

УДК 612.766.1:796

О.О.Приймаков

Взаємозв'язок механізмів регулювання стійкості пози та довільного точнісного руху у спортсменів

В экспериментах на спортсменах-стрелках изучали механизмы взаимодействия систем организма в обычных и усложненных условиях регулирования различных поз и управления произвольным точностным движением. Показано, что при развитии утомления в усложненных условиях ухудшается устойчивость позы, активизируются механизмы ее коррекции, направленные на повышение устойчивости в момент выстрела, возрастают активность и взаимосвязь соматической и вегетативной систем, снижается точность стрельбы, что свидетельствует об усилении интеграции как физиологических (двигательной и вегетативной), так и функциональных (позы и точностного движения) систем. Сделан вывод, что механизмы взаимодействия двух функциональных систем определяются сложностью удерживаемой позы, участием в ее регуляции врожденных и сформированных программ регулирования, структурой и характером регулирования выполняемого произвольного движения и проявляются как через параметры конечного приспособительного результата каждой системы, так и через параметры физиологических систем, входящих компонентами в функциональные.

Вступ

Взаємодія систем організму людини та тварин за різних умов функціонування є мало вивченою проблемою фізіології. Системний підхід у біології, біологічній та медичній кібернетиці дозволив сформулювати багато вихідних принципів управління в біологічних і медичних системах. Принцип взаємодії є одним із центральних, що лежить в основі проявлення нових інтегративних властивостей системи, які відсутні в окремих складових її компонентах [1, 8]. Разом з тим механізми взаємодії систем організму в процесі адаптації до мінливих умов зовнішнього середовища, дії уповільнюючих факторів, перешкод, низки інших екзо- та ендогенних впливів висвітлено недостатньо. Слабо вивченими є взаємозв'язки систем організму при управлінні рухами різного класу і, зокрема, при регулюванні пози і довільного точнісного руху.

У досліджах на тваринах та при обстеженні людей показано, що вимушені реакції пози і довільні рухи тісно взаємопов'язані, попередні реакції пози спрямовані на реалізацію наступного довільного руху [2, 3, 6, 7], взаємозв'язки двох систем можуть відбуватися на різних рівнях центральної нервової системи (ЦНС) [4, 5, 9], відображаючи інтеграцію природжених і набутих програм регулювання, програмного та кільцевого мезанізмів управління. В той же час механізми взаємодії фізіологічних систем за функціональних, і взаємозв'язки різних функціональних систем за нормальних і екстремальних умов діяльності, вивчено недостатньо. Управління ж різноманітними рухами людини, які виконуються часто при екстремальних умовах трудової та спортивної діяльності, не може бути оптимальним без знання механізмів взаємодії компонентів системи і самих систем між собою.

© О.О.ПРИЙМАКОВ, 1995

Вивчення цих питань є актуальним, потребує системного підходу до проблеми і необхідне як для побудови загальної теорії управління рухами, так і вирішення практичних завдань освіти та удосконалення довільним рухом у трудовій і спортивній діяльності людини.

Метою нашої роботи було вивчення механізмів взаємодії фізіологічних систем (серцево-судинної, дихальної, м'язової) з функціональними (регулювання рівноваги в ортоградній позі та довільного точнісного руху) у спортсменів-стрільців за нормальних і ускладнених умов.

Методика

Під час дослідження було розроблено комплексну методику сполучення мультипараметричної реєстрації фізіологічних і біомеханічних параметрів, яка включає в себе такі компоненти як стабілографію, електроміографію, тензодинамометрію, електрокардіографію, точність стрільби по мішені.

В якості об'єкта дослідження розглядали функціональні системи регулювання різних поз і управління довільним точнісним рухом під час прицілювання і пострілу по мішені у спортсменів-стрільців високої кваліфікації.

Реєстрацію різних показників виконували в позі Ромберга (поза 1, без пістолета), звичайній (поза 2) і ускладненій вертикальних стійках (поза 3—4) у стрільців під час підготовки і безпосередньо перед пострілом у мішені. Ускладнення пози досягали, в одному випадку, чотириразовим і утриманням до повної втоми відкасу витягнутої руки з пістолетом (поза 3), в другому — утриманням вертикальної стійки при куті в колінному суглобі, який дорівнює 110° (поза 4). В обох випадках тестування завершували при явних ознаках втоми внаслідок ізометричного режиму активності м'язів верхньої або нижніх кінцівок.

