

Моделирование технических действий лыжников–гонщиков высокой квалификации

Дмитрий Хуртик, Ирина Хмельницкая, Зоя Смирнова

Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина

Modeling technical actions of elite cross-country skiers

Dmytro Khurtyk, Irene Khmelniiska, Zoya Smirnova

ABSTRACT. *Objective.* To develop kinematic structure models of the classical moves for highly skilled skiers using the computer neural networks, and to improve their technical actions on this basis.

Methods. Analysis of scientific and methodical literature; analysis of athlete's medical record; video shooting; biomechanical video-computer analysis and neural networks modeling of the movement technique of highly skilled hearing-impaired skiers; pedagogical experiment; mathematical statistics.

Results. The modeling kinematic schemes of the diagonal stride and double poling technique of highly skilled skiers with hearing impairments have been made by means of "Biovideo" software, kinematic indices of the technique have been identified. The neural networks of multilayer perceptron type have been developed as a simulation of the velocity of the skier's general center of mass in the movement cycle of diagonal stride and of radial-basis function as double poling classical moves. The technology of improving technical actions of highly skilled skiers with hearing impairment while using classical technique in the annual training cycle has been developed, as a result of using which during annual preparation macrocycles of the Deaflympic team of Ukraine in ski races a statistically significant improvement ($p < 0.05$) of technique kinematic indices has occurred.

Conclusions. Use of neural network modeling in the process of technique improvement of highly skilled skiers has been substantiated.

Keywords: skier, hearing impairment, technique, modeling, neural network.

Моделювання технічних дій лижників–гонщиків високої кваліфікації

Дмитро Хуртик, Ірина Хмельницька, Зоя Смирнова

АНОТАЦІЯ. *Мета.* Розробити моделі кінематичної структури класичних ходів лижників високої кваліфікації з використанням комп'ютерних нейронних мереж, на підставі яких вдосконалити їхні технічні дії.

Методи. Аналіз науково-методичної літератури; аналіз медичних карток спортсменів; відеозйомка; біомеханічний відеокомп'ютерний аналіз, нейромережеве моделювання; педагогічний експеримент; математична статистика.

Результати. За допомогою програмного забезпечення «Biovideo» побудовано кінематичні схеми поперемінного двокрокового і одночасного безкрокового ходів класичних лижних ходів лижників–гонщиків високої кваліфікації з порушенням слуху, визначено кінематичні показники техніки. Нейронні мережі багат шарового перцептрона було розроблено як модель швидкості загального центру маси лижника в циклі поперемінного двокрокового ходу і як радіально-базисної функції – в циклі одночасного безкрокового ходу. Розроблено технологію вдосконалення технічних дій висококваліфікованих лижників-гонщиків з порушенням слуху при пересуванні класичними ходами в річному циклі підготовки, в результаті застосування якої в річному макроциклі підготовки дефлімпійської збірної команди України з лижних гонок відбулося статистично значуще покращення ($p < 0,05$) кінематичних показників техніки.

Висновки. Обґрунтовано використання нейромережевого моделювання у процесі вдосконалення техніки лижників високої кваліфікації.

Ключові слова: лижник, порушення слуху, техніка, моделювання, нейронна мережа.

Постановка проблемы. Проведенный анализ проблемы использования современных инновационных технологий и совершенствования отдельных сторон подготовки спортсменов высокой квалификации в разных видах спорта [1, 11, 16] свидетельствует о том, что одно из главных направлений совершенствования подготовки на этапе высшего спортивного мастерства – развитие физических качеств спортсмена во взаимосвязи с технической подготовленностью в условиях, максимально приближенных к соревновательным [3, 11, 16]. По мнению ведущих специалистов в сфере спорта [2, 7, 8, 15], система современной спортивной тренировки должна быть направлена на реализацию более эффективной методологии технической подготовки спортсменов, а учебно-тренировочный процесс должен быть организован так, чтобы стимулировать определенные биомеханически рациональные направления совершенствования спортивно-технического мастерства.

В современной практике спорта для определения приоритетных направлений совершенствования спортивной техники все больше используют метод моделирования [7–9, 14]. Моделирование спортивной техники применяют в тренировочном процессе во время решения двух основных задач – исследования рациональных образцов техники и обучения им. Решение первой задачи осуществляют на основе использования методов биомеханического анализа и синтеза, а также теоретического, математического, физиологического или любого другого вида моделирования физических упражнений [10, 12, 14, 18, 19]. Опыт передовой практики свидетельствует о широком использовании модельных характеристик техники сильнейших спортсменов в процессе их отбора и подготовки с использованием искусственных нейронных сетей [6, 9, 17]. Однако данные о модельных показателях спортивной техники в научно-методической литературе отображены не полностью, в частности отсутствуют модели технических действий лыжников–гонщиков высокой квалификации.

Цель исследования – разработать модели кинематической структуры классических ходов лыжников–гонщиков высокой квалификации с использованием компьютерных нейронных сетей, на основе которых усовершенствовать их технические действия.

Методы и организация исследования. В исследовании принимали участие девять лыжников–гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха – члены дефлимпийской сборной команды Украины по лыжным гонкам. Возраст спортсменов 22–26 лет, их спортивная квалификация: один мастер спорта международного класса, пять мастеров спорта и три кандидата в мастера спорта Украины.

