

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького
Міністерство освіти і науки України

Національний університет фізичного виховання і спорту України
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Палабийик Ахмет Альперен

УДК 612.82:616.831

ДИСЕРТАЦІЯ
ВЗАЄМОДІЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТА АВТОНОМНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ
ЗА УМОВИ ПЕРЕРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ РІЗНОЇ СКЛАДНОСТІ ТА
МОДАЛЬНОСТІ

091 – Біологія

09 – Біологія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Палабийик Ахмет Альперен

Науковий керівник: Лизогуб Володимир Сергійович, доктор біологічних наук,
професор

Черкаси – 2021

АНОТАЦІЯ

Палабийик А. А. Взаємодія центральної та автономної нервової систем за умови переробки інформації різної складності та модальності – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 – Біологія – Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького МОН України, Черкаси, 2021. - Національний університет фізичного виховання і спорту України МОН України, Київ, 2021.

Незважаючи на значний прогрес досліджень функціональних систем мозку, що забезпечують переробку різноманітної інформації, ще не існує чіткого розуміння взаємодії нейрокогнітивних та нейровегетативних процесів та їх механізмів. Психофізіологічна природа корково-підкоркової інтеграції до кінця не з'ясована. Зокрема виявлено, що успішність переробки інформації зв'язана як з посиленням когерентності нейрокогнітивних, так і з послабленням взаємодії нейровегетативних регуляторних ланок. Вцілому, результати мають суперечливий характер і не дозволяють виділити чіткі кореляти міжсистемної взаємодії сенсорної, нейрокогнітивної, моторної та вегетативної систем під час переробки інформації різного виду та складності.

На сьогодні відсутні комплексні дослідження щодо особливостей швидкості переробки інформації різної складності та модальності, а також впливу такої діяльності на сенсорні, моторні, когнітивні функції людини, нейродинамічні, нейрофізіологічні та регуляторні властивості автономної нервової системи (АНС). Ще більш складним питанням виявилась проблема взаємодії центральної нервової системи (ЦНС) та АНС, яка виникає за умови переробки інформації різної модальності та складності. Висловили припущення, що успішна переробка інформації можлива за умови підвищення рівня функціональних можливостей нейродинамічної та АНС і шляхом посилення інтегративних процесів між ними. Передбачали, що психофізіологічні механізми взаємодії сенсорної, нейрокогнітивної, моторної і АНС під час переробки

інформації будуть змінюватись в залежності від складності завдання, режиму і швидкості пред'явлення сигналів різної модальності.

Мета роботи – з'ясувати особливості функціональної взаємодії центральної та автономної нервової систем під час переробки інформації різної модальності та складності.

Для досягнення мети застосовували комплекс психофізіологічних методик та тестів. Функціональну взаємодію нейрофізіологічних механізмів регуляції та активацію АНС досліджували під час переробки образних і вербальних сигналів у різних режимах та поступово зростаючої швидкості їх пред'явлення. Обстежувані виконували когнітивне завдання в парадигмі go/nogo/go, а моторний тест у режимі go/go. Когнітивне завдання включало визначення модальності сигналу (форми фігури чи значення слова) і швидкої та безпомилкової реакції диференціювання лівою (gol) чи правою (gor) рукою або гальмування рухового акту (nogo). Моторне завдання вимагало швидкої та безпомилкової реакції на сигнали різної модальності у режимі go/go. Швидкість пред'явлення сигналів поступово зростала у кожному наступному завданні і становила 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину. Для оцінки нейрофізіологічних процесів головного мозку та успішності переробки інформації використовували показники кількості помилок, часу рухової реакції, спектральну потужність ЕЕГ, просторово-часові характеристики та показники когерентного аналізу (КоГ), аналізували основні ритми мозку α -альфа (8-12 Гц), β - бета (13-40 Гц), θ -тета (4-7 Гц) та Δ -дельта ритм (6-8 Гц), а також методи математичної статистики. За показниками варіабельності серцевого ритму (ВСР) (статистичні, варіаційні, спектральні характеристики) досліджували активацію та взаємодію центрального і автономного контуру управління серцевим ритмом і механізмів регуляції АНС.

Наукова новизна результатів полягає у тому, що уперше розвинута теорія міжсистемної взаємодії нейрофізіологічної та АНС за умови переробки інформації різної складності та модальності. Виявили, що інтегративні функції та взаємодія ЦНС і АНС, успішність (кількість помилок) та швидкість (час

рухової реакції) виконання завдань по переробці і диференціювання інформації знаходяться у залежності від модальності сигналу, режиму та швидкості пред'явлення сигналів. Вперше встановили різні варіанти функціональної інтеграції та інтерференції АНС і нейрофізіологічної систем. Під час переробки інформації виявили як підвищення, так і зниження кількості помилок та часу рухових реакцій, які залежали від модальності, режиму та швидкості пред'явлення сигналів, а також рівня функціональної взаємодії нейрофізіологічної і АНС.

У роботі встановлено, що пред'явлення вербальної та образної інформації на швидкості 30 та 60 сигналів за хвилину у режимі go/nogo/go характеризувалось поступовим підвищенням активності функціонування нейрофізіологічної і АНС та їх взаємодії. Виявили поступове підвищення ЕЕГ-активності мозку, спектральної потужності β -хвиль, коефіцієнту активації (КА), КоГ та узгоджене зростання частоти серцевих скорочень (HR), індексу централізації (IC), стрес індексу (SI) регуляторних процесів АНС. Вперше доведено, що подальше підвищення швидкості пред'явлення вербальної інформації до 90 сигналів за хвилину, а образної – до 120 сигналів за хвилину у режимі go/nogo/go приводило до виникнення інтерференції, що характеризувало дефіцит активації нейрофізіологічних і автономних механізмів регуляції. Різностямовані зміни у нейрофізіологічній та АНС супроводжувались зниженням HR, загальної потужності (TP), IC, та підвищенням ЕЕГ-активності мозку, спектральної потужності β -хвиль, КА, КоГ і зростанням кількості помилок та зменшенням часу рухових реакцій.

Встановили куполоподібну залежність взаємодії нейрофізіологічної та АНС від модальності і швидкості пред'явлення сигналів. Диференціювання вербальних сигналів на швидкості 30 і 60, а образних - 90 за хвилину, характеризувалось поступовим підвищенням активності когнітивних і нейрофізіологічних механізмів регуляції АНС, узгодженою взаємодією автономних та центральних контурів управління, симпатичної та парасимпатичної ланок, посиленням інтегративних процесів. Це знайшло

підтвердження у показниках ВСР та спектрального аналізу серцевого ритму (САРС), що характеризувались високими значеннями SI, TP, IC, LF/HF та швидкості рухових реакцій і малою кількістю помилок. Подальше підвищення швидкості диференціювання образних сигналів до 120, а вербальних до 90 за хвилину супроводжувалось зниженням успішності переробки інформації. Виявили значну кількість помилок та різноспрямовані зміни у взаємодії нейрофізіологічної та АНС. За таких умов функціональна система демонструвала перехід з оптимального стану до дисбалансу між центральним і автономним контуром управління і характеризувалась розвитком процесів дизрегуляції та вегетокогнітивної інтерференції, а також когнітивного дисонансу. Для регуляторних процесів встановили виражене домінування центральних механізмів регуляції АНС, високі значення SI, та порушення симпато-вагального балансу (LF/HF).

Вперше з'ясували, що для когнітивних систем мозку за умови виконання завдання з переробки вербальної інформації у режимі диференціювання go/no-go/go виявлено інтерференцію та лівопівкулеву функціональну асиметрію. В режимі go/no-go/go кількість помилок на слова завжди менша, а швидкість реакції вища для правої руки, ніж лівої. Асиметрія слабо виражена для завдань на високій швидкості пред'явлення інформації з образними сигналами і статистично значима для вербальних сигналів на швидкості 30 та 60 сигналів за хвилину.

З практичної точки зору результати роботи можуть бути використані для прогностичної оцінки когнітивної діяльності людей в умовах складних інформаційних навантажень, гіперактивних та девіантних форм поведінки, з дефіцитом уваги, нейродегенеративних розладів, підвищення розумової працездатності і стресостійкості.

Отримані результати є важливими для перспективних фундаментальних досліджень психофізіологічних механізмів переробки інформації, мають практичне значення, оскільки розширюють теоретичні уявлення і обґрунтовують інтеграцію нейродинамічної, нейрофізіологічної та АНС у підвищенні

функціональних можливостей головного мозку. Результати роботи обґрунтовують системний підхід у реалізації технологій управління розумовою діяльністю.

Ключові слова: центральна та автономна нервова система, інтеграція, інтерференція, образна і вербальна інформація, електоренцефалографія, кардіоінтервалографія, парадигма go/nogo/go.

ANNOTATION

PALABIYIK A.A. Intersystem interaction of neurophysiological and autonomic nervous system under the condition of information processing of different complexity and modality - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the Doctor of Philosophy on a specialty 091 - Biology - Cherkasy National University named after Bohdan Khmelnytsky MES of Ukraine, Cherkasy, 2021. National University of Physical Education and Sport of Ukraine MES of Ukraine, Kyiv, 2021.

Despite significant progress in the study of functional brain systems that process a variety of information, there is still no clear understanding of the interaction of neurocognitive and neurovegetative regulatory-adaptive processes and their mechanisms. The psychophysiological nature of cortical-subcortical integration is not fully understood. In particular, it was found that the success of information processing is associated with increasing the coherence of neurocognitive and increasing the interaction of neurovegetative regulatory units, and their reduction. In general, the results are contradictory and do not allow to identify clear correlates of intersystem interaction of sensory, neurocognitive, motor and autonomic systems during the processing of information of different types and complexity.

To date, there are no comprehensive studies on the features of information processing speed of varying complexity and modality and the impact of such activities on sensory, motor, cognitive functions, as well as neurodynamic, neurophysiological and regulatory properties of the autonomic nervous system. An even more complex issue was the problem of intersystem interaction of the neurophysiological and

autonomic nervous system, which arises during the processing of information of different modality and complexity. It has been suggested that not only the enhancement of the functionality of the various systems that perform the work and those systems that provide it, as well as closer intersystem interaction may be the psychophysiological basis for high efficiency of information processing. It was predicted that the psychophysiological mechanisms of intersystem interaction of sensory, neurocognitive, motor and autonomic nervous systems and their functional connection during information processing will differ in terms of task complexity, mode and speed of presentation, as well as signal modality.

The aim of the work is to find out the peculiarities of the functional interaction of the neurophysiological and autonomic nervous system during the processing of information of different modality and complexity.

To achieve this goal, a set of psychophysiological tests was used. The functional interaction of neurophysiological mechanisms of regulation and activation of the autonomic nervous system was studied during the processing of image and verbal signals in different modes and the gradually increasing rate of their presentation. Subjects performed a cognitive task in the go / nogo / go paradigm and a motor test in the go / go mode. The cognitive task included determining the modality of the signal (shape of the figure, or the meaning of the word) and the rapid and error-free reaction of differentiation with the left (gol) or right (gor) hand or inhibition of the motor act (nogo). The motor task required a quick and error-free response to signals of different modalities in the go / go mode. The speed of signaling gradually increased in each subsequent task and was 30, 60, 90 and 120 stimuli per minute. According to the indicators of heart rate variability (HRV), the activation and interaction of the central and autonomic circuit of heart rate control and the mechanisms of regulation of the autonomic nervous system were studied. To assess the electrophysiological correlate of verbal and figurative information processing, we used the method of studying the spectral power of the main EEG rhythms, the activation coefficient and their spatio-temporal organization according to CoG. In all tasks to assess the neurophysiological processes of the brain and the success of information processing used indicators of the

number of errors and time of motor response. The fewer the subjects made mistakes and the faster the motor response, the higher the success rate of information processing.

The scientific novelty of the results is that for the first time the theory of intersystem interaction of the neurophysiological and autonomic nervous system was developed under the condition of information processing of different complexity and modality. According to the results of psychophysiological studies found that the integrative functions and interaction of neurophysiological and autonomic nervous systems, success (number of errors) and speed (time of motor reaction) of tasks for processing and differentiation of information depend on signal modality, mode and speed of stimuli . Different variants of functional integration and interference of interaction of autonomous neurophysiological, cognitive, sensory and motor systems have been established. There was an increase and decrease in the success and speed of motor reactions during information processing depending on the mode, modality and speed of signal presentation, as well as the level of functioning and interaction of the neurophysiological and autonomic nervous system.

The existence of a dome-like interaction of the neurophysiological and autonomic nervous system from the speed of presentation, modality of signals and complexity of the task is proved. Differentiation of verbal signals at speeds of 30 and 60 per minute, and figurative 90 stimuli was characterized by a gradual increase in cognitive and neurophysiological mechanisms of regulation of the autonomic nervous system, coordinated interaction of autonomic and central, sympathetic and parasympathetic units, strengthening integrative processes. This was confirmed in HRV and SARS, which were characterized by high values of SI, TR, IC, LF/HF and the speed of motor reactions and a small number of errors.

It is shown that a further increase in the rate of differentiation of image signals to 120 and verbal to 90 per minute leads to a decrease in the success of information processing (a significant number of errors) and multidirectional changes in the interaction of neurophysiological and autonomic nervous systems. This indicated the transition of the functional system from the optimal state of autonomous regulation to the imbalance between the central and autonomous control circuit of the SR and the

development of deregulation and vegetative-cognitive interference, as well as cognitive dissonance. This is confirmed by the pronounced dominance of the central mechanisms of regulation of the autonomic nervous system, high values of the stress index (SI) and disturbance of the sympathetic-vagal balance (LF/HF) in regulatory processes.

It is proved that the functional interaction of neurophysiological and autonomic nervous, as well as sensory, motor and cognitive systems of the brain, as well as the speed of motor reactions and the success of tasks are dependent on the choice of information processing mode. In all subjects, the success and speed of various tasks in the go/go mode is higher than when differentiating information in the go/nogo/go mode.

Functional interaction of neurophysiological and autonomic nervous, as well as sensory, motor and cognitive systems of the brain, as well as the speed of motor reactions and the success of tasks are dependent on the modality of the signals presented for processing. For all subjects, the results of speed and success of motor and cognitive tasks, higher on figurative and lower on verbal signals.

For the cognitive systems of the brain, under the condition of performing the task of processing verbal information in the mode of differentiation go/nogo/go, interference and left hemispheric functional asymmetry were detected. In go / nogo / go mode, the number of word errors is always lower, and the reaction rate is higher for the right hand than the left. The asymmetry is weak for high-speed imaging tasks with image signals and statistically significant for verbal signals at 30 and 60 signals per minute.

The presentation of verbal information at a speed of 90, and figurative 120 signals per minute in the mode of go/nogo/go led to interference, which was characterized by a deficiency of activation of neurocognitive and vegetative-cognitive regulatory mechanisms. Diverse changes in the neurophysiological and autonomic nervous system were characterized by a decrease in HR, TP, IC, and increased brain EEG activity, spectral power of β -waves, CA, CoG and an increase in errors and

reduced motor response time during processing of verbal information in the task go/nogo/go.

The results can be used for prognostic assessment of cognitive activity of people in conditions of complex information loads, detection of hypofrontality, hyperactive and deviant children, with attention deficit, as well as neurodegenerative diseases.

The obtained results are important for perspective fundamental and applied researches of psychophysiological mechanisms of information processing and have practical value as they expand theoretical ideas and substantiate integration of neurodynamic, neurophysiological and autonomic nervous system in increase of functional possibilities of a brain. From a practical point of view, the role of the central and autonomic nervous system in improving the functionality of the brain and heart is shown and the system approach in the implementation of psychomotor management technologies is substantiated. The results are a solid basis for the feasibility of using a systematic approach to the implementation of mental activity management technologies.

Key words: central and autonomic nervous system, integration, interference, figurative and verbal information, electroencephalography, go/nogo/go paradigm, heart rate variability.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Lizohub Vladimir Sergeevich, Chernenko Nataliia Pavlovna, Ahmet Alperen Palabiyik Neurophysiological mechanisms of regulation of sensorimotor reactions of differentiation in ontogenesis // Journal of Cellular Neuroscience and Oxidative Stress, V. 11, № 1, 2019. P 805- 814. (Scopus). *(Особистий внесок здобувача – проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, аналіз і формування висновків, написання статті, інші автори проводили контрольні дослідження та приймали участь у обговоренні результатів та підготовці матеріалів до друку).*
2. Bezcopylna S., Palabiyik A. A., P. O. Candiba, The Peculiarities Of The Vegetative Regulation Of The Heart Rhythm in Processing Different Modality And Speed Information Of Presenting Irritators, Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки». – 2018. - № 2. Черкаси. 2018. с. 20-24. Copernicus. *(Здобувач проводив експериментальне дослідження, здійснював статистичну обробку результатів, готував статтю до друку. Інші автори готували таблиці і рисунки, формували висновки та брали участь в обговоренні статті).*
3. V. S. Lyzohub, N. P. Chernenko, T. V. Kozhemiako, A. A. Palabiyik, S. V. Bezcopylna Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity // Regulatory Mechanisms in Biosystems. – 2019. - 10 (3). - P. 288- 294. <https://doi.org/10.15421/021944> (WOS). *(Здобувач формував ідею, проводив експериментальне дослідження, здійснював статистичну обробку результатів, приймав участь в обговоренні, готував статтю до друку. Інші автори підбирали необхідні методи дослідження, приймали участь у обговоренні результатів та у формулюванні висновків).*
4. Lyzohub V, Kozhemiako T, Palabiyik A, Khomenko S, Bezcopylna S. Processing information in the go/nogo/go paradigm: interactions between cognitive function and the autonomic nervous system. Health Prob Civil, 2020; 14(1): 53-62. <https://doi.org/10.5114/hpc.2020.93294> (WOS). *(Здобувачем виконано аналіз*

літератури по проблемі, проведено весь обсяг експериментальних досліджень, йому належить участь в аналізі результатів та написанні статті. Інші автори, формували ідею та дизайн дослідження, здійснювали статистичну обробку, приймали участь в обговоренні результатів).

Публікації, які засвідчують апробацію дисертації

1. В. С. Лизогуб, Н. П. Черненко, А. А. Палабийик, С. В. Безкопильна Спосіб визначення розумової працездатності за умови переробки інформації з різною швидкістю пред'явлення подразників //Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки». – 2018. - № 1. Черкаси. 2018. с. 70-80. Copernicus. *(Особистий внесок здобувача – проведення досліджень, статистична обробка результатів, аналіз та формування висновків. Інші автори опрацьовували дані літератури, приймали участь в обговоренні та підготовці матеріалів до друку).*
2. Лизогуб В. С., Черненко Н. П., Кожемяко Т. В. Палабийик А. А., Безкопильна С. В. Дослідження функціональних резервів розумової працездатності // Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки., 2018, 8, (381), с. 102 - 107. Copernicus. *(Здобувач особисто проводив пошук матеріалів по проблемі в літературі, проводив експериментальне дослідження, статистичну обробку результатів, написання статті, а інші автори приймали участь у підготовці матеріалів до друку та їх обговоренні).*
3. В. С. Лизогуб, М. В. Макаренко, Н. П. Черненко, В. А. Пустовалов, Т. В. Кожемяко, А. А. Палабийик, С. В. Безкопильна Методика дослідження розумової працездатності з поетапним підвищенням та зниженням швидкості пред'явлення подразників // Адаптаційні можливості дітей та молоді. Матеріали 12-й Міжнародної науково-практичної конференції, Одеса, 13-14.09.2018, с.151-154. *(Автором отримано експериментальні дані, здійснено аналіз і підготовлено матеріал до друку, підготував слайди та виступив на конференції. Інші автори*

здійснили пошук матеріалів по проблемі, формували дизайн дослідження, приймали участь в обговоренні результатів дослідження).

4. Лизогуб В. С., Пустовалов В. О., Черненко Н. П., Палабийик А. А., Безкопильна С. В. Переробка інформації в парадигмі go/pogo/go з поетапним підвищенням та зниженням швидкості пред'явлення подразників// Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми фізичної культури, спорту, фізичної терапії та ерготерапії: біомеханічні, психофізіологічні, та метрологічні аспекти», 05.2018 р. Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 17.05.2018р, - 93-94 с. *(Автором отримано експериментальні дані, здійснено аналіз і підготовлено матеріал до виступу та друку. Інші автори здійснили пошук матеріалів по проблемі, формували методикку досліджень та приймали участь в обговоренні результатів дослідження та формулюванні висновків).*

5. Черненко Н. П., Хоменко С. М., Палабийик А. А. Закономірності формування резервних можливостей психофізіологічних функцій в онтогенезі. 20-й З'їзд Українського фізіологічного товариства 27-30 травня, 2019 р. // Фізіологічний журнал, 2019, Т.65, №3, 66 с. *(Автором отримано експериментальні дані, здійснено статистичний аналіз і підготовлено матеріал до друку, підготовлено слайди та виступ на з'їзді. Інші автори приймали участь в обговоренні результатів, готували матеріал до друку).*

6. Черненко Н. П., Палабийик А. А., Пуствалов В. О, Шпанюк В. В. Спосіб визначення та оцінка розумової працездатності за умови переробки інформації різної модальності / Матеріали чергового VIII з'їзду Українського біофізичного товариства Київ – Луцьк, 12-15 листопада 2019 року. – 30 с. *(Здобувач сформулював ідею дослідження, здійснив аналіз літератури, отримав експериментальні дані, підготовлено матеріал до друку та виступу на з'їзді. Інші автори, проводили статистичну обробку результатів, приймали участь в обговоренні та формулюванні висновків).*

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

1. Yildirim A. K., Palabiyik A. A. The investigation of effects of exercise on total oxidant and total antioxidant status parameters in the rat liver with experimental thyroid dysfun // Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки». – 2017. - № 2. – С. 62 - 67. Copernicus *(Особистий внесок здобувача – проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, аналіз і формування висновків, написання статті. Інші автори, приймали участь в обговоренні та формулюванні висновків).*
2. Лизогуб В. С., Черненко Н. П., Пустовалов В. О., Кожемяко Т. В., Палабийик А.А., Хоменко С.Н. Возрастные особенности функциональной организации мозговых механизмов переработки информации // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. 2018. Issue 157. P. 30-34. Copernicus *(Здобувач провів пошук літератури по проблемі, сформував робочу гіпотезу, підібрав методи та провів експериментальне дослідження, провів статистичну обробку результатів. Інші автори проводили паралельні дослідження на подразника різної модальності,).*
3. В. С. Лизогуб, Н. П. Черненко, А. А. Палабийик, С. В. Безкопильна Розумова працездатність дітей 8-9 років при пред'явленні подразників різної модальності та швидкості в режимі go/nogo/go // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. 2018. Issue 179. P.50-55. Copernicus *(Здобувач сформулював ідею дослідження, здійснив аналіз літератури, отримав експериментальні дані, підготовлено матеріал до друку. Інші автори, проводили статистичну обробку результатів, приймали участь в обговоренні та формулюванні висновків).*

Анотація.....	2
Зміст.....	15
Список умовних скорочень.....	17
Вступ.....	18
Розділ 1. Аналіз літератури. Стан дослідження взаємодії центральної та автономної нервової систем за умови переробки різної інформації.....	26
1.1. Нейродинамічні характеристики переробки інформації різної складності та модальності.....	28
1.2. Проблемні питання механізмів регуляції автономної нервової системи під час переробки інформації різної складності та модальності.....	32
1.3. Нейрофізіологічні механізми регуляції переробки інформації.....	37
1.4. Біоелектрична активність кори головного мозку при різних видах когнітивної діяльності.....	43
1.5. Актуальні питання взаємодії нейродинамічних, нейрофізіологічних властивостей і автономної нервової систем за умови переробки інформації різної складності та модальності.....	48
Розділ 2. Організація та методи досліджень	52
2.1. Методи досліджень.....	52
2.2. Визначення та оцінка нейродинамічних характеристик швидкості та якості переробки інформації.....	52
2.3. Дослідження кардіоінтервалографії та механізмів регуляції автономної нервової системи серцевого ритму під час переробки інформації різної модальності та складності.....	55
2.4. Дослідження ЕЕГ-характеристик переробки інформації різної модальності та складності.....	61
2.5. Статистичний аналіз результатів дослідження	64
2.6. Організація дослідження.....	65
Розділ 3. Характеристика центральної та автономної нервової системи за умови переробки інформації різної модальності та складності.....	69
3.1. Нейродинамічні особливості переробки інформації різної модальності та складності.....	69

3.1.1. Особливості переробки образної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (go/nogo/go) тестах з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення сигналів.....	71
3.1.2. Характеристика переробки вербальної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (go/nogo/go) тестах з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення сигналів.....	78
3.1.3. Взаємодія кількісних і якісних нейродинамічних характеристик переробки образної та вербальної інформації на різній швидкості пред'явлення та складності сигналів.....	83
3.2. Особливості механізмів регуляції автономної нервової системи за умови переробки інформації різної швидкості, модальності та складності пред'явлення сигналів	89
3.2.1. Регуляція серцевого ритму за умови переробки образної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (go/nogo/go) тестах.....	93
3.2.2. Характеристика механізмів регуляції серцевого ритму під час обробки вербальної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (go/nogo/go) тестах.....	102
3.2.3. Особливості механізмів регуляції автономної нервової системи під час диференціювання (gol/nogo/gor) вербальних та образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення.....	112
3.3. Нейрофізіологічні механізми регуляції переробки інформації різної модальності та складності.....	121
3.3.1. Характеристика спектральної потужності основних ритмів ЕЕГ під час переробки інформації різної модальності та складності	123
3.3.2. Просторово-часова організація ЕЕГ мозку за показниками кореляції під час переробки образної та вербальної інформації.....	136
Розділ 4. Аналіз та узагальнення результатів дослідження взаємодії центральної та автономної нервової систем за умови переробки різної інформації.....	143
Висновки.....	155
Список використаних літературних джерел.....	157
Додатки	183

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АНС	автономна нервова система
α	альфа ритм, (8-12 Гц)
Амо	амплітуда моди
ВНД	вища нервова діяльність
ВСП	варіабельність серцевого ритму
ВП	викликані потенціали
Δ	дельта ритм (6-8 Гц)
ЕКГ	електрокардіографія
ЕЕГ	електроенцефалографія
ІН	індекс напруження регуляторних систем
КА	коефіцієнт активації, відношення потужностей бета- до альфа- (β/α) діапазону
КоГ	когерентний аналіз ЕЕГ
КІГ	кардіоінтервалограма
Мо	мода
GO/GO	моторна реакція
GOL/NOGO/GOR	когнітивна реакція диференціювання
ССС	серцево-судинна система
СР	серцевий ритм
СП	спектральна потужність ЕЕГ-хвиль
ФС	функціональний стан
САСР	спектральний аналіз серцевого ритму
ЦНС	центральна нервова система
HR	частота серцевих скорочень
HF	потужність високочастотних коливань
LF	потужність низькочастотних коливань
LF/HF	коефіцієнт симпато-вагальної взаємодії
R-R	тривалість серцевого циклу
SDNN	стандартне квадратичне відхилення
TP	загальна (сумарна) потужність коливань
Θ	тета ритм (4-7 Гц)
VLF	потужність коливань дуже низької частоти
SI	стрес-індекс, індекс напруження регуляторних систем
IC	індекс централізації

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність дослідження визначається тим, що за даними World Health Organization дисонанс центральної та автономної нервової систем лежить в основі розвитку депресій, погіршення якості життя та інвалідності [WHO, 2019]. З появою пандемії Covid-19 зріс потік епідеміологічної інформації, що негативно відображається на суспільному здоров'ї. Визнано, що мозок людини не справляється з надмірними об'ємами та інтенсивністю аналізу інформації [14; 68; 98; 247]. Це може викликати суттєве напруження регуляторних систем та бути однією з причин виникнення хронічної втоми, втрати уваги [35; 164; 196; 225], зниження продуктивності праці [168; 172], появи техногенної катастрофи [WHO, 2019]. Тому поглиблене вивчення та розуміння процесів, які виникають у ЦНС під час переробки інформації різної модальності та складності можуть сприяти пошуку засобів профілактики проявів втоми та розвитку депресій. Імовірно, що такі дослідження можуть бути базовими для підвищення ефективності розумової діяльності. Крім того, на нейрофізіологічне забезпечення переробки різного роду інформації можуть здійснювати вплив вегетативні функції, мотивації, індивідуальні особливості психотипу [22; 89; 175; 230]. Фізіологічний аналіз і дослідження нейрофізіологічних механізмів переробки інформації здійснювався і раніше шляхом реєстрації різних енергетичних та вегетативних реакцій [30; 32; 170; 178]. Дослідження інтегративних функцій мозку у силу методичної складності проводили вкрай рідко [81; 97; 136]. Тому стає очевидним необхідність комплексного дослідження нейрофізіологічних, нейродинамічних та участі механізмів АНС і їх взаємодії за умови переробки інформації різної модальності та складності.

Відомо, що під час переробки інформації у нейронну активність включаються не тільки власне коркові процеси, що відповідають за психомоторну діяльність, а і велика кількість підкоркових структур. За цих умов виникає потреба дослідити взаємодію кортико-вісцеральних механізмів регуляції психомоторної діяльності [13; 32; 61; 84; 122; 124; 244]. Особливий

інтерес становлять дослідження переробки інформації за її кількісними і якісними показниками [41; 104], гемодинамічними характеристиками головного мозку [105; 109], електрофізіологічними характеристиками головного мозку [66; 75; 42; 157] та варіабельності серцевого ритму [40; 41; 104; 105; 212]. Показано, що спектральна потужність ВСП підвищується за умови виконання завдань з переробки інформації [27; 103; 164; 180; 236]. Варто наголосити, що зміни ВСП при виконанні роботи по переробці інформації відбуваються як за рахунок зниження потужності високочастотного діапазону (HF) [43; 154; 175; 210], так і шляхом підвищення низькочастотної складової (LF) [230; 238]. Отже, можна вважати, що ВСП може слугувати об'єктивним критерієм участі механізмів АНС у регуляції переробки інформації. Нез'ясованими залишаються механізми взаємодії регуляції ВСП з нейродинамічними та ЕЕГ-характеристиками за умови переробки різномодальної інформації.

На сьогодні з'ясовані зміни ЕЕГ-активності у реалізації когнітивних функцій [45; 179; 246]. Досліджена участь альфа діапазону ЕЕГ у вирішенні задач контролю за переробкою інформації [7; 75; 155] та у реалізації короткочасної пам'яті [115; 181; 242]. ЕЕГ-активність визнається як ознака підвищення регуляції кортикальних функцій під час переробки різної інформації [32; 246].

Останнім часом ведуться дискусії, щодо особливостей взаємодії переробки інформації зі зміною потужності низькочастотної складової ВСП LF та α -хвиль ЕЕГ [173; 202; 247]. Показано, що десинхронізація α -хвиль і загальної потужності ВСП узгоджено зростають [136; 193]. Виконання психомоторних і когнітивних функцій супроводжується високими значеннями ВСП і низькою потужністю α -ритму ЕЕГ [8; 75].

Не зважаючи на значний прогрес у дослідженні окремих функціональних систем мозку, що забезпечують переробку різномірної інформації, ще не існує чіткого розуміння взаємодії нейрокогнітивних та нейровегетативних регуляторних процесів та їх механізмів. Зокрема виявлено, що успішність переробки інформації пов'язують як зі збільшенням когерентності

нейрокогнітивних та нейровегетативних регуляторних ланок, так і їх послабленням [43; 59; 136; 194]. Однак, психофізіологічна природа корково-підкоркової інтеграції/дезінтеграції до кінця не з'ясована. В цілому, результати мають суперечливий характер і не дозволяють виділити чіткі кореляти міжсистемної взаємодії сенсорної, когнітивної, моторної та АНС під час переробки різномірної інформації.

На сьогодні відсутні комплексні дослідження щодо особливостей швидкості переробки інформації різної складності та модальності, а також впливу такої діяльності на сенсорні, моторні, когнітивні функції людини, нейродинамічні, нейрофізіологічні та регуляторні властивості АНС. Ще більш складним питанням виявилась проблема взаємодії ЦНС та АНС, яка виникає за умови переробки інформації різної модальності та складності. Висловили припущення, що успішна переробка інформації можлива за умови підвищення рівня функціональних можливостей нейрофізіологічної та АНС і шляхом посилення інтегративних процесів між ними. Передбачали, що психофізіологічні механізми взаємодії сенсорної, нейрокогнітивної, моторної і АНС під час переробки інформації будуть змінюватись в залежності від складності, режиму і швидкості пред'явлення сигналів різної модальності.

Означена вище наукова проблема обумовила формування мети та постановки задач дослідження даної дисертації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно планів наукової роботи Черкаського національного університету ім. Б. Хмельницького, а також досліджень держбюджетних тем МОН України: „Механізми взаємодії систем організму як фізіологічні основи індивідуальності” (№ держреєстрації 0116U003830). Тема дисертації затверджена (протокол №3 від 14.12.2017 р.) та уточнена на Вченій раді Черкаського національного університету ім. Б. Хмельницького (протокол №2 від 05.11.2020 р.). Внесок дисертанта, як співвиконавця теми, полягав у розробці алгоритму та організації і проведення дослідження, впровадженні результатів в практику.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи - з'ясувати особливості функціональної взаємодії центральної та автономної нервової систем під час переробки інформації різної модальності та складності.

Для досягнення мети вирішували наступні завдання:

1. Здійснити теоретичний аналіз наукової літератури по проблемі функціональної взаємодії центральної та автономної нервової систем під час переробки інформації різної складності та модальності.
2. Провести дослідження нейродинамічних та сенсомоторних властивості ЦНС за умови переробки інформації під час поступового підвищення швидкості пред'явлення образної та вербальної інформації.
3. Дослідити механізми активації автономної нервової системи під час переробки образних та вербальних сигналів з поступовим зростанням швидкості пред'явлення інформації.
4. Виявити особливості зміни ЕЕГ-активності мозку за умови переробки інформації різної складності та модальності.
5. Обґрунтувати роль функціональної взаємодії нейродинамічних, нейрофізіологічних механізмів та АНС за умови переробки інформації різної складності та модальності.

Об'єкт дослідження – спектральні та просторово-часові характеристики основних ритмів ЕЕГ, варіабельність серцевого ритму, нейродинамічні характеристики ЦНС, кількісні і якісні показники переробки образної та вербальної інформації.

Предмет дослідження – міжсистемна взаємодія центральної та автономної нервової систем за умови переробки інформації різної модальності та складності.

Методи дослідження: реєстрація нейродинамічних результатів переробки образної та вербальної інформації (швидкість рухових реакцій, кількість помилок), простої рухової (go/go) та складної реакції диференціювання (goL/pogo/goR), визначення нейрофізіологічних ЕЕГ-характеристик (спектральна потужність ЕЕГ, просторово-часові характеристики та КоГ-аналіз основних ритмів мозку α -, β -, θ - та Δ -дельта хвиль), реєстрація показників АНС

(статистичні та спектральні характеристики ВСР), параметричні і непараметричні методи математичної статистики.

Наукова новизна роботи. Вперше у обстежуваних 18–20 р. з залученням комплексних психофізіологічних досліджень під час переробки інформації встановили різні варіанти функціональної інтеграції та інтерференції ЦНС і АНС, які знаходилися у залежності від режиму, швидкості та модальності сигналів.

Отримані нові дані про особливості рівня функціонування та інтеграції ЦНС і АНС, активації механізмів регуляції серцевого ритму, спектральних характеристик ЕЕГ, а також успішності (кількість помилок) і швидкості рухових реакцій, що знаходилися у залежності від модальності, режиму та швидкості пред'явлення сигналів. Зростання швидкості диференціювання образних та вербальних сигналів, від 30, 60 і до 90 за хвилину, характеризувалось поступовим підвищенням рівня функціонування нейрофізіологічних механізмів регуляції, узгодженою взаємодією центральних і автономних контурів управління серцевим ритмом, ваго-симпатичними механізмами регуляції АНС, що підтверджувалось високими значеннями SI, TP, LF/HF, ЕЕГ-активності мозку, потужністю β -хвиль, КА та КоГ, швидкістю рухових реакцій і малою кількістю помилок.

Вперше сформульована концепція вегетокогнітивної інтерференції та вегето-когнітивного дисонансу механізмів регуляції вегетативних і когнітивних функцій. Показано, що підвищення швидкості диференціювання образних сигналів до 120, а вербальних до 90 за хвилину приводить до зниження успішності переробки інформації, значної кількості помилок та різноспрямованих змін у взаємодії ЦНС і АНС, появи парадоксальних реакцій. Свідченням тому є виражена реакція SI, зростання помилок і зменшення часу рухових реакцій, зниження TP, з переважанням у спектрі дихальних хвиль (HF) над вазомоторними (LF). Встановлено, що функціональна система з оптимального стану автономної регуляції переходить на центральні контури управління СР і розвиток процесів дизрегуляції. Показано, що на фоні високої спектральної потужності ЕЕГ-хвиль, КА та КоГ виявили виражене домінування

центральної механізми регуляції АНС, високі значення стрес-індексу (SI), та індексу централізації (IC), а також порушення симпато-вагального балансу (LF/HF) у регуляторних процесах СР.

Вперше доведено, що формування міжсистемних зв'язків АНС і ЦНС, нейродинамічної, когнітивної, сенсорної та моторної систем має важливе значення для теорії функціональних систем та пристосувальної поведінки людини. Поглиблені уявлення про зв'язок характеристик ВСР та спектральної потужності і величини синхронізації/десинхронізації α -, β -, θ -ритмів ЕЕГ. Набули подальшого розвитку теоретичні підходи про формування функціональної системи (П.К. Анохін) для переробки інформації та роль ЦНС у забезпеченні інтегративних процесів та максимально можливий темп безпомилкових дій в умовах зміни збуджувальних і гальмівних подразників.

Еспериментально доведено, що формування функціональної взаємодії ЦНС і АНС, моторних і когнітивних систем мозку, а також швидкості рухових реакцій та успішності виконання завдань знаходяться в залежності від вибору режиму обробки інформації. У всіх обстежуваних успішність та швидкість виконання різних варіантів завдань go/go вища, ніж під час диференціювання інформації у режимі go/nogo/go.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані експериментальні дані мають вагоме теоретичне значення і дозволяють сформулювати уяву про фізіологічну роль інтегративних процесів у підвищенні функціональних можливостей головного мозку (ГМ) та АНС. Кількісні і якісні показники переробки інформації, просторово-часові характеристики основних ритмів ЕЕГ мозкових процесів та участь механізмів АНС у регуляції СР дозволяють краще оцінити результати психомоторної діяльності та її «фізіологічної ціни». Обґрунтовується комплексний підхід ієрархічно організованих нейрофізіологічних та вегетативних систем у реалізації технологій управління психомоторною діяльністю. Врахування результатів про особливості функціональної взаємодії ЕЕГ-активності та механізмів СР має практичне значення, оскільки відкриває можливість оптимізувати розвиток розумових здібностей, створювати психофізіологічні методики, тести для

виявлення резервів, підвищення продуктивності праці, боротьби з втомою. Отримані результати є важливими для перспективних фундаментальних та прикладних досліджень психофізіологічних механізмів забезпечення розумової діяльності та мають практичне значення, оскільки розширюють теоретичні уявлення про інтеграцію (взаємодію) нейродинамічної, нейрофізіологічної та АНС у підвищенні функціональних можливостей ГМ.

Результати досліджень можуть використовуватися у міждисциплінарних дослідженнях для співставлення з розробками вікової морфології, психології та нейропсихології. Оскільки функціональні зміни у головному мозку, індуковані умовами сучасного життя людини, є основною причиною розвитку депресивних станів, неврозів і психозів, тому детальний аналіз представлених результатів у дисертації може допомогти зрозуміти фізіологічні механізми, що лежать в основі розладів та слугувати науковим підґрунтям для розробки ефективної стратегії боротьби з ними.

Результати досліджень включені в лекційні курси вузів України, які готують фізіологів, психологів, педагогів та спортивних тренерів. Вони впроваджені в курси фізіології ВНД і вікової фізіології, включені до спецпрактикумів з психофізіології та психології праці ряду вищих навчальних закладів в тому числі і відомства Збройних сил та МВС України, диференціальної психофізіології, психіатрії при вивченні базових механізмів функціонування здорового і ураженого мозку та в лікарській практиці при розробці методів діагностики, реабілітації та корекції функціональних станів.

Особистий внесок здобувача. На експериментальній базі НДІ фізіології імені Михайла Босого, кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації Черкаського національного університету автор особисто виконав дослідження згідно планів наукової роботи, виконання держбюджетних тем. Пошук та аналіз літературних джерел, статистична обробка та теоретичне обґрунтування результатів досліджень виконані дисертантом. Результати досліджень опубліковані у працях здобувача. Планування досліджень та розробка методичних підходів, формулювання висновків і редагування дисертації проведено за участю наукового керівника д.б.н, професора Лизогуба В. С. Автор

висловлює глибоку вдячність колегам за допомогу в проведенні досліджень, участь яких відмічена у публікаціях.

Апробація результатів дослідження. Результати дисертаційної роботи доповідалися й одержали схвалення на науково-практичних конференціях та з'їздах: XII міжнародна науково-практична конференція «Адаптаційні можливості дітей та молоді» (м. Одеса, 13-14 вересня 2018 р.), X всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми фізичної культури, спорту, фізичної терапії та ерготерапії: біомеханічні, психофізіологічні та метрологічні аспекти» (м. Київ, 17 травня 2018 р.), XX з'їзд Українського фізіологічного товариства (м. Київ, 27-30 травня 2019 р.), VIII з'їзд Українського біофізичного товариства (м. Київ-Луцьк, 12-15 листопада 2019 р.).

Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації Черкаського національного університету, ННЦ «Інститут біології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка та інших закладів вищої освіти України.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 13 наукових робіт, 3 з яких статті у вітчизняних (1) та зарубіжних (2) наукових журналах, що індексуються у наукометричних базах Web of Science та Scopus, 7 – у вигляді статей фахових видань, рекомендованих МОН України, 2 - у вигляді тез наукових з'їздів та конференцій, 1 - патент на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Дисертація викладена на 189 сторінках, містить 17 таблиць, 33 рисунки, список використаних джерел із 247 найменувань вітчизняних і зарубіжних видань.

Ключові слова: центральна та автономна нервова системи, інтеграція, інтерференція, образна і вербальна інформація, електоренцефалографія, парадигма go/pogo/go, варіабельність серцевого ритму.

РОЗДІЛ 1**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ. СТАН ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ
ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТА АВТОНОМНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМ ЗА УМОВИ
ПЕРЕРОБКИ РІЗНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

Всесвіт став дуже складний для тих, хто у ньому живе. Довкола багато подій за одиницю часу. Однією з найважливіших особливостей сьогодення є зростання дії на людину різних видів інформації. Тому, на сьогодні актуальність ефективного розв'язання проблеми психофізіологічного забезпечення переробки інформації зростає [14; 32; 71]. Відомо, що процес прийому, збереження і переробки інформації вимагає напруження сенсорних систем, уваги, пам'яті, активації процесів мислення, емоційної сфери та АНС [36; 43; 67; 68;]. Для більшості видів розумової діяльності характерною рисою є прискорений темп, різке збільшення об'єму і різноманітності інформації та дефіцит часу для прийняття рішення, а також їх соціальна значимість [36; 71; 94]. Все це приводить до зростання нервово-емоційної напруги і є однією з причин виникнення захворювань. Тому проблема дослідження і оцінки переробки інформації та її фізіологічних механізмів вважається важливим завданням психофізіології [68; 131; 151]. Нажаль, можна констатувати, що її зміст, не дивлячись на велике число досліджень у цьому напрямку, покищо незадовільний.

Переробка інформації та зв'язана з нею інтелектуальна діяльність багатогранна й відноситься до традиційних об'єктів дослідження. Разом з тим високу цінність мають роботи, які поєднують в собі психологічний підхід з нейрофізіологічним [42; 65]. Комплексний психофізіологічний підхід дозволяє наблизитись до розуміння базових механізмів переробки інформації, описати її закономірності, дослідити причини когнітивних розладів та розробити методи корекції. Для фізіологічної оцінки переробки інформації використовують методи електроенцефалографії й електрокардіографії [66; 85]. Традиційно у показниках потужності ЕЕГ, як характеристики локальної активності нейронних ансамблів

та когерентності різних відділів КГМ, знаходять відображення різні аспекти переробки інформації [213, 227].

Потрібно зазначити, що успішна переробка інформації є одним зі значущих чинників, які впливають на стан психологічного та емоційного комфорту, що у свою чергу забезпечує адекватне виконання професійних обов'язків і мінімізацію негативного впливу на здоров'я. Це зумовлює актуальність дослідження фізіологічного забезпечення переробки інформації різної складності та модальності з метою виявлення фізіологічних чинників, які сприяють досягненню високого результату.

Для оцінки й прогнозування функціонального стану АНС під час переробки інформації використовують достатньо інформативний метод аналізу ВСР [34; 35; 40; 70]. В цілому, не дивлячись на велику кількість експериментального матеріалу, результати досліджень ЕЕГ та ВСР людини під час виконання різних завдань з переробки інформації є суперечливими й не дозволяють однозначно співвіднести параметри біопотенціалів з конкретними психофізіологічними процесами. Часто дослідниками не враховується те, що виконання завдань з переробки інформації залежать не тільки від рівня функціонування ЦНС та АНС, а і від рівня їх корково-підкоркової взаємодії. Невирішеною залишається й проблема знаходження електрофізіологічних та кардіоінтервалографічних показників, які були б надійно пов'язані з успішністю виконання інформаційних завдань різної складності. Далеким від вирішення є питання щодо інтегративних процесів центральної та АНС під час переробки інформації різної модальності складності та швидкості пред'явлення сигналів.

Сучасні уявлення про функціональну організацію сенсорної, когнітивної, моторної та АНС полягають у представленні їх у вигляді зв'язаних фізіологічних процесів під час виконання завдань з переробки інформації [42; 75; 76; 94]. В основі переробки інформації лежать фізіологічні процеси сприйняття і обробки інформації, пам'яті, мислення які базуються на взаємодії нейронних популяцій мозку. З різним ступенем напруження відбуваються утворення, закріплення і руйнування умовних рефлексів різної складності, зміни трофічної функції

нейронів, мозкової гемодинаміки, участі різних механізмів регуляції, проходять складні біохімічні і біоелектричні процеси, що пов'язані з функціональними системами організму [51; 52; 68; 140; 156].

При переробці інформації, яка перевищує адаптаційні можливості людини, в організмі розвиваються негативні функціональні зміни, які характеризуються перевтомою, перенапруженням, депресією, неврозом. Такі функціональні стани знаходяться на межі норми і патології, що нерідко призводить до серйозних захворювань [72; 93; 158].

1.1. Нейродинамічні характеристики переробки інформації різної складності та модальності

У зв'язку зі збільшенням кількості інформації та вимог до якості навчання і праці проблема оцінки, корекції і управління розумовою працездатністю людей все більше привертає увагу вчених [43; 69; 71; 93; 107]. Завжди стояла мета сформувати висококваліфікованого, здорового спеціаліста, здатного до нестандартного мислення, спроможного генерувати нові ідеї. Одночасно, зростає актуальність вивчення особливостей впливу на організм підвищених інформаційних та психоемоційних навантажень. В останні роки з'явилися факти відкриття таких феноменів як синдром «кароші» – миттєва смерть на робочому місці [34; 35; 243] та «burnout disease»- «випалювання» чи «вигорання». На «burnout disease» в багатьох високорозвинених країнах Європи, Америки і Японії страждає до 60% працівників, для яких є характерними високі інформаційні та психоемоційні навантаження. Тому, вважається, що важливою особливістю інформаційної діяльності людини є наявність відповідної організації психофізіологічних функцій [121, 198, 206, 208].

Зазначимо, що на сьогодні, ще не сформована єдина методологічна основа інформаційної діяльності. Автори визначають, що в її основі лежить мозкова активність, завдяки якій відбувається сприйняття, аналіз, осмислення, запам'ятовування і синтез зовнішньої та внутрішньої інформації, використання її для побутової, трудової і творчої діяльності [42; 65; 67]. Вона базується, в свою

чергу, на фізіологічних можливостях мозку і залежить від швидкості та якості процесів, які відбуваються в ньому [65; 66]. Інші автори характеризують інформаційну діяльність за кількістю і якістю мозкових операцій виконаних за певний час [32].

Серед факторів, які формують інформаційну діяльність [77; 107] виділяють: моторні, сенсомоторні реакції, концентрацію і рухливість уваги, короткострокову пам'ять, інтелектуальні процеси [36]. На результат та ефективність інформаційної діяльності впливає і емоційна складова [65; 116]. Однак, при високому ступені емоційного напруження ефективність інформаційної діяльності може знижуватися [65]. Доведено, що певний рівень інформаційної діяльності при різних її видах формується на фоні конкретного стану його організму. Функціональний стан визначається Медведєвим В.І. як інтегральний комплекс наявних характеристик і якостей людини, які прямо чи опосередковано обумовлюють виконання роботи [71]. Автор підкреслює, що у різних людей при виконанні однієї і тієї ж інформаційної задачі відбувається формування різних стратегій організації систем, що сприяють виконанню роботи. Була розроблена оригінальна концепція функціонального стану і визначені його найважливіші функції. Одна з них характеризує залежність наявного функціонального стану від фундаментальних перемінних - актуальної потреби, зовнішнього впливу і первинного стану. Друга визначається сукупністю характеристик тих функцій і якостей людини, які прямо чи опосередковано обумовлюють виконання роботи [89].

Авторами [56] доведено, що кількісні і якісні характеристики переробки інформації тим вищі, чим більш узгоджено функціонують системи її забезпечення. І будь-які зміни чи зрушення у роботі якої-небудь з систем організму відбиваються на успішності діяльності. Сучасні уявлення про функціональну організацію переробки інформації розглядають її як зв'язок провідних фізіологічних систем організму під час виконання інформаційного завдання [32].

Функціональну систему переробки інформації доцільно розділити на дві підсистеми: інформаційну та вегетативного забезпечення [51; 89]. Перша підсистема - здійснює прийом, аналіз, переробку, збереження інформації і передачу її виконавчим органам, друга - забезпечує необхідний рівень обміну речовин в органах, що приймають участь у роботі. В інформаційну підсистему входять периферійна частина аналізаторів, підкіркові утворення, проекційні і асоціативні ділянки кори, рухова система, система зворотної аферентації, що сигналізує про досягнутий ефект. Кожний з цих блоків та їх зв'язок мають складну структуру. При різних видах переробки інформації окремі блоки підсистеми приймають неоднакову участь. Функціональний стан інформаційної підсистеми визначається її вихідним станом, інтенсивністю і тривалістю роботи, а також станом енергетичної підсистеми. Регулятором останньої є лімбіко-ретикулярна система, активність якої підпорядковується імпульсам, що йдуть від кори великих півкуль. В свою чергу, лімбіко-ретикулярна система регулює функціональний стан кори головного мозку та підкіркових утворів, симпатичного та парасимпатичного відділів АНС, а також ендокринних залоз [48]. Відповідно до класичних уявлень, які розроблені в рамках теорії функціональних систем, системна центральна архітектура внутрішньомозкової організації поведінкової діяльності включає механізми аферентного синтезу, прийняття рішення, передбачення результату, що задовільняє вихідну потребу, - акцептора результату дії; еферентний синтез; нарешті, постійну оцінку досягнутих результатів за рахунок порівняння зворотної аферентації від параметрів результатів з механізмами «акцептора результату дії» [3; 69]. «Результат є невід'ємним і вирішальним компонентом системи, інструментом, що створює впорядковану взаємодію між всіма іншими її компонентами» [36]. При цьому класична рефлекторна дуга стала розглядатись як частина функціональної системи поведінкового рівня [32; 108]. Прийняття рішення є критичним пунктом, у якому відбувається швидке звільнення від переповнення ступенів свободи і організації комплексу еферентних збуджень, здатного забезпечити певну дію.