Як основні параметри досліджуваних функціональних систем розглядали: коливання загального центру маси тіла (ЗЦМТ) у сагітальній і фронтальній проєкціях, амплітуду тремору (АТ) руки, точність стрільби по мішені, електричну активність плече-променевого (ППМ) і передньої головки дельтовидного (ДМ) м'язів, частоту серцевих скорочень (ЧСС), показники газоаналізу видихуваного повітря, хвилинний об'єм (ХОД) і частота дихання (ЧД), швидкість споживання кисню (V_{O_2}) і виділення углекислоти (V_{CO_2}).

Обробку експериментального матеріалу проводили на персональному комп'ютері IBM PC/AT-486 DX-50 за допомогою інтегрованих статистичних і графічних пакетів Statgraphics-5, Excel-5, які дозволили здійснити кореляційний, регресійний, факторний аналізи та інші адекватні математичні методи аналізу.

Результати та їх обговорення

Аналіз результатів дослідження показав, що управління позою у стрільців, активність соматичної та вісцеральної систем, точність стрільби по мішені тісно взаємозв'язані.

Результати, представлені в таблиці, свідчать, що при ускладненні пози стрільця змінюється характер регулювання стійкості рівноваги, підвищується активність серцево-судинної (ССС), дихальної (ДС), м'язової (МС) систем, збільшуються енерговитрати, знижується точність стрільби.

Соматичні та вегетативні показники

Показник
Амплітуда тремору, ум. од.
Амплітуда загального центру маси тіла у проєкції, мм
сагітальній
фронтальній
Електроміограма, мкВ
дельтовидного м'яза
плече-променевого м'яза
Частота серцевих скорочень, хв ⁻¹
Частота дихання, хв ⁻¹
Хвилинний об'єм дихання, л·хв ⁻¹
Швидкість виділення CO ₂ , л·хв ⁻¹
Швидкість споживання O ₂ , л·хв ⁻¹
Витрати енергії, ккал·хв ⁻¹
Результат стрільби

Підвищення амплітуди проєкцій супроводжується збільшенням ДМ, АТ, ХОД, ЧД, V_{O_2} , V_{CO_2} .

Розвиток стомлення при збільшенні частот і амплітуд розрядів мотонейронів, виражених показниками, які відображають функціональні системи.

Проведений аналіз показав, що запропоновані тестування при виконанні точнісного стрільби по мішені при зміні амплітуди коливань ЗЦМТ під час приготування (фери) змінюють більшу частину варіацій ($Y=55,2-0,4$).

де X_1 — амплітуда тремору дельтовидного та плече-променевого м'язів ($Y=52,91+0,4$).

де X_1 — амплітуда тремору ППМ, мкВ; X_3 — амплітуда коливань ЗЦМТ.

Дослідження, проведені з метою вивчення впливу варіацій амплітуди тремору на точність стрільби, показали, що збільшення амплітуди тремору ЗЦМТ перед стрільбою негативно впливає на точність стрільби.

Коливання ЗЦМТ перед стрільбою, є найбільш ефективним фактором, що впливає на точність стрільби, але не покращують стійкість пози.

Соматичні та вегетативні показники при різних позах у спортсменів-стрільців ($X \pm m$)

