

СИСТЕМНА ВЗАЄМОДІЯ РУХОВИХ ФУНКЦІЙ У СВІТЛІ ПОГЛЯДІВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОЛІВ ТА СТВОРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОСТОРУ ЯК ФОРМИ ВАРІАТИВНОГО ПРИСТОСУВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ СКЛАДНИХ РУХОВИХ ДІЙ

У статті розкриваються перспективи узагальненого підходу до досліджень стабільності складних рухових дій, заснованих на поглядах і розробках відомого математика А. М. Ляпунова; використання концептуальних уявлень про "функціональні поля" і "функціональний простір"; визначається об'єктивна роль взаємодії та єдності механізму "варіативність – стабільність", яка доповнює і збагачує системно-структурний аналіз при дослідженні проблем формування і керування складних рухових дій та поведінки.

Вивчення форм м'язових зусиль та інших рухових функцій, механізмів їх перетворення у структуровані дії і поведінку взагалі сприяє уявленню не тільки про рухову гармонію, а й більш глибокому розумінню процесів, за якими збільшується ефективність окремих актів і цілісних складних дій, зміцнюється стійкість характеристик рухів *супротив негативних впливів* [1].

На прикладах складних гімнастичних вправ ілюструється механізм *приспосувальної варіативності*, як умови і принципу упорядкованого впливу декількох окремих функцій, узгодженість яких між собою складає особливе утворення, – *функціональний простір*, яке забезпечує стабільність дій.

Стаття має на меті узагальнене визначення форм *стійкості – стабільності* рухових завдань на основі *саморегуляції та екстраполяції*. Для спрощення деталей і розуміння теми корисно представити основні поняття та терміни:

Поле – *концептуальне уявлення, або графічне відображення якоїсь функції на площині або у просторі, яка розглядається окремо, у певних межах (напр.: підвищення кількості еритроцитів, збільшення об'єму легенів, частоти дихання, серцевих скорочень – це окремі функціональні поля.*

Функціональний простір – *концептуальне утворення, групування функцій – "полів", можливо різного призначення і спрямування, але функціонально пов'язаних, напр.: психологічних і рухових процесів, – взаємозв'язку емоцій і точності рухів, прояву сили й гнучкості, збільшення об'єму легенів і частоти дихання, – узагальнений (дуалістичний) показник вжитку кисню і ін.*

Область (функціональна) – *сукупність визначених частин полів, або простору, в яких мають місце ознаки взаємозв'язку, взаємодії, взаємозалежності.*

Область відхилень – *частка "поля" або "простору", в якому відхилення допустимі.*

Зона – *визначена частка області, поля, простору з окремими (окремою) ознаками.*

Фаза – *момент процесу, дії, руху в даній зоні, полі, просторі, області.*

Варіативність – *своєчасний вибір впливового й ефективного варіанту.*

Стійкість-стабільність – *це надійність процесу, або стану системи і властивість протистояти різноманітним негативним впливам.*

У першому наближенні, як приклади саморегуляції і показник *адекватної адаптації* [2], можна привести реакції організму на навантаження: зміну частоти серцевих скорочень при зміні умов праці; або вимушену зміну руху тіла (траєкторій його частин) при виконанні складної вправи, а також якась інша дія – протидія впливу суперечливих негативних умов [3].

І. Першочергові способи розширення функціонального простору

Приклад 1. У спортивній практиці збільшення силових (функціональних) можливостей здійснюється тривалим тренуванням спрямованим з одного боку на зміцнення скоротливої функції – *інтенсивності* м'язових волокон; з іншого боку – методикою збільшення об'єму м'язової маси (приросту м'язів). Завдяки другому напрямку спортсмен долає більший опір (наприклад, вагу штанги) за рахунок збільшення кількості (приросту) м'язових волокон, – *прибутку власної ваги.*

У другому випадку розширення *функціонального простору* створюється за рахунок *екстенсивного* (об'ємного) фактору і *стабільність (надійність подолання)* визначається кількістю задіяних рухових одиниць та скоротливих елементів – м'язових волокон.

