

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

НА ЛЫЖНОМ ТРЕНАЖЕРЕ И ПРИ ПЕРЕДВИЖЕНИИ НА ЛЫЖАХ

**Чжан Чжэнътин**

Белорусский
государственный
университет
физической культуры

**Васюк В.Е.**

канд. пед. наук, доцент,
Белорусский
государственный
университет
физической культуры

Цель исследования: оценка эффективности разработанного тренажера для тренировки мышц нижних конечностей с точки зрения воспроизведения требований, предъявляемых к мышечной деятельности при передвижении на лыжах коньковым ходом. У трех квалифицированных спортсменов при выполнении упражнений с различной интенсивностью регистрировалась биоэлектрическая активность мышц, несущих основную нагрузку в беге на лыжах. Результаты демонстрируют достаточное соответствие между передвижением на лыжах и работой на тренажере. Вместе с тем, межиндивидуальная вариабельность мышечной активации подчеркивает необходимость индивидуализированного подхода к тренировочному процессу.

Ключевые слова: специализированный тренажер; поверхностная электромиография; мышцы нижних конечностей; бег на лыжах; мышечная активность; коньковый ход.

COMPARATIVE ELECTROMYOGRAPHIC ANALYSIS OF LOWER LIMB MUSCLE ACTIVITY ON A SKI SIMULATOR AND DURING ON-SNOW SKIING

The purpose of this study was to evaluate the effectiveness of a developed specialized simulator for lower limb training in terms of replicating the muscular demands imposed during skating-style cross-country skiing. In three qualified athletes, the bioelectrical activity of key muscles primarily involved in skate skiing locomotion was recorded while performing exercises varying load intensities. The results demonstrated a sufficient correspondence between on-snow skiing and simulator training, however, the inter-individual variability in muscle activation highlights the necessity of an individualized approach to the training process.

Keywords: specialized simulator; surface electromyography; lower limb muscles; cross-country skiing; muscle activity; skate skiing technique.

ВВЕДЕНИЕ

При передвижении на лыжах коньковыми ходами активно задействуются множество мышечных групп, а основная нагрузка приходится на мышцы ног, которые играют важную роль как в фазе отталкивания, так и в обеспечении равновесия в фазе свободного скольжения [10; 19]. В то же время выявлено, что в практике подготовки спортсменов-лыжников отсутствуют примеры применения специализированных тренажеров для тренировки мышц нижних конечностей [2], а упражнения с внешними отягощениями часто не соответствуют специфической динамике проявления силы в разных фазах диапазона движения [7; 16]. Таким образом, актуальной проблемой является обоснование выбора тренировочных средств, обеспечивающих эффек-

тивное развитие силовых качеств спортсменов-лыжников с учетом специфики соревновательного упражнения.

Известно, что подбор специальных силовых упражнений осуществляется на основе ряда положений, наибольшее распространение среди которых получили принципы сопряженного воздействия [4], прогрессирующей биомеханической структуры движений [5], специфиности [18], дифференцированного биомеханического соответствия [9] и динамического соответствия [1]. Общим у всех перечисленных принципов является соответствие соревновательного и специальных упражнений по различным характеристикам: биомеханическим, нейромышечным и кинематическим [8]. В этой свя-

зи разработка специализированных тренажеров, способных имитировать ключевые аспекты лыжных локомоций и обеспечивать специфическую нагрузку на необходимые мышечные группы может считаться потенциально полезным.

Целью настоящего исследования являлась оценка эффективности разработанного тренажера для тренировки мышц нижних конечностей с точки зрения воспроизведения требований, предъявляемых к мышечной деятельности при передвижении на лыжах коньковым ходом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 3 спортсмена-биатлониста I спортивного разряда (возраст $15,3 \pm 0,6$ лет; масса тела $61,7 \pm 5,0$ кг) с опытом выступлений в юношеских соревнованиях республиканского уровня. Экспериментальное исследование состояло из двух тестирований:

Тест 1. После стандартизированной разминки спортсмены выполняли в двух подходах упражнения на специализированном тренажере по 30 секунд каждый по следующей схеме: по одному подходу в «спокойном» (медленном) и «скоростно-силовом» (взрывном) режимах. Режим выполнения упражнения регламентировался целевым диапазоном скорости перемещения сиденья тренажера в активной фазе: для «спокойного» режима целевой диапазон составлял $0,2\text{--}0,4$ м/с, а для «скоростно-силового» – $0,6\text{--}0,8$ м/с, что эквивалентно длительности отталкивания ногой при передвижении на лыжах одновременным одношажным коньковым ходом [6; 17]. Вес отягощения подбирался индивидуально в пределах 70–80 % от одноповторного максимума, а высота скамьи – с учетом угла сгибания колена в исходном положении (120°), что соответствует мо-

дельным параметрам техники коньковых ходов [15; 20]. Интервал отдыха между подходами составлял 2–3 минуты. Кинограмма выполнения упражнения на тренажере представлена на рисунке 1. Участники эксперимента имели опыт выполнения упражнения на специализированном тренажере и использовали его в тренировках дважды в неделю на протяжении 2-х месяцев.

Тест 2. После выполнения стандартизированной разминки спортсмены на лыжах преодолевали ровный прямой отрезок дистанции протяженностью 200 м с использованием одновременного одношажного конькового хода в трех различных режимах:

1. Без палок с низкой интенсивностью.
2. Без палок с субмаксимальной интенсивностью.
3. С палками с субмаксимальной интенсивностью.

Во всех режимах спортсменам задавалась цель выполнять передвижение максимально длинным шагом (прокатом) за счет мощных и акцентированных отталкиваний нижними конечностями. При передвижении без палок спортсмены выполняли махи верхними конечностями, имитирующие работу рук в одновременном одношажном ходе.

Каждое из тестирований проводилось в один день для всех участников выборки. Тест 2 был выполнен через 3 недели после Теста 1, в завершающей части соревновательного периода (март). В Тесте 2 спортсмены использовали личный инвентарь, подготовленный по единой технологии. Внешние условия во время Теста 2 были идентичными для всех участников: температура воздуха составляла $+10\text{...}+11^\circ\text{C}$, трасса покрыта искусственным крупнозернистым влажным снегом, структура трассы – мягкая.

Регистрация сигналов поверхностной электромиографии (ЭМГ) осуществлялась с помощью беспроводной системы Delsys Trigno Avanti (Delsys Inc.,