Встановлено, що асоціативні системи мозку, які приймають участь у вищих формах навчання і пам'яті, володіють наступними важливими властивостями: 1) отримують велику біологічно і сигнально значиму інформацію, яка селекціонується у відповідності з домінуючою фізіологічною потребою; 2) володіють пластичними нейронними механізмами, що забезпечують участь асоціативних систем в умовнорефлекторному навчанні; 3) вивільняють з довготривалої пам'яті цілісні програми наступного поведінкового акту; 4) забезпечують короткотривале збереження у своїх нервових сітках таких поведінкових програм і здійснюють оцінку їх адекватності згідно домінуючої потреби і особливостям оточуючого середовища. Внутрікіркова гальмівна система, що формується, не лише сприяє спеціалізації модулів асоціативних полів кори внаслідок обмеження потоку до них аферентної імпульсації, але і встановлює між модулями складні координаційні відношення. Утворюється робоча динамічна система модулів, яка забезпечує управління цілісним поведінковим актом [107].

Серед систем, які забезпечують адаптацію організму до впливу факторів зовнішнього середовища, головну роль відіграє АНС та серцево-судинна система [34; 35; 139]. Однак, якщо значна кількість робіт з психофізіології праці присвячена визначенню змін кіркових взаємовідносин і реакції аналізаторів при різноманітних видах розумової діяльності [43], то зміни в АНС, в тому числі дихання і кровообігу, вивчені недостатньо. Між тим, без аналізу цих змін не можна передбачити, виявити чи попередити початкові зміни у функціональних системах організму, які в майбутньому можуть стати джерелом патології. Самі по собі вегетативні зрушення можуть впливати на працездатність, змінюючи рівень кровопостачання мозку, викликати гіпоксичний стан, призвести до суттєвих змін метаболізму тканин. Фізіологічні критерії напруження, що з'являються в процесі інформаційної діяльності, разом з величиною нейродинамічних характеристик переробки інформації дозволяють охарактеризувати фізіологічні зусилля, які витрачає організм для її забезпечення [66; 100; 101; 239].

Отже, проблема переробки інформації сьогодні як ніколи актуальна, тому що від повноцінності функціонування сенсорних і рухових систем повністю залежить адекватність сприйняття людиною сигналів, що надходять, і відповідність дій [77; 130].

З літературних джерел ми виявили, що в сучасних психофізіологічних дослідженнях немає одностайної думки про зв'язок швидкості і якості переробки інформації. В одних випадках така залежність описується лінійною математичною моделлю [107], а в інших – зворотною експоненціальною функцією [55; 57]. Існує уявлення про жорстку зворотну залежність між часом реакції і якістю переробки інформації. Встановлені незалежні (некорельовані) зміни швидкісних та якісних характеристик роботи при вирішенні інформаційних задач різної складності [66]. Існує уявлення про різну стратегію переробки інформації для різних вікових груп [5; 55].

Впродовж останніх десятиліть з'явилися експериментальні докази того, що зміна рівня функціонування та взаємодія ЦНС і АНС в тому числі і динамічні параметрами переробки інформації, в тому числі об'єм, ритм, максимальний темп, витривалість можуть істотно впливати на кількісні і якісні характеристики роботи [60].

1.2. Проблемні питання механізмів регуляції автономної нервової системи під час переробки інформації різної складності та модальності

Для розуміння загальних закономірностей адаптації важливе значення має вивчення функціонального стану (ФС) в умовах інформаційних навантажень різного типу та складності [2; 3; 34; 35; 79]. Найбільш простими і зручними для застосування на практиці показниками ФС є визначення показників ВСР [40; 85; 224], оскільки вони є надзвичайно чутливими до будь-яких змін в організмі.

Як відомо, серед систем, які забезпечують адаптацію організму до впливу факторів зовнішнього середовища, головну роль відіграє АНС та серцево-

судинна система [6; 79]. Однак, якщо значна кількість робіт з психофізіології праці присвячена визначенню змін кіркових взаємовідносин і реакції аналізаторів при різноманітних видах розумової діяльності [107], то зміни функцій АНС, в тому числі дихання і кровообігу, вивчені недостатньо. Між тим, без аналізу цих змін не можна передбачити, виявити чи попередити початкові зміни у функціональних системах організму, які в майбутньому можуть стати джерелом патології. Самі по собі зміни у АНС можуть впливати на розумову працездатність, знизити рівень кровопостачання мозку, викликати гіпоксичний стан та призвести до суттєвих змін метаболізму тканин. Фізіологічні критерії напруженості, що визначаються в процесі інформаційної діяльності, разом з величиною нейродинамічних характеристик переробки інформації дозволяють характеризувати фізіологічні зусилля, які витрачає організм для забезпечення відповідної роботи [65; 66].

КГМ має зв'язки з АНС і відповідає розвитком серцево-судинних реакцій на активність у мозку [47]. Симпато-адреналова ланка АНС першою реагує на інформаційне навантаження, що пов'язане з новизною та складністю задачі. В той час як функціональна роль парасимпатичного відділу АНС полягає у підтриманні гомеостазу [46]. Для реалізації відповіді крім ССС залучається імунна, ендокринна та інші системи. Функціональний зв'язок між мозком і АНС та серцево-судинною системою під час переробки інформації виявили у роботах [40; 47]. Під час вирішення складних задач при дослідженні функціонального зв'язку між КГМ та АНС і діяльністю серця здійснюється як від центральних ділянок ГМ до серця, так і завдяки зворотному зв'язку [65].

Зміни показників ВСР розглядають як маркери стресу й адаптації, оскільки вони корелюють із чинниками ризику ранніх порушень, є чутливим індикатором вегетативного забезпечення та свідчать про рівень централізації регуляції СР. Зниження ефективності регуляції, відображає не лише стан регуляції АНС, але й вказують на прояв тривалої дії інформаційного стресу [24; 195]. Басевським Р. М. була запропонована двоконтурна модель регуляції СР, яка представлена у

вигляді двох взаємопов'язаних рівнів: автономного і центрального з прямим і зворотним зв'язком [6].

Загальноприйнятою є ієрархічна структура керування СР [79], яка включає послідовні рівні вегетативної, гуморальної та центральної регуляції. Синусовий вузол, блукаючі нерви та їх ядро у довгастому мозку є робочими елементами контуру автономної регуляції ВСР. В стані спокою керований контур працює в автономному режимі, який характеризується наявністю виражених дихальних коливань тривалості кардіоінтервалів. При різних навантаженнях цей контур починає працювати у вимушеному режимі, який визначається як керуючий [6; 27; 40]. Керуючий контур складається з трьох рівнів, котрі забезпечують: перебудову функціональної діяльності організму в зв'язку зі змінами умов зовнішнього середовища (рівень А); гомеостатичне регулювання взаємодії різних фізіологічних систем всередині організму (рівень Б); врівноваження різних параметрів всередині окремих систем (рівень В). АНС значною мірою визначає функціональні властивості серця. Оскільки нервові впливи через симпатичні та блукаючі нерви змінюють спонтанну деполяризацію синусового вузла, ЧСС та ВСР відображають інформацію про впливи на серце АНС.

Згідно уявлень [73; 90] нервова регуляція серцевого ритму (СР) здійснюється симпатичними та парасимпатичними (блукаючими) нервами, перші з яких збільшують автоматію, збудливість, провідність і скоротливість міокарду (так звані хронотропний, батмотропний, дромотропний та інотропний ефекти), а останні – тіж самі, але гальмівні ефекти. При цьому вважається, що кожний симпатичний та парасимпатичний ефект носить однорідний тонічний характер, але час наростання і спад парасимпатичних ефектів приблизно в 10 разів менший, аніж симпатичних. Симпато-парасимпатична взаємодія нервових впливів має антагоністичний характер, тобто рефлекторне збільшення парасимпатичного тону супроводжується узгодженим зменшенням симпатичного тону і навпаки. Парасимпатичні (вагусні) впливи реалізуються шляхом стимуляції М-холінорецепторів, симпатичні – β -адренорецепторів. ВСР є індикатором нервових впливів на серце. Парасимпатичний та симпатичний

відділи АНС знаходяться в певній взаємодії щодо регуляції СР. В стані спокою ВСР зазвичай більшою мірою обумовлено вагусними впливами. Під час стресу, розумового чи фізичного навантаження зростає активність симпатичного відділу АНС та знижується активність парасимпатичного [9, 24, 53, 119].

ЧСС є результатом впливу на серце різних симпатичних нервів, з одного боку, та вагусних ефектів, з іншого. При цьому вираженість вагусних ефектів в свою чергу є результатом взаємодії між собою обох симпатичних нервів. Останнє дозволяє говорити про існування сумарного або результуючого вагосимпатичного балансу хронотропних впливів на серце. Тому, будь-яке збільшення або зменшення ВСР (незалежно від фонові ЧСС) можна розглядати як результат ваготропного антагонізму петлі В'ессенія і нижньосерцевого нерва. В той же час, будь-яке збільшення або зменшення фонові ЧСС можна розглядати як результат антагонізму тонічних впливів блукаючого нерву, та обох симпатичних нервів [40; 73].

У відповідності зі стандартами Європейської кардіологічної та Північноамериканської спілки кардіостимуляції та електрофізіології [45; 90], аналіз ВСР починають з графічного представлення послідовності тривалості RR-інтервалів за певний часовий проміжок. У випадку, якщо на осі абсцис відкладається номер кардіоінтервала – вона називається кардіоінтервалограмою, а якщо час – кардіоритмограмою [6, 118, 119; 222]. Під час візуального розгляду ритмограм можна помітити зміна тривалості RR-інтервалів, що відбувається з певною періодичністю. Це свідчить про існування хвильової модуляції СР.

Відомо, що однаково добрі результати переробки інформації можуть бути досягнуті за умови досить різних енергетичних витрат організму, за рахунок неоднакової «фізіологічної ціни». Зазначимо, що розвиток будь-якого адаптаційного процесу в організмі, його характер, зміст та стратегія багато в чому визначається ССС [79]. Виявлено, що невідповідність між функціональним станом ЦНС і характером регуляції АНС, що супроводжується погіршенням показників переробки інформації [127]. Процес адаптації у дітей до навчальної роботи протікає по-різному і залежить від індивідуальних показників

властивостей нервових процесів. Так, діти з напруженою адаптацією характеризувались меншою силою і рухливістю нервових процесів, перевагою процесів гальмування [104]. Встановлені вікові відмінності в утворенні нових зв'язків між серцево-судинною, дихальною системами і ритмом роботи, які проявляються не тільки в стані спокою, але і при виконанні роботи помірної і підвищеної потужності [40].

Інтенсивна інтелектуальна, особливо творча, діяльність не лише підвищує активність головного мозку, але й здійснює вплив на регуляторні системи, АНС, роботу серця, тонус судин, гемодинаміку, метаболізм, стан організму в цілому. Існує декілька причин цього. Одна з них – емоційний супровід творчої діяльності. Встановлений зв'язок гемодинаміки, в тому числі серцевої діяльності, з проявом емоцій. При значному нервово-емоційному напруженні спостерігається збільшення систолічного і хвилинного об'ємів серця, підвищення артеріального тиску і прискорення пульсу, а іноді його зменшення [10; 40; 121; 126; 183]. При вираженому нервово-емоційному напруженні, як і при багатьох стресових впливах, підвищується тонус симпатичного і парасимпатичного відділів ВНС, але зазвичай переважає зміна симпатичного відділу [47; 135; 152; 184].

Структури, що контролюють емоційне підкріплення, мають ієрархічну будову і складаються із гіпоталамо-лімбіко-префронтально-лобного відділів ГМ. Було встановлено, що емоційні центри збуджують вегетативні. Таким чином формування певного рівня працездатності визначається активацією мотиваційних та емоційних центрів. Одним із індикаторів який містить інформацію про цю активацію може бути ступінь зміщення піків спектра масиву R-R-інтервалу в сторону зниження ЧСС [40]. Ряд досліджень вказують на те, що тип нервової діяльності впливає на характер та перебіг реакцій АНС у дітей [43]. В експерименті було виявлено, що у осіб сильного зрівноваженого типу нервової системи фонові плетизмограма має хвилеподібний характер, судинні рефлексії утворювалися після 5-10 співставлень. У осіб слабкого типу такі реакції вироблялися складніше.

В роботах Макаренко М. В. [65, 66, 67] досліджували стабільність вегетативних реакцій до і після дії стресових впливів і виявлено індивідуальні особливості зрушень у людей залежно від сили нервових процесів. Джебрайлова Т. Д. [27], вивчаючи характер вегетативних реакцій у людей з різними характеристиками ВНД, встановили кореляційну залежність між величиною зміни ЧСС і індивідуально-типологічними властивостями нервової системи. Тому дослідження реакцій АНС під час переробки інформації у осіб з різними типологічними властивостями нервової системи є перспективним напрямком наукового пошуку.

Дослідження забезпечення АНС переробки інформації є актуальним питанням фізіології. Н.Н. Данилова відмічала, що порушення в ССС під час значного нервово-емоційного напруження можуть виявлятися раніше, ніж зміни функціонування нервової системи [136]. Неадекватні навантаження, на фоні нераціональної організації навчального процесу, формує стан психічної напруженості, котрий може призвести до зниження працездатності, виснаження функціональних резервів організму, розвитку прихованої, а потім і явної патології. Саме тому, в своїй роботі ми звернули увагу на дослідження АНС та вегетативного компонента переробки інформації різного ступеня складності та модальності сигналів оскільки даний напрямок досліджень недостатньо описаний у літературних джерелах.

Тому, метою роботи був аналіз динаміки функціональних змін вищих психофізіологічних функцій і взаємодії нейрофізіологічних та автономних механізмів регуляції під час переробки інформації різної складності та модальності.

1.3. Нейрофізіологічні механізми регуляції переробки інформації

Важливою проблемою сучасної психофізіології є пошук зв'язку між частотно-часовими параметрами електроенцефалографії (ЕЕГ) та індивідуальними особливостями вищих психічних функцій людини. Відомо, що

будь-яка діяльність людини розгортається на фоні певного функціонального стану її нервової системи, що може бути оцінене за показниками ЕЕГ. В роботах науковців показано, що ряд індивідуальних ЕЕГ характеристик може забезпечити прогноз особливостей відповіді на зміни оточуючого середовища. В дослідженнях різних типів мозкової активності людини найчастіше використовується співставлення спектрально-потужносних характеристик ЕЕГ під час виконання різних завдань з характеристиками вихідного стану [216; 247]. Традиційною є уява про зв'язок довільної регуляції з діяльністю лобних часток ГМ [153]. Ліванов М. Н. [54] ввів поняття «блок програмування, регуляції та контролю діяльності», об'єднав під ним структури, що відповідають за реалізацію процесів управління діяльністю. Ці структури включали, в першу чергу, префронтальні області КГМ. Автори в своїх роботах [166; 179; 202] розглядають ідеї про існування складної функціональної системи взаємовідношень префронтальної кори з іншими областями мозку, підкірковими та стовбуровими утвореннями, котрі забезпечують програмування, регуляцію і контроль інформаційної діяльності.

Розвиток та широке застосування методу ЕЕГ розширив коло досліджень стосовно вивчення нейрофізіологічних основ переробки інформації [194; 220; 240]. Особливості можуть бути пов'язані з клітинною будовою різних ділянок кори, провідних шляхів, метаболізму медіаторів, товщини та властивостей тканин, що лежать на шляху від кори до реєструючого електрода [26]. А. Brechmann відзначав, що елементи, які складають ЕЕГ, перебувають у певній залежності від глибинних і стабільних рис індивідуальності, очевидно, психофізіологічного характеру. У біоелектричній активності ГМ відображаються індивідуальні особливості механізмів сприйняття, уваги, кодування й обробки інформації [28; 78]. В індивідуальних характеристиках ЕЕГ містяться інформативні ознаки, які забезпечують прогноз часу реакції та кількості помилок у інформаційних тестах.

Параметри ЕЕГ відображають сукупність властивостей ЦНС, що проявляються на генетично детермінованому рівні [186; 200]. Показники

синхронізації та когерентності пов'язують із параметрами пластичності психічних процесів [54]. У літературі описані дані про те, що ряд показників фоновій ритміки, вираженість і частота альфа-, тета- і дельта-ритмів, а також характер змін ЕЕГ при аферентних подразненнях корелює з типологічними особливостями особи, із динамічністю нервових процесів.

Однією з перших робіт в галузі дослідження просторово-часової організації нервових процесів головного мозку за даними ЕЕГ на комп'ютері була робота Ливанова М. Н. [54]. Показано роль просторової синхронізації біопотенціалів в КГМ у нормі та патології.

Відомо, що фоновий стан ЕЕГ вагомо впливає на результати виконання різних видів когнітивних операцій [23]. Параметри просторової кореляції ЕЕГ відіграють важливу роль у завданнях ідентифікації та можуть бути важливою мірою надійності людини [15; 39].

У літературі є багато даних про зв'язок швидкості реакції людини з показниками тестів інтелекту: чим вищий інтелект, тим швидше здійснюються реакції, що вимагають ідентифікації, розрізнення, ототожнення знаходження схожості й відмінності різних стимулів-об'єктів [31; 58; 74; 241]. На думку авторів [24; 39; 57] час реакцій є показником біологічного інтелекту – швидкості, із якою мозок обробляє інформацію, що надходить.

В осіб «сильного» типу під час виконання тестових завдань частіше, ніж у «слабкого», залучається права півкуля, і, навпаки, «слабкий» тип у якості компенсаторної реакції більшою мірою опирається на ліву півкулю [18; 88]. Виходячи з уявлень про те, що за переважаючої активності правої півкулі загальний рівень активації мозку вищий, ніж за переважання активності лівої, можна припустити, що залучення фазичного компонента активації, який зумовлений когнітивними навантаженнями, у «слабкого» типу в ролі компенсаторної реакції підвищує вихідний рівень активації мозку більшою мірою, ніж у «сильного» [38; 75].

Високочастотна та низько амплітудна ЕЕГ традиційно розглядається як ознака переважання процесів збудження [59], нейротизму, неврівноваженості та

інтровертованості [106]. Поєднання цих ознак із низькою сумарною потужністю всіх ЕЕГ-частот може свідчити про переважання збудження за «слабкості» нервових процесів загалом, що, згідно із літературними даними, характерно для інтровертів, осіб із високим рівнем нейротизму та тривожності, «слабким» типом нервової системи й низькою рухливістю нервових процесів. Висока амплітуда та низька частота ЕЕГ за високого рівня когерентності біопотенціалів розглядаються як ознаки «сильної» нервової системи, екстравертованості, низької тривожності [59, 75, 76]. Учені розглядають тета-частоти як корелят екстравертованості та низької тривожності, а високий рівень когерентності (особливо лобних структур) – сили нервових процесів. Значне вираження бета-частот, за даними досліджень [84], вказують на високу лабільність нервових процесів.

О.М. Разумнікова [84] пропонує поняття «психологічний тип», яке означає деякі способи прийняття та переробки інформації й формування поведінкових реакцій, що відрізняють одного індивіда серед інших численних варіантів поведінки і мислення. Така стабільність, на думку автора, може бути зумовлена переважно включенням певних «жорстких» форм взаємодії нейронних ансамблів мозку та відображатись у специфічних патернах ЕЕГ, як це показано в ряді досліджень [32; 133].

Швидкий індивідуальний темп переробки інформації пов'язують із гнучкістю просторово-часової узгодженості ЕЕГ, що проявляється у швидкості зміни й відновлення вихідного рівня синхронності під час та після діяльності [82; 84; 145].

Основними методами дослідження синхронності електричної активності різних ділянок кори сьогодні є кореляційний та когерентний аналіз. Вивчення просторової синхронності ЕЕГ навіть за незмінного стану досліджуваного дає змогу констатувати зв'язок механізмів генерації коливань. Показники кореляції та когерентності передбачають виявлення загальної подібності динаміки всієї кривої ЕЕГ або її спектральних компонентів [53]. Однак відомості в цій сфері досить суперечливі. У ряді робіт показано збільшення когерентності та інших

показників синхронності ЕЕГ під час розумової роботи [136]. Зменшення когерентності у фронтальних ділянках і збільшення в інших за когнітивного навантаження було виявлено у ряді досліджень, де показано підвищення когерентності в альфа-діапазоні в когнітивних і моторних завданнях. На основі цих даних висловлюється припущення, що когерентність у альфа-діапазоні загалом відображає процеси збудження [29].

Сукупна діяльність нейронів, що фізіологічно проявляються у феномені локальної синхронізації потенціалів, створює певний енергетичний рівень, на основі якого реалізуються інформаційні процеси. Об'єднання діяльності дистантно віддалених нервових полів за принципом формування когерентних структур створює численні резонансні контури, які чутливі до певних властивостей сигналів. Просторово-часова суперпозиція когерентних структур призводить до виникнення динамічних фокусів підвищеної активності, які здатні концентрувати, збирати та обробляти інформацію, що має багато нервових центрів [246; 247].

Збільшення когерентності ЕЕГ латеральних парах відведень відображає наростання корково-коркової синхронізації, а в медіальних – корково-підкоркової [63]. Додатковим підтвердженням цього припущення є дані про генезис різних ритмічних складників ЕЕГ. Генераторами альфа-ритму вважають таламо-кортикальні структури мозку. Генезис бета-коливань пов'язують не лише з корковими утвореннями, але й з активуючими системами стовбура, які можуть здійснювати модулюючий вплив на коркові структури [111].

У роботах показано, що чим більшого напруження вимагала діяльність, тим більше зростали величини коефіцієнтів кореляції між потенціалами неокортексу [54; 63]. Виконання арифметичного рахунку у здорових людей супроводжується підсиленням процесів синхронізації в коркових структурах мозку та взаємодії з активуючими системами стовбура. Аналогічно можна вважати, що виконання просторово-образних завдань супроводжується збільшенням синхронізації як коркових, так і підкоркових зв'язків із включенням великої кількості структур мозку [39]. Вважають, що альфа-активність виражає

деяку властивість мозку, що визначає ефективність та якість його роботи. За інтенсивної розумової діяльності альфа-ритм у корі може бути добре вираженим [148]. Виходячи з сучасних результатів про зв'язок альфа-ритму з обробкою сенсорної інформації, а тета-ритму з емоційно-мотиваційними процесами, було висловлено припущення, що альфа- й тета-системи забезпечують, відповідно, вибірковість (інформаційний компонент) та мимовільне утримання (мотиваційний компонент) уваги [56; 66]. Під час виконання деяких когнітивних завдань можуть спостерігатись ефекти одночасної синхронізації в передніх та десинхронізації в задніх коркових зонах [14; 53]. Рівень когерентності між потиличними й лобними структурами в альфа-діапазоні набагато вищий, ніж у дельта-, тета- та бета-діапазонах ЕЕГ. Когерентність у потилично-тім'яних структурах більшою мірою, ніж у центральних, визначають когерентність у лобних ділянках, що може бути пов'язано з передачею збудження від потиличного генератора по окципітально-фронтальних шляхах [27; 43; 211; 228; 235].

КГМ постійно піддається синхронізуючим і десинхронізуючим впливам, які перебувають у взаємно антагоністичних відносинах. У свою чергу ретикулярна формація мозку перебуває під постійним контролюючим і регулюючим впливом КГМ, а також під впливом аферентацій, які приходять з відділів, що нижче розташовані. Таким чином, сумарна ЕЕГ є показником не тільки функціонального стану КГМ, але й кірково-підкоркових відносин [33; 68].

Отже, процеси просторової синхронізації є досить адекватним та значимим індикатором кіркових процесів людини під час виконання різних завдань з перобки інформації. Дослідження просторової синхронізації ГМ в основних діапазонах ЕЕГ осіб під час виконання різних типів переробки інформації у літературі не описані. Тому, дослідження, що проводились в межах даної роботи, є новими, актуальними та доповнюють існуючі відомості з вказаної проблеми.

1.4 Біоелектрична активність кори головного мозку при різних видах когнітивної діяльності

Для аналізу ритмів ЕЕГ останнім часом запропоновано декілька методик, проте функціональне значення багатьох з них, особливо при когнітивній діяльності людини остаточно не з'ясовано.

З часів класичних робіт Ганса Бергера [125], відомо, що переробка інформації викликає стійку десинхронізацію альфа-ритму, що є об'єктивним показником активації ГМ. До того ж альфа-ритм пов'язують із зоровим сприйняттям та активацією уваги [7; 8]. Але, як стверджує Limbach K. [187] такий зв'язок є досить складним [33]. Динаміка альфа-активності під час переробки інформації має складний характер: низько- і високочастотний діапазони альфа-ритму більшою мірою співвідносяться з когнітивною діяльністю, відображає процеси неспецифічної активації [23].

Наголошують, що альфа-активність в лобових областях ГМ проявляється під час обробки інформації й здійснює гальмівний контроль top-down, що є важливою вимогою для виникнення творчих ідей. Гальмівна функція альфа-активності показана в роботах [21]. Низька потужність альфа-ритму реєструється в активній зоні кори головного мозку де відбувається обробка інформації, а висока – в незалучених у розумову діяльність локусах [25; 82; 83].

Розумова активність супроводжується підвищенням потужності бета-складових ЕЕГ, а вірогідне посилення бета-активності зафіксоване при переробці інформації з елементами новизни [82]. Доведено, що результативність виконання зорово-просторових завдань позитивно пов'язана з високою активністю ЕЕГ у бета-діапазоні лівої півкулі [113]. Виявлені особливості бета-осциляцій ЕЕГ у відображенні активності сенсорних, моторних та асоціативних ділянок кори, активних при вирішенні просторових задач.

Підтверджено, що існує зв'язок гамма-ритму з процесами уваги, сприйняття, свідомості та семантичної обробки інформації [82; 110]. Встановлено залежність амплітуди і частоти гамма-ритму від стану людини та виду когнітивних тестів

[16]. Вважають, що саме на частоті гамма-ритму відбувається синхронізація активності та функціональне об'єднання просторово віддалених популяцій нейронів при здійсненні свідомої діяльності [13]. За думкою [19; 51; 91] гамма-активація більше пов'язана з процесами сприйняття й уваги, ніж з процесами уявної трансформації зорової інформації й прийняттям рішення. В цілому можна зробити висновок, що гамма-активність модулюється в процесі перероблення інформації на тлі активації та спрямованої уваги до зовнішніх стимулів. У роботі [86] показано домінування правої півкулі за швидкістю обробки інформації та лівої - за амплітудним показниками при вирішенні просторово-образних завдань.

Більшість дослідників вважають, що зміни біоелектричної активності мозку у процесі розумової діяльності, як правило, мають зональну специфіку. Існує декілька способів оцінити характер просторово-часової організації ЕЕГ у процесі вирішення завдань. Одним з них є дослідження дистантної синхронізації біопотенціалів й когерентності спектральних складових ЕЕГ у різних зонах мозку. Автори [166; 231] встановили, що виконання різних типів роботи супроводжується зниженням сполученої активності півкуль і посиленням їх спеціалізації, формуються специфічні просторові ритмозалежні патерни когерентної активності. При реалізації діяльності, пов'язаної з уявною промовою слів і оперуванням зоровими образами, виразні патерни формуються в області бета- і гамма-частот і включають лобово-центальні й частково потиличні відведення правої півкулі, рівень когерентності яких достовірно вище, ніж у лівій півкулі. На участь структур правої півкулі в реалізації діяльності, пов'язаної з оперуванням різними образами, вказується в іншій роботі [137]. Проте у разі мисленнєвого маніпулювання, навіть просторово рознесеними кінестетичними відчуттями, необхідно залучення в роботу обох півкуль зі збереженням певного рівня їх автономності.

Взагалі, у великій кількості робіт, когерентність в тому чи іншому діапазоні дослідники пов'язують з успішністю виконання когнітивної діяльності. В багатьох випадках авторами відзначається, що показники когерентності точніше

відображають різницю в успішності виконання діяльності, ніж спектральні показники ритмів ЕЕГ [7; 197].

Оцінюючи когерентність ЕЕГ у практично здорових осіб дослідники вважають, що не залежно від апаратури, програм, системи відведень електроенцефалографії максимальні значення когерентності фіксуються у передніх зонах неокортексу і зменшуються у каудальному напрямку. Це узгоджується з концепцією Лурія А. Р. [63], та сучасними уявленнями про інтегративну функцію лобових часток, які через кортико-кортикальні зв'язки взаємодіють з іншими відділами мозку. До того ж автокогерентність для правої півкулі вища, ніж для лівої [83], що пояснюється анатомічними особливостями правої півкулі (високе співвідношення білої речовини до сірої) [27; 83]. На думку Трофімової О. В. [96], більш висока внутрішньоккульова когерентність правої півкулі є показником більш низького рівня кортикальної диференціації.

Отже, за величиною та кількістю когерентних зв'язків можна оцінити ступінь функціонального зв'язку формування електричних процесів на поверхні КГМ, тобто побічно визначити рівень внутрішньомозкової інтеграції.

Проте, на думку Н. Є. Свідерської [230] посилення синхронізації при інтелектуальній діяльності може існувати (або не існувати) як головна тенденція, як фон, на якому розгортаються специфічні синхронні процеси у вигляді характерних для даного стану та виду діяльності.

Кірой В. М. та Петросовою Т. А. було показано, що в умовах вирішення розумових завдань число значущих коефіцієнтів когерентності ЕЕГ в частотному діапазоні 0,5-30 Гц залежить від функціонального рівня ГМ і може як підвищуватись, так і знижуватись при виконанні однакових когнітивних тестів [37; 91].

Встановлено, що при переробці інформації відбувається різке збільшення числа ділянок КГМ з високими значеннями коефіцієнтів кореляції різних складових ЕЕГ. Проте, залежно від характеру завдання та обраного показника картина міжзональних відносин може бути різною. Наприклад, при вирішенні арифметичних завдань [137; 81] зростає ступінь дистантної синхронізації

біопотенціалів в лобових і центральних відділах лівої півкулі, а також виникає додатковий локус активації в тім'яно-потиличних відділах. Залежно від ступеня алгоритмізації дії змінюється ступінь просторової синхронізації біопотенціалів. При виконанні легкої за алгоритмом дії зростає ступінь синхронізації в задніх відділах лівої півкулі, а при простій алгоритмічній дії локус активації переміщається у передні зони лівої півкулі.

При когнітивній діяльності (вирішенні вербально і образних задач) на ЕЕГ людини встановлюються ритмічні патерни, які можна ідентифікувати з характером переробки інформації [32; 78; 102]. Іваницький А. М. зі співавторами [32] встановили, що на етапі виникнення задуму локус синхронізації в тета-діапазоні частот ЕЕГ локалізувався у лобовій й префронтальній зонах, а при вербалізації образу – у передніх й задніх ділянках КГМ.

В роботі [25] встановлено, що найбільш чутливим до переробки інформації є загальна активація мозку, яка зростає по мірі ускладнення тестів. Аналіз отриманих даних дозволив думати про топографічну вибірковість ЕЕГ-активації та її залежність від психофізіологічної організації розумових процесів. Показано, що на тлі загального посилення активації складових ЕЕГ при виконанні розумових тестів чітко виявляються області домінант максимумів, локалізація яких визначається складністю завдань, співвідношенням наочних і вербальних компонентів у їх структурі, ступенем автоматизації розумових дій. Активація ЕЕГ в центральній (сенсомоторній) області лівої півкулі відбувалася при внутрішній промові слів. ЕЕГ-активація в лобових ділянках визначалася модальністю пошуку рішення (мовного або зорового) складних завдань. Максимуми активації в одних випадках були представлені в лівій лобовій області, а в інших – у правій. Зорові тести викликали підвищену активацію в обох потиличних ділянках та правій скроневій області.

У дослідженні [51] звернено увагу на міжпівкульну асиметрію альфа-активності у процесі виконання завдань: рахунку в умі та уявленої візуалізації. Показано, що в цілеспрямованій діяльності (якою є виконання завдань за інструкцією) за показниками коефіцієнтів асиметрії ЕЕГ і коефіцієнтів

реактивності слід виділити принаймні три етапи: очікування завдань, прослуховування інструкцій та виконання завдань. Встановлено, що фонова міжпівкульна асиметрія альфа-активності змінюється по-різному, в залежності від характеру завдань, етапу виконання, специфіки професійної підготовки, візуально-образної чи вербальної діяльності. Спрямованість міжпівкульної активації встановлена на етапі готовності до виконання завдань і виявляється на наступних етапах: в операціях усного рахунку - у всіх ділянках лівої півкулі; у завданнях на уявлення - в потиличних областях правобічна міжпівкульна активація у «художників». Отже, отримані дані, які вказують на просторово-часовий розподіл по поверхні мозку ЕЕГ-активації таких факторів, як тип завдання, стадія виконання та професійна підготовка обстежуваних.

У когнітивній діяльності людини принципове значення мають дані про функціональну диференціацію півкуль та співвідношення елементів усвідомлюваного та не усвідомлюваного [51; 52; 68; 246]. Їх спеціалізація відносно способів переробки інформації створює умови для різнорівневого підсвідомого та усвідомлюваного сприйняття й оцінювання стимулів. Взагалі проблема неологічних (заснованих на підсвідомому прийнятті рішень) форм мислення має досить невеликий «науковий стаж», але існують вагомі передумови для спостереження за функціональною активністю мозку під час їх реалізації, які представлені у вигляді феномену перерозподілу вогнищ підвищеного збудження або гальмування у КГМ, що фіксується за допомогою метода ЕЕГ [8; 38; 82].

Таким чином зазначимо, що узгодженості коливань біопотенціалів різних коркових зон, як показнику інтеграційних процесів в ЦНС, в даний час відводиться значна роль. Однак, експериментальні дані щодо зміни когерентності ЕЕГ за умови переробки інформації різної складності та модальності є суперечливими й неоднозначними. Це змушує дослідників повертатися до питання природи тих нейрофізіологічних процесів, що лежать в основі переробки різної інформації.

1.5. Актуальні питання взаємодії нейродинамічних, нейрофізіологічних властивостей і автономної нервової систем за умови переробки інформації різної складності та модальності

Розповсюдження інформаційних навантажень у сучасному житті пред'являють підвищені вимоги до психофізіологічних функцій організму людей. Тому з метою подальшого розуміння механізмів регуляції психофізіологічних станів під час переробки інформації, виявлення надійних індикаторів діагностики та попередження розвитку несприятливих змін та погіршення здоров'я виникає потреба постійного дослідження та аналізу впливів інформаційних навантажень на зміну нейрофізіологічних та автономних механізмів забезпечення.

Відомо, що під час когнітивної діяльності формується специфічна функціональна система, яка включає фізіологічні функції мозку для сприйняття, переробки та утримання великої кількості інформації у пам'яті, планування дії, контролює гальмування та переключає увагу, формує витривалість, яка пов'язана з операційними та моторними, а також вегетативними функціями, що її забезпечують. Для оцінки функціонального стану психофізіологічних характеристик когнітивної системи мозку, як правило, звертають увагу на нейродинамічні характеристики, виміри кількості і якості переробки інформації різної модальності, та ЕЕГ-активності кори, а для оцінки регуляторних функцій АНС на ВСР. У когнітивних підходах вивчення реакцій на сигнали різної модальності, проводять за допомогою сенсомоторної хронометрії (Mental Chronometry) [23; 67]. Загальний механізм часу реакцій описується фактором швидкості (General speed factor), який має біологічну основу [23; 67]. Для цього вимірюють та оцінюють різні швидкісні прості go/go і складні рухові реакції диференціювання stop-signal або go/nogo [59; 60; 141; 191; 192; 194]. Широкого визнання для визначення інтегративних функцій мозку під час переробки інформації набули різні варіанти двохстимульного тесту go/nogo [13]. Використання подвійних завдань стало корисним у діагностиці Альцгеймера,

Паркінсона, деменції, шизофренії, гіпофронтальності, гіперактивних дітей, а також оцінки ризиків для людей, які працюють в екстремальних умовах [82; 124; 136]. Як модель складних завдань з переробки інформації різної модальності, що вимагають постійної інтеграції когнітивних систем, переключення уваги, обробки сигналів у пам'яті та екстреної побудови та перебудови програми відповіді було запропоновано трьохстимульний тест диференціювання подразників у парадигмі *gol/nogo/gor* [67]. Сенсомоторний тест з трьохстимульним завданням *gol/nogo/gor* є ефекторною ланкою усіх нейрокогнітивних мереж, які характеризують взаємодію аналізаторних, моторних і мотиваційних систем мозку і тих, що з ними зв'язані. Показано, що якісний рівень сенсомоторної інтеграції мозку визначається точністю реакції, а швидкість реагування виступає в ролі кількісної її характеристики [234; 169]. При цьому під точністю розуміють малу варіативність часу реакції і її відповідність до появи даного сенсорного стимулу [201]. Визнано, що якісний рівень взаємодії когнітивних систем мозку може бути оцінений за умови неправильних сенсомоторних реакцій, а для її оцінки використовують аналіз кількості помилок [67].

Важливою складовою інтегративних процесів у мозку є її нервово-емоційна компонента, що зв'язана з енергетичним забезпеченням та активацією регуляторних функцій АНС. Доведено, що виконання різних видів когнітивних завдань супроводжується змінами осциляторних процесів на центральних ЕЕГ-рівнях та периферичному рівні у хвильових модуляторів СР [40; 103]. У дослідженнях взаємодії нейровісцеральних функцій розглядається участь кіркових структур у орієнтації, мобілізації властивостей уваги та пам'яті, у тому числі і АНС за показниками СР [47; 51; 52]. Доведено, що переробка складної інформації різної модальності у режимі диференціювання *go/nogo/go* і переключення уваги супроводжується різними перебудовами не тільки у взаємодії нейрокогнітивних систем мозку [56; 57; 142], а і кількісними та якісними характеристиками регуляції серцево-судинної системи [104].

Виконання арифметичних задач збільшує швидкість дихання, серцевого ритму та ЕЕГ потужності спектральної енергії в тета-діапазоні у ділянці F3, F4, C3, C4 і C4 електродів, знижує тривалість кардіореспіраторної епохи синхронізації. Результати показали, що АНС й КГМ залучені до зміни кардіореспіраторної синхронізації під час виконання арифметичного завдання [190; 219]. Зміни активності ГМ проявляються раніше, ніж вегетативної активності й існує значна кореляція між варіабельністю СР та енергією вейвлет-пакетів при виконанні арифметичних задач в умі [68; 74]. Свідома діяльність посилюється зі зменшенням парасимпатичної активності та збільшенням симпатичної ланки АНС. У дослідженнях [26; 27] була продемонстрована скорельована зміна альфа-активності ЕЕГ й показника співвідношення LF/HF під час вирішення арифметичних задач.

Джебраїловою Т.Д. було встановлено зв'язок між успішністю рівня знань студентів з показниками сенсомоторної діяльності та параметрами вегетативного забезпечення когнітивної діяльності [26; 147]. У групі успішних студентів під час виконання тесту спостерігалися більш виражені парасимпатичні впливи на серцеву діяльність. В ряді інших робіт автори наголошують на тому, що успішній діяльності сприяє збалансована і скоординована робота симпатичного і парасимпатичного відділів АНС [26]. Проте є також дослідження, в яких прямий зв'язок між успішністю переробки інформації та показниками АНС не простежується [49].

В цілому літературні дані вказують про значущість аналізу ВСР для оцінки фізіологічної відповіді організму на здійснення когнітивних функцій. Не зважаючи на це, порівняння результатів різних досліджень приводять до висновку про кардинально різні трактування зв'язку тих чи інших показників з досліджуваними когнітивними феноменами та успішністю здійснення інтелектуальної діяльності. Наявні протиріччя можуть свідчити про недостатньо повне розуміння механізмів кортико-вісцеральних відносин [146].

Висновок до розділу 1: Узагальнюючи представлені в літературному огляді дані можна констатувати, що успішність переробки інформації значною

мірою зв'язана з активацією не тільки сенсорних, моторних та когнітивних процесів, мозкової активності, а і систем, що їх забезпечують, активацією АНС та її механізмів. Але невідомими залишаються питання про зв'язок та взаємодію психомоторної діяльності з нейрофізіологічними та вегетативними механізмами переробки інформації різної складності та модальності. Вважаємо, що подальше дослідження цих питань є важливим для більш глибокого аналізу механізмів діяльності мозку та регуляції роботи АНС на різних етапах переробки інформації, розуміння біологічних основ індивідуальної поведінки людини.



РОЗДІЛ 2

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. *Методи досліджень*

Для досягнення поставленої мети та завдань дисертаційної роботи використовували наступні методи дослідження:

1. Визначення та оцінка нейродинамічних характеристик швидкості та якості переробки інформації.
2. Дослідження кардіоінтервалографії та механізми регуляції автономної нервової системи, серцевого ритму під час переробки інформації різної модальності та складності.
3. Дослідження ЕЕГ-характеристик переробки інформації різної модальності та складності.
4. Методи математичної статистики.

Вивчення й узагальнення спеціальної літератури з теми дисертаційної роботи проводилося за монографіями, авторефератами, дисертаціями, журнальними статтями у яких розглядалися питання про механізми взаємодії нейродинамічної, нейрофізіологічної та автономної нервової систем за умови переробки різноманітної інформації. Проаналізовані інформаційні файли українських, російськомовних і англomовних пошукових систем, серед них «Google», «Alta Vista» (www.alvista.com).

Аналіз літературних джерел дозволив сформулювати загальне уявлення про досліджувану проблему та встановити рівень її розробленості і перспективність.

2.2. *Визначення та оцінка нейродинамічних характеристик швидкості та якості переробки інформації*

Зазначена мета та завдання досліджень обумовили необхідність вивчення нейродинамічних характеристик обстежуваних та дослідити нейродинамічні характеристики швидкості та якості переробки інформації.

Аналіз літератури показує, що в результаті переробки інформації утворюється функціональна система, яка об'єднує різні ділянки кори мозку і підкірки, а також органи і системи для виконання та забезпечення такої роботи [3]. За цих умов доцільно виділити дві підсистеми: – інформаційну («зовнішню») і вегетативну («внутрішню»). «Внутрішня» підсистема забезпечує досягнення цілей переробки інформації за рахунок внутрішніх психофізіологічних ресурсів [26; 27]. «Зовнішня» підсистема, спрямована на підвищення ефективності та надійності переробки інформації за рахунок контролю, прогнозування та корекції стану людини (чи підтримки та відновлення її працездатності) [183]. Але подібне розуміння сутності забезпечення переробки інформації, на наш погляд, є обмеженим, бо при цьому здебільшого залишаються поза увагою дезадаптаційні фактори, вплив яких може привести до негативних наслідків.

Психофізіологічні методики дослідження переробки інформації повинні бути максимально інформативними та практично доступними, оскільки в цьому полягає їх цінність та прогностичне значення [66]. Саме тому при виборі дослідницьких методів, які можуть бути застосовані при вирішенні завдань психофізіологічного забезпечення переробки інформації, ми виходили з того, що вони повинні відповідати таким вимогам: відносна простота, інформативна, надійність, валідність, ефективність, та зручність їх застосування. Адже тільки при дотриманні зазначених умов можна реально розв'язувати проблему психофізіологічного забезпечення різних видів діяльності в масштабах країни.

З досліджуваними проводили інструктаж і тренування на швидкостях пред'явлення подразників: 30, 40, 50 за хвилину. Це давало можливість обстежуваному не тільки концентрувати увагу на виконанні завдання, але й ознайомитися з ритмом подачі сигналів та загасити орієнтувальний рефлекс. Моторне завдання включало реєстрацію часу рухової реакції правою рукою на сигнали різної модальності в режимі go/go. Для когнітивного завдання використали нейрофізіологічний тест в режимі goL/nogo/goR з випадковим (по 33%) пред'явленням сигналів різної модальності, на які потрібно відреагувати (go), а на подразник nogo реагувати не потрібно [67].

Перед початком роботи обстежуваний отримував інструкцію, у відповідності з якою необхідно було виконувати завдання у режимі goL/nogo/goR: при появі на екрані фігури «коло» швидко натискати пальцем лівої руки на ліву кнопку (goL), на «квадрат» - правою рукою на праву кнопку (goR), а при пред'явленні «трикутника» - гальмівний подразник - не натискати на жодну з кнопок (nogo). Спочатку у обстежуваних на комп'ютерному пристрої «Діагност-1М» в режимі «оптимального ритму» провели дослідження швидкості складної реакції вибору двох з трьох подразників (goL/nogo/goR) та кількості помилок [60; 67]. Визначення швидкості переробки інформації у режимі goL/nogo/goR і якості виконання проводили для лівої та правої руки, окремо на геометричні фігури та вербальні стимули. Визначення часу на складні реакції диференціювання фігур goL/nogo/goR для лівої і правої руки проводили у режимі «нав'язаного ритму». Обстежуваному пред'являли на екрані комп'ютера позитивні і гальмівні подразники у вигляді геометричних фігур (коло, квадрат і трикутник).

Для визначення швидкості та якості реакції goL/nogo/goR на пред'явлення вербальних подразників використовували групу слів (рослини, тварини, предмети). Обстежуваний отримував інструкцію, у відповідності з якою необхідно було виконувати завдання у режимі goL/nogo/goR і при появі на екрані слова «тварин» швидко натискати пальцем правої руки на праву кнопку (goR), на «рослини» натискати пальцем лівої руки на ліву кнопку (goL), а при пред'явлення «предметів» - гальмівний подразник - не натискати на жодну з кнопок (nogo). Реєстрували середній час здійснення реакції для лівої і правої руки, абсолютну і відносну (%) кількість помилок, статистичні показники переробки інформації.

Експериментальне завдання складалося з виконання завдання з переробки інформації на різних швидкостях подачі сигналів. Починали з пред'явлення фігур на швидкості 30 подразників за 1 хвилину. Потім швидкість пред'явлення подразників збільшувалась дискретно на 30 кадрів у кожному наступному тесті і переходили до 60, 90 і 120. Після короткого відпочинку (30 с) завдання для

випробовуваного повторювалась, але для переробки інформації були використані вербальні подразники. За умови дослідження кожний обстежуваний переробляв однакову за змістом інформацію та з поетапним підвищенням швидкості пред'явлення сигналів: 30, 60, 90, 120 за хвилину. Усього обстежувані послідовно виконували 8 серій. Час пред'явлення кожної серії був незмінний і тривав 60 секунд. За цей період роботи кількість переробленої інформації для обстежуваних становила 600 подразників. Кількість помилок та їх відсоток для кожної швидкості висвітлювався на екрані та заносився у протокол. Результати обробки інформації у всіх дослідженнях виводили на екран ($X \pm m$, CV, кількість помилок) та заносили у індивідуальні протоколи обстежуваних.

Були проведені дослідження і визначені показники, що характеризують кількісну та якісну складову переробки інформації: загальний час роботи, кількість помилок та пред'явлених сигналів.

2.3. Дослідження кардіоінтервалографії та механізмів регуляції автономної нервової системи серцевого ритму під час переробки інформації різної модальності та складності

Концепція математичного аналізу ВСР, як індикатора адаптаційних реакцій всього організму, розроблена Р. М. Баєвським [6] і зараз визнається широким загалом вчених і практиків. Відомо, що результат діяльності систем регуляції в живому організмі проявляється у вигляді коливань структурної, енергетичної і інформаційної рівноваги, що відбуваються на всіх рівнях (від клітинного до організменного). Ці коливання відображають діяльність механізмів безперервної регуляції серцево-судинної системи й поточний функціональний стан організму [6; 73; 103]. Наявність коливальних процесів з різними періодами й амплітудою, які відбивають діяльність механізмів центрального керування й саморегуляції як у нормі, так і при патології, може бути виявлена за допомогою реєстрації кардіоритмограм (КРГ) і подальшого математичного аналізу ВСР.

Кардіоінтервалометричні показники дозволяють оцінити спрямованість вегетативних впливів на ритм серця і здатність міокарду реагувати на різноманітні фактори. Тому виміри і аналіз показників ВСР є однією з найбільш перспективних методик для оцінки функціонального стану організму і, особливо, серцево-судинної та АНС [40; 103].

Сучасний підхід щодо оцінки варіабельності інтервалів R-R та стану АНС базується на стандартах, запропонованих у 1996 році на спільному засіданні Європейського товариства кардіологів і Північно-Американського товариства електростимуляції і електрофізіології. У відповідності до цих стандартів ВСР рекомендується вимірювати короткими (5 хв.), або довгим (24 години) записам кардіоінтервалів. Аналіз варіабельності ритму серця рекомендується проводити статистичними та спектральними методами.

Реєстрація КРГ проводилася у положенні сидячи перед монітором компютера. Відповідно до «Міжнародного стандарту» [Task Force of the European of Cardiology, 1996] у дослідженнях аналізувались послідовно 5-хвилинні (300 с) КІГ.

Статистичні методи характеризуються аналізом змін тривалості послідовних R-R-інтервалів з подальшим обчисленням різних коефіцієнтів. Інтервали R-R між комплексами QRS нормальних кардіоінтервалів прийнято називати інтервалами NN (normal-normal).

Найбільш поширеними методами аналізу варіабельності є методи аналізу ритмокардіограм. Для вивчення особливостей вегетативного забезпечення виконання завдань з переробки інформації різної швидкості подачі подразників використовували методику кардіоінтервалографії (КІГ). КІГ це класичний та найбільш вивчений метод оцінки роботи серця, що рекомендований Європейським товариством кардіологів. В даній роботі нами були використані методи: варіаційної пульсометрії, часовий та спектральний аналізи.

В нашому дослідженні стан регуляції серцево-судинної системи та взаємовідношення відділів автономної нервової системи визначали у стані

спокою, а потім під час виконання завдань. Отримані показники ВСР та САСР вносилися до індивідуальних протоколів.

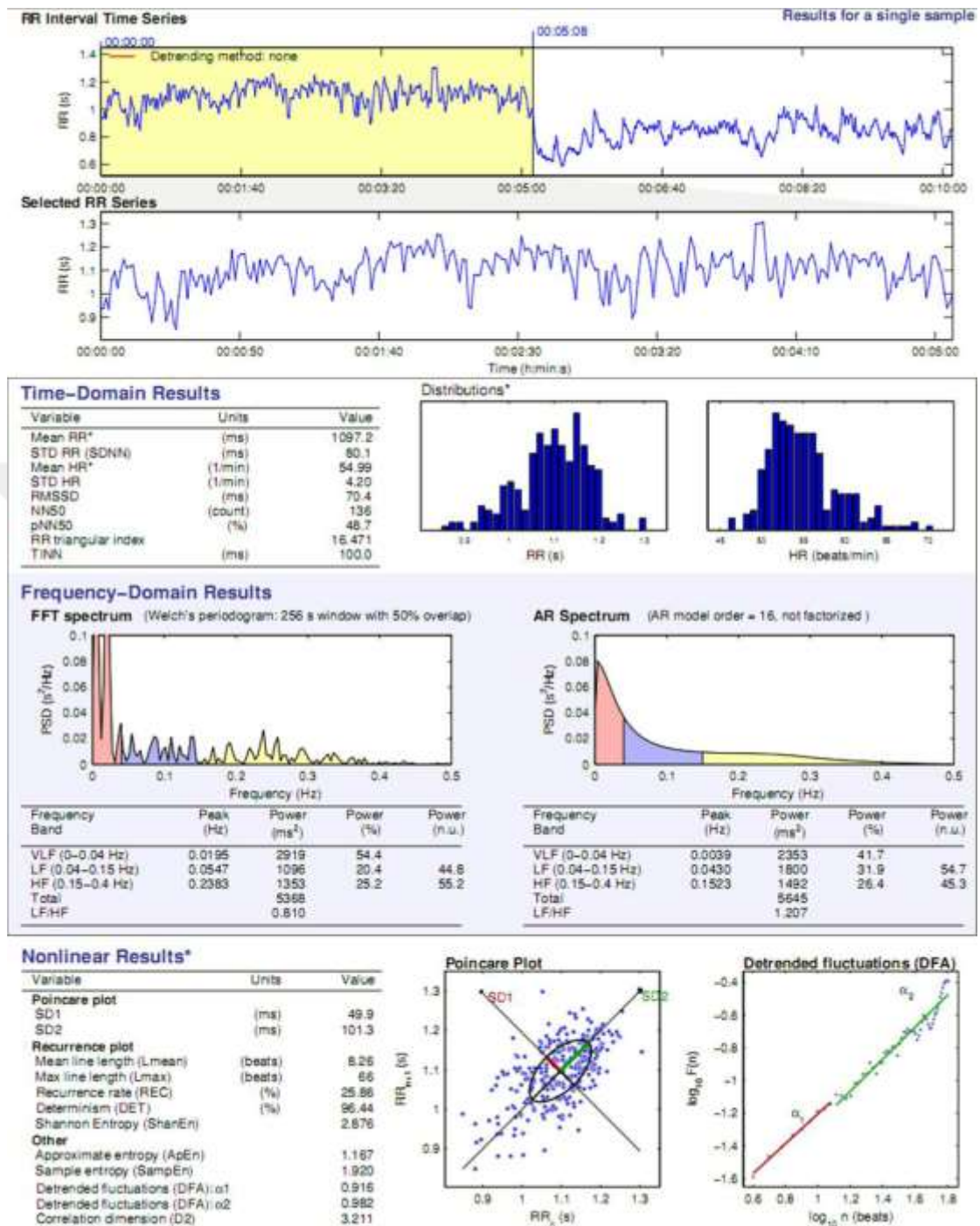


Рис. 2.1 Графічне зображення моніторних даних кардіоритмографічного обстеження

Кардіоритмографічні дослідження проводилися за допомогою програмно-апаратного комплексу «Polar» [40]. Розраховувалися статистичні характеристики динамічного ряду кардіоінтервалів: математичне очікування

динамічного ряду (RRNN); стандартне відхилення нормальних величин R-R інтервалів (SDNN); коефіцієнт варіації (CV); частка послідовних R-R інтервалів, відмінність між якими перевищує 50 мс (pNN50, %).