Однак, варто узагальнено розглянути забезпечення *стійкості – стабільності* процесів за впливом *приспосувальних внутрішніх механізмів – варіативності* параметрів рухових систем і розширення *функціонального простору* за рахунок *поєднання полів та їх взаємодії.*

Підхід до цієї проблеми був позначений ще у XIX ст. відомим математиком А. М. Ляпуновим (1857-1918), який ще у 1885 р. надав наступне формулювання [4] (рис.1-а.): "Стан буде стійким, коли

для будь-якої області відхилень (Z) можливо вказати таку область (S), яка включає стан рівноваги (O), у якій траєкторія будь-якого руху в області стійкості ніколи не вийде з меж цієї області (S)". Подібний погляд розповсюджується на системний процес створення рухових дій і віддзеркалюється певними абрисами, формулюваннями і поняттями: *зона і область; дискретність, фаза, фазові моменти і траєкторії; функціональні: поле та простір. Перетворення – варіативність і стабільність як рух, стан і процеси системи та її окремих складових.* На рис. 1-а; 1-б відображені:

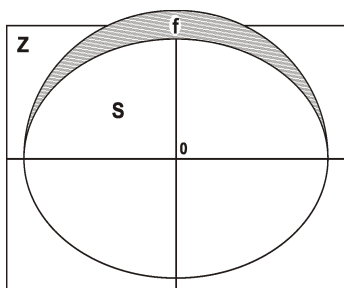


Рис. 1-а. Визначення стійкості у функціональному полі (за А. М. Ляпуновим)

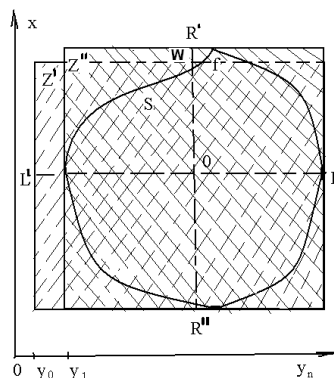


Рис. 1-б. Розширення меж поля за рахунок його перенесення

O – точка зрівноваженого і найбільш стійкого стану системи.

S – область стійкості (стабільності), функціональне поле позитивних впливів.

Z (рис.1-а), Z' , Z'' (рис.1-б) – області припустимих відхилень і функціональних полів, – *простір припустимого стійкого* (у певний момент) фазового стану системи.

X , Y (рис. 1-б) – координати (параметри) системи, у яких містяться імовірні області (Z' , Z'') та траєкторії дій, що розглядаються.

$OR'-OR''$ – віддалення припустимих відхилень по параметру X .

$OL'-OL''$ – віддалення припустимих відхилень по параметру Y .

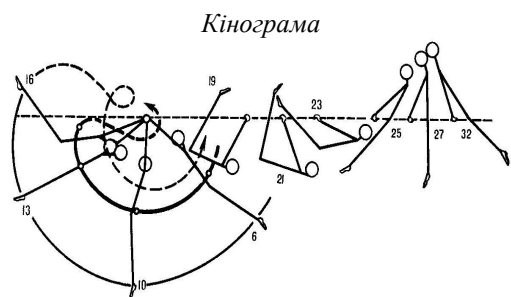
f – зона скривлення та критичного стану системи в області Z .

W – зона необоротного збурення для поля Z' , але компенсованого у полі Z'' (рис. 1-б).

Набуття і зміцнення стійкості – стабільності здійснюється певним способом.

II. Утримання стійкості за рахунок стабільності внутрішніх параметрів системи, – не виходячи з області стійкості (S)

Приклад 2. (рис. 2-А). Гімнаст, виконуючи на перекладині елемент "підйом розгином" визначає послідовні дії, певний розподіл зусиль та геометрії мас власного тіла: а) махом вперед, достатньо згинаючись, своєчасно підносить ноги до грифу (кадри 16-19-21), б) у фазі маху назад, розгинаючись з натиском прямих рук (плечі у гору), переміщується з вису в упор (кадри № 21-32).



