

УДК 159.938.3

Малхазов О. Р.

доктор психологічних наук, професор,
головний науковий співробітник лабораторії вікової психофізіології Інституту психології імені Г. С. Костюка НАПН України (м. Київ)

ДО ПИТАННЯ ПРО ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ХРОНОТОПУ

У статті розкрито психофізіологічні особливості функціонування хронотопу індивіда при організації, побудові та управлінні циклічними рухами.

Ключові слова: хронотоп, лабільність, циклічна, двокільцева, матрична, багатрівнева система організації, побудови та управління руховою діяльністю.

Актуальність. За О. О. Ухтомським, узгодженість у часі, у швидкостях, у ритмах дії, а відтак, у термінах виконання окремих реакцій утворює із просторово-роздільних гангліозних груп функціонально-визначений «центр». І у середовищі, що нас оточує, і всередині нашого організму конкретні факти та залежності сприймаються нами як порядки і зв'язки у просторі й часі між подіями [7]. Відтак хронотоп свідомого та несвідомого життя поєднує у собі минуле, теперішнє та майбутнє, що розгортаються у реальному та віртуальному просторі. З позицій сучасної психофізіологічної науки цей феномен майже не вивчався.

Загально відомо, що серйозним ускладненням, яке виникає на шляху усвідомлення та чіткого формулювання проблеми одномірності часу, є те, що здається неможливим існування «геометрії часу» (подібної до геометрії простору). Однак після виникнення теорії відносності та релятивістської космології стало зрозумілим, що твердження про неможливість адекватного геометричного уявлення реального часу втратило сенс. Поряд з геометрією стала формуватись і розвиватись хронометрія, до складу якої увійшли різноманітні часові моделі. Фізична геометрія та хронометрія стали лише двома сторонами фізичної геохронометрії, яка об'єднала просторовий і часовий аспекти у єдине ціле. Окрім одномірності, до топологічних властивостей часу відносять його безперервність, зв'язаність, впорядкованість та односпрямованість. На нашу думку, дослідження психофізіологічних особливостей функціонування хронотопу відкриває нові перспективи у моделюванні темпоральних процесів (при розробленні технологій психологічних впливів на актуальний досвід індивіда та на формування його поведінки, особливості прийняття рішень, обробку інформації тощо), у діагностуванні профпридатності, підготовці висококваліфікованих фахівців у різних видах діяльності тощо.

Метою нашого дослідження було з'ясування психофізіологічних особливостей функціонування хронотопу в організації, побудові та управлінні циклічними рухами верхніх кінцівок.

Для вирішення цього завдання використовувались методи хронометрії та теппінг-тест. Дослідження проводилося на комплексі «ДИК 01.01» вітчизняного виробництва КП «ЦКБ» «Арсенал» [3].

У нашій модифікації теппінг-тесту [3; 4; 5] циклічні рухи вказівного пальця провідної руки виконувались у максимальному темпі (перші 15 с), оптимальному темпі (наступні 60 с) і знову в максимальному темпі (останні 15 с). При цьому фіксувались: кількість повних циклів за секунду; t_1 — час від початку сигналу до початку руху; t_2 — час від початку руху до досягнення опори; t_3 — час від початку досягнення опори до початку зняття пальця з опори; t_4 — час від початку зняття пальця з опори до приведення його у висхідне положення; t_5 — час, витрачений на один повний цикл. Для надання більшої наочності отриманим результатам ми здійснювали порівняльний та математичний аналіз між двома льотчиками-асами (А і Б) за показниками мікроінтервалів часу та коефіцієнтів варіації описаних вище змінних. Зазначимо, що обидва льотчики за класичними методиками діагностування нейродинамічних та хронометричних показників достовірно не відрізнялися між собою ($P > 0,05$).

