47, 48].

Биомеханические различия между бегом вверх и вниз анализировались в руководстве Yokozawa et al. (2005). Авторы установили, что при беге в гору увеличивается продолжительность опорной фазы, увеличивается мышечная активность разгибателей бедра и коленного сустава, при этом длина шага сокращается, что связано с увеличением нагрузки на мышцы конечностей. В противоположность этому, при беге под уклон увеличивается центральная эксцентрическая нагрузка на разгибатели коленного сустава, наблюдается увеличение длины шага и сокращение времени контакта с опорной поверхностью. Указанные различия обусловливают необходимость индивидуальной адаптации спортсмена к предложенным методам и средствам тренировки с целью минимизации риска травм и повышения общей эффективности тренировочного процесса [23].

Ряд научных исследований посвящен влиянию угла наклона на характеристики бега. Исследования проводились на широком диапазоне угла наклона: от 2° до 15°. Согласно Ebben (2008) увеличение угла наклона до 6,5° обеспечивает увеличение скорости бега. В свою очередь Snyder et al. (2012) определяли оптимальный угол наклона для бега под гору в пределах 6-9°, тогда как Paradisis et al. (2015) считают наиболее эффективным диапазон 3-4,8° [9, 10, 41, 49, 50]. Таким образом, в вопросе определения оптимального угла наклона при беге под гору для развития скорости единого мнения на данный момент не существует (Chen et al., 2007; Baggaley M. et al., 2015). При этом установлено, что избыточное увеличение угла наклона приводит к снижению экономичности бега и увеличивает метаболическую стоимость движения. В работе Baggaley M. et al. (2015) подчеркивается, что квалифицированные спортсмены быстрее адаптируются к бегу под уклон и расходуют меньше сил по сравнению с менее опытными бегунами [13, 15, 29, 51].

Ebben (2008) и Paradisis et al. (2015) в своих исследованиях показывают, что спринт под уклон приводит к увеличению горизонтальной скорости за счет уменьшения вертикальных колебаний тела и снижения времени контакта с поверхностью. Ebben (2008) выявил, что бег под углом – 5,8° способствует увеличению скорости спринта на 6,5% по сравнению с бегом по ровной поверхности. Paradisis et al. (2015) продемонстрировали, что спринтеры, тренирующиеся на уклонных поверхностях, улучшают стартовую фазу разгона и динамику шага, что положительно сказывается на их результатах, на коротких дистанциях. Более того, исследования показывают, что адаптация к бегу под уклон может минимизировать тормозящие силы, что приводит к увеличению темпа бега и снижению затрат энергии при высокой скорости [41, 49, 50].

Clark et al. (2009) предложили систему тренировок, направленную на улучшение

спринтерских качеств, с использованием ускорений по наклонным поверхностям вниз. Оптимальный угол спуска, согласно их данным, составляет от -3° до -6° для улучшения механики бега и повышения частоты шагов. Такие тренировки позволяют спортсменам адаптироваться к более высокой скорости движения, снижая время реакции и повышая эффективность стартового ускорения. Кроме того, регулярные тренировки на уклонных поверхностях улучшают координацию движений, увеличивают активацию быстросокращающихся волокон и помогают развивать устойчивость к высокоинтенсивным нагрузкам, что делает их важным компонентом подготовки спринтеров [14, 39].

В то время как взгляды на большой диапазон угла наклона поверхности для развития скоростных качеств различны в отношении тренировок бегунов на длинных дистанциях авторы приходят к мнению об эффективности сравнительно небольшого диапазона наклона. Ряд исследований показывает, что умеренный уклон (около -3°) является приемлемым для тренировок, направленных на повышение экономичности бега у стайеров и марафонцев. По данным Toyomura J. et al., (2018), Shaw A.J. et al., (2018), Green et al. (2010) у спортсменов, специализирующихся в беге на длинные дистанции, отмечаются высокие показатели VO_2max и сокращение времени восстановления после тренировок с использованием спусков, что делает данный метод эффективным для развития выносливости [25, 28, 44, 52].