У програмі був реалізований метод варіаційної пульсометрії, при цьому будувалася гістограма й визначалися різні її характеристики: мода (Mo), амплітуда моди (AMo), варіаційний рзмах ($\Delta R-R$). Розраховувалися також: індекс напруженості (IH), стрес-індекс (SI), індекс вегетативної регуляції (IBP), вегетативний показник ритму (ВПР).

Спектральний аналіз проводився безпосередньо в межах програмного забезпечення апаратного комплексу «Polar», за методом швидкого перетворення Фур'є. Визначалися потужності спектра в мс^2 у наступних діапазонах: надповільний діапазон (VLF) – від 0,003 Гц до 0,04 Гц; діапазон повільних хвиль другого порядку (LF) – від 0,04 до 0,15 Гц; діапазон високочастотних (дихальних) хвиль (HF) – від 0,15 до 0,40 Гц. Також розраховувалися: загальна потужність спектра в діапазоні від 0,003 Гц до 0,40 Гц – $TP_{0-0,40}$ по формулі:

$$TP_{0-0,40} = VLF + LF + HF \quad (1);$$

потужність у діапазоні низьких частот, виражена у нормалізованих одиницях; потужність у діапазоні високих частот, виражена у нормалізованих одиницях та співвідношенні LF/HF. Основна інтерпретація одержаних результатів проводилась за наступними показниками ВСР, ХССР:

Мода – Mo (мс) – значення тривалості кардіоциклів у максимальному розряді гістограми. Цей показник вказує на домінуючий рівень функціонування симпатичної ланки регуляції серцевого ритму;

Амплітуда моди - AMo (%) - показник, що характеризує процентне відношення кардіоінтервалів у максимальному розряді гістограми до всієї вибірки та відображає активність симпато-адреналової системи;

Індекс напруження регуляторних систем - IH (ум. од.) - основний інтегральний показник, розраховується за формулою:

$$IH = \frac{AMo}{2} Mo \cdot Dx \quad (2) [6].$$

Він характеризує активність механізмів симпатичної регуляції та стан центрального контуру управління СР. Активація цього контуру, підсилення симпатичної регуляції під час психічних або фізичних навантажень проявляється стабілізацією ритму, зменшенням розмаху тривалості кардіоінтервалів, збільшенням кількості однотипних за тривалістю циклів. В нормі ІН дорівнює 80-150 ум. од. Цей показник надмірно чутливий до посилення тону симпатичної нервової системи.

Середнє значення тривалості кардіоінтервалів - $M(R-R)$ (мс). Цей показник відображає кінцевий результат численних регуляторних впливів на СР і є оберненою величиною до середньої ЧСС.

Стандартне квадратичне відхилення тривалості кардіоциклів - $SDNN$ (мс). В коротких записах (5 хвилин) значення цього показника коливається в межах 40-80 мс. Зменшення значення $SDNN$ вказує на посилення автономної регуляції, тобто на збільшення впливів дихання на ритм серця. Зміна розглянутих показників часового аналізу ВСР в напрямку збільшення та зменшення пов'язана, відповідно, з посиленням парасимпатичних впливів і з активацією симпатичного тону ВНС.

Стрес-індекс (індекс напруження регуляторних систем) – SI - ступінь напруження регуляторних систем (ступінь переважання активності центральних механізмів регуляції над автономними).

Індекс централізації (IC) – ступінь централізації управління ритмом серця (переважання активності центрального контура регуляції над автономним).

Спектральний аналіз ХССР надає інформацію про розподіл потужності в залежності від частоти коливань. В наш час спектральний аналіз ХССР є найбільш інформативним методом оцінки стану тону вегетативної нервової системи, який дозволяє кількісно охарактеризувати активність різних відділів АНС через їх вплив на функцію синусового вузла [103]. В спектрі ХССР розрізняють три головних компоненти: HF (потужність у діапазоні високих (0,15-0,4 Гц), LF (низьких (0,04-0,15 Гц), VLF (дуже низьких (<0,04 Гц) частот. Ці показники визначались як в абсолютних, так і в нормалізованих одиницях:

HF (0,15-0,4 Гц) - потужність у діапазоні високих частот. Згідно класичній фізіологічній інтерпретації для коротких ділянок стаціонарного запису потужність високочастотного компонента спектру відображає перш за все рівень дихальної синусової аритмії та парасимпатичні впливи на серцевий ритм [6; 232]. Абсолютна величина дихальної складової спектру, як правило, дорівнює близько 1000 мс^2 . Вона складає 15-25% від сумарної потужності спектру;

LF (0,04-0,15 Гц) - потужність у діапазоні низьких частот (повільні хвилі 1-го порядку або вазомоторні хвилі). Думки вітчизняних та західних дослідників-науковців стосовно впливів, які відображає потужність низькочастотних коливань серцевого ритму, розходяться. За даними Р.М. Баєвського [6] потужність повільних хвиль 1-го порядку виявляє активність підкоркового судинного центру. В нормі частка вазомоторних хвиль в положенні лежачи становить від 15 до 35-40% [5].

VLf (0-0,04 Гц) - потужність у діапазоні дуже низьких частот (повільні хвилі 2-го порядку). Амплітуда VLf тісно пов'язана з психоемоційним напруженням. Існують дані, що потужність цих хвиль відображає активність ренін-ангіотензинової системи і модулюється як симпатичною, так і парасимпатичною нервовими системами [1]. В нормі, за умов спокою, потужність у діапазоні дуже низьких частот складає 15-35% від сумарної потужності спектру.

Спектральний аналіз включає також визначення індексу вагосимпатичної взаємодії (LF/HF), що характеризує відносне переважання симпатичної ланки ВНС в регуляції серцевого ритму над парасимпатичною.

Спектральний аналіз включає також визначення потужності високочастотних коливань у нормалізованих одиницях (HF_{norm}). Значення цього показника відображає відносний внесок коливань серцевого ритму високої частоти у загальну спектральну потужність без урахування потужності хвиль дуже низької частоти. Його розраховують за формулою:

$$\text{HF}_{\text{norm}} = \text{HF} / (\text{HF} + \text{LF}) \cdot 100\% \quad (3) \quad [6; 40].$$

2.4. Дослідження ЕЕГ-характеристик переробки інформації різної модальності та складності

Для дослідження електричної активності головного мозку в стані спокою та під час виконання завдань різного ступеня складності використовували комп'ютерну систему «НейроКом» розроблену НТЦ «ХАІ Medica». Під час проведення експерименту досліджувані перебували у звуко- та світлонепроникній кімнаті. Електроенцефалографічне дослідження проводили в положенні сидячи, після 10-15-хвилинного відпочинку, в приміщенні з комфортною температурою повітря. Перед реєстрацією ділянки шкіри в місцях накладання електродів обробляли кремом для зняття ЕЕГ з метою зниження опору ділянки контакту електрод-шкіра. Електроди перед кожним їх накладанням дезинфікували спиртом. Перед кожним вимірюванням здійснювали автокалібрування з контролем якості накладання електродів.

Багатоканальне відведення ЕЕГ здійснювалось за загальновизнаною методикою за допомогою автоматизованого комплексу у 19 відведеннях з розміщенням електродів по міжнародній системі 10-20 у лобних (передньофронтальних – F_1 , F_2 , задньофронтальних – F_3 , F_4 , латеральнофронтальних – F_7 , F_8), передніх (T_3 , T_4) і задніх (T_5 , T_6) скроневих, центральних (C_3 , C_4), тім'яних (P_3 , P_4) та потиличних (O_1 , O_2). У якості референтного використовували вушне відведення (A_1 - A_2) [21].

У функціональних пробах аналізували 60-секундні відрізки. Частоти зрізів фільтрів високих і низьких частот складала відповідно 1,5 і 35,0 Гц, частота оцифровки сигналу – 250 с^{-1} . ЕЕГ-сигнали оброблялись з допомогою швидкого перетворення Фур'є з використанням згладжування по методу Бекмена.

Оскільки провідна роль у зміні функціонального стану людини за умови переробки інформації різної модальності та складності належить церебральним структурам, то ми провели серію досліджень з реєстрацією ЕЕГ. У цих дослідженнях взяли участь 19 осіб чоловічої статі, 17-18 років (середній вік $17,4 \pm 0,7$ років). Обстежувані були ознайомлені з ходом експерименту і дали

згоду на проведення. Всі обстежувані знаходилися упродовж експерименту у спокійному стані з заплющеними очима, сидячи у зручній позі. ЕЕГ реєстрували у фоні за 1-2 хв. І під час переробки інформації різної модальності та складності. Обстежуваний упродовж всього дослідження знаходився у положенні сидячи, у спокої з відкритими очима і здійснював швидкі правильні відповіді на моторне і когнітивне завдання. Запис ЕЕГ проведений у відповідності до часу проведення серії дослідів.

У кожного учасника експерименту записували ЕЕГ у шести тестах. Перший запис ЕЕГ здійснювали у фоні з закритими, а другий з відкритими очима. Третій раз реєстрували ЕЕГ у тесті - «переробка інформації у режимі go/go на фігури», а четвертий - «переробка інформації у режимі go/go на слова». П'ятий раз записували ЕЕГ у тесті «переробка інформації у режимі goL/nogo/goR на фігури», а шостий - «переробка інформації у режимі goL/nogo/goR на слова». Метою вимірювання ЕЕГ з закритими та відкритими очима (перший та другий тести) було встановити фонову активність хвиль ЕЕГ особливо для різних вихідних умов з намаганням в подальшому порівняти ЕЕГ-активність кори під час переробки зорової інформації різної модальності та складності. Основною метою третього - шостого тестів була оцінка зміни показників ЕЕГ за умови переробки образних та вербальних сигналів у режимі моторного go/go та когнітивного завдання goL/nogo/goR. Для кожного обстежуваного програма виконання тестів була однакова і повторювалась у послідовності: «Реакція go/go на фігури», «Реакція go/go на слова», «Реакція goL/nogo/goR на фігури» та «Реакція goL/nogo/goR на слова». Кожний тест тривав 60 с після чого подавалась інструкція: «Відпочити 30 с, заплющити очі». Потім пред'являли новий тест. У всіх тестах обстежувані повинні були натиснути кнопку пульта приладу при появі на екрані комп'ютера сигналу. Критерієм успішності переробки інформації була кількість помилок і середня швидкість рухової реакції на пред'явлені сигнали. Чим менше обстежуваний робив помилок і менший час був потрібний для реакції відповіді, тим вищою була успішність виконання завдання. Моменти

пред'явлення сигналів і початок відповіді фіксувались у пам'яті комп'ютера для співставлення з відповідними відрізками ЕЕГ [60].

Реєстрацію ЕЕГ проводили в стані спокою з заплющеними очима (30 с) і відкритими очима (30 с). Запис ЕЕГ повторювали і за умови виконання роботи диференціювання сигналів, які пред'являлись з швидкістю 50, 70, 90, 110 та 130 сигналів/хв. Запис ЕЕГ проводили по 60 с на кожній швидкості пред'явлення подразників. Вільний від артефактів сигнал ЕЕГ оцифровували для основних α -, β - та θ -діапазонів у полосі 0,1 – 30,0 Гц (перетворення Фур'є). При проведенні перетворення епоха аналізу складала 2 с з 50% перекриттям. Резекцію ЕЕГ-артефактів здійснювали за допомогою процедури ІСА-аналізу.

ЕЕГ-дані аналізували за допомогою комп'ютерної програми оцінки спектральної потужності (СП, $\text{мкВ}^2/\text{Гц}$) ЕЕГ. Це функція, що задає розподіл потужності сигналу по частотах і дає оцінку основним властивостям стаціонарних і випадкових процесів. Значення СП розраховували для усіх відведень в усіх тестових ситуаціях для частотного діапазону α - (альфа, 8-12 Гц), β - (бета, 13-40 Гц) та θ -ритмів (тета, 4-7 Гц). Розраховували коефіцієнт активації (КА), як відношення потужностей бета- до альфа- (β/α) діапазону. Оцінювали зміни α -, β - та θ -ритмів у фоні при закритих очах і порівнювали її з іншими тестовими ситуаціями при переробці інформації на швидкості її пред'явлення 50, 70, 90, 110 та 130 сигналів за хвилину. Ступінь пригнічення або підвищення ритму визначали за показником зміни СП більше ніж на 75%, то вважали як «повне», більше ніж на 50%, але менше ніж на 75% - «неповне» і якщо менше ніж на 25%- відсутнє [7; 8; 42]. Основними параметрами ЕЕГ є: загальна енергетика, частотний діапазон домінуючої активності, локалізація домінуючої активності, вираженість діапазонів активності (α -, β - та θ -ритмів) [86].

Для кожного обстежуваного при обробці результатів був використаний амплітудно-частотний та когерентний аналіз. На основі виділення хвиль ЕЕГ після режекції артефактів методом розкладання ЕЕГ на незалежні компоненти (ІСА) проводили статистичну оцінку ЕЕГ-хвиль. Вона включала обчислення середньої амплітуди і періоду безартефактних ЕЕГ.

Для оцінки просторово-часової організації ЕЕГ мозку використовували коефіцієнт кореляції (КК) ЕЕГ, розрахований для всіх можливих пар комбінацій з 21-го відведення ЕЕГ. Для оцінки змін ЕЕГ у кожному тесті порівнювали усереднені результати для різної модальності сигналів статистичні показники ЕЕГ у 4-х субтестах з фоновою активністю.

2.5. Статистичний аналіз результатів дослідження

Для аналізу й оцінки отриманих даних застосовувалися методи параметричної й непараметричної статистики, кореляційного, регресійного, кластерного й факторного аналізу [4; 20; 223; 237]. Експериментальний матеріал обробили за програмами Microsoft Excel та Statistica for Windows 6.0 [64].

Оцінка розподілу даних на нормальність проводилася за допомогою критерію Шапіро-Уїлкі. За цим критерієм було виявлено, що показники ВСР та енцефалографії не відповідали закону нормального розподілу ($p \leq 0,05$). Для порівняння двох груп незалежних даних використовували тест Манна-Уїтні, залежних – критерій Уїлкоксона.

Кореляційний аналіз здійснювався за допомогою критерію Спірмена (Spearman rank correlation coefficient). Критичний рівень значущості при перевірці статистичних гіпотез приймався як $p \leq 0,05$. Для опису вибіркового розподілу вказували Me [25; 75] (Me – медіана; 25 і 75 – нижній і верхній квартилі). Розраховували: середнє значення показників (M), величину середньої арифметичної похибки ($\pm m$), середнє квадратичне відхилення (σ), коефіцієнт варіації (CV), а також медіану та 1 і 3 квартилі (Me [25%; 75%]) для вибірок з ненормальним розподілом, критерії достовірності Вілкоксона (парні порівняння) або Мана-Уїтні (порівняння незалежних вибірок). Використовували тест адитивності Тьюкі з поправкою Бонферроні для визначення значущих відмінностей ($p < 0.05$) між середніми значеннями сигналів різної модальності та швидкісними реакціями лівої та правої руки [4; 20]. Результати у таблицях представлені як $X \pm m$ (m - похибка середнього арифметичного). Кореляційний

аналіз було проведено за допомогою коефіцієнту Пірсона (r), якщо дані попадали під закон нормального розподілу та Спірмена (ρ), якщо нормальний розподіл даних був відсутній і визначено їх достовірність.

Проводили факторний аналіз даних для виявлення структури зв'язків між 34-ма пермінними. Виокремили фактори, які пояснюють 65% загальної дисперсії, граничне значення факторного навантаження знаходиться на рівні $\alpha_i \geq 0,70-0,93$. У роботі результати розрахунків подані у вигляді таблиць та рисунків.

2.6. Організація дослідження

Дослідження було проведене у відповідності до етичних стандартів Хельсинської декларації [138] та біоетичних положень Конвенції Ради Європи про права людини (від 04.04.1997 р.), а також наказу МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р. та схвалене рішенням етичної комісії Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького протокол № 12 від 23.05. 2021 р. Всі обстежувані були інформовані про процедуру і мету дослідження, обстежувані дали добровільну згоду на участь у дослідженнях. У обстеженнях взяли участь студенти Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Обстежено 115 юнаків 17-20 років, правші, проведено 1200 випробовувань. Виходили з того, що в багатьох дослідженнях, які присвячені особливостям вищих психофізіологічних функцій особлива увага приділяється зрілому віку із-за стабілізації структурно-функціональних змін в організмі.

Дослідження складалося з 5 етапів. На першому етапі (2017- 2018 рр) була проаналізована і опрацьована сучасна література різних вітчизняних і зарубіжних авторів, апробований інструментальний комплекс для проведення обстежень, обрані тема, мета, завдання роботи та відповідні методи дослідження.

На другому (2017 - 2018 рр) етапі (на науковій базі НДІ фізіології ім. М. Босого Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького обстежено 115 осіб 17- 20 років. У всіх обстежених проводилась оцінка рівня

нейродинамічних особливостей переробки інформації різної модальності та складності.

На третьому етапі (2018 - 2019 рр) проведено дослідження та оцінка особливостей механізмів регуляції СР за умови переробки інформації різної модальності та складності.

На четвертому етапі (2018- 2019 рр) обстежено 30 осіб, які склали групу для визначення ЕЕГ-характеристик та визначені нейрофізіологічні механізми регуляції переробки інформації.

На п'ятому етапі (2019 - 2020 рр) була проведена систематизація, обробка й аналіз отриманих даних, визначені найбільш інформативні показники та критерії, створена база даних, розроблені рекомендації, результати дослідження впроваджені в практику навчальної та дослідницької роботи.

В дисертації використовували методики, аналогічні тим, які були використані у наших публікаціях [61, 67, 73, 80].

Дослідження нейродинамічних характеристик переробки інформації проводили з використанням комп'ютерного пристрою «Діагност 1М» в режимі «оптимального ритму» провели дослідження швидкості складних зорово-моторних реакцій вибору для геометричних і словесних подразників, швидкість пред'явлення сигналів поступово зростала в кожному наступному завданні - 30, 60, 90 та 120 за хвилину.

Визначення механізмів регуляції автономної нервової системи проводили за показниками ВСР. Також досліджували активність механізмів регуляції АНС та взаємодію центрального і автономного контурів управління СР.

Дослідження нейрофізіологічних механізмів регуляції переробки інформації здійснювали шляхом реєстрації ЕЕГ- корелят обробки вербальної та образної інформації, застосовуючи методику когнітивних викликаних потенціалів.

Оцінку результатів дослідження проводили з використанням параметричних та непараметричних методів математичної статистики.

Таким чином, метою роботи був аналіз динаміки функціональних змін вищих психофізіологічних функцій та міжсистемної взаємодії нейрофізіологічних та автономних механізмів регуляції серцевого ритму при переробці інформації різної складності та модальності.

У всіх обстежуваних визначали швидкісні і якісні характеристики когнітивних та моторних функцій на образні та вербальні сигнали, статистичні, варіаційні, кореляційні та спектральні характеристики серцевого ритму і електроенцефалографічні показники викликаних потенціалів мозку.

Під час дослідження психофізіологічних функцій враховували зміни працездатності протягом навчального року, робочого дня і тижня. Тому, дослідження проводили в середині навчального семестру, з вівторка по четвер, з 9 до 13 години дня, що співпадало з високим рівнем розумової працездатності та фізіологічних систем [5].

На початку дослідження з кожною особою індивідуально проводили ознайомлення з методикою проведення дослідження. Під час обстеження чітко дотримувалися порядку дослідження, що для всіх осіб був однаковий. Спочатку досліджували нейродинамічні функції різного ступеня складності та модальності, потім визначали швидкість та якість преробки інформації різної модальності на образні та вербальні сигнали у режимі простих go/go та складних реакцій вибору двох з трьох (goL/nogo/goR) подразників. З метою отримання надійних результатів, дослідження проводили тричі у різні дні, а потім відбирали кращий результат. Моторні властивості реакцій (go/go) та складних реакцій вибору двох з трьох (goL/nogo/goR) сигналів визначали за методикою М. В. Макаренка - В. С. Лизогуба на приладі «Діагност-1М», базова модель якого була розроблена в Інституті фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, а його комп'ютерна модифікація в Черкаському національному університеті [68].

Наступним етапом досліджень було виконання моторних та когнітивних завдань, а також визначення швидкості та якості (кількість помилок) переробки інформації різної модальності у режимі goL/nogo/goR з поетапним підвищенням швидкості пред'явлення образних та вербальних сигналів. Суть завдань полягала

у переробці інформації з різною швидкістю подачі подразників в режимі «нав'язаного ритму». Досліджувані виконували 4 завдання з поетапним збільшенням швидкості пред'явлення подразників - 30, 60, 90, 120 подр.·хв.⁻¹. Тривалість кожного завдання становила 60 с.

В стані спокою, перед роботою та під час виконання роботи з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення різномодальної інформації з допомогою компютерного комплексу та програми «POLAR RS 800 CX», реєстрували показники варіабельності серцевого ритму (BCP). Результати обстежень заносили у базу даних компютера та до протоколу для кожного обстежуваного окремо.

Діагностування властивостей нейродинамічних, психофізіологічних та вегетативних функцій та електрофізіологічних показників головного мозку у обстежуваних, як і обробку цифрового матеріалу, проводив дисертант за однаковим алгоритмом виконання завдань.

РОЗДІЛ 3

**ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТА АВТОНОМНОЇ НЕРВОВОЇ
СИСТЕМИ ЗА УМОВИ ПЕРЕРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ РІЗНОЇ
МОДАЛЬНОСТІ ТА СКЛАДНОСТІ*****3.1. Нейродинамічні особливості переробки інформації різної
модальності та складності***

Результати аналізу літератури свідчать про високу роль функціональної реорганізації головного мозку під час переробки інформації, але їх механізми повністю не розкриті [16, 51; 52]. Значна частина досліджень нейрофізіології та психофізіології присвячена різним видам переробки інформації, коли зростає психоемоційне напруження, яке може загрожувати не тільки особистості, а і соціуму в цілому. Тому з метою запобігання та зменшення дії негативних чинників на організм людини під час переробки різноманітної інформації все більше уваги приділяється системним дослідженням властивостей психофізіологічних функцій. Відомо, що під час переробки інформації здійснюється велика кількість операцій, які пов'язані з процесом сприйняття, збереження і переробки сигналів, що вимагає напруження сенсорних систем, уваги, пам'яті, активації процесів мислення, емоційної сфери та вегетативних функцій [47; 51; 52; 93]. Для більшості видів такої діяльності характерною рисою є прискорений темп, різке збільшення об'єму і різноманітності інформації та дефіцит часу для прийняття рішення, а також значимість та особиста відповідальність за здійснені дії, переживання за отриманий результат і очікуваною ситуацією, нерівномірним темпом надходження інформації, ризиком, що зумовлений відповідальністю за результати діяльності [107]. Все це приводить до зростання нервово-емоційного напруження, дерегуляції механізмів психофізіологічних функцій і поведінки, що є однією з причин розвитку втоми та перевтоми, зниженням працездатності і появи великої кількості помилок,

зайвими діями, збільшенням часу на виконання завдання, аж до її відмови. Тому проблема дослідження і оцінки психофізіологічних функцій під час переробки різноманітної інформації є актуальною проблемою фізіології.

За останні роки відзначається значне підвищення впливу на людину різного роду інформаційних навантажень під час трудової активності [36; 68; 93; 107]. Ось чому, багато досліджень, які присвячені особливостям вищих психічних функцій, змінам функціонування моторних і когнітивних систем мозку в умовах складних інформаційних завдань є досить актуальними [44]. Зміни взаємодії моторних та когнітивних систем мозку при виконанні завдань різної складності і модальності все ж вивчені недостатньо. Знання про особливості функціонування моторних і когнітивних систем мозку під час переробки різноманітної інформації дали б якнайповніше уявлення про цей процес і могли б допомогти зрозуміти, як відбуваються зміни цих функцій, як і в який момент відбуваються ті або інші перебудови в мозку при виконанні складних інформаційних завдань.

В літературі описані різні види виконання завдань, які спрямовані на вивчення взаємодії моторних та когнітивних систем [75; 86; 114]. В якості когнітивного компоненту переробки інформації використовують тести на рахунок, промовляння слів, спів, визначення кольору, виду та форми предметів або семантичного значення слова [108; 209; 233]. Моторне завдання включає ходьбу, цілеспрямований рух рукою або ногою, довільне утримання пози, попадання в ціль, а також дослідження швидкості простих сенсомоторних реакцій [67]. Для вивчення взаємозв'язку моторної та когнітивної систем, а також швидкого переключення уваги використовують методику двохстимульного тесту go/nogo [50]. Як модель більш складних інформаційних навантажень, переробки сигналів різної модальності, що вимагають постійної взаємодії моторної і когнітивної систем, переключення уваги, обробки сигналів у пам'яті, запропонований тест з трьох стимулів у парадигмі диференціювання сигналів goL/nogo/goR [67]. Останній відрізняється від попередніх тим, що у цьому тесті оцінюють здатність вищих відділів центральної нервової системи забезпечувати

максимально можливий для даного індивіду рівень швидкодії з виконання розумового навантаження по безпомилковому диференціюванню позитивних і гальмівних сигналів, які слідують один за другим і вимагають як екстреного переключення дій, так і частоті зміни у часі збудливого процесу на гальмівний, і навпаки. За М. В. Макаренка пропонується комбінований моторний і когнітивний тест з трьох стимулів у парадигмі go/nogo/go характеризує комплексну реакцію нервової системи і включає не тільки швидкість виникнення та припинення збудження, швидкість переходу стану збудження у гальмування і, навпаки, швидкого переключення уваги, але і як процес руйнації тимчасового зв'язку та появу нових, швидкість руху нервових процесів, швидкість відновлення та функціональну готовність рефлекторного апарату до нової реакції, іррадіацію і концентрацію, що є важливим для розуміння фізіологічних процесів та взаємозв'язку моторної і когнітивної систем. Імовірно, що переробка складної інформації різної модальності в режимі диференціювання goL/nogo/goR та переключення уваги буде супроводжуватись різними функціональними перебудовами у взаємодії когнітивної і моторної систем [67].

Тому одним із завдань дисертаційної роботи було - з'ясувати нейродинамічні особливості переробки образної та вербальної інформації у моторному (go/go) та когнітивному тесті (goL/nogo/goR) за умови різної швидкості пред'явлення подразників.

3.1.1. Особливості переробки образної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тестах з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення сигналів. У 147 праворуких юнаків 17-18 років на комп'ютерному пристрої «Діагност-1» провели дослідження швидкості та якості моторного (go/go) і когнітивного завдання у трьохстимульній парадигмі goL/nogo/goR [67]. Швидкість пред'явлення сигналів поступово зростала від 30, 60, 90 та 120 за хвилину. Досліджували успішність (за кількістю помилок) та швидкість виконання ізольованих і комбінованих моторних та когнітивних завдань різної модальності (з використанням фігур або слів). Моторне завдання

включало реєстрацію часу рухової реакції лівою або правою рукою на сигнали різної модальності в режимі go/go. Обстежуваний повинен був однією рукою в режимі go/go максимально швидко натискати і відпускати кнопку пульта при появі на екрані монітора будь-якого сигналу. При виконанні тестів звертали увагу на успішність виконання завдань, на недопущення помилок (пропуски сигналів, запізнювання або випередження реакції та ін.) і на швидкість моторної реакції. Для когнітивного завдання використали нейрофізіологічний тест в режимі goL/nogo/goR з випадковим (по 33%) пред'явленням сигналів різної модальності, на які потрібно відреагувати (go), а на подразник nogo не реагувати [67]. Обстежуваний повинен виконати завдання в режимі goL/nogo/goR диференціювати моторну і когнітивну складову, визначати модальність сигналу (форму фігури, або значення слів), постійно переключати увагу, вибірково складати програму і реагувати лівою або правою рукою, а також гальмувати реакцію. У разі пред'явлення на моніторі фігури у вигляді кола, трикутника або квадрата необхідно було швидко визначити модальність сигналу, переключити увагу (когнітивна складова), швидко натиснути (моторне завдання) на кнопку пульта: на квадрат правою (goR), а у разі появи кола - лівою рукою (goL), на трикутник – не потрібно реагувати (nogo). У разі пред'явлення вербальних подразників - в якості когнітивної складової запропоновано диференційовано реагувати на появу слова назви тварини - goR, рослини - goL і неживі предмети - nogo. Як і в попередніх тестах обстежуваний повинен був правильно виконувати завдання, не припускати помилок і швидко натискати на кнопки.

Експериментальне завдання складалося з 2 тестів: I - визначали кількість помилок і швидкість моторної реакції у режимі go/go на фігури чи слова; II - теж саме визначали при виконанні складної реакції диференціювання слів чи фігур у парадигмі goL/nogo/goR. Для дослідження якісних характеристик переробки інформації визначали кількість помилок моторної реакції у режимі go/go в залежності від швидкості пред'явлення геометричних фігур. Був використаний тест з поетапним підвищенням темпу подачі сигналів 30, 60, 90 до її максимуму 120 сигналів за хвилину. У обстежуваних на кожній швидкості визначали

середній час рухової реакції та кількість помилок на фігури та статистичні показники переробки інформації. Встановили залежність кількості помилок простої моторної (go/go) та складної когнітивної реакції диференціювання (goL/nogo/goR) і її компонентів від швидкості пред'явлення сигналів. В табл. 3.1 представлені результати кількості помилок переробки інформації у моторному (go/go) та когнітивному тесті (goL/nogo/goR) з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення образних сигналів.

У всіх обстежуваних спостерігали залежність кількості помилок від швидкості пред'явлення образних сигналів (геометричних фігур). Результати представлені у табл. 3.1.1 засвідчили, що якість (кількість помилок) виконання моторного завдання go/go залежала від швидкості пред'явлення образних сигналів. Кількість помилкових реакцій у моторному завданні go/go на швидкості 30 подразників за хвилину для групи обстежуваних становила $1,20 \pm 0,03$, а на швидкості 120 за хвилину - $2,55 \pm 1,84$, що вказувало на статистично значущі відмінності між ними ($p > 0,05$).

Таблиця 3.1

Кількість помилок ($X \pm m$) та статистична значущість різниць під час переробки образної інформації у моторному go/go та когнітивному goL/nogo/goR завданні з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення подразників

Складність завдання	Швидкість пред'явлення подразників за хвилину			
	30	60	90	120
go/go	$1,20 \pm 0,03$	$1,80 \pm 0,06$	$2,60 \pm 1,40\#$	$2,55 \pm 1,84\#$
goL/nogo/goR	$1,60 \pm 0,08$	$3,80 \pm 0,56^{*}\#$	$5,30 \pm 1,61^{*}\#$	$14,7 \pm 3,74^{*}\#$
статистична значущість, p	$>0,056$	$<0,044$	$<0,032$	$<0,018$

Примітки: # - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ у порівнянні із значеннями на швидкості 30 сигналів за хвилину; *- між значеннями go/go та goL/nogo/goR
Достовірність різниць розраховувалася за t-критерієм Стьюдента

Виконання когнітивного завдання goL/nogo/goR знаходилось у залежності від швидкості пред'явлення сигналів. При підвищенні швидкості пред'явлення подразників від 30 до 120 подр.·хв.⁻¹ кількість помилок поступово збільшувалась

до найбільших величин. Найменшу кількість помилок обстежувани допускали за умови виконання завдання з переробки інформації на швидкості пред'явлення подразників 30 за хвилину. У всіх обстежуваних при переробці інформації на швидкості 60, 90, 120 подр.·хв.⁻¹ пред'явлення подразників кількість помилок була статистично більшою ($p < 0,05$), ніж на низькій – (30 подр.·хв.⁻¹) (рис. 3.1).

Встановили, що кількість помилкових реакцій залежала від складності завдання. В режимі диференціювання когнітивного goL/nogo/goR у завданнях на образні сигнали кількість помилок була вірогідно вища, ніж у моторному тесті go/go тільки на швидкості пред'явлення сигналів 60, 90 та 120 за хвилину ($p < 0,018-0,044$). На низькій швидкості пред'явлення подразників (30 сигналів за хв.) статистично вірогідні різниці між кількістю помилок у моторному go/go та когнітивному завданні диференціювання goL/nogo/goR були відсутні ($p > 0,05$).

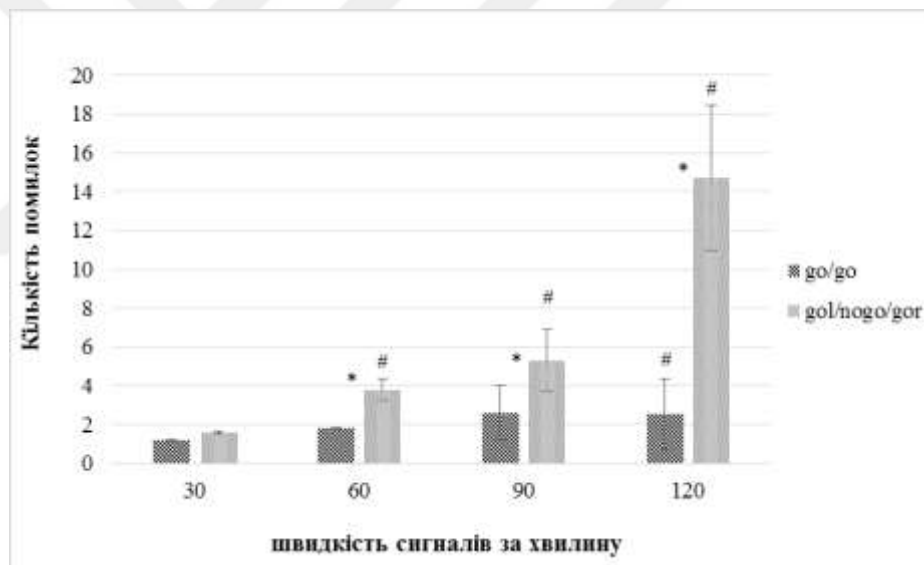


Рис. 3.1 Кількість помилок ($\bar{X} \pm m$) у обстежуваних під час переробки образної інформації у моторному go/go та когнітивному goL/nogo/goR завданні з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Примітка: # - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ у порівнянні з значеннями на швидкості 30 сигналів за хвилину; * - між значеннями go/go та goL/nogo/goR

Отже, встановлено, що успішність виконання завдання при переробці образної інформації у тесті goL/nogo/goR на геометричні фігури знаходиться у залежності від швидкості пред'явлення подразників. Підвищення швидкості

пред'явлення подразників від 30 і до 120 за хвилину приводить до зростання кількості помилкових реакцій. Кількість помилок при виконанні завдання у режимі go/go на швидкості 30, 60, 90 та 120 подразників за хвилину була однаковою і не залежала від швидкості пред'явлення образних сигналів.

Для встановлення залежності часу рухової реакції у обстежуваних юнаків під час поетапного підвищення швидкості пред'явлення інформації в режимі go/go та goL/nogo/goR визначали кількісні характеристики переробки образної інформації. Аналіз результатів часу рухових реакцій у когнітивному завданні goL/nogo/goR під час переробки інформації з поступовим зростанням швидкості пред'явлення сигналів засвідчив зменшення часу сенсомоторного реагування (табл. 3.2 і рис. 3.2).

Таблиця 3.2

Час ($X \pm m$) моторної (go/go) та когнітивної реакції диференціювання (goL/nogo/goR) і статистична значущість різниці під час переробки образної інформації з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Складність завдання	Швидкість пред'явлення подразників, сигналів/хв			
	30	60	90	120
go/go	239,3 $\pm$ 9,4	227,4 $\pm$ 6,4	221,6 $\pm$ 7,6	216,3 $\pm$ 6,8#
goL/nogo/goR	349,1 $\pm$ 11,9	317,7 $\pm$ 9,6*	283,8 $\pm$ 7,4*#	267,4 $\pm$ 9,5*#
статистична значущість, p	<0,023	<0,018	<0,028	<0,035

Примітки: # - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ у порівнянні з значеннями на швидкості 30 сигналів за хвилину; * - між значеннями go/go та goL/nogo/goR Достовірність різниць розраховувалася за t-критерієм Стьюдента

Час рухових реакцій під час виконання моторного завдання go/go з образними сигналами знаходився в межах 239,3 $\pm$ 9,4 - 216,3 $\pm$ 6,8 мс і мало залежав від швидкості пред'явлення інформації ($p > 0,05$). Час рухових реакцій під час виконання когнітивного завдання у парадигмі goL/nogo/goR становив 349,1 $\pm$ 11,9 - 267,4 $\pm$ 9,5 мс і змінювався у залежності від швидкості пред'явлення інформації (рис. 3.2).

У когнітивному завданні goL/nogo/goR на швидкості пред'явлення 30 сигналів за хвилину час реакції на образні подразники виявився найбільшим - $349,1 \pm 11,9$ мс. З підвищенням швидкості пред'явлення когнітивних подразників у режимі диференціювання goL/nogo/goR час рухової реакції поступово зменшувався і досягав високих значень на швидкості 90 та 120 сигналів за хвилину, відповідно - $283,8 \pm 7,4$ мс та $267,4 \pm 9,5$ мс ($p < 0,05$). Аналіз результатів виявив наявність статистично значимих відмінностей між часом реакції виконання когнітивного завдання у режимі диференціювання goL/nogo/goR та простого моторного завдання go/go. У тестах з темпом пред'явлення 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину на образні сигнали час реакції у режимі go/go виявився вірогідно менший, ніж під час виконання складного когнітивного завдання диференціювання goL/nogo/goR ($p < 0,018-0,035$).

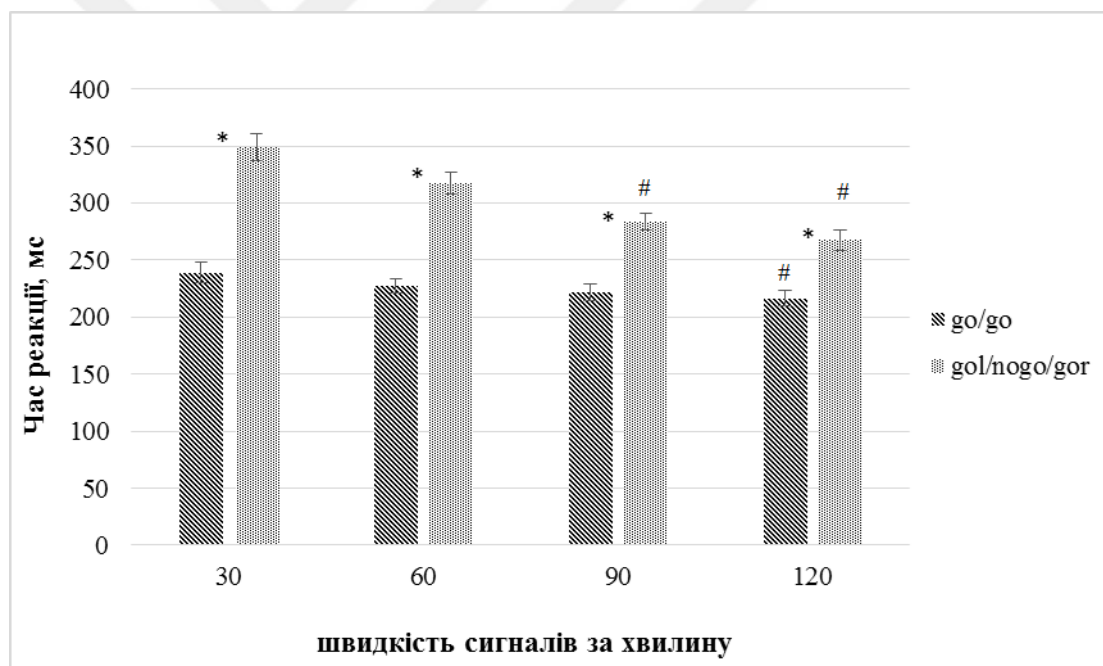


Рис. 3.2 Час ($\bar{X} \pm m$) моторної (go/go) та когнітивної реакції диференціювання (goL/nogo/goR) під час переробки образної інформації з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Примітка: # - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ у порівнянні з значеннями на швидкості 30 сигналів за хвилину; * - між значеннями go/go та goL/nogo/goR

Отже, підсумовуючи результати, які наведені вище можна узагальнити, що нами виявлена залежність швидкісних характеристик переробки образної

інформації від темпу пред'явлення подразників тільки у разі переробки когнітивної інформації у парадигмі goL/nogo/goR. Встановлено, що характеристики часу рухових реакцій у режимі goL/nogo/goR знаходяться у залежності від швидкості пред'явлення подразників. Чим менша швидкість пред'явлення образних подразників для диференціювання у парадигмі goL/nogo/goR тим більший час рухової реакції потрібний був обстежуваним для відповіді. І, навпаки, за умови поступового підвищення швидкості (30, 60, 90, 120 сигналів за хвилину) виконання когнітивного завдання у режимі goL/nogo/goR час рухової реакції скорочувався і найвищих значень досягав на швидкості 120 за хвилину. Не виявлено залежності кількості помилок від швидкості пред'явлення інформації у моторному завданні go/go. За умови поступового зростання швидкості пред'явлення подразників час рухової реакції у когнітивному завданні goL/nogo/goR поступово зменшується. Час рухової реакції на образні сигнали виявив залежність від швидкості пред'явлення сигналів. З підвищенням швидкості пред'явлення геометричних фігур час рухової реакції для образних сигналів поступово зменшувався і найвищих значень досягав на швидкості 120 сигналів за хвилину. Час рухової реакції на образні сигнали у моторному тесті go/go був завжди кращий, ніж у когнітивному завданні goL/nogo/goR.

Таким чином, під час дослідження переробки інформації у вигляді геометричних фігур ми встановили залежності кількості помилок та швидкості рухових реакцій від фактору швидкості пред'явлення інформації тільки у складному когнітивному завданні goL/nogo/goR. Фактор швидкості не впливає на успішність виконання простого моторного і здійснює вплив на виконання складного когнітивного завдання у моделі пред'явлення геометричних фігур у парадигмі goL/nogo/goR. З підвищенням швидкості пред'явлення образної інформації для когнітивного завдання кількість помилок поступово зростає, а час реакції зменшується. Тоді як у моделі моторного завдання пред'явлення подразників у режимі go/go кількість помилок і час рухових реакцій з підвищенням швидкості 30, 60, 90 та 120 за хвилину статистично значуще не

змінюється. Малу кількість помилок та низькі значення часу рухової реакції у моторному (go/go) та когнітивному завданні (goL/nogo/goR) обстежували на швидкості пред'явлення інформації 30 за хвилину. А найбільшу кількість помилок і найменший час реакції був встановлений на швидкості 120 подразників за хвилину. У всіх обстежуваних при переробці інформації у вигляді геометричних фігур швидкість моторної реакції go/go була статистично вища, а час реакції менший, ніж у моделі диференціювання та переключення уваги goL/nogo/goR. Тоді як, кількість помилок у обстежуваних при переробці інформації у вигляді геометричних фігур була у моторній реакції go/go статистично значуще менша, ніж у моделі диференціювання та переключення уваги goL/nogo/goR.

Отже, підсумовуючи результати, які наведені вище можна узагальнити, що виявлена залежність швидкісних, кількісних і якісних характеристик переробки образної інформації від швидкості пред'явлення подразників та складності завдання. Встановлено, що кількісні і якісні характеристики переробки образної інформації у режимі go/go та goL/nogo/goR знаходяться у залежності від швидкості пред'явлення подразників. За умови поступового зростання швидкості пред'явлення подразників кількість помилок у моторному go/go та когнітивному goL/nogo/goR тесті поступово зростає. Час рухової реакції на образні сигнали виявив залежність від швидкості та складності пред'явлення сигналів. З підвищенням швидкості пред'явлення геометричних фігур час рухової реакції для образних сигналів поступово зменшувався і найвищих значень досягав на швидкості 120 сигналів за хвилину. Час рухової реакції на образні сигнали у моторному тесті go/go був завжди кращий, ніж у когнітивному завданні goL/nogo/goR.

3.1.2. Характеристика переробки вербальної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тестах з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення сигналів. Нами були проведені дослідження у юнаків і визначені показники, що характеризують кількість і якість переробки

інформації у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тестах з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення вербальних сигналів. Для цього використали тест з поетапним підвищенням темпу подачі сигналів до її максимальної швидкості. Визначали кількість помилок та час рухової реакції юнаків за умови переробки інформації з поетапним підвищення швидкості від 30 до 60, 90 і 120 подразників за хвилину. Усього обстежувані послідовно виконували 8 серій (4 для моторного (go/go) та 4 для когнітивного (goL/nogo/goR) завдань). Час пред'явлення кожної серії був незмінний і тривав 1 хв. Результати представлені в таблиці 3.3 і на рис. 3.3.

Таблиця 3.3

Кількість помилок ($X \pm m$) і статистична значущість різниць під час переробки вербальної інформації у моторному go/go та когнітивному goL/nogo/goR тестах з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Складність завдання	Швидкість пред'явлення подразників за хвилину			
	30	60	90	120
go/go	0,18 $\pm$ 0,06	0,97 $\pm$ 0,05	2,13 $\pm$ 0,17	3,35 $\pm$ 0,14#
goL/nogo/goR	2,2 $\pm$ 0,30	9,38 $\pm$ 0,60*#	25,6 $\pm$ 1,80*#	34,7 $\pm$ 2,60*#
статистична значущість різниць, p	>0,067	<0,045	<0,024	<0,018

Примітки: # - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ у порівнянні з значеннями на швидкості 30 сигналів за хвилину; * - між значеннями go/go та goL/nogo/goR. Достовірність різниць розраховувалася за t-критерієм Ст'юдента

У всіх обстежуваних спостерігали залежність кількості помилок від швидкості пред'явлення вербальних сигналів у вигляді трьох груп слів. Результати, що представлені у табл. 3.3 засвідчили, що якість (кількість помилок) виконання завдання з переробки вербальної інформації знаходиться у залежності від швидкості пред'явлення та складності виконання завдання go/go чи goL/nogo/goR. При підвищенні швидкості пред'явлення вербальних подразників з 30 і 120 подр.·хв.⁻¹ у режимі go/go кількість помилок поступово збільшувалась

до найбільших величин. Найменшу кількість помилок обстежувани допускали за умови виконання завдання з переробки вербальної інформації на швидкості пред'явлення подразників 30 та 60 за хвилину. У всіх обстежуваних при переробці вербальної інформації у режимі go/go на високій (90-120 подр.·хв.⁻¹) швидкості кількість помилок була статистично більшою ($p < 0,05$) (рис. 3.3).

Найбільшу кількість помилок у моторному go/go завданні з переробки вербальних сигналів обстежувани робили на швидкості пред'явлення 120 за хвилину. Також встановили, що кількість помилкових реакцій залежала і від складності вербального завдання. Диференціювання вербальних сигналів у режимі goL/nogo/goR кількість помилок завжди була вірогідно вища, ніж у моторному тесті go/go ($p < 0,018-0,045$). Така закономірність була виявлена на всіх швидкостях пред'явлення сигналів (30, 60, 90 та 120 подр.·хв.⁻¹).

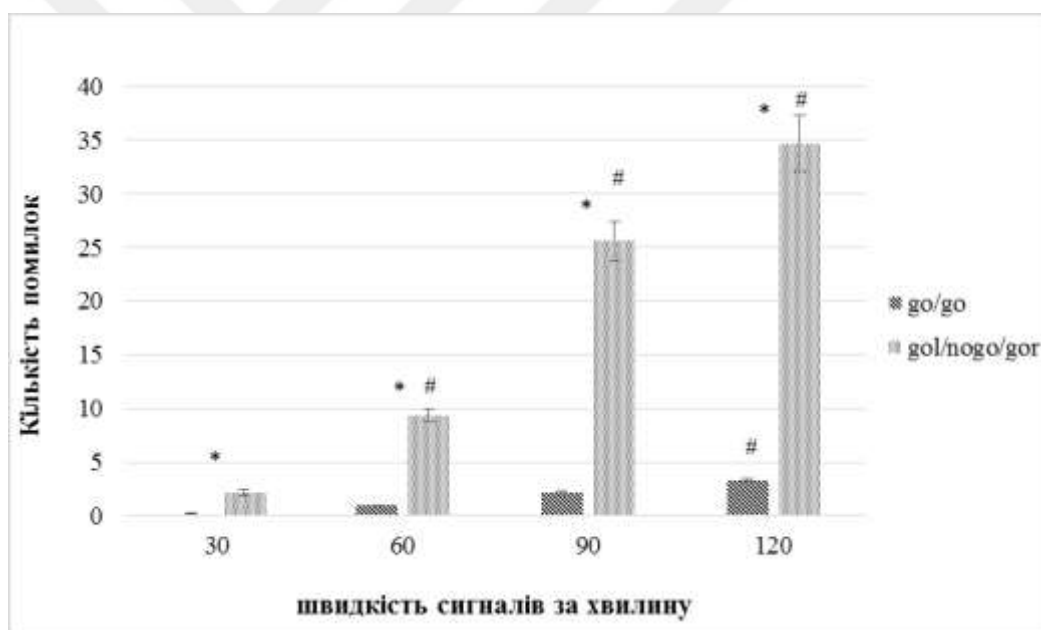


Рис. 3.3 Кількість помилок ($X \pm m$) у обстежуваних під час переробки вербальної інформації у моторному go/go та когнітивному goL/nogo/goR завданні з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Примітка: # - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ у порівнянні з значеннями на швидкості 30 сигналів за хвилину; * - між значеннями go/go та goL/nogo/goR

Отже, встановлено, що успішність переробки вербальної інформації знаходиться у залежності від швидкості пред'явлення подразників та складності завдання. Підвищення швидкості пред'явлення подразників від 30 і до 120 за

хвилину та складності виконання завдання приводить до зростання кількості помилкових реакцій. Кількість помилок у тесті диференціювання слів goL/nogo/goR на однакових швидкостях пред'явлення подразників була вірогідно вища, ніж у завданні go/go ($p < 0,05$).

Для встановлення залежності часу рухової реакції у обстежуваних під час поетапного підвищення швидкості пред'явлення вербальної інформації в режимі go/go та goL/nogo/goR визначали кількісні характеристики часу рухової реакції. Аналіз результатів часу рухових реакцій на вербальні сигнали у моторному тесті go/go не виявив залежності від швидкості пред'явлення інформації. Час рухової реакції на пред'явлення для переробки вербальних сигналів у завданні go/go мало змінювався ($p > 0,05$) і знаходився у межах $241,5 \pm 10,3$ - $224,1 \pm 5,6$ мс (табл. 3.4 і рис. 3.4).

