

DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.1.2022.42-56>
УДК: 616.714.1



Можливості ОФЕКТ головного мозку з перфузійними радіофармапрепаратами для кількісної оцінки когнітивних змін пацієнтів із гіпертензивною енцефалопатією

Ніколов М.О.^{1,2}, ORCID: 0000-0001-8716-6254, e-mail nikolka_@ukr.net
Залісна Ю.Д.³, ORCID: 0000-0002-0726-0249, e-mail zyulianna@gmail.com
Новікова Т.Г.^{4,5}, ORCID: 0000-0002-8952-7049, e-mail novikova_tg@ukr.net
Макеєв С.С.⁵, ORCID: 0000-0001-9068-508X, e-mail usnm@ukr.net
Дученко А.В.¹, ORCID: 0000-0002-6631-7217, e-mail aduchenko-ee24@iil.kpi.ua

¹Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки, м. Київ, Україна

²Державна установа «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

³Медична неврологічна клініка «Берн-Ю-Мед», м. Київ, Україна

⁴Державна установа «Інститут нейрохірургії імені академіка А.П. Ромоданова Національної академії медичних наук України», м. Київ, Україна

⁵Кафедра ядерної медицини, радіаційної медицини, радіаційної онкології та радіаційної безпеки «Національного університету охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ, Україна

Possibilities of brain SPECT with perfusion radiopharmaceuticals for the quantitative assessment of cognitive changes in patients with hypertensive encephalopathy

Nikolov M.O.^{1,2}, ORCID: 0000-0001-8716-6254, e-mail nikolka_@ukr.net
Zalisna Yu.D.³, ORCID: 0000-0002-0726-0249, e-mail zyulianna@gmail.com
Novikova T.G.^{4,5}, ORCID: 0000-0001-8916-3233, e-mail novikova_tg@ukr.net
Makeyev S.S.⁵, ORCID: 0000-0001-9068-508X, e-mail usnm@ukr.net
Duchenko A.V.¹, ORCID: 0000-0002-6631-7217, e-mail aduchenko-ee24@iil.kpi.ua

¹National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²State Institution «Kundiiev Institute of Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

³Medical Clinic «Bern-Yu-Med», Kyiv, Ukraine

⁴State Institution «Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

⁵Department of Nuclear Medicine, Radiation Medicine, Radiation Oncology and Radiation Safety of «Shupuk National Healthcare University of Ukraine of the Ministry of Health of Ukraine», Kyiv, Ukraine

Ключові слова:

головний мозок, перфузія, ^{99m}Tc-ГМПАО, внутрішньопівкульова симетрія, гіпертензивна енцефалопатія, машинне навчання, нейропсихологічне тестування, когнітивні функції.

РЕЗЮМЕ

Актуальність. Судинні захворювання головного мозку (ГМ), що призводять до енцефалопатичних розладів – значима медико-соціальна проблема. Основним клінічним інструментом діагностики когнітивних порушень є нейропсихологічне тестування (НПТ). Недоліками такого тестування є надто велика кількість різних тестів, які застосовуються у клінічних закладах, що вкрай ускладнює співставлення даних; при моніторингових дослідженнях пацієнти мають можливість навчатися відповідям і в подальшому вільно чи невільно спотворювати результати; також існує можливість необ'єктивного впливу на результати досліджень і з боку лікаря, що проводить тестування. Тому розробка методик оцінки нейропсихологічного та когнітивного стану пацієнтів на основі об'єктивних даних є актуальною задачею. Крім того, на даний час залишаються не зовсім вирішені питання, які сегменти головного мозку прямо чи опосередковано впливають на ту чи іншу когнітивну функцію.

Мета роботи – розробити методику оцінки показників нейропсихологічного тестування хворих на атеросклеротичну гіпертензивну енцефалопатію (АТГЕ) на основі даних однофотонної емісійної комп'ютерної томографії (ОФЕКТ) з перфузійними радіофармапрепаратами (РФП).