Методы исследования:

- *теоретические:* анализ научно-методической литературы и сети Интернет; определение заболеваемости и степени потери слуха с помощью анализа медицинских карт спортсменов;

- *инструментальные:* метод антропометрии; видеосъемка использовалась для регистрации количественных показателей, характеризующих технику передви-

жения лыжников высокой квалификации с депривацией слуха классическими лыжными ходами. Количественный экспериментальный материал получен в результате обработки видеogramм движений с применением биомеханического видеокомпьютерного анализа с использованием программного обеспечения «Biovideo»;

- *компьютерное моделирование с помощью искусственных нейронных сетей* позволило разработать модели классических лыжных ходов, которые стали ключевым элементом технологии совершенствования технических действий лыжников–гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха;

- *педагогический эксперимент* проведен с целью проверки эффективности авторской технологии, направленной на совершенствование технических действий классических лыжных ходов лыжников–гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха в годичном цикле подготовки;

- *методы статистической обработки данных:* описательная статистика, непараметрические критерии, корреляционный и факторный анализ. Поскольку общая численность лыжников высокой квалификации с нарушением слуха составляет девять спортсменов, т. е. малый размер выборки ($n = 9$), мы вычисляли среднее арифметическое (\bar{x}), стандартное отклонение (S), медиану (Me), нижний (25 %) и верхний (75 %) квартили. Статистическая значимость кинематических характеристик лыжников определялась с помощью непараметрического критерия для зависимых выборок – критерия знаков на уровне $p = 0,05$. Статистическая значимость показателей эффективности в нейронных сетях техники лыжника получена на p -уровнях от 0,001 до 0,005. Данные были обработаны приложением Statistica Neural Networks.

Результаты исследования и их обсуждение. Определены кинематические характеристики техники попеременного двухшажного и одновременного бесшажного лыжных ходов спортсменов с депривацией слуха, которые специализируются в лыжных гонках. Определена продолжительность фаз скользящего шага попеременного двухшажного хода. Продолжительность первой фазы свободного одноопорного скольжения на левой лыже составляет 0,17 ($S = 0,04$) с, Me (25 %; 75 %) = 0,17 (0,13; 0,17) с. Вторая фаза скольжения с выпрямлением опорной ноги в коленном суставе является наиболее продолжительной – 0,20 ($S = 0,02$) с, Me (25 %; 75 %) = 0,20 (0,19; 0,2) с, поскольку осуществляется одноопорное скольжение на лыже, которое характеризует экономичность работы спортсмена на дистанции и развитие его координационных способностей (удержание вертикального положения тела). Время третьей фазы скольжения с подседанием на опорной ноге у лыжников с нарушением слуха составляет 0,09 ($S = 0,02$) с, Me (25 %; 75 %) = 0,09 (0,09; 0,10) с, что характеризует быстрое сгибание ноги в коленном суставе. Для выполнения быстрого выпада маховой ноги вперед и начала отталкивания ногой в четвертой фазе спортсмены расходуют 0,09 с,

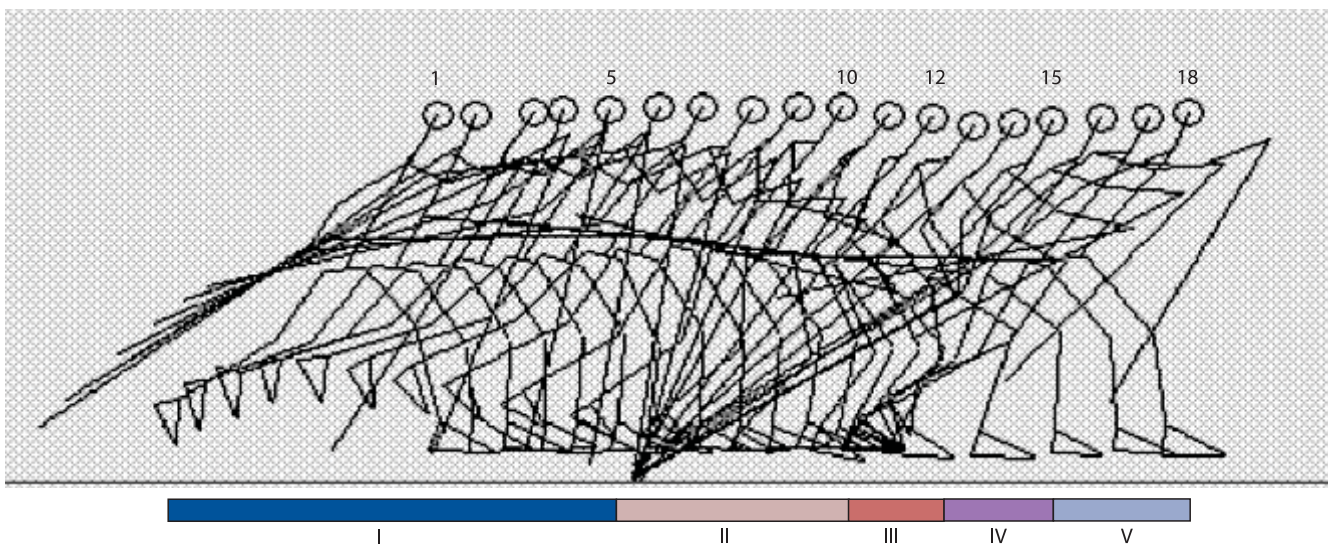


РИСУНОК 1 – Кинематическая схема лыжника-гонщика высокой квалификации с нарушением слуха (спортсмен – мастер спорта П-к) при передвижении попеременным двухшажным лыжным ходом:

I фаза свободного одноопорного скольжения на лыже (кадры 1–5); II – скольжение с выпрямлением опорной ноги в коленном суставе (кадры 5–10); III – скольжение с подседанием на опорной ноге (кадры 10–12); IV – выпад правой ногой с подседанием на левой ноге (кадры 12–15); V – отталкивание с выпрямлением толчковой ноги (кадры 15–18)

