

**МЕХАНІЗМИ КЕРУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИМИ РУХОВИМИ ДІЯМИ СТРІЛЬЦІВ**

*У статті охарактеризовано можливі механізми керування спеціалізованими руховими діями стрільців на основі застосування моделей. Запропоновано варіанти представлення рухових дій спортсменів за допомогою матриці інцидентності. Виявлено, що компенсація відхилень від стану рівноваги тіла у передньо-задньому напрямку забезпечується двома м'язовими синергіями у тазостегновому та гомілковостопному суглобі.*

**Ключові слова:** стрільба, моделі, механізми керування, спеціалізовані рухові дії, м'язові синергії.

**Постановка проблеми.** Рухові дії спортсменів у стрілецькому спорті характеризують високою точністю і, нерідко, виконують в умовах дефіциту часу та впливів зовнішніх і внутрішніх завад і перешкод. Тому перед практиками і теоретиками стрілецького спорту постають проблеми якісного керування спеціалізованими діями стрільців. Керування ними має одне з ключових значень у підготовчому та змагальному процесі спортсменів і завжди було складним і проблематичним, незважаючи на вагомий досвід [3, 4, 9]. Під час аналізу відомих теорій керування спортивними рухами вкрай важливо не застосовувати механістичний підхід з одного боку, а також, громіздкість і незрозумілість для широкого кола фахівців – теоретичні схеми функціонування центральної нервової системи, з іншого. Отже виникла проблема використання існуючих закономірностей керування спеціалізованими рухами для практичного застосування у процесі підготовки стрільців.

Роботу виконано відповідно до "Зведеного плану науково-дослідної роботи у сфері фізичної культури і спорту на 2011 – 2015 рр." Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України: "Моделювання біомеханічних систем у складнокоординаційних видах спорту", шифр 2.17 (№ держреєстрації 0111U006473).

Аналіз останніх досліджень і публікацій доводить важливість і посилення наукового інтересу до проблематики керування руховими діями людини загалом та спеціалізованими у спорті зокрема. При цьому наукові пошуки ведуться у різних напрямках, з використанням різноманітних засобів, методів, методологічних підходів, з позицій парадигм і законів тієї чи іншої природничої, технічної чи педагогічної дисципліни. Зокрема, останнім часом психологічні, психодіагностичні аспекти керування діями у спорті вивчали М. С. Корольчук, С. Заборняк [2, 14], біомеханічні основи вдосконалення – А. М. Лапутін, М. О. Носко, Т. Д. Полякова [4, 9–12], фізіологічні, зокрема, сенсорні – С. Н. Кучкін, А. С. Ровний [3, 13], загально-теоретичні – Д. Ф. Люгер, А. В. Назаров, А. І. Лоскутов [5, 8], педагогічного контролю – О. І. Федоров, С. Б. Шарманова, О. А. Сиротін [1]. Дослідження механізмів керування руховими діями у стрілецькому спорті, зокрема у стрільбі з лука, є малочисельні і не відповідають сучасним потребам спортивної теорії і практики.

**Мета роботи** – встановлення біомеханічних механізмів керування руховими діями стрільців.

**Завдання дослідження:**

- 1) екстраполювати загальні закономірності керування руховими діями людини на змагальну діяльність стрільців;
- 2) визначити особливості механізмів керування спеціалізованими діями у лучному спорті;
- 3) встановити стратегії збереження вертикальної стійкості тіла стрільця.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час виконання пострілу зокрема з лука, рухи стрільця необхідно аналізувати значно ширше за механічні переміщення ланок тіла. Їх досліджують як складну керовану систему послідовних дій.