Загальновідомо, що у спинному мозку існують нейронні механізми, здатні генерувати відносно стереотипні реакції. У нашому дослідженні ми називатимемо їх автоматизмами різних рівнів організації, побудови та управління руховою діяльністю. Хоч автоматизми здаються достатньо простими утвореннями, зв'язки, які їх забезпечують, мають досить складну структуру. Ще більш складну структуру мають автоматизовані рухи відповіді, пов'язані із циклічними рухами. Очевидно, що вони не можуть здійснюватись за рахунок простих зв'язків від рецептора до мотонейронного пулу. Принаймні, повинен існувати якийсь проміжний контур зі здатністю до осциляції. Проте майже в усіх досліджуваних випадках [1–7 та ін.] було виявлено, що такі осциляції виникають і за умов відсутності пропріоцептивного зворотного зв'язку. Запропоновано ймовірний механізм, який здійснює реципрокную рухову активність, сутність якого полягає в тому, що нейрони, які беруть участь у двох різнопланових рухах, одночасно отримують збуджувальні імпульси, проте вони гальмують один одного через зв'язки, які здатні до дуже швидкої адаптації та відновлення власної збуджуваності. Під час збудження однієї групи нейронів інша на деякий час гальмується. Таким чином збудження утримується доти, доки гальмівний вплив, у свою чергу, не послабиться. Потім знову збуджується перша група і цикл повторюється.

Аналізуючи коефіцієнти варіації мікроінтервалів часу в кожному із циклів при виконанні теппінг-тесту [3–5], ми отримали картину, яку спостерігав М. О. Бернштейн [1] зі своїми колегами, а саме: організму в якихось межах і в якихось напрямках «байдуже», чи буде черговий цикл руху кінематично реалізований так чи на декілька міліметрів (секунд) інакше. Фактично індивідом порівнюються розбіжності між образом виконання рухової діяльності та образом потребового майбутнього. А це означає, що у розглянутій нами пристосувальній та стохастичній варіативності хронотопу відображаються риси циклічної, двокільцевої, багаторівневої, матричної системи організації, побудови та управління рухами.

В роботах [1; 2; 4–7 та ін.], відповідно до описаної ними моделі, провідний рівень управляючого центру мозку спрямовує по еферентних шляхах у низові (спинальні) інстанції не конкретні та деталізовані команди м'язам, а команди про включення тих або інших матриць, розташованих на відповідних рівнях управління. Ці матриці сформувалися як у філогенезі, так і в онтогенезі й локалізувались у сегментних апаратах спинного мозку в складі α - й γ -нейронів, аферентних нейронів різних видів та якостей і так званого інтернейронного середовища. З моменту запуску кожна подібна функціональна матриця має достатній ступінь автономності у здійсненні відповідних елементів рухового акту, маневруючи та перемикаючи свої складові або за наказом механізмів, що зіставляють (при виникненні розбіжностей між показниками аферентної сигналізації), або коли ситуація виявляється непосильною для даної матриці. У такому разі остання звертається за допомогою до розташованих вище управляючих центрів. У запропонованій нами теорії механізмів організації, побудови та управління рухами, діями, діяльністю низові матриці не тільки здатні накопичувати досвід, тобто формувати свої зв'язки та «тактики» на підставі даних, отриманих під час взаємодії індивіда з оточуючим середовищем, але й вести активний пошук оптимальних форм поведінки, яку вони обслуговують. Отже варіативність виникає за рахунок функціональних властивостей сегментарних матриць, які виконують важливу роль «відшаровування» суттєвих компонент дії і пристосування до зовнішніх умов та перешкод і залежать від будови та форм доцільних взаємовідношень між субординаційно поєднаними рівнями. Це означає, що наявність варіативності в кожному конкретному випадку є своєрідним відображенням такої побудови і таких форм. Тобто йдеться про обоюсторонній процес підпорядкування темпів та просторово-часової організації життєдіяльності індивіда темпам та просторово-часовій організації сигналів, які надходять із оточуючого середовища, що приводить до покращення адаптації організму та задоволення потреб. Таким чином, організм можна уявляти як систему м'язових ансамблів та органів, які мають різну лабільність, різні робочі ритми, здатні в достатньо широких межах змінюватись під впливом імпульсів збудження. За таких обставин на кору покладається загальне узгодження ритмів в організмі, укладання подій у часі та просторі, забезпечення терміновості правильної оцінки поточної стратегічної ситуації, що виникла, щоб вчасно знайти адекватну відповідь на події оточуючого середовища. Механізм, який забезпечує просторово-часові узгодження ритмів у м'язових ансамблях та органах, повинен сам бути здатним формувати та відтворювати такі ритми, узгоджувати їх, синхронізуючи в одних елементах чи збільшуючи гетерохронізм в інших.