Исследования кардио-респираторных реакций при беге под уклон свидетельствуют о значительном снижении частоты сердечных сокращений (ЧСС) и потребления кислорода, что объясняется уменьшением мышечной работы при спуске. Однако выраженность этих физиологических изменений определяется уровнем спортивной подготовки и половыми различиями. Так, в исследованиях Lemire et al. (2023) и Breiner et al. (2019) показано, что у высококвалифицированных спортсменов наблюдается более эффективное функционирование сердечно-сосудистой системы за счет лучшей утилизации кислорода и стабилизации дыхательных параметров. Green et al. (2010), Tuttle et al. (2017) пришли к выводам, что у женщин-бегуний на длинные дистанции снижение ЧСС при беге под уклон выражено в большей степени, что свидетельствует о наличии половых различий в метаболической адаптации. Более того, по данным Lima et al. (2018) интенсивность физической нагрузки существенно влияет на характер адаптационных реакций: высококвалифицированные спортсмены демонстрируют более быстрое восстановление после серии спусков по сравнению с любителями [7, 11, 25, 32, 34, 35, 53].

При анализе данных, полученных в ходе измерения потребления кислорода и ЧСС при беге под уклон, Lemire et al. (2023), Breiner et al. (2010) установлено, что у профессиональных бегунов расход кислорода при фиксированной скорости ниже, чем у спортсменов-любителей, что отражает более высокую экономичность их кардиореспираторной системы. Lemire et al. (2023) показали, что у элитных бегунов ЧСС и дыхательная частота остаются стабильными даже при увеличении угла наклона, что позволяет сохранять эффективность аэробного обмена в условиях высокой нагрузки. В свою очередь Breiner et al. (2010) отмечают, что женщины-бегуньи демонстрируют меньший расход кислорода и менее выраженное снижение ЧСС по сравнению с мужчинами, что может быть связано с более высокой метаболической адаптацией и большей устойчивостью сердечно-сосудистой системы. У высококвалифицированных женщин-бегуний наблюдается улучшенная способность к утилизации кислорода и более высокая толерантность к гипоксическим условиям, что повышает устойчивость к переменным нагрузкам при беге по наклонной поверхности [32, 35, 54].

Анализ влияния интенсивности нагрузки на метаболическую адаптацию показывает, что бег под уклон в условиях высокой интенсивности требует значительной перестройки обменных процессов. У тренированных спортсменов наблюдается более сбалансированное вовлечение аэробного и анаэробного компонентов

энергообеспечения, что ускоряет восстановление после нагрузки. В частности, уровень лактата в крови у них возрастает в меньшей степени, чем у менее подготовленных спортсменов, что указывает на эффективную утилизацию продуктов метаболизма и устойчивость к гипоксии. У женщин-бегуний, согласно данным Lima et al. (2018), регистрируются специфические метаболические реакции, включая меньшую концентрацию лактата после спуска, что может свидетельствовать о лучшей устойчивости к эксцентрическим нагрузкам. Эти данные подчеркивают необходимость индивидуального подхода к тренировочному процессу с учетом пола и квалификации спортсмена [7, 55-57].

Снижение энергетических затрат при беге под уклон объясняется использованием эластичной энергии мышечно-сухожильного аппарата, что особенно важно для женщин-спортсменок, учитывая особенности их адаптационных механизмов.

По данным исследований Garnier et al. (2020) и Abe et al. (2015) энергозатраты при спуске снижаются за счет эффективного использования эластических свойств сухожилий и мышечно-сухожильных структур. Garnier et al. (2020) установили, что у профессиональных спортсменок снижение затрат энергии связано с уменьшением работы мышц бедра, особенно сгибателей и разгибателей. В свою очередь Abe et al. (2015) показали, что женщины-спортсменки расходуют меньше кислорода при аналогичных нагрузках по сравнению с мужчинами, что обусловлено их способностью к более эффективному использованию эластичной энергии мышечно-сухожильного аппарата [14, 24, 54].

Таким образом, включение беговых упражнений под уклон в тренировочный процесс способствует повышению беговой экономичности. У высококвалифицированных спортсменок наблюдается более высокая эффективность движений при спусках благодаря улучшенной координации и оптимальному использованию эластической энергии, что снижает метаболические затраты на передвижение [24, 26, 27, 54, 58, 59].