А. Вид збоку: Траєкторії рухових ланцюгів

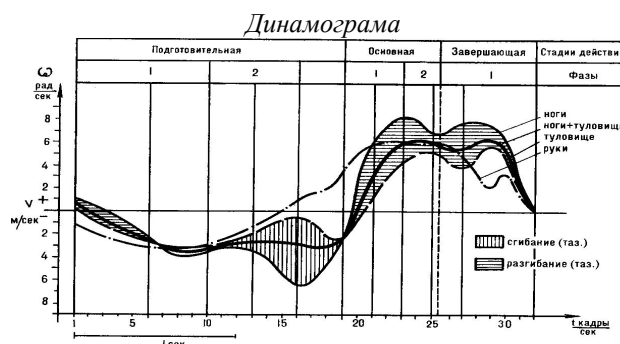


Рис. 2. Підйом розгином

Б. Динамічні параметри

Даний випадок можливо розглядати як системний перерозподіл силових і швидкісних параметрів, геометрію мас і прикладання зусиль у межах області – S, (рис. 2-Б), де *рух системи* та траєкторії ланцюгів (ніг, плечей) знаходиться у допустимих межах області (S), у функціональному полі Z, яке, за рис. 2-А, співпадає з кінограмою, визначене: вид збоку у вертикальній площині [5].

Деформація правильної траєкторії у русі ніг, тулубу, або згинання рук порушує *зону допустимих відхилень* і псує все завдання.

III. Утворення функціонального простору за рахунок розділення функціональних полів

Така форма стабільності здійснюється перерозподілом самої області допустимих відхилень як мінімум на два поля при наближенні функціональної траєкторії до критичної зони, яке *вирівнюється* *посуванням самої області* (Z'-Z'') для перекриття зони не стійкості – f (рис. 1-б).

Приклад 3. Гімнаст, виконуючі вправу на коні з ручками, розподіляє послідовні зусилля, що визначено параметрами опорних динамограм (рис. 3-а) та на кінограмі (рис. 3-б): фаза Ол – *опора на ліву руку*, (кадри 11-16) область – Z'; фаза Оп – *опора на праву руку* (кадри 23-26) область – Z''. Зони нестійкості – це фази ООФ (опори на одну руку). Фази стабілізації – ДОФ (опорні двох рук).

Позначені послідовні *перемахи* ногами через прилад: а) вправо-вперед – Z' (кадри 1-11) та б) вліво-назад – Z'' (кадри 23-30) складають повний цикл вправи "коло двома ногами" [7], (кадри 1-30). У даному випадку послідовний рух тіла й ніг навколо ручок, визначається у межах двох областей стійкості, що можливо розглядати як утворення **в одному** функціональному просторі (повному циклі) двох **полів**: навколо Ол і Оп, зі стабільними траєкторіями кожне (рис. 5-а та 5-б), тобто ті, стабільні в кожному повторенні, що не потребують корекції параметрів і включення механізму пристосувальної варіативності.

