

М.В. Макаренко, В.С. Лизогуб, Л.І. Юхименко, С.М. Хоменко

## Серцевий ритм у осіб з різним рівнем переробки слухової інформації

*Вивчали особливості регуляції серцевого ритму у здорових чоловіків віком від 18 до 20 років при переробці ними складної інформації з диференціювання позитивних і гальмівних слухових сигналів. Виявлено статистично значимі різниці між групами з різним рівнем переробки, що підтверджено і кореляційним аналізом, між кількістю переробленої інформації та варіаційними ( $r=0,41$ ,  $P<0,05$ ) і спектральними ( $r= -0,49$  –  $-0,56$ ,  $P<0,05$ ) характеристиками. Обстежувані з високим рівнем характеризувалися достовірно низькою сумарною потужністю спектра ( $TP=1276,2$  мс<sup>2</sup>), потужністю спектра на високій ( $HF=280,1$  мс<sup>2</sup>) та дуже низькій частотах ( $VLF=469,8$  мс<sup>2</sup>), а також низькими величинами стандартного відхилення інтервалів R-R ( $SDNN=37,4$  мс) на відміну від осіб з низьким її рівнем (5248,8; 866,7; 1937,0; 69,8 мс<sup>2</sup> відповідно). Обговорюються різні стратегії активації неспецифічних систем мозку у формуванні фізіологічних реакцій та участі регуляторних механізмів серцевого ритму у вегетативному забезпеченні переробки складної слухової інформації.*

*Ключові слова: регуляція серцевого ритму, переробка слухової інформації.*

### ВСТУП

Невід'ємною рисою сучасного життя є різке зростання інформаційних навантажень, а також наявність активної діяльності, коли слід приймати безпомилкові рішення при жорсткому обмеженні у часі [2]. Переробка слухової інформації є складовою багатьох трудових операцій, де потрібні висока точність, швидкість, безпомилковість, селекція та координація рухів. Такі умови діяльності супроводжуються у більшості людей підвищенням психофізіологічного напруження. В свою чергу це може призвести до погіршення функціонального стану і, зокрема – серцево-судинної системи, внаслідок чого слід чекати суттєвого зниження ефективності переробки інформації [6].

Відомо, що адаптація серцево-судинної системи до різноманітних інформаційних навантажень залежить від стану вегетативної нервової системи [4]. Одним із найбільш інформативних методів оцінки

стану регуляції серця є аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР). Він дає змогу виявити зміни у регуляторних системах різного рівня, у тому числі і надсегментарних і провести зіставлення між її ланками [1, 10]. Найбільшого значення набувають статистичні, варіаційні та спектральні характеристики ВСР, особливо при їх реєстрації під час виконання складного завдання, яким є переробка слухової інформації.

Відповідно до сучасних уявлень, робота головного мозку забезпечується тісною взаємодією інформаційних та активаційних процесів [5, 8, 11]. За цих умов приймання, переробка інформації та формування відповіді у мозку створюють функціональний стан і відповідний енергетичний фон, оптимальний для виконання напруженої роботи. Таким є стан, що дає змогу досягнути мети діяльності за умови найменших енергетичних витрат. Саме при оптимальному рівні активації в ЦНС тривалий час зберігається висока працездатність і досягається найкращий результат діяльнос-

© М.В. Макаренко, В.С. Лизогуб, Л.І. Юхименко, С.М. Хоменко

ті [4]. Розуміння найбільш сприйнятних функціонального стану або рівня активації тісно пов'язане з поняттям про його індивідуальний рівень. Тому проблема залежності розумової діяльності від індивідуального рівня переробки слухової інформації та особливості регуляції серцевого ритму за цих умов упродовж тривалого часу привертають до себе увагу науковців різних галузей.

Ми виходили з гіпотези, що механізми регуляції серцевого ритму пов'язані з індивідуальними особливостями переробки інформації. Метою роботи було з'ясування особливостей стану серцевого ритму в осіб з різним рівнем переробки слухової інформації з диференціювання позитивних і гальмівних сигналів.

