

УДК 612.821.3+612.172

## ГЕМОДИНАМІКА ГОЛОВНОГО МОЗКУ ТА СЕРЦЕВИЙ РИТМ ПРИ РОЗУМОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДЕЙ З РІЗНИМИ ІНДИВІДУАЛЬНО- ТИПОЛОГІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ВИЩИХ ВІДДІЛІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ

*Макаренко М.В.<sup>1</sup>, Лизогуб В.С.<sup>2</sup>, Юхименко Л.І.<sup>2</sup>, Черненко Н.П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Науково-дослідний центр гуманітарних проблем Збройних сил України, Київ, Україна

<sup>2</sup>НДІ фізіології ім. М. Босого Черкаського національного університету ім. Б. Хмельницького,  
Черкаси, Україна

E-mail: v\_lizogub@ukr.net

За результатами дослідження гемодинаміки головного мозку та серцевого ритму (СР) при розумовій діяльності у осіб з різною градацією типологічних властивостей вищих відділів центральної нервової системи, функціональної рухливості нервових процесів (ФРНП) виділено чотири типи вегетативних механізмів регуляції: оптимальний, компенсаторний, декомпенсаторний та їх зрив. Особи з високим рівнем ФРНП на відміну від обстежуваних з низькою градацією досліджуваної типологічної властивості, характеризувались помірною та узгодженою активацією як специфічних, так і неспецифічних механізмів регуляції гемодинаміки головного мозку та серцевого ритму.

**Ключові слова:** функціональна рухливість нервових процесів, варіабельність серцевого ритму, церебральна гемодинаміка, механізм регуляції, розумова діяльність.

### ВСТУП

В науковій літературі актуальною і жвавою є дискусія про особливості регуляції серцевого ритму та гемодинаміки головного мозку при розумовій діяльності [1–3]. Одні дослідники вважають, що розумова робота супроводжується підвищенням гемодинамічного забезпечення головного мозку [4, 5]. Інші – виявили зниження кровопостачання мозку під час напруженої розумової діяльності [6, 7]. Встановлено і те, що при розумовій діяльності відбуваються різноспрямовані реакції мозкової гемодинаміки [8]. Вагомим поясненням таких змін гемодинаміки мозку може бути гіпотеза про участь індивідуально-типологічних властивостей ВНД у механізмах регуляції гемодинамічних реакцій. Але питання про зв'язок індивідуально-типологічних властивостей центральної нервової системи з характером вегетативних реакцій під час розумової діяльності залишається дискусійним. Отримано дані, які свідчать, що індивідуально – типологічні особливості вищих відділів центральної нервової системи у стані спокою та під час впливу на організм слабких короткотривалих навантажень не зв'язані з вегетативними реакціями зареєстрованими за показниками СР [2, 3]. В той же час деякими авторами вже у стані відносного спокою спостерігались відмінності у механізмах активації регуляторних

систем СР у людей з різними індивідуально-типологічними властивостями [8]. Механізми міжіндивідуальних відмінностей регуляції СР і гемодинаміки головного мозку при розумовій діяльності різної складності також невідомі.

Тому метою роботи було з'ясувати роль індивідуально-типологічних властивостей вищих відділів центральної нервової системи у вегетативних механізмах забезпечення розумової діяльності.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження проводили з участю 158 студентів віком 18-21 рік. На початку кожного обстежуваного ознайомлювали з усім комплексом методик та організацією дослідження. Спочатку визначали індивідуально-типологічні властивості вищих відділів центральної нервової системи, а саме ФРНП за методикою М.В. Макаренка [9] на комп'ютерному комплексі «Діагност-1» в режимі "нав'язаного ритму". На цьому комплексі визначали найвищий темп диференціювання позитивних і гальмівних подразників, які слідували один за одним. Кількісним показником ФРНП була максимальна швидкість пред'явлення подразників, на якій обстежуваний робив не більше 5-5,5% помилок.

Після визначення ФРНП проводили дослідження розумової працездатності при переробці інформації на високій швидкості її пред'явлення, що була індивідуальною для кожного обстежуваного, тобто еквівалентною його рівню ФРНП. Виконання розумової роботи тривало впродовж 30 хвилин.

Варіабельність СР, хвилову структуру серцевого ритму (ХССР) та показники спектральної реоенцефалограми (РЕГ) досліджували в стані спокою, безпосередньо перед розумовою роботою та впродовж 30 хвилин під час переробки інформації.

