

ЭКОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

ВЛИЯНИЕ НЕСТАНДАРТНЫХ ТРЕНИРОВОЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ, ВЕРОЯТНОСТЬ ПЕРЕУТОМЛЕНИЯ И СПЕЦИАЛЬНУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СПОРТСМЕНОВ

В.Л. Ростовцев

Лаборатория моделирования двигательных режимов в спорте
Всероссийский научно-исследовательский институт физической культуры и спорта
Елизаветинский пер., 10, Москва, Россия, 105005

В статье приводятся результаты экспериментального исследования влияния двигательной электростимуляции четырехглавой м. бедра при передвижении на лыжах и лыжероллерах на энергообеспечение, электроактивность мышц и биомеханическую структуру движений.

Впервые в спортивной практике применение электростимуляции в ходе выполнения спортивных упражнений было предложено И.П. Ратовым [1]. Им был использован термин «динамическая» электростимуляция. В настоящее время этот термин часто употребляется для характеристики формы электрических импульсов при применении в статических позах. Для того чтобы отличить прием электростимуляции, применяемый в движении, назовем его «двигательной» электростимуляцией (ДЭС).

Сложность использования двигательной электростимуляции заключается в требовании подачи оптимальной формы и амплитуды электрического сигнала в определенный момент времени независимо от воли спортсмена. Наиболее эффективен посыл в момент выполнения главной (лимитирующей) фазы движения. В лыжных гонках такой фазой является фаза отталкивания [2].

Имеется достаточное количество данных об эффективности реабилитации при помощи электростимуляции [3], увеличении энергетического потенциала мышц, росте активности ферментативных систем [4], увеличении силы и скорости сокращений мышц [5].

Методы, задачи и организация исследования. Всего в исследованиях приняло участие 22 квалифицированных лыжников — гонщиков (14 перворазрядников, 4 кандидата в мастера спорта, 4 мастера спорта). Задачами экспериментов являлись: 1. Определение оптимальности амплитуды сигнала в соответ-

ствии с индивидуальными особенностями спортсменов. 2. Определение различий в потреблении кислорода, пульсе, кислородной и пульсовой стоимости метра пути, электроактивностей четырехглавой (*m. quadriceps femoris*), двуглавой мышц бедра (*m. biceps femoris*), широчайшей мышцы спины (*m. latissimus dorsi*) и трехглавой мышцы плеча (*m. triceps brachii*) при передвижении на лыжероллерах обычным способом и при использовании ДЭС. 3. Определение влияния ДЭС на фазовую и биомеханическую структуру лыжного хода в зимних условиях.

Использовался модернизированный в лаборатории ВНИИФК портативный электростимулятор весом 120 г. и габаритами: длина 140 мм; ширина — 65 мм; толщина — 15 мм. Амплитудно-частотные характеристики были выбраны на основании собственных исследований и данных трудов других авторов [6]. Импульсы подавались с частотой 120 Гц. Амплитуда сигнала регулировалась от 0 до 100 В. После замыкания контактов между ботинком и лыжей ноги, производящей маховое движение вперед, электрический сигнал поступал на четырехглавую мышцу бедра опорной ноги. Для точного совмещения подачи сигнала в момент начала отталкивания была предусмотрена регулировка задержки подачи сигнала от 0 до 300 мс. Питание прибора — 9 В. Электрический сигнал с помощью специальной контактной группы, установленной на каждой лыже, поступал на четырехглавую мышцу бедра точно в момент отталкивания от опоры независимо от воли спортсмена.

Первая серия экспериментов проводилась перекрестным методом в лабораторных условиях на лыжероллерном тредбане на специально смоделированной трассе, включающей четыре подъема 4, 6, 8 и 10 градусов. Спортсмены чередовали применение электростимуляции мышц с обычным передвижением непосредственно в ходе преодоления каждого круга дистанции. Расчет достоверности изменений между средними значениями передвижений обычным способом и с электростимуляцией проводился по методу попарно — связанных вариант индивидуально для каждого спортсмена. В расчет бралось не менее 6 пар значений для каждого способа, угла наклона и испытуемого.