## МЕТОДИКА

Дослідження проведено на 120 здорових чоловіках віком від 18 до 20 років. Слухову інформацію пред'являли в режимі «зворотного зв'язку» на комп'ютерному комплексі «Діагност-2» [7]. Обстежуваному потрібно було впродовж 5 хв якомога швидше диференціювати позитивні і так звані гальмівні слухові подразники, які подавали через навушники бінаурально. Використовували чисті тони, що описуються правильною синусоїдою. До початку дослідження обстежуваній отримував інструкцію відповідно до якої за умов появи звуку 1000 Гц (високий тон) йому потрібно швидко натиснути та відпустити пальцем правої руки праву кнопку. Поява звуку у 300 Гц (низький тон) вимагала швидкого натискання та відпускання пальцем лівої руки ліву кнопку. На звук у 600 Гц (середній тон) - гальмівний подразник – не натискати на жодну з кнопок. Експозиція першого подразника була 1000 мс. Подача кожного наступного подразника автоматично змінювалася залежно від правильності відповіді. Після правильної відповіді вона скорочувалась, а в разі помилки – подовжувалась на

20 мс. Приймалося, що чим більше подразників зміг переробити обстежуваний за 5 хв роботи, тим вище в нього рівень переробки інформації.

Реєстрацію варіаційних, статистичних і спектральних показників СР проводили на приладі «Cardiolab+» у стані спокою та під час виконання розумового навантаження. Визначали частоту серцевих скорочень (ЧСС), амплітуду моди (АМО) та стандартне відхилення інтервалів R-R у вибірці (SDNN). Спектральний аналіз СР здійснювали за показниками сумарної потужності спектра (Total Power - TP), потужності спектра на дуже низьких (VLF), низьких (LF) та високих (HF) частотах, а також визначали HF-нормалізоване та співвідношення LF/HF [1]. Результати оброблено методами непараметричної статистики за пакетом програм Excel-2010.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз результатів дослідження виявив кореляцію між кількістю переробленої інформації та показниками ВСР (рис. 1).

Від'ємний зв'язок був встановлений між кількістю інформації і TP, VLF, HF, SDNN. Коефіцієнт кореляції знаходився у межах - 0,49 – - 0,56, ( $P < 0,05$ ). Позитивна кореляція на рівні  $r = 0,41$  ( $P < 0,05$ ) була виявлена з АМО. Зв'язку між кількістю переробленої інформації з ЧСС знайдено не було ( $P > 0,05$ ).

Отримані експериментальні результати можуть бути доказом того, що кількість переробленої слухової інформації пов'язана з варіаційними, статистичними та спектральними характеристиками СР. У переважній кількості випадків чим більше інформації переробляв обстежуваний, тим нижчою була потужність TP, VLF, HF та SDNN і вищою АМО. І навпаки, низькі значення частіше збігалися з високими характеристиками TP, VLF, HF та SDNN і низьким АМО. Наявність кореляції між показниками ВСР і кількістю розумового

навантаження свідчить на користь того, що виконання такого завдання відбувається за умов виражених змін регуляції ВСР. У літературі відносно лабільності СР у різних умовах діяльності немає одностайної думки [1, 10]. Особливості регуляції серцево-судинної системи можуть бути пов'язаними як з абсолютним збільшенням симпатичної активності, так і зі зменшенням усіх вегетативних впливів на серце [4]. Можливо, виявлені зв'язки між кількістю переробленої слухової інформації та показниками вегетативної регуляції серця відображають особливості індивідуальної стратегії пристосування серцево-судинної системи до конкретної діяльності.

Для уточнення результатів кореляції ми провели розподіл обстежуваних за індивідуальним показником кількості переробленої слухової інформації на групи. Було встановлено, що у всіх тестованих він знаходився у межах від 351,1 до 603,5 подразників. На гістограмі розподілу обстежуваних спостерігали один виражений локальний пік чисельності, що відповідав середнім значенням ( $457,83 \pm 17,5$ ) і два значно менші: з відносно низьким ( $356 \pm 21,4$ ) і високим ( $552,5 \pm 16,2$ ) рівнем.

З огляду на значну девіантність індивідуальних значень статистичних, варіаційних і спектральних характеристик СР обраховували медіану та визначали верхній (75%) і нижній (25%) квантілі. Оцінку досліджуваних показників ВСР здійснювали у трьох групах у стані спокою та під час виконання роботи.

У стані спокою між характеристиками СР у групах з високим, середнім і низьким рівнем достовірних різниць виявлено не було ( $P > 0,05$ ). Такий факт, на нашу думку, можна пояснити тим, що у здорових людей механізми регуляції серцевого ритму достатньо збалансовані відповідно до низьких потреб поточного стану спокою, так що різниці у вегетативній нервовій системі можуть компенсуватися досконалими автономними регуляторними механізмами.