Me (25 %; 75 %) = 0,09 (0,07; 0,01) с. Продолжительность пятой фазы отталкивания с выпрямлением толчковой ноги равна – 0,10 (S = 0,02) с, Me (25 %; 75 %) = 0,10 (0,09; 0,10) с, во время которой лыжник заканчивает толчок ногой, происходит разгибание в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах, а также толчок лыжной палкой. Установлено, что вертикальная скорость центра масс (ЦМ) биозвена «кость правая» (которая отвечает скорости лыжной палки) увеличивается с 0,40 (S = 0,07) м · с⁻¹ в первой фазе свободного одноопорного скольжения на опорной ноге до 1,76 (S = 0,23) м · с⁻¹ в фазе свободного скольжения с выпрямлением опорной ноги, что характеризует активную постановку лыжной палки на снег.

В результате анализа попеременного двухшажного хода во второй фазе скольжения с выпрямлением опорной ноги, которая длится от постановки палки на снег к началу сгибания левой ноги в коленном суставе, выявлено увеличение результирующей скорости ЦМ биозвеньев: «правое бедро» до 7,62 (S = 0,30) м · с⁻¹, Me (25 %; 75 %) = 7,62 (7,58; 7,87) м · с⁻¹, «голеи правой» до 8,12 (S = 1,59) м · с⁻¹ Me (25 %; 75 %) = 8,74 (6,60; 9,17) м · с⁻¹ и «стопы правой» до 10,39 (S = 0,36) м · с⁻¹ Me (25 %; 75 %) = 10,34 (10,17; 10,44) м · с⁻¹. Это указывает на быстрое выполнение маха правой ногой вперед, что необходимо для осуществления выпада вперед в следующей фазе. Необходимо отметить горизонтальную скорость ЦМ биозвена «стопа левая» (опорная нога) в первой фазе 6,27 (S = 0,37) м · с⁻¹, Me (25 %; 75 %) = 6,51 (5,92; 6,51) м · с⁻¹ и во второй – 5,83 (S = 0,47) м · с⁻¹, Me (25 %; 75 %) = 5,79 (5,49; 6,23) м · с⁻¹, что характерно для удержания равновесия при одноопорном скольжении на одной лыже. Выполнение окончания толчка рукой можно охарактеризовать показателем результирующей скорости ЦМ биозвена «правое предпле-

чье» в пятой фазе – 5,32 (S = 0,91) м · с⁻¹, Me (25 %; 75 %) = 5,33 (5,21; 5,64) м · с⁻¹.

Анализируя гониометрические характеристики лыжников-гонщиков с депривацией слуха в попеременном двухшажном ходе, следует отметить углы в биопаре «туловище-бедро правое» в момент начала разгибания левой ноги в коленном суставе – 110 (S = 7,4) град, Me (25 %; 75 %) = 112 (104; 115) град и в момент отрыва левой лыжи от снега 112 (S = 5,9) град, Me (25 %; 75 %) = 113 (108; 116) град в пятой фазе выполнения толчка ногой, что свидетельствует о наклоне туловища вперед. Наименьший угол в коленном суставе зафиксирован в момент остановки лыжи (окончание третьей фазы свободного скольжения с подседанием на опорной ноге) – 123 (S = 20,5) град, Me (25 %; 75 %) = 122 (110; 123) град, что позволяет осуществить активное отталкивание и выполнить следующий шаг в четвертой фазе для сохранения ритма движения.

В результате биомеханического видеоконьютерного анализа с использованием программного обеспечения «Biovideo» построены кинематические схемы попеременного двухшажного хода лыжников-гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха (рис. 1).

Установлены количественные показатели одновременного бесшажного лыжного хода лыжников-гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха: продолжительность цикла – 0,78 (S = 0,07) с, Me (25 %; 75 %) = 0,76 (0,75; 0,81) с, продолжительность фазы свободного скольжения на двух лыжах – 0,47 (S = 0,05) с, Me (25 %; 75 %) = 0,46 (0,45; 0,50) с и второй фазы свободного скольжения с одновременным отталкиванием руками – 0,31 (S = 0,02) с, Me (25 %; 75 %) = 0,30 (0,30; 0,32) с. Анализ горизонтальной и вертикальной составляющих скорости общего центра масс (ОЦМ) тела лыжника с нарушением слуха