Таблиця 3.4

Час ($X \pm m$) моторної (go/go) та когнітивної реакції диференціювання (goL/nogo/goR) і статистична значущість різниці під час переробки вербальної інформації з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Складність Завдання	Швидкість пред'явлення сигналів за хвилину			
	30	60	90	120
go/go	$241,5 \pm 10,3$	$228,7 \pm 8,8$	$229,3 \pm 9,5$	$224,1 \pm 5,6\#$
goL/nogo/goR	$586,7 \pm 18,0$	$469,5 \pm 13,9\#$	$362,4 \pm 10,0\#$	$275,6 \pm 10,4\#$
статистична значущість, p	$< 0,034$	$< 0,031$	$< 0,027$	$< 0,045$

Примітки: # - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ у порівнянні з значеннями на швидкості 30 сигналів за хвилину; * - між значеннями go/go та goL/nogo/goR Достовірність різниць розраховувалася за t-критерієм Ст'юдента

Аналіз результатів у когнітивному завданні goL/nogo/goR під час переробки вербальної інформації виявив залежність часу рухової реакції на вербальні сигнали від швидкості зростання пред'явлення інформації. У відповідь на поступове підвищення швидкості пред'явлення сигналів від 30 і до 120 за

хвилину час сенсомоторного реагування зменшився з $586,7 \pm 18,0$ мс на швидкості 30 сигналів до $275,6 \pm 10,4$ мс на швидкості пред'явлення 120 за хвилину ($p < 0,027-0,045$). У завданні пред'явлення 30 сигналів за хвилину час реакції на вербальні подразники виявився найбільшим: відповідно у моторному $241,5 \pm 10,3$ мс, а у когнітивному $586,7 \pm 18,0$ мс (рис. 3.4).

З підвищенням швидкості пред'явлення вербальних подразників час рухової реакції поступово зменшувався і досягав високих значень на швидкості 120 сигналів за хвилину для моторного завдання - $224,1 \pm 5,6$ мс і для когнітивного завдання – $275,6 \pm 10,4$ мс.

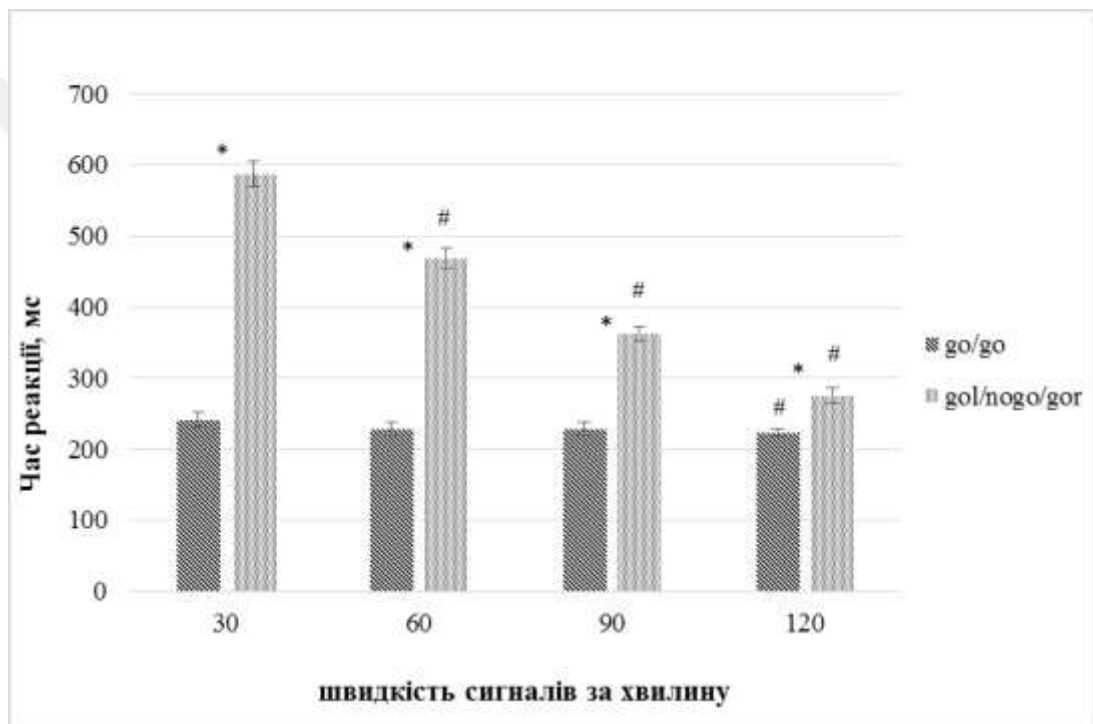


Рис. 3.4 Час ($X \pm m$) моторної (go/go) та когнітивної реакції диференціювання (goL/nogo/goR) під час переробки вербальної інформації з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Примітка: # - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ у порівнянні з значеннями на швидкості 30 сигналів за хвилину; * - між значеннями go/go та goL/nogo/goR

Аналіз результатів виявив наявність статистично значимих відмінностей між часом реакції у когнітивному завданні в режимі диференціювання goL/nogo/goR та моторного завдання go/go. У тестах з темпом пред'явлення 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину на вербальні сигнали час реакції у режимі go/go

вірогідно менший, ніж під час виконання складного когнітивного завдання диференціювання слів у тесті goL/nogo/goR ($p < 0,027-0,045$).

Отже, підсумовуючи результати, які наведені вище можна узагальнити, що виявлена залежність швидкості рухових реакцій за умови переробки вербальної інформації від швидкості пред'явлення подразників та складності завдання. Встановлено, що кількісні характеристики часу переробки вербальної інформації у режимі goL/nogo/goR знаходяться у залежності від швидкості пред'явлення слів. За умови поступового зростання швидкості пред'явлення подразників час рухової реакції у моторному тесті go/go мало змінювався і не залежав від швидкості пред'явлення інформації ($p > 0,05$). У когнітивному завданні у парадигмі goL/nogo/goR час рухової реакції поступово зростає з підвищенням швидкості пред'явлення інформації у вигляді вербальних сигналів. Час рухової реакції на вербальні сигнали виявив залежність від швидкості та складності завдання. З підвищенням швидкості пред'явлення вербальних сигналів час рухової реакції поступово зменшувався і найвищих значень досягав на швидкості 120 сигналів за хвилину. Час рухової реакції на вербальні сигнали у моторному тесті go/go був завжди кращий, ніж у когнітивному завданні goL/nogo/goR.

3.1.3. Взаємодія кількісних і якісних нейродинамічних характеристик переробки образної та вербальної інформації на різній швидкості пред'явлення та складності сигналів. Оскільки завдання з поступово зростаючою швидкістю на пред'явлення образних і вербальних подразників виконувалося двома руками, то було цікаво проаналізувати результати кількості помилок і швидкості рухових реакцій для лівої та правої руки окремо. Результати успішності та швидкості виконання когнітивних задач в режимі goL/nogo/goR для вербальних сигналів виявили наявність асиметрії у якості виконання завдань (табл. 3.5 і рис. 3.5) та швидкісних характеристиках рухової реакції для лівої та правої руки (табл. 3.6 і рис. 3.6).

Статистичний аналіз успішності (кількості помилок) виконання моторних go/go та когнітивних задач в режимі goL/nogo/goR виявив наявних відмінностей у кількості помилок для лівої та правої руки. Так, у моторному завданні go/go з переробки інформації кількість помилок, що для лівої, що для правої руки виявилась однаковою ($p>0,05$) і не залежала від швидкості пред'явлення подразників. Тоді, як у когнітивному завданні пред'явлення слів у парадигмі goL/nogo/goR кількість помилок на слова для лівої руки була достовірно більшою, ніж для правої руки ($p<0,05$). Така закономірність справедлива тільки у разі пред'явлення вербальних сигналів зі швидкістю 60 та 90 сигналів за хвилину ($p<0,05$). У разі підвищення швидкості пред'явлення вербальної інформації до 120 сигналів за хвилину і зниження її до 30 за хвилину кількість помилок для лівої і правої руки була однаковою ($p>0,05$).

Таблиця 3.5

Кількість помилок ($X \pm m$, мс) для лівої та правої руки у обстежуваних під час переробки вербальної інформації у режимі go/go та goL/nogo/goR з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Складність завдання, режим	Швидкість пред'явлення сигналів за хвилину							
	30		60		90		120	
Рука	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.
go/go	0,16 $\pm 0,09$	0,18 $\pm 0,08$	0,90 $\pm 0,06$	1,20 $\pm 0,05$	1,91 $\pm 0,92$	2,10 $\pm 0,81$	3,02 $\pm 1,18$	3,91 $\pm 1,17$
goL/nogo/goR	2,11 $\pm 0,13$	2,34 $\pm 0,01$	10,43 $\pm 0,14$	9,25 $\pm 0,13^*$	26,80 $\pm 0,18$	23,71 $\pm 1,17^*$	33,55 $\pm 1,40$	33,73 $\pm 1,63$

Примітки: * - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p<0,05$ між кількістю помилок для лівої (L) та правої (R) руки

Достовірність різниць розраховувалася за t-критерієм Ст'юдента

Для часу рухової реакції під час переробки інформації у режимі go/go та goL/nogo/goR з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення вербальних сигналів виявили залежність реакції для лівої і правої руки від швидкості пред'явлення та складності вербальних сигналів (табл. 3.6 і рис. 3.6).

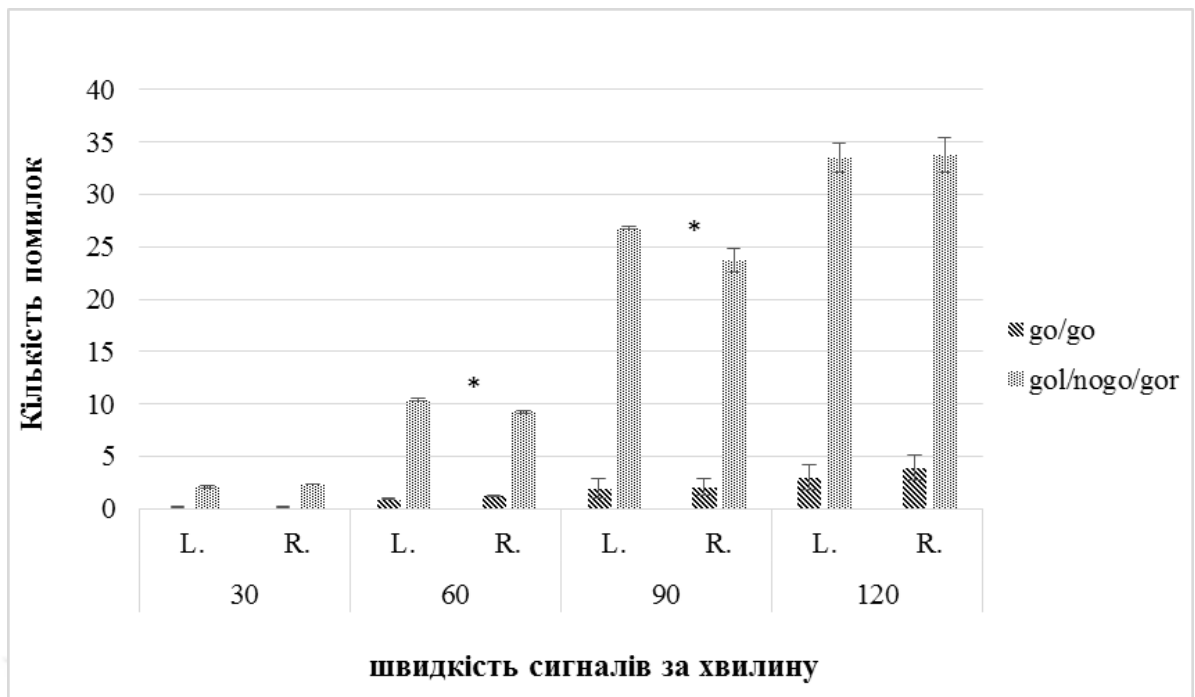


Рис. 3.5 Кількість помилок ($\bar{X} \pm m$, мс) для лівої та правої руки у обстежуваних під час переробки вербальної інформації у режимі go/go та goL/nogo/goR з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Примітка: * - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ між кількістю помилок для лівої (L) та правої (R) руки

Так як і з кількістю помилок, у завданні go/go ми не виявили ніяких особливостей у часі рухової реакції для лівої та правої руки з підвищенням швидкості пред'явлення подразників ($p > 0,05$). Так, у моторному завданні go/go з переробки інформації час рухової реакції, що для лівої, що для правої руки виявився однаковим ($p > 0,05$) і не залежав від швидкості пред'явлення подразників (рис. 3.6).

Час реакції ($X \pm m$, мс) для лівої та правої руки у обстежуваних під час переробки вербальної інформації у моделі go/go та goL/nogo/goR з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Складність завдання, режим	Швидкість пред'явлення слів, сигналів/хв.							
	30		60		90		120	
Рука	L.	R.	L.	R.	L.	R.	L.	R.
go/go	213,3 $\pm 9,3$	215,7 $\pm$ 10,8	217,4 $\pm 10,3$	213,5 $\pm 8,9$	219,4 $\pm 9,6$	219,8 $\pm 10,5$	214,1 $\pm 6,6$	212,4 $\pm 7,3$
goL/nogo/goR	607,0 $\pm 12,1$	566,4 $\pm 11,6^*$	462,9 $\pm 9,3^*$	426,2 $\pm 9,7^*$	327,2 $\pm 5,7$	309,7 $\pm 7,2^*$	278,1 $\pm 7,4$	283,1 $\pm 6,0$

Примітки: * - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ між часом реакції для лівої (L) та правої (R) руки

Достовірність різниць розраховувалася за t-критерієм Стюдента

Тоді, як у когнітивному завданні пред'явлення слів у парадигмі goL/nogo/goR час рухової реакції на слова для правої руки був менший, ніж для лівої руки ($p < 0,05$). Така асиметрія справедлива була тільки у разі пред'явлення вербальних сигналів на швидкості 30 та 60 сигналів за хв. ($p < 0,05$).

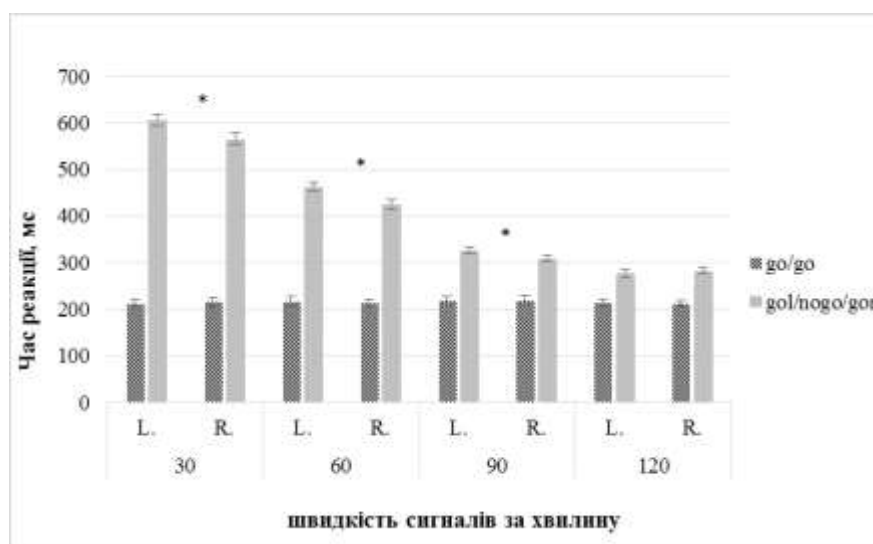


Рис. 3.6 Час реакції ($X \pm m$, мс) для лівої та правої руки у обстежуваних під час переробки вербальної інформації у моделі go/go та goL/nogo/goR з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів

Примітка: * - позначені статистично вірогідні різниці на рівні $p < 0,05$ між кількістю помилок для лівої (L) та правої (R) руки

У разі підвищення швидкості пред'явлення вербальної інформації до 90 сигналів за хвилину різниці у швидкості реакції лівою та правою рукою на вербальні сигнали хоча і мали місце, але не досягли рівня статистичної значущості ($p > 0,05$). У разі підвищення швидкості пред'явлення вербальної інформації до 120 за хвилину асиметрія у часі рухової реакції для лівої і правої руки була відсутня ($p > 0,05$).

Отже, у юнаків виявили статистично значиму асиметрію для лівої і правої руки за кількістю помилкових реакцій і швидкістю виконання когнітивного тесту із застосуванням вербальних сигналів. Для моторного тесту go/go такої асиметрії не виявлено ні на фігури, ні на слова. Успішність тесту із застосуванням образних сигналів для юнаків не виявили статистично значимих відмінностей за кількістю помилок для лівої і правої руки. Тоді як встановлена асиметрія для лівої і правої руки при диференціюванні слів в режимі goL/nogo/goR.

Таким чином, під час дослідження переробки інформації у вигляді вербальних сигналів ми встановили загальну закономірність залежності кількості помилок та швидкості рухових реакцій від фактору швидкості пред'явлення інформації та складності завдання. Фактор швидкості впливає на успішність виконання простого моторного і складного когнітивного завдання реакції у моделі пред'явлення вербальних подразників go/go та goL/nogo/goR. Для моторного і когнітивного завдання кількість помилок поступово зростає, а час реакції зменшується з підвищенням швидкості пред'явлення вербальної інформації. Малу кількість помилок, та низькі значення часу рухової реакції у моторному (go/go) та когнітивному завданні (goL/nogo/goR) обстежувани демонстрували на швидкості пред'явлення інформації 30 за хвилину. А найбільшу кількість помилок і найменший час рухової реакції був встановлений на швидкості 120 подразників за хвилину. У всіх обстежуваних при переробці інформації у вигляді словесних сигналів швидкість моторної реакції go/go була статистично значуще вища, а час реакції менший, ніж у моделі диференціювання та переключення уваги goL/nogo/goR. Тоді як, кількість помилок у обстежуваних при переробці інформації у вигляді вербальних сигналів була у моторній реакції go/go значуще менша, ніж у моделі диференціювання та переключення уваги goL/nogo/goR.

У цьому підрозділі описані дослідження взаємодії моторних і когнітивних систем головного мозку у юнаків під час швидкої і безпомилкової переробки та диференціювання образної і вербальної інформації у режимах goL/nogo/goR та go/go. Така постановка експерименту дозволила оцінити роль моторних і когнітивних систем ГМ в організації інтегративної діяльності мозку в умовах наближених до реальних. Згідно з даними літератури швидкість виконання моторного завдання залежить від виду, форми, модальності сигналу і складності завдання [56; 57]. У цьому підрозділі також виявили, що успішність і швидкість виконання завдань по переробці і диференціюванні інформації знаходиться у залежності від швидкості, модальності сигналу та режиму пред'явлення інформації. Показано, що з підвищенням швидкості пред'явлення сигналів від 30 до 60 та 90 за хвилину взаємодія моторних і когнітивних систем поступово підвищується і досягає свого найвищого рівня на швидкості 120 подразників за хвилину. З'ясовано, що найбільш швидко і успішно обстежувані переробляли інформацію у моторній, ніж у когнітивній системі мозку. Виявлено, що юнаки краще виконували когнітивне завдання на пред'явлення образних сигналів. Доведено, що за умови виконання завдання по переробці вербальної інформації у режимі диференціювання goL/nogo/goR мала місце інтерференція та лівопівкулева асиметрія. Встановлені інформаційні параметри – кількість помилок і час реакції лівою та правою рукою на сигнали різної модальності та складності, які корелюють з характеристиками успішності і швидкості виконання складного інформаційного завдання. Запропонована експериментальна модель трьохстимульного когнітивного завдання може бути використана для прогностичної оцінки можливостей розумової діяльності осіб, що працюють в умовах складних інформаційних навантажень, а також дефіциту когнітивних резервів чи обмежень при різних формах нейродегенеративних захворювань, вікової деменції, а також отримати інформацію про утому та корекцію неокортексу при несприятливих станах.

Слід підкреслити, що факти наведені у експерименті, на нашу думку свідчать про складну роль моторних і когнітивних систем мозку у переробці різноманітної інформації, і, що їх взаємодія змінюється. Хоча, нами і з'ясовані деякі особливості та закономірності взаємодії моторних і когнітивних систем головного мозку в онтогенезі під час переробки інформації різної модальності та складності оцінка характеру комплексних впливів на реальну фізіологічну функцію та механізми такої взаємодії потребують подальшого нейрофізіологічного дослідження. Беззаперечно, що механізми такої взаємодії моторних і когнітивних систем головного мозку, потребують подальших нейрофізіологічних досліджень з участю механізмів регуляції автономної нервової системи та з використанням основних ритмів ЕЕГ. Необхідно буде з'ясувати, які механізми лежать в основі виконання трьохстимульних моторних і когнітивних завдань та яка роль різних ділянок мозку і часового рознесення під час виконання такої роботи. Можливо, що особливості участі регуляторних механізмів АНС та просторово-часового рознесення для різних ділянок мозку і ритмів ЕЕГ лежить в основі нейрофізіологічних механізмів і має місце у наших обстежуваних під час виконання когнітивних і моторних завдань.

3.2. Особливості механізмів регуляції автономної нервової системи за умови переробки інформації різної швидкості, модальності та складності пред'явлення сигналів

Актуальність дослідження взаємодії когнітивних функцій та автономної нервової системи за умови переробки складної інформації визначається тим, що за даними World Health Organization дисонанс нейрокогнітивних і вегетативних механізмів регуляції лежить в основі розвитку депресій, приводить до зниження працездатності, погіршення якості життя, інвалідності [56]. Тому з метою розуміння механізмів регуляції та виявлення інформаційних показників функціонального стану головного мозку важливо дослідити вплив різних за складністю інформаційних навантажень на взаємодію когнітивних функцій та автономної нервової системи.

Когнітивні завдання потребують обробки інформації, що надходить по різним аферентним каналам і для їх дослідження використовують прості (go/go) і складні рухові реакції диференціювання (go/nogo) [60; 67]. Інтегративні функції когнітивних систем досліджують різними варіантами двохстимульного тесту go/nogo [50]. Подвійні завдання використовують у діагностиці хвороби Альцгеймера, Паркінсона та шизофренії, деменції, гіпофронтальності, гіперактивності, а також оцінки ризиків в екстремальних умовах діяльності [122; 161]. Для більш складних когнітивних завдань з переробки інформації, що вимагають постійного переключення уваги, обробки сигналів у пам'яті та екстреної побудови програми відповіді запропоновано трьохстимульний тест диференціювання у парадигмі goL/nogo/goR [67]. Вважають, що сенсомоторний тест з трьохстимульним завданням є ефекторною ланкою нейрокогнітивних мереж, які характеризують взаємодію аналізаторних, моторних та мотиваційних систем мозку. Показано, що якісний рівень сенсомоторної інтеграції мозку визначається точністю реакції, а час реагування виступає в ролі її кількісної характеристики. Якісний рівень взаємодії когнітивних систем мозку може бути оцінений за кількістю помилок [60].

Нервово-емоційна та вегетативна компонента переробки когнітивної інформації пов'язана з активацією регуляторних функцій автономної нервової системи і для її оцінки застосовують методику варіабельності серцевого ритму (BCR) [92; 103; 165; 224]. У дослідженнях взаємодії нейровісцеральних функцій звертають увагу на участь кіркових структур у орієнтації, мобілізації властивостей уваги та пам'яті, у тому числі і автономної нервової системи за показниками серцевого ритму [16; 47; 51; 52]. Доведено, що переробка складної інформації різної модальності у режимі диференціювання goL/nogo/goR і переключення уваги супроводжується різними перебудовами не тільки у взаємодії нейрокогнітивних систем мозку [67], а і кількісними та якісними характеристиками регуляції серцево-судинної системи [160; 184]. Адаптація до зростаючого інформаційного навантаження і постійно змінених умов соціального середовища потребує переключення фокусів діяльності і ефективної

регуляції вегетативного стану. Відомо, що під час переробки інформації у нейронну активність включаються не тільки власне кіркові процеси, що відповідають за психомоторну діяльність, а і велика кількість підкоркових структур. В організації функцій переключення діяльності центральною ланкою є лобна, сингулярна та інсулярна кора [16; 51; 68]. З іншого боку, ці відділи головного мозку не тільки є важливими для переключення діяльності, а і розглядаються у реалізації гомеостатичного балансу [72], то можливо припустити, що імовірно існує спільний нервово-гуморальний механізм, який лежать в основі пристосувальних реакцій серцево-судинної системи до переробки інформації різної модальності та швидкості пред'явлення сигналів. За цих умов виникає потреба дослідити кортико-вісцеральні механізми регуляції психомоторної діяльності. Тому особливий інтерес становлять дослідження переробки різномодальної інформації з різною швидкістю пред'явлення сигналів та її вегетативне забезпечення за показниками варіабельності серцевого ритму (BCR) та спектральний аналіз серцевого ритму (CACR).

Аналіз наукової літератури засвідчив, що отримані різні результати досліджень, які залежать від індивідуальних особливостей людей, типу завдань, умов діяльності, швидкості пред'явлення подразників [44; 47; 66;]. Не зважаючи на значний прогрес у дослідженні окремих елементів функціонування мозку та систем що його забезпечують при переробці інформації різної складності та модальності, ще не існує чіткого розуміння їх взаємодії з успішністю когнітивної діяльності та активністю механізмів регуляції автономної нервової системи. Успішність переробки інформації різної складності та модальності пов'язують як зі збільшенням когерентності нейрокогнітивних та нейровегетативних регуляторних ланок, так і з їх зменшенням [117; 123]. В цілому результати мають суперечливий характер і не дозволяють виділити чіткі кореляти переробки інформації різної складності та модальності з нейровегетативним забезпеченням. Тому метою дослідження було з'ясувати особливості когнітивних функцій та їх зв'язок з регуляторними механізмами автономної нервової системи за умови

диференціювання образної і вербальної інформації в режимі go/go та goL/nogo/goR з різною швидкістю пред'явлення сигналів.

У 56 студентів 18-20 років досліджували зв'язок когнітивної та автономної нервової системи під час переробки інформації з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення сигналів різної модальності та складності. Когнітивну активність досліджували на комп'ютерному пристрої «Діагност-1М» в режимі «нав'язаного ритму» [67]. Використовували нейрофізіологічний трьохстимульний тест диференціювання образних і вербальних подразників в парадигмі goL/nogo/goR з випадковим (по 33%) їх пред'явлення, на які потрібно реагувати (go), а на сигнал nogo не реагувати та порівнювали результати з тестом go/go [57].

Завдання складалося з 2 тестів: I - визначали кількість помилок і швидкість моторної реакції на геометричні фігури; II - теж саме для слів. Обстежуваний отримував інструкцію, відповідно до якої необхідно при появі на екрані фігури «кола» або назви «рослин» швидко натискати пальцем лівої руки на ліву кнопку (goL), при появі фігури «квадрат» або назви «тварин» – правою рукою на праву кнопку (goR), а при пред'явленні «трикутника» або назви «предметів» (гальмівний подразник) – не натискати на жодну з кнопок (nogo). Дослідження починали з пред'явлення образних подразників на швидкості 30 сигналів за хвилину. Потім швидкість пред'явлення сигналів у кожному наступному завданні збільшувалась на 30 кадрів і переходили до 60, 90 та 120 подразників за хвилину. Відпочинок між завданнями становив 30 с. При виконанні тестів звертали увагу на успішність їх виконання, на недопущення помилок, пропуски сигналів, запізнювання або випередження реакції та максимальну швидкість моторної реакції. Для когнітивного навантаження використали 60-секундне диференціювання сигналів. Порядок і час пред'явлених сигналів варіював і був випадковим. Час експозиції сигналу складав 0,5 с, а тривалість паузи змінювалася випадковим способом по алгоритму, який закладений в програмному забезпеченні. Міжстимульний інтервал змінювався випадковим

чином від 0,01 до 0,4 с для кожного з завдань. Після відпочинку завдання повторювали для вербальних подразників.

Для визначення активації функцій автономної нервової системи реєстрували статистичні, варіаційні показники варіабельності серцевого ритму (BCP) та спектральний аналіз хвильової структури серцевого ритму (CACP) з використанням апаратури («КардіоЛаб», ХАІ МЕДІКА 2006 та пульсометрів Polar m400 HR, Polar Oy, Фінляндія). У стані спокою, перед виконанням тестових завдань з переробки інформації, упродовж 5 хв. визначали показники BCP та ХССР [40]. Реєстрували частоту серцевих скорочень (HR, уд/хв.), визначали статистичні і варіаційні показники SDNN мс, AMo% та SI, н.о. Також визначали загальну потужність спектру частот (TP, мс²), високочастотний 0,15–0,4 Гц (HF, мс²), низькочастотний в діапазоні 0,04–0,15 Гц (LF, мс²) та наднизькочастотний компонент спектру серцевого ритму в діапазоні 0,003–0,04 Гц (VLF, мс²). Окрім цього, розраховували відсотковий внесок кожного із частотних компонентів спектру у TP (HF, LF та VLF%) та показник індексу централізації (IC%), як відношення $VLF\% + LF\% / HF\%$ [205].

Статистичну перевірку на нормальність розподілу даних проводили з використанням критерію Шапіро-Уілкі. Дані BCP та CACP представлені серединним, першим та третім кватилями (25% та 75% перцентилів). Достовірність різниць між вибірками, в разі непараметричного розподілу – з використанням критеріїв Уїлкоксона та Манна-Уїтні. Значимість вірогідних значень приймалась $p < 0,05$.

3.2.1. Регуляція серцевого ритму за умови переробки образної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тестах. Для перевірки гіпотези щодо залежності активності регуляції АНС від швидкості та складності переробки образної інформації ми провели статистичний, варіаційний, спектральний аналіз характеристик СР для моторного (go/go) та когнітивного (goL/nogo/goR) завдання. За умови виконання моторного завдання go/go обстежувані мали швидко сприймати і натискати на кнопку пульта при появі не

екрані любого сигналу, без визначення його геометричної форми (коло, квадрат, трикутник). У другому когнітивному завданні goL/nogo/goR потрібно було швидко визначити форму сигналу і здійснити диференційовану відповідь - натиснути пальцем лівої руки на ліву кнопку при появі фігури «кола» (goL), а при появі «квадрат» – правою рукою на праву кнопку (goR). При появі «трикутника» (гальмівний подразник) – не натискати на жодну з кнопок (nogo). Швидкість пред'явлення сигналів поступово зростала. Дослідження починали з пред'явлення образних сигналів на швидкості 30 за хвилину. У подальшому швидкість збільшували на 30 і переходили до дослідження з темпом 60, 90 та 120 подразників за хвилину. В обох завданнях звертали увагу обстежуваних на здійснення рухової реакції з максимальною швидкістю та на недопущення помилок, пропусків сигналів, запізнювання або випередження реакцій. Для моторного (go/go) і когнітивного (goL/nogo/goR) завдання використовували 60-секундне навантаження. При виконанні моторного і когнітивного завдання на кожній із зазначених швидкостей та у стані спокою реєстрували показники ВСР та САСР. Статистичні характеристики ВСР під час виконання моторного і когнітивного завдання з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення образних сигналів представлені у таблиці 3.7.

Наголосимо, що у обох тестах, моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) виявили ряд статистично відтворюваних вірогідних різниць показників ВСР у активному стані у порівнянні зі станом спокою. Це свідчило про неоднозначну залежність рівня функціонування серцево-судинної системи, а також підвищення рівня активації механізмів регуляції АНС, що було корелятом складності завдання та швидкості пред'явлення подразників.

Статистичні показники регуляції серцевого ритму під час переробки образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR, (Me [25%; 75%]), n=56

Досліджувані Показники	Складність завдання	Швидкість, сигналів/хв.				
		Фон	30	60	90	120
HR, уд/хв	go/go	68,4 [64; 73]	66,2# [63; 76]	68,0# [57; 78]	72,3# [68; 82]	71,2# [63; 73]
	goL/nogo/goR	68,4 [64; 73]	76,2* [73; 79]	78,0* [75; 81]	82,5* [78; 86]	82,5* [75; 83]
SDNN, Mc	go/go	55,3 [46; 61]	53,5 [47; 59]	54,3 [49; 59]	53,1# [48; 58]	53,2# [44; 57]
	goL/nogo/goR	55,3 [46; 55]	50,5 [44; 54]	49,5* [43; 56]	49,2 [46; 54]	48,9* [42; 56]
АМо, %	go/go	33,5 [29; 39]	35,3 [27; 41]	34,5 [29; 43]	35,3 [30; 42]	34,7# [28; 41]
	goL/nogo/goR	33,5 [31; 39]	40,5* [37; 46]	40,6* [36; 43]	39,3* [35; 43]	40,8* [36; 42]
SI, н.о.	go/go	75,2 [49; 93]	75,7# [64; 95]	77,7# [58; 94]	73,2# [68; 95]	76,5# [68; 105]
	goL/nogo/goR	89,0 [39; 93]	156,8* [119; 195]	157,9* [128; 194]	163,1* [138; 195]	176,6* [148; 205]

Примітки: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різних швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

Достовірність різниць розраховувалася за критеріями Уїлкоксона та Манна-Уїтні

Підтверджується це тим, що статистичні та варіаційні показники змінювались у відповідності до підвищення швидкості переробки інформації. У більшості випадків зі збільшенням швидкості пред'явлення та переробки образної інформації у когнітивному завданні goL/nogo/goR виявили статистично значуще підвищення показника HR по відношенню до фону ($p > 0,05$). Тоді як у тесті go/go такі зміни HR у відповідь на підвищення швидкості пред'явлення для переробки інформації виявились не суттєвими ($p < 0,05$).

Аналіз результатів дослідження показав, що у завдання go/go значення SDNN, Амо та SI мало змінювалися і тому переробка образної інформації та активація автономної нервової системи не залежала від швидкості пред'явлення сигналів. Варіативність серцевого ритму та амплітуда моди і показники стрес індексу лишалась на тому ж рівні, що і в стані спокою. Тобто у обстежуваних,

які виконували моторне завдання у режимі go/go з поступовим зростанням швидкості пред'явлення сигналів в умовах ігнорування форми геометричної фігури за показниками SDNN, Amo та SI не спостерігалось характерної для переробки інформації активації парасимпатичної та симпатичної ланки автономної нервової системи, а також зміни централізації в управлінні серцевим ритмом (рис. 3.7).

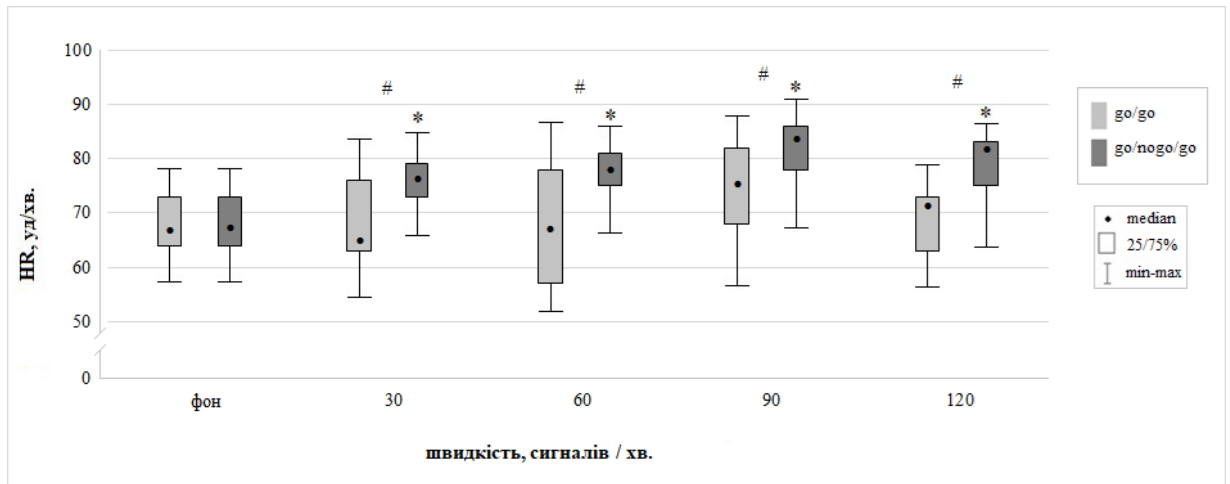


Рис. 3.7 Динаміка частот серцевих скорочень (HR, уд/хв.) обстежуваних під час переробки образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR.

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

При повторному проходженні тесту у завданні goL/nogo/goR коли обстежуваному необхідно було крім моторного виконати і когнітивне завдання більшість показників HR, SDNN, Amo та SI змінювались у відповідності до підвищення швидкості пред'явлення сигналів та їх складності. Так само, як і у випадку з завданням go/go низькі значення HR були виявлені у стані спокою та при виконання роботи у когнітивному завданні goL/nogo/goR зі швидкістю пред'явлення сигналів 30 за хвилину. За умови подальшого підвищення швидкості пред'явлення подразників до 60, 90 та 120 сигналів за хвилину HR, Amo та SI статистично значуще зростала, а SDNN знижувалась у порівнянні з фоном ($p < 0,05$). Найвищих змін HR, Amo, SDNN та SI для завдання

goL/nogo/goR досягли на швидкості пред'явлення 90 та 120 сигналів за хвилину (рис. 3.8).

Необхідно підкреслити, що показники HR, Амо та SI під час переробки образної інформації у завданні goL/nogo/goR завжди були вищими, а SDNN нижчими, особливо, на швидкості пред'явлення подразників 120 за хвилину, ніж у режимі go/go. Це може вказувати на те, що у завдання goL/nogo/goR значення HR, SDNN, Амо та SI суттєво змінювалися і тому переробка образної інформації у цьому режимі супроводжувалась перебудовами у активації АНС і знаходилася у залежності від швидкості та складності пред'явлення сигналів.

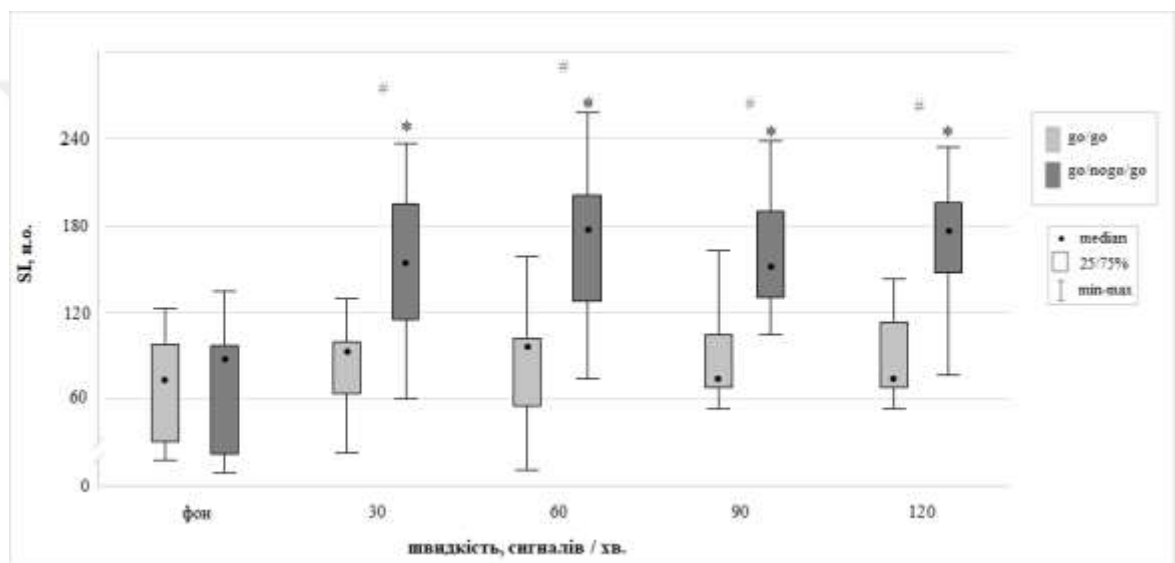


Рис. 3.8 Динаміка стрес-індексу (SI, н.о.) обстежуваних під час переробки образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR.

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

Варіативність серцевого ритму з підвищенням швидкості пред'явлення сигналів поступово зменшувалась, а амплітуда моди зростала по відношенню до стану спокою. Тобто у обстежуваних, які виконували когнітивне завдання у режимі goL/nogo/goR з поступовим зростанням швидкості пред'явлення сигналів в умовах визначення когнітивної складової, форми геометричної фігури та екстреної побудови програми відповіді для лівої, або правої руки та ігнорування реакції на появу трикутника відбувається характерна активація симпатичного та

послаблення тонічного впливу парасимпатичного відділу автономної нервової системи, а також підвищення участі центрального контуру в управлінні СР [6, 118, 119].

Отже, наявність у когнітивному завданні goL/nogo/goR диференціювання сприйняття, переробки та моторної рухової реакції залучає не тільки сенсорний, центральний та моторний компонент, а захоплює і вегетативний компонент активації АНС та переводить управління серцевим ритмом з автономного на рівень центральних регуляторних систем. Пояснити причини такої перебудови, імовірно можуть подальші дослідження з використанням САСР.

Результати САСР за умови переробки образної інформації різної складності під час поступового зростання швидкості пред'явлення подразників у моторному та когнітивному тестах підтвердили результати, які були отримані з використанням ВСР. В ході дослідження виявили, що в разі відсутності когнітивної складової переробка інформації в режимі go/go не вимагає особливої активації АНС та перебудови в управлінні СР. Це підтверджують результати САСР, які ми отримали під час виконання моторного і когнітивного завдання з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення сигналів (табл. 3.8).

Аналіз САСР виявив негативну динаміку показників TP, HF, VLF і позитивну для LF та IC у ситуації з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення образних подразників. Це вказувало на те, що у більшості випадків зі збільшенням швидкості пред'явлення для переробки образної інформації змінювалась активність механізмів регуляції АНС.

Спектральні характеристики TP, HF, VLF, LF та IC у моторному завданні go/go мало змінювались у відповідності до підвищення швидкості переробки інформації. Тоді як у когнітивному завданні goL/nogo/goR за показниками САСР у більшості випадків зі збільшенням швидкості пред'явлення та переробки образної інформації виявили статистично значуще підвищення показника IC та зниження TP, HF, VLF, LF по відношенню до фону.

Спектральні характеристики регуляції серцевого ритму під час переробки образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR, (Me [25%; 75%]), n=56

Досліджувані показники	Складність завдання	Швидкість, сигналів/хв.				
		Фон	30	60	90	120
TP, мс ²	go/go	4578,1 [2305; 5461]	4228,3 [2738; 4634]	4312,2 [3027; 4573]	4435,7# [3841; 4633]	4356,7 [3531; 4784]
	goL/nogo/goR	4578,1 [2305; 5461]	3228,3* [1739; 4983]	3210,0* [902; 4178]	2879,9* [831; 4231]	3399,9* [528; 4683]
VLF, мс ²	go/go	1457,0 [1335; 1897]	1417,2 [1357; 1886]	1385,7# [1341; 1957]	1378,5 [1279; 1873]	1433,4# [1298; 1794]
	goL/nogo/goR	1457,0 [934; 1897]	1173,2 [456; 1987]	651,9* [342; 958]	1422,7 [478; 1671]	847,3* [243; 1693]
LF, мс ²	go/go	1380,1 [987; 1765]	1201,3 [954; 1775]	1263,5 [973; 1683]	1228,7 [987; 1677]	1308,2 [857; 1773]
	goL/nogo/goR	1380,1 [987; 1765]	1080,8* [546; 1876]	1164,3* [671; 1987]	1226,9 [538; 1672]	1382,9 [654; 1871]
HF, мс ²	go/go	1451,7 [897; 1976]	1428,5# [825; 1984]	1451,3# [930; 1851]	1448,4# [840; 1733]	1397,5# [980; 1838]
	goL/nogo/goR	1451,7 [897; 1976]	728,6* [325; 1689]	610,9* [430; 850]	668,4* [340; 1235]	739,8* [380; 1238]
IC, н.о.	go/go	1,2 [0,6; 2,9]	1,3 [0,5; 2,2]	1,3 [0,7; 2,1]	1,2# [0,7; 2,8]	1,1# [0,7; 2,4]
	goL/nogo/goR	1,2 [0,8; 1,9]	1,4 [0,8; 2,2]	1,7* [1,2; 3,1]	2,2* [0,9; 3,5]	2,7* [1,3; 3,7]

Примітки: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різних швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR
Достовірність різниць розраховувалася за критеріями Уїлкоксона та Манна-Уїтні

Динаміка зміни показників, які характеризують сумарну потужність (TP) та її компонентів (HF, VLF, LF), що характеризують активність механізмів регуляції АНС на різних швидкостях пред'явлення сигналів у когнітивному тесті goL/nogo/goR виявилась неочікувано відмінною. Виконання когнітивного завдання супроводжувалось зниженням TP та усіх її компонентів HF, VLF, LF і зростанням IC, що свідчить про послаблення тону парасимпатичної ланки АНС і перевагу активності центральних над автономними механізмами регуляції CP [109].

Аналіз результатів дослідження спектральних характеристик АНС при переробці образної інформації у випадку когнітивного завдання goL/nogo/goR показав, що високі значення загальної потужності спектру (TP мс²) були зареєстровані у стані спокою, перед виконанням роботи. За умови пред'явлення

сигналів 30 за хвилину цей показник суттєво знизився ($p < 0,05$). Підвищення швидкості пред'явлення подразників до 60, 90 та 120 сигналів за хвилину приводило до подальшого зниження загальної потужності спектру. Низьких значень загальна потужність спектру досягла на швидкості пред'явлення 90 сигналів за хвилину. Статистично значущі відмінності TP (mc^2) виявили у обстежуваних на швидкості 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину порівняно з фоном ($p < 0,05$) (рис. 3.9).

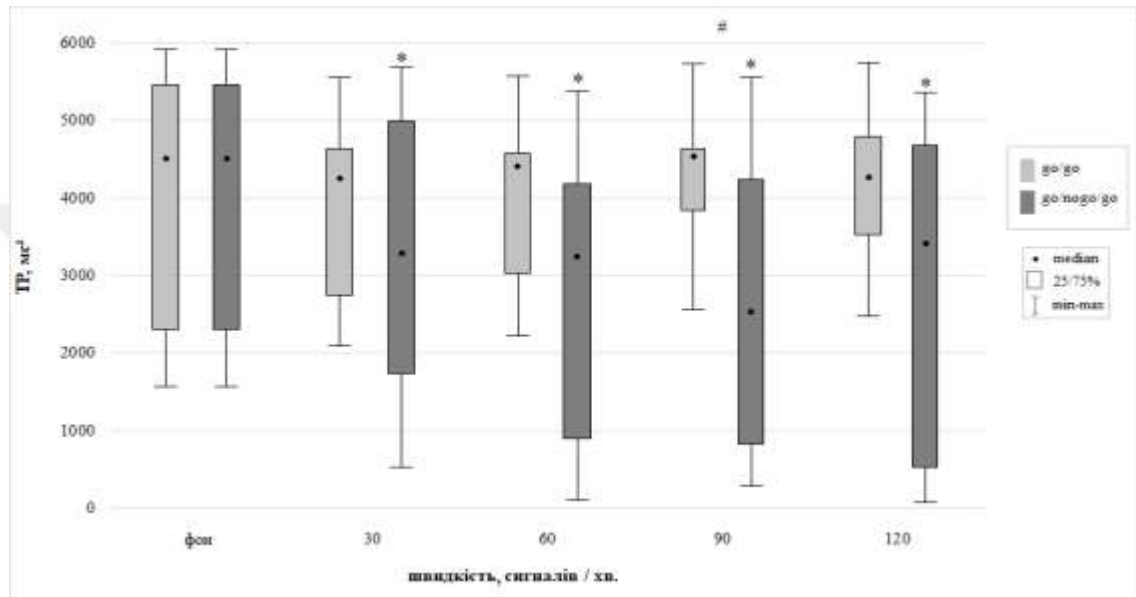


Рис. 3.9 Динаміка загальної потужності спектру (TP , mc^2) обстежуваних під час переробки образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

Встановлено, що з підвищенням швидкості пред'явлення образної інформації від 30 і до 120 сигналів за хвилину для завдання goL/nogo/goR відбувається поступове хвилеподібне зниження показників VLF. Найбільше зниження VLF зареєстрували на швидкості пред'явлення сигналів 60 та 120 за хвилину ($p < 0,05$).

Аналіз результатів дослідження активації механізмів регуляції серцевого ритму за показниками LF виявив поступове хвилеподібне його підвищення за умови зростання швидкості пред'явлення образних сигналів у завданні

goL/nogo/goR. Найвищих значень LF досягає на швидкості пред'явлення образної інформації 120 сигналів за хвилину.

Аналіз показника HF у стані спокою та під час переробки образної інформації виявив поступове його зниження у разі підвищення швидкості пред'явлення образних сигналів у тесті goL/nogo/goR. Встановлено, що відбувається поступове хвилеподібне зниження HF у відповідності з підвищенням швидкості пред'явлення образної інформації від 30 і до 120 сигналів за хвилину. Найбільше зниження HF зареєстрували на швидкості пред'явлення сигналів 60, 90 та 120 за хвилину ($p < 0,05$).

Динаміка індексу централізації у обстежуваних у фоні та під час переробки образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення представлена на рис 3.10.

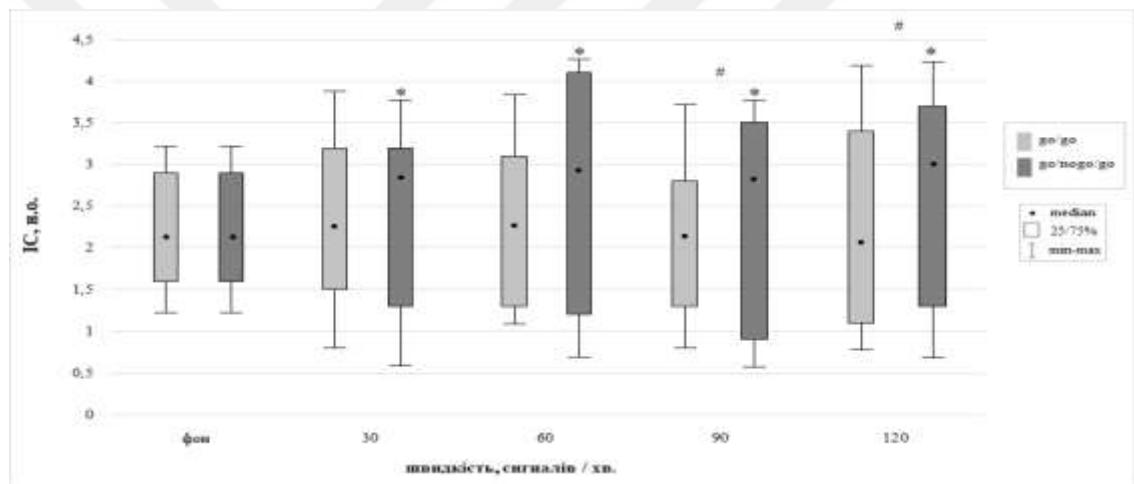


Рис. 3.10 Динаміка індексу централізації (IC, н.о.) серцевого ритму у обстежуваних під час переробки образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR.

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

Показник IC на пред'явлення образних сигналів у когнітивному завданні goL/nogo/goR змінювався хвилеподібно. На швидкості пред'явлення образних сигналів 30 за хвилину індекс централізації підвищився відносно фонових значень ($p < 0,05$). На швидкості пред'явлення сигналів до 90 і 120 за хвилину IC досяг найвищого рівня. Статистично значущі відмінності IC виявлено між фоном

та пред'явленням образних сигналів на швидкості 60, 90 та 120 за хвилину ($p < 0,05$).

Отже, під час переробки образної інформації показники САСР виявили залежність від швидкості пред'явлення сигналів тільки у випадку когнітивного завдання goL/nogo/goR. Причому, підвищення регуляторних процесів АНС за даними ВСР та САСР супроводжувалось підвищенням HR, АМо та SI, а також LF і IC та зниженням показників SDNN та TP, HF і VLF, що може свідчити на користь посилення активності симпатичної ланки і послаблення парасимпатичної активності, підвищення централізації в управлінні СР та послаблення автономних механізмів регуляції [173], а також про переважання орієнтувального типу регуляції СР [119; 145; 189].