Измерение физиологических показателей, таких как VO_2max, уровень креатинкиназы, лактата и глюкозы, позволяет объективно оценить степень мышечного повреждения и восстановительные процессы. Повышение концентрации креатинкиназы и лактата после интенсивного бега под уклон указывает на микроповреждения мышечной ткани, требующие адекватного восстановления. При этом, по данным Eston et al. (2000) предварительная адаптация за счет эксцентрических тренировок может существенно снизить выраженность повреждений и ускорить регенерацию тканей [6, 46, 53, 60].

Исследования Wills M.D. et al. (2018) показывают, что у женщин-спортсменок выражена способность к сохранению и повторному использованию эластической энергии за счет высокой жесткости сухожилий и сокращенной фазы контакта с опорой. Это снижает энергетические потери во время движения и позволяет поддерживать высокую скорость с минимальными затратами. Кроме того, у женщин регистрируется более стабильная биомеханика шага при длительных нагрузках, что снижает риск микротравм и усталостных повреждений [11, 59, 61].

Таким образом, развитие эластических свойств мышечно-сухожильного аппарата является ключевым направлением в подготовке женщин-бегуний. Высокая жесткость сухожилий способствует сохранению и возврату механической энергии в каждом шаге, повышая эффективность и экономичность бега [14, 17, 19, 20].

Особое значение имеет оптимизация частоты шагов. У женщин-спортсменок наблюдается четкая зависимость между частотой шагов и эффективностью использования эластической энергии. Это объясняется высокой степенью тренировочной адаптации, позволяющей максимально использовать упругие свойства мышечно-сухожильного комплекса.

В совокупности полученные данные свидетельствуют о важности внедрения специализированных тренировочных программ, направленных на развитие эластических свойств мышечно-сухожильного аппарата, что позволяет улучшить экономичность

бега и повысить результативность у спортсменок, особенно в дисциплинах, связанных с преодолением длинных дистанций.

Заключение. Обобщение зарубежного научного опыта позволяет утверждать, что бег в гору и под уклон является эффективным средством развития скоростной выносливости у бегунов на длинные дистанции. При этом важно учитывать индивидуальные особенности спортсменов, включая уровень подготовленности, пол и специфику соревновательной деятельности. Бег в гору способствует росту аэробной мощности и силовой выносливости, в то время как бег под уклон позволяет оптимизировать технику за счет развития эксцентрической силы и использования эластических свойств мышечно-сухожильного аппарата.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Braun, W.A. The effects of a single bout of downhill running and ensuing delayed onset of muscle soreness on running economy performed 48h later / W.A. Braun, D.J. Dutto // European Journal of Applied Physiology. – 2003. – Vol. 90. – No. 1-2. – P. 29-34. DOI: 10.1007/s00421-003-0857-8.
2. Buczek, F.L. Stance phase knee and ankle kinematics and kinetics during level and downhill running / F.L. Buczek, P.R. Cavanagh // Medicine and Science in Sports and Exercise. – 1990. – Vol. 22. – No. 5. – P. 669-677.
3. Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running / W.C. Byrnes, P.M. Clarkson, J.S. White [et al.] // Journal of Applied Physiology. – 1985. – Vol. 59. – No. 3. – P. 710-715.