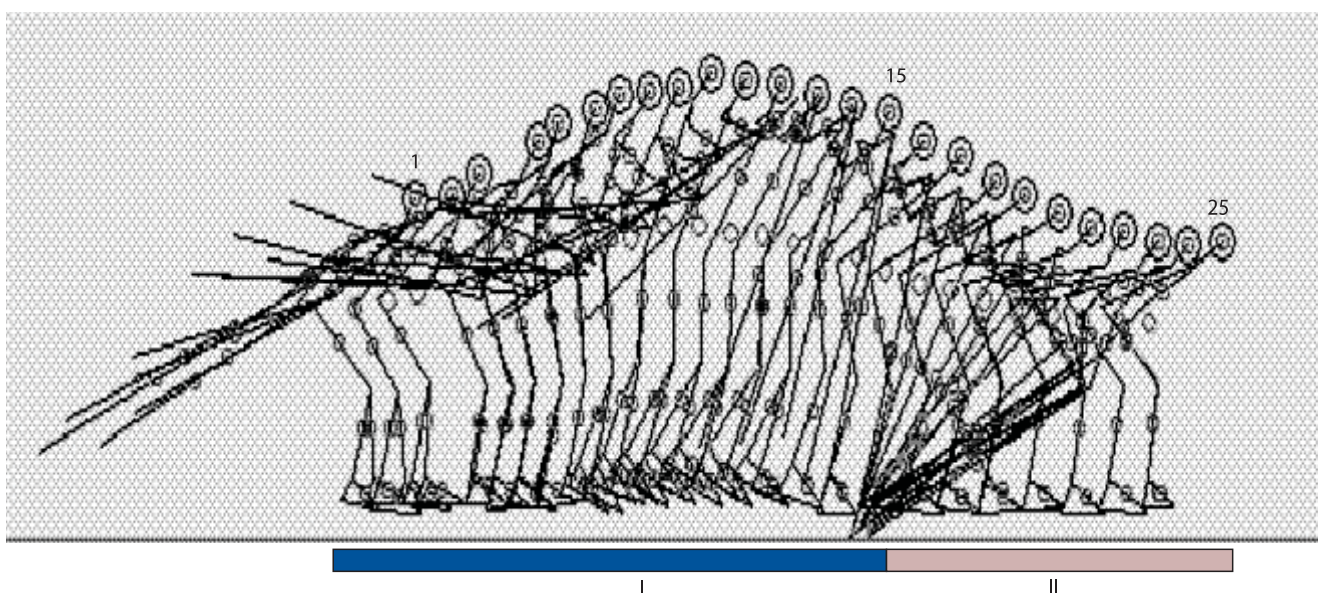


РИСУНОК 2 – Кинематическая схема лыжника–гонщика высокой квалификации с нарушением слуха (спортсмен – мастер спорта Украины международного класса А-н) при передвижении одновременным бесшажным лыжным ходом:

I фаза свободного скольжения на двух лыжах (кадры 1–15); II – скольжение на двух лыжах с одновременным отталкиванием руками (кадры 15–25)

в первой фазе (свободное скольжение на двух лыжах) позволил определить их максимальные значения – $7,05 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ и $0,70 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ соответственно, а максимальное значение результирующей скорости – $7,03 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Результирующая скорость ЦМ биозвена «кость правая» в фазе свободно-

го скольжения на двух лыжах равна $10,93 (S = 1,10) \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, $Me (25 \% ; 75 \%) = 11,0 (10,3 ; 11,6) \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, что характерно для данной фазы, поскольку спортсмен осуществляет активный вынос лыжных палок вперед для постановки на снег и выполнение толчка руками в следующей фазе.

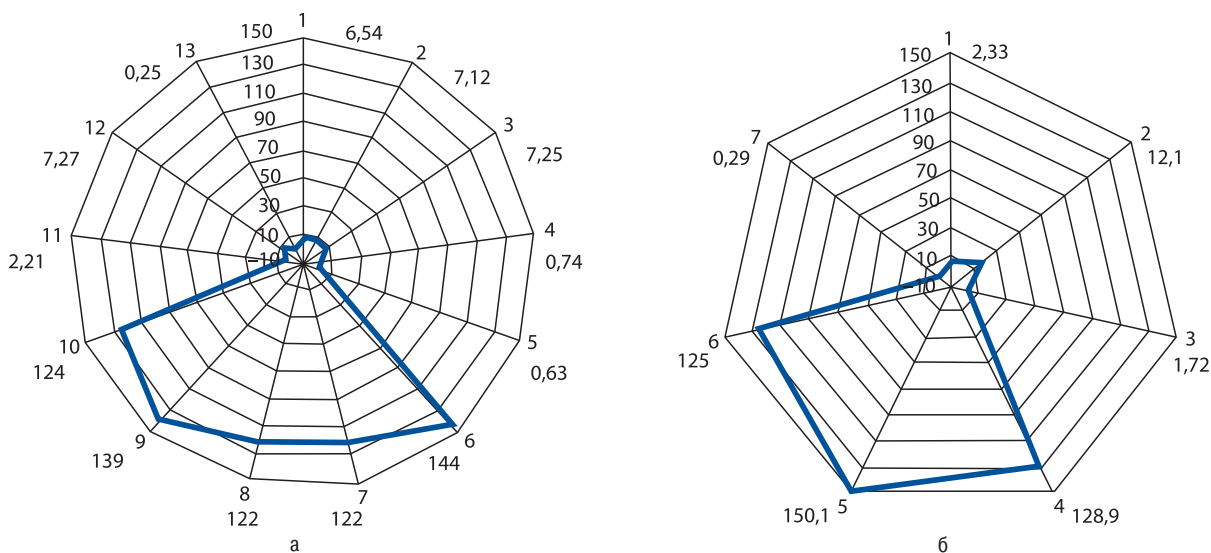


РИСУНОК 3 – Модельные показатели технических действий лыжников–гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха:

а – в попеременном двухшажном лыжном ходе: 1 – результирующая скорость ЦМ биозвена «правое предплечье» в V фазе, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 2 – горизонтальная скорость ЦМ биозвена «левая стопа» в I фазе, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 3 – горизонтальная скорость ЦМ биозвена «левая стопа» во II фазе, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 4 – вертикальная скорость ОЦМ спортсмена во II фазе, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 5 – вертикальная скорость ЦМ «голень правая» в I фазе, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 6 – угол в левом коленном суставе в момент остановки левой лыжи, град; 7 – угол правого тазобедренного сустава в момент начала разгибания левой ноги в коленном суставе, град; 8 – угол правого тазобедренного сустава в момент отрыва левой лыжи, град; 9 – угол левого голеностопного сустава в момент отрыва правой лыжи от снега, град; 10 – угол правого локтевого сустава в момент постановки правой палки на снег, град; 11 – вертикальная скорость ЦМ биозвена «кость правая» (лыжная палка) во II фазе, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 12 – горизонтальная скорость ОЦМ тела лыжника в скользящем шаге, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 13 – длительность II фазы, с; б – в одновременном бесшажном классическом лыжном ходе: 1 – длина фазы свободного скольжения с одновременным отталкиванием руками, м; 2 – горизонтальная скорость ЦМ биозвена «кость правая» в I фазе, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 3 – вертикальная скорость ЦМ биозвена «правое предплечье» во II фазе, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 4 – угол в правом локтевом суставе в момент постановки палки на снег, град; 5 – угол в левом коленном суставе в момент отрыва лыжных палок от снега, град; 6 – угол в правом тазобедренном суставе в момент отрыва лыжных палок от снега, град; 7 – длительность II фазы свободного скольжения с одновременным отталкиванием руками, с