Электроактивность мышц регистрировалась в последующих после применения ДЭС проходах уже при передвижении без использования ДЭС. Это связано с тем, что при подаче электрического сигнала невозможно зарегистрировать электромиограмму. Электроактивность рассчитывалась как интеграл $\int_0^t Ax dt$, где

Ax — амплитуда электроактивности, t — продолжительность электроактивности (ЭА). Фактически измерялась площадь огибающей электрического потенциала.

В качестве мышцы, которая подвергалась электростимуляции была выбрана самая мощная мышца человеческого организма — четырехглавая мышца бедра, главной функцией которой является разгибание голени (*extensio cruris*). Это движение является определяющим результативность в передвижении на лыжах и лыжероллерах. Электростимуляция осуществлялась с помощью электродов, накладываемых на верхнюю и нижнюю части четырехглавой мышцы бедра и оказывало влияние на все четыре головки этой группы мышц. В том

числе, ДЭС подвергалась прямая мышца бедра (*m. rectus femoris*), являющейся самой длинной из четырех головок четырехглавой мышцы, принимающей участие в сгибании бедра (*flexio femoris*) и в наклоне таза вперед.

В расчет принимались не менее 6-ти напряжений мышц. Изучению последствий ДЭС четырехглавой мышцы бедра были подвергнуты изменения ЭА четырехглавой мышцы бедра в фазах отталкивания (Чо) и скольжения (Чс), двуглавой мышцы бедра (До), широчайшей мышцы спины (Шо) и трехглавой мышцы плеча (То) в фазе отталкивания.

Для определения влияния ДЭС на фазовую структуру лыжного хода и биомеханические показатели исследования проводились при передвижении на лыжах одновременным двухшажным коньковым ходом в подъем 6 градусов. Киносъемка осуществлялась кинокамерой «Экшюномастер-500» со скоростью 100 к/с сбоку. Спортсмены передвигались со стандартной скоростью 3 м/с обычным способом и с применением ДЭС. Скорость задавалась специальным флажковым устройством. Обработка киноплёнки проведена на биомеханическом анализаторе «Нак спортаиз» по модели «Мацуи» с использованием фильтра «скользящая параболы» для сглаживания данных. В этой серии исследований приняли участие 6 квалифицированных лыжников-гонщиков (4 кандидата в мастера спорта, 2 мастера спорта). Анализу подвергались не менее 4 пар проходов для каждого спортсмена.

Для анализа параметров газообмена применялся газоанализатор немецкой фирмы «Cortex», модель «MetaLyzer II-R2» с погрешностью измерения не более 1,5%. Управление тредбаном немецкой фирмы «Cosmos», модель «Venus», обеспечивалась с помощью компьютерной газоанализаторной программы «Metasoft 3».

Результаты исследований. Критерием оптимальности величины амплитуды электрического сигнала, который с помощью специальной контактной группы, установленной на каждой лыже, поступал на четырехглавую мышцу бедра точно в момент отталкивания от опоры, служили показатели максимальной скорости на подъеме 6 градусов. При разной амплитуде электрического сигнала скорость передвижения у каждого спортсмена была разной (табл. 1).

Таблица 1

Изменение скорости (V), ЧСС и пульсовой стоимости (ПС) метра пути у 16 лыжников-гонщиков при передвижении коньковым ходом на лыжах в зависимости от амплитуды электростимуляционного сигнала

Амплитуда сигнала, В	V, м/с	ЧСС, уд/мин	ПС, уд/м
0	3,56 ± 0,16	179,0 ± 8,1	0,840 ± 0,06
30	3,62 ± 0,16	178,6 ± 8,2	0,825 ± 0,06
40	3,70 ± 0,18	178,8 ± 8,1	0,806 ± 0,061
50	3,78 ± 0,14	178,8 ± 8,0	0,793 ± 0,056
60	3,69 ± 0,14	178,9 ± 7,9	0,809 ± 0,053
70	3,63 ± 0,12	179,1 ± 7,5	0,822 ± 0,048
80	3,53 ± 0,11	179,3 ± 7,5	0,838 ± 0,045
90 (n = 14)	3,54 ± 0,11	180,1 ± 7,8	0,849 ± 0,046

Оказалось, что для большинства спортсменов скорость была наибольшей при амплитуде 50 В, а пульсовая стоимость (ПС) метра пути — наименьшей.