Мозковий кровообіг досліджували у першій половині дня, в положенні сидячи. Використовували метод спектральної РЕГ (РеоКом ХАІ Medica) за стандартною схемою введення електродів у фронто-мастоїдальному (FM) відведенні. Вираховували: хвилинний об'єм крові (ХОК, мл/хв.), тонуус крупних (Тк, у.о.), середніх і дрібних (Тсд, у.о.) артерій, дикротичний (ДКІ, %) та діастолічний індекс (ДСІ, %).

Характеристики СР та ХССР реєстрували на комп'ютерному комплексі „Caspico” (Коваленко С.О., 2005) і отримували значення: HF (потужність у діапазоні високих (0,15-0,4 Гц)), LF (низьких (0,04-0,15 Гц)), VLF (дуже низьких (<0,04 Гц)) частот, коефіцієнт вагосимпатичної взаємодії (LF/HF), загальної потужності (TP), тривалості кардіоінтервалів (R-R), стандартного квадратичного відхилення (SDNN), мода (Mo), амплітуди моди (AMo), індекса напруження регуляторних систем (IN) та частоту серцевих скорочень (ЧСС).

Для кожного обстежуваного за показниками РЕГ вираховували ІРЦС, як відношення значень ДКІ під час виконання роботи до стану спокою. Він характеризує реакцію інтракраніальних судин опору каротидного басейну і специфічного вазомоторного регуляторного механізму [10]. Для всіх обстежуваних визначали індекс реактивності автономної нервової системи (ІРАНС) як відношення значень LF/HF та IN під час роботи до фонових значень. Цей показник характеризував реакцію неспецифічних механізмів регуляції [11].

Статистична обробка отриманих даних проводилась з використанням пакету програм «Microsoft Excel». Використовували методи непараметричної статистики.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

При розумовій діяльності з індивідуально високою швидкістю пред'явлення для диференціювання подразників обстежувани з низьким рівнем ФРНП переробляли від 2400 до 2700 подразників і допускали в середньому  $134,1 \pm 12,09$  помилки, що дорівнювало 5,59%. В той же час у осіб з високим рівнем ФРНП об'єм переробленої інформації був значно більшим і становив від 3600 до 4500 подразників, а кількість допущених помилок -  $307,6 \pm 13$ , що дорівнювало 9,32%. Особи з середнім рівнем ФРНП займали проміжне положення.

Отже, кількісні і якісні показники розумової діяльності з диференціювання та переробки позитивних і гальмівних сигналів, що пред'являлись на максимальній швидкості упродовж 30 хв. знаходились в залежності від індивідуально-типологічних властивостей вищих відділів центральної нервової системи.

При 30-хвилинній розумовій діяльності за статистичними, варіаційними та спектральними характеристиками СР у осіб з низьким рівнем ФРНП виявлені вищі значення показників Амо та ІN і нижчі SDNN по відношенню до осіб з високим рівнем досліджуваної типологічної властивості, особливо в середині та наприкінці роботи ( $p < 0,05$ ).

Так, як представлено на таблиці 1, у обстежуваних з низьким рівнем ФРНП індекс напруги у стані спокою дорівнював 92 (74,5;100,9) у.о., а під час розумової діяльності відбулось його збільшення на 233,4 (202,9;314,3) у.о. ( $p < 0,05$ ).

Таблиця 1

#### Показники серцевого ритму у стані спокою та при розумовій діяльності у обстежуваних з низьким та високим рівнем ФРНП (n=158)

| Досліджувані показники             | Фон                     |                        | Розумова діяльність       |                         |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                                    | рівень ФРНП             |                        | рівень ФРНП               |                         |
|                                    | Низький                 | Високий                | Низький                   | Високий                 |
| HF, мс <sup>2</sup><br>(Me,25-75%) | 265,07<br>(186,8;405,7) | 423,3<br>(224,3;766,8) | 117,5#*<br>(89,6;206,6)   | 247,5#<br>(164,6;494,7) |
| IN, у.о.<br>(Me,25-75%)            | 92<br>(74,5;100,9)      | 88,7<br>(55,1;125,7)   | 233,4 *#<br>(202,9;314,3) | 127,7#<br>(74,7;140,05) |

Примітка: \*-  $p < 0,05$ -значущі різниці змін відносно фону, #-  $p < 0,05$ -значущі різниці між показниками у обстежуваних з низьким та високим рівнем ФРНП.