Порівняння показників ВСР при виконанні завдання у групах свідчить про наявність статистично значимих різниць, які проявились у істотно нижчих медіанах, спектральних TP, VLF, HF і варіаційних SDNN показників у обстежуваних з високим рівнем порівняно з низьким ( $P < 0,05$ ; рис. 2). Показники ВСР обстежуваних з середнім рівнем у більшості випадків



Рис. 1. Кореляції між кількістю перероблених слухових подразників і характеристиками серцевого ритму ( $P < 0,05$ ): AMO – амплітуда моди, SDNN – стандартне відхилення інтервалів R-R ЕКГ, TP- сумарна потужність спектра, VLF – потужність спектра на дуже низьких частотах, HF – потужність спектра на високих частотах

займали проміжне положення.

Надалі для дослідження того, наскільки змінився рівень функціонування серцево-судинної системи під час диференціювання слухових подразників у осіб з різним рівнем переробки слухової інформації, ми порівняли

медіану потужності показників ВСП до та під час слухомоторної діяльності. Результати такого порівняння (різницю) ми представили у відсотках, де за 100 % були взяті значення показників ВСП у спокої перед виконанням розумового навантаження (рис. 3).

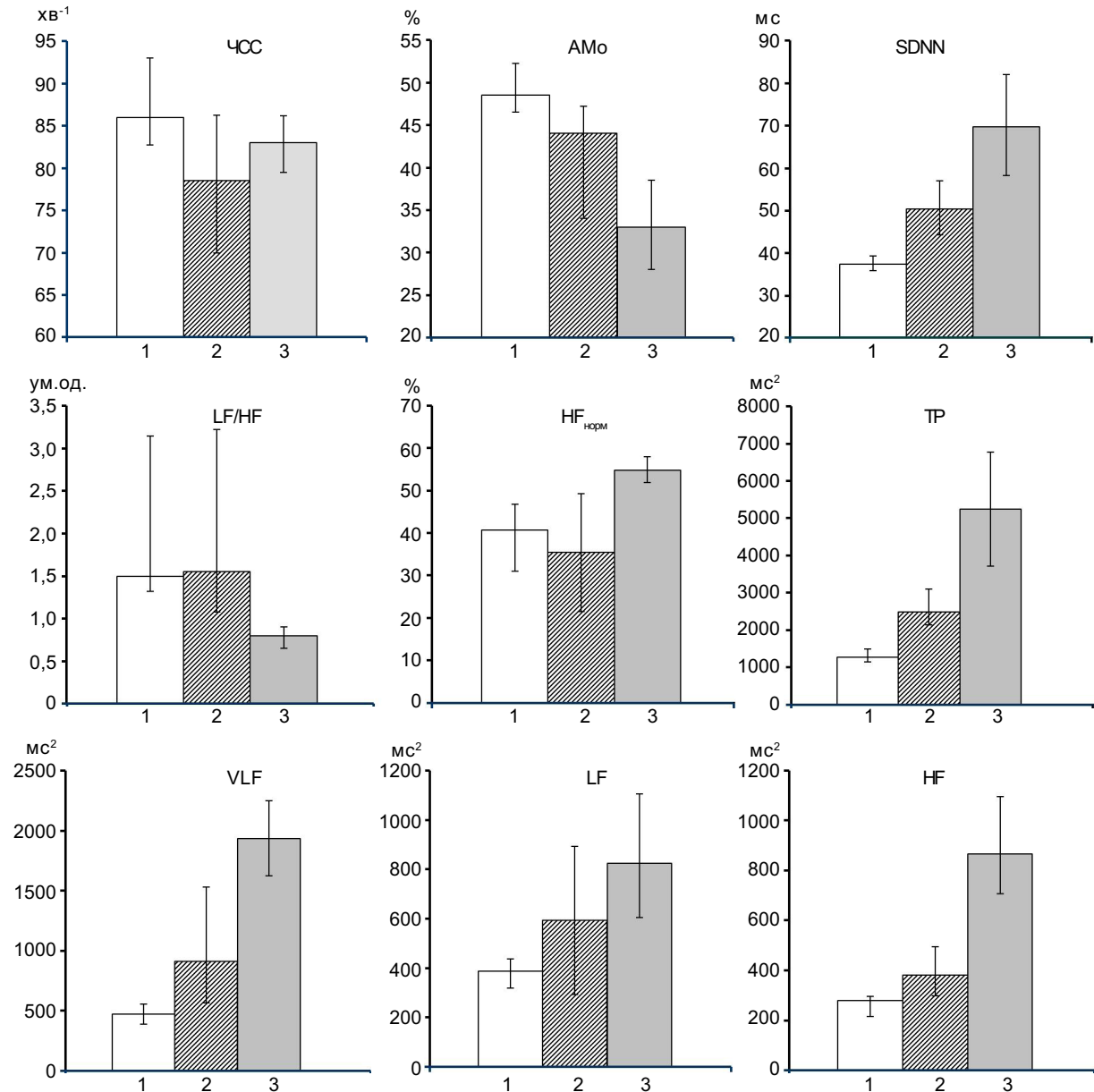


Рис. 2. Показники серцевого ритму під час переробки слухової інформації: 1 – з високим, 2 – середнім, 3 – низьким рівнем; \* вірогідність різниць ( $P < 0,05$ ) показників між групами осіб з високим і низьким рівнем. ЧСС – частота серцевих скорочень, AMo – амплітуда моди, SDNN – стандартне відхилення інтервалів R – R ЕКГ, LF/HF – співвідношення спектра низьких частот до високих, HF норм. – потужність спектра на високих частотах нормалізована, TP – сумарна потужність спектра, VLF – потужність спектра на дуже низьких, LF – низьких та HF – високих частотах