Показник	Поза 1	Поза 2	Поза 3	Поза 4
Амплітуда тремору, ум. од.	3,1 $\pm$ 0,25	7,5 $\pm$ 0,9	8,0 $\pm$ 0,27	10,9 $\pm$ 1,6
Амплітуда загального центру маси тіла у проекції, мм				
сагітальний	1,6 $\pm$ 0,16	1,6 $\pm$ 0,14	1,78 $\pm$ 0,14	4,76 $\pm$ 0,57
фронтальний	1,4 $\pm$ 0,12	1,6 $\pm$ 0,1	2,44 $\pm$ 0,27	5,37 $\pm$ 0,56
Електроміограма, мкВ				
дельтовидного м'яза	307 $\pm$ 30	321 $\pm$ 20	382,9 $\pm$ 25	513 $\pm$ 53,3
плече-променевого м'яза	82,7 $\pm$ 27	232 $\pm$ 17,6	219,6 $\pm$ 19,9	295,3 $\pm$ 17,9
Частота серцевих скорочень, хв ⁻¹	84,8 $\pm$ 3,3	92,8 $\pm$ 1,7	102,4 $\pm$ 2,5	111,2 $\pm$ 3,2
Частота дихання, хв ⁻¹	13,6 $\pm$ 0,8	13,1 $\pm$ 0,4	20,5 $\pm$ 1,3	21,2 $\pm$ 1,2
Хвилинний об'єм дихання, л·хв ⁻¹	6,0 $\pm$ 0,4	7,3 $\pm$ 0,3	8,9 $\pm$ 0,35	11,2 $\pm$ 0,6
Швидкість виділення CO ₂ , л·хв ⁻¹	0,6 $\pm$ 0,06	0,8 $\pm$ 0,03	0,82 $\pm$ 0,02	0,94 $\pm$ 0,02
Швидкість споживання O ₂ , л·хв ⁻¹	0,69 $\pm$ 0,08	0,87 $\pm$ 0,04	0,9 $\pm$ 0,02	1,13 $\pm$ 0,04
Витрати енергії, ккал·хв ⁻¹	3,3 $\pm$ 0,4	4,2 $\pm$ 0,2	4,45 $\pm$ 0,12	5,15 $\pm$ 0,12
Результат стрільби	—	49,4 $\pm$ 0,29	48,45 $\pm$ 0,53	46,74 $\pm$ 0,91

Підвищення амплітуди коливань ЗЦМТ у сагітальній і фронтальній проекціях супроводжується збільшенням ЧСС, електричної активності, ДМ, АТ, ХОД, ЧД, V_{O₂}, V_{CO₂}, енерговитрат, зниженням точності стрільби.

Розвиток стомлення при ускладненні пози характеризується синхронізацією частот і амплітуди коливань руки, нижніх кінцівок, спайкових розрядів мотонейронів, високими кореляційними взаємозв'язками між показниками, які відображають виникнення залежностей, близьких до функціональних.

Проведений аналіз показав, що погіршення регуляції пози в процесі запропонованих тестувань призводить до зниження точності стрільби. Математичні моделі, які відображають взаємозв'язки двох систем регулювання при виконанні точнісного руху, містять в собі, як ведучі компоненти, амплітуду коливань ЗЦМТ, електричну активність ДМ, ППМ. Зміною їх під час приготування (формула 1) і пострілу (формула 2) можна пояснити зміну більшої частини варіацій влучності стрільби при ускладненні пози.

$$Y = 55,2 - 0,434X_1 - 0,00568X_2 - 0,0164X_3, \quad (1)$$

де X₁ — амплітуда тремору, ум. од.; X₂, X₃ — електрична активність дельтовидного та плече-променевого м'язів, мкВ.

$$52,91 + 0,449X_3 - 0,723X_1 - 0,00005X_2, \quad (2)$$

де X₁ — амплітуда тремору, ум.од; X₂ — електрична активність ДМ і ППМ, мкВ; X₃ — амплітуда коливань ЗЦМТ у фронтальній площині, мм.

Дослідження, проведені на моделях, показали, що оберненопропорційна, близька до лінійної, залежність влучності стрільби від ведучих показників соматичної системи зумовлена під час підготовки переважно варіаціями амплітуди тремору, під час пострілу — варіаціями коливань ЗЦМТ.

Колівання ЗЦМТ перед пострілом відносно повільні, здійснювані з великою амплітудою, є найбільш керованими, в більшій мірі підвладними довільному регулюванню, через зміну яких спортсмени найбільш ефективно покращують стійкість пози і впливають на результат у стрільбі. Спорт-

смени високого класу здатні гальмувати їх, зменшувати амплітуду тремору, електричну активність ДМ і ППМ, виявляючи більш високу якість управління стійкістю пози в момент здійснення точнісного руху.