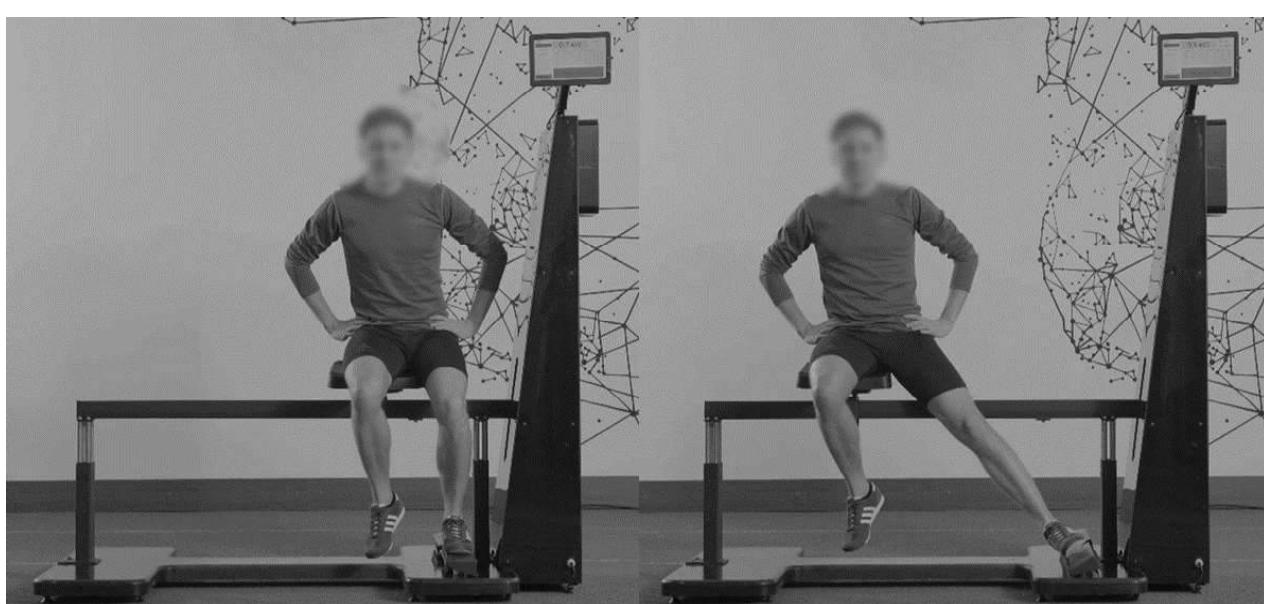


Рисунок 1 – Выполнение упражнения на специализированном тренажере

США) с частотой 2000 Гц. В качестве исследуемых мышечных групп были выбраны следующие мышцы: медиальная (GM) и латеральная (GL) головки икроножной мышцы, двуглавая мышца бедра (BF), полусухожильная мышца (SD), прямая (RF), латеральная (VL) и медиальная (VM) головки четырехглавой мышцы бедра, а также передняя большеберцовая мышца (TA). Выбор мышц основан на их активном вовлечении при передвижении на лыжах [3; 10; 12; 19]. Поверхностные электроды ЭМГ размещались на ведущей конечности в соответствии с рекомендациями SENIAM [13].

Зарегистрированные данные ЭМГ подвергались первичной обработке в программной среде Delsys Analysis с применением фильтра Баттервортса с полосовым (band-pass) откликом (от 20 до 450 Гц). На следующем этапе анализа отбирались фрагменты данных, синхронизированные с показателями гирокопов, которые регистрировались одновременно с ЭМГ во время выполнения упражнений. Для выделения циклов и фаз отталкивания при движении как на лыжах, так и при работе на тренажере, использовались данные синхронно зарегистрированных гирограмм прямой мышцы бедра. Для дальнейшего количественного анализа отфильтрованных данных был разработан скрипт на Google Apps Script, позволяющий автоматически рассчитывать ключевые параметры ЭМГ для фазы отталкивания в рамках каждого выделенного цикла:

RMS_max (мкВ) – максимальное среднеквадратичное значение (RMS) сигнала ЭМГ;

RMS_int (мкВ) – интегральное значение RMS за время выполнения выделенного фрагмента движения;

RMS_work (мкВ) – нормализованное интегральное значение. Рассчитывается как отношение RMS_int к длительности анализируемого движения в рамках одного цикла, что позволяет оценить среднюю интенсивность активности на единицу времени.

Затем для рассчитанных массивов данных каждого спортсмена вычислялся коэффициент корреляции Пирсона, отражающий степень линейного сходства мышечной активности в различных условиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные ЭМГ (таблица 1) позволили оценить степень вовлеченности исследуемых мышц в работу в специфичных для лыжных гонок условиях и сравнить ее с активацией при выполнении стандартизованных упражнений на тренажере.

Если рассматривать общегрупповую тенденцию, то во всех условиях четырехглавая мышца бедра (VM, VL, RF) и икроножная мышца (GM, GL) показывают наибольшие значения амплитуды ЭМГ. В то же время полусухожильная (SD) и двуглавая (BF) мышцы бедра активируются существенно меньше. Такой характер мышечной работы в целом закономерен для передвижения на лыжах коньковыми ходами [10; 19].

Интенсивность выполнения упражнения оказывает существенное влияние на уровень ЭМГ-активности. Переход от «спокойного» режима на тренажере (T1) к «скоростно-силовому» (T2) сопровождается увеличением активации большинства мышц, что отражает необходимость генерации больших усилий. В то же время высокие значения коэффициента корреляции (0,93–0,99) свидетельствуют о стабильности работы на тренажере при изменении скорости выполнения упражнения.