Встановлено, що у осіб з високим рівнем переробки інформації знижувалися потужності всіх спектральних показників (TP, VLF, LF та HF), а також співвідношення LF/HF, HF-норм. і SDNN на відміну від групи обстежуваних з низьким рівнем, у яких спостерігали зниження лише потужності хвиль LF, співвідношення LF/HF та АМО ( $P < 0,05$ ). Одночасно підвищувалися всі інші статистичні та спектральні характеристики ВСР ( $P < 0,05$ ).

З отриманих результатів видно, що виконання завдання з переробки інформації викликало у механізмах регуляції серцевого ритму протилежні зміни. При цьому, якщо у групі осіб з високим рівнем слухомоторного реагування ці зміни проявились у низьких значеннях загальної потужності спектра (TP), пригніченні дихальної (HF), судинної (LF) і гуморально-метаболічної

(VLF) модуляції, то у групі осіб з низьким рівнем – у посиленні потужності спектра, що, слід вважати, спричинено пригніченням судинної модуляції. Такі результати дають змогу стверджувати, що у осіб з низьким рівнем переробки слухової інформації у механізмах вегетативного забезпечення ВСР переважає тип реакції, що характеризується підвищенням психофізіологічної ціни напруженої діяльності, а значить і перевагою симпатичної активності.

Вірогідно, що в умовах сприйняття та диференціювання гальмівних і збудливих слухових подразників задіяний вищий кірковий рівень передачі інформації, який і формує комплекс фізіологічних реакцій, у тому числі і участь механізмів регуляції СР [7, 9]. У осіб з високим рівнем переробки інформації низькі значення статистичних, варіаційних і спектральних характеристик