Нагадаємо, що у сучасному розумінні нейрофізіологів поняття тонуус включає широке підготовче налаштування рухової периферії (передусім шийно-тулубової мускулатури та мускулатури нижнього плечового поясу — шийний та попереково-крижовий сервомеханізми) до здійснення пози або руху. Услід за О. О. Ухтомським, М. О. Бернштейном ми стверджуватимемо, що: тонуус, як фізіологічне налаштування та організація

периферії до пози або руху, є не станом пружності, а станом готовності; тонус — стан не тільки м'язів, а й усієї нервово-м'язової системи, включно з останнім спинальним синапсом та кінцевим загальним шляхом. З таких позицій тонус відноситься до координаційної структури, як стан до дії або як передумова до ефекту.

Аналізуючи результати досліджень [1–7 та ін.], можна констатувати, що досконала координаційна структура — це структура, яка здатна видавати необхідний імпульс у потрібний момент, уловлюючи швидкоплинні фази високої силової провідності та перечікуючи ті фази, в яких ця провідність проходить через низькі значення. Очевидно, що за таких умов ефективним буде саме той імпульс, який застане у синапсах на момент свого прибуття найвищий рівень провідності, або ж той імпульс, котрий за своїми якостями буде найбільш адекватний умовам провідності («лабільності») у кінцевому синапсі. Лише у рідкісних випадках активність у одному синапсі буває достатньою для появи нового імпульсу. Як правило, нейрон повинен отримати багато імпульсів, перш ніж у ньому виникне імпульс відповіді. Генерація імпульсу робить нейрон недієздатним впродовж приблизно 0,001 с. На практиці максимальна частота відповіді нейрона є приблизно такою: від 300 до 800 ($\bar{X} = 550$) розрядів за с, що дорівнює відповідно 0,00125–0,003333 с ($\bar{X} = 0,002292$ с). Ймовірніше за все можна вважати, що гіпокамп, лобові долі й, можливо, інші ділянки лімбічної системи у першу чергу відповідальні за гальмування запланованих реакцій до тих пір, поки вони не потрібні [1–7 та ін.]. Встановленим є факт активного, фільтруючого ставлення рухової периферії до імпульсів, які прибули до неї, та обумовленість цієї активності не центральними відношеннями, а аферентаційним полем. Звідси випливає, що при здійсненні управління рухами та просторово-часової організації поведінки вирішальну роль повинна відігравати аферентація — і та, яка визначає фізіологічну провідність, периферичних синапсів, і та, котра тримає мозковий центр в курсі поточного механічного та психофізіологічного стану рухового апарата. Центральні ефектори можуть здійснювати координовані рухи, тільки пластично реагуючи на сукупну сигналізацію, яка надходить з аферентаційного поля, прилаштувавши імпульси, які надсилаються, до того, що у поточній реальній ситуації має місце на периферії. Відтак, координація є складним сенсомоторним процесом, який бере початок від аферентного поля і завершується точною, адекватною центральною відповіддю. Але при цьому і сам аферентний потік координаційного процесу є формою реагування периферії тіла на щойно розпочатий або поточний рух. У цьому і виявляється механізм замкнутого кільця, утворений функціональними синапсами двох півкільць. При цьому збуджуючим півкільцем слугує еферентний нервовий шлях, а реагуючим півкільцем — аферентний нейронний шлях. За таких умов точкою замикання виступає функціональний зв'язок між руховим імпульсом і результуючим рухом. Ці залежності схематично відображені на представленій нижче схемі (рис. 1). Запропонована схема ілюструє роль системи вставних нейронів у механізмі функціо-

нування центральної нервової системи взагалі й особливо у корі півкуль. Висхідний аферентний шлях стимулює дендрит пірамідальної клітини, а разом з тим і систему вставних нейронів 1, 2, 3, 4..., які ув'язані синапсами між собою та з пірамідальною клітиною. Звідси розглянутий механізм здатний видозмінювати та перебудовувати хід розпочатого збудження у пірамідальній клітині. Крім цього, еферентний нейроаксон своєю поворотною гілкою (r) здатний сигналізувати системі вставних нейронів про хід поточного процесу збудження у пірамідальному нейроні й таким чином вносити додаткові варіанти у кінцевий результат. Крім цього, ми маємо наочно представлений механізм, необхідний для стаціонарного збудження за типом замкненого міжцентрального циклу у вигляді кілець: гранулярна клітина → дендрит пірамідальної клітини → аксон пірамідальної клітини → поворотна колатераль останнього → гранулярна клітина. Додаткові кільця є між клітинами гранулярного шару та відростками пірамідальної клітини. Коли пірамідальна клітина почне розряджати хвилі збудження у свій нейроаксон, колатеральні гілки понесуть хвилі зворотньо у товщу гранулярних клітин, щоб відновити і, ймовірно, трансформувати їх імпульси на пірамідальні дендрити, впливаючи через них на стан збудження в самій пірамідальній клітині. Відтак, щоби зрозуміти результат реакції, необхідно знати історію її утворення у нервових елементах не тільки у макро-, але й у мікро-інтервалах часу.