В той же час у осіб з високим рівнем досліджуваних типологічних властивостей ІN у стані спокою та при навантаженні відповідно становив 88,7 (55,1;125,7) у.о. та 127,7 (74,7;140,05) у.о. ( $p > 0,05$ ).

Спектральні характеристики СР при розумовій діяльності з індивідуально високою швидкістю переробки інформації у осіб з високим, ніж з низьким, рівнем властивостей основних нервових процесів характеризувались значно вищими значеннями HF, VLF та TP і нижчими LF-norm ( $p < 0,05$ ). Спектральні показники у осіб з середнім рівнем ФРНП займали проміжне положення.

Так, як видно на таблиці 1, у обстежуваних з низьким рівнем ФРНП потужність хвиль високої частоти у стані спокою дорівнювала 265,07(186,8;405,7) мс<sup>2</sup>, а під час роботи відбулось його істотне зниження і HF дорівнювало 117,5 (89,6;206,6) мс<sup>2</sup> ( $p < 0,05$ ). В той же час у осіб з високим рівнем досліджуваних типологічних властивостей HF у стані спокою та при навантаженні відповідно становив 423,3(224,3;766,8) мс<sup>2</sup> та 247,5 (164,6;494,7) мс<sup>2</sup> ( $p > 0,05$ ).

Таким чином, для осіб з низьким, ніж з високим, рівнем ФРНП при розумовій діяльності характерним було посилення активації симпатичного та зниження парасимпатичного відділу автономної нервової системи і підвищення централізації у регуляції СР. Даний висновок підтверджується і значеннями ІРАНС (табл. 2).

Таблиця 2

**Індекс реактивності церебральних судин та індекс реактивності автономної нервової системи при розумовій діяльності у обстежуваних з низьким та високим рівнем ФРНП (n=158)**

| Рівень ФРНП | Досліджувані показники (Me, 25%-75%) |                 |                    |                  |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|
|             | ІРАНС, у.о.                          |                 | ІРЦС, у.о.         |                  |
|             | IN                                   | LF/HF           | права півкуля      | ліва півкуля     |
| низький     | 2,9 (0,4; 0,8)#                      | 2,7 (0,3; 0,9)# | 1,1 (0,5; 0,7)#    | 0,99 (0,4; 0,6)# |
| високий     | 1,1 (0,1; 0,4)#                      | 0,9 (0,09;0,3)# | 0,72 (0,57; 0,8) # | 0,73 (0,6; 0,9)# |

Примітка: #-  $p < 0,05$ -значущі різниці між показниками у обстежуваних з низьким та високим рівнем властивостей основних нервових процесів.

Так, для обстежуваних з низьким рівнем ФРНП індекс реактивності автономної нервової системи становив 2,9 (0,4; 0,8) у.о. (за IN) та 2,7 (0,3; 0,9) у.о. (за LF/HF), тоді як для осіб з високим рівнем ФРНП - 1,1 (0,1; 0,4) у.о. (за IN) і 0,9 (0,09;0,3) у.о. (за LF/HF) ( $p < 0,05$ ).

Таким чином, переробка інформації на високій швидкості пред'явлення подразників сприяла більшій активації неспецифічних (симпато-адреналових) вегетативних механізмів регуляції в групі обстежуваних з низьким ніж з високим рівнем досліджуваної індивідуально-типологічної властивості.

Індекс реактивності церебральних судин у обстежуваних з високим рівнем ФРНП знижувався при даних умовах переробки інформації, тобто зростали специфічні (судинні) механізми вегетативної регуляції (табл.2). Так, ІРЦС для групи осіб з високим рівнем ФРНП дорівнював 0,72 (0,57; 0,8) у.о. та 0,73 (0,6; 0,9) у.о. відповідно для правої і лівої півкулі головного мозку. Тоді як в групі досліджуваних з низьким рівнем ФРНП ІРЦС становив 1,1 (0,5; 0,7) у.о. та 0,99 (0,4; 0,6) у.о. відповідно для правої і лівої півкулі головного мозку. Отже, розумова робота з

переробки інформації з високою швидкістю у осіб з низьким рівнем ФРНП викликала незначні зміни специфічних механізмів регуляції.

Аналіз вищенаведених результатів ІРАНС та ІРЦС у обстежуваних з різними індивідуально – типологічними властивостями вищих відділів центральної нервової системи при розумовій діяльності дозволив нам вперше виділити 4 типи вегетативних механізмів регуляції: оптимальний, компенсаторний, декомпенсаторний та їх зрив.