Таким чином, наведені результати динаміки показників ВСР, HR, SDNN, АМо та SI, а також спектральні характеристики TP, HF, VLF, LF і IC дозволяють стверджувати про поступове підвищення активності регуляторних механізмів АНС на серцевий ритм під час переробки інформації у завданні goL/nogo/goR з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення образних сигналів.

Наведені результати дозволяють узагальнити, що поступове підвищення швидкості пред'явлення образної інформації супроводжується зростанням активності регуляторних процесів на роботу серця збоку АНС. Причому, підвищення регуляторних процесів у АНС за цих умов супроводжується посилення активності її симпатичної ланки, так і участі центральних механізмів в управлінні серцевим ритмом [174].

3.2.2. Характеристика механізмів регуляції серцевого ритму під час переробки вербальної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тестах. Метою дослідження цього підрозділу було встановити зв'язок когнітивних та моторних функцій з регуляторними механізмами АНС за умови диференціювання вербальної інформації в режимі go/go та goL/nogo/goR з різною швидкістю пред'явлення сигналів. Для цього обстежувані на комп'ютерному пристрої «Діагност-1М» у режимі «нав'язаного ритму»

здійснювали диференціювання вербальних подразників у парадигмі goL/nogo/goR та go/go. Інструкція, для обстежуваного була наступна: необхідно при появі на екрані слова «рослин» швидко натискати пальцем лівої руки на ліву кнопку (gol), при появі назви «тварин» – правою рукою на праву кнопку (gor), а при пред'явленні слова з назви «предметів» (гальмівний подразник) – не натискати на жодну з кнопок (nogo). Для моторного завдання go/go потрібно було правою рукою здійснювати швидкі відповіді на появу любого сигналу без урахування семантичного значення слова. Дослідження починали з пред'явлення вербальних подразників на швидкості 30 сигналів за хвилину. Потім швидкість пред'явлення сигналів збільшувалась на 30 кадрів і переходили до 60, 90 та 120 подразників за хвилину. При виконанні тестів звертали увагу на успішність їх виконання, на недопущення помилок, пропуски сигналів, запізнювання або випередження реакції та максимальну швидкість рухової реакції. Для моторного go/go і когнітивного goL/nogo/goR навантаження використали 60-секундне диференціювання сигналів. Порядок і час пред'явлених сигналів варіював і був випадковим. Час експозиції сигналу складав 0,5 с, а тривалість паузи змінювалася випадковим способом по алгоритму, який закладений в програмному забезпеченні.

Визначення активації функцій АНС здійснювали за статистичними, варіаційними показниками варіабельності серцевого ритму (BCP) та спектральним аналізом серцевого ритму (CACP) з використанням апаратури («КардіоЛаб», ХАІ МЕДІКА 2006 та пульсометра Polar m400 HR, Polar Oy, Фінляндія). У стані спокою перед виконанням тестових завдань з переробки інформації та під час виконання завдання по переробці інформації з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення вербальних сигналів визначали показники BCP та CACP. Реєстрували частоту серцевих скорочень (HR, уд/хв.), визначали статистичні і варіаційні показники SDNN мс, AMo% та SI, н.о., а також спектральні характеристики TP мс², HF мс², VLF мс², LF мс² і IC н.о.

Результати статистичних та варіаційних показників регуляції CP під час переробки вербальної інформації у моторному go/go та когнітивному завданні

goL/nogo/goR з поступово зростаючою швидкістю пред'явлення вербальних сигналів виявили неоднозначну залежність зміни активності АНС від складності переробки інформації. З підвищенням швидкості пред'явлення вербальної інформації від фону і далі до 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину у парадигмі goL/nogo/goR активність АНС у регуляції СР градуально зростала, що супроводжувалось підвищенням показників HR, Амо та SI і зниженням SDNN. Тоді як, зростання швидкості пред'явлення інформації у режимі go/go для вербальних сигналів не приводило до зміни активації АНС (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Статистичні показники регуляції серцевого ритму під час переробки вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR, (Me [25%; 75%]), n=56

Досліджувані показники	Складність завдання	Швидкість, сигналів/хв.				
		Фон	30	60	90	120
HR, уд/хв.	go/go	68,4 [64; 73]	69,0 [62; 83]	70,3# [61; 79]	72,1# [69; 87]	70,2# [67; 89]
	goL/nogo/goR	68,4 [64; 73]	74,0 [62; 83]	80,8* [66; 85]	82,1* [69; 86]	83,3* [71; 89]
SDNN, мс	go/go	55,3 [46; 61]	54,7 [45; 60]	53,8 [46; 58]	52,7 [45; 57]	54,3# [49; 59]
	goL/nogo/goR	55,3 [46; 55]	51,9 [44; 58]	50,9 [42; 54]	50,9 [41; 57]	50,7* [39; 53]
АМо, %	go/go	33,5 [29; 39]	34,7 [25; 45]	33,5# [28; 41]	34,3# [27; 43]	35,1# [27; 44]
	goL/nogo/goR	33,5 [31; 39]	36,7 [35; 47]	40,4* [28; 43]	40,1* [37; 42]	38,4* [33; 45]
SI, н.о.	go/go	75,2 [49; 93]	76,3# [64; 87]	75,1# [66; 97]	76,3# [74; 109]	75,8# [73; 102]
	goL/nogo/goR	83,5 [49; 98]	164,9* [124; 187]	183,0* [146; 207]	196,9* [155; 219]	186,7* [153; 234]

Примітки: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$ між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

Достовірність різниць розраховувалася за критеріями Уїлкоксона та Манна-Уїтні

З табл. 3.2.5 видно, що у обох тестах, моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) виявили ряд статистично відтворюваних вірогідних різниць показників ВСР у активному стані у порівнянні з фоном. Це свідчило про неоднозначну залежність рівня функціонування серцево-судинної системи, а

також підвищення рівня активації механізмів регуляції АНС, що було корелятом складності завдання та швидкості пред'явлення подразників. Підтверджується це тим, що статистичні та варіаційні показники змінювались у відповідності до підвищення швидкості переробки інформації. У більшості випадків зі збільшенням швидкості пред'явлення та переробки вербальної інформації у когнітивному завданні goL/nogo/goR виявили статистично значуще підвищення показника HR по відношенню до фону ($p < 0,05$). Тоді як у тесті go/go такі зміни HR у відповідь на підвищення швидкості пред'явлення для переробки інформації виявились не суттєвими ($p > 0,05$) (рис. 3.11).

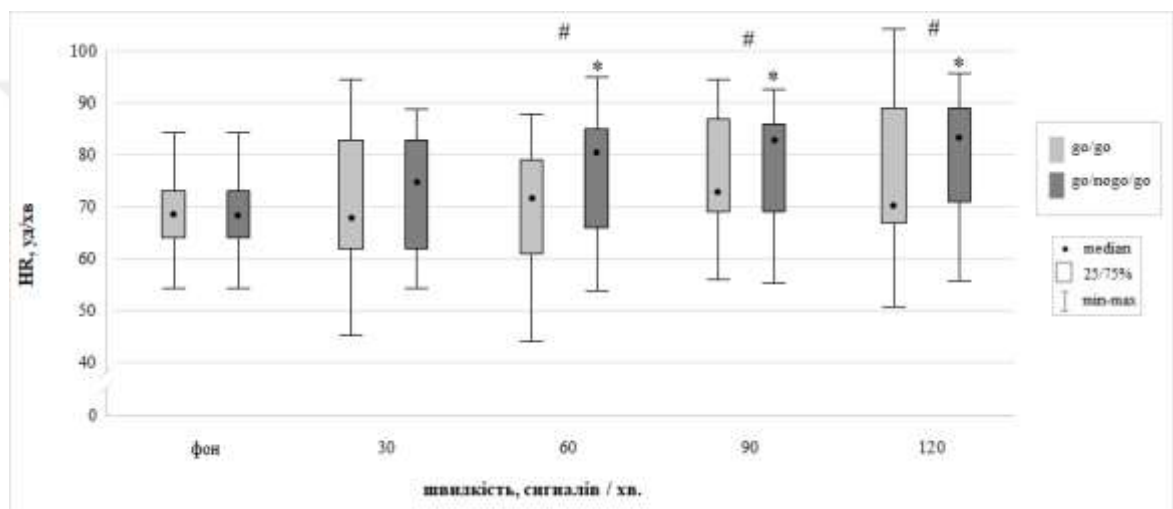


Рис. 3.11 Динаміка частоти серцевих скорочень (HR, уд/хв.) обстежуваних під час переробки вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

За умови виконання тесту у завданні goL/nogo/goR, коли обстежуваному необхідно було крім моторного виконати і когнітивне завдання, більшість показників HR, SDNN, Aмо та SI змінювались у відповідності до підвищення швидкості пред'явлення сигналів. Так само, як і у випадку з завданням go/go низькі значення HR були виявлені у стані спокою та при виконанні роботи у когнітивному завданні goL/nogo/goR зі швидкістю пред'явлення сигналів 30 за хвилину. За умови подальшого підвищення швидкості пред'явлення подразників до 60, 90 та 120 сигналів за хвилину HR, Aмо та SI статистично значуще

зростала, а SDNN знижувалась у порівнянні з фоном ($p < 0,05$). Найвищих змін HR, Aмо, SDNN та SI для завдання goL/nogo/goR досягли на швидкості пред'явлення 90 та 120 сигналів за хвилину (рис. 3.12).

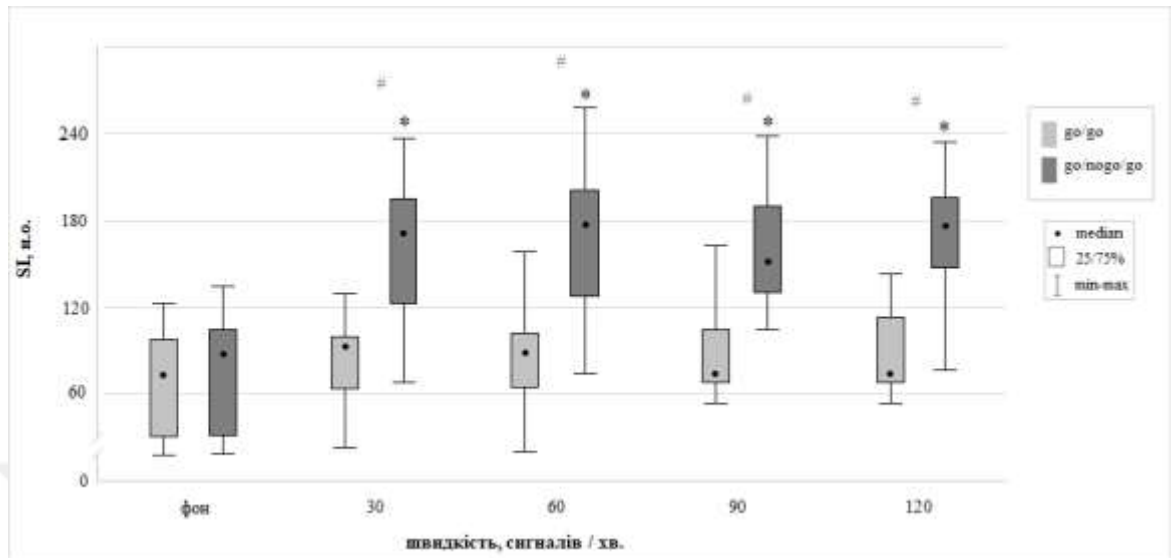


Рис. 3.12 Динаміка стрес індексу (SI, н.о.) обстежуваних під час переробки вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

Показник SI на пред'явлення вербальних сигналів у когнітивному завданні goL/nogo/goR змінювався хвилеподібно. На швидкості пред'явлення вербальних сигналів 60 за хвилину стрес індекс статистично значуще зріс відносно фонових значень ($p < 0,05$). На швидкості 90 за хвилину це показник досягав найвищої величини 196,9 [195; 219] ($p < 0,05$). З подальшим зростанням швидкості пред'явлення сигналів 120 за хвилину SI дещо знизився до рівня 186,7 [92] ($p < 0,05$), що свідчило про зниження активності та участі центральних механізмів регуляції АНС серцевим ритмом.

Аналіз результатів дослідження показав, що у завданні go/go значення SDNN, Aмо та SI мало змінювалися і тому переробка вербальної інформації та активація АНС не залежала від складності завдання та швидкості пред'явлення сигналів. Варіативність серцевого ритму і амплітуда моди та показники стрес-індексу лишалась на тому ж рівні, що і в стані спокою. Тобто у обстежуваних,

які виконували моторне завдання у режимі go/go з поступовим зростанням швидкості пред'явлення вербальних сигналів в умовах ігнорування семантичного значення слова за показниками SDNN, Amo та SI не спостерігалось характерної для переробки інформації активації парасимпатичної та симпатичної ланки АНС, а також зміни централізації в управлінні СР.

У обстежуваних, які виконували завдання у режимі goL/nogo/goR з поступовим зростанням швидкості пред'явлення вербальних сигналів в умовах визначення когнітивної складової, семантичного значення слова та екстреної побудови програми відповіді для лівої, або правої руки, а також ігнорування реакції на появу слова зі значеннями «предметів» відбувається характерна активація симпатичного та послаблення тонічного впливу парасимпатичного відділу АНС, а також підвищення участі центрального контуру в управлінні серцевим ритмом [6; 210].

Отже, у когнітивному завданні goL/nogo/goR сприйняття, переробка та диференціювання моторної рухової реакції відбувається за участі не тільки сенсорного, центрального та моторного компонентів, а залучає і вегетативні центри активації АНС та переводить управління серцевим ритмом з автономного на рівень центральних механізмів регуляції. Більш глибоко з'ясувати особливості перебудови, імовірно можуть подальші дослідження з використанням спектрального аналізу серцевого ритму.

Результати САСР за умови переробки вербальної інформації у парадигмі goL/nogo/goR та go/go під час поступового зростання швидкості пред'явлення подразників підтвердили наше узагальнення, яке було зроблене на підставі дослідження з використанням ВСР (табл. 3.10).

САСР виявив негативні зміни для показників TP, HF, VLF і позитивну динаміку для LF та IC у ситуації з поступовим підвищенням швидкості пред'явлення вербальних подразників у режимі goL/nogo/goR, що вказувало на те, що у більшості випадків зі збільшенням швидкості пред'явлення інформації змінювалась активність механізмів регуляції АНС.

Спектральні характеристики регуляції серцевого ритму під час переробки вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR, (Me [25%; 75%]), n=56

Досліджувані Показники	Складність завдання	Швидкість, сигналів/хв.				
		Фон	30	60	90	120
TP, мс ²	go/go	4578,1 [2305; 5461]	4241,6 [2231; 5011]	4322,1# [3689; 4837]	4427,3# [3754; 4833]	4522,1# [3563; 5134]
	goL/nogo/goR	4578,1 [2305; 5461]	3241,6* [1530; 5982]	3211,1* [1679; 5138]	3312,1* [1879; 6124]	2736,2* [1623; 5124]
VLF, мс ²	go/go	1457,0 [1335; 1897]	1433,1 [1306; 1793]	1374,3# [1291; 1861]	1395,3 [1306; 1854]	1417,1# [1302; 1812]
	goL/nogo/goR	1457,0 [934; 1897]	1235,0 [654; 1749]	874,6* [429; 1760]	1209,8* [506; 1757]	997,0* [402; 1382]
LF, мс ²	go/go	1380,1 [987; 1765]	1223,1 [989; 1704]	1243,1 [876; 1683]	1271,3# [897; 1675]	1287,3# [909; 1794]
	goL/nogo/goR	1380,1 [987; 1765]	1884,1* [892; 2309]	1466,3 [761; 1981]	1674,7* [789; 2034]	1017,1* [591; 1893]
HF, мс ²	go/go	1451,7 [897; 1976]	1428,5# [825; 1984]	1451,3# [930; 1851]	1448,4# [840; 1733]	1397,5# [980; 1838]
	goL/nogo/goR	1451,7 [897; 1976]	785,0* [410; 1357]	874,6* [489; 1567]	673,7* [346; 1678]	664,0* [410; 1231]
IC, н.о.	go/go	1,2 [0,6; 2,9]	1,1 [0,4; 2,5]	1,2# [1,1; 3,1]	1,3# [1,2; 2,9]	1,2# [1,8; 3,3]
	goL/nogo/goR	1,3 [0,6; 2,1]	1,3 [0,7; 2,9]	2,0* [1,5; 3,1]	2,7* [1,2; 3,5]	2,2* [0,8; 3,3]

Примітки: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

Достовірність різниць розраховувалася за критеріями Уїлкоксона та Манна-Уїтні

Тоді як у моторному завданні go/go спектральні характеристики TP, HF, VLF, LF та IC мало змінювались у відповідь на підвищення швидкості пред'явлення інформації.

Динаміка показників, які характеризують сумарну потужність (TP) та її компоненти (HF, VLF, LF), що характеризують активність механізмів регуляції автономної нервової системи на різних швидкостях пред'явлення сигналів у когнітивному тесті goL/nogo/goR виявилась неочікувано різною (рис. 3.2.7).

Так, виконання когнітивного завдання goL/nogo/goR з вербальними сигналами на швидкості 30, 60 та 90 сигналів за хвилину супроводжувалось поступовим зниженням TP та усіх її компонентів HF, VLF, LF і зростанням IC, що свідчить про послаблення тону парасимпатичної ланки АНС і перевагу активності центральних над автономними механізмами регуляції серцевого ритму [95].

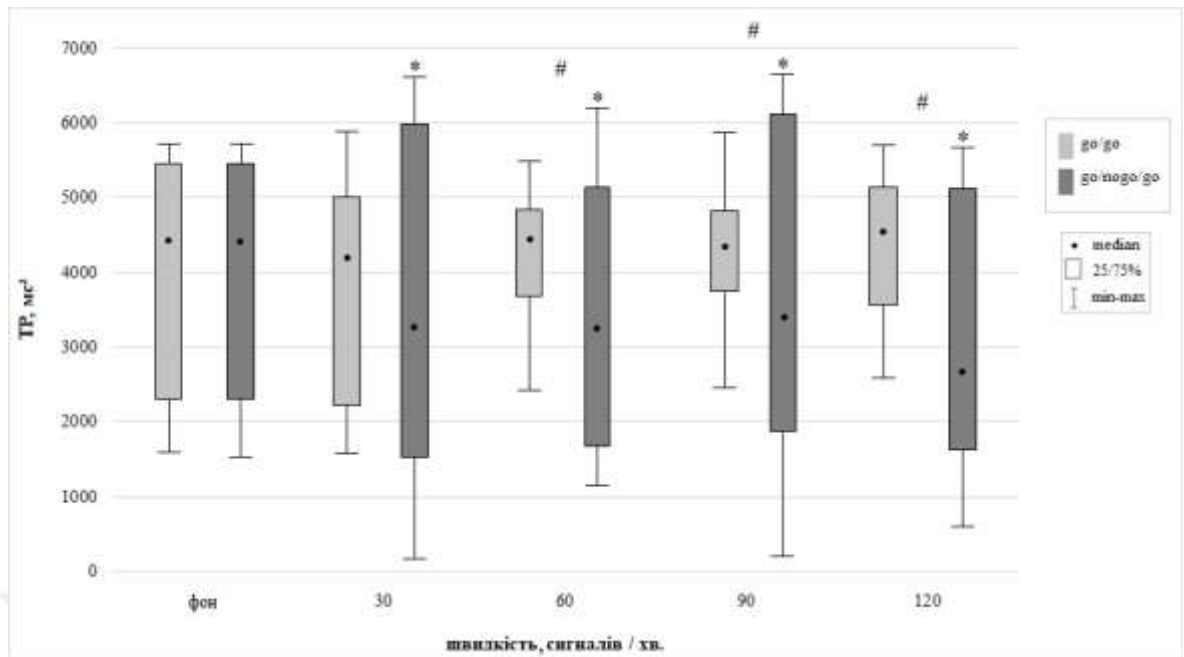


Рис. 3.13 Динаміка загальної потужності серцевого ритму (ТР, мс^2) обстежуваних під час переробки вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різних швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

Аналіз результатів дослідження САСР автономної нервової системи при переробці вербальної інформації у випадку когнітивного завдання goL/nogo/goR показав, що високі значення загальної потужності спектру (ТР мс^2) були зареєстровані у стані спокою, перед виконання роботи. За умови пред'явлення вербальних сигналів 60 за хвилину цей показник суттєво знизився ($p < 0,05$). Підвищення швидкості пред'явлення подразників до 90 та 120 сигналів за хвилину приводило до подальшого зниження загальної потужності спектру. Самих низьких значень загальна потужність спектру 2736,2 [1623; 5124] мс^2 досягла на швидкості пред'явлення 120 сигналів за хвилину. Статистично значущі відмінності ТР (мс^2) виявили у обстежуваних на швидкості 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину порівняно з фоном ($p < 0,05$).

Встановлено, що з підвищенням швидкості пред'явлення вербальної інформації від 30 і до 120 сигналів за хвилину для завдання goL/nogo/goR відбувається поступове хвилеподібне зниження показників VLF. Найбільше

зниження VLF зареєстрували на швидкості пред'явлення сигналів 60 та 120 за хвилину ($p < 0,05$).

Аналіз результатів дослідження активації механізмів регуляції серцевого ритму за показниками LF виявив поступове його підвищення за умови зростання швидкості пред'явлення вербальних сигналів до 30 за хвилину ($p < 0,05$). У подальшому з підвищенням швидкості переробки інформації цей показник знижувався і низьких значень 1017,1 [591; 1893] цей показник досягав на швидкості 120 сигналів за хвилину ($p < 0,05$).

Аналіз HF у стані спокою та під час переробки вербальної інформації зі зростаючою швидкістю пред'явлення інформації виявив поступове його зниження у разі підвищення швидкості пред'явлення вербальних сигналів у тесті goL/nogo/goR. Встановлено, що з відбувається поступове хвилеподібне зниження HF у відповідності з підвищенням швидкості пред'явлення вербальної інформації від 30 і до 120 сигналів за хвилину. Найбільше зниження HF зареєстрували на швидкості пред'явлення сигналів 90 та 120 за хвилину ($p < 0,05$).

Динаміка індексу централізації у обстежуваних у фоні та під час переробки вербальних сигналів у парадигмі goL/nogo/goR з різною швидкістю їх пред'явлення представлена на рис 3.14.

Показник IC на пред'явлення вербальних сигналів у когнітивному завданні goL/nogo/goR змінювався хвилеподібно. На швидкості пред'явлення вербальних сигналів 60 за хвилину індекс централізації статистично значуще зріс до значень 2,0 [1,5; 3,1] відносно фонових ($p < 0,05$), а на швидкості 90 за хвилину він був високим – 2,7 [1,2; 3,5] ($p < 0,05$).

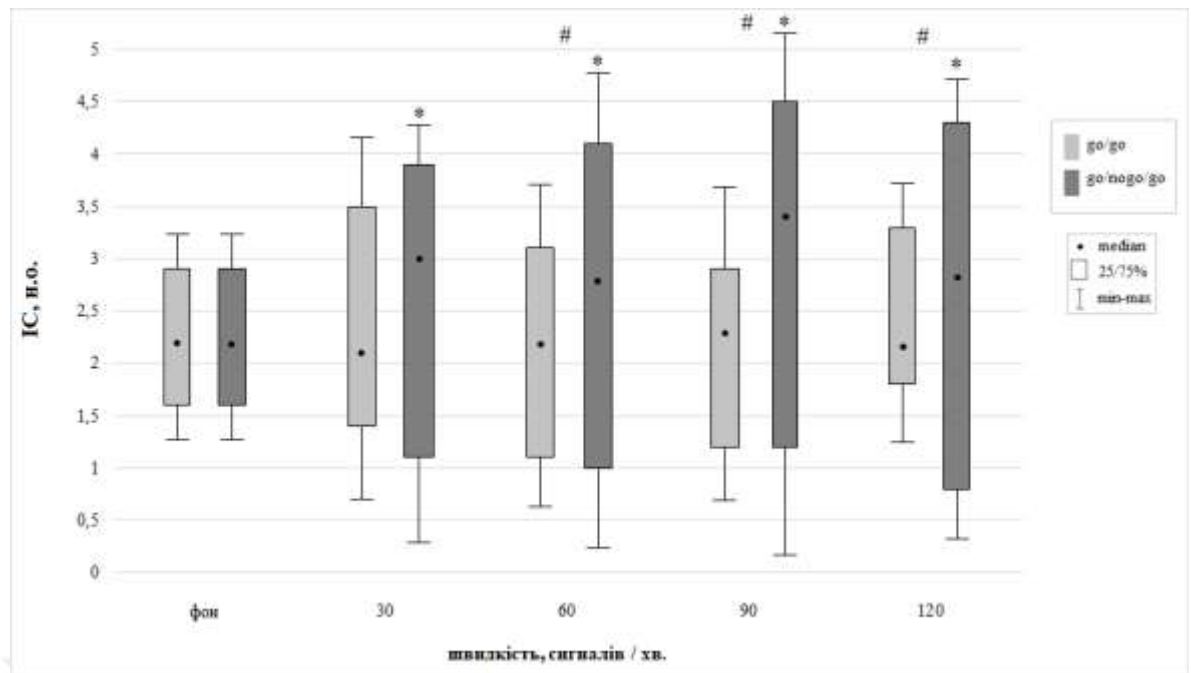


Рис. 3.14 Динаміка індексу централізації (IC, н.о.) у обстежуваних під час переробки вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та goL/nogo/goR

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та goL/nogo/goR

З подальшим зростанням швидкості пред'явлення вербальної інформації до 120 сигналів за хвилину показник IC хоча і залишався високим, але у порівнянні із індексом централізації на швидкості 90 за хвилину неочікувано знизився до величини 2,2 [0,8; 3,3] ($p < 0,05$), що свідчило про меншу активність центральних механізмів регуляції АНС серцевим ритмом.

Отже, під час переробки вербальної інформації показники САСР виявили залежність від швидкості пред'явлення сигналів тільки у випадку когнітивного завдання goL/nogo/goR. Причому, зростання активності регуляторних процесів АНС за даними ВСР та САСР супроводжувалось підвищенням HR АМо та SI, а також LF і IC та зниженням показників SDNN та TP і HF VLF, що може свідчити на користь посилення активності симпатичної ланки і послаблення парасимпатичної активності, підвищення централізації в управлінні серцевим ритмом та зниження участі автономних механізмів регуляції [109], а також про переважання орієнтувального типу регуляції серцевим ритмом [104]. Зниження

показників SI та IC під час переробки когнітивної інформації у режимі goL/nogo/goR на швидкості 120 сигналів за хвилину може вказувати на деяке зниження активності механізмів участі АНС та зміну участі симпатичної та парасимпатичної ланки і центральних та автономних механізмів регуляції серцевим ритмом та переважання захисного типу регуляції [41; 105].

Таким чином, наведені результати динаміки показників BCP, HR, SDNN, АМо та SI, а також спектральні характеристики TP, HF, VLF, LF і IC засвідчують поступове підвищення активності регуляторних механізмів АНС на серцевий ритм під час переробки інформації у завданні goL/nogo/goR з поступовим зростанням швидкості пред'явлення образних сигналів.

Наведені результати дозволяють узагальнити, що поступове підвищення швидкості пред'явлення образної інформації супроводжується зростанням активності регуляторних процесів на роботу серця збоку АНС. Причому, підвищення регуляторних процесів у АНС за цих умов супроводжується посиленням активності її симпатичної ланки, так і участі центральних механізмів в управлінні серцевим ритмом [109].

3.2.3. Особливості механізмів регуляції автономної нервової системи під час диференціювання (goL/nogo/goR) вербальних та образних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення. Оскільки у 3.2.1. та 3.2.2 ми не знайшли відмінностей у вегетативному забезпеченні переробки інформації для образних і вербальних сигналів у моторному (go/go) завданні, то у підрозділі 3.2.3 ми представляємо експериментальний матеріал досліджень у когнітивному завданні goL/nogo/goR.

Динаміка показників BCP за умови переробки образних та вербальних сигналів з поступовим підвищенням швидкості диференціювання інформації у когнітивному завданні goL/nogo/goR представлена у таблиці 3.11.

Статистичні показники (Me [25%; 75%]) регуляції серцевого ритму під час переробки образних та вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні goL/nogo/goR, (n=56)

Досліджувані показники	Модальність сигналів	Швидкість, сигналів/хв.				
		Фон	30	60	90	120
HR, уд/хв.	Фігури	68,4 [64; 73]	76,2* [73; 79]	78,0* [75; 81]	82,5* [78; 86]	82,5* [75; 83]
	Слова	69,3 [63; 75]	74,0 [62; 83]	80,8* [66; 85]	82,1* [69; 86]	83,3* [71; 89]
SDNN, мс	Фігури	55,3 [46; 55]	50,5* [44; 54]	49,5* [43; 56]	49,2* [46; 54]	48,9* [42; 56]
	Слова	56,2 [44; 62]	51,9 [44; 58]	50,9* [42; 54]	50,9* [41; 57]	50,7* [39; 53]
АМо, %	Фігури	33,5 [31; 39]	40,5* [37; 46]	40,6* [36; 43]	39,3* [35; 43]	40,8* [36; 42]
	Слова	32,3 [29; 37]	38,7 [35; 47]	40,4* [28; 43]	40,1* [37; 42]	41,4* [33; 45]
SI, н.о.	Фігури	89,0 [39; 93]	156,8* [119; 195]	157,9*# [128; 194]	163,1*# [138; 195]	176,6* [148; 205]
	Слова	83,5 [49; 98]	164,9* [124; 187]	183,0* [146; 207]	196,9* [155; 219]	186,7* [153; 234]

Примітки: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між фігурами та словами

Достовірність різниць розраховувалася за критеріями Уїлкоксона та Манна-Уїтні

Слід відмітити, що для показників ВСР у фоні, перед початком експерименту у обстежуваних не виявили вірогідних відмінностей для показників ВСР у завданні з фігурами та словами ($p > 0,05$). З підвищенням швидкості пред'явлення для переробки як образної, так і вербальної інформації до 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину у когнітивному завданні goL/nogo/goR виявили вірогідні зміни показників ВСР. Зокрема спостерігали поступове зростання HR, АМо та SI та зниження SDNN (табл. 3.11 та рис. 3.15).

Статистично значуще підвищення HR уд./хв та АМо% у порівнянні з фоном для образних подразників виявили на швидкості 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину ($p < 0,05$). Тоді, як для вербальних сигналів статистично значуще підвищення HR уд. хв⁻¹ та АМо% від фонових значень встановлено на швидкості 60, 90 та 120 подразників за хвилину ($p < 0,05$).

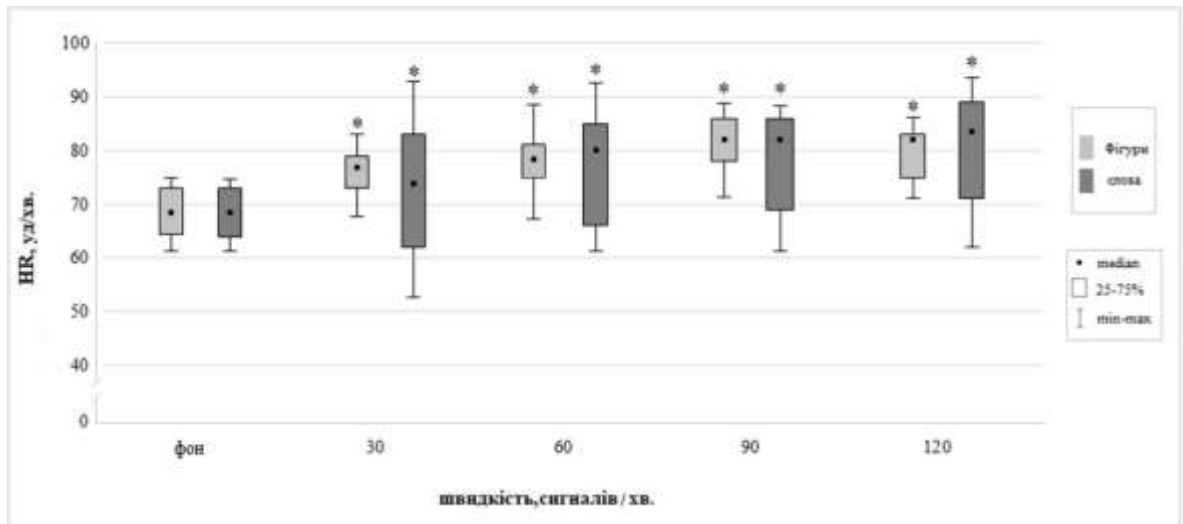


Рис. 3.15 Динаміка частоти серцевих скорочень (HR, уд/хв.) у обстежуваних під час переробки образних та вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні goL/nogo/goR

Примітка: * - $p < 0.05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0.05$, між фігурами та словами

Одночасно, у обстежуваних, що виконували завдання з поступовим підвищенням швидкості диференціювання goL/nogo/goR образної та вербальної інформації спостерігали поступове зниження середньоквадратичного відхилення тривалості кардіоінтервалів SDNN, мс ($p < 0,05$). Необхідно відмітити, що статистично значуще зниження SDNN у порівнянні з показниками, що отримані у фоні для образних подразників виявили на швидкості 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину ($p < 0,05$). Для вербальних сигналів такі відмінності були відмічені на швидкості 60, 90 та 120 подразників за хвилину ($p < 0,05$).

Найбільші зміни HR, Амо та SDNN у ситуації з образними та вербальними сигналами були встановлені на швидкості пред'явлення 120 за хвилину. На жодній швидкості переробки образної та вербальної інформації не виявили статистично значущих відмінностей між показниками HR, SDNN, та Амо ($p > 0,05$).

Що стосується стрес індексу (SI) то його динаміка під час переробки інформації у завданні диференціювання goL/nogo/goR змінювався у відповідності до швидкості пред'явлення сигналів та їх модальності. Самим

низьким цей показник був у фоні та на швидкості 30 сигналів за хвилину і далі з підвищенням швидкості пред'явлення образних та вербальних до 120 за хвилину цей показник поступово зростав (табл. 3.11 і рис. 3.16).

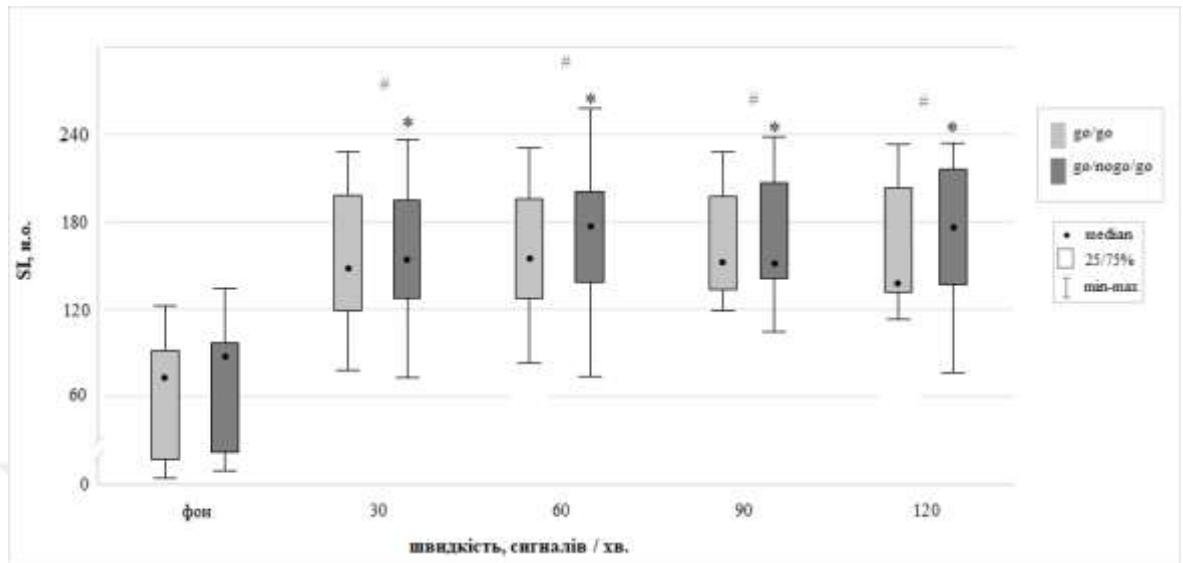


Рис. 3.16 Динаміка стрес індексу (SI, н.о.) у обстежуваних під час переробки образних та вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні goL/nogo/goR.

Примітка: * - $p < 0.05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0.05$, між фігурами та словами

Необхідно відмітити, що у ситуації переробки образної інформації показник SI поступово зростав і максимальних значень (176,6 н.о.) досягав на швидкості 120 сигналів за хв. ($p < 0,05$). Тоді, як за умови переробки вербальної інформації це показник максимальних значень (196,9 н.о.) досягав на швидкості 90 сигналів за хвилину ($p < 0,05$). А на швидкості 120 сигналів за хв. SI хоча і залишався високим, але дещо знизився і становив 186.6 н.о. ($p < 0,05$). Слід зауважити, що на швидкості 30 та 120 сигналів за хвилину за показником SI під час переробки образної і вербальної інформації не виявили вірогідних відмінностей ($p > 0,05$). Тоді як на швидкості 60 та 90 за хвилину показник SI для вербальних сигналів виявився статистично вищим, ніж для образних ($p < 0,05$).

Отже, динаміка статистичних показників HR, SDNN, Aмо та SI свідчить про поступове підвищення активності регуляторних механізмів АНС на серцевий ритм і, що вона знаходиться у залежності від швидкості пред'явлення

образних та вербальних сигналів. Активність регуляторних механізмів АНС знаходилась у залежності не тільки від швидкості, а від модальності диференціювання образних та вербальних сигналів. На швидкості диференціювання 60 та 90 сигналів за хвилину стрес індекс на вербальну інформацію був статистично вищим, ніж на образні сигнали. Це свідчило про вищий рівень активації АНС та перевагу центрального контуру над автономним в управлінні СР під час переробки вербальної інформації в режимі goL/nogo/goR. В разі підвищення швидкості диференціювання сигналів до 120 за хвилину у режимі goL/nogo/goR показники HR, Амо, SI продовжували значуще зростати, а SDNN знижувались ($p < 0,05$). На високій швидкості переробки інформації (120 за хв.) для SI виявили розузгодження динаміки цього показника для образних та вербальних подразників. Для образних сигналів на цій швидкості показник SI підвищився і досяг максимальних значень. У разі пред'явлення вербальних сигналів на високій швидкості показник стрес-індексу знизився, що може вказувати на зниження активності АНС та пригнічення механізмів регуляції СР [60; 136; 191; 192; 194].

Для підтвердження залежності активності регуляторних механізмів АНС від швидкості пред'явлення для диференціювання образних і вербальних сигналів у завданні goL/nogo/goR з поступовим зростанням швидкості пред'явлення інформації ми провели дослідження з використанням спектрального аналізу серцевого ритму та здійснили аналіз результатів для встановлення особливостей такого зв'язку.

Серед спектральних показників необхідно звернути увагу на поступове зниження загальної варіабельності СР у наслідок зниження загальної потужності спектру у відповідь на поступове зростання швидкості переробки образної і вербальної інформації у завданні goL/nogo/goR (табл. 3.12).

Динаміка спектральних характеристик регуляції серцевого ритму під час переробки образних і вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні goL/nogo/goR (Me [25%; 75%]), n=56

Досліджувані показники	Модальність сигналів	Швидкість, сигналів/хв.				
		Фон	30	60	90	120
TP, мс ²	Фігури	4578,1 [2305; 5461]	3228,3* [1739; 4983]	3210,0* [902; 4178]	2879,9*# [831; 4231]	3399,9*# [528; 4683]
	Слова	4578,1 [2305; 5461]	3241,6* [1530; 5982]	3211,1* [1679; 5138]	3312,1* [1879; 6124]	2736,2* [1623; 5124]
IC, н.о.	Фігури	1,2 [0,8; 1,9]	1,4 [0,8; 2,2]	1,7* [1,2; 3,1]	2,2*# [0,9; 3,5]	2,7*# [1,3; 3,7]
	Слова	1,3 [0,6; 2,1]	1,3 [0,7; 2,9]	2,0* [1,5; 3,1]	2,7* [1,2; 3,5]	2,2* [0,8; 3,3]

Примітки: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань з фігурами та словами
Достовірність різниць розраховувалася за критеріями Уїлкоксона та Манна-Уїтні

Необхідно відмітити, що у разі підвищення швидкості пред'явлення інформації від 30 і далі до 60, 90 та 120 за хвилину показник TP поступово знижувався і досягав найнижчих значень 2879,9 [831; 4231] мс² для образних сигналів і 2736,2 [1623; 5124] мс² для вербальних сигналів (рис. 3.17).

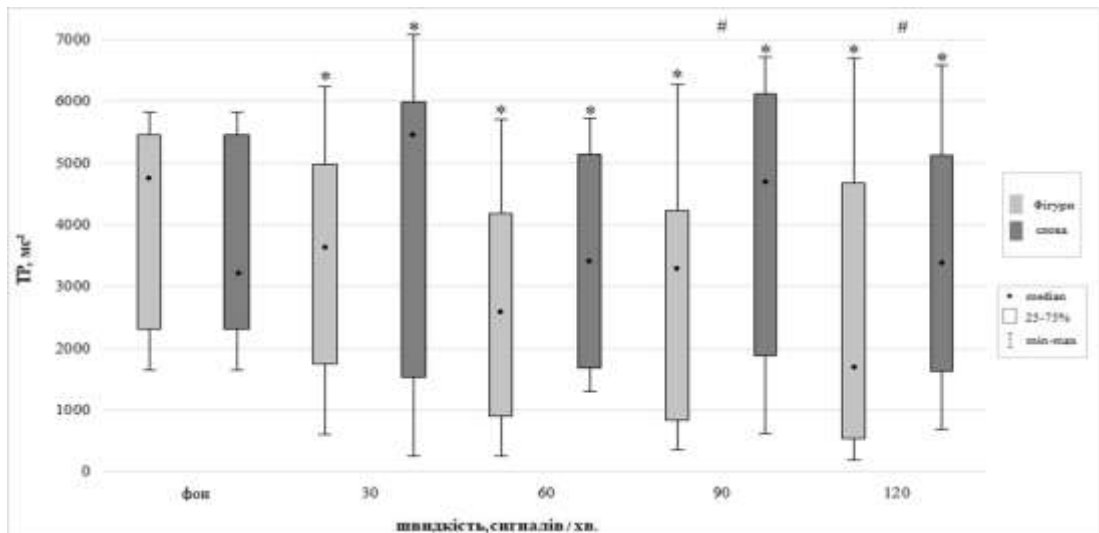


Рис. 3.17 Динаміка загальної потужності спектру регуляції серцевого ритму (TP, мс²) у обстежуваних під час переробки образних та вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні goL/nogo/goR.

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між фігурами та словами

Низькі значення ТР для образних сигналів були виявлені на швидкості 90 сигналів за хв., а для вербальних – 120 за хвилину ($p < 0,05$).

Слід відмітити, що за показником ТР у фоні та під час переробки вербальної і образної інформації на швидкості 30 та 60 сигналів за хв. Не виявили вірогідних відмінностей ($p > 0,05$). Виявлені зміни ТР відбулися, переважно, внаслідок зниження високочастотної компоненти (HF) на 29-42% для фігур та 27-42% для вербальних сигналів ($p < 0,05$).

А також зниження потужності низькочастотних коливань (LF) на 41-44% для образних та на 39 – 45% для вербальних сигналів ($p < 0,05$) (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

Питома вага (%) спектральних характеристик серцевого ритму за умови переробки образних і вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення сигналів у завданні goL/nogo/goR, n=56

Досліджувані показники	Модальність Сигналів	Швидкість, сигналів/хв.				
		Фон	30	60	90	120
VLF, %	Фігури	19	17	21	25	27
	Слова	20	19	22	28	29
LF, %	Фігури	36	41	42	43	44
	Слова	37	39	45	45	40
HF, %	Фігури	45	42	37	32	29
	Слова	43	42	33	27	31

Вклад над низькочастотних коливань (VLF) у структурі загальної потужності був меншим і становив у фоні 19-20%, а під час переробки інформації з різною швидкістю пред'явлення сигналів зміни VLF не перевищували 29%. У відсотковій структурі САСР за умови зростання швидкості переробки інформації вірогідно підвищилася питома вага наднизькочастотного компоненту на 8-9% (рис. 3.18).

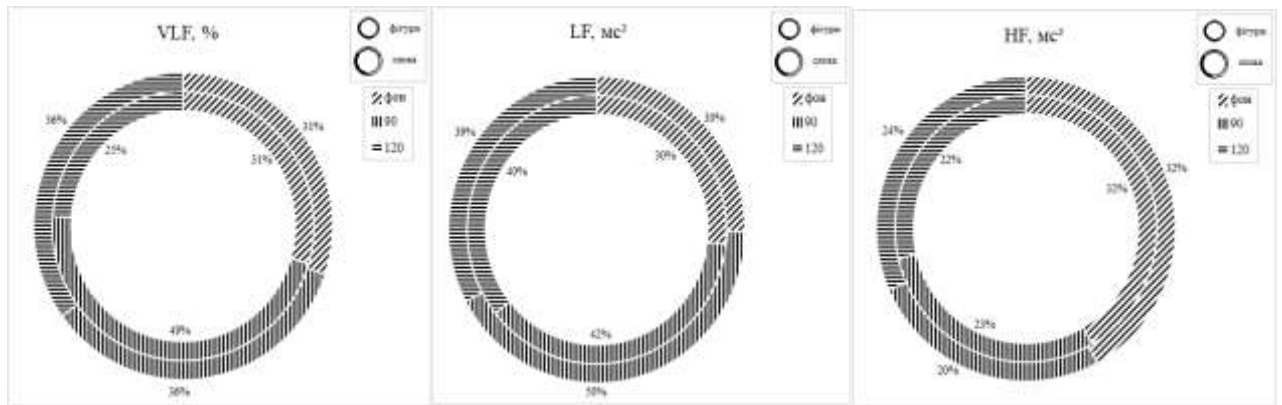


Рис. 3.18 Питома вага (%) спектральних характеристик серцевого ритму у фоні та під час переробки образних і вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні goL/nogo/goR

Потужність низькочастотних коливань (LF) у структурі загальної потужності у фоні становила 36% для образних і 37% для вербальних сигналів. За умови підвищення швидкості пред'явлення подразників вклад низькочастотної компоненти поступово зростає. Для образних сигналів на швидкості 30, 60, 90 та 120 сигналів за хвилину зміни LF у структурі загальної потужності становили відповідно 41, 42, 43 та 44% ($p < 0,05$). А для вербальних сигналів такі зміни LF на швидкості 30, 60 та 90 сигналів за хвилину були в межах 39-45%. На швидкості 120 сигналів за хвилину вклад низькочастотної компоненти у структуру загальної потужності зменшився до 40%. У відсотковій структурі САСР за умови зростання швидкості переробки інформації вірогідно підвищилася питома вага низькочастотного компоненту на 4-5%.

Таку динаміку показників ВСР та САСР можна трактувати як перерозподіл активності між периферичним відділом АНС з одночасним підвищенням надсегментарної регуляції СР з боку вищих вегетативних центрів та гуморальних механізмів. Це підтверджується і динамікою індексу централізації (IC) за умови переробки вербальних та образних сигналів у парадигмі goL/nogo/goR з різною швидкістю їх пред'явлення, що представлено на рис 3.19.

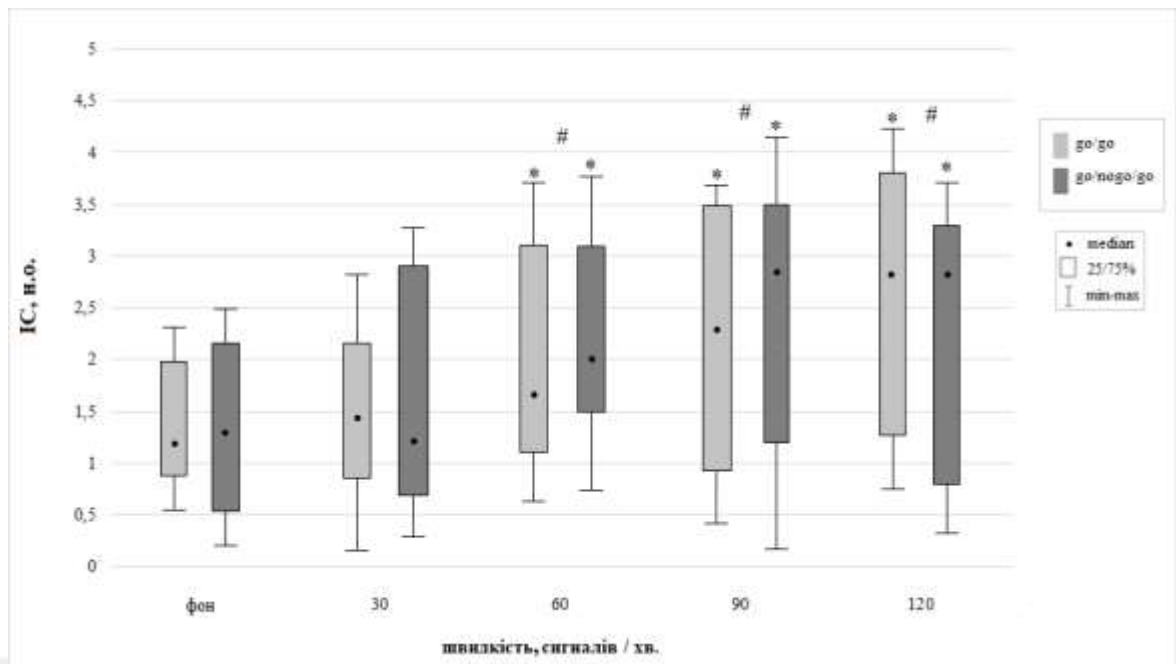


Рис. 3.19 Динаміка індексу централізації серцевого ритму (IC, н.о.) у обстежуваних під час переробки образних та вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні goL/nogo/goR

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між фігурами та словами у завданні goL/nogo/goR

Низькі значення IC для образних сигналів були у фоні та під час переробки інформації на швидкості 30 сигналів за хвилину. У подальшому, з підвищенням швидкості пред'явлення інформації до 60, 90 сигналів за хвилину IC поступово зростав і досягав максимальних значень 2,7 н.о. для геометричних фігур на швидкості 120 сигналів за хвилину ($p < 0,05$). Статистично значущі зміни IC від фону були виявлені під час переробки вербальних сигналів на швидкості 60 та 90 сигналів за хвилину ($p < 0,05$). Максимальним (2,7 н.о.) IC для вербальних сигналів виявився на швидкості 90 сигналів за хвилину. Статистично вірогідне підвищення IC від фону було встановлено під час переробки вербальних сигналів на швидкості 60, 90 та 120 сигналів за хвилину ($p < 0,05$). З підвищенням швидкості пред'явлення вербальної інформації до 120 сигналів за хвилину IC не тільки не підвищився, а, навпаки, дещо знизився до величини 2,2 н.о. Необхідно звернути увагу, що на швидкості 30 та 60 сигналів за хвилину за показником IC під час переробки образної і вербальної інформації вірогідних відмінностей не виявили ($p > 0,05$). Тоді як на швидкості 90 та 120 за хвилину показник IC для

вербальних сигналів виявився статистично вищим, ніж для образних сигналів ($p < 0,05$).

Таку динаміку показників ВСР та САСР під час підвищення швидкості переробки інформації у режимі диференціювання goL/nogo/goR образних та вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у порівнянні зі станом спокою можна трактувати як перерозподіл активності регуляторних механізмів АНС між її периферичним і центральним контуром управління та активністю симпатичного і прасимпатичного відділу вегетативної нервової системи з боку вищих вегетативних центрів та гуморальних механізмів [6].

Отже, переробка інформації та взаємодія когнітивної і автономної нервової системи знаходиться у куполоподібній залежності від швидкості пред'явлення сигналів та їх модальності. З підвищенням швидкості пред'явлення сигналів до 60 для вербальних і 90 за хвилину для образних подразників взаємодія когнітивної та автономної нервової систем зростає. Подальше підвищення швидкості диференціювання образних сигналів до 120, а вербальних до 90 за хв. Викликає вегетокогнітивну інтерференцію. Відбувається перерозподіл регуляторної активності АНС між центральним (надсегментарними) та автономними контурами та симпатичною і парасимпатичною ланкою регуляції СР на користь останніх (центральных) за рахунок пригнічення активності автономних [6].