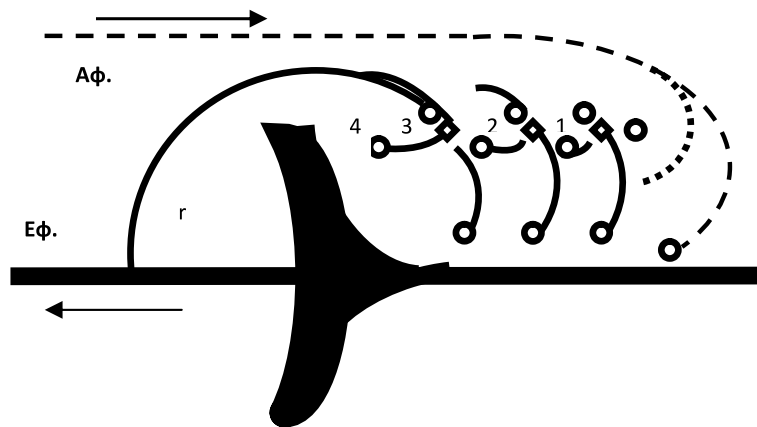


Рис. 1. Схема функціонування вставних нейронів ЦНС і, зокрема, в апараті кори півкуль (Лоренте де Но цит. за О. О. Ухтомським). Умовні позначення: Аф. — висхідний аферентний шлях; 1, 2, 3, 4 ... — система вставних нейронів, котрі ув'язані синапсами між собою і з пірамідальною клітиною; Еф. — еферентний нейроаксон з поворотною гілкою r; r — поворотна гілка еферентного нейроаксону

Відносно простим кількісним показником є швидкість розвитку та закінчення збудження в окремих ділянках нервового шляху, тобто їх лабільність. Нагадаємо, коли два «залпи» надходять до клітини одночасно або майже одночасно, прихована сумація буде відбуватись максимально швидко і клітина прискорено перейде до розрядів імпульсів у нейроаксон. При цьому сумація ефектів із синапса слабшає при інтервалі між залпами у 2 мс і припиняється при інтервалі 4 мс; коли синапси утримують ганглі-

озну клітину тривалий час під збіглим вогнем імпульсів, клітина тривалий час утримує збудливі стани того або іншого ступеня, тобто той або інший ступінь готовності до відповіді на додатковий імпульс повномірного хвильового збудження у нейроаксон.

Отже у верхніх рівнях координаційної структури відбувається процес доцентрового замикання на відцентровий, але відцентровий, дійшовши до периферії, миттєво замикається там на новий доцентровий. Таким чином, нервово-м'язовий тонус є центрально керованим налаштуванням усіх функціональних параметрів кожного м'язового елемента та його ефекторного нервового волокна. У період підвищеної лабільності нервові елементи не тільки реагують швидше і здатні відтворювати ритми подразнення, що надходять до них точніше, але ще й відображають теперішній стан середовища більш адекватно і відтворюють закарбовані сліди відображених у минулому деталей більш стійко. Таке налаштування позначається на механічних властивостях м'язів як у збудженому, так і в загальмованому або нейтральному стані (через їх пружність, розтяжність, в'язкість і т. ін.), на ступені та швидкості збудливості їх нерва і, ймовірно, на швидкості проведення по них збудження. По ходу руху одні м'язи завчасно (на частки секунди) пригальмовуються, збудливість інших, котрі повинні починати діяти, збільшується внаслідок зниження їх силових та часових порогів тощо. Це фонове попереднє налаштування важливе ще й тому, що швидкість руху імпульсів-сигналів по нервах обмежена, а при переходах з одного нейрона на інший відбуваються ще втрати мілісекунд на «синаптичні затримки». Відтак без випередження корисні ефекти дії сигналів зворотного зв'язку неминуче запізнювалися б по відношенню до тих порушень руху, про які вони сигналізують. Ці тонічні зсуви, що упереджують початок руху, називаються нервово-м'язовими ефектами установки.