Необходимо отметить, что в фазе свободного скольжения на двух лыжах горизонтальная скорость ЦМ биозвеньев верхнего плечевого пояса выше, чем биозвеньев нижних конечностей, поскольку высококвалифицированные лыжники выносят руки вперед и выпрямляются для дальнейшего выполнения толчка лыжными палками. Однако в фазе свободного скольжения на двух лыжах с одновременным отталкиванием руками происходит изменение величин – горизонтальная скорость ЦМ биозвеньев нижних конечностей становится выше, чем биозвеньев верхнего плечевого пояса. Это связано с выполнением толчка руками.

Проведенный анализ гониометрических характеристик свидетельствует о наклоне туловища лыжника-гонщика вперед после выполнения толчка руками в правом тазобедренном суставе в момент отрыва лыжных палок от снега $66 (S = 12,08)$ град, $Me (25\%; 75\%) = 67 (62; 74)$ град.

В результате констатирующего эксперимента получены следующие показатели технических действий лыжников-гонщиков высокой квалификации с депривацией слуха при передвижении одновременным бесшажным ходом: длина первой фазы свободного скольжения на лыжах $3,49 (S = 0,13)$ м, $Me (25\%; 75\%) = 3,55 (3,45; 3,56)$ м, фазы свободного скольжения с одновременным отталкиванием руками – $2,29 (S = 0,15)$ м, $Me (25\%; 75\%) = 2,31 (2,27; 2,33)$ м и длина цикла – $5,78 (S = 0,54)$ м, $Me (25\%; 75\%) = 5,80 (5,74; 5,83)$ м.

На рисунке 2 представлена кинематическая схема лыжника-гонщика высокой квалификации с нарушением слуха при передвижении одновременным бесшажным лыжным ходом.

С целью редукции данных (34 показателей) технических действий лыжников-гонщиков высокой квалификации в попеременном двухшажном ходе применен факторный анализ, в результате которого определены четыре фактора с суммарным вкладом в общую дисперсию 80,09% (I фактор – 39,89%, II – 26,57%, III – 8,37%, IV – 5,26%). Результаты корреляционного и факторного анализов стали основой для разработки моделей технических действий лыжников-гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха при передвижении классическими ходами на основе искусственных нейронных сетей. Построены модели техники попеременного двухшажного (рис. 3, а) и одновременного бесшажного (рис. 3, б) лыжных ходов с использованием компьютерного моделирования.

На основе использования компьютерного нейросетевого моделирования техники попеременного двухшажного и одновременного бесшажного лыжных ходов разработана технология совершенствования технических действий лыжников-гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха при передвижении классическими ходами в годичном цикле подготовки (рис. 4).

При разработке технологии учтены дидактические и специфические принципы спортивной подготовки [2, 8]. Основными компонентами авторской технологии являются: цель и задачи, периоды подготовки, методы и средства технической подготовки спортсменов.



РИСУНОК 4 – Блок-схема технологии совершенствования технических действий классических ходов лыжников-гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха в годичном макроцикле подготовки

Для совершенствования кинематической структуры классических ходов лыжников-гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха разработаны модели: попеременного двухшажного хода – нейронная сеть MLP 31-23-1 ($p < 0,0024$) и одновременного бесшажного хода – RBF 16-8-1 ($p < 0,0291$) [13].

Предложенная технология направлена на коррекцию технических действий классических ходов лыжников-гонщиков с нарушением слуха за счет улучшения отдельных элементов кинематической структуры движений. На основе моделей разработаны комплексы физических упражнений в сочетании с двигательными установками, индивидуальным подходом к каждому спортсмену. Эффективность разработанной технологии определена в процессе педагогического эксперимента, который был проведен в течение годичного макроцикла подготовки дефлимпийской сборной команды Украины по лыжным гонкам.

Комплексы физических упражнений применялись в подготовительном и соревновательном периодах годичного макроцикла (рис. 5). В начале общеподготовитель-

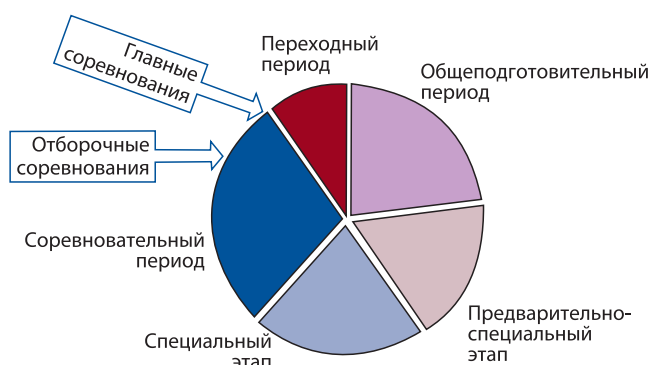


РИСУНОК 5 – Схема годового цикла подготовки спортсменов высокой квалификации с нарушением слуха, специализирующихся в лыжных гонках

ного этапа подготовительного периода использовались имитационные упражнения, упражнения на координацию и силовой направленности, а также упражнения на лыжероллерах. Основу тренировочной нагрузки специально-подготовительного этапа и соревновательного периода составили упражнения на совершенствование технических действий классических ходов лыжников высокой квалификации с депривацией слуха при передвижении на лыжах.