Сравнивая упражнение на тренажере с передвижением на лыжах, можно отметить, что специфические лыжные локомоции, как правило, вызывают более высокий или сопоставимый уровень активации исследуемых мышц. Корреляционный анализ (таблица 2) показывает, что у спортсмена К.М. наблюдаются высокие и очень высокие положительные корреляции между мышечной активацией при работе на тренажере и при передвижении на лыжах во всех исследуемых условиях и для всех параметров ЭМГ: в T1 коэффициенты корреляции варьируются от 0,83 до 0,92, а в режиме T2 корреляции также остаются высокими, находясь в диапазоне от 0,69 до 0,91. Спортсмен Б.В. демонстрирует умеренные и высокие корреляции между мышечной активацией на тренажере и на лыжах: в режиме T1 коэффициенты корреляции находятся в диапазоне от 0,44 до 0,67, а для режима T2 корреляции значительно выше – от 0,62 до 0,78. В то же время у спортсмена Б.М. картина корреляций значительно отличается и демонстрирует более низкую взаимосвязь между работой на тренажере и передвижением на лыжах: коэффициенты варьируются от 0,25 до 0,58, что указывает на слабую или умеренную корреляцию.

Таким образом, анализ данных выявляет значительную межиндивидуальную вариабельность в мышечной активации при выполнении упражнений на тренажере и передвижении на лыжах. Если для спортсмена К.М. упражнения на тренажере, по-видимому, достаточно хорошо воспроизводят паттерны активации, характерные для конькового хода в реальных условиях лыжной трассы, и имеют схожие биомеханические характеристики с точки зрения вовлечения исследуемых мышц, то для спортсмена Б.М. это соответствие значительно ниже. Это может свидетельствовать о том, что данный спортсмен использует иные двигательные паттерны или стратегии мышечной активации при передвижении на лыжах, соответственно и требования к мышечной деятельности существенно отличаются от тех, что возникают при выполнении упражнений в условиях тренажера. Спортсмен Б.В. занимает промежуточное положение, демонстрируя улучшение соответствия при увеличении интенсивности работы на тренажере, которое, вероятно, приближает условия работы мышц к тем, что возникают при интенсивном передвижении на лыжах.

Таблица 1 – Средние значения параметров амплитуды ЭМГ и стандартные отклонения ($\pm SD$) по восьми исследуемым мышцам для каждого из спортсменов

Спортивная discipline	Спортивный спортсмен	T1			T2			S1			S2			S3		
		RMS _{max} , мкВ	RMS _{int} , мкВ	RMS _{work} , мкВ	RMS _{max} , мкВ	RMS _{int} , мкВ	RMS _{work} , мкВ	RMS _{max} , мкВ	RMS _{int} , мкВ	RMS _{work} , мкВ	RMS _{max} , мкВ	RMS _{int} , мкВ	RMS _{work} , мкВ	RMS _{max} , мкВ	RMS _{int} , мкВ	RMS _{work} , мкВ
G.M.	35±13	26±8	13±5	30±3	16±5	11±2	168±47	35±15	76±35	59±62	13±15	34±33	59±91	13±19	38±61	
G.L.	50±11	31±6	15±3	61±11	27±4	18±4	123±32	31±10	67±17	38±34	10±11	25±23	42±48	10±11	28±37	
B.F.	7±3	8±2	4±1	15±6	10±2	7±1	83±25	23±12	50±25	70±39	12±7	35±16	60±28	16±12	42±28	
S.D.	10±2	13±2	6±0	40±35	21±13	15±10	19±9	5±3	11±6	18±5	4±0	12±2	15±6	3±1	8±2	
R.F.	51±15	45±12	22±5	35±8	28±10	19±5	122±21	29±15	63±29	111±60	23±12	72±42	123±14	32±9	83±22	
V.L.	128±27	107±14	52±5	120±13	79±16	53±7	234±133	62±47	134±107	221±196	36±22	115±88	399±321	88±99	211±223	
V.M.	74±9	75±14	36±4	79±16	54±11	36±4	241±71	58±23	123±36	140±91	32±23	92±55	161±62	35±20	91±55	
T.A.	57±25	50±19	24±9	68±31	51±21	34±12	126±13	35±8	77±12	151±55	34±9	99±28	195±68	54±30	132±61	
G.M.	18±4	17±3	11±1	37±15	27±9	14±3	141±137	24±25	48±48	153±89	27±19	59±42	101±130	21±25	46±54	
G.L.	33±8	28±4	17±1	40±6	39±8	20±3	81±70	15±13	32±26	99±67	18±10	41±23	63±58	12±11	27±23	
B.F.	31±39	21±17	13±11	16±7	19±8	10±4	82±55	20±16	42±32	117±44	35±11	78±26	98±44	27±14	58±31	
S.D.	76±31	58±29	34±15	89±22	70±11	36±9	22±10	6±3	12±5	33±11	9±4	20±8	41±15	11±6	24±11	
R.F.	60±4	47±7	29±3	74±27	61±17	31±8	166±72	34±14	74±27	186±123	38±12	82±26	140±31	43±7	93±15	
V.L.	52±7	38±6	23±2	52±10	43±8	22±4	151±71	24±18	50±34	238±19	59±19	127±38	212±20	66±21	141±35	
V.M.	163±97	144±60	89±40	169±107	158±80	78±34	231±139	42±49	85±94	292±97	75±15	162±25	243±94	73±25	155±47	
T.A.	40±5	36±7	22±2	40±5	41±4	21±2	163±17	55±13	119±19	152±43	43±14	93±29	178±35	54±18	114±28	
G.M.	92±26	50±14	33±9	74±14	40±10	27±5	67±48	14±12	34±30	66±71	13±14	37±39	65±77	15±16	35±40	
G.L.	115±11	54±5	36±2	105±11	52±11	35±7	46±27	11±7	25±17	55±65	13±14	37±41	59±49	12±10	29±24	
B.F.	11±3	9±2	6±1	12±2	11±3	8±1	80±29	21±10	49±27	61±50	13±11	38±33	61±32	19±11	46±27	
S.D.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
R.F.	83±11	57±6	38±4	723±247	463±217	312±147	126±48	37±16	80±34	113±33	23±10	64±31	103±41	27±16	65±37	
V.L.	168±31	86±13	58±9	148±33	78±29	51±12	275±140	56±25	125±61	257±315	57±74	162±213	230±319	63±89	155±221	
V.M.	115±7	62±6	42±3	113±21	63±16	41±6	136±80	37±20	84±52	137±125	33±29	94±83	125±80	31±18	74±44	
T.A.	65±10	37±9	25±6	87±44	53±23	35±14	185±54	49±14	106±21	150±61	38±18	102±48	188±91	52±25	124±57	