Оскільки одним із рухових завдань у стрілецькому спорті є збереження вертикальної стійкості тіла, в якому беруть участь практично всі основні м'язові групи, теоретичний пошук підтверджує необхідність застосування моделі керування спеціалізованими рухами на основі проходження 3 груп кривих вертикальних і повздовжніх компонент біодинамічних хвиль, як це спостерігається у локомоціях, зокрема під час ходьби [1, 6]. Першу групу становлять спонтанно-іннерваційні хвилі (основні чи провідні), які відображають безпосередній вплив свідомості на компоненти й параметри спеціалізованих дій. Це хвилі, які формують первинну основу рухів, їх ритмічну й динамічну основу. Вони є відображенням імпульсів, які надсилають алгоритми керування до основних, фундаментальних груп м'язів, котрі пронизують усе тіло у вигляді спіралей від стопи до голови. До другої групи кривих входять реактивно-іннерваційні хвилі, що виникають лише на периферії Вони віддзеркалюють імпульси, що іннервують супутні м'язові утворення – фасції, м'язові пучки, м'язові перегородки, апоневрози, які розділяють спіралі на фрагментарні кінематичні ланцюги локального

значення. Третя група – механічно-реактивні (допоміжні) хвилі, що є тими відображеннями корекційних сигналів, виникнення яких припадає на період компенсаційної координації, спрямованої на формування відповідних реакцій центральної нервової системи на діяльність кістково-м'язової периферії. Ці сигнали пов'язані з розвитком дозувальних координацій, які забезпечує діяльність структур центральної нервової системи та керує виконанням цілісних проектів рухів (влучність, купність, точність рухів тощо).

Система рухів у стрільбі будується за принципом структурності. Поняття структури системи рухів включає не тільки самі рухи, але і зв'язки між ними та їхню системну організацію. Власне ця організація визначає закономірності взаємодії рухових елементів у цілісному акті, на основі котрої з'являються системні властивості. У спортивній техніці стрільців, зокрема лучників, системні властивості проявляються в раціональному паралельному виконанні стійки та рухів ланок плечового поясу; в послідовності і об'єднанні м'язових зусиль; у становленні загального ритму рухів; у виконанні мікрорухів, що потребують високої кінестетичної диференціації м'язових зусиль на тлі значних статичних навантажень тощо. Отже всі рухи під час виконання пострілу утворюють цілісну систему рухів. Отже, зміни величин параметрів будь-якого окремого елемента рухової дії тією чи іншою мірою впливають на всю систему. Тому основою процесу виконання стрілецької вправи є також і принцип цілісності системи рухів, з яких складається постріл.

Характерним прикладом одночасного розв'язання двох завдань в одному руховому акті лучників є координація між збереженням змагальної стійки стрільців та їх руховими діями в межах плечового поясу та верхніх кінцівок. Проблема координації і взаємодії між основними рухами ланок верхніх кінцівок, що безпосередньо виконують необхідні переміщення в заключній фазі змагальної вправи, і "фоновими" рухами, які пов'язані з підтримкою стійки (тобто зі збереженням рівноваги), залишається вельми дискусійною досі. Це підтверджує різноманіття наукових гіпотез і концепцій, які пропонуються для пояснення експериментальних спостережень, отриманих в різних видах спорту, де трапляються аналогічні проблеми взаємозв'язків рухових дій зі збереження пози тіла з одночасним виконанням інших рухів.

Щоби спростити ситуацію, позу можна визначити як конфігурацію сегментів тіла в певні моменти часу. Однак таке визначення є описовим і не пояснює поведінкового значення збереження пози під час виконання основних рухів. Більш конструктивними, на нашу думку, є підходи, що пов'язують поняття пози тіла спортсмена, по-перше, з виконанням функції опори, необхідної для протидії гравітаційним силам і "негативним" силовим чинникам-завадам, які діють під час руху, і, по-друге, зі забезпеченням зв'язку між егоцентричною (пов'язаною з тілом) і алоцентричною (пов'язаною зі зовнішнім простором) системами координат. Такий зв'язок необхідний, оскільки мета руху зазвичай задається в зовнішніх координатах (враховуючи остаточне завдання змагальної вправи лучника – влучення в певну точку мішені), тоді як його виконання відбувається в координатах, пов'язаних із тілом. Слід зазначити, що ці функції тісно переплітаються, оскільки інформація про орієнтування тіла відносно напрямку сили тяжіння, з одного боку, необхідна для виконання антигравітаційної функції, а з іншого, – забезпечує прив'язку вертикальних осей егоцентричної та алоцентричної систем координат.