Матеріали та методи. Проаналізовано дані НПТ та ОФЕКТ 20 пацієнтів з клінічним діагнозом атеросклеротична гіпертензивна енцефалопатія. Основними методиками

Для кореспонденції:

Ніколов Микола Олександрович
Державна установа «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва Національної академії медичних наук України»;
вул. Саксаганського, буд. 75, м. Київ, Україна, 01033;
e-mail: nicholay.nikolov@gmail.com;
nikolka_@ukr.net

© *Ніколов М.О., Залісна Ю.Д.,
Новікова Т.Г., Макеєв С.С.,
Дученко А.В., 2022*

НПТ були тести: Монтомєри – Асберга (MADRS), тривоги Гамільтона (HARS), Шюльте (SchulteTable), О. Лурія (O. Luria). Томографічні зображення ГМ були отримані на гамма-камері «E. Cam» (Siemens) з використанням перфузійного ліпофільного радіофармапрепарату (РФП) ^{99m}Tc -гексаметилпропіленаміноксимом (^{99m}Tc -ГМПАО). Обробка та аналіз сцинтиграфічних зображень проводились в оригінальному програмному забезпеченні «ScintiBrain», що реалізовано в середовищі Matlab-2018. Кількісними характеристиками накопичення та просторового розподілення РФП в ГМ були: питоме накопичення РФП (Upt) та параметр внутрішньопівкульової симетрії (ВПС) перфузії в сегментах ГМ. На основі машинного навчання, який за своєю суттю можна віднести до регресійних методів, дані НПТ співставлялись з відношеннями Upt та ВПС між різними сегментами мозку.

Результати та їх обговорення. У результаті машинного навчання із 190 відношень Upt та ВПС між різними сегментами ГМ з показниками НПТ були виділені відношення, найбільш інформативні з точки зору регресійного аналізу. Незалежність Upt та ВПС дає можливість підвищити точність розрахунків показників НПТ шляхом алгебраїчного усереднення розрахунків за відношеннями Upt та ВПС.

Результати машинного навчання як за значеннями Upt, так і ВПС, мали один порядок кореляційних зв'язків та середньоквадратичну похибку з тестами.

Коефіцієнт кореляції лінійної апроксимації значень між даними ОФЕКТ та НПТ знаходився в межах 0,75–0,93 ($p < 0.01$), що відповідало середній відносній похибці розрахунків показників тестів від 7–22%.

Висновки. Вперше розроблено методику кількісної оцінки нейропсихологічного та когнітивного стану пацієнтів на основі об'єктивного методу дослідження, а саме ОФЕКТ. Відносна похибка розрахунків еквівалентних значень НПТ знаходиться в межах 7–22%. При цьому показано, що нейропсихологічний та когнітивний стан пацієнтів, зокрема хворих на АТГЕ за аналізом ефективної перфузії ГМ відповідає не один конкретний сегмент мозку, а ансамбль з трьох взаємовідношень накопичення РФП виділених певних зонах інтересу. Наявність достатньо високої кореляції між даними НПТ та показниками питомого накопичення РФП і ВПС в сегментах ГМ свідчить, що нейропсихологічний та когнітивний стан пацієнта залежить не тільки від інтенсивності накопичення РФП в мозку, а і від просторового його розподілення.

Для цитування:

Ніколов М.О., Залісна Ю.Д., Новікова Т.Г., Макеєв С.С., Дученко А.В. Можливості ОФЕКТ головного мозку з перфузійними радіофармапрепаратами для кількісної оцінки когнітивних змін пацієнтів із гіпертензивною енцефалопатією. *Український радіологічний та онкологічний журнал*. 2022. Т. 30. № 1. С. 42–56. DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.1.2022.42-56>

Key words:

brain, perfusion, ^{99m}Tc -HMPAO, intrahemispheric symmetry, hypertensive encephalopathy, machine learning, neuropsychological test, cognitive functions.

For correspondence:

Nikolov Mykola Oleksandrovych
State Institution «Kundiiev Institute of Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»;
75, Saksagansky Str., Kyiv, Ukraine, 01033;
e-mail: nicholay.nikolov@gmail.com;
nikolka_@ukr.net

© *Nikolov M.O., Zalisna Yu. D.,
Novikova T.G., Makeyev S.S.,
Duchenko A.V., 2022*

ABSTRACT

Background. Vascular diseases of the brain, which lead to encephalopathy, are a significant medical and social problem. The main clinical tool for diagnosing cognitive impairments is a neuropsychological testing. Its disadvantages are a big number of different tests, which are used in clinical institutions, and thus, make it extremely complicated to compare the data; in monitoring studies, patients can learn answers, which somewhat distorts the results; there is also a possibility of a non-objective doctor's impact on the results of the conducted test. Therefore, the development of methods for assessing the neuropsychological and cognitive state of patients based on objective data is an urgent task. Besides, to this date, it is not completely known which segments of the brain directly or indirectly affect this or that cognitive function.