$ПС = ЧСС / (V \cdot 60)$, уд/мин [7], где ЧСС — частота сердечных сокращений; V — скорость передвижения. Эта амплитуда была принята за оптимальную.

Были исследованы динамика изменений потребления кислорода, кислородная стоимость метра пути, ЧСС и ПС метра пути при передвижении на лыжероллерах с интенсивностью от 140 до 160 уд/мин и от 160 до 180 уд/мин на подъемах различной крутизны. Значения пульса для каждого испытуемого в каждой зоне интенсивности было индивидуально, регистрировалось при первом проходе и затем поддерживалось на каждом из подъемов. В этой серии экспериментов приняли участие 16 лыжников-гонщиков высокой квалификации.

Обнаружены существенные различия в значениях пульса и пульсовой стоимости одного метра пути на подъемах от 4 до 8 градусов. После применения двигательной электростимуляции потребление кислорода, пульс, кислородная и пульсовая стоимость метра пути были меньше. На крутых подъемах и при высокой интенсивности нагрузки эти различия уменьшались.

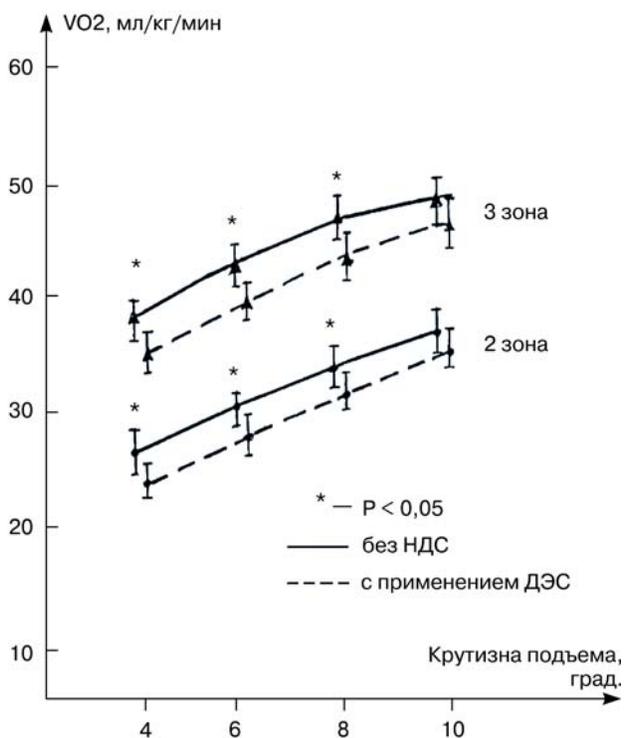


Рис. 1. Динамика VO_2 при передвижении на лыжероллерах с интенсивностью во 2 (140—160 уд/мин) и 3 (160—180 уд/мин) зонах без и с применением ДЭС в зависимости от крутизны подъемов

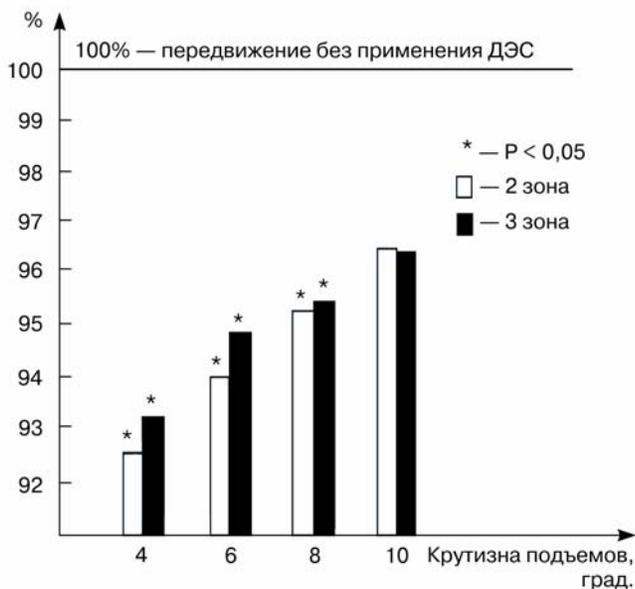


Рис. 2. Кислородная стоимость метра пути при передвижении на лыжероллерах с применением ДЭС с интенсивностью во 2 (140—160 уд/мин) и 3 (160—180 уд/мин) зонах в зависимости от крутизны подъемов

Кислородная и пульсовая стоимость метра пути была меньше при менее интенсивной нагрузке (140—160 уд/мин) по сравнению с нагрузкой на уровне 160—180 уд/мин.