Динамограма

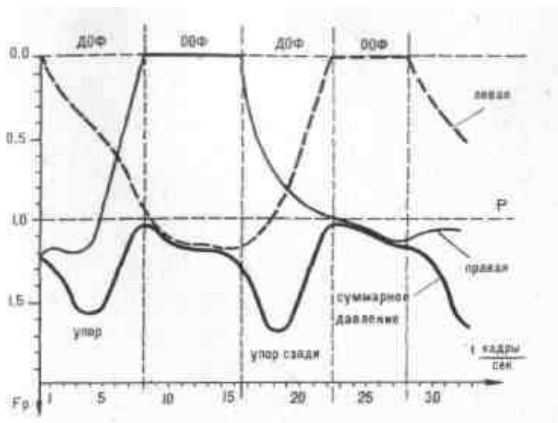


Рис. 3-а. Розподіл зусиль на ручки

Кінограма

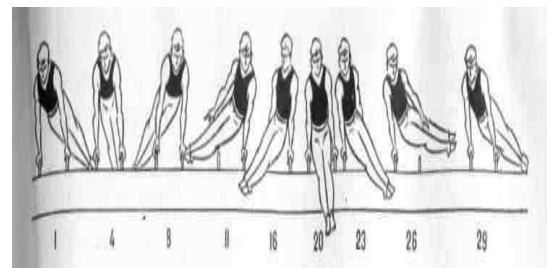


Рис. 3-б. Кола двома ногами на коні з ручки

IV. Розширення функціонального простору за рахунок посування саме області стійкості (Евристична екстраполяція як прояв пристосувальної варіативності)

Приклад 4. Гімнасту, що виконує звичайні круги ногами (Елемент-1), для наступного елемента потрібно оптимально переміститись вправо і виконати (Ел.-2), складний круг, опираючись обома руками на одну ручку. Але, гімнаст неочікуване зміщується у бік далі ніж потрібно і раптово виконує ін. елемент: "круг на тілі і ручці" і тільки потім вертається у заплановане положення (на одну ручку) і виконує пропущений (Ел.-2) – "круг на одній ручці". Після успішного завершення усієї комбінації на питання, чому він вніс зміни, гімнаст відповів: – Раптово почулось, що мене переносить подалі, – по за ручкою, тому я "увійшов" у круги на тілі й ручці (*тобто в інше поле*). Набравши швидкості у кругах, повернувся на одну ручку і вдало виконав "пропущений" елемент. Цей фрагмент був виконаний не свідомо, скоріше усього тому, що я добре володію кругами у положенні "різновисокої опори", – на тілі й ручці.

Розглядаючи ці події скрізь концепцію стійкості (за А. М. Ляпуновим) та "*варіативності – стабільності*", потрібно позначити наявність психологічних моментів *складових функціонального простору*: тих, що змінюються – варіативних по суті й позитивних для стабільності та *моменти "стану системи"* (рухові й психологічні), як *позитивні перетворення на неочікуваний виклик*:

а) надмірний неочікуваний вихід гімнаста із області Z' і перенесення "поля" та розширення функціонального простору; б) раптове створення області Z'' , завдяки досвіду та майстерності виконавця *перетворення системи*, заміщення (сполучення) областей Z' та Z'' і, таким чином, нейтралізація скривлення і відновлення стабільності за рахунок *евристичної екстраполяції*;

в) розширення меж самого поля (області) стабільності, (рис. 1-б. $S = Z' + Z''$);

г) повернення у вихідне положення – обернене *перенесення функціонального поля і простору* для виконання пропущеного гімнастичного елементу.

Визначені психологічні і рухові моменти дії (а, б, в, г) у функціональному просторі – це фази активного *перетворення системи рухів і набуття стабільності* за рахунок додаткових *фазових зусиль та траєкторій, тобто компенсаційних дій*, а у цілому *варіативності*, яка є проявом *варіативних здібностей* спортсмена та його фізичних здібностей, спритності.

V. Ускладнення умов стабільності та можливості математичного моделювання взаємодії функціональних полів і простору

Синхронізація полів (рис. 5-7) складається в системний "функціональний простір", яким "позначається сукупність функцій з певним для них цим чи іншим способом, поняттям відстані, або, більш узагальнено, близькості Функціонального простору – ФП, що містить разом з кожними двома елементами f_1 та f_2 усі їх лінійні комбінації $af_1 + bf_2$, де a та b – дійсні або комплексні числа, що називаються лінійним функціональним простором. Прикладом лінійного простору S (а, в) усіх безперервних функцій на деякому відрізку $[a, b]$ з відстанню $r(f_1, f_2)$ проміж двома функціями". Це визначається формулою :

$$r(f_1, f_2) = \max_{a \leq t \leq b} |f_1(t) - f_2(t)|; \quad \text{БСЭ (Велика Радянська Енциклопедія)}$$