Purpose – to develop a methodology for assessing the scores of neuropsychological testing (NPT) in patients with atherosclerotic hypertensive encephalopathy (ATHE) based on data from single-photon emission computed tomography (SPECT) with perfusion radiopharmaceuticals (RPh).

Materials and Methods. NPT and SPECT data of twenty patients with clinical diagnosis of atherosclerotic hypertensive encephalopathy were analyzed. The principal scales used during the study were the following: Montgomery – Asberg Depression Rating Scale (MADRS), Hamilton Anxiety Rating Scale (HARS), Schulte Table, O. Luria. Tomographic images of the brain were obtained on the gamma camera «E. Cam» (Siemens) using perfusion lipophilic radiopharmaceutical ^{99m}Tc -hexamethylpropyleneamineoxime (^{99m}Tc -HMPAO). Processing and analysis of the scintigraphic images were conducted in the original software «ScintiBrain», which is implemented in the Matlab-2018 environment. The quantitative characteristics of accumulation and spatial distribution of RPh in the brain were: specific accumulation of RPh (Upt) and parameter of intrahemispheric symmetry (IHS) of perfusion in the brain segments. Based on machine learning method, which can be attributed to regression methods, NPT data were compared with the ratio of Upt and IHS between different segments of the brain

Results. As a result of the analysis (machine learning) of 190 Upt and IHS ratios between different segments of the brain with NPT values, the most informative ratios in terms of regression analysis were highlighted. The independence of Upt and IHS makes it possible to increase the accuracy of calculations of NPT values by algebraic averaging of calculations by Upt and IHS ratios.

Machine learning results by both Upt and IHS values had one order of correlation and a mean squared error in the tests.

The correlation coefficient of linear approximation of values between the SPECT and NPT data was in the range of 0.75–0.93 ($p < 0.01$), which corresponded to the average relative error in calculations of test values from 7–22%.

Conclusions. For the first time, a method of quantitative assessment of the neuropsychological and cognitive state of patients was developed on the basis of an objective research method, namely SPECT. The average relative error in calculations of equivalent values of NPT was in the range of 7 – 22%. At the same time, it was shown that the neuropsychological and cognitive state of patients, in particular patients with ATHE, according to the analysis of effective brain perfusion, didn't correspond to one specific segment of the brain, but instead to a group of three interrelations of RPh accumulation in the highlighted regions of interest. The presence of a sufficiently high correlation between the NPT data and the indicators of the specific accumulation of RPh and the IHS in the brain segments showed that the neuropsychological and cognitive state of the patient depended not only on the level of accumulation of RPh in segments, but also on its spatial distribution.

For citation:

Nikolov MO, Zalisna YuD, Novikova TG, Makeyev SS, Duchenko AV. Possibilities of brain SPECT with perfusion radiopharmaceuticals for the quantitative assessment of cognitive changes in patients with hypertensive encephalopathy. *Ukrainian journal of radiology and oncology*. 2022;30(1):42–56. DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.1.2022.42-56>

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Робота виконана в рамках планової науково-дослідної роботи Державної установи «Інститут нейрохірургії імені академіка А.П. Ромоданова Національної академії медичних наук України» «Вивчити структурні і функціональні порушення центральної нервової системи в проміжному та віддаленому періодах бойової вибухової легкої черепно-мозкової травми» (номер державної реєстрації 0117U004278) з використанням даних науково-дослідної роботи кафедри неврології та рефлексотерапії Національної медичної академії післядипломної освіти імені П.Л. Шупика Міністерства охорони здоров'я України «Неврологічні, нейропсихологічні, нейровізуалізаційні характеристики у хворих на гіпертензивну енцефалопатію» (номер державної реєстрації 0110V005690), що увійшли в дисертаційну роботу на здобуття наукового ступеня кандидата медичних наук Залісної Ю.Д. на тему «Неврологічні, нейропсихологічні, нейровізуалізаційні характеристики у хворих на гіпертензивну енцефалопатію», 2015 р., м. Київ.