Оптимальний тип вегетативних механізмів регуляції при індивідуально високій швидкості переробки інформації був характерний для 68% обстежуваних з високим рівнем ФРНП. Він характеризувався оптимальною та узгодженою активацією специфічних (судинних) (зниження ІРЦС як в правій так і в лівій півкулі головного мозку) так і неспецифічних (симпато-адреналових) механізмів регуляції (оптимальне зростання ІРАНС) (рис. 1А).

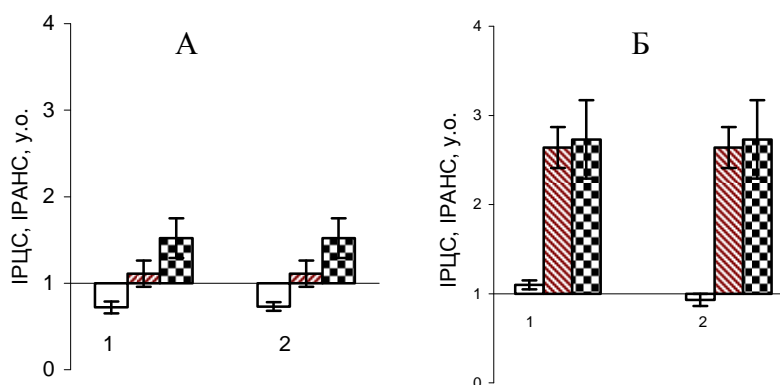


Рис. 1. Значення індексу реактивності церебральних судин - □ (в правій -1 та в лівій - 2 півкулі головного мозку) та індексу реактивності автономної нервової системи (за IN - ▨ та за LF/HF - ▩) за при індивідуально високій швидкості переробки інформації у обстежуваних з низьким – Б та високим – А рівнем властивостей основних нервових процесів.

Компенсаторний тип вегетативних механізмів регуляції при індивідуально високій швидкості переробки інформації був характерний для 57% обстежуваних з низьким рівнем ФРНП. Він характеризується більш вираженою активацією неспецифічних (симпато-адреналових) механізмів регуляції (значне зростання ІРАНС) на фоні менш вираженої активації специфічних (судинних) (незначні зміни ІРЦС як в правій так і в лівій півкулі головного мозку) механізмів регуляції (рис. 1Б).

Для окремих осіб (12%) з низькою і (7%) з високою ФРНП при високій швидкості пред'явлення інформації був встановлений декомпенсаторний тип вегетативної регуляції. Він характеризувався астеничною реакцією для специфічних (підвищення ІРЦС у правій і у лівій півкулі головного мозку) і відсутністю компенсованої реакцій з боку неспецифічних механізмів регуляції (мало помітні зміни ІРАНС) (рис. 2).

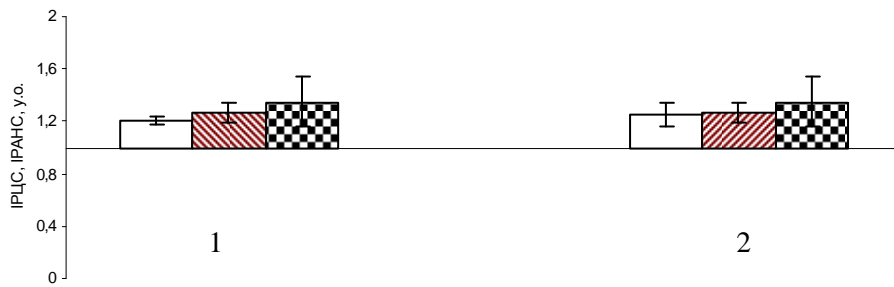


Рис. 2. Значення індексу реактивності церебральних судин - □ (в правій -1 та в лівій - 2 півкулі головного мозку) та індексу реактивності автономної нервової системи (за IN - ▨ та за LF/HF - ▩).