4. Gait retraining for the reduction of injury occurrence in novice distance runners: 1-year follow-up of a randomized controlled trial / Z.Y.S. Chan, J.H. Zhang, I.P.H. Au [et al.] // The American Journal of Sports Medicine. – 2018. – Vol. 46. – No. 2. – P. 388-395. DOI: 10.1177/0363546517736277.
5. Chu, J.J. Stiffness and damping response associated with shock attenuation in downhill running / J.J. Chu, G.E. Caldwell // Journal of Applied Biomechanics. – 2004. – Vol. 20. – No. 3. – P. 291-308. DOI: 10.1123/jab.20.3.291.
6. Effect of stride length on symptoms of exercise-induced muscle damage during a repeated bout of downhill running / R.G. Eston, A.B. Lemmey, P. McHugh [et al.] // Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. – 2000. – Vol. 10. – No. 4. – P. 199-204.
7. Isometric pre-conditioning blunts exercise-induced muscle damage but does not attenuate changes in running economy following downhill running / L. C.R. Lima, N.M. Bassan, A.C. Cardozo [et al.] // Human Movement Science. – 2018. – Vol. 60. – P. 1-9.
8. Pierrynowski, M.R. Effects of downhill or uphill training prior to a downhill run / M.R. Pierrynowski, P.M. Tudus, M.J. Plyley // European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. – 1987. – Vol. 56. – No. 6. – P. 668-672.
9. Snyder, K.L. Energetically optimal stride frequency in running: the effects of incline and decline / K.L. Snyder, R.Kram // Journal of Experimental Biology. – 2011. – Vol. 214. – Pt. 12. – P. 2089-2095.
10. Snyder, K.L. The role of elastic energy storage and recovery in downhill and uphill running / K.L. Snyder, R. Kram, J.S. Gottschall // Journal of Experimental Biology. – 2012. – Vol. 215. – No. 14. – P. 2283-2287.
11. The Hsp72 and Hsp90alpha mRNA responses to hot d0ownhill running are reduced following a prior bout of hot downhill running, and occur concurrently within leukocytes and the vastus lateralis / J.A. Tuttle, B.C.R. Chrismas, O.R. Gibson [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2017. – Vol. 8. – P. 473.
12. Abbiss, C.R. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition / C.R. Abbiss, P.B. Laursen // Sports Medicine. – 2008. – Vol. 38. – No. 3. – P. 239-252.
13. Chen, T.C. Changes in running economy following downhill running / T.C. Chen, K. Nosaka, J.-H. Tu // Journal of Sports Sciences. – 2007. – Vol. 25. – No. 1. – P. 55-63. DOI: 10.1080/02640410600718228.
14. Muscle work is biased toward energy generation over dissipation in non-level running / P. DeVita, L. Janshen, P. Rider [et al.] // Journal of Biomechanics. – 2008. – Vol. 41. – P. 3354-3359.
15. Step length and grade effects on energy absorption and impact attenuation in running / M. Baggaley, G. Vernillo, A. Martinez [et al.] // European Journal of Sport Science. – 2019. – Vol. 24. – P. 1-11.
16. Hammerberg, J. Consistent inconsistencies in braking and propulsion mechanics during trail running / J. Hammerberg, A. Kramer // Journal of Biomechanics. – 2021. – Vol. 124. – P. 110560
17. Ankle and knee kinetics between strike patterns in hill and level running / D.J. Kuhman [et al.] // Journal of Biomechanics. – 2015. – Vol. 48. – No. 6. – P. 1318-1324.
18. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes / A.E. Minetti, C. Moia, G.S. Roi, D. Susta, G. Ferretti // Journal of Applied Physiology. – 2002. – Vol. 93. – P. 1039-1046.DOI: 10.1152/japplphysiol.01177.2001.
19. The effects of downhill slope on kinematics and kinetics of the lower extremity joints during running /