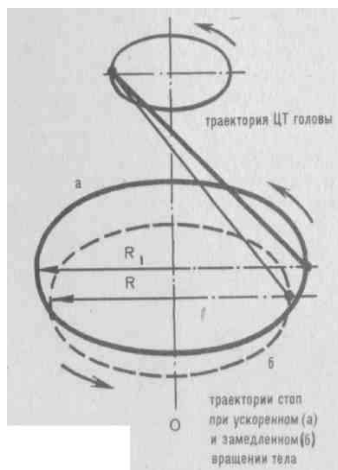


Рис. 4

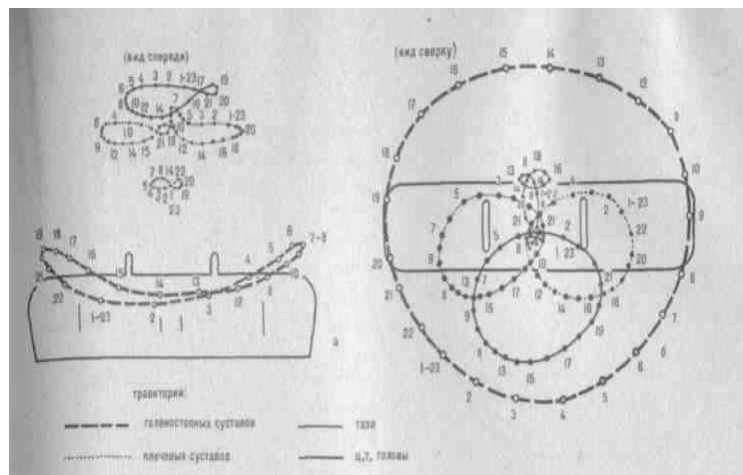


Рис. 5-а

Рис. 5-б

"Найважливіші конкретні лінійні простори, що розглядаються у функціональному аналізі, є функціональними просторами" (БСЄ). Це формулювання дозволяє розглядати ФП, як сукупність функцій віддалення зближення (напр.: до динамічно стійкого стану, на рис. 4.).

VI. Взаємодія полів і складання функціонального простору

Детальні пояснення системних механізмів взаємозв'язку *варіативності і стабільності*, зручно розглянути аналізуючи кінограми та характеристики складної вправи: типових колових рухів двома ногами на коні з ручками.

Приклад 5. (Рис. 6, 7). Тіло гімнаста розглядатимуться як складний фізичний маятник з трьох рухомих ланцюгів: а) плечовий пояс-руки, б) тулуб, в) ноги – це сегменти, які складають відкритий кінематичний ланцюг, де з опорою взаємодіють тільки руки, взаємодія траєкторій яких визначає багатомірний функціональний простір та області стійкості – стабільності, зони критичного стану: очікуваних – типових та неочікуваних порушень.

Зображення на рис. 3 та 7, дозволяють розглядати вправу "коло на коні з ручками", як системну взаємодію декількох (мінімум 2-х) фазових **полів**, аналізувати умови збереження стабільності обертального руху тіла гімнаста.

Ідеальні "кола двома ногами" (Рис. 4 та 5-б) – це рухи, при яких стопи і плечі гімнаста переміщуються по колах в горизонтальних площинах. Вони розглядаються як два паралельно розташованих *функціональних поля*, які, взаємодіючи з іншими факторами, складають *функціональний простір* з кількісними та якісними відмінностями. Так, на рис. 4 відображено, що зміна швидкості обертань змінює траєкторії, висоту та радіус, по якому рухаються стопи (R та R1).

З'ясовується закономірність, що у межах функціонального простору діє додатковий фактор – швидкість, який викликає як кількісні так і якісні зміни ідентичних рухів. Фактор впливовий у гімнастиці на якість виконання – оцінку у балах.