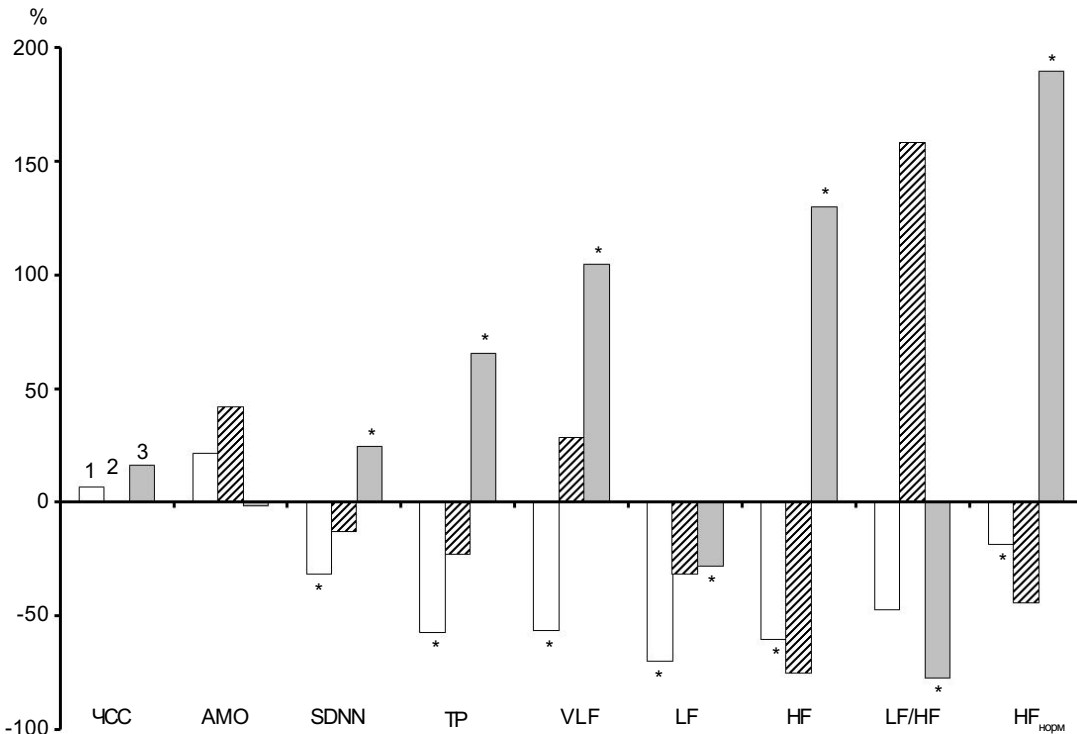


Рис. 3. Зміни показників серцевого ритму у осіб з різним рівнем переробки слухової інформації відносно фонових значень: 1 – високий, 2 – середній, 3 – низький; \* вірогідність різниць ( $P < 0,05$ ) відносно показників у стані спокою. ЧСС – частота серцевих скорочень, АМО – амплітуда моди, SDNN – стандартне відхилення інтервалів R – R ЕКГ, LF/HF – співвідношення спектра низьких частот до високих, HF норм. – потужність спектра на високих частотах нормалізована, TP – сумарна потужність спектра, VLF – потужність спектра на дуже низьких, LF – низьких та HF – високих частотах

СР, імовірно, зумовлені більш досконалою функціональною організацією систем і підвищенням ступеня локальної активації неокортекса і їх зв'язків з іншими відділами мозку, в тому числі, і вегетативними центрами. А у осіб з низьким рівнем спостерігалася генералізована реакція кіркових зон і неспецифічних систем мозку і більш виражена участь симпатичного відділу ВНС у механізмах регуляції СР. Окрім того, більш виражені фізіологічні зміни ВСР у відповідь на напружену слухомоторну діяльність у них пов'язані з менш досконалою механізмами переробки та оцінки інформації [3]. Такий спосіб вегетативного забезпечення надзвичайно не економний, оскільки характеризується підвищенням непродуктивної активації модульовальної системи мозку, збільшенням вкладу підсистеми емоційної компоненти, що і викликає генералізовану фізіологічну реакцію, швидке вичерпання резервів і тому не може забезпечувати ефективну реалізацію інтенсивної розумової діяльності впродовж тривалого часу [12]. У осіб з високим рівнем слухомоторного реагування модульовальна система мозку при напруженій роботі включає продуктивну, регіонарно-специфічну активацію переробки інформації, що проявилось у менш виражених змінах статистичних, варіаційних і спектральних характеристиках серцевого ритму. Такий спосіб обробки інформації може забезпечувати ефективну реалізацію напруженої розумової діяльності протягом тривалого часу.

Таким чином, складна слухомоторна діяльність людини з переробки інформації супроводжується різними змінами СР: 1) особи з високим рівнем характеризуються достовірно нижчими значеннями ТР, потужності спектра на високій HF і VLF частотах, а також SDNN; 2) у осіб з низьким рівнем переробки інформації таке саме розумове навантаження викликає більш виражені зміни у вегетативній регуляції, що проявляється у високих значеннях ритму серця; 3)

кореляційним аналізом між варіаційними та статистичними характеристиками СР, з одного боку, та кількістю переробки інформації – з іншого, підтверджено вірогідні відмінності між різними групами обстежуваних.