Для цих осіб була характерна знижена вегетативна реактивність, астенизація симпатoadреналових регуляторних механізмів на тлі інтенсивної роботи, що приводило до неадекватного вегетативного забезпечення. Подібні зміни реактивності судин пов'язують з порушенням функцій відповідних інтегративних структур мозку і інтерпретують як прояви вегетативної дисфункції у формі внутрішньо системної дезінтеграції [10]. Імовірно, що у осіб з низьким рівнем властивостей основних нервових процесів поріг вегетативної реактивності лімбіко-ретикулярної системи нижчий і тому швидше наступають специфічні відхилення різних ділянок корково-підкоркових взаємовідносин, які відіграють істотну роль у розвитку реакції дистонії інтракранеальних судин. Можливо, підвищення ІРЦС вказувало на знижену реактивність інтракранеальних судин опору і викликало компенсаторну реакцією на надмірне розумове навантаження. Отже, можна констатувати, що у осіб з низьким рівнем властивостей основних нервових процесів значно частіше, ніж у осіб з високим рівнем досліджуваної типологічної властивості, спостерігаються неадекватні, або близькі до таких варіанти змін реактивності тонуусу церебральних судин у відповідь на значні розумові навантаження.

У окремих осіб, незалежно від рівня ФРНП спостерігали реакцію, що можна назвати як зрив механізмів регуляції. Така реакція характеризувалась відсутністю адекватних, або появою парадоксальних змін ІРАНС та ІРЦС у відповідь на збурення викликане розумовим навантаженням.

Отже, продемонстровано, що у налагодженні взаємовідношень між генетично запрограмованими індивідуально-типологічними особливостями і фенотипічно мобілізуємими у ході життєдіяльності організму генорегуляторними і нейрогуморальними механізмами лежить типізація засобів підвищення розумової діяльності організму та його вегетативних функцій.

Таким чином, функціональна організація мозку, яка забезпечує переробку розумової інформації різної складності, в тому числі і механізми вегетативної регуляції серцевого ритму та гемодинамічні реакції головного мозку, зв'язані з індивідуально-типологічними властивостями вищих відділів центральної нервової системи людини.

Розумова діяльність, як багатокомпонентна функція, включає в себе різні операції: сприймання, кодування і аналіз інформації різної модальності у специфічних відділах мозку (сенсорних системах), обробку інформації, ідентифікацію об'єкту, оцінку його значимості з участю пам'яті та властивостей уваги, а також, слід вважати, і вторинних проєкційних, асоціативних областей кори та лімбічних структур. Залучення до розумової діяльності вищих відділів кори головного мозку – лобних ділянок – забезпечує функціональну інтеграцію нейронних мереж, які реалізують спеціалізовані операції в єдину ієрархічну організовану динамічну систему. У формуванні такої функціональної системи, крім зовнішніх стимулів, мети, бажань та потреб, беруть участь і вегетативні механізми регуляції серцевого ритму, гемодинамічні реакції головного мозку та індивідуально-типологічні властивості нервової системи. Останні, слід вважати, є нейрофізіологічними та психофізіологічними механізмами, які формують у обстежуваних вегетативні реакції та індивідуальний досвід у пізнавальній діяльності.

Тому для прогнозування тієї чи іншої професійної та навчальної діяльності, оцінки перспективності людей, необхідно, в першу чергу, орієнтуватися на високо генетично-детерміновані властивості вищих відділів центральної нервової системи як найбільш стійкі та інформативні.

### **ВИСНОВКИ**

1. Вегетативна регуляція серцевого ритму і гемодинаміка головного мозку під час розумової діяльності знаходиться в залежності від високо генетично-детермінованих індивідуально-типологічних властивостей вищих відділів центральної нервової системи.
2. Типологічні властивості основних нервових процесів складають психофізіологічну основу розумової діяльності з переробки різномодальної інформації та обумовлюють різну участь вегетативних механізмів регуляції серцевого ритму і гемодинаміки головного мозку.
3. Вперше у осіб з різною градацією індивідуально-типологічних властивостей вищих відділів центральної нервової системи у відповідь на інформаційне навантаження виділено чотири типи вегетативних механізмів регуляції: оптимальний, компенсаторний, декомпенсаторний та їх зрив.
4. При розумовій діяльності з індивідуально високою швидкістю переробки інформації особи з високим рівнем властивостей основних нервових процесів, на відміну від осіб з низькою градацією досліджуваної типологічної властивості, характеризуються помірною активацією як специфічних, так і неспецифічних механізмів регуляції.

### **Список літератури**

1. Лизогуб В. С. Онтогенез психофізіологічних функцій людини : автореф. дис. ... д-ра біол. наук : спец. 03.00.13 "Фізіологія людини і тварин" / В. С. Лизогуб – К., 2001. – 29 с.
2. Макаренко М. В. Онтогенез психофізіологічних функцій людини / М. В. Макаренко В. С. Лизогуб. – Черкаси: Вертикаль, 2011. – 255 с.