При передвижении на лыжероллерах с максимальной скоростью на одном 200-метровом подъеме 8 градусов разница в пульсе составила в среднем 3,5 уд/мин. После применения ДЭС пульс был ниже, скорость преодоления подъема выше, в среднем, на 0,09 м/с. ПС одного метра пути, соответственно, ниже на 0,03 уд/мин.

Данные такого же характера получены при передвижении коньковым одновременным двухшажным ходом на лыжах в полевых условиях. Значительные различия обнаружены на подъемах. Скорость при использовании ДЭС выше, а ПС одного метра пути — ниже (табл. 2). Средний пульс всего круга при естественном передвижении увеличивался более значительно, чем при применении ДЭС.

Таблица 2

Средние значения соревновательной скорости, ЧСС и ПС метра пути на всей дистанции (1) и на подъемах (2) при передвижении коньковым ходом обычным способом и с применением двигательной электростимуляции

Способ передвижения	V сор., м/с		ЧСС сор., уд/мин		ПС сор., уд/м	
	1	2	1	2	1	2
Без ДЭС	5,15	4,22	174,5	175,4	0,566	0,701
С ДЭС	5,10	4,46	174,3	174,9	0,572	0,668
Различие	0,05	0,24	0,2	0,5	0,006	0,033

Примечание: выделено — достоверные различия (P < 0,05).

Обнаружено повышение ЭА четырехглавой мышцы бедра при отталкивании на 24,6% ($P < 0,01$) после проведения стимуляции. Время отталкивания ногой после стимуляции уменьшилось на 16,7%, длина шага возросла на 8,8%, а частота шагов уменьшилась на 9% (все $P < 0,05$).

Установлено, что ДЭС только четырехглавой мышцы бедра изменяла ЭА и трехглавой мышцы плеча, которая также активно участвует в фазе отталкивания. ЭА последней повысилась на 9,2%. Такие различия зафиксированы на всех электромиограммах при передвижении в подъемы 2, 4 и 6 градусов.

Оказалось, что электроактивности Чо после электростимуляции повышались, Чс, также, как и До — уменьшались, наблюдалось незначительное увеличение электроактивности Шо. Это происходило на всех подъемах. Увеличение электроактивности Чо, в среднем, составили на подъемах 4,6,8,10 градусов, соответственно, 36,7; 34,5; 33,1; 31,9 мкВ ($P < 0,01$). В процентном отношении эти изменения составили от 10,5 до 14,3%. Уменьшение электроактивности Чс в фазе скольжения составили соответственно 6,4; 6,8; 6,7; 6,6% ($P < 0,05$). Уменьшение электроактивности двуглавой мышцы бедра в момент отталкивания на подъемах 4, 6, 8 и 10 градусов соответственно составили 6,6; 6,4; 6,0 и 6,3% ($P < 0,05$).

Оказалось, что длина шага при применении ДЭС достоверно возрастает в среднем на 6,5%, уменьшается время отталкивания на 19,2%, повышается скорость передвижения на 0,3%. Частота шагов и время скольжения увеличиваются недостоверно.

Различия в скорости по горизонтали при передвижении с ДЭС и без нее составили в среднем 0,08 м/с (2,82 м/с — без ДЭС и 2,9 м/с при применении этого средства). Среднее значение пульса на 100-метровом отрезке данного подъема составило при ДЭС — 175,8 уд/мин, без ДЭС — 178,2 уд/мин.