Порівняння рухів частин тіла на рис. 4 та 5 (а – вид спереду і б – зверху) визначає, що реальні траєкторії частково "провисають", тт. стопи опускаються нижче рівня тіла коня. На зенітному зображенні (рис. 5-а та 5-б) видно: форма траєкторій точок тіла – плечових суглобів і стоп при технічному виконанні вправи близька до правильного кола. Звісно, що дія реальна завжди різниться від модельного зразка. Важливо вказати, що правильність траєкторії, його *близькість* "г" до кола, це один з критеріїв якості вправи "кола на коні". Чим більш "зломів" має траєкторія (рис. 6), тим більш дія носить не природний, кепський вигляд і характер, переходить в *аритмічний*, – *силовий спосіб* виконання [5]. У реальній практиці гімнастів висока якість колових рухів виникає при володінні уніфікованим "кругом двома" (рис. 7). У такому "колі" стопи весь час переміщуються у площині близької до горизонтальної, яка розташовується по над "конем" (кадри 4-8), а кут нахилу тіла гімнаста, як в упорі спереду (кадр 2), так і в упорі ззаду (кадри 2 та 7), домірно однаковий. Для змагальної оцінки вправи *допустиму міру відхилень визначають і диктують умовні експертні уявлення – вимоги суддівства*.

VII. Визначення фазового характеру дій у функціональному просторі

Одне "коло" розподіляється на два перемахи – визначаються як *функціональні поля*: (рис.3-а, 3-б), кожне з яких має фази (рис.7): а) двох опорну – ДОФ (кадри: 1-3 спереду, 6-7 ззаду) і б) одно опорну – ООФ (кадри: 4 – на правої руці, кадр 9 – на лівої).

Розгляд особливостей цілісних кругів та позначених фаз з точки зору взаємодії *функціональних полів*, приводить до висновку: що для забезпечення *динамічної стійкості* "тіла-маятника" у більш складній ООФ, гімнаст ще у ДОФ повинний надати ногам достатній динамічний імпульс. Для цього гімнаст у ДОФ активними зусиллями збільшує швидкість руху ніг по колу. Складність в тому, що гімнаст повинен прикладати горизонтальні складові зусиль та спрямовувати їх як у вздовж, так і поперек пристрою у передньо-задньому спрямуванні (рис. 6, рис. 7, кадри 4 і 8).