S.K. Park, H.M. Jeon, W.K. Lam [et al.] // Gait & Posture. – 2019. – Vol. 68. – P. 181-186.
20. Biomechanics of trail running performance: influence of ground slope and surface type on running kinematics and efficiency / G. Perrotin [et al.] // Journal of Applied Biomechanics. – 2021. – Vol. 37. – No. 6. – P. 645-654.
21. Harnish, C.R. Racing demands of off-road triathlon: a case study of a national champion masters triathlete / C.R. Harnish, H.A. Ferguson, G.P. Swinand // Sports. – 2021. – Vol. 9. – No. 10. – P. 136.
22. Rowlands, A.V. Effect of stride length manipulation on symptoms of exercise-induced muscle damage and the repeated bout effect / A.V. Rowlands, R.G. Eston, C. Tilzey // Journal of Sports Sciences. – 2001. – Vol. 19. – No. 5. – P. 333-340.
23. Yokozawa, T. Muscle activities of the lower limb during level and uphill running / T. Yokozawa, N. Fujii, M. Ae // Journal of Biomechanics. – 2007. – Vol. 40. – P. 3467-3475.
24. Relationship between perceived exertion and blood lactate concentrations during incremental running test in young females / D. Abe, T. Yoshida, H. Ueoka [et al,] // BMC Sports Science, Medicine, and Rehabilitation. – 2015. – Vol. 7. – No. 5. – P. 5.
25. Adaptation of insulin-resistance indicators to a repeated bout of eccentric exercise in human skeletal muscle / M.S. Green, J.A. Doyle [et al.] // International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. – 2010. – Vol. 20. – No. 3. – P. 181-190.
26. The effect of individualised sprint training in elite female team sport athletes: a pilot study / E. Rakovic, G. Paulsen, C. Helland [et al.] // Journal of Sports Sciences. – 2018. – Vol. 36. – No. 24. – P. 2802-2808.
27. Differences in running biomechanics between young, healthy men and women carrying external / J.E. Rubio, J. Tong, A. Sundaramurthy [et al.] // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2023. – Vol. 11. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1250937.
28. Efficacy of downhill running training for improving muscular and aerobic performances / J. Toyomura, H. Mori, K. Tayashiki [et al.] // Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. – 2018. – Vol. 43. – No. 4. – P. 403-410.
29. Chen, T.C. Effects of a 30-min running performed daily after downhill running on recovery of muscle function and running economy / T.C. Chen, K. Nosaka, C.C. Wu // Journal of Science and Medicine in Sport. – 2008. – Vol. 11. – No. 3. – P. 271-279.
30. Hoppeler, H. Moderate load eccentric exercise: a distinct novel training modality / H. Hoppeler // Frontiers in Physiology. – 2016. DOI: 10.3389/fphys.2016.00558.
31. Barnes, K.R. Running economy: measurement, norms, and determining factors / K.R. Barnes, A.E. Kilding // Sports Medicine – Open. – 2015. DOI: 10.1186/s40798-015-0007-y.
32. Breiner, T.J. Level, uphill and downhill running economy values are strongly intercorrelated / T.J. Breiner, A.L.R. Ortiz, R. Cram // European Journal of Applied Physiology. – 2019. – Vol. 119. – P. 257-264. DOI: 10.1007/s00421-018-4021-x.
33. Changes in running economy following a repeated bout of downhill running / T. Chen, H. Chen, C. Wu [et al.] // Journal of Exercise Science & Fitness. – 2007. – Vol. 5. – No. 2. – P. 109-117.
34. Jones, A. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness / A. Jones, H. Carter // Sports Medicine. – 2000. – Vol. 29. – No. 6. – P. 363-386. DOI: 10.2165/00007256-200029060-00001.
35. Lemire, M. Relationship between biomechanics and energy cost in graded treadmill running / M. Lemire [et al.] // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – P. 12244.
36. Minetti, A.E. Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradient running in humans / A.E. Minetti, L.P. Ardigò, F. Saibene // Journal of Experimental Biology. – 1994. – Vol. 195. – P. 211-225.
37. Arakawa, K. Biomechanical study on downhill running for sprint training / K. Arakawa // Research Report of Kanagawa Institute of Technology. – 1993. – No. A-17. – P. 1-4.
38. Cissik, J.M. Means and methods of speed training, part II / J.M. Cissik // Strength and Conditioning Journal. – 2005. – Vol. 27. – No. 1. – P. 18-25.
39. Influence of towing force magnitude on the kinematics of supramaximal sprinting / D.A. Clark, M.B. Sabick, R.P. Pfeiffer [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2009. – Vol. 23. – No. 4. – P. 1162-1168.
40. Mero, A. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters / A. Mero, P.V. Komi // European Journal of Applied Physiology. – 1986. – Vol. 55. – No. 5. – P. 553-561.
41. Paradisis, G.P. Combined uphill and downhill sprint running training is more efficacious than horizontal / G.P. Paradisis, C.B. Bissas // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2009. – Vol. 4. – No. 2. – P. 229-243. DOI: 10.1123/ijspp.4.2.229.
42. Padulo, J. A paradigm of uphill running: biomechanics and metabolic cost changes at different inclines / J. Padulo [et al.] // Journal of Sports Sciences. – 2013. – Vol. 31. – No. 10. – P. 1182-1190.
43. Sabater Pastor, F. Degradation of energy cost with fatigue induced by trail running: effect of distance / F. Sabater Pastor [et al.] // European Journal of Applied Physiology. – 2021. – Vol. 121. – P. 1665-1675.
44. Shaw, A.J. The efficacy of downhill running as a method to enhance running economy in trained distance runners / A.J. Shaw, S.A. Ingham, J.P. Folland // European Journal of Sport Science. – 2018. – Vol. 18. – No. 5. – P. 630-638.