Сучасні психофізіологи чітко розмежують дві форми процесу збудження. Перша з них — неокінетична — дуже молода в еволюційній історії. Вона проявляється через ритмічні ланцюжки вибухоподібних імпульсів збудження — спайків, які підпорядковуються закону «все або нічого». Ці імпульси розповсюджуються без затухання вздовж нервових волокон на значних швидкостях: від 60 до 120 м/с. Відомо, що під час подразнення дорсального корінця імпульсом середньої інтенсивності приблизно через 1 мс з'являється великий короткий спайк або гостра хвиля, за якою слідує серія хвиль з меншою амплітудою. Така серія триває 10–20 мс. Спайк відображує синхронний «залп» імпульсів у аксонах багатьох мотонейронів; хвилі репрезентують менш синхронну, таку, що запізнюється, активність інших мотонейронів. Можна вважати встановленим той факт, що початковий спайк відображає пряму відповідь мотонейронів на сигнали, які надходять від чуттєвих волокон. Кожний синапс утворює затримку приблизно на 0,8 мс, до якої ще слід додати час проведення імпульсів по аксону вставного нейрона. Проходження імпульсів через різне число вставних нейронів, перш ніж вони досягнуть мотонейронного пулу, зумовлює велику подовженість та відсутність синхронності (наприклад, хвиль, що регулюють

положення тіла). Коли інтервал між імпульсами перевищує 10 мс, полегшуючий вплив першого «залпу» на другий майже не виражений. Таке явище має назву *часової сумачії*. Воно зумовлене частковою деполяризацією багатьох мотонейронів, викликаною першим залпом. Ця деполяризація, хоч вона й недостатня для виникнення імпульсів в аксонах мотонейронів, зберігається впродовж декількох мілісекунд і може підсумовуватись із деполяризацією, викликаною наступним «залпом», що приводить до відповіді у вигляді реакції нейрона. Друга форма — палеокінетична — більш давня за своїм проявом у філогенезі. На відміну від неокінетичної форми протікання збудливого процесу імпульси палеокінетичного процесу *дозовані*, тобто ніяким чином не зв'язані із законом «все або нічого»; *двозначні*, тобто можуть проявляти себе як через збудження, так і через гальмування; *їх активність позбавлена вибухоподібності*, допускаючи замість мілісекундних дискретних піків повільні хвилі будь-якої форми та висоти. Найбільша їх відмінність полягає у тому, що діелектричні оболонки волокон не є для них перешкодою і вони здатні розповсюджуватись упоперек волокон. Тому дану форму (на противагу неокінетичній, каналовій) визначають як хвильову форму протікання нервового процесу. По відношенню до головного мозку можна з упевненістю стверджувати, що саме ці хвильові процеси, пронизуючи значні товщі мозкової речовини і на додаток черепні покриви, управляються його біострумами.

Як прийнято у медико-біологічних, фізичних та психофізіологічних дослідженнях, у нашому дослідженні ми вважатимемо, що коефіцієнти варіації, більші від 15 %, свідчать про суттєві зміни у функціональних властивостях досліджуваних нами сегментарних матриць. Аналізуючи отримані результати, можна констатувати, що спільним для обох досліджуваних є найбільша кількість збоїв в організації, побудові та управлінні t_3 — часом від початку досягнення опори до початку зняття пальця з опори, в усіх трьох серіях досліджень. Це свідчить про індивідуальні розбіжності у «тактиках» організації, побудові та управління циклічними рухами. В управлінні часом знаходження на опорі основну роль відіграють хвилі довготривалого протікання (до 100 мс), які презентують збудження переважно еферентних гангліозних клітин кори, тонічні та тетанічні загрузки, тобто лабільність та якість попередніх налаштувань усіх матриць, розташованих по ходу виконання даного руху. Значне переважання кількості збоїв у льотчика-аса А над льотчиком-асом Б (69 проти 39) свідчить про кращі показники лабільності, координаційної структури та психофізіологічної ціни роботи у льотчика Б. Також можна констатувати, що в організації, побудові та управлінні циклічними рухами не зустрічаються спайки аферентних нервових волокон у корі (дуже короткі та часті розряди високих амплітуд, такі, що нагадують токи дії периферійних нервових розрядів (1–2 мс)); натомість часто виникають хвилі стійких ритмів (тривалістю 5–10 мс), які презентують розряди вставних нейронів кори, передусім нейронів гранулярного шару; і найчастіше — хвилі довготривалого протікання (до 100 мс), які презентують збудження переважно еферентних гангліозних клітин кори. Тобто управління здійснюється в основному екс-