Згідно з певними науковими уявленнями аксіальні та проксимальні сегменти тіла спортсмена разом із відповідними м'язами служать опорою для дистальних сегментів та їхніх м'язів під час руху ланок рук лучника при розтягуванні лука, дотягуванні та випусканні тятиви. Разом з цим, існує й інша точка зору, яка підкреслює відмінність між опорною і основною "системоутворювальною" руховими функціями при здійсненні цілісного пострілу з лука. Цілком зрозуміло, що кінцева цільова точність може суттєво погіршуватися у зв'язку з недостатньою стабільністю опори. Окрім того виникає практична необхідність забезпечення необхідних силових зусиль з боку виконавчих сегментів, які беруть участь в системоутворювальних рухах стрільця. Опорна функція стійки характеризується тим, що, як правило, опорні сегменти є більш інерційними порівняно з тими, які виконують безпосередню роботу, а отже і менш схильні до швидкого керування з боку ЦНС.

Таким чином, стійка лучника виконує такі функції: 1) орієнтацію сегментів тіла відносно напрямку гравітації, і 2) їхню стабілізацію в умовах гравітації і наявності чинників-завад, що виникають під час виконання рухів. Така дефініція стійки передбачає наявність в будь-якому руховому акті двох складових: основної, безпосередньо спрямованої на виконання рухового завдання, і допоміжної – позової (стабілізація корпусу), що забезпечує виконання "основних" рухів.

При виконанні рухів можна виділити два типи чинників-завад: статичні і динамічні. Перші обумовлені зміною конфігурації тіла спортсмена і пов'язаним із цим переміщенням центру тяжіння у горизонтальній площині опори. Другі викликані міжсегментарними динамічними взаємодіями, які можуть призвести до відхилення реальної траєкторії руху від запланованої і відповідного відхилення від просторової цілі.

Під час дослідження м'язової активності на основі фіксації електроміограм було виявлено, що під час піднімання руки з луком і захоплення тятиви у лучників найшвидше активізуються м'язи ніг, які забезпечують стабілізацію стійки, випереджаючи приблизно на 50–100 мс активацію м'язів плечового суглоба, які беруть безпосередню участь у підніманні руки. Подібну позову регуляцію можна інтерпретувати як центральну попереджувальну рухову команду, що забезпечує підготовку до початку виконання основних рухів – піднімання руки. Існує припущення, що попереджувальна позова регуляція в цьому випадку необхідна для того, щоби компенсувати з мінімальною витратою енергії майбутні відхилення від стану рівноваги, що з'являються під час виконання основного рухового акту.

Значна кількість наукових досліджень показали, що супутня познакомпонента, яку легко виявити при аналізі змін показників електроміограм різних м'язів сегментів тіла, спрямована на стабілізування переміщень і коливань загального центра мас тіла спортсмена. Активність м'язів корпусу і ніг, яка випереджала активність м'язів плечового поясу, викликала початкове переміщення корпусу, яке за своїм вектором спрямоване у протилежний бік від руху, спричиненого переміщенням кінематичного ланцюга верхнього поясу.

Порушення рівноваги може відбуватися не тільки як наслідок виконання цілеспрямованого руху верхніх кінцівок, але і в результаті несподіваного зовнішнього впливу, зокрема вітру. Адекватну експериментальну парадигму для вивчення організації керування позою у відповідь на вітрове навантаження надає наукова парадигма з раптовим зсувом або з нахилом опорної поверхні на якій стоїть лучник. Відповідь на такі умови електроміографічна активність виникає приблизно через 70–100 мс. При цьому характер відповіді визначається низкою чинників – напрямком, швидкістю і силою вітру, початковим положенням тіла стрільця, попереднім його досвідом, загальною психологічною настановою.

На основі кінематичних і електроміографічних спостережень виявлено, що компенсація відхилень від стану рівноваги тіла у передньо-задньому напрямку, що найчастіше трапляється у лучників, може забезпечуватися двома різними м'язовими синергіями, які асоціюються з двома руховими стратегіями, названими "Hip" – (тазостегновий суглоб) і "Ankle" – (гомілковостопний суглоб) стратегіями.