3.3. Нейрофізіологічні механізми регуляції переробки інформації різної модальності та складності

Процеси переробки інформації можуть бути досліджені за допомогою експертної оцінки і виміряні часовими характеристиками рухових актів та сприйняття, який є різним для різних аналізаторних систем [50; 54; 68; 128]. Функціональні зміни, що відбуваються у ЦНС під час переробки інформації можуть бути охарактеризовані величиною відклику нейромереж на подразники – реакцією активації [129; 149; 171; 176; 182; 214]. Вимірювання потужності

активаційних процесів можливе тільки за допомогою ЕЕГ [7; 8]. Когнітивна діяльність та процеси переробки інформації у мозку оцінюються з допомогою психологічних тестів на увагу, пам'ять, мислення, креативності і інш. [42]. На тепер виявлені ЕЕГ-характеристики цих процесів [32; 78]. Відомо, що альфа-хвилі ЕЕГ організують електричну активність мозку і характеризують швидкість і продуктивність переробки інформації [145; 148; 157; 173; 213; 215] і в стані спокою однакову для осіб з різним рівнем сенсомоторної інтеграції [7; 8].

Дослідження останніх років показали зв'язок зміни ЕЕГ-активності кори мозку під час переробки інформації різної складності та модальності з типологічними властивостями нервової системи [68; 87; 88]. Разом з тим встановлено, що фонові активність ЕЕГ значною мірою впливає на результат переробки інформації [87; 143; 177]. Стійкі топографічні патерни альфа-ритму виявлені також за умови емоційного навантаження, вони змінюються у залежності від типу ВНД. Показано, що пригнічення альфа-ритму при впізнаванні зорових образів також залежить від фонового значення потужності альфа-активності [42; 134]. Результатами недавніх досліджень було показано, що рівень активації у осіб з високим рівнем сенсомоторної інтеграції та висококваліфікованих спортсменів вище, ніж у низької кваліфікації [7; 17; 62; 99; 204].

Таким чином, наведені вище результати вказують на важливість врахування ЕЕГ – характеристик в організації функціональної активності кори мозку під час переробки інформації різної модальності та складності. Нейронні механізми переробки інформації у підлітків не досліджувались. Спираючись на дослідження [7; 8] припускаємо, що механізми сприйняття та переробки інформації різної модальності і складності, а також організація рухової активності у осіб з різним рівнем взаємодії когнітивних і моторних процесів буде різний. Зважаючи на вищенаведене ми висунули гіпотезу, що відповідь кори мозку на інформаційні навантаження різної складності та модальності можуть розвиватися на основі резонансу зі спонтанною ЕЕГ, при чому функціональне значення має не тільки альфа-активність, а і фонові коливання дельта-, тета- і бета-діапазонів [122].

У зв'язку з цим метою дослідження цього підрозділу було з'ясувати участь нейрорегуляторних механізмів у забезпеченні переробки інформації різної складності та модальності в режимі простих моторних (go/go) та когнітивних (goL/nogo/goR) завдань та вивчити особливості спектральних характеристик ЕЕГ у обстежуваних. Ставили завдання: 1. З'ясувати як зв'язані спектральні характеристики основних частот ЕЕГ у обстежуваних з кількісними і якісними характеристиками переробки інформації; 2. Встановити зв'язок показників часу рухових реакцій та кількості помилок під час переробки інформації різної модальності та складності зі спектральними характеристиками основних потенціалів ЕЕГ.

3.3.1. Характеристика спектральної потужності основних ритмів ЕЕГ під час переробки інформації різної модальності та складності.

Оскільки провідна роль у зміні функціонального стану людини за умови переробки інформації різної модальності та складності належить церебральним структурам, то ми провели серію досліджень з реєстрацією ЕЕГ. У цих дослідженнях взяли участь 19 осіб праворуких 18-21 років (середній вік $17,4 \pm 0,7$ років). Профіль мануальної асиметрії визначали за тестами: схрещування рук на грудях, переплетення пальців кисті, та аплодування. Обстежувані були ознайомлені з ходом експерименту і дали згоду на його проведення з дотриманням норм біомедичної етики.

Показником інформаційних процесів, що відбуваються у мозку, можуть бути кількісні (час реакції) і якісні (кількість помилок) характеристики переробки інформації різної складності та модальності, та електрична активність кори головного мозку. Реєстрацію електроенцефалограми (ЕЕГ) здійснювали монополярно з референтним об'єднаним вушним електродом за допомогою апаратно-програмного комплексу „Нейроком” (ХАІ-Медика, Україна, Харків, 2008). Активні електроди розміщували за міжнародною системою 10/20 у 19 точках на поверхні голови: передніх, задніх та бічних лобних (відповідно $F_{p1,2}$; $F_{3,4}$; $F_{7,8}$), центральних ($C_{3,4}$), передніх і задніх скроневих (відповідно $T_{3,4}$; $T_{5,6}$),

тім'яних ($P_{3,4}$), потиличних ($Q_{1,2}$) відведеннях у лівій і правій півкулях кори головного мозку.

У функціональних пробах аналізували 40-с відрізки часу. Для режекції ЕЕГ-артефактів використовували процедуру ІСА-аналізу. Для кількісної оцінки ЕЕГ-даних мозку використовували комп'ютерну програму оцінки потужності коливань (μV^2). Значення потужності коливань ЕЕГ розраховували для усіх відведень в усіх тестових ситуаціях для частотного діапазону α - (альфа, 8-12 Гц), β - (бета, 13-40 Гц) та Δ -ритмів (дельта, 1-4 Гц). Розраховували коефіцієнт активації (КА), як відношення потужностей бета- до альфа- (β/α) діапазону. Оцінювали зміни α -, β - та Δ -ритмів у фоні при закритих і відкритих очах і порівнювали її з іншими тестовими ситуаціями при переробці інформації різної складності та модальності.

У кожного учасника експерименту записували ЕЕГ у фоні з закритими та відкритими очима (1-2 хв.), а також у 6-х тестах. У першому тесті реєстрували ЕЕГ під час «переробка інформації у режимі go/go на фігури», а у другому - «переробка інформації у режимі go/go на слова». У третьому тесті записували ЕЕГ під час «переробка інформації у режимі goL/nogo/goR на фігури», а 4-му - «переробка інформації у режимі goL/nogo/goR на слова». Метою вимірювання ЕЕГ з закритими та відкритими очима (перший та другий тести) було встановити фонову активність хвиль ЕЕГ особливо для різних вихідних умов з намаганням в подальшому порівняти ЕЕГ-активність кори під час переробки зорової інформації різної модальності та складності. Основною метою третього - шостого тесту була оцінка зміни показників ЕЕГ за умови переробки образних та вербальних сигналів у режимі моторного go/go та когнітивного завдання goL/nogo/goR. Для кожного обстежуваного програма виконання тестів була однакова і повторювалась у послідовності: «реакція go/go на фігури», «реакція go/go на слова», «реакція goL/nogo/goR на фігури» та «реакція goL/nogo/goR на слова». Кожний тест тривав 60 с. після чого подавалась інструкція: «відпочити 30 с., заплющити очі». Потім пред'являли новий тест. У всіх тестах обстежувані повинні були натиснути кнопку пульта приладу при появі на екрані комп'ютера

сигналу (розділ 2). Критерієм успішності переробки інформації була кількість помилок і середня швидкість рухової реакції на пред'явлені сигнали. Чим менше обстежуваний робив помилок і менший час був потрібний для реакції відповіді, тим вищою була успішність виконання завдання. Моменти пред'явлення сигналів і моменти відповіді фіксувались у пам'яті комп'ютера для співставлення з відповідними відрізками ЕЕГ. Показником нейропсихофізіологічних процесів під час інформаційної діяльності різної складності та модальності була електрична активність кори головного мозку досліджуваних.

Для кожного обстежуваного при обробці результатів був використаний амплітудно-частотний та когерентний аналіз. На основі виділення хвиль ЕЕГ після режекції артефактів методом розкладання ЕЕГ на незалежні компоненти (ISA) проводили статистичну оцінку ЕЕГ-хвиль. Вона включала обчислення середньої амплітуди і періоду безартефактних ЕЕГ. Для оцінки просторово-часової організації ЕЕГ мозку використовували коефіцієнт кореляції (КК) ЕЕГ, розрахований для всіх можливих пар комбінацій з 21-го відведення ЕЕГ. Для оцінки змін ЕЕГ у кожному тесті порівнювали усереднені результати для різної модальності сигналів статистичні показники ЕЕГ у 4-х субтестах з фоновою активністю.

У стані спокою із заплющеними і розплющеними очима характеризується різною мозковою організацією, яка, як показали результати ряду досліджень [7; 68; 218], зумовлена не тільки наявністю чи відсутністю зорової інформації, а й зміною загальної спрямованості уваги: від внутрішньо-орієнтованої в ситуації із заплющеними очима до зовнішньо-орієнтованої в ситуації із розплющеними очима. Ряд дослідників [51; 177; 187] вважають, що зміни картини ЕЕГ під час переходу від стану спокою із заплющеними очима до спокою із розплющеними очима відображують процеси перебудови функціональних систем мозку, які зумовлені саме переходом від інтерорецептивної до екстерорецептивної спрямованості уваги. Зміни ЕЕГ-активності мозку, які відбуваються в результаті переходу від стану спокою із заплющеними очима до стану спокою із

розплющеними очима, на нашу думку, забезпечують певний рівень випереджувальної (англ. – anticipatory) уваги, тобто рівень готовності до діяльності. Аналіз отриманих нами результатів показав, що зміни показників потужності ЕЕГ в такій ситуації мали ряд особливостей. Перш за все, були відмічені особливості, що пов'язані з мозковою діяльністю, включаючи і переробку інформації різної модальності та складності. Швидкість і точність виконання завдання з переробки образної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) завданні з образними та вербальними сигналами суттєво змінювалися. Як було показано у підрозділах 3.1 успішність виконання завдання при переробці образної інформації у когнітивному тесті goL/nogo/goR на геометричні фігури знаходиться у залежності від швидкості пред'явлення подразників. Підвищення швидкості пред'явлення подразників від 30 і до 120 за хвилину приводить до зростання кількості помилкових реакцій, особливо при переробці вербальної інформації. Кількість помилок при виконанні завдання у режимі go/go на швидкості 30, 60, 90 та 120 подразників за хв. була однаковою і не залежала від швидкості пред'явлення сигналів у моторному (go/go) тесті (рис. 3.20).

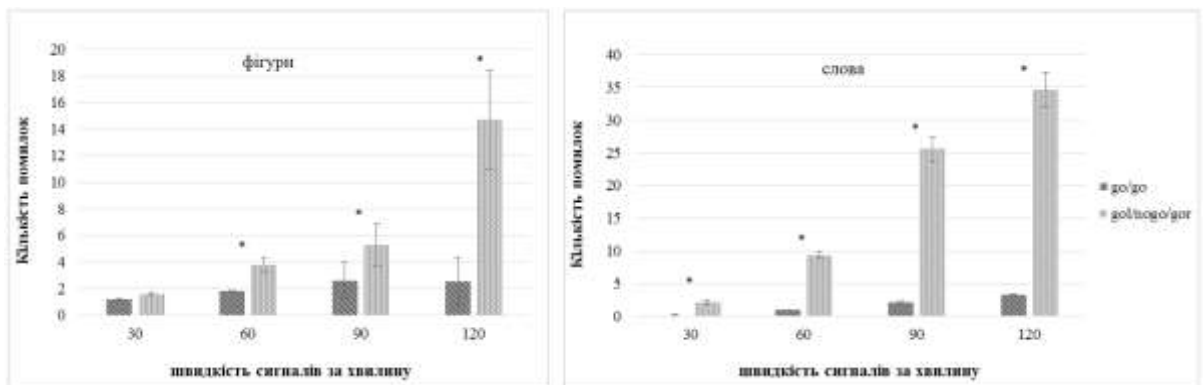


Рис. 3.20 Середні показники точності (кількості помилок) за умови переробки інформації різної складності та модальності у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тесті з різною швидкістю пред'явлення сигналів

У когнітивному (goL/nogo/goR) завданні з вербальними та образними сигналами кількість помилок була вища і знаходилась у залежності від швидкості пред'явлення інформації.

Кількісні характеристики переробки образної та вербальної інформації у обстежуваних юнаків під час поетапного підвищення швидкості пред'явлення інформації в режимі go/go та goL/nogo/goR визначали за показниками часу рухової реакції (рис. 3.21).

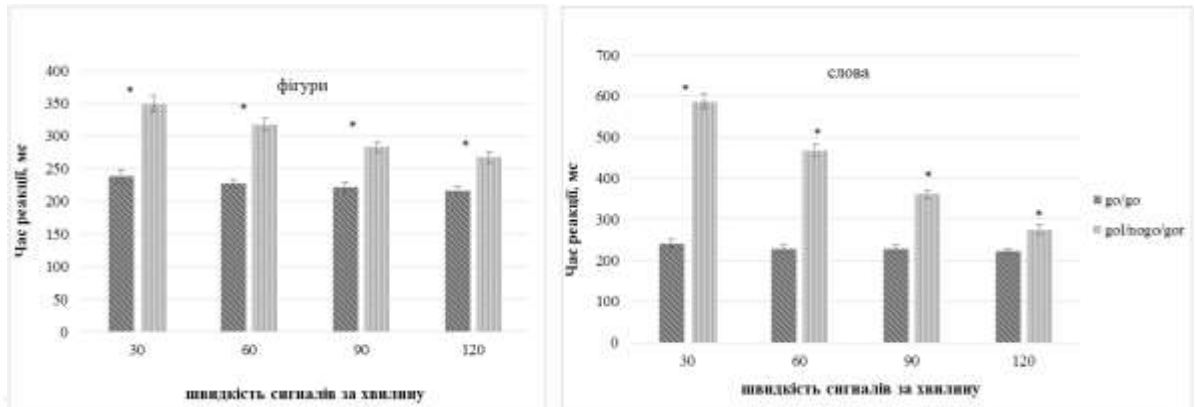


Рис. 3.21 Середні показники часу реакції за умови переробки інформації різної складності та модальності у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тесті з різною швидкістю пред'явлення сигналів

Результати часу рухових реакцій у моторному (go/go) та когнітивному завданні (goL/nogo/goR) під час переробки інформації з поступовим зростанням швидкості пред'явлення образних та вербальних сигналів засвідчив зменшення часу сенсомоторного реагування.

Таким чином, переробка образних та вербальних сигналів мала загальну закономірність - залежність кількості помилок та часу рухових реакцій від фактору швидкості пред'явлення інформації та складності завдання. Фактор швидкості впливає на успішність виконання простого моторного (go/go) і складного когнітивного (goL/nogo/goR) завдання реакції. З підвищенням швидкості пред'явлення образної та вербальної інформації для моторного і когнітивного завдання кількість помилок поступово зростає, а час реакції зменшується. Малу кількість помилок, та низькі значення часу рухової реакції у моторному (go/go) та когнітивному завданні (goL/nogo/goR) обстежувани демонстрували на швидкості пред'явлення інформації 30 сигналів за хвилину. А велику кількість помилок і найменший час рухової реакції був встановлений на

швидкості 120 подразників за хвилину. У всіх обстежуваних при переробці інформації у вигляді словесних сигналів швидкість моторної реакції go/go була статистично значуще вища, а час реакції менший, ніж у моделі диференціювання та переключення уваги goL/nogo/goR. Тоді як, кількість помилок при переробці інформації для вербальних сигналів у моторному завданні go/go значуще менша, ніж у моделі диференціювання та переключення уваги goL/nogo/goR.

Чи узгоджується таке узагальнення про зв'язок кількісних і якісних характеристик переробки інформації з результатами нейронної активності КГМ мозку за умови дії на організм інформаційних навантажень [1]. Поки що це питання залишається відкритим.

Дослідження були спрямовані на пошуки зв'язку кількісних і якісних характеристик переробки інформації зі спектральними патернами основних частот ЕЕГ у підлітків, а також пошуку зв'язків показників часу рухових реакцій та кількості помилок під час переробки інформації різної модальності та складності зі спектральними характеристиками основних потенціалів ЕЕГ.

На початку ми проаналізували вихідний рівень потужності основних компонентів ЕЕГ головного мозку – α -, β -, θ - та Δ -ритмів у обстежуваних. З результатів, які представлені у табл. 1 і 2 та на рис. 1 і 2 видно, що абсолютні значення потужності α -, β -, θ - та Δ -ритмів в умовах спокою знаходяться у межах відповідних до віку обстежуваних [80; 94]. Спостерігається достовірне зниження потужності α -ритму у більшості відведень ЕЕГ та β -ритму у ділянці P_3 , P_4 і Q_1 внаслідок депресії під час відкривання очей ($p < 0,05$). Зміни потужності θ - та Δ -ритмів були виражені значно менше. Імовірно, це вказує на «непричетність» повільних ЕЕГ-хвиль до процесів налаштування на переробку різноманітної інформації. Отже, готовність до діяльності і сама діяльність супроводжується зниженням потужності в різних частотних діапазонах і, особливо, α -активності і підвищенням β -діапазонів ЕЕГ, що необхідно для отримання зорової інформації ззовні [42; 52].

Зміна спектральної потужності (μV^2) α – ритму ЕЕГ (медіана і квартилі 25-75%) головного мозку при виконанні образного та вербального моторного (go/go) і когнітивного завдання (goL/nogo/goR), n=19

Тест/ Відведення	Стан спокою		Фігури		Слова	
	Закриті очі	Відкриті очі	(go/go)	(goL/nogo/goR)	(go/go)	(goL/nogo/goR)
Fp ₁	26,2 [11,6; 40,6]	13,4 [9,1; 20,1]	10,4 [7,6; 19,5]	10,1 [8,5; 23,2]	10,4 [7,6; 19,5]	11,2 [10; 24,3]
Fp ₂	24,5 [13,2; 39,3]	12,2 [9,2; 19,3]	11,2 [7,1; 19,4]	11,2 [7,7; 22]	11,2 [7,1; 19,4]	11,3 [8,1; 25,3]
F ₃	22,4 [13,3; 35]	8,7* [6,5; 13,4]	8,2 [6,4; 9,7]	8,3 [6,1; 11,1]	8,2 [6,4; 9,7]	9,6 [6,9; 16]
F ₄	22,2 [13,6; 33,4]	8,7* [7,4; 13]	9,8 [7,6; 11,6]	10,0 [8,8; 13,3]	9,8 [7,6; 11,6]	11,0 [10,6; 15,6]
T ₃	13,2 [8,3; 20,8]	8,3* [5; 11,6]	6,5* [4,3; 12,3]	7,4 [5,2; 12,1]	6,5* [4,3; 12,3]	8,4 [6,3; 10,5]
T ₄	14,1 [10,2; 21,2]	8,5* [5,7; 12,1]	6,7* [5,7; 7,6]	8,2 [5,3; 11]	6,7* [5,7; 7,6]	8,2 [6,9; 12,1]
C ₃	31,7 [22,5; 42,1]	10,4* [6,6; 23,2]	10,0 [6,4; 12,7]	10,2 [6,4; 12]	10,0 [6,4; 12,7]	11,8 [7; 15,1]
C ₄	35,2 [25; 52,2]	17,0* [9,5; 24,4]	10,9* [7,2; 13,3]	11,4* [7,7; 13,2]	10,9* [7,2; 13,3]	13,0* [7,7; 14,3]
P ₃	58,4 [26,4; 160,2]	8,8* [6,6; 32]	11,2 [7; 23]	12,6* [9,1; 26,6]	11,2 [7; 23]	14,8* [10,2; 21,8]
P ₄	68,3 [29; 199,4]	12,0* [7,1; 38,3]	12,2 [7,7; 25]	16,3* [8,2; 29]	12,2 [7,7; 25]	17,5* [9,5; 29,2]
Q ₁	17,7 [9,8; 38]	6,8* [2,9; 9,6]	5,1 [2,2; 6,7]	6,1 [4,2; 9,1]	5,1 [2,2; 6,7]	6,7 [5,5; 10,5]
Q ₂	18,0 [9; 39,7]	6,0* [3,5; 9,8]	4,7 [2,7; 7]	7,3 [6; 11,1]	4,7 [2,7; 7]	7,9 [7,1; 10,3]

Примітки: *- значущі зміни ($p < 0,05$) показника по відношенню до фонових значень у фоні з відкритими очима

Достовірність різниць розраховувалася за критерієм Уїлкоксона

Під час виконання завдань різної складності (go/go чи у моделі диференціювання і переключення уваги - goL/nogo/goR) та модальності (фігури або слова) спостерігали зміни спектральної потужності для α - та β -ритмів, а також виявили особливості їх зонального розподілу. Слід відмітити достовірне зниження спектральної потужності α -ритму під час виконання інформаційних завдань у порівнянні з фоновими значенням. Спільним для усіх моторних (go/go) та когнітивних (goL/nogo/goR) тестів було підвищення потужності α -ритму ЕЕГ

для діапазонів C_4 і P_{3-4} обох півкуль кори у порівнянні з значеннями з відкритими очима ($p < 0,05$).

У таблиці 3.14 та рис. 3.20, 3.21 представлені результати α -активності для 10 симетричних відведень ЕЕГ під час виконання 4 – тестів: моторних (go/go) та когнітивних (goL/nogo/goR) завдань для образних і вербальних сигналів та в умовах спокою закриті та відкриті очі. В α -діапазоні спостерігали значиме зниження активності у правій центральній і обох тім'яних зонах (C_4 і P_{3-4}). Основна роль ритму в α -діапазоні – блокування нерелевантної інформації, яка здійснюється шляхом підвищення α -активності в зонах мозку, які відповідають за сприйняття і обробку інформації [145; 148; 157; 177]. В інших ділянках КГМ аналіз зміни α -активності у зональному розподілі суттєвих відмінностей не виявив ($p > 0,05$).

На рис. 3.22 наведені середні значення зміни α -активності ЕЕГ. Графіки побудовані на основі статистичної комп'ютерної обробки і підтверджують різниці ЕЕГ.

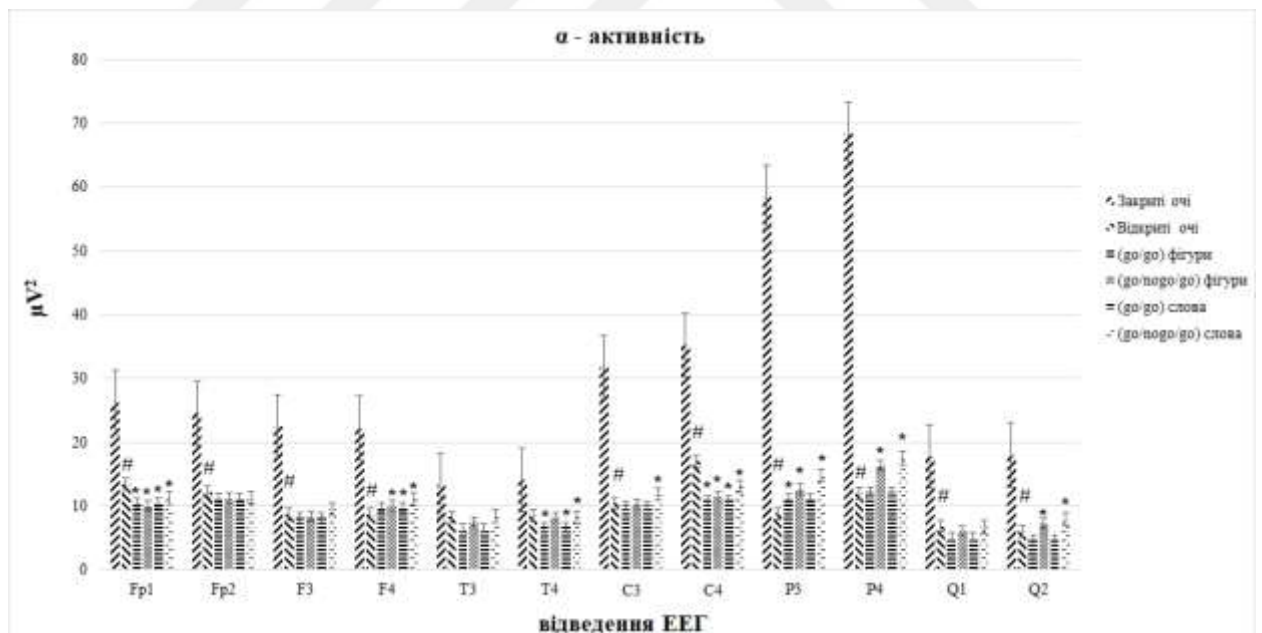


Рис. 3.22 Зміна спектральної потужності (μV^2) α -ритму ЕЕГ головного мозку при виконанні образного та вербального моторного (go/go) і когнітивного завдання (goL/nogo/goR)

Примітка: по осі абсцис – відведення ЕЕГ, по ординаті – потужність, μV^2 ; # - значущі зміни ($p < 0,05$) показника по відношенню до фонових значень у фоні із закритими очима * - із відкритими очима

Дослідженнями встановлено, що рівень функціонування мозку під час виконання когнітивних завдань знаходить своє відображення в β -активності ЕЕГ [42; 76; 177; 214]. Одночасно зі змінами альфа частоти для активної обробки інформації [44] та досягнення оптимального рівня уваги необхідне підвищення потужності бета-ритму, яке було представлене більш широко по скальпу. У наших дослідженнях встановлено, що при виконанні моторних та когнітивних завдань на образні та вербальні подразники більше змінювалась потужність β -діапазонів ЕЕГ. Для спектральної потужності β -ритмів виявлена більш виражена її динаміка. У наших дослідженнях встановлено, що при виконанні моторних та когнітивних завдань на образні та вербальні подразники більше змінювалась потужність β -діапазонів ЕЕГ. Для спектральної потужності β -ритмів виявлена більш виражена її динаміка. У більшості випадків вона зростала з підвищенням складності завдання, як для вербальних, так і образних сигналів, особливо, у моделі goL/nogo/goR (табл. 3.15 рис. 3.23).

Таблиця 3.15

Зміна спектральної потужності (μV^2) β – ритму ЕЕГ (медіана і квартилі 25-75%) головного мозку при виконанні образного та вербального моторного (go/go) і когнітивного завдання (goL/nogo/goR), n=19

Тест/ Відведення	Стан спокою		Фігури		Слова	
	Закриті очі	Відкриті очі	(go/go)	(goL/nogo/goR)	(go/go)	(goL/nogo/goR)
Fp ₁	12,1 [8,2; 19]	10,3 [9,1; 15]	14 [11,3; 16,7]	17 [13,1; 17,7]	14 [11,3; 16,7]	17,2 [11,9; 19,2]
Fp ₂	12 [9,1; 15,1]	10 [8,5; 14]	13,4 [9,4; 16]	15,7 [15; 19]	13,4 [9,4; 16]	15,6 [13; 16,5]
F ₃	12,5 [10,5; 15,1]	11,6 [9,4; 4,1]	13,8 [9,8; 17,4]	14,8* [10,1; 22,4]	13,8 [9,8; 17,4]	16,0* [10,4; 21]
F ₄	12,9 [9,6; 13,7]	11,5 [9,1; 15,1]	12,6 [9,4; 18,1]	17,1* [11,4; 38,6]	12,6 [9,4; 18,1]	17,8* [11,3; 23,6]
T ₃	10,6 [8,3; 24]	14,6* [8; 45,7]	24,6* [9,6; 62]	30,5* [11,7; 62,7]	24,6* [9,6; 62]	29,0* [17; 65,1]
T ₄	10,9 [6,8; 18]	12,1 [8,3; 17,8]	16,9* [9,9; 44,4]	22,6* [14,3; 52,4]	16,9* [9,9; 44,4]	24,7* [15,4; 60,3]
C ₃	13,8 [10,4; 14,8]	10,2 [9; 13,6]	10,0 [9,1; 12,2]	12,2 [10,7; 15,7]	10,0 [9,1; 12,2]	12,3 [10,6; 18,4]
C ₄	14,1 [11,4; 14,7]	10,6 [9,5; 13]	11,3 [9,6; 14,6]	14,1* [10,4; 19,2]	11,3 [9,6; 14,6]	16,5* [11,4; 17,4]

Тест/ Відведення	Стан спокою		Фігури		Слова	
	Закриті очі	Відкриті очі	(go/go)	(goL/nogo/goR)	(go/go)	(goL/nogo/goR)
P ₃	19,9 [12,3; 26,2]	12,4* [11,3; 19,6]	18,1* [13,1; 24,7]	25,2* [15,2; 29,1]	18,1* [13,1; 24,7]	26,1* [18; 39,8]
P ₄	22,3 [16,9; 26,8]	13,5* [9; 17,8]	13,7 [10,7; 26,3]	20,6* [15; 28,5]	13,7 [10,7; 26,3]	22,9* [17,1; 27,3]
Q ₁	11,6 [7,7; 16,1]	5,4* [3,4; 13,4]	7,0 [5,1; 12,5]	11,9* [10,1; 15,6]	7,0 [5,1; 12,5]	12,2* [5,9; 21]
Q ₂	9,9 [7,6; 14]	8,9 [4,7; 11,2]	8,0 [6,6; 12,5]	11,7 [9,1; 19]	8,0 [6,6; 12,5]	12,8* [9,7; 19,1]

Примітки: *- значущі зміни ($p < 0,05$) показника по відношенню до фонових значень у фоні з відкритими очима

Достовірність різниць розраховувалася за критерієм Уїлкоксона

Найбільша потужність β -хвиль ЕЕГ була у когнітивному тесті goL/nogo/goR на слова, а найменша у моторному тесті go/go на образні сигнали та у фоні. В подальшому з ускладненням тестів для переробки інформації спектральна потужність β -хвиль ЕЕГ головного мозку при виконанні образного та вербального моторного (go/go) та когнітивного завдання (goL/nogo/goR) поступово зростала. Чим складніше тестове завдання для переробки інформації, тим більш значуще підвищення спектральної потужності β -хвиль ЕЕГ.

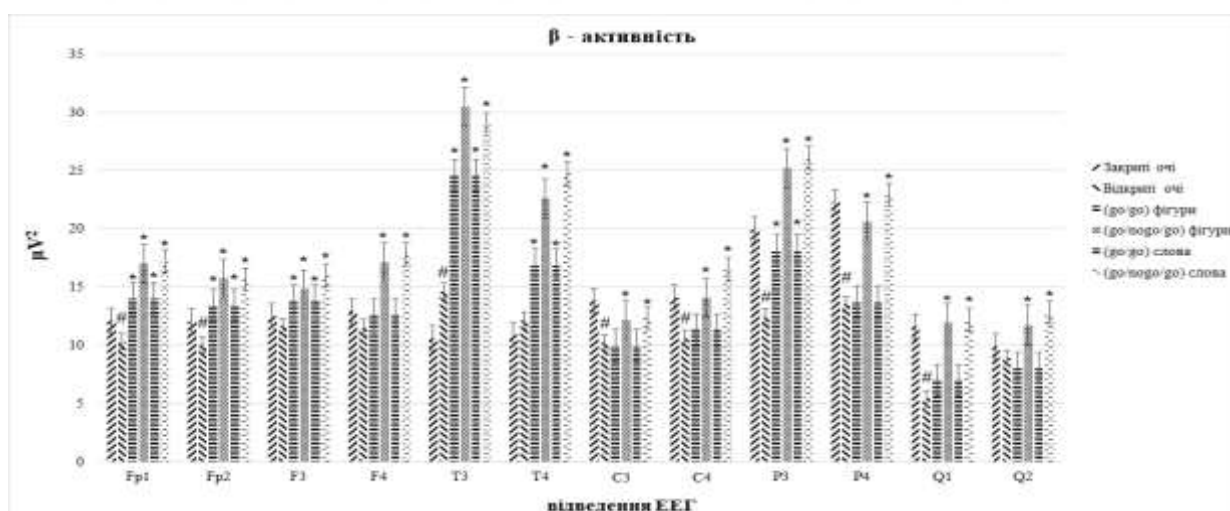


Рис. 3.23 Зміна спектральної потужності (μV^2) β -ритму ЕЕГ головного мозку при виконанні образного і вербального моторного (go/go) та когнітивного завдання (goL/nogo/goR)

Примітка: по осі абсцис – відведення ЕЕГ, по ординаті – потужність, μV^2 ; # - значущі зміни ($p < 0,05$) показника по відношенню до фонових значень у фоні із закритими очима * - із відкритими очима.

Як видно з рис. 3.23 найбільш істотні зміни спостерігалися за показником потужності β -ритму. Аналіз змін спектральної потужності β -ритму показав, що під час переробки сигналів у досліджуваних мало місце достовірне його підвищення ($p < 0,05$) у скроневих та тім'яних зонах кори головного мозку (T_3, T_4 і P_3, P_4). Дана тенденція спостерігалась під час виконання всіх 6-и тестів. Зареєстровані високі значення потужності β -ритму свідчить про більший об'єм нейрональних ансамблів, задіяних у виконання завдання [56]. Слід відмітити, що найбільші показники потужності β -ритму були зареєстровані під час виконання досліджуваними роботи з переробки сигналів в режимі диференціювання (goL/nogo/goR) образних та вербальних сигналів, що свідчить про високу ступінь активації нейронів кори головного мозку та високу складність цього завдання.

Для виконання когнітивних тестів у режимі goL/nogo/goR була характерна висока потужність α - і β -хвиль ЕЕГ. При виконанні когнітивного тесту на вербальні подразники вища, ніж на вербальні сигнали у тесті go/go, а остання, у свою чергу, вища ніж за умови виконання завдання у моторному тесті go/go. Так, мали ситуацію, коли β – ритм ЕЕГ вірогідно підвищився F_4 , C_4 , та P_4 у правій півкулі під час виконання когнітивного завдання (goL/nogo/goR) для образних і вербальних сигналів, та у діапазоні $T_{3,4}$ та P_3 для всіх моторних і когнітивних тестів.

За умови порівняння активності головного мозку підлітків в стані спокою з відкритими очами і виконання тесту по переробці інформації в режимі goL/nogo/goR виявлено значиме підвищення β -активності в лівій та правій скроневій долі ($T_{3,4}$) і тім'яній зонах ($P_{3,4}$), що свідчить про формування нейромережі з обробки когнітивної вербальної інформації. Значиме підвищення активності в θ -діапазоні також спостерігалось в правих фронтальній, центральній, передньоскроневій, скроневій і задньоскроневій областях (F_4 , C_4 , F_8 , T_4 и T_6). Активність в θ -діапазоні зв'язують з процесами уваги і оцінки правильності реакції, з успішним кодуванням інформації, оцінкою помилкових дій і корекції реакції на основі зворотного зв'язку [145; 188; 221]. Таке припущення ґрунтується на результатах експериментів, в котрих зростання

потужності θ -ритму в передніх областях кори головного мозку пов'язують з посиленням орієнтувальної реакції [66], кодуванням в пам'яті нової інформації для її наступного відтворення [145], а також з концентрацією уваги [193].

Під час роботи по переробці інформації для всіх обстежуваних, у більшості відведень зріс коефіцієнт активації по відношенню до фонових значень (табл. 3.16 і рис. 3.24).

Таблиця 3.16

Зміна коефіцієнту активації (β/α) ЕЕГ головного мозку при виконанні образного і вербального моторного (go/go) та когнітивного завдання (goL/nogo/goR), n=19

Тест, відведення	Стан спокою		Фігури		Слова	
	Закриті очі	Відкриті очі	(go/go)	(goL/nogo/goR)	(go/go)	(goL/nogo/goR)
Fp ₁	0,5	0,8	1,3	1,7	1,3	1,5
Fp ₂	0,5	0,8	1,2	1,4	1,2	1,4
F ₃	0,6	1,3	1,7	1,8	1,7	1,7
F ₄	0,6	1,3	1,3	1,7	1,3	1,6
T ₃	0,8	1,8	3,8	4,1	3,8	3,5
T ₄	0,8	1,4	2,5	2,8	2,5	3,0
C ₃	0,4	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0
C ₄	0,4	0,6	1,0	1,2	1,0	1,3
P ₃	0,3	1,4	1,6	2,0	1,6	1,8
P ₄	0,3	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3
Q ₁	0,7	0,8	1,4	2,0	1,4	1,8
Q ₂	0,6	1,5	1,7	1,6	1,7	1,6

Примітки: *- значущі зміни ($p < 0,05$) показника по відношенню до фонових значень у фоні з відкритими очима

Достовірність різниць розраховувалася за критерієм Уїлкоксона

З табл. 3.16 видно, що у обстежуваних спостерігали вірогідне підвищення КА при виконанні роботи по переробці інформації у порівнянні з фоновими значеннями ($p < 0,05$). КА у всіх діапазонах та запропонованих тестах зростав по відношенню до фонових значень. Причому, чим складніше було завдання тим мали більші зміни коефіцієнту активації (рис. 3.24).

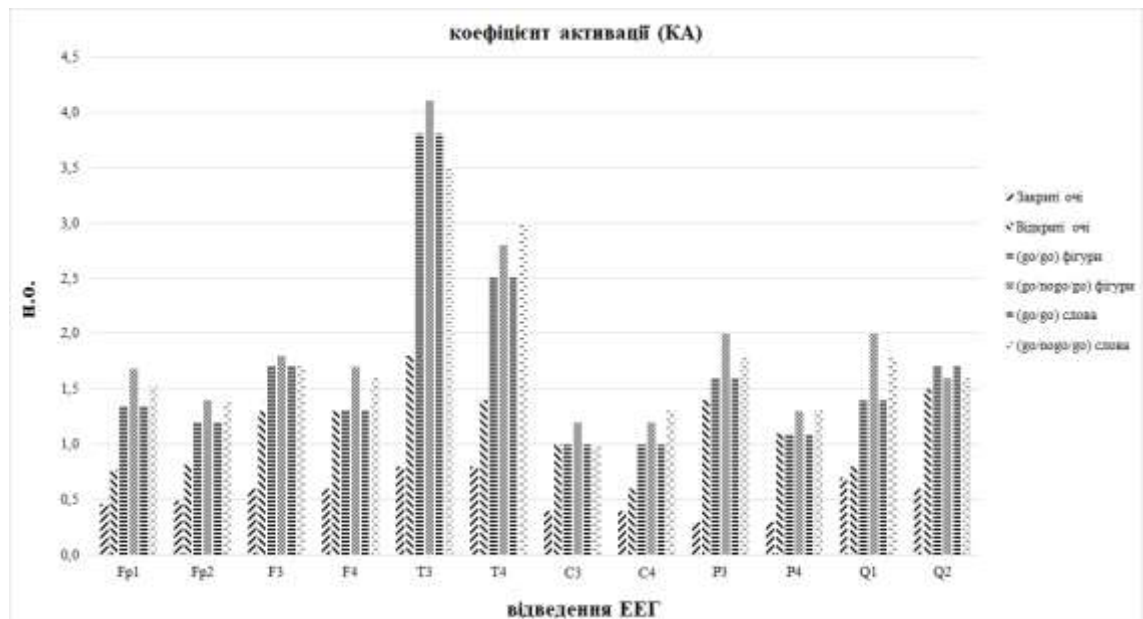


Рис. 3.24 Зміна коефіцієнту активації (β/α -ритму ЕЕГ, mV^2) головного мозку при виконанні образного та вербального моторного (go/go) і когнітивного завдання (goL/nogo/goR).

Найнижчі значення КА виявлені за умови виконання моторного завдання go/go з образною інформацією. Високих значень КА досягав у когнітивному завданні (goL/nogo/goR) з вербальними сигналами. Під час виконання роботи по переробці інформації різної складності та модальності значущі зміни спостерігались у всіх відведеннях, але у діапазоні C_3, C_4 вони були менш значними ($p < 0,05$). Тоді яку відведенні $T_{3,4}$ – найбільші ($p < 0,05$). Проміжні значення займали показники КА ЕЕГ при переробці інформації різної модальності та складності у діапазоні частот F_3, F_4, P_4, P_3, Q_1 та Q_2 (рис. 3.24).

У відповідності до отриманих результатів зміна потужності α , β та θ -ритмів свідчить на користь того, що більш складне інформаційне завдання характеризувалось високою потужністю α , β та θ -ритмів за умови переробки інформації різної модальності. Виявили, що робота по переробці інформації в режимі go/go для обстежуваних сприймалась як менш стресогенний фактор, ніж для складного завдання у режимі goL/nogo/goR, що відбивалося у відмінностях потужностей α -, β - та θ -ритмів та КА.

Можна узагальнити, що зміна характеристик спектральної потужності α і β -ритму та значень КА кори головного мозку під час переробки різномодальної

інформації свідчить на користь того, що мозок забезпечує більшу толерантність до інформаційних навантажень різної модальності та складності. Виконання цілеспрямованої психомоторної діяльності з диференціювання позитивних та гальмівних образних і вербальних сигналів в режимі goL/nogo/goR потребує високого рівня активації нейронних ансамблів кори головного мозку, що проявляється у підвищенні спектральної потужності β і θ -ритмів та ефектом десинхронізації для α -активності, зниження потужності α -ритму у порівнянні з фоновим значенням.

3.3.2. Просторово-часова організація ЕЕГ мозку за показниками кореляції під час переробки образної та вербальної інформації. Поряд з локальними характеристиками ЕЕГ важливим нейрофізіологічним корелятом переробки інформації у моторному та когнітивному завданні є показники просторово-часової організації ЕЕГ [54]. Одним з методів оцінки просторово-часової координації мозкових процесів є оцінка статистичного зв'язку електричних коливань різних відділів мозку. Ми оцінювали рівень парної кореляції ЕЕГ всіх досліджуваних ділянок кори. У табл. 3.16 наведені результати зміни КК ЕЕГ під час переробки інформації різної модальності та складності у порівнянні з фовою ЕЕГ.

Кількісні характеристики парних коефіцієнтів кореляції для різних діапазонів ЕЕГ головного мозку вказують на поступове посилення взаємодії сенсорної, центральної та моторної складової інформації для простих моторних і складних когнітивних завдань від образних і до вербальних сигналів. Найвища ступінь просторово-часової взаємодії ЕЕГ головного мозку спостерігається під час переробки когнітивної, вербальної інформації у парадигмі goL/nogo/goR (табл. 3.17).

Особливості просторово-часової організації ЕЕГ мозку за показниками сумарної кореляції під час переробки образної та вербальної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тестах, n=19

Тест/ відведення	Стан спокою		Фігури		Слова	
	Закриті очі	Відкриті очі	(go/go)	(goL/nogo/goR)	(go/go)	(goL/nogo/goR)
Fp1	32	41	25	44	25	59
Fp2	24	47	22	32	22	57
F3	36	53	32	42	32	63
F4	29	36	21	36	21	32
F7	22	37	37	43	37	64
F8	23	37	38	41	38	52
T3	32	12	28	31	28	21
T4	39	25	34	34	34	35
C3	28	53	47	40	47	63
C4	22	43	37	35	37	35
T5	52	44	34	53	34	55
T6	31	33	21	27	21	33
P3	41	38	51	41	51	43
P4	50	58	59	39	59	49
O1	22	21	36	37	36	29
O2	28	26	32	21	32	15
Σ	511	604	554	596	554	705

Наведені результати у табл. 3.17 демонструють кількісну характеристику статистично значущих просторово-часових взаємодій різних діапазонів ЕЕГ-активності у залежності від складності та модальності сигналів, що пред'являються для переробки інформації. Доведено, що найбільша кількість статистично значущих просторово-часових взаємодій різних діапазонів ЕЕГ-активності була виявлена під час виконання завдання з переробки вербальної інформації у режимі goL/nogo/goR. Менша кількість просторово-часових зв'язків була встановлена у завданні з образними сигналами, які пред'являлись у режимі goL/nogo/goR. І, значно нижчу кількість статистично значущих взаємодій було виявлено для простих моторних завдань у режимі go/go з переробки образної і вербальної інформації (рис. 3.25)

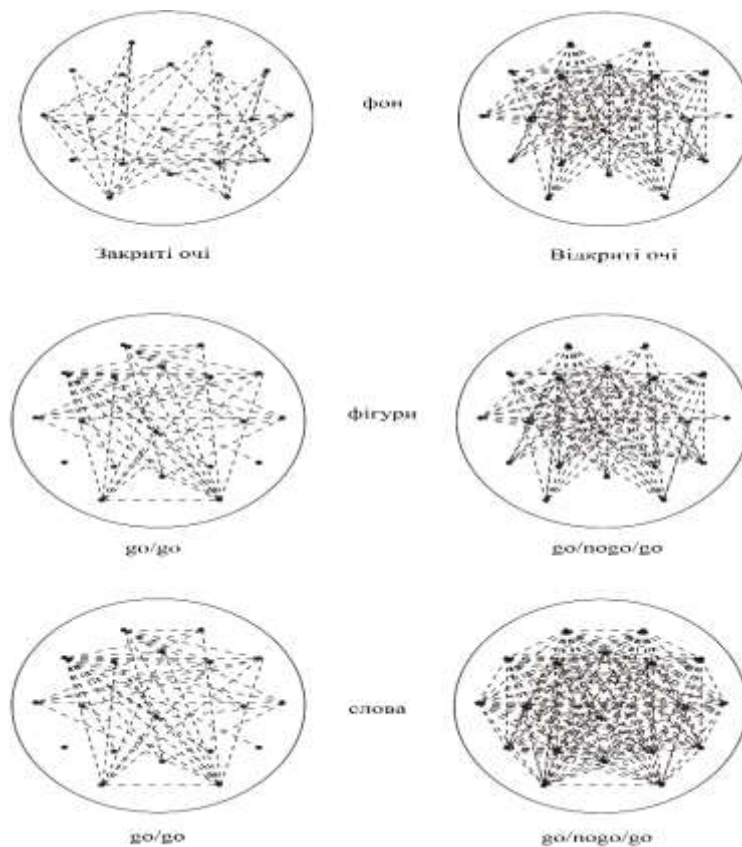


Рис. 3.25 Просторово-часова організація ЕЕГ мозку за показниками сумарної кореляції під час переробки образної та вербальної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (goL/nogo/goR) тестах

Звертає на себе увагу той факт, що виявлена відносно не велика кількість пар відведень для яких спостерігається статистично вірогідні зміни КК. У тесті goL/nogo/goR. Цей факт може викликати подив, оскільки локальні зміни ЕЕГ при когнітивній діяльності чітко виражені і визначаються не тільки статистичною обробкою, а і візуально. У той же час визнано вважати, що просторово-часові параметри ЕЕГ є більш точним індикатором функціонального стану мозку. Одним з пояснень такого парадоксу може бути значна варіабельність індивідуальних різниць на навантаження у співставленні з неоднорідністю нейрофізіологічних механізмів, які лежать в основі просторової синхронізації біоелектричних процесів кори мозку [230]. В попередніх наших дослідженнях [191; 192] було показано, що переробка інформації супроводжується одночасним підвищенням рівня амплітуди в різних відділах кори мозку і спалахів

когерентності коливань ЕЕГ переважно θ діапазону. За відсутності таких патернів когерентності ЕЕГ знижена переважно в α -діапазоні. Різна представленість вищенаведених патернів ЕЕГ за умови переробки інформації у різних обстежуваних може привести до того, що при усередненні протилежні тенденції у зміні рівня кореляції можуть бути нівельовані один одним і статистична значущість різниць може бути недостатньою.

Краще і виразніше зміни синхронності кіркових процесів виявляються за умови співставлення ЕЕГ під час виконання тестів у порівнянні з фоном. Проявляються вони у збільшенні КК ЕЕГ у парах дистанційно віддалених відведень: лобними і потиличними, лобними задньо-скроневи́ми, передньо-скроневи́ми і задньо-скроневи́ми. Схожі зміни рівня когерентності в різних діапазонах ЕЕГ при запам'ятовуванні і згадуванні вербального матеріалу у порівнянні з фоном отримані у роботі [13; 25; 123]. Автори вважають, що такі зміни носять не специфічний характер і можуть проявлятися і за умови інших видів когнітивної діяльності. Підтвердженням такого передбачення можуть бути загальні зміни КК ЕЕГ за умови виконання різних інформаційних тестів у порівнянні з фоном. Підвищення КК на ЕЕГ передньо-скроневи́х і потиличних відділах спостерігається у всіх тестах, а підвищення КК ЕЕГ лобних і потиличних відведеннях відмічається у всіх тестах за виключенням переробки інформації в режимі go/go на фігури.

Важливо відмітити, що схожі зміни КК спостерігаються не тільки за умови співставлення тесту і фону, а і під час співставлення фону і 10-секундного відрізка відпочинку з закритими очима. У цей період вже не діє зорова стимуляція тому зміни які ми спостерігали можуть бути наслідком або слідової активації, або більш високого рівня активації мозку на весь період виконання дослідження.

При виконанні тестів з образними сигналами збільшення КК ЕЕГ у порівнянні з фоном проявляється у значно меншій кількості пар відведень. Це пари, як і в попередній серії з участю дистантних відведень – лобних і потиличних. Крім того, посилюється рівень просторової та часової інтеграції

різних ділянок мозку та частотного діапазону під час виконання когнітивних завдань як для образних так і вербальних сигналів у режимі їх пред'явлення goL/nogo/goR у порівнянні з завданнями go/go.

Переробка інформації різної модальності та складності супроводжується синхронізацією нейронної активності в α -діапазоні у фронтальній та префронтальній зонах кори мозку, що вказує на залучення внутрішньої уваги під час виконання завдань [51; 94; 190]. Результати виконання завдання з переробки образної інформації пов'язані з утворенням функціональних зв'язків у префронтальних ділянках у межах гемісфер. Не тільки з внутрішньопівкульними, але й з міжпівкульними когеренціями, а вербальних завдань – з синхронністю тільки у правій півкулі. Звертає на себе увагу наявність функціональних зв'язків в α -діапазоні у задніх відділах кори при переробці інформації з образними сигналами. У обстежуваних при переробці образної і вербальної інформації у завданні go/go зареєстровані довгі внутрішньопівкульові синхронізації між передніми й задніми відділами лівої півкулі та між півкульові у симетричних відведеннях у передніх відділах кори.

Сформовані при переробці образної інформації правопівкульові фронтальні патерни когерентності в β -діапазоні ЕЕГ можна розглядати як показник симультанного способу когнітивного процесу. При переробці вербальної інформації у режимі go/go у міжпівкульних передніх відділах кори й у центрально-парієтально-темпоральних локусах півкуль й у міжпівкульних центрально-парієтально-темпоральних відведеннях. При переробці вербальної інформації у режимі goL/nogo/goR виявились хаотичні й різноспрямовані синхронізації з нижньолобним фокусом у правій півкулі.

У обстежуваних осіб в β -діапазоні ЕЕГ особливості синхронізації виражались у: внутрішньопівкульних коротких зв'язках у задніх відділах лівої півкулі при переробці образної та вербальної інформації у режимі go/go та довгих міжпівкульних міжсиметричних, центрально-парієтально-темпоральних у лівій півкулі й міжпівкульних центрально-парієтально-темпоральних когеренціях при переробці образної інформації у режимі goL/nogo/goR. Та мозаїчних «вогнищах»

синхронізації при переробці вербальної інформації у режимі goL/nogo/goR. Подібний характер організації нейронних ансамблів з дифузно представленою синхронізацією в бета-діапазоні спостерігала Розумнікова О.М. [84] вважає його як ознаку «диференційної уваги». Найбільш значущі зв'язки при вербальній обробці інформації у завданні goL/nogo/goR стосуються задніх ділянок лівої півкулі, що свідчить про використання обстежуваними аналітичних стратегій [112].