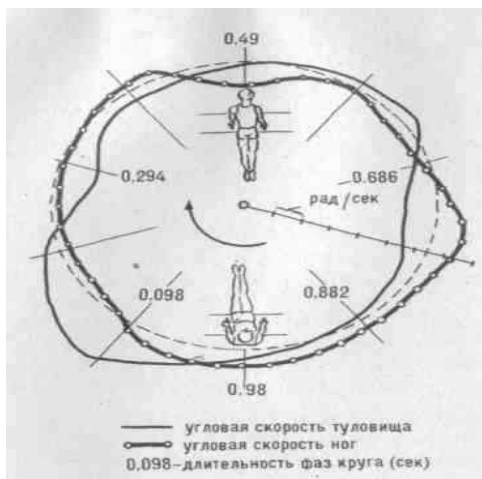


Рис. 6. Параметри кола двома

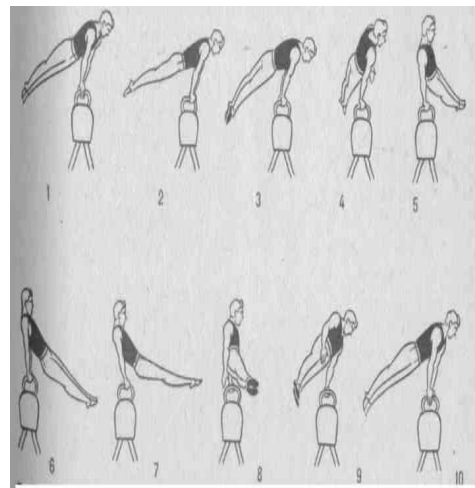


Рис. 7. Кадри та фази кола двома

Співвідношення цих зусиль весь час змінюється залежно від моменту руху. Услід за розгоном ніг гімнаст переходить в ООФ, а потім прискорює рух таза і гальмуючи стопи, прогинається, сприяючи цим завершенню перемаху та ранньому, випереджальному встановленню руки, переходу в наступне двохопорне (*стабілізаційне*) положення – ДОФ, тобто в опорній фазі на одній ручці (ООФ), кожен раз спостерігається момент *випереджального прискорення* таза.

Цій момент позначений хронограмою в полярній системі координат (рис. 6), де кутові швидкості ланцюгів тіла, – параметри, які, за В. І. Говердовським, для кожного гімнаста мають, достатньо особистою стійкою характеристикою [6]. Вона, як свідчать дослідження, залежить перед усім від

геометрії мас тіла гімнаста, морфологічних, фізичних та ін. особливостей спортсмена [5, 6], до яких необхідно визначити ступень свободи (не скруті) тіла, що забезпечує хлистоподібність руху. Можливо також визначити, що у ООФ тиск на руку приблизно дорівнює до ваги тіла і змінюється незначно. Дії у двох наступних фазах, пов'язаних з проходженням упору позаду (ДОФ), аналогічні описаному. На динамограмі простежуються співвідношення тривалості фаз у різних частинах кола. Видно (рис. 6), що реальний круг декілька аритмічний: дії в упорі – ДОФ та перемах вперед тривають трохи довше, ніж півкола в упорі ззаду. Вміння керувати темпом і ритмом у різних фазах кола особливо важливо для оволодіння переходами до інших, структурно віддалених елементів. Досвідченим гімнастам доступно регулювання як темпу, так і фазових траєкторій у кругах [6; 7]. Справжня зміна динаміки: прискорення руху ніг по колу, прискорення окремих сегментів тіла можливо розглядати, як зміни окремого *функціонального поля* та *простору* (напр.: радіусу обертання ніг та підйому нижньої частини тіла над опорою (рис. 4).

Характер рухів у фазах ООФ та ДОФ віддзеркалюється, за іншим, на динаміці усій вправи. Так, на рис. 3-а відмічено зміни вертикальної складової тиску на кожну ручку, а також сумарний тиск на снаряд у різних фазах круга. Просліджується, як в 1-й ДОФ (в упорі) одна рука гімнаста "розвантажується", а інша поступово приймає на себе вагу тіла. Видно, однак, що сумарний тиск на ручки може суттєво перевищувати вагу тіла (кадри 4, 5).

Це вказує на дію сил, спрямованих на збільшення швидкості колового руху ніг і означає, що гімнасту приходится дозувати і спрямовувати зусилля, як уздовж, так і поперек приладу.

Застосування математичних уявлень та адекватних їм методологічних підходів в аналізі структурної організації складних рухових дій збагачує теоретичні та уточнює практичні підходи до позитивного вирішення завдань навчання і оволодіння складних рухових дій.

Визначені матеріали (об'єктивні кіно- і хронограми), начертальні (рис. 4, 6) та розумово зорові уявлення, відображають взаємозв'язки та залежності процесів *стабілізації дій* за рахунок *варіативної координації* при виконанні керованих складних рухів. Зрозуміло, що "функціональні поля та простір" це не реальні об'єкти, площі та площини у двох або трьохмірному виміру, це не електричні або магнітні поля, які створюються при внесенні відповідного заряду. Але це концептуальні погляди на явища і процеси, які допомагають узагальненому, відвертому та чіткому розумінню сутності взаємодії не спостережених оком, але охоплених розумом подій [9], що цілком виноситься до організації та керування системи рухів.