"Ankle"-стратегія асоціюється з обертанням усього тіла як цілого в гомілковостопному суглобі. Так, наприклад, коли відбувається зсув опорної платформи назад, зумовлюючи нахил усього тіла вперед, стрілець задіє м'язи, скеровані на екстензію в гомілковостопному суглобі, що викликає зміну проекції центра мас тіла назад. Така позова реакція зменшує відхилення загального центра мас (ЗЦМ) тіла, що зумовлено зовнішніми чинниками-завадами, і досягається вона головно на основі активації м'язів в гомілковостопному суглобі, з подальшою менш вираженою активацією м'язів, що здійснюють рухи в колінному і тазостегновому суглобах. Такі м'язові зусилля не спрямовані на значні кутові зміни у названих суглобах, а швидше скеровані на підтримку їх у майже незмінному випрямленому положенні, так що тіло обертається навкруги осі гомілковостопного суглоба як єдине ціле. Така "Ankle"-стратегія актуальна, за відсутності сильних поривів вітру, а стрілець стоїть на твердій стійкій рівній горизонтальній поверхні.

"Hip"-стратегія асоціюється в основному з флексією та екстензією в тазостегновому суглобі, що відповідно супроводжується протилежними обертаннями (флексією та екстензією) в гомілковостопному суглобі. Ця стратегія реалізується за допомогою, передусім, активації м'язів корпусу (живота і спини) з подальшою активацією м'язів стегна і гомілки. Така позова реакція, як правило, спостерігається, коли, наприклад, пориви вітру є різкими, а його сила – достатньо великою, а також в умовах, коли індивідуальні технічні особливості стійки лучника не дозволяють забезпечити значного обертального моменту в гомілковостопному суглобі, що характерно під час перебування на вузькій опорі.

Ці дві стратегії є протилежними паттернами позових реакцій залежно від величини зовнішніх чинників-завад, умов ведення стрільби та індивідуальних морфологічних і технічних особливостей. При наявності проміжних варіантів обидві стратегії комбінують для компенсації відхилень у стійці. Виявлено, що "Ankle"-стратегія поступово замінюється на "Hip"-стратегією, в умовах зменшення розміру опорної платформи або коли відхилення є значними за амплітудою та швидкістю переміщення ЗЦМ тіла спортсмена.

Складність керування позою пов'язана з тим, що тіло є багатосуглобним біомеханічним ланцюгом із декількох перевернутих маятників, розміщених один на одному. Сегменти тіла мають маси, які значно відрізняються між собою і зв'язані м'язами з в'язкоеластичними властивостями, що також мають суттєві різниці. Рух кожного окремого сегмента визначається м'язовими зусиллями, розподіленими по багатьох сегментах, і рух будь-якого сегмента створює додатковий динамічний вплив у всіх суглобах. При цьому наймасивніша ланка (корпус) розташована зверху, внаслідок чого загальний центр маси тіла є на значній висоті відносно опори. Для збереження рівноваги в такій зв'язаній біомеханічній системі необхідна досить складна рухова стратегія, причому складність завдання ускладнюється ще і тим, що рух комплексної біомеханічної системи відбувається у межах відносно малої опори, розміри якої обмежені величиною стопи. Таким чином, система керування позою зумовлює два завдання – подолати зайві ступені вільності і підтримати стійку рівновагу під час виконання рухів руками.

Щоби керувати і позою і рухом, загалом потрібні два типи моделей. Один тип моделей відповідає внутрішній уяві схеми тіла спортсмена. Вона зв'язує початкове та кінцеве розташування робочих сегментів на основі кінематичного плану, тобто по суті зі змінами величин суглобових кутів. Моделі іншого типу, тобто динамічні моделі, необхідні для перетворення кінематичного плану руху в м'язові зусилля. Наприклад, під час виконання рухових дій у заключній фазі цілісного пострілу доцільно виділити декілька процесів керування, які залежать від механізмів внутрішнього представлення схеми поясу верхніх кінцівок та їх рухової мети. Це процеси кодування положення ланок верхніх кінцівок відносно голови і тулуба, кодування положення руки відносно лука і стріли, планування необхідної траєкторії руху кінематичного ланцюга, а також перетворення відповідної траєкторії ланок в моторну команду.