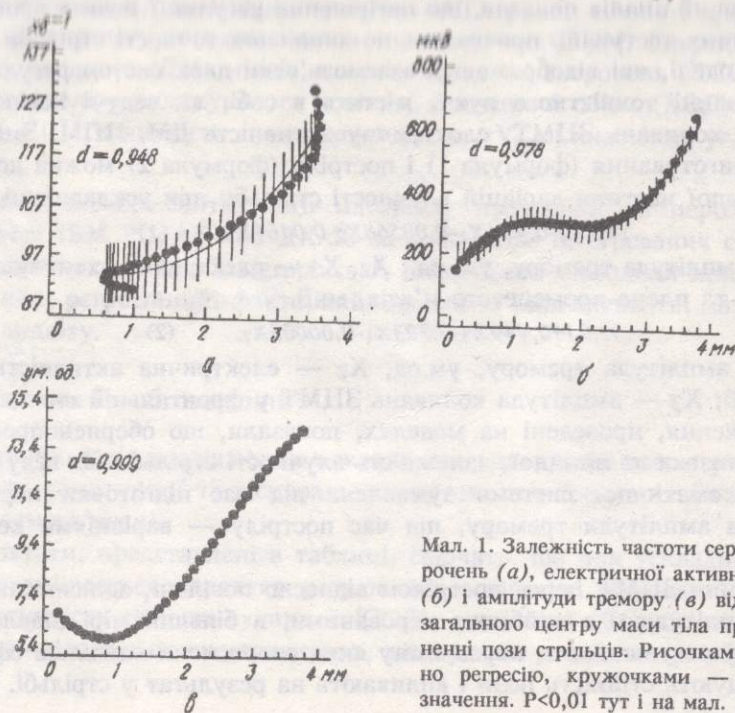
Коефіцієнти спарених і множинних кореляцій, регресій, факторний аналіз свідчать, що точність довільного руху визначається не тільки парціальним внеском окремих параметрів досліджуваних систем, а також їх взаємодією, в результаті якої виникає залежність, відмінна за ступенем і формою від парних взаємозв'язків.

Слід зазначити, що регулювання стійкості пози під час підготовки і пострілу тісно пов'язані: чим менш стійка поза в період підготовки (за 10—15 с до пострілу) у висококваліфікованого стрільця, тим більш активізуються механізми корекції, направлені на підвищення стійкості в момент пострілу, виявляючи управління по відхиленню на основі сигналів негативного зворотного зв'язку.

У спортсменів низької кваліфікації, а також під час утоми зміни тремору осцилярних сплесків електроміограм (ЕМГ), коливань ЗЦМТ синхронізуються як по частоті, так і по амплітуді. Підвищення одних коливань супроводжується збільшенням інших, виявляючи ефект позитивного зворотного зв'язку, що призводить до порушення рівноваги і влучності довільного руху під час утоми, аж до «розвалу» системи «поза — довільний рух», неможливості зберегти вибрану позу і здійснювати стрільбу по мішені.

Характеризуючи взаємозв'язки соматичної та вегетативної систем в момент підготовки і пострілу, необхідно підкреслити, що вони збільшуються з порушенням стійкості пози: підвищення основних коливань ЗЦМТ супроводжується експоненціальним збільшенням ЧСС, параболічним — електричної активності ДМ і АТ, лінійною залежністю ЧСС від електричної активності ДМ.

Форма регресивних кривих, градієнт їх змін, коефіцієнти кореляцій множинної регресії, свідчать (мал. 1), що ступінь інтеграції в рухомій системі



Мал. 1. Залежність частоти серцевих скорочень (а), електричної активності м'язів (б) і амплітуди тремору (в) від коливань загального центру маси тіла при ускладненні пози стрільців. Рисочками позначено регресію, кружочками — емпіричні значення. $P < 0,01$ тут і на мал. 2.

підсилюється в кінці та і МС на зміну параметрів (мал. 2).

Зниження стійкості підвищення активності та рухомої систем, збільшення V_{O_2} , V_{CO_2} , ЧД, АТ, електричної активності ДМ, енерговитрат, влучності стрільби, чим більше посилення інтерв'єлів у певних умовах як фізіологічних (вегетативної), так і психічних (поза і точнісного руху).