Примечание: T1 – работа на тренажере в «спокойном» режиме; T2 – передвижение на лыжах без палок с низкой интенсивностью; S2 – передвижение на лыжах с палками субмаксимальной интенсивностью, S3 – передвижение на лыжах без палок с высокой интенсивностью; у спортсмена Б.В. были исключены из анализа значения амплитуды SD ввиду некорректных исходных данных.

Таблица 2 – Корреляция значений параметров ЭМГ амплитуды между различными тестовыми режимами

RMS_max		S1			S2			S3		
		RMS_int	RMS_work	RMS_max	RMS_int	RMS_work	RMS_max	RMS_int	RMS_work	
К.М	T1	0,83	0,90	0,90	0,87	0,87	0,89	0,92	0,89	0,90
	T2	0,69	0,81	0,80	0,78	0,87	0,87	0,85	0,91	0,91
Б.М.	T1	0,49	0,31	0,29	0,55	0,62	0,63	0,55	0,57	0,57
	T2	0,47	0,29	0,25	0,51	0,58	0,56	0,48	0,53	0,53
Б.В.	T1	0,51	0,44	0,45	0,64	0,65	0,67	0,51	0,48	0,49
	T2	0,60	0,62	0,62	0,71	0,78	0,77	0,64	0,64	0,63

Примечание: Т1 – работа на тренажере в «спокойном» режиме; Т2 – работа на тренажере в «скоростно-силовом» режиме; S1 – передвижение на лыжах без палок с низкой интенсивностью; S2 – передвижение на лыжах без палок с субмаксимальной интенсивностью; S3 – передвижение на лыжах с палками с субмаксимальной интенсивностью; у спортсмена Б.В. были исключены из анализа значения амплитуды SD ввиду некорректных исходных данных.

В этой связи стоит отметить, что корреляционный анализ показывает только степень статистической взаимосвязи между параметрами и не устанавливает причинно-следственную связь. Низкая корреляция между параметрами не обязательно означает, что тренажер не оказывает никакого тренировочного эффекта, но может указывать на то, что этот эффект реализуется через иные механизмы или проявляется в других аспектах двигательной деятельности [18; 22]. Также стоит отметить, что различные внешние факторы, такие как условия скольжения, уклон трассы и характеристики инвентаря, могут влиять на паттерны мышечной активации, регистрируемые методом ЭМГ [21]. Кроме того, индивидуальные различия в технике передвижения на лыжах могут объяснять эти расхождения, поскольку даже небольшие изменения в технике передвижения на лыжах могут приводить к перестройке паттернов мышечной координации на синергетическом уровне, даже если пиковая активация отдельных мышц остается неизменной [10].