Применение разработанной технологии в течение годового макроцикла подготовки лыжников высокой квалификации с нарушением слуха содействовало статистически значимым изменениям большинства показателей кинематических характеристик попеременного двухшажного хода, которые приблизились к модельным значениям нейронной сети (табл. 1), а именно: продолжительность второй фазы свободного скольжения с выпрямлением опорной ноги увеличилась на 0,02 с, угол в правом локте-

вом суставе в момент постановки палки на снег увеличился на 12,8 град, горизонтальная скорость ЦМ биозвена «левая стопа» во второй фазе увеличилась на 0,67 м · с⁻¹, вертикальная скорость ЦМ биозвена «правая кисть» во второй фазе в момент постановки палки на снег улучшилась на 0,39 м · с⁻¹ (p < 0,05).

Анализируя технические действия лыжников-гонщиков с нарушением слуха при передвижении одновременным бесшажным ходом в результате педагогического эксперимента, необходимо отметить статистически значимые изменения: увеличилась горизонтальная скорость ЦМ биозвена «кисть правая» в первой фазе на 0,32 м · с⁻¹, уменьшилась продолжительность второй фазы свободного скольжения с одновременным отталкиванием руками на 0,02 с, увеличился угол в коленном суставе в момент отрыва лыжных палок от снега на 12,2 град (p < 0,05) (табл. 2).

Лыжники-гонщики с нарушением слуха завоевали 7 медалей (5 серебряных и 3 бронзовые) на XVIII зимних Сурдлимпийских играх 2015 г. и сократили проигрыш лидеру гонки в среднем на 20,3 с (p < 0,05).

Дискуссия. В результате эксперимента впервые получены биомеханические характеристики техники попеременного двухшажного и одновременного бесшажного лыжных ходов лыжников-гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха. Результаты показателей ведущих биомеханических характеристик попеременного двухшажного лыжного хода нашего исследования согласуются с данными авторов [3–5, 20, 21]. Анализ продолжительности каждой отдельной фазы попеременного двухшажного лыжного хода лыжников-гонщиков высокой квалификации с депривацией слуха свидетельствует об их отставании от здоровых квалифицированных лыжников (табл. 3).

ТАБЛИЦА 1 – Динамика биомеханических характеристик техники попеременного двухшажного лыжного хода лыжников-гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха в результате педагогического эксперимента, n = 9

Показатель	Начало эксперимента		Конiec эксперимента	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Результирующая скорость ЦМ биозвена «правое предплечье» в пятой фазе, м · с ⁻¹	5,32	0,91	5,88*	1,12
Горизонтальная скорость ЦМ биозвена «левая стопа» в первой фазе, м · с ⁻¹	6,27	0,37	6,54	0,48
Горизонтальная скорость ЦМ биозвена «левая стопа» во второй фазе, м · с ⁻¹	6,11	0,35	6,78*	0,65
Вертикальная скорость ОЦМ спортсмена во второй фазе, м · с ⁻¹	0,52	0,09	0,54	0,08
Вертикальная скорость ЦМ «голень правая» в первой фазе, м · с ⁻¹	-0,25	0,01	0,13*	0,01
Угол в левом коленном суставе в момент остановки левой лыжи, град	123,3	20,54	131,5	9,89
Угол правого тазобедренного сустава в момент начала разгибания левой ноги в коленном суставе, град	109,6	7,70	110,2	6,57
Угол правого тазобедренного сустава в момент отрыва левой лыжи, град	112,1	7,06	115,6	5,34
Угол левого голеностопного сустава в момент отрыва правой лыжи от снега, град	112,9	7,45	128,7*	6,05
Угол правого локтевого сустава в момент постановки правой лыжной палки на снег, град	103,3	12,45	115,1*	9,87
Вертикальная скорость ЦМ биозвена «кисть (лыжная палка) правая» во второй фазе, м · с ⁻¹	1,76	0,23	2,13*	0,25
Горизонтальная скорость ОЦМ спортсмена в скользящем шаге, м · с ⁻¹	7,09	0,12	7,16	0,14
Продолжительность второй фазы, с	0,20	0,02	0,22*	0,02

*Изменение показателя статистически значимо на уровне p < 0,05.

ТАБЛИЦА 2 – Динамика биомеханических характеристик техники одновременного бесшажного лыжного хода лыжников–гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха в результате педагогического эксперимента, n = 9

Показатель	Начало эксперимента		Конец эксперимента	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Длина фазы свободного скольжения с одновременным отталкиванием руками, м	2,35	0,15	2,34	0,14
Горизонтальная скорость ЦМ биозвена «кисть правая» в первой фазе, м · с ⁻¹	10,92	1,09	11,24*	1,23
Вертикальная скорость ЦМ биозвена «правое предплечье» во второй фазе, м · с ⁻¹	1,65	0,25	1,69*	0,28
Угол в правом локтевом суставе в момент постановки лыжных палок на снег, град	111,2	1,02	117,1*	3,46
Угол в левом коленном суставе в момент отрыва лыжных палок от снега, град	125,1	8,67	137,3*	9,56
Угол в правом тазобедренном суставе в момент отрыва лыжных палок от снега, град	136	7,59	130	5,54
Время второй фазы свободного скольжения с одновременным отталкиванием руками, с	0,31	0,03	0,29*	0,02

* Изменение показателя статистически значимо на уровне $p < 0,05$.