В θ -діапазоні ЕЕГ, як і в інших діапазонах, у більшості досліджених при різних завданнях з переробки інформації спостерігали короткі міжпівкульні синхронізації між симетричними відведеннями до яких додавались довгі. При переробці образної інформації встановлена незначна кількість міжпівкульних когерентностей у потиличних ділянках, що вказує на внутрішню концентрацію уваги під час обробки сигналів у вигляді фігур [12; 45]. При переробці вербальної інформації синхронізація в дельта-діапазоні охоплювала значно більші ділянки: у передніх відділах правої та задніх відділах лівої півкулі, між передніми й задніми відділами правої півкулі, міжпівкульні у задніх відділах кори, а також і різноспрямовані. Але найбільша інтеграція коркових зон у дельта-діапазоні спостерігалась при переробці вербальної інформації у завданні goL/nogo/goR – по всій корі головного мозку. Загальне зростання дельта синхронізації при переробці вербальної інформації у завданні goL/nogo/goR можна пояснити гальмівними процесами активної уваги на стимули nogo, завдяки чому і відбувається інтеграція окремих елементів при успішному виконанні завдань [12; 45].

Необхідність виконання завдання з переробки образної і вербальної інформації у парадигмі go/go та goL/nogo/goR на образні подразники вимагають підвищення функціональної активності нейронів. А виконання вербального тесту goL/nogo/goR і зв'язана з ним загроза енергодефіциту вимагає його зниження. Оптимальне вирішення цього протиріччя відображається у особливостях ЕЕГ за умови виконання когнітивних завдань з образними сигналами у тесті goL/nogo/goR у порівнянні з вербальними завданнями.

Таким чином, наші результати досліджень показали, що для обстежуваних реакція диференціювання у парадигмі goL/nogo/goR – складний когнітивний і зорово-моторний процес, який вимагає відповідної активації ЕЕГ і інтеграції зацікавлених різних відділів кори мозку у порівнянні з простими моторними задачами. Доведено, що переробка інформації у когнітивній парадигмі goL/nogo/goR характеризується швидким сприйняттям сигналу, диференціюванням моторної та когнітивної складової, визначенням модальності сигналу форми фігури, або значення слів. Далі здійснюється аналіз, прийняття рішення і термінова адресна відповідь у короткий проміжок часу, високий рівень концентрації та переключення уваги з урахуванням модальності і виду подразника, вибірково складати програму і реагувати лівою чи правою рукою, а також гальмувати реакцію, що проявляється у зміні спектральної потужності основних ритмів ЕЕГ та посилення просторово-часової інтеграції різних ділянок мозку і частотних діапазонів.

РОЗДІЛ 4**АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ
ВЗАЄМОДІЇ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТА АВТОНОМНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМ
ЗА УМОВИ ПЕРЕРОБКИ РІЗНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

У дисертаційній роботі ставили завдання з'ясувати особливості функціональної взаємодії ЦНС та АНС під час переробки інформації різної модальності та складності. Виходили з того, що за останні роки підвищився вплив на людину різного роду інформаційних навантажень під час навчальної, трудової та соціальної активності [36]. Ось чому дослідження, які присвячені особливостям функціонування, сенсорних, моторних, когнітивних і вегетативних систем в умовах складних інформаційних завдань є досить актуальним питанням фізіології [85; 150; 185]. Взаємодія ЦНС та АНС за умови виконання завдань різної складності та модальності вивчені недостатньо. На сьогодні відсутні комплексні дослідження щодо особливостей швидкості переробки інформації різної складності та модальності і впливу такої діяльності на сенсорні, моторні, когнітивні функції людини, а також нейродинамічні, нейрофізіологічні та вегетативні властивості. Ще більш складною проблемою виявились особливості міжсистемної взаємодії ЦНС та АНС, які виникають при здійсненні переробки інформації різної модальності та складності. Висловили припущення, що не тільки підвищення функціональних можливостей систем, що виконують роботу і тих, що її забезпечують, а також більш тісна міжсистемна взаємодія може бути психофізіологічною основою високої результативності переробки інформації. До того ж, відомо, що за певних умов головний мозок, автономна та центральна нервова системи працюють узгоджено за рахунок чого досягається більш висока ефективність виконання завдання [1; 32]. Зазначимо, що з'ясування нейрофізіологічних та автономних механізмів міжсистемної взаємодії може стати основою для розробок нових підходів у реабілітаційній медицині. Тому одним із завдань дисертаційної роботи було - з'ясувати нейродинамічні особливості переробки образної та вербальної інформації у моторному (go/go) та когнітивному (go/nogo/go) тесті за умови різної швидкості

пред'явлення подразників, а також участь у цих процесах нейрофізіологічних та вегетативних механізмів регуляції.

Комплексні психофізіологічні дослідження з використанням сучасної апаратури, методик встановили, що під час переробки інформації рівень функціонування та інтеграція ЦНС і АНС, активація механізмів регуляції серцевого ритму і спектральних характеристик ЕЕГ, а також успішність (кількість помилок), швидкість рухових реакцій знаходяться у залежності від модальності, режиму та швидкості пред'явлення сигналів. Встановили різні варіанти функціональної інтеграції та інтерференції взаємодії ЦНС та АНС, когнітивної, сенсорної і моторної систем у залежності від режиму, модальності та швидкості пред'явлення сигналів. Зростання швидкості диференціювання образних і вербальних сигналів, від 30 і до 120 за хвилину, характеризувалось поступовим підвищенням рівня функціонування ЦНС та АНС, узгодженою взаємодією ваго-сипматичних механізмів управління серцевим ритмом. Це підтверджувалось високими значеннями HR, SI, TP, IC, ЕЕГ-активності мозку, спектральної потужності β -хвиль, КА, КоГ та швидкістю рухових реакцій і незначною кількістю помилок. На рис. 1 (А і Б) представлені результати залежності кількості помилок, швидкості переробки інформації, частоти серцевих скорочень та швидкості рухових реакцій (рис. 4.1).

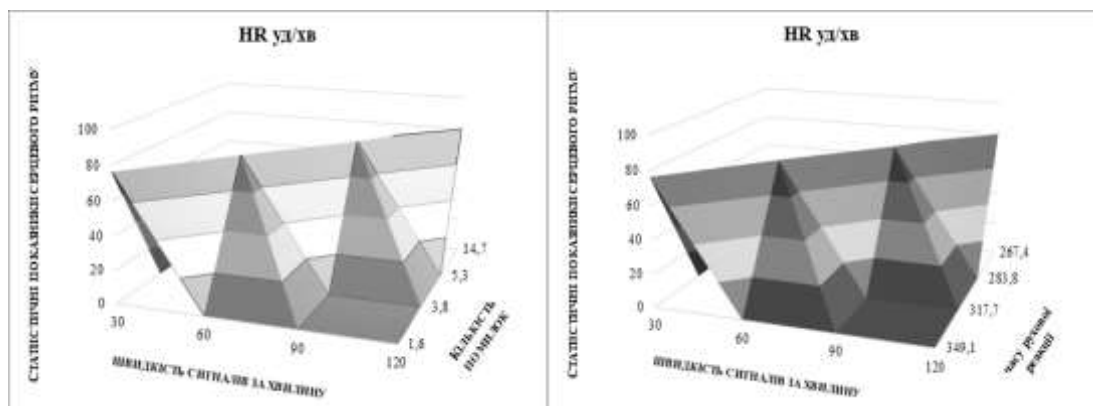


Рис. 4.1 Зв'язок кількості помилок (А), швидкості переробки інформації, частоти серцевих скорочень та часу рухових реакцій (Б)

З рис. 4.1 видно, що з підвищенням швидкості переробки інформації зростає кількість помилкових реакцій та поступово зростає частота серцевих скорочень, простежується залежність часу рухової реакції, частоти серцевих скорочень від швидкості пред'явлення інформації. З підвищенням швидкості переробки інформації зменшується час рухової реакції та зростає частота серцевих скорочень.

Отже, представлені на рис. 4.1 результати демонструють інтегративні процеси, узгодженою взаємодією центральних та автономних контурів управління серцевим ритмом, симпатичних та парасимпатичних механізмів регуляції АНС.

Інший варіант узгодженої взаємодії центральної і автономної нервової систем та механізмів регуляції під час переробки вербальної і образної інформації у режимі диференціювання go/nogo/go ми спостерігали за показником стрес-індексу (SI) (рис. 4.2).

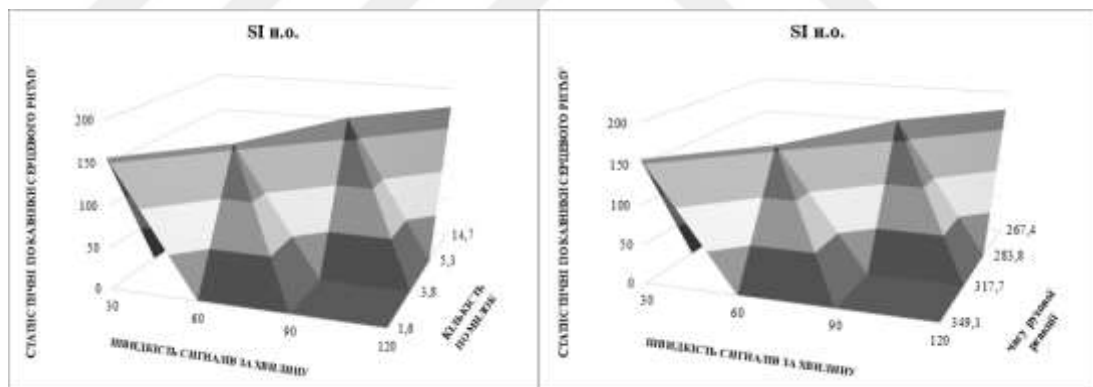


Рис. 4.2 Зв'язок кількості помилок (А), швидкості переробки інформації, часу рухових реакцій (Б) та стрес-індексу

Результати показують, що з підвищенням швидкості пред'явлення для диференціювання сигналів різної модальності поступово зростає кількість помилкових реакцій, зростає швидкість рухових реакцій та показник стрес-індексу. Це вказує на те, що поступове підвищення швидкості диференціювання вербальних сигналів у режимі go/nogo/go від 30 і до 60 за хвилину, а для образних до 90 подразників приводить до зростання рівня функціонування та активації

механізмів регуляції АНС, узгодженої взаємодії вегетативних ваго-симпатичних ланок вегетативної регуляції і посилення інтегративних процесів.

Аналогічну закономірність взаємодії центральної та автономної нервової систем ми встановили і за спектральними характеристиками серцевого ритму ТР і ІС (рис. 4.3).

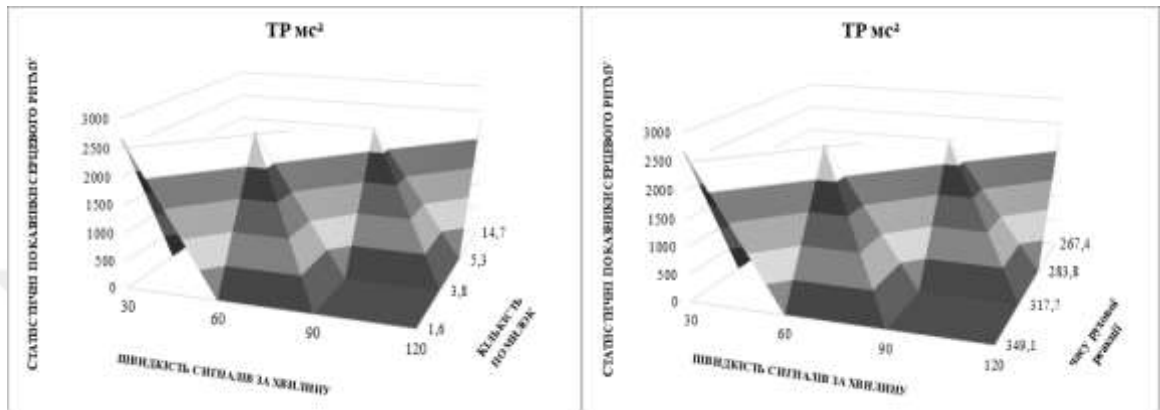


Рис. 4.3 Зв'язок кількості помилок (А), швидкості переробки інформації, часу рухових реакцій (Б) та сумарної потужності спектру

Таким чином, наведені вище результати дозволяють зробити узагальнення стосовно того, що підвищення швидкості переробки вербальної інформації з 30 і до 60 сигналів за хв., а для образних подразників до 90 за хв. у режимі диференціювання go/nogo/go поступово збільшує кількості помилок, підвищує швидкість рухових реакцій та супроводжується зростанням активації механізмів регуляції СР, а також посиленням узгодженої взаємодії центральної та автономної нервової систем та інтеграційних процесів.

Необхідно підкреслити, що обстежувані швидше і більш успішно виконували завдання з сигнальними значеннями фігур, ніж вербальних подразників. Відзначили, що швидкість виконання образного когнітивного завдання в трьохстимульній парадигмі goL/nogo/goR проходить швидше, ніж для вербальних сигналів ($p < 0,05$). Можна висловити припущення стосовно механізмів таких відмінностей. Перш за все, аналіз образних сигналів забезпечується роботою першої сигнальної системи, до складу якої входить велика кількість коркових і підкоркових структур, що характеризуються

високою надійністю [162; 199]. На відміну від цього, більш філогенетично молоді вербальні функції забезпечуються роботою другої сигнальної системи, яка більш кортикалізована у лобних ділянках, менш стабільна і має обмежений нейрофізіологічний ресурс. Крім того, для вербальних функцій характерна відносна ригідність - нездатність до швидкого перемикавання з однієї дії goL на іншу goR, або nogo, що пов'язано з низьким рівнем їх автоматизації та залученням додаткових нейронних мереж [1]. Це підтверджують і результати наших досліджень, які показали збільшення кількості помилок і варіабельності показників для тестів goL/nogo/goR, особливо, із застосуванням слів, що вказує на складність нейромереж, нестабільність функціональної системи, зменшення рівня мобілізації функціональних резервів, в тому числі уваги і пам'яті [168; 175]. Тоді як, для образних сигналів характерна більш висока гнучкість, легкість переключення уваги та їх висока автоматизація. Виявили статистично значуще зниження швидкості виконання завдань і підвищення кількості помилок в режимі goL/nogo/goR, як на фігури так і, особливо, на слова у порівнянні з виконання завдання у режимі go/go ($p < 0,05$).

Необхідно відзначити, що в тесті з застосуванням режиму goL/nogo/goR ми спостерігали зниження швидкості виконання завдання і прояв ефекту мануальної латералізації для обробки вербальної інформації в лівій півкулі [45; 63; 226;]. Результати виконання завдань для обох рук у обстежуваних з домінуванням правої руки показали, що швидкість реакції у завданні goL/nogo/goR на слова здійснюються швидше правою, ніж лівою рукою. Так, час диференціювання слів для лівої руки був в середньому на 46 мс (13%) більший, ніж для правої ($p < 0,05$). Менший час реакції для правої руки у правшів вказує на більш легке перенесення інформації з лівої півкулі у праву і відрізняється на час колозальної затримки. Це вказує на особливості реалізації механізмів міжпівкулевої інтеграції [51; 52; 94; 95; 193]. Пояснити, що права рука в порівнянні з лівою швидше виконувала завдання з вербальними сигналами можна наступним чином. Інформація, яку пред'являли, одночасно надходила в кожную півкулю, де проходив відбір і різні перетворення окремо для вербальної та образної систем оперативної пам'яті.

Оскільки ці системи мають чітку латералізацію півкулі (образні сигнали більш латералізовані до правої півкулі, а вербальні до лівої), а центральний процесор кожної півкулі бере участь в підтримці уваги і прийнятті рішення [167]. Обстежуваному необхідно було швидко аналізувати, зіставляти інформацію у пам'яті щодо її відповідності інструкції, а потім скласти програму дії і здійснювати руховий акт. У нашому дослідженні ментальний крок для лівої півкулі, в разі пред'явлення словесних сигналів (інформація з лівої півкулі передається до правої руки), виявився на 46 мс (13%) більшим, ніж для правої півкулі (інформація з правої півкулі передається до лівої руки). Ці результати свідчать на користь провідної ролі в обробці вербальних сигналів центрального процесора лівої півкулі [89].

Крім того, нейрофізіологічним механізмом, який пояснює зниження швидкості та успішності переробки інформації для когнітивного тесту у парадигмі goL/nogo/goR може бути і інтерференція. Можливо, що під час виконання кожного з компонентів моторного і когнітивного завдання мала місце різниця у часі збудження різних ділянок мозку. Саме, таке просторово-часове рознесення мозкової активності при виконанні подвійних завдань описано раніше [30; 245]. Разом з тим, наші результати свідчать на користь того, що в осіб з домінантою правої руки при переробці когнітивної інформації у режимі goL/nogo/goR превалювала лівопівкулева асиметрія. Хоча, такі відмінності відсутні в разі виконання завдань у режимі go/go для сигналів будь-якої модальності. Відсутність статистичних відмінностей швидкості виконання завдання для лівої і правої руки на фігури у режимі goL/nogo/goR може свідчити на користь того, що в КГМ відбувається нейроінтеграція, яка характеризується інформаційним синтезом, фокусом взаємодії для великої кількості нейронів (мережі/ колонки), які розряджаються в одному ритмі. За цих умов різні відділи мозку працюють синхронно [32]. Можна вважати, що в нейронних сітках встановлюється фокус взаємодії для образних сигналів. У разі словесних сигналів, швидкість реакції для лівої і правої руки значно погіршується, з'являється асиметрія, для якої характерна дискоординація збудливого і

гальмівного процесів. Це наводить на думку, що в цьому випадку, нейроінтеграція моторної і когнітивної систем відсутня і має місце інтерференція. Різниця у часі виконання завдання у режимі goL/nogo/goR для лівої і правої руки свідчать про переважання гальмування у правій півкулі, що значно погіршує час моторної реакції для лівої руки [159; 163; 217; 229]. В нашому дослідженні ефект інтерференції був більш виражений для когнітивної системи мозку.

Подальше підвищення швидкості диференціювання образних сигналів до 120, а вербальних до 90 за хвилину приводить до подальшого значного зростання кількості помилок та супроводжується пригніченням механізмів регуляції СР. У взаємодії центральної та автономної нервової системи з'являються ознаки когнітивного дисонансу та вегетокогнітивної інтерференції [144]. Підтвердженням тому є результати динаміки показника стрес-індексу, що наведений на рис. 4.4.

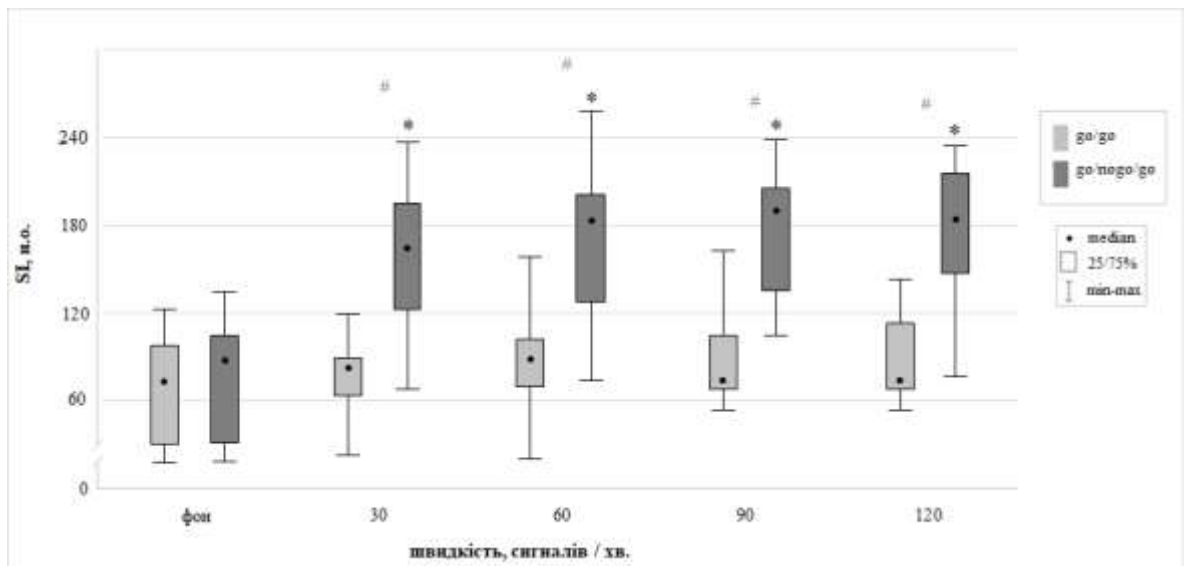


Рис. 4.4 Динаміка стрес-індексу (SI, н.о.) у обстежуваних під час переробки вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та go/nogo/go

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та go/nogo/go

Результати динаміки індексу централізації (IC), що ми отримали у обстежуваних під час переробки вербальних сигналів показали, що на швидкості

пред'явлення сигналів 120 за хвилину у завданні go/nogo/go з'являються ознаки вегетокогнітивної інтерференції (рис. 4.5).

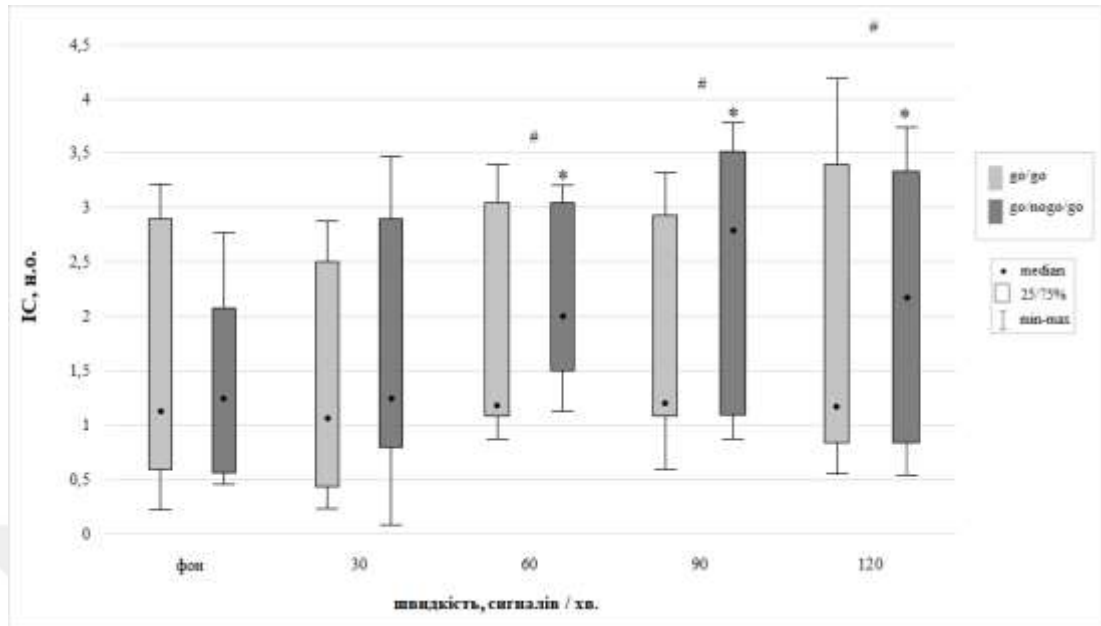


Рис. 4.5 Динаміка індексу централізації (IC, н.о.) у обстежуваних під час переробки вербальних сигналів з різною швидкістю їх пред'явлення у завданні go/go та go/nogo/go

Примітка: * - $p < 0,05$, значущі різниці між показниками у фоні та на різній швидкості переробки інформації; # - $p < 0,05$, між показниками для завдань go/go та go/nogo/go

Отже, представлені вище результати свідчать на користь того, що в разі перевищення оптимальної швидкості пред'явлення інформації IC, так само як і SI, знижуються, що свідчить про зниження активаційних процесів та наявність децентралізації, посилення процесів хаосу в управлінні СР [57; 203; 207], зменшення напруження механізмів адаптації, взаємодія ЦНС та АНС порушується. За таких умов сенсорна, моторна, когнітивна та вегетокогнітивна інтеграція змінюється на функціональну вегето-когнітивну інтерференцію. Можна вважати, що підкірка з її вищими рівнями регуляції АНС є своєрідним фільтром для інформації, яка надходить до мозку.

Дослідження ЕЕГ-активності також підтверджують наявність інтеграційних процесів для нейрофізіологічних механізмів мозку під час підвищення швидкості переробки інформації, ускладнення завдання та модальності сигналів. Когерентний аналіз основних ритмів ЕЕГ представлений на рис. 4.6.

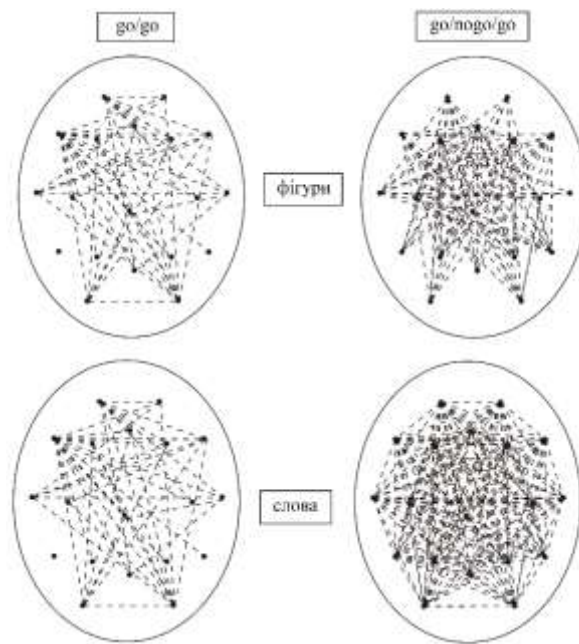


Рис. 4.6 Просторово-часова організація ЕЕГ мозку за показниками сумарної кореляції під час переробки образної та вербальної інформації у режимі go/go та go/nogo/go

З рис. 4.6 видно, що найбільш значущий зв'язок різних ділянок мозку та ритмів ЕЕГ був виявлений у обстежуваних під час переробки інформації у режимі диференціювання вербальних сигналів для завдання go/nogo/go на відміну від образних сигналів у режимі go/go.

КоГ-аналіз показав, що взаємодія когнітивних систем мозку при обробці вербальної інформації у режимі go/nogo/go у юнаків вища, ніж у завданні go/go на фігури. Як було показано у підрозділі 3.1 для більшості випадків обстежувані з високим рівнем швидкості виконання когнітивних завдань характеризувалися достовірно вищими показниками моторних реакцій. Було показано [54], що у когнітивному тесті різко зростає кількість ділянок мозку, які працюють синхронізовано, а число незалежних ділянок зменшується. При цьому зростає число кореляційних зв'язків, які залежать від складності моторного чи когнітивного завдання. Уже ці результати є експериментальним доказом того, що швидкісні характеристики когнітивної системи мозку зв'язані з моторною за рахунок удосконалення функціональної взаємодії у нейронних мережах КГМ, так і нервово - м'язового апарату обстежуваних. Отже, можна вважати, що у більшості

випадків, чим вищим є рівень швидкості когнітивних процесів, тим швидше здійснювалась обробка інформації і в моторній системі. І, навпаки, у тих обстежуваних для яких виявлені низькі значення часу переробки інформації для когнітивної системи частіше зустрічалися у осіб, що характеризувалися низьким рівнем моторних рухових актів. На нашу думку, швидкість обробки інформації в когнітивних системах мозку це не просто різниці у часі обробки інформації або окремих мозкових операцій, а результат складної інтегративної діяльності мозку, міжцентральної взаємодії, функціональне дозрівання асоціативних зон, що регулюють складну когнітивну і рухову активність, з подальшими спряженими морфологічними і функціональними змінами у нейронних мережах КГМ, так і удосконалення нервово - м'язового апарату [198]. Отже виходить, що чим складніше вербальне завдання, що пред'являється для переробки, тим вищі інтегративні процеси у КГМ.

Таким чином, з результатів досліджень, які представлені вище виходить, що для переробки інформації різної модальності, складності та швидкості пред'явлення інформації створюється функціональна система [3] основним завданням якої є не тільки підвищення рівня функціонування системи, а і посилення взаємодії між різними ланками ЦНС та АНС. Схематично функціональну систему переробки інформації можна представити на рис. 4.7.

З представленої схеми функціональної системи переробки інформації видно, що нейродинамічні показники ЦНС, ЕКГ і ЕЕГ-характеристики становлять зв'язок різних ланок переробки інформації (кількості помилок, часу рухової реакції, швидкість пред'явлення сигналів їх модальність та складність), а також функціональна інтеграція процесів та механізмів, що відображають активність механізмів регуляції автономної нервової системи (ВСР та САСР), потужності та рівня синхронізації і десинхронізації для основних α -, β - та θ -діапазонів ЕЕГ.

Досліджувані характеристики визначають рівень функціонування та характер участі вегетативних і нейрофізіологічних механізмів регуляції під час переробки інформації.

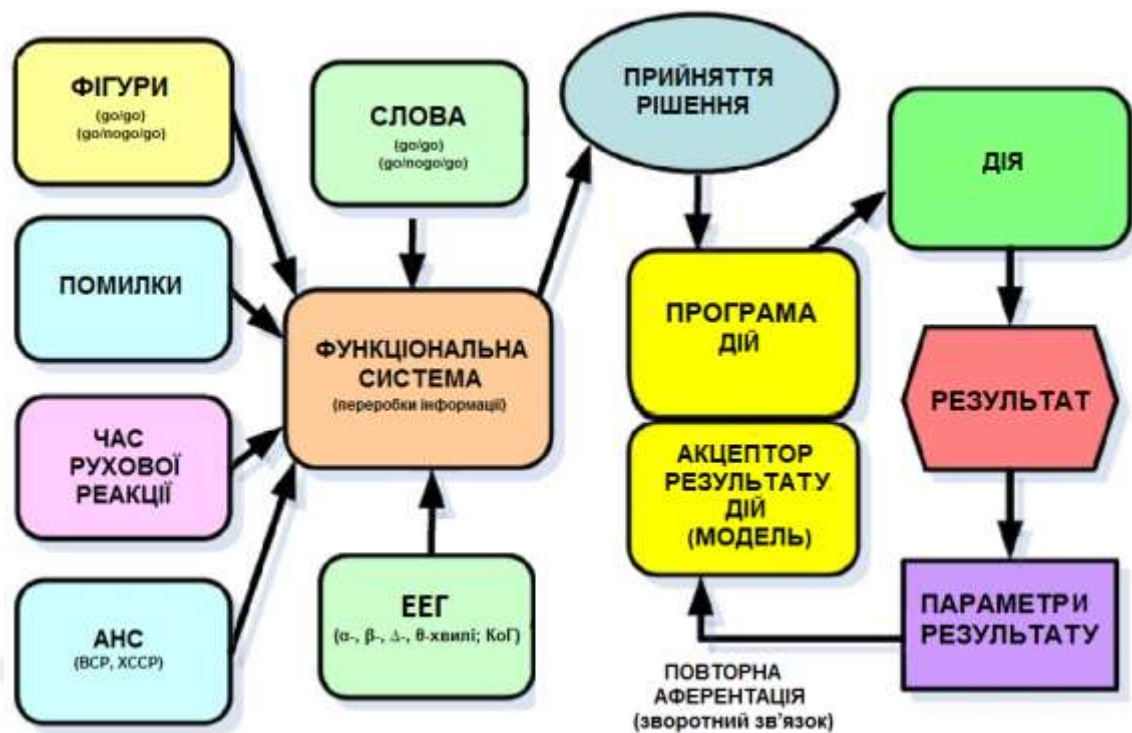


Рис. 4.7 Схема функціональної системи переробки інформації та взаємодії центральної і автономної нервової системи.

В наших дослідженнях наявність кореляції кількісних характеристик переробки інформації свідчить на користь того, що виконання завдання з диференціювання позитивних (goL і goR) і гальмівних (nogo) вербальних сигналів відбувається за умов участі складної аналітико-синтетичної діяльності вищих відділів центральної нервової системи та з відповідним залученням до структурно-функціональної організації мозкової діяльності автономної нервової системи, міжсистемної взаємодії. Виявлені факти вказують на те, що моторний автоматизм співпадає з високим когнітивним ресурсом і може бути використаний як прогностичний сприятливий фактор для видів діяльності з високими інформативними навантаженнями.

Результати даного дослідження розширюють теоретичні уявлення про функціональну взаємодію моторної і когнітивної системи мозку при обробці інформації різної складності та модальності. Експериментальні дані дозволяють узагальнити, що одним із можливих механізмів, який лежить в основі посилення взаємодії когнітивних і моторних функцій юнаків 19-20 років є більш тісні

міжпівкулеві, полі- та між нейронні зв'язки різних мереж головного мозку. Ці міжмодальні зв'язки розвиваються і удосконалюються у результаті довготривалих навчальних занять. Психофізіологічні результати даного дослідження вказують також на швидку і якісну обробку стимулів у юнаків 19-20 років, що скоріш за все пов'язано з більш тісною міжпівкулевою взаємодією, можливо, за рахунок посилення мієлінізації комісуральних волокон.

Аналіз отриманих результатів ґрунтується на вченні І. П. Павлова про творчу ділянку мозку та фокуси активності [11], повторного входу збудження у нервові структури мозку [13], теорії функціональних систем [3; 22], і ролі кінцевого корисного результату [108], положення класичної теорії багаторівневої (ієрархічної) субпідрядності систем [11], гіпотези інформаційного синтезу [32], ролі півкуль головного мозку в реалізації психічних функцій [226], теорії динамічної локалізації функцій КГМ [63], функціональної інтерференції, когнітивного стилю гнучкості/ ригідності [229], сучасних уявленнях про механізми й кореляти функціонального стану мозку [219], інтегрального мозкового забезпечення індивідуальності [1], вчення про участь 4-х структур мозку в обробці інформації [89], концепція «когнітивної» та «надсвідомої вісі» у стратегії переробки інформації [230], принцип «жорстких» та «гнучких» систем мозку [123], інформаційного метаболізму [170], полівагальна теорія [210], концепція фізіологічних суперсистем [22], теорії когнітивного дисонансу [98]. В цих теоріях та концепціях закладені ідеї, які дозволяють розширити підходи до вивчення та розуміння психофізіологічних особливостей переробки різноманітної інформації з позицій системного підходу.

Таким чином, дане дослідження поглиблює уяву про функціональну взаємодію центральної та автономної нервової систем, моторних і когнітивних процесів щодо механізмів переробки інформації різної складності та модальності. Робота є вагомою основою для подальших наукових пошуків механізмів нейрогенезу, впливу на моторну та когнітивну сферу людини з метою диференційованого застосування знань у розробці реабілітаційних заходів, методик для медицини, психології та педагогіки.

ВИСНОВКИ

1. Комплексні психофізіологічні дослідження з використанням сучасних методик встановили, що у юнаків взаємодія центральної та автономної нервової систем за умови переробки і диференціювання інформації знаходиться у залежності від модальності, режиму та швидкості пред'явлення сигналів.
2. У юнаків встановлено різні варіанти функціональної інтеграції та інтерференції автономної, центральної, когнітивної, сенсорної та моторної систем. Під час переробки інформації виявили як підвищення, так і зниження кількості помилок та часу рухових реакцій, які залежали від модальності, режиму та швидкості пред'явлення сигналів, а також рівня функціональної взаємодії центральної та автономної нервової систем.
3. Пред'явлення вербальної та образної інформації на швидкості 30 і 60 сигналів за хвилину у режимі go/nogo/go характеризувалось поступовим підвищенням активності функціонування центральної та вегетативної нервової систем і їх інтеграцією. Виявили поступове підвищення ЕЕГ-активності мозку, спектральної потужності β -хвиль, КА, КоГ та узгоджене підвищення HR, IC, SI в регуляторних процесах автономної нервової системи.
4. Встановлено, що подальше підвищення швидкості пред'явлення вербальної інформації до 90, а образної – до 120 сигналів за хвилину у режимі go/nogo/go у юнаків приводило до виникнення інтерференції, що характеризувалась дефіцитом активації нейрокогнітивних та вегетокогнітивних механізмів регуляції. Різностямовані зміни у центральній та автономній нервовій системі характеризувались зниженням HR, TP, IC, та підвищенням ЕЕГ-активності мозку, спектральної потужності β -хвиль, КА, КоГ і зростанням кількості помилок та зменшенням часу рухових реакцій.
5. Функціональна взаємодія центральної та автономної нервової, а також сенсорних, моторних і когнітивних систем мозку юнаків, швидкості рухових реакцій і успішності виконання завдань знаходяться в залежності від модальності сигналів. Результати швидкості та успішності виконання моторних і когнітивних завдань досягали статистично значимої вірогідності при переробці образної, ніж вербальної інформації ($p < 0,05$).

6. Встановили куполоподібну залежність взаємодії центральної та автономної нервової системи від модальності та швидкості пред'явлення сигналів. Диференціювання вербальних сигналів на швидкості 30 і 60 за хвилину, а образних - 90 за хвилину, характеризувалось поступовим підвищенням активності когнітивних і нейрофізіологічних механізмів регуляції автономної нервової системи, узгодженою взаємодією автономних та центральних контурів управління, симпатичної та парасимпатичної ланок, посиленням інтегративних процесів. Це знайшло підтвердження у показниках ВСР та САРС, що характеризувались високими значеннями SI, TP, IC, LF/HF та швидкості рухових реакцій і малою кількістю помилок.

7. Подальше підвищення швидкості диференціювання образних сигналів до 120, а вербальних до 90 за хвилину у юнаків супроводжувалось зниженням успішності переробки інформації (значна кількість помилок) та різноспрямованими змінами у взаємодії центральної та автономної нервової систем. За таких умов функціональна система від оптимального стану автономної регуляції переходила на порушення балансу між центральним та автономним контуром управління СР і характеризувалась розвитком процесів дизрегуляції, вегетокогнітивної інтерференції, а також когнітивного дисонансу. Встановили виражене домінування центральних механізмів регуляції автономної нервової системи, високі значення стрес-індексу (SI), та порушення симпато-вагального балансу (LF/HF) для регуляторних процесів.

8. Для когнітивних систем мозку юнаків за умови виконання завдання з переробки вербальної інформації у режимі диференціювання go/nogo/go виявили інтерференцію та лівопівкулеву функціональну асиметрію. В режимі go/nogo/go кількість помилок на слова завжди менша, а швидкість реакції вища для правої руки, ніж лівої. Асиметрія слабо виражена для завдань на високій швидкості пред'явлення інформації з образними сигналами і статистично значима для вербальних сигналів на швидкості 30 та 60 сигналів за хвилину.

Перспективним напрямком подальших досліджень є з'ясування механізмів взаємодії центральної та автономної нервової систем у осіб різного віку за умови переробки інформації різної модальності та складності.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Александров Ю. И., Бахчина А. В. Выборочная энтропия сердечного ритма отражает свойства системной организации поведения. *Энтропия*. 2018. 20 (6), С. 449 -455. <https://doi.org/10.3390/e20060449>
2. Агаджанян Н. А., Макарова И. И. Среда обитания и реактивность организма. Тверь: Буква, 2001. 176 с.
3. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. М: Медицина, 2003. 61 с.
4. Антомонов М. Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. 2-е изд, К.: Литера, 2018. 579 с.
5. Антропова М. В. Работоспособность учащихся и ее динамика в процессе учебной и трудовой деятельности. М.: Просвещение, 2006. 232 с.
6. Баевский Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма: история и философия, теория и практика. *Клиническая информатика и телемедицина*. 2004. № 1. С. 54 - 65.
7. Базанова О. М. Вариабельность и воспроизводимость индивидуальной частоты максимального пика в различных экспериментальных условиях . *Журнал выс. нервн. деят. им. П.И. Павлова*. 2010. Т. 60, № 6. С. 767-776.
8. Базанова М. О. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы. *Успехи физиологических наук*. 2009. Т. 40, №3. С. 32 - 53.
9. Белова Е. В., Голованова Г. Б., Емцева В. П. Зависимость изменений артериального давления от характера умственной деятельности в условиях эмоционального напряжения. *Физиология человека*. 2007. Т. 13. С.84 - 96.
10. Бернадо В. Г. Вегетативне забезпечення розумової діяльності студентів молодших курсів з різною швидкістю опрацювання інформації. *Вісник Львів. ун-ту. Серія Біологія*. 2006. Вип. 41. С.109 - 117.
11. Бернштейн Н. А. Биомеханика и физиология движений: избранные психологические труды. 3-е изд. М.: Издательство Московского психолого-социального института, 2008. 688 с.

12. Бетелева Т. Г., Синицын С. В. Связанные с событием потенциалы на разных этапах реализации зрительной рабочей памяти. *Физиология человека*. 2008. Т. 34, № 3. С. 5-15.
13. Бехтерева Н. П., Нагорнова Ж. В. Динамика когерентности ЭЭГ при выполнении заданий на невербальную (образную) креативность. *Физиология человека*. 2007. Т. 33, № 5. С. 5-12.
14. Бехтерева Н. П., Данько С. Г., Качалова Л. М., Соловьева М. Л. Электроэнцефалографические характеристики когнитивно-специфического внимания готовности при вербальном обучении. Сообщение 1. Характеристики локальной синхронизации ЭЭГ. *Физиология человека*. 2008. Т. 34, № 2. С. 5-12.
15. Болдырева Г. Н., Жаворонкова Л. А., Шарова Е. В., Добронравова И. С. Межцентральные отношения ЭЭГ как отражение системной организации мозга человека в норме и патологии. *Журнал высшей нервной деятельности*. 2003. Т. 53, № 4. С. 391 - 401.
16. Бондаренко М. П., Кравченко В. И., Маукарчук М. Ю. ЕЕГ-активність мозку правшів та лівшів при моно-та бінокулярному сприйнятті вербальної емоційно забарвленої інформації. *Нейрофізіологія*. 2016. Т. 48, № 1. С. 47-57.
17. Васильева В.В., Сыроежин А.С. Анализ факторов, способствующих успешному достижению альпинистом высоты 7000 метров. *Экстремальная деятельность человека*. 2012. № 3(25). С. 23-30.
18. Владимиров А.Д., Тимофеева Т.В. Модальные характеристики латеральной асимметрии (по данным измерения времени реакции). Нейропсихологический анализ межполушарной асимметрии мозга. М., Литиздат, 1986. С. 168-174.
19. Вольф Н. В., Разумникова О. М. Половые различия полушарных пространственно-временных паттернов ЭЭГ при воспроизведении вербальной информации. *Физиология человека*. 2004. Т. 30, № 3. С. 274-280.
20. Гланц С. В. Медико-биологическая статистика. М.: Литиздат, 1998. 189 с.
21. Гнездицкий В. В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. М.: МЕДпресс-информ, 2003. 246 с.

22. Григорян Р. Д., Сагач В. Ф. Концепція фізіологічних суперсистем: нова фаза інтегративної фізіології. *Фізіологічний журнал*. 2017. Т. 63, № 3. С. 58-67.
23. Гусельников В. И., Изнак А. Ф. Ритмическая активность в сенсорных системах. М.: Изд-во МГУ, 1983. 214 с.
24. Давиденко Д. Н. Методика оценки мобилизации функциональных резервов организма по его реакции на дозированную нагрузку. *Научно-теоретический журнал «Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта»*. 2011. Т.12 (70), С. 52-57.
25. Данько С. Г., Бехтерева Н. П., Качалова Л. М., Соловьева М. Л. Электроэнцефалографические характеристики когнитивно-специфического внимания готовности при вербальном обучении. Сообщение 1. Характеристики локальной синхронизации ЭЭГ. *Физиология человека*. 2008. Т. 34, № 2. С. 20-29.
26. Джебраилова Т. Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н. А., Дудник Е. Н., Динамика параметров альфа-активности ЭЭГ и вариабельности сердечного ритма при интеллектуальной деятельности. *Физиология человека*. 2015. Т. 41, № 6. С. 36-48.
27. Джебраилова Т. Д., Коробейникова И. И., Дудник Е. Н., Каратыгин Н. А. Вегетативные корреляты индивидуальных различий временных параметров интеллектуальной деятельности человека. *Физиология человека*. 2013. Т. 39, № 1. С. 94-102.
28. Дорошенко В.А., Полякова М. В. Метод регистрации вызванных потенциалов мозга. Методы исследований в психофизиологии. Изд-во С.-Петербург. ун-та. 1994. С. 46-110.
29. Дубровинская Н. В., Мачинская Р. И. Реактивность тета- и альфа диапазонов ЭЭГ при произвольном внимании у детей младшего школьного возраста. *Физиология человека*. 2002. Т. 28, № 5. С. 15-20.
30. Жаворонкова Л. А., Жарикова А. В., Кушнир Е. М. Особенности реактивных перестроек ЭЭГ при выполнении двойных задач здоровыми испытуемыми (произвольный позный контроль и счет). *Физиология человека*. 2011. Т. 37, № 6. С. 54-63.

31. Журавльов О. О. Динаміка мозкового кровоплину в разі розумових навантажень юнаків, які тривалий час проживали за умов радійціного забруднення. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.* 2005. Вип. 40. С.140–147.
32. Иваницкий Г. А., Наумов Р. А., Иваницкий А. М. Технология определения типа совершаемой в уме мысленной операции по рисунку электроэнцефалограммы. *Технологии живых систем.* 2007. Т. 4, № 5–6. С. 20–28.
33. Исайчев С. А., Осипова Д. С., Коптелов Ю. М. Дипольные модели генераторов альфа-ритма. *Журнал высшей нервной деятельности.* 2003. Т. 53, № 5. С. 577-586.
34. Ільїн В. М., Сосновський В. В. Пастухова В. А., Ільїн В. М. Характеристики функціональних станів регуляторних систем організму у бігунів на середні дистанції при довгостроковій адаптації до умов середньогір'я. *Фізіол. журн.* 2018.Т. 64, № 6. С. 56-63.
35. Ільїн В. М., Сосновський В. В., Пастухова В. А., Філіппов М. М. Аналіз спектрів потужності варіабельності серцевого ритму у спортсменів під час початкової адаптації до умов гірської гіпоксії. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences.* Budapest, 2018. VI(22), Issue: 186. P. 42-44. <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22-11>
36. Кальниш В. В., Швець А.В. Психофізіологічні особливості якості виконання завдань при збільшенні їх складності. *Фізіологічний журнал.* 2007. Т. 53, No 5. С. 99–108.
37. Кирой В. Н. Механизмы формирования функционального состояния мозга человека: дис. ... докт. биол. наук. Ростов-на-Дону, 1991. 182 с.
38. Кислова О. О. Частотно-амплитудные ЭЭГ-показатели успешности распознавания эмоциональной речи. *Журнал высшей нервной деятельности.* 2009. Т. 59, № 2. С. 281-287.
39. Климов Е. А. Индивидуальный стиль деятельности в зависимости от типологических свойств нервной системы: К психологическим основам научной организации труда, учения, спорта. Казань: Казан. ун-т, 2009. 277 с.

40. Коваленко С. О., Кудій Л. І. Варіабельність серцевого ритму. Методичні аспекти. Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького. 2016. 300 с.
41. Кожемяко Т. В. Нейрофізіологічні та вегетативні механізми переробки інформації у підлітків з різними індивідуально-типологічними властивостями нервової системи: автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.13 / Черкаський національний ун-т ім. Б. Хмельницького. Черкаси, 2018. 20 с.
42. Козачук Н. О. Просторова організація електричної активності кори головного мозку при творчому мисленні у чоловіків і жінок з різними психофізіологічними особливостями: дис. ... доктора біол. наук. Луцьк, 2015. 351 с.
43. Корабейникова О. А., Котельникова С. А., Ноздрачев А. Д., Одинак М. М. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах. Физиология человека. 28(1), С. 130- 141.
44. Коржик О. С., Киричук О. П., Моренко А. В. Електроміографічна активність поверхневих м'язів пальців кисті під час мануальної моторики в чоловіків із різними характеристиками α -частоти. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки*. 2017. № 7 (356). С. 182–188.
45. Костандов Э. А. Влияние контекста на пластичность когнитивной деятельности. *Физиология человека*. 2010. Т. 36, №5. С. 19-28.
46. Костенко С. С., Локтева Р. К. Оцінка діяльності першої та другої сигнальних систем людини. *Вісн. Київ. ун-ту. Біологія*. 2000. Вип. 32. С. 31-34.
47. Кравченко В. І., Рассомагіна М. П., Костенко С. С. Вплив емоційного компоненту стимула на швидкість аналізу інформації та варіативність серцевого ритму. *Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки»*. 2011. Вип. 204. С. 75-82.
48. Крик Ф., Джонс Э. Отсталость нейроанатомии человека. *Nature*, 1993. Р. 109-110.
49. Кропотов Ю. Д. Роль стриатума в селекции действий. *Физиологический журнал*. 1997. Т. 83, № 1. С. 45-48.

50. Купцова С. В., Иванова, М. В., Петрушевский А. Г., Федина О. Н., Жаворонкова Л. А. Половые и возрастные особенности. *Физиология человека*. 2016. Т.62. № 4, С. 15-26.
51. Куценко Т. В. Міжпівкульне перенесення інформації при виконанні складного тесту Струпа із залученням просторової ознаки у правшів і лівшів. *Вісник Черкаського університету (серія Біологічні науки)*. 2017. №1. С. 37-47.
52. Куценко Т. В. Статеві відмінності у функціональній коннективності лівшів під час виконання емоційного тесту Струпа. *Вісник Черкаського університету (серія Біологічні науки)*. 2021. №1. С. 63-72.
53. Леутин В. П., Николаева Е. И. Психофизиологические механизмы адаптации и функциональная асимметрия мозга. Новосибирск: Наука, 1988. 193 с.
54. Ливанов М. Н. Пространственно-временная организация потенциалов и системная деятельность головного мозга. М.: Наука, 1989. 400 с.
55. Лизогуб В. С., Черненко Н. П., Палабійк А. А., Безкопильна С. В. Спосіб визначення розумової працездатності за умови переробки інформації з різною швидкістю пред'явлення подразників. *Вісник Черкаського університету*. 2018. Вип. 1. С. 70–80. DOI: 0.31651/20765835-2018-1-1-70-79
56. Лизогуб В. С., Черненко Н. П., Пустовалов В. А., Кожемяко Т. В., Палабиик А. А., Хоменко С. Н. Возрастные особенности функциональной организации мозговых механизмов переработки информации. *Science and Education a New Dimension. Natural and technical Sciences*. 2018. VI (17), Issue 157. P. 30-34.
57. Лизогуб В. С., Черненко Н. П., Кожемяко Т. В. Палабиик А. А., Безкопильна С. В. Дослідження функціональних резервів розумової працездатності. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки*. 2018. 8, (381). С. 102-107.
58. Лизогуб В. С., Кожемяко Т. В., Юхименко Л. И. Мозговые механизмы функциональной организации сложных слухомоторных реакций. *Новосибирский*

Международный Научный Институт «Educatio» (International Scientific Institute «Educatio»). Биологические науки. 2015. I X (16), 2015. С. 132-136.

59. Лизогуб В. С., Кожемяко Т. В., Юхименко Л. І., Хоменко С. М. Електрофізіологічні характеристики Р300 та функціональна організація складних слухомоторних реакцій у підлітків. *Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки»*. 2015. № 2 (335). С. 72-78.

60. Лизогуб В. С., Хоменко С. М., Безкопильний О. П. Нейродинамічні властивості людини та методика їх дослідження: монографія. Черкаси: ФОП Гордієнко Є.І., 2019. 136 с.

61. Лисенко О. М. Тип вегетативної регуляції серцевого ритму і особливості прояву фізичної працездатності кваліфікованих спортсменів. *Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки»*. 2011. № 2 (204). С. 100-109.

62. Лисенко О., Федорчук С. Реакція кардіореспіраторної системи за умов фізичних навантажень різного характеру в залежності від фізіологічної реактивності і стомлення. *Спортивна наука та здоров'я людини*. 2019. № 2. С. 27–32.

63. Лурия А. Р. Основы нейропсихологии. Москва: Просвещение, 2004. 384с.

64. Лях Ю. Е., Гурьянов В. Г., Хоменко В. Н., Панченко О. А. Основы компьютерной биостатистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat, 2006. 214 с.

65. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Юхименко Л. І. Вікова динаміка сенсомоторних функцій людей із слуховою депривацією. *Science and Education a New Dimension. Natural and technical Sciences*. 2015. V. III (5), Issue. P. 20-24.

66. Макаренко М. В., Лизогуб В.С. Швидкість центральної обробки інформації у людей з різними властивостями основних нервових процесів. *Фізіологічний журнал*. 2007. Т. 53, № 4. С.87-91.