Одним из преимуществ тренажеров в спортивной подготовке является обеспечение возможности тренировки в контролируемой среде, однако точное воспроизведение специфических условий лыжной трассы практически неосуществимо. В частности, мышца TA играет критически важную роль в стабилизации голеностопного сустава и обеспечении равновесия в фазе одноопорного скольжения [19] и значительно более высокие данные ЭМГ при передвижении на лыжах согласуются с ее функцией, однако при работе на тренажере ее активность не столь высока ввиду наличия более стабильной опоры. Медиальная (GM) и латеральная (GL) головки икроножной мышцы играют ключевую роль в финальной фазе отталкивания стопой в коньковых ходах [10; 11]. На тренажере их активация также присутствует, но отличается по величине от специфического лыжного отталкивания. В то же время

наибольшая генерация движущей силы в коньковых ходах возникает в результате разгибания коленного сустава за счет работы четырехглавой мышцы бедра [12; 14; 23]. Полученные данные ЭМГ указывают на ее высокую активность во всех исследуемых условиях, что указывает на то, что тренажер действительно воспроизводит основные фазовые и силовые характеристики реального лыжного движения в части работы данной мышцы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают, что одновременный одношажный ход коньковый ход является сложным и комплексным движением, требующим скоординированной работы мышц нижних конечностей, и предъявляет повышенные требования к нервно-мышечной системе. Специализированный тренажер в относительно высокой степени моделирует ключевые характеристики отталкивания ногой для данного хода, в особенности в режиме скоростно-силовой работы. В отличие от тренировок на лыжах или лыжероллерах, где условия менее контролируются, тренажер позволяет изолировать и локально развивать специфические мышечные группы, наиболее задействованные при продуцировании силы отталкивания, такие как четырехглавая мышца бедра, и многократно повторять ключевой элемент конькового хода – боковое отталкивание ногой. Однако следует учитывать выявленные различия по ряду переменных, а также межиндивидуальную вариабельность ЭМГ-активности мышц, что подчеркивает необходимость индивидуализированного подхода к тренировочному процессу с использованием тренажера.

Эти наблюдения формируют теоретическую основу для дальнейших исследований, направленных на изучение воздействия тренировок с применением тренажера на характеристики, критически важные для высокорезультативного бега на лыжах,

в частности – на показатели максимальной силы, взрывной силы и силовой выносливости мышц нижних конечностей. В то же время, практическая обоснованность и полезность применения тренажера в подготовке спортсменов-лыжников не может быть окончательно подтверждена без установления степени сопоставимости результатов, получаемых в тестах на тренажере, с результатами аналогичных тестов, выполняемых в естественных условиях передвижения на лыжах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верхушанский, Ю. В. Основы специальной силовой подготовки в спорте / Ю. В. Верхушанский. – 3-е изд. – М. : Советский спорт, 2013. – 216 с.
2. Дорожко, А. С. Проблемы и перспективы использования специализированных тренажеров с обратной связью в подготовке спортсменов-лыжников / А. С. Дорожко, Ч. Чжан // Мир спорта. – 2025. – № 1 (98). – С. 32–36.
3. Дорожко, А. С. Метод поверхностной электромиографии как средство контроля технической подготовленности высококвалифицированных биатлонистов / А. С. Дорожко, Д. И. Гусев-нов // Мир спорта. – 2020. – № 2 (79). – С. 29–34.
4. Дьячков, В. М. Физическая подготовка спортсмена / В. М. Дьячков. – М. : Физкультура и спорт, 1967. – 140 с.
5. Козлов, И. М. Прогрессирующая структура движений как принцип совершенствования спортивного мастерства / И. М. Козлов // Принципиальные вопросы кинезиологии спорта. – Малаховка, 1991. – С. 90–91.
6. Новикова, Н. Б. Особенности современной техники лыжных ходов и методические приемы индивидуальной коррекции движений : метод. пособие / Н. Б. Новикова, Г. Г. Захаров. – СПб. : ФГБУ СПбНИИФК, 2017. – 72 с.
7. Платонов, В. Н. Двигательные качества и физическая подготовка спортсменов / В. Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2017. – 656 с.
8. Биомеханическая концепция применения силовых упражнений в подготовке спортсменов / А. В. Самсонова [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 2018. – № 8. – С. 65–66.
9. Ципин, Л. Л. Теоретические аспекты оптимизации упражнений специальной силовой направленности в подготовке квалифицированных спортсменов / Л. Л. Ципин // Глобальный научный потенциал. – 2017. – № 1 (70). – С. 17–20.
10. How hinge positioning in cross-country ski bindings affect exercise efficiency, cycle characteristics and muscle coordination during submaximal roller skiing / C. M. Bolger [et al.] // PLoS One. – 2016. – Vol. 11, iss. 5. – Art. e0153078.
11. Brown, W. J. Muscle coordination in cross-country skiing: the effect of incline on the V2-skate technique / W. J. Brown, R. L. Jensen // Proceedings of the 34th International Conference