У лыжников–гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха скорость перемещения в цикле движения – 6,98 м · с⁻¹; что ниже по сравнению со скоростью здоровых спортсменов – 7,3 м · с⁻¹ [5], однако выше, чем у спортсменов с повреждением опорно-двигательного аппарата – 4,61 м · с⁻¹ [19].

В исследовании впервые использовано моделирование техники в лыжных гонках с помощью нейронных сетей. Разработанная Р. А. Зубриловым модель скорости в цикле попеременного двухшажного лыжного хода лыжниц–гонщиц высокой квалификации (с 4,07 до 4,83 м · с⁻¹) в виде регрессионного уравнения включает 9 переменных, которые основаны на координатах 18 точек – центров суставов тела спортсменки. Модель объясняет 86 % дисперсии скорости в цикле и имеет погрешность 1,8 % [4]. По сравнению с этой моделью наша модель включает 6 переменных, следовательно, является более простой с точки зрения практической реализации. Увеличивая количество скрытых слоев и числа нейронов в них, можно обеспечить любую точность нейронной сети. Разработанная нами нейросетевая модель обучена для каждого лыжника с нарушением слуха на основе показателей 20 точек – центров суставов, а также показателей центров масс биозвеньев тела спортсмена, следовательно, является более точной. Ошибка модели не превышает 1 %. Итак, определены существенные преимущества нейросетевого моделирования по сравнению с регрессионным анализом: меньший объем необходимых вычислений и большая точность. Прогнозирование двигательных действий спортсмена с учетом его индивидуальных особенностей оптимизирует реальный тренировочный процесс [13]. Скорость ОЦМ лыжников–гонщиков с нарушением слуха в цикле в результате эксперимента повысилась статистически значимо с 6,58 до 7,16 м · с⁻¹; вертикальная скорость ЦМ биозвена «кисть правая (лыжная палка)» в момент постановки на снег увеличилась на 0,37 м · с⁻¹ ($p < 0,05$).

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой технологии совершенствования техники конькобежных лыжных ходов лыжников–гонщиков высокой квалификации на основе компьютерного моделирования.

ТАБЛИЦА 3 – Длительность фаз попеременного двухшажного лыжного хода лыжников–гонщиков высокой квалификации, с

Фаза	Длительность фазы, с				
	Лыжники–гонщики с депривацией слуха [13]			Здоровые лыжники–гонщики [3, 5]	
	\bar{x}	S	Me (25 %, 75 %)	\bar{x}	\bar{x}
I	0,17	0,04	0,17 (0,13; 0,17)	0,09	0,13
II	0,20	0,02	0,20 (0,19; 0,2)	0,19	0,18
III	0,09	0,01	0,09 (0,09; 0,10)	0,06	0,05
IV	0,09	0,02	0,09 (0,07; 0,01)	0,03	0,03
V	0,10	0,02	0,10 (0,09; 0,10)	0,09	0,08

Выводы

Анализ научно-методической литературы, данных сети Интернет и собственные педагогические наблюдения свидетельствуют о том, что одним из приоритетных направлений совершенствования спортивной техники специалисты считают метод компьютерного моделирования. Вместе с тем модельные показатели техники классических лыжных ходов в специальной литературе представлены фрагментарно, а такой важный компонент совершенствования техники, как модели двигательных действий лыжников–гонщиков высокой квалификации, отсутствуют.

В результате биомеханического видеокомпьютерного анализа определена кинематическая структура технических действий лыжников–гонщиков с нарушением слуха при передвижении классическими ходами на основе статистически значимых ($p < 0,05$) взаимосвязей полученных кинематических характеристик со скоростью ОЦМ тела лыжника в цикле движения, которая служила критерием их спортивного результата. С учетом данных, полученных в результате компьютерного нейросетевого моделирования технических действий лыжников–гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха при передвижении классическими лыжными ходами, определены модельные показатели: 13 показателей в попеременном двухшажном ходе и 7 показателей в одновременном бесшажном ходе.

Разработана технология совершенствования технических действий лыжников высокой квалификации с нарушением слуха, основными компонентами которой являются: цель, задачи, методы и средства, комплексы упражнений в подготовительном и соревновательном периодах на этапе максимальной реализации индивидуальных возможностей спортсмена. Характерной особенностью технологии является применение компьютерного моделирования с целью коррекции технических действий лыжника–гонщика, которое позволило обеспечить выбор физических упражнений и методов их применения в тренировочном процессе в зависимости от индивидуальных особенностей каждого спортсмена.

Эффективность технологии совершенствования технических действий лыжников–гонщиков высокой квалификации с нарушением слуха подтверждена экспериментально. В результате применения авторской технологии в годичном макроцикле технической подготовки дефлимпийской сборной команды Украины по лыжным гонкам произошло статистически значимое улучшение ($p < 0,05$) кинематических показателей техники в попеременном двухшажном и одновременном бесшажном классических лыжных ходах.

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что не существует никакого конфликта интересов.