3. Хоменко С. М. Розумова діяльність за умов переробки зорової інформації різного ступеня складності та успішність навчання учнів з різними типологічними властивостями вищої нервової діяльності: дис. ... канд. біол. наук: 03.00.13 / Сергій Миколаєвич Хоменко – К., 2005. – 154 с.
4. Boas D. A., Chen K., Grebert D. Improving the diffuse optical imaging spatial resolution of the cerebral hemodynamic response to brain activation in humans / Boas D A, Chen K., Grebert D. // *Optics Letters* – 2004. – V.29, №13 – P. 1506-1508.
5. Study of local cerebral hemodynamics by frequency domain near-infrared spectroscopy and correlation with simultaneously acquired functional magnetic resonance imaging / V. Toronov, A. Webb, J. H. Choi [et al.] // *Opt. Express* – 2001. – №9. – P. 417–427.
6. Gender characteristics of cerebral hemodynamics during complex cognitive functioning / M. Misteli, S. Dushek, A. Richter [et al.] // *Brain and cognition*. – 2011. – V. 76, №1. – P. 123 – 130.
7. Improved sensitivity to cerebral hemodynamics during brain activation with a time-gated optical system: analytical model and experimental validation / J. Selb, J.J. Stott, M.A. Franceschini // *Journal of Biomedical Optics* – 2005 – V. 10(1) –P. 54-68.
8. Майданюк О. В. Адаптація серцево-судинної системи кваліфікованих спортсменок у синхронному плаванні протягом річного циклу підготовки: дис. ... на здобуття наукового ступеня кандидата наук з фізичного виховання та спорту: спец. 24.00.01. "Олімпійський та професійний спорт" / Майданюк Олена Вікторівна – Київ, 2003. – 187 с.
9. Макаренко М.В. Методика проведення обстежень та оцінка індивідуальних нейродинамічних властивостей вищої нервової діяльності людини // *Фізіологічний журнал*. – 1999. – Т.45, № 4. – С. 123–131.
10. Perez J.J. Spatiotemporal pattern of the extracranial component of the rheoencephalographic signal / J.J. Perez, E. Guijarro, J. Sancho // *Physiol. Meas.* – 2005. – Vol. 26, № 6. – P. 925 – 938.
11. Баевский Р.М. Оценка уровня здоровья практически здоровых людей (методическое руководство) / Баевский Р.М., Берсенева А.П., Берсенев Е.Ю. – М.: Изд-во «Слово», 2009. – 100 с.

**Макаренко М.В. Гемодинамика головного мозга и сердечный ритм при умственной деятельности людей с разными индивидуально-типологическими свойствами высших отделов центральной нервной системы / М.В. Макаренко, В.С. Лизогуб, Л.И. Юхименко, Н.П. Черненко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2012. – Т. 25 (64), № 4. – С.136-143.**

За результатами дослідження гемодинаміки головного мозку і серцевого ритму при умственої діяльності у людей з різною градацією типологічних властивостей, функціональної подвижності нервових властивостей (ФПНП) виділено чотири типи вегетативних механізмів регуляції: оптимальний, компенсаторний, декомпенсаторний та їх срыв. Обстежувані з високим рівнем ФПНП, в отличіє від обстежуваних з низкою градацією вивчаємого типологічного властивості, характеризувалися помірногою і узгодженою активацією як специфічних, так і неспецифічних механізмів регуляції гемодинаміки головного мозку і серцевого ритму.

**Ключевые слова:** функціональна подвижність нервових процесів, варіабельність серцевого ритму, церебральна гемодинаміка, механізм регуляції, умствена діяльність.

**Makarenko M.V. Cerebral hemodynamics and heart rate are in a person with deferens property of basic nervous processes by brainwork / M.V. Makarenko, V.S. Lisogub, L.I. Yukhimenko, N.P. Chernenko // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No. 4. – P. 136-143.**

Analysis cerebral hemodynamics and heart rate variability showing four types of variation mechanisms regulation: optimal, compensation, decompensation and breakdown. The brainwork was characteristic moderation and ordination activities mechanisms nonspecific and specific of regulation cerebral hemodynamics and heart rate for a person with higher level properties of the main nervous processes.

**Keywords:** the functional mobility of the main nervous processes, heart rate variability, cerebral hemodynamics, mechanism of regulation, brainwork.

*Поступила в редакцію 21.11.2012 г.*