45. Sheehan, R.C. Preferred step frequency during downhill running may be determined by muscle activity / R.C. Sheehan, J.S. Gottschall // Journal of Electromyography and Kinesiology. – 2013. – Vol. 23. – No. 4. – P. 826-830.
46. Differential white cell count after two bouts of downhill running / L.L. Smith, J.A. Bond, D. Holbert [et al.] // International Journal of Sports Medicine. – 1998. – Vol. 19. – No. 6. – P. 432-437.
47. Downhill running to enhance operational performance in mountain terrains / P.G. Law, H.W. Goforth, W.K. Prusaczyk [et al.] // NHRC. – 1995. – No. 94-36.
48. Biomechanics and physiology of uphill and downhill running / G. Vernillo [et al.] // Sports Medicine. – 2017. – Vol. 47. – No. 4. – P. 615-629.
49. Ebben, W. The optimal downhill slope for acute overspeed running / W. Ebben // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2008. – Vol. 3. – P. 88-93.
50. Paradisis, G.P. Effect of combined uphill-downhill sprint training on kinematics and maximum running speed in experienced sprinters / G.P. Paradisis, A. Bissas, C.B. Cooke // International J of Sports Science and Coaching. – 2015. – Vol. 10. – No. 5. – P. 887-897. DOI: 10.1260/1747-9541.10.5.887.
51. Changes in running economy at different intensities following downhill running / T.C. Chen, K. Nosaka, M.J. Lin [et al.] Journal of Sports Sciences. – 2009. – Vol. 27. – No. 11. – P. 1137-1144.
52. Gregor, R.J. A comparison of the energy expenditure during positive and negative grade running / R.J. Gregor, D.L. Costill // Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. – 1973. – Vol. 13. – P. 248-252.
53. The relationship between the lactate turnpoint and time spent at VO_2max during an incremental test in distance runners / A.W. Midgley [et al.] // International Journal of Sports Medicine. – 2005. – Vol. 26. – No. 8. – P. 698-706.
54. Garnier, Y. Cardiorespiratory changes during prolonged downhill versus uphill treadmill exercise / Y. Garnier, R. Lepers, H. Assadi, C. Paizis // International Journal of Sports Medicine. – 2020. – Vol. 41. – No. 2. – P. 69-74.
55. High-intensity downhill running exacerbates heart rate and muscular fatigue in trail runners / M. Lemire, R. Remetter, T.J. Hureau [et al.]// Journal of Sports Sciences. – 2020. DOI: 10.1080/02640414.2020.1847502.
56. Central and peripheral fatigue in recreational trail runners following a vertical kilometer race / M. Muñoz-Pérez [et al.] // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2023. – Vol. 37. – No. 4. – P. 950-960.
57. Cadence impact on cardiopulmonary, metabolic and biomechanical loading during downhill running / H.K. Vincent, C. Massengill, A. Harris [et al.] // Gait & Posture. – 2019. – Vol. 71. – P. 186-191.
58. Reproducibility of performance and fatigue in trail running / C.S. Easthope [et al.] // International Journal of Sports Physiology and Performance. – 2014. – Vol. 9. – No. 6. – P. 722-729.
59. Effect of downhill running grade on lower extremity loading in female distance runners / M.D. Wells, D.C. Dickin, J. Popp, H. Wang // Sports Biomechanics. – 2018. – Vol. 1. – P. 1-9.
60. Energy cost and physiological responses to downhill vs. level running in elite distance runners / G. Björklund [et al.] // Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. – 2019. – Vol. 29. – No. 6. – P. 830-838.
61. Factors affecting running economy in trained distance runners / P.U. Saunders, D.B. Pyne, R.D. Telford, J.A. Hawley // Sports Medicine. – 2004. – Vol. 34. – No. 7. – P. 465-485.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:
Борис Андреевич Жгир – доцент, Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, Омск, Россия, e-mail: boris_j@mail.ru

THE AUTHOR INFORMATION:
Boris A. Zhgir – Associate Professor, Siberian State University of Physical Culture and Sport, Omsk, Russia, e-mail: boris_j@mail.ru

Для цитирования: Жгир, Б.А. Бег под гору и в гору как средство развития скоростной выносливости бегунов на длинные дистанции (обзор зарубежной литературы) / Б.А. Жгир // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_37

For citation: Zhgir B.A. Running dowhill and upnhill as a means of developing the speed endurance of long-distance runners (review of foreign literature). *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 2(32). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_02_37