**Н.В. Макаренко, В.С. Лизогуб,  
Л.И. Юхименко, С.Н. Хоменко**

### **СЕРДЕЧНЫЙ РИТМ У ЛЮДЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ПЕРЕРАБОТКИ СЛУХОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Исследовали особенности регуляции сердечного ритма во время переработки слуховой информации. Установили статистически достоверные отличия характеристик сердечного ритма в группах с разным уровнем реагирования. Обследуемые с высоким уровнем характеризовались достоверно низкой общей мощностью спектра ( $TP=1276,2 \text{ мс}^2$ , мощностью спектра на высоких ( $HF=280,1 \text{ мс}^2$ ) и очень низких частотах ( $VLF=469,8 \text{ мс}^2$ ), а также величиной стандартного отклонения R-R интервалов ( $SDNN=37,4 \text{ мс}$ ) в отличие от лиц с низким ее уровнем ( $5248,8; 866,7; 1937,0; 69,8 \text{ мс}^2$  соответственно). Корреляционный анализ подтвердил наличие различий между групп испытуемых с разным количеством переработанной слуховой информации и вариационными ( $r=0,41, P<0,05$ ), а также спектральными характеристиками сердечного ритма ( $r=-0,49 - -0,56, P<0,05$ ). Обсуждаются различные стратегии активации неспецифических систем мозга в формировании психофизиологических реакций и участия регуляторных механизмов сердечного ритма в вегетативном обеспечении переработки слуховой информации. Ключевые слова: регуляция сердечного ритма, переработка слуховой информации.

**M.V. Makarenko, V.S. Lyzogub,  
L.I. Yukhymenko, S.M. Khomenko**

### **HEART RHYTHM REGULATION IN HUMANS WITH DIFFERENT PROCESSING LEVELS OF ACOUSTIC INFORMATION**

The peculiarities of the heart rhythm regulation were investigated in humans during the processing of acoustic information. Statistically significant differences were found in individuals with different levels of auditory-motor reactions according to the heart rhythm characteristics. Individuals with the high level of reactions were characterized by significantly lower total power spectrum ( $TP=1276,2 \text{ ms}^2$ ), by the power spectrum of high ( $HL=280,1 \text{ ms}^2$ ) and very low frequencies ( $VLF=469,8 \text{ ms}^2$ ), as well as by low indexes of standard deviation of R-R intervals ( $SDNN=37,4 \text{ ms}$ ), when compared with the persons with the low level of reactions ( $5248,8; 866,7; 1937,0; 69,8 \text{ ms}^2$ ). The correlation analysis confirmed the dif-

ferences between the groups of persons with different number of processed information and variable ( $r=0,41$ ,  $P<0,05$ ) and spectral characteristics of heart rate ( $r=-0,49$  –  $-0,56$ ,  $P<0,05$ ). Different strategies of activation of non-specific brain systems in formation of psycho-physiological reactions and participation of heart rhythm regulatory mechanisms in vegetative support of auditory information processing are discussed. Key words: heart rhythm regulation, auditory information processing.

*O.O. Bogomoletz Institute of Physiology, National Academy of Science of Ukraine, Kyiv*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Анализ variability ритма сердца при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестн. аритмологии. – 2001. – №24. – С. 65–87.
2. Бодров В.А. Психологический стресс: развитие и преодоление. – М.: ПЕР СЭ, 2006. – 528 с.
3. Безруких М.М., Сонькин В.Д., Фарбер Д.А. Возрастная физиология (Физиология развития). – М.: Издат. центр “Академия”, 2003. – 416 с.
4. Данилова Н.Н. Психофизиология. – М.: Аспект Пресс, 1998. – 324 с.
5. Иваницкий А.М. Мозговая основа субъективных переживаний: гипотеза информационного синтеза // Журн. высш. нервн. деятельности. им. И.П. Павлова. – 1996. – 46, № 2. – С. 241–252.
6. Медведев В.И., Леонова А.Б. Функциональные состояния человека // Физиология трудовых процессов. – СПб.: Наука, 1993. – 225 с.
7. Макаренко М.В., Лизогуб В.С., Галка М.С., Юхименко Л.І., Хоменко С.М. Спосіб оцінки психофізіологічного стану слухового аналізатору // Заявка № А 201002225 на патент про винахід від 1.03.2010 р.
8. Мэгун Г. Бодрствующий мозг. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1961. – 112 с.
9. Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинак М.М., Шустов Е.Б., Коваленко И.Ю., Давыденко В.Ю. Variability ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека. – 2002. – 28, № 1. – С. 130–143.
10. Ноздрачев А.Д., Котельников С.А., Мажара Ю.П., Наумов К.М. Один из взглядов на управление сердечным ритмом: интракардиальная регуляция // Там же. – 2005. – 31, №2. – С. 116–129.
11. Симонов П. В. Эмоциональный мозг (физиология, нейроанатомия, психология эмоций). – М.: Наука, 1981. – 211 с.
12. Фарбер Д.А., Безруких М.М. Методологические аспекты изучения физиологии развития ребенка // Физиология человека. – 2001. – 27, № 5. – С. 8–19.

*Ин-т фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Київ*

*Матеріал надійшов до редакції 06.01.2011*