Аналіз взаємодії МС в момент підготовки і пострілу показав, що лінійної залежності ЧСС від електричної активності ДМ і АТ немає. Підвищення ЧСС перед пострілом експоненціальне, а перед пострілом експоненціальний характер має посилення взаємодії.

$Y = 93,3$

$Y = 84,5$

де Y — ЧСС, $хв^{-1}$, X_1 — електрична активність дельтовидного м'яза, мм.

Трифакторний дисперсійний аналіз ЧСС зумовлений (57,8 % ± 3 %), у підсумку експоненціальні залежності зберігаються при парних зв'язках, пов'язані зміни в системі стрільби.

Зміни взаємозв'язків між параметрами заданої пози в момент підготовки і пострілу, а також і характером коливань ЗЦМТ тіла пов'язані фізіологічними процесами, які відображені в ЕМГ ДМ, ППМ, коливань ЗЦМТ, що підтверджують це.

Результати дослідження починаються за 15—10 с до пострілу, починаючи з акціями бульбо-спинальних коливань ЗЦМТ тіла, управління, так і реакції на зміну положення тіла, більшою амплітудою і частотою коливань в момент реалізації руху у т. зв. «спинальній організації».

Коефіцієнти кореляцій свідчать, що високу ступінь залежності між параметрами повільної складової стабільності пози свідчать, що високі показники активності ДМ свідчать, що визначаються складністю руху, що породжені і сформовані

підсилюється в кінці тестування і при втомі збільшується реактивність ССС і МС на зміну параметрів стійкості пози, а ССС — на зміну активності МС (мал. 2).

Зниження стійкості рівноваги, підвищення активності та взаємодії ССС і рухомої систем, збільшення ЧСС, ХОД, V_{O_2} , V_{CO_2} , ЧД, АТ, електричної активності ДМ, енерговитрат, погіршення влучності стрільби, частково відображають посилення інтеграції за ускладнених умов як фізіологічних (рухомої, вегетативної), так і функціональних (пози і точнісного руху) систем.

Аналіз взаємодії МС і ССС при ускладненні пози показав, що близька до лінійної залежність ЧСС від провідних соматичних показників під час підготовки (формула 3) набуває безпосередньо перед пострілом (формула 4) експоненціальний характер, який відображає посилення взаємодії ССС і соматичної системи при розвитку втоми.

$$Y = 93,3 + 1,39X_1 + 0,026X_2 - 0,86/X_3 \pm 4,4 \quad (3)$$

$$Y = 84,55 + 0,33X_1 + 0,0255X_2 - 7,46X_3 \pm 0,37 \quad (4)$$

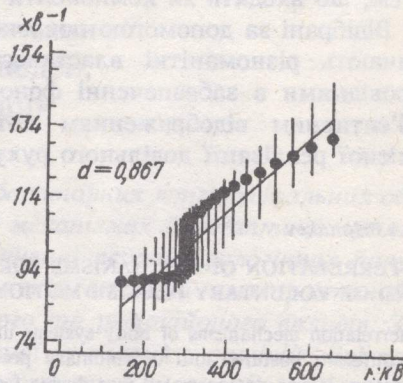
де Y — ЧСС, хв^{-1} , X_1 — амплітуда тремору, ум. од.; X_2 — електрична активність дельтовидного м'язу, мкВ, X_3 — амплітуда фронтальної стабілограми, мм.

Трифакторний дисперсійний аналіз показав, що більша частина дисперсії ЧСС зумовлена впливом взаємодії досліджуваних факторів (57,8 % $\pm$ 3 %), у підсумку якого система набуває властивостей, які не спостерігаються при парних взаємодіях. Із зазначеними змінами в системі пози пов'язані зміни в системі довільного руху — активності ДМ, точності стрільби.

Зміни взаємозв'язків фізіологічних систем у функціональній системі збереження заданої пози визначаються не тільки складністю утримання пози, а також і характером регулювання довільного руху, з параметрами якого пов'язані фізіологічні компоненти системи пози. Високі кореляції між ЕМГ ДМ, ППМ, коливаннями ЗЦМТ, тремору, влучності стрільби підтверджують це.