Таблица 3

Различия в биомеханических показателях классического попеременного хода на лыжероллерах в подъем 8 градусов с максимальной скоростью обычным способом и с применением ДЭС

Параметры	Показатели в каждом круге						Среднее арифметическое		Различие
	1	2	3	4	5	6	ДЭС	без ДЭС	
L, м	2,22	2,10	2,32	2,15	2,26	2,32	2,30	2,16	0,14
F, Гц	1,51	1,49	1,54	1,42	1,49	1,55	1,53	1,47	0,06
tск, с	0,41	0,33	0,42	0,44	0,45	0,44	0,44	0,41	0,03
tot, с	0,24	0,28	0,22	0,26	0,21	0,20	0,21	0,26	0,05
V, м/с	3,37	3,13	3,57	3,08	3,38	3,60	3,52	3,19	0,33

Примечание: выделено — достоверные различия ($P < 0,05$); 1, 2, 4 круги — передвижение обычным способом; 3, 5, 6 — с применением ДЭС; L, м — длина шага; F, Гц — частота шагов; tск, с — время скольжения; tot, с — время отталкивания; V, м/с — скорость передвижения.

Исследования выявили существенные различия в фазовой структуре и биомеханических показателях при передвижениях обычным способом и при применении ДЭС. Отличие структуры скользящего конькового хода лыжников-гонщиков первого разряда заключается, в числе прочего, наличием фаз пассивного

скольжения, что снижает скорость. При ДЭС пассивные фазы исчезают, движения спортсмена первого разряда имеет ту же фазовую структуру, которая наблюдается у лыжников более высокой квалификации.

Оказалось, что время цикла при передвижении со стимуляцией, в среднем, на 80 мс меньше, соответственно, 1280 мс и 1200 мс. Вариативность скорости точки тела, приближенной к центру масс тела, оцениваемая по величине коэффициента вариации, до начала отталкивания была выше при обычном передвижении, соответственно, 10,2% и 7,4%. Коэффициент вариации равен процентному отношению среднего квадратичного отклонения к среднему арифметическому:

$$K_v = \sigma/x * 100\%,$$

где σ — среднее квадратичное отклонение, x — среднее арифметическое. Однако для всего цикла коэффициент вариации был больше при передвижении с ДЭС и равнялся, соответственно, 11,2 и 9,9%. Оказалось, что при ДЭС скорость в большей части цикла, т.е. до начала отталкивания ногой, изменяется незначительно, во время отталкивания — существенно повышается. При обычном передвижении вариативность скорости от начала цикла до момента отталкивания левой ногой почти не отличается от таковой за весь цикл.

Обнаружены различия в биомеханике двигательных действий рук при применении ДЭС ног по сравнению с обычным передвижением. Время отталкивания палками сокращается (при ДЭС — 36,7% от времени всего цикла — 410 мс; при обычном передвижении — 48,7%, т.е. 623 мс). Во-вторых, сразу после постановки палок на опору спортсмен начинает отталкивание; в-третьих, скорость движения рук назад по горизонтали выше. Скорость движения левой руки в момент постановки палки на опору при передвижении с ДЭС в 1,28 раза превышает скорость этой же руки при обычном передвижении (4,6 м/с и 3,6 м/с, соответственно). Для правых рук разница составила 0,4 м/с (2м/с и 1,6 м/с, соответственно). В момент окончания отталкивания руками их скорости существенно не отличались.

Более рациональной работой рук при использовании ДЭС объясняется отсутствие значительного снижения скорости общего центра масс тела (ОЦМТ) по горизонтали. Продолжительность отталкивания руками меньше, так как спортсмен при применении ДЭС больше «полагается» на ноги, что более характерно для спортсменов высокой квалификации: процент использования ног у них больше.

Диапазон изменения углов в коленных суставах ног при ДЭС и без нее отличался на 6 градусов (начало отталкивания при ДЭС — 120 градусов, без ДЭС — 122; окончание отталкивания, соответственно, 160 и 156 градусов). Еще более существенно различались угловые скорости при отталкивании: при ДЭС она составила 195,3 град/с, при обычном передвижении — 178,2 град/с. Большая скорость разгибания ноги характерна для спортсменов более высокой квалификации.