Відзначимо, що існування внутрішньої моделі тіла доведено в експериментах зі штучними вхідними сенсорними сигналами. Дослідження показали, що внутрішнє представлення схеми тіла для центральної нервової системи (ЦНС) містить щонайменше такі три складові:

– кінематику тіла (біомеханічний ланцюг), в якій задіяні м'язовий пропріоцептивний аферентний вхід і/або еферентна копія моторної команди;  
– маса й інерція сегментів тіла, спосіб отримання інформації, про яку досі невідомо;  
– орієнтація окремих сегментів тіла відносно вертикалі, інформація про яку надходить від декількох сенсорних входів – вестибулярної системи, аферентації з поверхні підошви стопи, аферентації від рецепторів таза, а також сухожильних рецепторів Гольджі в м'язах-екстензорах. Крім того, додаткова інформація про напрям вертикалі надходить від зорового входу. Зазначимо, що певну інформацію надають тактильні контакти руки з луком, яку також можна використовувати для коректування стійки лучника.

Встановлено, що успішне оволодіння сенсомоторним полем і, як наслідок, якісне формування образу виконання рухової діяльності залежать від рівня розвитку параметрів, що характеризують здатність стрільця до сенсомоторної координації [13]. Порівняльний і кореляційний аналіз результатів проведених нами досліджень підтвердив наукове припущення, що успішність виконання рухової діяльності корелює, насамперед, з точністю сприймання простору, часу і зусилля; об'ємом, точністю, швидкістю переведення уваги як механізму контролю; показниками короточасної та оперативної пам'яті; часом виконання і показниками ефективності розв'язання "тактичних" завдань; показниками швидкості перебігу процесів мислення у специфічних змагальних ситуаціях; часом реакції, часом "центрального" гальмування при виконанні рухів, кількістю помилок у складній зорово-моторній реакції опрацювання знаку – показниками сформованості сенсомоторного поля, які визначають особливості функціонування образів координації руху, дії, діяльності [6].

На відміну від моделі тіла, динамічні моделі тіла, пов'язані з виконанням рухового завдання, є дуже гнучкими і адаптивними до умов оточуючого середовища. В літературі проаналізовано два типи внутрішніх динамічних моделей тіла – моделі прямої і зворотної динаміки. Моделі прямої динаміки дозволяють передбачити рух тіла за заданою контрольною моторною командою. Моделі зворотної динаміки дозволяють обчислити центральну моторну команду, що забезпечує необхідну кінематику [7].

Однак створення відповідних моделей та й узагалі складність у дослідженнях центральної моторної команди полягає в тому, що жоден із параметрів руху (динамічних чи кінематичних), що можуть бути виміряні, не пов'язані безпосередньо з центральною командою. Зазначені параметри є результатом складної взаємодії центральної команди, в'язкоеластичних властивостей нервово-м'язового апарату, біомеханічних властивостей сегментів тіла і зовнішніх сил. Внутрішні динамічні моделі повинні урахувати перелічені чинники для правильного перетворення планованої кінематики в центральну моторну команду.

Одне з найважливіших завдань під час дослідження багатосуглобових рухів – визначення змінних, якими послуговується ЦНС під час керування багатосуглобовими рухами і стабілізації змагальної стійки. Годимося на думці, що основною науковою гіпотезою, яка пояснює наявність високої координації у декількох суглобах, є концепція Н.А. Бернштейна про те, що з вирішенням проблеми кінематичної надмірності, ЦНС об'єднує окремі суглоби (включно з м'язами і центральними нервовими структурами, пов'язаними з керуванням окремими ступенями вільності) в специфічні структурні одиниці рухового керування – рухові синергії [7].

#### **Висновки**

1. Для об'єктивізації процесів керування спеціалізованими діями стрільців запропоновано використовувати модель тіла і динамічні моделі тіла, які пов'язані з виконанням рухового завдання і характеризуються гнучкістю і адаптованістю до умов довкілля.

2. Встановлено варіанти антропоморфних моделей тіла стрільця у вигляді багатоланкових схем, у якій рухи можна описувати за допомогою матриці інцидентності.