Результати дослідження свідчать, що упереджувальна стійка пози, яка починається за 15—10 с до руху, характеризується як природженими реакціями бульбо-спинального рівня у вигляді низькоамплітудних високочастотних коливань ЗЦМТ, тремору ніг, рук, тяжко підвладними управлінням, так і реакціями відносно повільного типу, які здійснюються з більшою амплітудою і підвладними управлінням аж до гальмування в момент реалізації руху у тренуваних спортсменів, що є важливою рисою супраспинальної організації рухів.

Коефіцієнти кореляцій, регресій і факторного аналізу, які відображають високу ступінь залежності влучності стрільби по мішені від амплітуди повільної складової стабілографічної кривої, тремору рук, електричної активності ДМ свідчать, що механізми взаємодії двох функціональних систем визначаються складністю утримуваної пози, участю в її регулюванні природжених і сформованих програм регулювання, структурою і характером



Мал. 2. Залежність частоти серцевих скорочень від електричної активності дельтовидного м'язу за умов ускладнення пози у стрільців.

регулювання, виконуваного довільного руху, швидше за все здійснюються на різних рівнях ЦНС і відбуваються через параметри кінцевого пристосувального результату кожної системи та через параметри фізіологічних систем, що входять як компоненти в функціональні.

Відібрані за допомогою покрокової регресії провідні показники, які визначають різноманітні властивості регуляції системи пози, виступають провідними в забезпеченні фонових умов довільного руху, можуть бути об'єктивним відображенням потенціалу організму, його готовності до якісної реалізації довільного руху.

A.A.Priimakov

INTERRELATION OF MECHANISMS FOR REGULATION OF POSTURAL STABILITY AND OF VOLUNTARY PRECISE MOTION IN ATHLETES

Interrelation mechanisms of body systems under common and complicated conditions for regulation of different postures and of voluntary precise motion were studied during the tests on athletes-shooters. It was demonstrated that during fatigue development under complicated conditions postural stability worsened, mechanisms of its correction aimed to improve stability at the moment of shot activated, activity and interrelations between the somatic and vegetative systems increased, precision of shooting decreased, which demonstrated intensification of integration of both physiological (motor and vegetative) and functional (postures and precise motion) systems.

It is concluded that interrelation mechanisms of two functional systems are determined by complexity of the stabilized posture, participation of both the inborn and formed regulatory programs in its regulation, structure and character of regulation of the voluntary action performed, and are realized at different levels of the CNS and manifested both via parameters of a final adjusting result of every system and via parameters of physiological systems by entering components into functional ones.

Ukrainian University of Physical Education and Sport,
Ministry of Affairs of Youth and Sport of Ukraine, Kiev

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анохин Н.К. Очерки по физиологии функциональных систем. — М.: Медицина, 1975. — 448 с.
2. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. — М.: Наука, 1965. — 256 с.
3. Гурфинкель В.С., Дебрева Е.Е., Левик Ю.С. О связи между восприятием положения звеньев тела и движением // Физиол. человека. — 1985. — 11, № 1. — С. 7—11.
4. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Центральные программы и многообразие движений // Управление движениями. — М.: Наука, 1990. — С. 32—41.
5. Иоффе М.Е. Кортикоспинальные механизмы инструментальных реакций. — М.: Наука, 1975. — 185 с.
6. Полякова Т.Д. Микрокинемаструктура и пути управления позой «изготовка» стрелка из пистолета: Дисс. ...канд.пед.наук. — Малаховка, 1984. — 199 с.
7. Полякова Т.Д. Формирование двигательных навыков стрелка: Учеб. пособие. — Минск: ИПП Госэкономплана РБ, 1993. — 122 с.
8. Сетров М.И. Основы функциональной теории организации : Философский очерк. — Л.: Наука, 1972. — 164 с.
9. Ioffe M.E., Ivanova N.G., Frolov A.A. et al. On the role of motor cortex in the learned rearrangement of postural coordinations // Stance and Motion, Facts and Concepts/ Eds V.S.Gurfinkel, M.E.Ioffe, J.Massion, J.P.Roll. N.Y.: Plenum Press, 1988. — P. 213—226.

Укр. ун-т фізич. виховання і спорту
М-ва України у справах молоді і спорту, Київ

Матеріал надійшов
до редакції 25.11.94