Як стверджують сучасні дослідники відомі проблеми рухової діяльності – це її взаємозв'язок зі зміцненням здоров'я усіх верств населення [3; 6; 8], – вимоги оптимальних навантажень. Також цю проблему можливо узагальнено і чіткіше аналізувати з позиції *функціональних полів і простору*: тільки при одній умові фізичні навантаження і здоров'я спроможні та не суперечні, – коли посунання кожного *функціонального поля*, проводяться м'яко і плавно з урахуванням їх граничних меж у *функціональному просторі*, тобто коли навантаження кількісно та якісно оптимізовані, обходяться без "розриву" і самі *функціональні поля* процесу утримуються у *резистентних* межах.

Такий погляд на досягнення *стабільності від впливу варіативності доповнює системно-структурний підхід*; допомагає аналізу складних рухових дій, поведінки і інших явищ; узагальнює і доповнює уявлення про їх сутність та внутрішню організацію; допомагає чіткому визначенню впливів і взаємодії позитивних і негативних факторів.

Ці концептуальні уявлення відносяться до формування більш узагальненої теорії взаємодії об'єктів, – функціональних систем та їх складових; дослідження у цьому напрямку складає окремий предмет вивчення складних форм рухової діяльності і поведінки людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Айунц Л. Р. Сучасна система фізичної та спортивної підготовки / Теоретичні питання з фізичного виховання студентів педагогічних ВНЗ. – Житомир, 2002. – С. 92-104.
2. Фізичне виховання (Теоретич. розділ). Присяжнюк С. І., Краснов В. П., Третьяков М. О., Раєвський Р. Т., Кійко В. Й., Панченко В. Ф. – К.: Ц. Уч. літ., 2007. – 197 с.
3. Туманян Г. С. Здоровый образ жизни и физическое совершенство. – М.: ИЦ Акад. 2006. – 336 с.
4. Лернер А. Я. Начала кибернетики. – М.: Наука, 1967. – 400 с.
5. Маслов Б. В. Упражнения на коне. Гл. 12. / Учебник для ИФК "Спортивная Гимнастика" // Ред. В. К. Гавердовский. – М.: ФиС, 1979. – 327 с.
6. Дмитриев С. И., Пономарев Н. И. / Гимнастика. Биомеханическое исследование закономерностей формирования и совершенствования системы движений квалифицированного гимнаста. – М.: ФИС. – Вып. 1, 1980. – С. 32.
7. Менхин Ю. В., Волков А. В. Начала гимнастики. – К.: Здоров'я, 1980. – С. 213-214.

8. Шиян Б. М. Теорія і методика фізичного виховання. – Тернопіль: Богдан, 1988. – 153 с.
9. Погоруй А. О. Дослідження диференціальних рівнянь в частинних похідних методом моногенних функцій // Доповідь на пленарному засіданні наукової конф. викладачів ЖДУ за 2008 р. – Житомир, 2009.

Матеріал надійшов до редакції 25.09. 2009 р.

Айунц Л. Р. Системное взаимодействие двигательных функций в свете взглядов функциональных полей и создания функционального пространства как формы вариативного приспособления и обеспечения стабильности сложных двигательных актов.

В статье раскрываются перспективы обобщенного подхода в исследованиях стабильности сложных двигательных действий, основанных на концепциях известного математика А. М. Ляпунова, а также использование концептуальных представлений о "функциональных полях и пространстве", отмечается роль объективного взаимодействия и единства механизмов "вариативности – стабильности", что, в свою очередь, дополняет системно-структурный анализ при изучении проблем управления и формирования сложных двигательных и поведенческих действий.

Aiunts L. R. Systemic Interaction of Motor Functions in Terms of Functional Fields as Well as Creation of Functional Space as a Form of Variable Adaptation and Stability Maintenance of Complex Motor Acts.

The article focuses on generalized approach perspective while studying the stability of complex motor acts, based on the ideas of mathematician A. M. Liapunov and functional fields conception. The paper highlights the role of interaction as well as the unity of "variability-stability" that develops systemic and structural analysis while studying the problem of controlling and formation of complex motor and behavioral actions.