3. На основі кінематичних і електроміографічних спостережень виявлено, що компенсація відхилень від стану рівноваги тіла у передньо-задньому напрямку, що найчастіше трапляється у лучників, може бути забезпечена двома різними м'язовими синергіями – тазостегновому та гомілковостопному суглобі.

**Перспективи подальших досліджень** полягатимуть у моделюванні та формалізації механізмів моторного контролю і функцій динамічних властивостей моделей тіла.

#### **Використані джерела**

1. Комплексный контроль и управление в спорте: теоретико-методические, технические и информационные аспекты (сообщение первое) / А. И. Федоров, С. Б. Шарманова, О. А. Сиротин [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 1997. – № 9. – С. 25–26, 39–40.
2. Корольчук М. С. Психофізіологія діяльності / М. С. Корольчук. – К. : КІМУ, 2002. – 210 с.
3. Кучкин С.Н. Биоправление в медицине и физической культуре / С. Н. Кучкин // Теория и практика физической культуры. – 1997. – № 10. – С. 45–47.
4. Лапутин А. Н. Современные проблемы совершенствования технического мастерства спортсменов в олимпийском и профессиональном спорте / А. Н. Лапутин, Н. А. Носко // Физическое воспитание студентов творческих специальностей : сб. науч. тр. / под ред. С. С. Ермакова. – Х., 2002. – № 4. – С. 3–17.

5. Люггер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Ф. Люггер; пер. с англ. – 4-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 864 с.
6. Малхазов О. Р. Психологія та психофізіологія управління руховою діяльністю / О. Р. Малхазов. – К. : Свролінія, 2002. – 320 с.
7. Моделирование управления движением человека / под ред. М. П. Шестакова, А. И. Аверхина. – М. : СпортАкадемПрес, 2003. – 360 с.
8. Назаров А. В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А. В. Назаров, А. И. Лоскутов. – СПб. : Наука и техника, 2003. – 384с.
9. Носко Н. Физические упражнения как кибернетические системы / Н. Носко, С. Власенко, В. Синиговец // Физическое воспитание студентов творческих специальностей : сб. науч. тр. / под ред. С. С. Ермакова. – Х., 2001. – № 3. – С. 3–7.
10. Носко М. О. Біометрія рухових дій людини : монографія / О. М. Носко, О. А. Архипов ; за заг. ред. О. А. Архипова. – К. : Слово, 2011. – 216 с.
11. Полякова Т. Д. Возможности использования стабилотрии в управлении движениями высококвалифицированных спортсменов-стрелков / Т. Д. Полякова // Proces doskonalenia treningu i walki sportowej; pod red. A. Kuder, K. Petrowskiego, D. Sledziewskiego. – Warszawa, 2005. – С. 306–310.
12. Полякова Т. Д. Опыт применения стабилотрии в управлении движениями высококвалифицированных спортсменов-стрелков / Т. Д. Полякова // Современные технологии спорта высших достижений в профессиональной подготовке сотрудников силовых ведомств : материалы Междунар. науч. конгр., Москва 2-4 февраля 2006 г. – М., 2006. – С. 233–239.
13. Ровний А. С. Сенсорні механізми управління точнісними рухами людини : монографія / А. С. Ровний. – Х. : ХДАФК, 2002. – 220 с.
14. Технологія біологічного зворотного зв'язку і його використання в наукових дослідженнях [Електронний ресурс] / Заборняк С., Чарни В., Дрозд С., Дрозд М., Полак К., Тройнар Я., Власов А., Виноградський Б. // Спортивна наука України . – 2011. – № 11 . – С. 3 – 14. – Режим доступу : [http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/SNU/2011-11/Zabor\\_1.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/SNU/2011-11/Zabor_1.pdf).

*Vynohrodskyi B A.*

#### **MECHANISMS FOR SPECIALIZED MOTOR ACTIONS CONTROL IN SHOOTING**

*This article describes possible mechanisms for specialized motor actions control in shooting on the basis of models. The variants motor actions of sportsmen by incidence matrix are represented. It was found the compensation of deviations from balance of the body in the anteroposterior direction which is provided by two muscle synergies in the hip and ankle.*

**Key words:** *shooting, models, control mechanisms, specialized motor activity, muscle synergies.*

*Стаття надійшла до редакції 11.09.2013 р.*