67. Макаренко М. В., Лизогуб В. С., Безкопильний О. В. Методичні вказівки до практикуму з диференціальної психофізіології людини. Черкаси: «Вертикаль», видавець Кандич С.Г., 2014. 102 с.

68. Макарчук М. Ю., Куценко Т. В. Фізіологія центральної нервової системи [підручник] К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2011. 335 с.
69. Матурана Умберто Древо познання: Биологические корни человеческого понимания / Пер. с англ. Ю. А. Данилова. М.: Прогресс-Традиция, 2001. 224 с.
70. Мищенко В. С. Лисенко Е. Н., Виноградов В. Е. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировки в спорте. К.: Науковий світ. 2007. 351 с.
71. Медведев В. И. Взаимодействие физиологических и психологических механизмов в процессе адаптации. *Физиология человека*. 1998. № 24. С. 7–13.
72. Меерсон Ф. З., Пшенникова М. Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 2008. 256 с.
73. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца. Новый взгляд на старую парадигму. М.:Нейрософт, 2017. 516 с.
74. Моисеенко Г. А., Вершинина Е. А., Пронин С. В., Чихман В. Н., Михайлова Е. С., Шелепин Ю. Е. Латентные периоды компонентов вызванных потенциалов в задачах классификации изображений, подвергнутых вейвлетной фильтрации. *Физиология человека*. 2016. Т. 42, № 6. С. 37–48.
75. Моренко А. Г. Електрична активність кори головного мозку та поверхневих м'язів пальців у жінок із високою і низькою індивідуальною α -частотою. *Вісн. Східноєвропейськ. нац. ун-ту. Сер. Біол.* 2014. № 13(290). С. 130–134.
76. Моренко А. Г. Нейрофізіологічні механізми забезпечення тонких рухів людини// дис.наук. ступ. док. біол ... наук 03.00.13 фізіологія людини і тварин. Київ, 2015. 36 с.
77. Навакатікян А. О., Крижанівська В. В., Кальниш В. В. Фізіологія і гігієна розумової праці. К.: Здоров'я, 1987. 149 с.
78. Николаев А. Р., Иваницкий Г. А., Иваницкий А. М. Воспроизводящиеся паттерны альфа-ритма ЭЭГ при решении психологических задач. *Физиология человека*. 1998. Т. 24. С. 1–8.

79. Ноздрачев А. Д. Физиология вегетативной нервной системы. Л.: Медицина, 1983. 295 с.
80. Песоцкая Л. А., Глухова Н. В., Третьак Т. О. Оценка типа мышления человека на основе анализа изображений газоразрядного излучения. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Валеологія: сучасність і майбутнє*. 2016. Т. 20. С. 113–116.
81. Петренко Н. Е., Фарбер Д. А. Мозговая организация опознания фрагментарных изображений у лиц с различной эффективностью выполнения когнитивной задачи. *Физиология человека*. 2016. № 39(4). С. 13-22.
82. Пономарев В. А., Кропотов Ю. Д., Кропотова О. В. Десинхронизация и синхронизация ЭЭГ подростков, вызванные стимулами, запускающими или запрещающими сенсомоторную реакцию. Сообщение I. Влияние модальности стимулов. *Физиология человека*. 2003. Т.6, № 1. С. 15-22.
83. Поручинський А. І., Желамська Н. О., Поручинська Т. Ф. Просторовий розподіл когерентних зв'язків у тета-діапазоні електроенцефалограми підлітків із різним рівнем сили нервових процесів при когнітивній діяльності. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. біологічна*. 2009. Вип. 50. С. 122-130.
84. Разумникова О. М., Вольф Н. В., Тарасова И. В. Стратегия и результат: половые различия в электрографических коррелятах вербальной и образной креативности. *Физиология человека*. 2009. Т. 35, № 3. С. 31-41.
85. Ровний А. С., Лизогуб В. С. Психосенсорні механізми управління рухами спортсменів. Харків: ХНАДУ, 2016. 360 с.
86. Роик А. О. Кодирование особенностей когнитивной деятельности в ритмическом рисунке ЭЭГ: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2012. 36 с.
87. Русалов В. М. Биологические основы индивидуально-психологических различий. М.: Наука, 1979. 352 с.
88. Русалова М. Н. Функциональная асимметрия мозга и эмоции. *Успехи физиол. наук*. 2003. Т.34, № 4. С. 93-112.

89. Симонов П. В., Русалова М. Н., Преображенская Л. А. Факторы новизны и асимметрия мозга. *Журнал ВНД*. 1995. Т.45, Вып.1. С. 12-18.
90. Сосновський В. В., Пастухова В. А., Філіппов М. М., Ільїн В. М. Аналіз спектрів потужності варіабельності серцевого ритму у спортсменів під час початкової адаптації до умов гірської гіпоксії. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. Budapest, 2018. VI (22), Issue: 186. P. 42-44. <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2018-186VI22-11>
91. Тарасова И. В. Электрофизиологический анализ половых особенностей полушарной организации образного и вербального творческого мышления: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2007. 108 с.
92. Топчій М. С., Босенко А. І., Дишель Г. О. Факторна структура функціональних можливостей юнаків 17-21 років. *Вісник Черкаського університету*. 2017. №2. С. 75–87.
93. Трахтенберг И. М., Полякова А. А. Очерки физиологии и гигиены труда пожилого возраста. К.: Авиценна, 2007. 272 с.
94. Третяк Т. О., Дрегваль І. В., Севериновська О. В. Дослідження образного типу мислення у студентів-біологів. *Вісник проблем біології і медицини*. 2016. Т. 2, № 1(127). С. 284–290.
95. Третяк Т. О., Сокоренко А. Г., Дрегваль І. В. Аналіз біоелектричної активності мозку у процесі словесно-логічного мислення студентів-біологів. *Regul. Mech. Biosyst.* 2017. Т. 8(2). С. 244–251.
96. Трофимова Е. В. Особенности межполушарного взаимодействия у правшей и левшей по данным когерентного анализа ЭЭГ. *Журнал высш. нервн. деят.* 2000. Т. 50, № 6. С. 943–951.
97. Фарбер Д. А., Дубровинская Н. В. Формирование психофизиологических функций в онтогенезе. *Механизмы деят. мозга человека*. Л.: Наука. 1988. Ч.1. С. 426-454.
98. Фестигер Л. Теория когнитивного диссонанса. – С-Пб. «Ювента», 1999. 379 с.

99. Филиппов М., Ильин В. Современные аспекты психофизиологического понимания надежности спортсмена. *Наука в олимпийском спорте*. 2014. № 4. С. 29-35.
100. Филиппов М. М., Давиденко Д. Н. Физиологические механизмы развития и компенсации гипоксии в процессе адаптации к мышечной деятельности: Монография. СПб., Киев: БПА, 2009. 268 с.
101. Філіппов М. М., Ільїн В. М., Портниченко В. І., Лук'янцева Г. В. Системні зміни в організмі спортсменів, які впливають на масоперенесення респіраторних газів при м'язовій діяльності в горах. *Вісник проблем біології і медицини*. 2019. Вип. 2, Т. 2 (151). С. 64-71. doi.org/10.29254/2077-4214-2019-2-2-151-64-71
102. Філімонова Н. Б. Зміни активності головного мозку чоловіків при виконанні вербальних субтестів логічного відбору та визначення загальних рис тесту Амтхауера. *Вісник Черкаського університету. Біологічні науки*. 2014. Вип. 2. С. 64–69.
103. Хаспекова Н. Б. Диагностическая информативность мониторингирования variability ритма сердца. *Вестник аритмологии*. 2003. № 32. С. 15–23.
104. Хоменко С. М. Розумова діяльність за умов переробки зорової інформації різного ступеня складності та успішність навчання учнів з різними типологічними властивостями вищої нервової діяльності: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.13 / Київський національний ун-т ім. Т. Шевченка. Київ, 2005. 20 с.
105. Черненко Н. П. Вегетативне забезпечення розумової діяльності людей з різними індивідуально-типологічними властивостями вищої нервової діяльності: автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.13 / Київський національний ун-т ім. Т. Шевченка. Київ, 2013. 20 с.
106. Чернінський А. О., Крижановський С. А., Зима І. Г., Макаруч М. Ю. Перебудови ЕЕГ людини при виконанні діяльності з різним ступенем інформаційної насиченості. *Фізіологічний журнал*. 2011. № 57 (5). С. 111-119.
107. Шафран Л. М., Псядло Э. М. Теория и практика профессионального психофизиологического отбора моряков. Одесса: Феникс, 2008. 202 с.

108. Швырков В. Б. Введение в объективную психологию: Нейрональные основы психики: Избранные труды. М: ИПРАН, 2006 162 с.
109. Шейко Н. І., Фекета В. П. Варіабельність серцевого ритму під впливом 10-денного курсу дихальної гімнастики «йога» у юнаків. *Фізіол. журнал*. 2019. Т. 65, № 5. С. 28-32.
110. Шпенков О., Тукаєв С., Зима І. Зміни активності головного мозку в гамма-діапазоні під час прослуховування рок-музики зі зниженим рівнем низьких частот. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Біологія*. 2018. № 1 (75). С. 27-32.
111. Эйсмонт Е. В. Отражение тревожности в характеристиках, вызванных ЭЭГ-потенциалов у детей 10-11 лет. *Нейрофизиология*. 2009. Т. 41, № 6. С. 513-522.
112. Яковенко Е. А., Кропотов Ю. Д., Чутко Л. С., Пономаренко В. А., Сушкина С. Ю. Изменение компонентного состава вызванных потенциалов в парадигме GO/NOGO у подростков с синдромом нарушения внимания с гиперактивностью. *Вестник С-Петербургского универ. Серия Биология*. 2004. Вып. 2. С. 67-73.
113. Яценко М. В., Кайгородова Н. З., Казин Э. М., Федоров А. И. ЭЭГ-корреляты влияния эндогенных и экзогенных факторов на умственную работоспособность студентов. *Физиол. человека*. 2018. Т. 44, № 6. С. 36–48.
114. Alexandrov Y. I., Svarnik O. E., Znamenskaya I. I., Kolbenev M. G., Arutyunova K. R., Krylov A. K., Bulava A. I. Regression as the Stage of Development. IPRAS: Moscow, 2017; P. 10–143. (in Rus)
115. Acharya U. R., Joseph K. P., Kannathal N., Lim C. M., Suri J. S. Heart rate variability: A review. *Med. Biol. Eng. Comput.* 2006, 44, 1031–1051.
116. Aquino M., Arnell K. Attention and the processing of emotional words: Dissociating effects of arousal. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2007. Vol. 14, № 3. P. 430-431.
117. Armour J. A., Davison A., McManus I. C. Genome-wide association study of handedness excludes simple genetic models. *Heredity*. 2014. V. 112, № 3. P. 221-234.

118. Baevsky R.M., Chernikova A.G. Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods. *Cardiometry*. 2017; 10:66-76. doi: 10.12710/cardiometry.2017.10.66-76.
119. Baevsky R. M. Problems of assessing and predicting the functional state of the organism and its development in space medicine. *Advances in Physiological Sciences*. 2006; 37(3): 43-49. (in Rus)
120. Baggish A.L., Wood M.J. Athlete's heart and cardiovascular care of the athlete: scientific and clinical update. *Circulation*. 2011. Vol. 123. P. 2723–2735. doi: 10.1161/Circulationaha.110.981571
121. Bakirov R. F. Analytic-synthetic ability and ways of its development in schoolchildren. *International Journal of Humanitarian and Natural Sciences*. 2016. Vol. 1 (3). P.76–80.
122. Basar E., Basar-Eroglu C., KaraJcas S., Schurman M. Brain oscillation in perception and memory. *International Journal of Psychophysiology*. 2000. V. 35, P. 95 - 124.
123. Bechtereva N. P., Abdullaev Y. G. Depth electrodes in clinical neurophysiology: neuronal activity and human cognitive function. *Int. J. Psychophysiol.* 2007. Vol. 37. P. 11–29.
124. Bekhtereva V., Craddock M., Miiller M. M. Attentional bias to affective faces and complex IAPS images in early visual cortex follows emotional cue extraction. *Neuroimage*. 2015; 112: 254–266. [https://doi: 10.1016/j.neuroimage.2015.03.052](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.03.052)
125. Berger H. Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Arch. Psychiatr. Nervenkr.* 1929. Vol. 87. P. 527–570.
126. Bezcopylna S. V., Palabiyik A. A., Candiba P. O. The Peculiarities Of The Vegetative Regulation Of The Heart Rhythm in Processing Different Modality And Speed Information Of Presenting Irritators. *Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки»*. 2018. № 2. С. 20-24.
127. Borresen J. Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med.* 2008. Vol. 38. № 8. P. 633-646.

128. Bradley M. M., Lang P. J. The international affective picture system (IAPS) in the study of emotion and attention in: *Handbook of Emotion Elicitation and Assessment*, (eds.). Oxford Univ. Press, Oxford, New York, 2007. P. 29-46.
129. Bray M. S., Hamberg J.M., Perrusse L. The human gene map for performance and healthrelated fitness phenotypes: the 2006-2007 update. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2009. V. 41. N 1. P. 35-73.
130. Broggin E., Savazzi S., Marzi C.A. Similar effects of visual perception and imagery on simple reaction time. *Exp. Psychol. (Hove)*. 2012. V. 65, Issue 1. P. 151-159. doi: 10.1080/17470218.2011.594896
131. Costa A.; Vives M.-L.; Corey J.D. On language processing shaping decision making. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 2017. V. 26. P. 146–151.
132. Chandra N., Bastiaenen R., Papadakis M., Sharma S. Sudden cardiac death in young athletes: practical challenges and diagnostic dilemmas. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013. Vol. 61, N 10. P. 1027-1040. doi:10.1016/j.jacc.2012.08.1032
133. Cherninsky A. O., Krizhanovsky S. A., Zima I. G., Makarchuk M.Yu. Restructuring of the EEG of a person during performing activities with different degrees of information saturation. *Physiological journal*. 2011. 57(5). P. 111-119. (in Ukr)
134. Chernykh M., Zyma I. Influence of the current context created by the perception of emotional facial expressions on the target presentation of neutral visual images. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyv, Series: Problems of Physiological Functions Regulation*. 2018. V. 24(1). P. 46-51. http://dx.doi.org/10.17721/2616_6410.2018.24.46-51
135. Chizh N. A. Physiological interpretation of heart rate variability spectral analysis data. *Fiziol Zh.* 2019. V. 65(2). P. 31-42. doi: 10.3389/fneur.2019.00545
136. Danilova N. N., Astafiev S. V. Human attention as a Specific correlation between the EEG rhythms and Activity of Heart rate wave. *Journ. of Higher nervous activ.* 2000. V. 50(5). P. 791-800. (in Rus)

137. Danko S. G., Boytsova J. A., Solovjeva M.L., Chernigovskaya T.V., Medvedev S.V. Event-Related Brain Potentials when Conjugating Russian Verbs: The Modularity of Language Procedures. *Human Physiology*. 2014. Vol. 40, № 3. P. 237-243.
138. WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects [Электронный ресурс] // World medical association. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects>.
139. Dempsey J.A., Morgan B.J. Humans in Hypoxia: A Conspiracy of Maladaptation. *Physiology*. 2015. V. 30. P. 304-309. doi:10.1152/physiol.00007.2015
140. Doumas M., Rapp M.A., Krampe R.T. Working memory and postural control: adult age differences in potential for improvement, task priority, and dual tasking. *The journals of gerontology. Psychological sciences and social sciences*. 2009. V. 64. P. 193–201. [https://doi: 10.1093/geronb/gbp009](https://doi.org/10.1093/geronb/gbp009)
141. Edelman G. M., Seth A. K., Izhikevich E., Reeke G. N. Theories and measures of consciousness: an extended framework. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2006 103(28):10799-804.
142. Elliott R. Selective attention to emotional stimuli in a verbal go/no-go task: An fMRI study. *NeuroReport*. 2000. Vol. 11. P. 1739–1744.
143. Falkenstein M., Koshlykova N.A., Kiroj V.N., Hoormann and Hohnsbein J. Late ERP components in visual and auditory Go/Nogo tasks. *Electroencephalog. and Clinical Neurophysiology*. 1995. Vol.96. P. 36-43.
144. Festinger L.A. theory of cognitive dissonance. Stanford, CA: Stanford University Press. 1957. 291 p.
145. Fink A., Benedek M. EEG alpha power and creative ideation. *Neurosci Biobehav Rev*. 2014. P. 67-82.
146. Fischler I., Bradley M. Event-related potential studies of language and emotion: Words, phrases, and task effects, progress in Brain Research. *Science*. 2005. V. 156. P. 185–203.

147. Fraizer E., Mitra S. Methodological and interpretive issues in posture-cognition dual-tasking in upright stance. *Gait and Posture*. 2008. V. 27(2). P. 271-280.
148. Freunberger R., Höller Y., Griesmayr B., et al. Functional similarities between the P3 component and alpha oscillations. *Eur. J. Neurosci*. 2008. No. 9. P. 2330-2340.
149. Fröhlich F. Network Neuroscience. Academic Press, 2016. 482 p.
150. Fu Q., Levine B.D. Exercise and the autonomic nervous system. *Handb. Clin. Neurol*. 2013. №117. P. 147-160.
151. Furley F., Memmert D. Differences in spatial working - memory as a function of team sports expertise: the Corsi block-tapping task in sport psychological assessment. *Percept. Motor Skills*. 2010. V. 110(3). P. 801-809.
152. Gavrilova E.A. Heart rate variability and sports. *Human Physiology*. 2016. V. 42(5). P. 571-578. (in Rus)
153. Goodwin J. C., Goodwin K. A. Research in Psychology. Methods and Design. Danvers, MA, USA: John Wiley & Sons, 2016. 560 p.
154. Guzik P., Piskorski J., Barthel P., Bauer A., Müller A., Junk N., Ulm K., Malik M., Schmidt G. Heart rate deceleration runs for postinfarction risk prediction. *J. Electrocardiol*. 2012. V. 45(1). P. 70-76. [https://doi:10.1016/j.jelectrocard.2011.08.006](https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2011.08.006).
155. Gray J.A. Brain Systems that Mediate both Emotion and Cognition. *Cognit. Emot*. 1990. № 4. P. 269–288.
156. Hayakawa S., Tannenbaum D., Costa A., Corey J.D., Keysar B. Thinking more or feeling less? Explaining the foreign-language effect on moral judgment. *Psychol. Sci*. 2017. № 28. P. 1387–1397.
157. Hanslmayr S., Gross J., Klimesch W., Shapiro K.L. The role of alpha oscillations in temporal attention. *Brain Res. Rev*. 2011. Vol. 67 (1). P. 331–343.
158. Harmon K. G., Asif I. M., Maleszewski J. J. et al. Incidence, cause, and comparative frequency of sudden cardiac death in National Collegiate Athletic Association Athletes. *Circulation*. 2015. Vol. 132. P. 10-19. [doi:10.1161/circulationaha.115.015431](https://doi.org/10.1161/circulationaha.115.015431)

159. Hazeltine E., Ruthruff E., Remington R. The role of input and output modality pairings in dual-task performance: Evidence for content-dependent central interference. *Cogn. Psychol.* 2006. V. 52(4). P. 291-301.
160. Heart rate variability: measurement standards, physiological interpretation and clinical use. Working Group of the European Society of Cardiology and the North American Society of Stimulation and Electrophysiology. SPb. Institute of Cardiol. Techniques, 2000. 82 p.
161. Hiraga C. Y., Garry M. I., Carson R. G., Summers, J. J. Dual-task interference: attentional and neuropsychological influences. *Behavioural Brain Research.* 2009. V. 205(1). P. 291–345. doi: 10.1016/j.bbr.2009.07.019
162. Horak F. B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing.* 2006. V. 35(2). P. 7–11. doi: 10.1093/ageing/afl077
163. Howe E. Hemispheric interaction in simple reaction time as a function of handedness. *The Plymouth Student Scientist.* 2009. Vol.2, № 1. P. 90-107.
164. Hu S.L., Xiong W., Dai Z.Q. et al. Cognitive Changes during Prolonged Stay at High Altitude and Its Correlation with C-Reactive Protein. *PLoS ONE.* 2016. V. 11(1). e0146290. doi:10.1371/journal.pone.0146290
165. Huang J., Lindquist K., Nam C. S. Dynamic causal modeling of gender differences in emotion: implications for augmented cognition. Proceedings of the *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.* 2000. V. 64(1). P. 52-56. doi:10.1177/1071181320641016
166. Jensen A. R. Clocking the Mind: Mental Chronometry and Individual Differences. Oxford (UK), Amsterdam (Netherlands): Elsevier, 2006. 272 p.
167. Jonkman L., Kemner C., Verbaten M., Engeland H., Camfferman G., Buitelaar J., Koelega H. Attentional capacity, a probe ERP study: Difference between children with attention-deficit hyperactivity disorder and normal control children and effects of methylphenidate. *Psychophysiology.* 2000. Vol. 37. P. 334-346.

168. Kalnysh V.V., Shvets A.V. Effect of intense 24-hour shift work on reliability of operators' activity. *Hum Physiol.* 2012. V. 38. P. 294–302. (in Rus) <https://doi.org/10.1134/S0362119712020089>
169. Kamenskaya V. G., Tomanov L.V., Russak Y.A. Peculiarities of sensory-motor response in girls aged 14-17 with different rates of sexual maturation. *Indian Journal of Science and Technology.* 2015. V. 8(29). P. 1–9. <https://doi:10.17485/ijst/2015/v8i29/84150>
170. Kempinsky A. Psychology of schizophrenia. St. Petersburg: Juventa. 1998. 294 p. (in Rus)
171. Kirsch W., Hoffmann J. Stimulus-dependent modulation of perceptual and motor learning in a serial reaction time task. *Advances in Cognitive Psychology.* 2012. V. 8(2). P. 155-163. DOI: 10.2478/v10053-008-0112-2
172. Kivezhdi K.B., Feketa V.P., Palamarchuk O.S., Savka Yu.M., Gleba L.A. Heart rate variability under the influence of diaphragmatic breathing in the biofeedback mode. *Fiziol Zh.* 2016. V. 62(4). P. 66-75. (in Ukr)
173. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends Cogn. Sci.* 2012. V. 16, № 12. P. 241-257.
174. Klinge C. Increased amygdala activation to emotional auditory stimuli in the blind / C. Klinge, B. Röder, Ch. Büchel. *Brain.* 2010. Vol. 133 (Pt 6). P. 1729–1736.
175. Korobeinikov H., Prystupa Ye., Korobeinikova L., Briskin, Yu. Assessment of psychophysiological states in sport. Lviv: LDUFK, 2013. 312 p. (in Ukr)
176. Korzhyk O., Pavlovych O., Shvarts L., Shevchuk T., Dmytrotsa O., Poruchynskiy A., Morenko A. Event-related synchronization / desynchronization in terms of switch of manual motor programs in men. *Biologija.* 2017. V. 63(4). P. 297–305.
177. Korzhyk O., Romanjuk O., Shevchuk T., Dmytrotsa O., Poruchynsky A., Morenko A., Kotsan I. Cortex electrical activity while performing alternative finger movements in women with different modal alpha-frequency. *Ogólnopolska konferencja naukowa «Rehabilitacja neuropsychologiczna – konteksty teoretyczne i praktyka»*, Lublin. 2016. V. 1. P. 21-28.

178. Kostandov EA. Effect of the context on the plasticity of cognitive activity. *Human physiology*. 2010; 36(5): 510-517. (in Rus)
179. Kotsan I.Ya., Kozachuk N.A., Kuznetsov I.P. EEG correlation dimension indices, related to general and creative tasks performance productivity level. *«European Applied Sciences»*. 2014. № 3. P. 8–10.
180. Kovalenko S.O., Zavhorodnia V.A., Androshchuk O.I., Kharchenko T.H., Kudii L.I. Haemodynamic effects of hyperventilation on healthy men with different levels of autonomic tone. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. V. 11(1). P. 13-21. <https://medicine.dp.ua/index.php/med/article/view/588>
181. Kutsenko T. Interhemispheric transfer of information in performance of complex Stroop test involving spatial properties by right- and left-handers. *Cherkasy university bulletin: biological sciences series*. 2017. 1, 37- 47. (in Ukr)
182. Kuznetsov I., Kotsan I., Kozachuk N. EEG coherence depending on EEG power during rest state and cognitive task solving. *Neuroscience Letters*. 2011. V. 500. P. 35–36. doi:10.1016/j.neulet.2011.05.171
183. Lane R., McRae K., Reiman E. et al. Neural correlates of heart rate variability during emotion. *NeuroImage*. 2009. V. 44. № 1. P. 213.
184. Lehrer P., Gevirtz R. Heart rate variability biofeedback: how and why does it work? *Front Psychol*. 2014. V. 5. P. 756-789.
185. Levy-Tzedek S., Hanassy S., Abboud S. et al. Fast, accurate reaching movements with a visual-to-auditory sensory substitution device. *Restorative neurology and neuroscience*. 2012. V. 30, № 4. P. 313-325. doi: 10.3233/RNN-2012-110219
186. Lien Y.-J., Chen W.J., Hsiao P.C., Tsuang H.C. Estimation of heritability for varied indexes of handedness. *Laterality*. 2015. V. 20, № 4. P. 469-479.
187. Limbach K., Corballis P.M. Alpha-power modulation reflects the balancing of task requirements in a selective attention task. *Psychophysiology*. 2017. Vol. 54 (2). P. 224–234.

188. Linden M., Gevirtz R., Isenhardt R., Fisher T. Event related potentials of subgroups of children with attention deficit hyperactivity disorder and the implications for EEG biofeedback. *J. Neurotherapy*. 1996. Vol. 1. P. 1-11.
189. Liston C., McEwen B.S., Casey B.J. Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009. V. 106(3). P. 912-917. <https://doi.org/10.1073/pnas.0807041106>.
190. Low K.A., Leaver E.E., Kramer A.F. et al. Share or complete? Load-dependent recruitment of prefrontal cortex during dual-task performance. *Psychophysiology*. 2009. V. 46(5). P. 1069-1079.
191. Lyzohub V., Kozhemiako T., Palabiyik A. A., Khomenko S., Bezokopylna S. Processing information in the go/nogo/go paradigm: interactions between cognitive function and the autonomic nervous system. *Health Prob Civil*. 2020. V. 14(1). P. 53-62. <https://doi.org/10.5114/hpc.2020.93294>
192. Lyzohub V. S., Chernenko N. P., Kozhemiako T. V., Palabiyik A. A., Bezokopylna S. V. Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2019. V. 10(3). P. 288–294. <https://doi.org/10.15421/021944>
193. Lyzohub V., Chernenko N., Palabiyik A. Neurophysiological mechanisms of regulation of sensorimotor reactions of differentiation in ontogenesis. *Journal of Cellular Neuroscience and Oxidative Stress*. 2020. V. 11(1). P. 805- 814.
194. Lyzohub V. S., Chernenko N. P., Kozhemiako T. V. Processing information of varying complexity and modality by individuals with different individual-typological properties of HNP. *Cherkasy university bulletin: biological sciences series*. 2005. № 1. P. 60–67. (in Ukr)
195. Lysenko Olena, Tukaiev Serhii, Dolgova Olena, Van Den Tol A.J.M., Ruzhenkova Anastasiia, Fedorchuk Svitlana, Ivaskevych Daryna, Shynkaruk Oksana, Denysova Lolita, Usychenko Vitaly, Iakovenko Olena, Byshevets Nataliia, Serhiyenko Kostyantyn, Voronova Valentina. Individual psychological determinants of stress resistance in rock climbers. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*. 2020. Vol. 20, Issue 1, № 69. P. 469 – 476. [doi:10.7752/jpes.2020.s1069](https://doi.org/10.7752/jpes.2020.s1069) SJR

196. Makarchuk N., Maksimovich K., Kravchenko V., Kryzhanovskii S. Modifications of EEG Activity Related to Perception of Emotionally Colored, Erotic, and Neutral Pictures in Women during Different Phases of the Ovulatory Cycle. *Neurophysiology*. 2011. Vol. 42, №5. P. 362–370.
197. Makarenko M.V., Lyzohub V.S., Galka M.S., Yuhymenko L.I., Khomenko S.M. Patent. 96496 State Service for Intellectual Property of Ukraine, MPC A 61B5/16. Method of psychophysiological evaluation of the functional state of the auditory analyzer. № 2010 02225; stated. 01.03.2010; published Nov 10, 2011, Bul. No. 21.
198. Makarenko M.V., Lizohub, V.S. Ontohenez psikhofiziologichnykh funktsii liudei. Cherkasy: Vertykal, 2011. 256 p. (in Ukr)
199. Maurer C., Mergner R., Peterka R. Multisensory control of human upright stance. *Exp. Brain Res*. 2006. V. 171. P. 231.
200. McManus I.C., Davison A., Armour J.A.L. Multilocus genetic models of handedness closely resemble single-locus models in explaining family data and are compatible with genome-wide association studies. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2013. V. 1288. № 1. P. 48.
201. Monastra V., Linden M., Green G., Phillips A., LubarJ., VanDeusen P., Wing W., Fenger T. Assessing attention deficit hyperactivity disorder via quantitative electroencephalography: an initial validation study. *Neuropsychology*. 1999. Vol. 13, № 3. P. 424-433.
202. Morenko A.G., Korzhik O.V. Brain processes in women with different modal alpha-frequency through the execution of manual movements with applying of force. *Біологічний вісник МДПУ*. 2016. № 1. С. 326–341.
203. Mykhalyuk YE.L., Didenko M.V., Malakhova S.M. Features of autonomic regulation of cardiac rhythm, central hemodynamics and physical efficiency in runners for short distances. *Zaporozh Med J*. 2014. V. 2. P. 64-8. doi: <http://dx.doi.org/10.15823/sm.2017.19> (in Ukr)
204. Natalia Chernenko, Vladimir Lyzohub, Georgiy Korobeynikov, Vladimir Potop, Irina Syvash, Lesia Korobeynikova, Ivanna Korobeinikova, Victoria Mishchenko, Vasil Kostuchenko Relation between typological characteristics of nervous system and

- high sport achieving of wrestlers. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*. 2020. Vol.20 (3), Art 221. P. 1621–1627.
205. Nikhil S., Kegan J.M., Christle J.W., Hadley D., Plews D., Froelicher V. Heart rate variability: an old metric with new meaning in the era of using mHealth technologies for health and exercise training guidance. *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2018. V. 7(4). P. 247-255. doi: 10.15420/aer.2018.30.2.
206. Nikolaeva E.I., Elnikova O.E., Vergunov E.G. The relationship between the quality of life, hardiness and parameters of autonomic balance. *Behavior change: making an impact on health and health services*. Aberdeen, Scotland: University of Aberdeen, 2016. P. 736-749.
207. Nunan D., Sandercock G.R., Brodie D.A. A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2010. V. 33. P. 1407-1417. doi: 10.1111/j.1540-8159.2010.02841
208. Ocklenburg S., Beste C., Güntürkün O. Handedness: Aneurogenetic shift of perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2013. V. 37. P. 2788–2793.
209. Okhrei A.G., Kutsenko T.V., Makarchuk M.Y. Performance of working memory of musicians and non-musicians in tests with letters, digits, and geometrical shapes. *Biologija*. 2016. V. 62, No 4. P. 207-215.
210. Porges S.W. The Polyvagal Theory: Phylogenetic substrates of a social nervous system. *International Journal of Psychophysiology*. 2001. V. 42. P. 123–146.
211. Renier L.A. et al. Preserved functional specialization for spatial processing in the middle occipital gyrus of the early blind. *Neuron*. 2010. Vol. 68 (1). P. 138–148.
212. Riftine A. Theoretical review and clinical use. Quantitative Assessment of the Autonomic Nervous System based on Heart Rate Variability Analysis. Valley Stream, NY: Intellewave, Inc. 2016. 65 p.
213. Rilk A.J., Soekadar S.R., Sauseng P., Plewnia C. Alpha coherence predicts accuracy during a visuomotor tracking task. *Neuropsychologia*. 2011. Vol. 49 (13). P. 3704–3709.

214. Roberts L.E., Rau Lutzenberger W., Birbaumer N. Mapping P300 onto inhibition: Go/NoGo discrimination. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1994. Vol.92, № 1. P. 93-105.
215. Rohenkohl G., Nobre A.C. Alpha oscillations related to anticipatory attention follow temporal expectations. *Journal of Neuroscience*. 2011. Vol. 31 (40). P. 14076–14084.
216. Sánchez M.Á., Trinidad J.E., García J., Fernández M. The effect of the underlying distribution in Hurst exponent estimation. *PLoSOne*. 2015. V. 10(5) P. e0127824. doi: 10.1371/journal.pone.0127824. eCollection 2015
217. Scarpina F., Tagini S. The Stroop Color and Word Test. *Front Psychol*. 2017. 8: 557.
218. Schiller P.H. Parallel information processing channels created in the retina. *PNAS Early Editions*. 2010. V. 107(40). P. 17087-17094. [https://doi: 10. 1073/pnas. 1011782107](https://doi.org/10.1073/pnas.1011782107)
219. Schulze K., Mueller A., Koelsch S. Neural correlates of strategy use during auditory working memory in musicians and non-misicians. *Eur. J. Neurosci*. 2011. V. 33(1). P. 189-197.
220. Sears C. E., Noble P., Noble D., Paterson D. J. Vagal control of heart rate is modulated by extracellular potassium. *J Auton Nerv Syst*. 1999. V. 77(2-3). P. 164–171.
221. Seleznev I., Zyma I., Kiyono K., Tukaev S., Popov A., Chernykh M., Shpenkov O. Detrended fluctuation, coherence, and spectral power analysis of activation rearrangement in EEG dynamics during cognitive workload. *Frontiers in human neuroscience*. 2019. V. 13. P. 270-281 . <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00270>
222. Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*. 2017. V. 5. P. 258-265. doi: 10.3389/fpubh.2017.00258
223. Sharon L.W., Sarah K.A. Statistics Using IBM SPSS: An Integrative Approach. Cambridge University Press; 3 edition, 2016. 606 p.

224. Shlyk N.I. Rapid assessment of the functional readiness of the body of athletes for training and competitive activity (according to the analysis of heart rate variability). *Science and Sport: Modern Trends. Izhevsk.: UdSU.* 2015; 9(4): 5-15. doi: 10.17116/profmed201821374
225. Sosnovskiy V.V., Pastukhova V.A., Ilyin V.N. Characteristics of functional states of the organism's regulatory systems in middle- distance runners during long-time adaptation to conditions of mid-range altitude. *Fiziol Zh.* 2018. V. 64(6). P. 55-62. doi: 10.31651/2076-5835-2018-1-46-53 (in Ukr)
226. Sperry R.W. Mind-brain interaction: mentalism, yes; dualism, no. *Neuroscience.* 1980. Vol. 5. P. 195–206.
227. Steven A. Hillyard, Lourdes Anllo-Ventro. Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the National Academy of the Science of the United States of America.* 2015. V. 95. P. 781-787.
228. Storozhuk M., Krishtal O. ASICs may affect GABAergic synapses. *Oncotarget.* 2017. V. 8(26), 41788–41789. doi: 10.18632/oncotarget.18247
229. Stroop J. Studies of interference in serial verbal reactions. *Experimental Psychology.* 1935. Vol. 18 P. 643–662.
230. Sviderskaya N.E. The EEG spatial pattern and psychophysiological characteristics of divergent and convergent thinking in humans. *Human Physiology.* 2011. Vol. 37, № 1. P. 31–38.
231. Swanson J., Sergeant J., Taylor E., Sonuga-Barke E., Jensen P., Cantwell D. Attention deficit hyperactivity disorder and hyperkinetic disorder. *Lancet* 1998b. Vol. 351. P. 429-433.
232. Tonhajzerova I., Mestanik M., Mestanikova A., Jurko A. Respiratory sinus arrhythmia as a non-invasive index of 'brain-heart' interaction in stress. *Ind J Med Res.* 2016. V. 144(6). P. 815-22.
233. Van der Elst W., Van Boxtel M.P., Van Breukelen G.J., Jolles J. The Stroop color-word test: influence of age, sex, and education; and normative data for a large sample across the adult age range. *Assessment.* 2006. Vol. 13, №1. P. 62-79.

234. Verbraggen F., Logan G.D. Automatic and controlled response inhibition: associative learning in the go/nogo and stop-signal paradigms. *Journal of Experimental Psychology*. 2008. V. 137(4). P. 649–672. [https://doi: 10.1037/a0013170](https://doi.org/10.1037/a0013170)
235. Voss P., Robert J. Zatorre Occipital Cortical Thickness Predicts Performance on Pitch and Musical Tasks in Blind Individuals. *Cerebral Cortex*. 2012. Vol. 22. P. 2455–2465.
236. Winkelmann T., Thayer J.F., Pohlack S., Nees F., Grimm O., Flor H. Structural brain correlates of heart rate variability in a healthy young adult population. *Brain Struct. Funct.* 2017. V. 222. P. 1061–1068.
237. Weron R. Estimating long range dependence: finite sample properties and confidence intervals. *Physica*. 2002. V. 312. P. 285-298. doi: 10.1016/S0378-4371(02)00961-5
238. West B.J., Turalska M. Hypothetical Control of Heart Rate Variability. *Frontiers in Physiology*. 2019. Vol. 10. P. 1-9. doi: 10.3389/fphys.2019.01078
239. Wilson M.H., Newman S., Imray C.H. The cerebral effects of ascent to high altitudes. *Lancet Neurology*. 2009. V. 8. P. 175-189. doi: 10.1016/S1474-4422(09)70014-6
240. Wurm H., Aycock J., Kristine A. Performance in Auditory and Visual Emotional Stroop Tasks: A Comparison of Older and Younger Adults. *Wayne State University*. 2002. V. 6(1). P. 523-531.
241. Yerkes R., Dodson J. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *J. Comp. Neurol. Psychol.* 2008. V. 18. P. 459–482.
242. Yokoyama O. Right frontopolar cortex activity correlates with reliability of retrospective rating of confidence in short-term recognition memory performance. *Neurosci Res*. 2010. Vol. 68 (3). P. 199–206.
243. Yuan J., Guo J., You Y. Neural oscillatory evidence of the difference between emotional and conceptual processing in language comprehension. *Neurosci. Lett.* 2015. Vol. 553. P. 159–164.

244. Yukhymenko L. I., Makarchuk M. Y., Lizogub V. S. Specificities of Cortical Processing of Visual Information in Subjects with Hearing Deprivation (Congenital Deafness). *Neurophysiology*. 2019. V. 51, № 5. P. 352-360.
245. Zhavoronkova L. A., Kuptsova S. B., Zharikova A. V., Kushnir E. M., Mikhalkova A. Characteristics of EEG reactivity changes during the performance of dual tasks by healthy subjects (voluntary postural control and calculation). *Human Physiology*. 2011. V. 37(6). P. 688–699 (in Rus) [https://doi: 10.1134/S0362119711060168](https://doi.org/10.1134/S0362119711060168)
246. Zyma I., Seleznov I., Kiyono K., Tukaev S., Popov A., Chernykh M., Shpenkov O. Detrended fluctuation, coherence, and spectral power analysis of activation rearrangement in EEG dynamics during cognitive workload. *Frontiers in human neuroscience*. 2019. V. 13. P. 270-284. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00270>
247. Zyma I., Tukaev S., Seleznov I., Kiyono K., Popov A., Chernykh M., Shpenkov O. Electroencephalograms during mental arithmetic task performance. *Data*. 2019. V. 4(1). P. 14-22. <https://doi.org/10.3390/data4010014>

ДОДАТОК А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Lizohub Vladimir Sergeevich, Chernenko Nataliia Pavlovna, Ahmet Alperen Palabiyik Neurophysiological mechanisms of regulation of sensorimotor reactions of differentiation in ontogenesis // Journal of Cellular Neuroscience and Oxidative Stress, V. 11, № 1, 2019. P 805- 814. (Scopus). *(Особистий внесок здобувача – проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, аналіз і формування висновків, написання статті, інші автори проводили контрольні дослідження та приймали участь у обговоренні результатів та підготовці матеріалів до друку).*
2. Bezcopylna S., Palabiyik A. A., P. O. Candiba, The Peculiarities Of The Vegetative Regulation Of The Heart Rhythm in Processing Different Modality And Speed Information Of Presenting Irritators, Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки». – 2018. - № 2. Черкаси. 2018. с. 20-24. Copernicus. *(Здобувач проводив експериментальне дослідження, здійснював статистичну обробку результатів, готував статтю до друку. Інші автори готували таблиці і рисунки, формували висновки та брали участь в обговоренні статті).*
3. V. S. Lyzohub, N. P. Chernenko, T. V. Kozhemiako, A. A. Palabiyik, S. V. Bezcopylna Age peculiarities of interaction of motor and cognitive brain systems while processing information of different modality and complexity // Regulatory Mechanisms in Biosystems. – 2019. - 10 (3). - P. 288- 294. <https://doi.org/10.15421/021944> (WOS). *(Здобувач формував ідею, проводив експериментальне дослідження, здійснював статистичну обробку результатів, приймав участь в обговоренні, готував статтю до друку. Інші автори підбирали необхідні методи дослідження, приймали участь у обговоренні результатів та у формулюванні висновків).*
4. Lyzohub V, Kozhemiako T, Palabiyik A., Khomenko S, Bezcopylna S. Processing information in the go/nogo/go paradigm: interactions between cognitive function and

the autonomic nervous system. Health Prob Civil, 2020; 14(1): 53-62. <https://doi.org/10.5114/hpc.2020.93294> (WOS). *(Здобувачем виконано аналіз літератури по проблемі, проведено весь обсяг експериментальних досліджень, йому належить участь в аналізі результатів та написанні статті. Інші автори, формували ідею та дизайн дослідження, здійснювали статистичну обробку, приймали участь в обговоренні результатів).*

Публікації, які засвідчують апробацію дисертації

1. В. С. Лизогуб, Н. П. Черненко, А. А. Палабийик, С. В. Безкопильна Спосіб визначення розумової працездатності за умови переробки інформації з різною швидкістю пред'явлення подразників //Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки». – 2018. - № 1. Черкаси. 2018. с. 70-80. Copernicus. *(Особистий внесок здобувача – проведення досліджень, статистична обробка результатів, аналіз та формування висновків. Інші автори опрацьовували дані літератури, приймали участь в обговоренні та підготовці матеріалів до друку).*
2. Лизогуб В. С., Черненко Н. П., Кожемяко Т. В. Палабийик А. А., Безкопильна С. В. Дослідження функціональних резервів розумової працездатності // Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки., 2018, 8, (381), с. 102 - 107. Copernicus. *(Здобувач особисто проводив пошук матеріалів по проблемі в літературі, проводив експериментальне дослідження, статистичну обробку результатів, написання статті, а інші автори приймали участь у підготовці матеріалів до друку та їх обговоренні).*
3. В. С. Лизогуб, М. В. Макаренко, Н. П. Черненко, В. А. Пустовалов, Т. В. Кожемяко, А. А. Палабийик, С. В. Безкопильна Методика дослідження розумової працездатності з поетапним підвищенням та зниженням швидкості пред'явлення подразників // Адаптаційні можливості дітей та молоді. Матеріали 12-й Міжнародної науково-практичної конференції, Одеса, 13-14.09.2018, с.151-154. *(Автором отримано експериментальні дані, здійснено аналіз і підготовлено*

матеріал до друку, підготував слайди та виступив на конференції. Інші автори здійснили пошук матеріалів по проблемі, формували дизайн дослідження, приймали участь в обговоренні результатів дослідження).

4. Лизогуб В. С., Пустовалов В. О., Черненко Н. П., Палабийик А. А., Безкопильна С. В. Переробка інформації в парадигмі go/pogo/go з поетапним підвищенням та зниженням швидкості пред'явлення подразників// Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми фізичної культури, спорту, фізичної терапії та ерготерапії: біомеханічні, психофізіологічні, та метрологічні аспекти», 05.2018 р. Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 17.05.2018р, - 93-94 с. *(Автором отримано експериментальні дані, здійснено аналіз і підготовлено матеріал до виступу та друку. Інші автори здійснили пошук матеріалів по проблемі, формували методiku досліджень та приймали участь в обговоренні результатів дослідження та формулюванні висновків).*

5. Черненко Н. П., Хоменко С. М., Палабийик А. А. Закономірності формування резервних можливостей психофізіологічних функцій в онтогенезі. 20-й З'їзд Українського фізіологічного товариства 27-30 травня, 2019 р. // Фізіологічний журнал, 2019, Т.65, №3, 66 с. *(Автором отримано експериментальні дані, здійснено статистичний аналіз і підготовлено матеріал до друку, підготовлено слайди та виступ на з'їзді. Інші автори приймали участь в обговоренні результатів, готували матеріал до друку).*

6. Черненко Н. П., Палабийик А. А., Пуствалов В. О, Шпанюк В. В. Спосіб визначення та оцінка розумової працездатності за умови переробки інформації різної модальності / Матеріали чергового VIII з'їзду Українського біофізичного товариства Київ – Луцьк, 12-15 листопада 2019 року. – 30 с. *(Здобувач сформулював ідею дослідження, здійснив аналіз літератури, отримав експериментальні дані, підготовлено матеріал до друку та виступу на з'їзді. Інші автори, проводили статистичну обробку результатів, приймали участь в обговоренні та формулюванні висновків).*

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

1. Yildirim A. K., Palabiyik A. A. The investigation of effects of exercise on total oxidant and total antioxidant status parameters in the rat liver with experimental thyroid dysfun // Вісник Черкаського університету. Серія «Біологічні науки». – 2017. - № 2. – С. 62 - 67. Copernicus *(Особистий внесок здобувача – проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, аналіз і формування висновків, написання статті. Інші автори, приймали участь в обговоренні та формулюванні висновків).*
2. Лизогуб В. С., Черненко Н. П., Пустовалов В. О., Кожемяко Т. В., Палабийик А.А., Хоменко С.Н. Возрастные особенности функциональной организации мозговых механизмов переработки информации // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. 2018. Issue 157. P. 30-34. Copernicus *(Здобувач провів пошук літератури по проблемі, сформував робочу гіпотезу, підібрав методи та провів експериментальне дослідження, провів статистичну обробку результатів. Інші автори проводили паралельні дослідження на подразника різної модальності,).*
3. В. С. Лизогуб, Н. П. Черненко, А. А. Палабийик, С. В. Безкопильна Розумова працездатність дітей 8-9 років при пред'явленні подразників різної модальності та швидкості в режимі go/nogo/go // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. 2018. Issue 179. P.50-55. Copernicus *(Здобувач сформулював ідею дослідження, здійснив аналіз літератури, отримав експериментальні дані, підготовлено матеріал до друку. Інші автори, проводили статистичну обробку результатів, приймали участь в обговоренні та формулюванні висновків).*

ДОДАТОК Б

ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

№ з/п	Назва конференції	Форма участі
1	Адаптаційні можливості дітей та молоді. Матеріали 12-й Міжнародної науково-практичної конференції, Одеса, 13-14.09.2018.	Доповідь, Публікація
2	Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми фізичної культури, спорту, фізичної терапії та ерготерапії: біомеханічні, психофізіологічні, та метрологічні аспекти», 05.2018 р. Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 17.05.2018 р.	Доповідь, Публікація
3	20-й З'їзд Українського фізіологічного товариства, Київ, 27-30 травня, 2019 р.	Доповідь, Публікація
4	Матеріали чергового VIII з'їзду Українського біофізичного товариства Київ – Луцьк, 12-15 листопада 2019 року.	Доповідь Публікація

ДОДАТОК В



1. **Найменування пропозиції до впровадження:** «Взаємодія центральної та автономної нервової систем за умови переробки інформації різної складності та модальності»
2. **Установа:** Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького, кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації
3. **Джерела інформації:**
 1. Лизогуб В. С., Черненко Н. П., Кожемяко Т. В., Палабийник А. А., Безкопильна С. В. Дослідження функціональних резервів розумової працездатності // Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки, 2018, 8, (381), с. 102 - 107.
 2. Лизогуб В. С., Пустовалов В. О., Черненко Н. П., Палабийник А. А., Безкопильна С. В. Переробка інформації в парадигмі go/no-go з поетапним підвищенням та зниженням швидкості пред'явлення подразників// Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми фізичної культури, спорту, фізичної терапії та ерготерапії: біомеханічні, психофізіологічні, та метрологічні аспекти», 05.2018 р. Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 17.05.2018р, - 93-94 с.
 3. Черненко Н. П., Хоменко С. М., Палабийник А. А. Закономірності формування резервних можливостей психофізіологічних функцій в онтогенезі. 20-й З'їзд Українського фізіологічного товариства 27-30 травня, 2019 р. // Фізіологічний журнал, 2019, Т.65, №3, 66 с.
4. **Де та коли впроваджено:** На кафедрі фізіології з основами біоетики та біобезпеки Тернопільського державного медичного університету ім. І. Я Горбачевського в лекційному курсі та при проведенні практичних занять з розділів «Нейрогуморальна регуляція фізіологічних функцій організму» і «Вища нервова діяльність».
5. **Результати впровадження:** Впровадження результатів дослідження сприятиме оновленню теоретичних і методичних поглядів на проблему фізіологічних механізмів забезпечення переробки інформації різної складності та модальності у юнаків.
6. **Термін впровадження:** 2021 р.
7. **Базова установа, яка проводить впровадження:** Кафедра фізіології з основами біоетики та біобезпеки Тернопільського державного медичного університету ім. І. Я. Горбачевського
8. **Зауваження та пропозиції:** не вносились.

Відповідальний за впровадження:
завідувач кафедри фізіології
з основами біоетики та біобезпеки
ДВНЗ «Тернопільський державний
медичний університет
імені І. Я. Горбачевського МОЗ України»,
заслужений діяч науки і техніки України,
д.мед.н., професор

С.Н. Вадзюк

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор

з наукової роботи

Запорізького національного університету

Міністерства освіти і науки України

д-ст.н., проф. Васильчук Г. М.

2021 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

матеріалів дисертаційної роботи

здобувача Палабийника Ахмета Альперена

1. → **Найменування пропозиції до впровадження:** «Взаємодія центральної та автономної нервової систем за умови переробки інформації різної складності та модальності».
2. → **Установа:** Черкаський національний університет імені Б. Хмельницького, кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації.
3. → **Джерела інформації:**
 1. Лизогуб В.С., Черненко Н.П., Кожемяко Т.В., Палабийник А.А., Безкопильна С.В. Дослідження функціональних резервів розумової працездатності // Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки., 2018, 8, (381), с. 102-107.
 2. Лизогуб В.С., Пустовалов В.О., Черненко Н.П., Палабийник А.А., Безкопильна С.В. Переробка інформації в парадигмі go/nogo/go з поетапним підвищенням та зниженням швидкості пред'явлення подразників // Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Актуальні проблеми фізичної культури, спорту, фізичної терапії та ерготерапії: біомеханічні, психофізіологічні, та метрологічні аспекти», 05.2018 р. Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, 17.05.2018р., -93-94 с.
 3. Черненко Н.П., Хоменко С.М., Палабийник А.А. Закономірності формування резервних можливостей психофізіологічних функцій в онтогенезі. 20-й З'їзд Українського фізіологічного товариства 27-30 травня, 2019 р. // Фізіологічний журнал, 2019, Т.65, №3, 66 с.
4. → **Де та коли впроваджено:** На кафедрі медико-біологічних основ фізичної культури та спорту Запорізького національного університету в лекційному курсі та при проведенні практичних занять з розділів «Вікова анатомія та фізіологія» і «Нормальна фізіологія».
5. → **Результати впровадження:** Впровадження результатів дослідження сприятиме оновленню теоретичних і методичних поглядів на проблему фізіологічних механізмів забезпечення переробки інформації різної складності та модальності у юнаків.
6. → **Термін впровадження:** 2021 р.
7. → **Базова установа, яка проводить впровадження:** Кафедра медико-біологічних основ фізичної культури та спорту Запорізького національного університету.
8. → **Зауваження та пропозиції:** не вносились.

Відповідальний за впровадження:
завідувач кафедри медико-біологічних
основ фізичної культури та спорту
Запорізького національного університету,
к.б.н., доцент

А. О. Кузнецов