on Biomechanics in Sports (ISBS), Tsukuba, Japan, July 18–22, 2016. – Tsukuba : University of Tsukuba, 2016. – P. 123–129.

12. Federolf, P. Muscle activation characteristics in cross-country skiers with a history of anterior compartment pain / P. Federolf, E. Bakker // Sports Biomechanics. – 2012. – Vol. 11, iss. 4. – С. 452–463.
13. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures / H. J. Hermens [et al.] // Journal of Electromyography and Kinesiology. – 2000. – Vol. 10. – P. 361–374.
14. Surface-EMG analysis for the Lower Limb Muscle Characteristics of Top Level Women Speed Skater in Short Distance / D. Huang [et al.] // Academic Journal of Humanities & Social Sciences. – 2020. – Vol. 3, iss. 8. – P. 188–203.
15. Liu, Q. Jilin sheng youxiu nanzi yueye huaxue yundongyuan V1 jishu yundongxue fenxi [Кинематический анализ техники V1 у ведущих спортсменов-мужчин по лыжным гонкам провинции Гирин] : dis. ... mag. / Q. Liu. – Jilin sheng : Dongbei shifan daxue, 2022. – 89 p.
16. McBride, J. M. Biomechanics of resistance exercise / J. M. McBride // Essentials of strength training and conditioning / G. G. Haff, N. T. Triplett (eds.). – 4th ed. – Champaign, IL : Human Kinetics, 2016. – P. 19–42.
17. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? / T. Stöggli [et al.] // Scandinavian journal of medicine & science in sports. – 2011. – Т. 21. – № 6. – С. 791–803.
18. Stone, M. H. Training specificity for athletes: Emphasis on strength-power training: A narrative review / M. H. Stone [et al.] // Journal of functional morphology and kinesiology. – 2022. – Vol. 7, iss. 4. – P. 102–121.
19. Suchy, J. Analysis of the kinesiology of skate skiing and roller skiing / J. Suchy, B. Kračmar // Baltic Journal of Sport and Health Sciences. – 2008. – Vol. 3, iss. 70. – P. 81–87.
20. Wang, S. Yueye huaxue yundongyuan tongshi tuijin jishu de yundongxue fenxi [Кинематический анализ техники одновременного отталкивания у лыжников] : dis. ... mag. / S. Wang. – Hebei sheng : Hebei shifan daxue, 2020. – 76 p.
21. Werkhausen, A. Muscle function during cross-country skiing at different speed and incline conditions / A. Werkhausen, A. Lundervold, Ø. Gløersen // Journal of Experimental Biology. – 2023. – Vol. 226, iss. 12. – Art. jeb245474.
22. Young, W. B. Transfer of strength and power training to sports performance / W. B. Young // International journal of sports physiology and performance. – 2006. – Vol. 1, iss. 2. – P. 74–83.
23. Biomechanical determinants of cross-country skiing performance: A systematic review / C. Zoppirolli [et al.] // Journal of sports sciences. – 2020. – Vol. 38, iss. 18. – P. 2127–2148.

22.05.2025