трапірамідальними шляхами, тому замість закону «все або нічого» працює закон мінімізації. Фактично йдеться про діагностування проблемних зон в організації, побудові та управлінні циклічними рухами.

Висновки

Відмінності у варіативності мікроінтервалів часу виконання циклічних рухів є індикатором функціонування просторово-часової (хронотоп), циклічної, двокільцевої, багаторівневої, матричної системи організації, побудови та управління рухами, діями, діяльністю взагалі й циклічними рухами верхніх кінцівок зокрема.

Лабільність — незалежний інтегративний показник, що характеризує особливості попереднього налаштування тонічних та тетанічних заґрунтовок, кількість проходження сприйнятої і переробленої психікою інформації за певний час через усі відділи системи організації, побудови та управління руховою діяльністю, які задіяні для усвідомлення смислової структури і задачі дії відповідно до ситуації, що виникла і можливостей індивіда на даний час.

Список літератури

1. Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности / Бернштейн Н. А. — М.: ФИС, 1966. — 349 с.
2. Малхазов О. Р. Психологія та психофізіологія управління руховою діяльністю: [монографія] / О. Р. Малхазов. — Київ.: Євролінія, 2002. — 320 с.
3. Malkhazov A. R. New solutions to the problem of the psychological support of an operator's safety / A. R. Malkhazov // Proceedings of the Second World Congress «Aviation in the XXI-st century» «Safety in aviation and space technology». — Kyiv: NAU, 2008. — Vol. 2. — P. 6.28–6.32.
4. Малхазов О. Р. Часові показники зорово-моторних реакцій як індикатори надійності людського чинника / О. Р. Малхазов // Проблеми екстремальної та кризової психології. Збірник наукових праць. — Харків: УЦЗУ, 2010. — Вип. 7. — С. 350–361.
5. Малхазов О. Р. Теплінг-тест як метод діагностики психофізіологічних особливостей організації, побудови та управління циклічними рухами // Актуальні проблеми психології. — Т. 5: Психофізіологія. Психологія праці. Експериментальна психологія. — 2012. — Вип. 12. — С. 139–159.
6. От нейрона к мозгу / [Николлс Джон, Мартин Роберт, Валлас Брюс, Фукс Пол; пер. с англ. П. М. Балабана, А. В. Галкина, Р. А. Гиниатуллина, Р. Н. Хазипова, Л. С. Хируга]. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 672 с.
7. Ухтомский А. А. Физиология двигательного аппарата / Ухтомский А. А. — Л.: ЛГУ, 1952. — Т. 3. — 214 с.

Малхазов А. Р.

доктор психологических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории возрастной физиологии
Института психологии имени Г. С. Костюка НАПН Украины (г. Киев)

К ВОПРОСУ О ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ХРОНОТОПА

Резюме

В статье раскрыты психофизиологические особенности функционирования пространственно-временной структуры (хронотопа) при организации, построении и управлении циклическими движениями индивидом.

Ключевые слова: хронотоп, лабильность, циклическая, двукольцевая, матричная, многоуровневая система организации, построения и управление двигательной деятельностью.

Malkhazov O. R.

doctor of psychological sciences, professor,
senior researcher of the laboratory of age psychophysiology
of the Institute of Psychology named after S. G. Kostyuk of NAPS, Kyiv

ABOUT PSYCHOPHYSIOLOGICAL PECULIARITIES OF CHRONOTOPE FUNCTIONING

Summary

In the article are opened, the psychophysiological special features of the functioning of time-spatial structure (chronotope) during organization, construction and control of cyclic motions by individual.

Key words: the chronotop, lability, the cyclic, bi-circular, matrix, multilevel system for organization, construction and control of engine activity.