При ДЭС нога в момент отталкивания производит большую работу, чем при обычном передвижении. Соответственно, абсолютная, вертикальная и горизон-

тальная механическая работа только левых ног составила при ДЭС 16; 6 и 10 Дж, без ДЭС — 9; 3,5 и 5,5 Дж. При этом, абсолютная работа левых ног за весь цикл была больше при обычном передвижении: при ДЭС — 67 Дж, без ДЭС — 78 Дж. Работа за весь цикл по вертикали была больше при ДЭС на 6 Дж (24 Дж при ДЭС; 18 Дж — без ЭС).

Различия обнаружены в углах наклона туловища к горизонту. При ДЭС наиболее согнутое положение тела в момент окончания отталкивания палками составило 52 градуса, наименее согнутое 75 градусов. При обычном передвижении спортсмены больше задействовали руки и не использовали ноги в должной степени, видимо, поэтому углы наклона туловища, соответственно, были меньше: 32 и 71 градус.

Заключение. Исследования подтвердили гипотезу о возможности организации такого двигательного режима, при котором структура движений преобразуется в более совершенную, а энергообеспечение организма спортсмена становится экономичным. За несколько занятий спортсмен достигает следующего квалификационного уровня, тогда, как применение общепринятых средств и методов подготовки обеспечивает подобный эффект за месяцы и даже годы тренировки. В результате использования «облегчающих», а не «утяжеляющих» внутренировочных средств появляется возможность исключить предельное напряжение организма каждого спортсмена. Достижение такого уровня функционирования происходит на фоне сбалансированной работы всех систем организма спортсмена, что позволяет добиваться совершенствования спортивной формы на фоне меньшего утомления и появления травм.

При регистрации ЭА после применении ДЭС к активной четырехглавой м. бедра в момент отталкивания обнаружено увеличение электроактивности не только этой мышцы, но и других синергетических групп, активно участвующих в отталкивании. К ним относятся трехглавая мышца плеча и широчайшая мышца спины. Эти явления сопровождалось уменьшением ЭА пассивных в этот момент мышечных групп, что способствовало их лучшему восстановлению. Такая перестройка работы мышц сопровождалась общим снижением энергообеспечения организма и экономизацией функционирования на стандартных скоростях передвижения, что свидетельствует о лучшей переносимости нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Ратов И.П.* Исследование спортивных движений и возможностей управления изменениями их характеристик с использованием технических средств: Автореф. дисс. ... док. пед. наук. — М., 1972.
- [2] *Донской Д.Д., Гросс Х.Х.* Техника лыжника-гонщика. — М.: Физкультура и спорт, 1971.
- [3] *Ромоданов А.П., Пелех Л.Е., Семенова М.И.* Миоэлектростимуляция как метод медицинской реабилитации больных с церебральными спастическими парезами и параличами. — Материалы научно-методической конференции по проблеме «Медико-биологическое обоснование системы физического воспитания студентов». — Каунас, 1975. — С. 123—125.

- [4] *Яковлев Н.Н.* Обмен веществ при мышечной деятельности. — Физиология мышечной деятельности труда и спорта. — Л.: Наука, 1969. — С. 204—219.
- [5] *Коц Я.М., Хвилон В.А.* Тренировка мышечной силы методом электростимуляции / Теория и практика физической культуры. — М., 1971. — С. 66—72.
- [6] *Колесников Г.Ф.* Электростимуляция нервно-мышечного аппарата. — Киев.: Здоровье, 1977.
- [7] *Уткин В.Л.* ГТО: техника движений с основами контроля и оптимизации. — М.: Физкультура и спорт, 1987. — С. 10—12.

INFLUENCE OF NON-STANDARD TRAINING ON ENERGY SECURING OF MOVING, PROBABILITY OF OVERSTRAIN AND SPECIAL SPORTSMEN EFFICIENCY

V.L. Rostovtsev

Laboratory modeling moving conditions in sport
All-Russian science-research institute of physical culture and sport
Elizavetenskiy lane, 10, Moscow, Russia, 105005

The article contains results of experimental investigation how moving electrical forcing of quadriceps under movement in roller skis and cross-country skis affects on energy, electrical activity muscular groups and biomechanical index of structure of movement.