■ Литература

1. Брискин ЮА, Евсеев СП, Передерий АВ. *Адаптивный спорт [Adaptive sport]*. Москва: Советский спорт; 2010. 316 с.
2. Гавердовский ЮК. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика. *Teaching sports exercises. Biomechanics. Methodology. Didactics* [Москва: Физкультура и спорт; 2007. 912 с.
3. Гурский АВ. Применение модельных характеристик для совершенствования спортивно–технического мастерства лыжников–гонщиков [Use of model characteristics for improving sports and technical mastership of cross-country skiers]. *Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта*. 2013;2(96):31-5.
4. Зубрилов РА. *Коррекция техники лыжных ходов спортсменов высокой квалификации на основе использования индивидуальных биомеханических моделей [Correcting ski move technique of elite athletes on the basis of using individual biomechanical models]* [автореферат]. Киев; 1994. 26 с.
5. Кольхматов ВИ, Головачев АИ, Широкова СВ. Особенности соревновательной деятельности лыжников–гонщиков высокой квалификации в командном спринте [Competitive activity peculiarities of highly skilled cross-country skiers in team sprint]. *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*. 2015;7(125):94-100.
6. Кривецкий ИЮ, Попов ГИ, Оганджанов АЛ. Моделирование техники тройного прыжка с использованием технологии нейронечетких сетей [Modeling triple jump techniques with application of neural network technology]. *Вестник спортивной науки*. 2014;(1):6-9.
7. Лапутин АН, Носко НА. Совершенствование проблемы технического мастерства спортсменов в олимпийском и профессиональном спорте [Improving the issue of athlete technical mastery in Olympic and professional sport]. *Физическое воспитание студентов творческих специальностей*. 2002;(4):3-18.
8. Платонов ВН. *Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения [System of athletes' preparation in the Olympic sport. General theory and its practical applications]*. Киев: Олимпийская литература; 2015; Кн. 1. 680 с.
9. Шестаков МП. Управление технической подготовкой в легкой атлетике на основе компьютерного моделирования [Managing technical preparation in track and field on the basis of computer modeling]. *Наука в олимпийском спорте*. 2005;(2):187-96.
10. Andersson E, Pellegrini B, Sandbakk Ö, Stöggl T. The effects of skiing velocity on mechanical aspects of diagonal cross-country skiing [Internet]. *Sports Biomechanics*. 2014;13(3):267-84. Available from: <https://bit.ly/2vkly0i>
11. Bhamhani Y, Forbes S, Forbes J, et al. Physiologic responses of competitive Canadian cross-country skiers with disabilities. *Clin. J. Sport Med*. 2012;22(1):31-8.
12. Grasaas CA, Ettema G, Hegge AM, Skovereng K, et al. Changes in technique and efficiency after high-intensity exercise in cross-country skiers. *International journal of sports physiology and performance*. 2014;9(1):19-24.
13. Imas Y, Khmel'nitska I, Khurtyk D, Korobeynikov G, Spivak M, Kovtun V. Neural network modeling of diagonal stride technique of highly qualified skiers with hearing impairments. *Journal of Physical Education and Sport*. 2018;18(2):1217-22. DOI:10.7752/jpes.2018.s2181. Available from: <https://efsupit.ro/images/stories/iulie2018/Art%20181.pdf>
14. Marsland F. Measuring macro kinematics of classical cross-country skiing during on-snow training using a single micro-sensor unit. In: *3rd Intern. Congress on science and Nordic skiing*; 2015 June 5-8; Vuokatti. Vuokatti Sports Institute; 2015:56.
15. Pellegrini B. Biomechanics of cross country-skiing, from single segment to whole body movement. In: *3rd Intern. Congress on science and Nordic skiing*; 2015 June 5-8; Vuokatti. Vuokatti Sports Institute; 2015:20.
16. Petronovic L. Adapted sport – badminton in perspective of different disabilities. In: *Fundamental and applied kinesiology – steps forward: 7th International scientific conference on kinesiology*; 2014 May 22-25; Opattija, Croatia. Zagreb: University of Zagreb; 2014: 50-4.
17. Pettersson D, Nyquist R. *Football match prediction using deep learning recurrent neural network applications*. Master's Thesis EX031/2017. Department of Electrical Engineering Chalmers University of Technology. Typeset in L ATEX. Gothenburg, Sweden; 2017. 50 p.
18. Pohjola M. *Analysing effectiveness of force application in ski skating using force and motion capture data – A model to support cross-country skiing research and coaching*. Department of Biology of Sport, University of Jyväskylä, Master's thesis; 2014. 68 p.
19. Rosso V, Gastaldi L, Rapp W, Lindinger S, Vanlandewijck Y, Linnamo V. Biomechanics of simulated versus natural cross-country sit skiing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 32, 15-21. Doi:10.1016/j.jelekin.2016.11.002.
20. Stoggl TL, Holmberg HC. Double-poleing biomechanics of elite cross-country skiers: flat versus uphill terrain [Internet]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016;48(8):1580-9. Available from: <https://bit.ly/2nb2gX4>
21. Stoggl T, Welde B, Supej M, Zoppiroli C, Rolland CG, Holmberg HC, Pellegrini B. Impact of incline, sex and level of performance on kinematics during a distance race in classical cross-country skiing. *Journal of sport science and medicine*. 2018;17(1):124-33.

Автор для корреспонденции:

Хмельницкая Ирина Валериевна – канд. наук по физ. воспитанию и спорту, доц., кафедра биомеханики и спортивной метрологии, Национальный университет физического воспитания и спорта Украины; 03150, Киев, ул. Физкультуры, 1; <https://orcid.org/0000-0003-0141-3301>
khmeln.irene@gmail.com

Corresponding author:

Khmelnitska Irina – PhD in Physical Education and Sports, assistant professor, Biomechanics and Sports Metrology Department, National University of Ukraine on Physical Education and Sport; 03150, Kyiv, 1, Fizkultury Str; <https://orcid.org/0000-0003-0141-3301>
khmeln.irene@gmail.com;

Поступила 06.12.2018