Relationship with academic programs, plans and themes

The study was performed within the framework of the research project at the State Institution «Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» «To analyze the structural and functional impairments of central nervous system in interim and long-term periods of a blast-induced mild traumatic brain injury». State registration number 0117U004278 using the data of the research project of Department of Neurology and Reflexology of Shupyk National Healthcare University of Ukraine of the Ministry of Health of Ukraine «Neurological, neuropsychological, neurovisual characteristics of the patients with hypertensive encephalopathy» (state registration number 0110V005690) which were included in the dissertation of Zalisna Yu.D. for the degree «Candidate of Medical Sciences» on the topic «Neurological, neuropsychological, neurovisual characteristics of the patients with hypertensive encephalopathy», 2015, Kyiv.

ВСТУП

Судинні захворювання головного мозку (ГМ), що призводять до енцефалопатичних розладів, є значимою медико-соціальною проблемою. Вважається, що до найбільш вагомих факторів, які призводять до нейропсихологічних та когнітивних змін, є хронічні порушення кровообігу центральної нервової системи, артеріальна гіпертензія, атеросклероз, цукровий діабет, кардіологічна патологія, патології крові та ін. [1]. При цьому, під час прогресування хвороби спостерігаються дифузні та вогнищеві зміни мозку [2, 3]. Високоінформативним методом діагностики порушень гемодинаміки при таких змінах є однофотонна емісійна комп'ютерна томографія (ОФЕКТ) [4–6]. Однак, слід враховувати, що гіпертензивна енцефалопатія – це не тільки вогнищеві зміни тканин мозку. Порушення мікроциркуляції крові та відповідної церебральної функції спостерігаються у мозку в цілому [7–9].

INTRODUCTION

Vascular diseases of the brain, which lead to encephalopathy, are a significant medical and social problem. The most significant factors that cause neuropsychological and cognitive changes are thought to be: chronic blood circulation disorder of central nervous system, arterial hypertension, atherosclerosis, diabetes mellitus, cardiac pathology, blood pathologies, etc. [1]. At the same time, diffuse and focal changes in the brain are observed during the progression of the disease [2, 3]. In such cases, single-photon emission computed tomography (SPECT) is a high-informative method for diagnosing the hemo-dynamic disorders [4 – 6]. However, it should be taken into account that hypertensive encephalopathy is not only focal changes in the brain tissues. The disruption of blood microcirculation and respective cerebral functions are observed in the brain in general [7 – 9].

Церебральна ОФЕКТ рекомендована пацієнтам з енцефалопатіями для оцінки поширеності ураження ГМ. При виявленні вогнищевих змін таке дослідження стає показовим в оцінці ефективності терапії та нормалізації ефективної перфузії. Також перфузійні зображення ОФЕКТ ГМ є інформативними і при додементних розладах [10]. Так в [10] відзначається статистичний взаємозв'язок між показниками накопичення радіофармпрепарату (РФП) в структурно-функціональних блоках за О. Лурія з типом додементних когнітивних розладів.

Основним клінічним інструментом діагностики когнітивних порушень є нейропсихологічне тестування (НПТ) [11, 12]. Хоча, слід відзначити й можливості електроенцефалографії [13]; інтенсивно розвиваються методики функціональної магнітно-резонансної томографії (фМРТ), які дають можливість оцінити конективності мозку – сумісність компонентів системи, їх синхронізації [14]. Недоліками НПТ є надто велика сукупність різних тестів, які використовуються в клінічних закладах, що вкрай ускладнює співставлення даних; при моніторингових дослідженнях пацієнти спроможні навчитися надавати свідомо чи несвідомо неправильні відповіді й спотворити результати тестів. Крім того, всі тести, навіть якщо вони спрямовані на діагностику конкретної когнітивної функції, так чи інакше активують цілий спектр різних груп нейронів, які «опосередковано» залучаються до процесів. Іншими словами, НПТ не дозволяє об'єктивно визначити фізіологічно-обумовлені причини когнітивних змін. Тому була поставлена задача оцінити можливість кількісної оцінки когнітивних порушень, що еквівалентні основним тестам НПТ, на основі аналізу зображень ОФЕКТ ГМ з перфузійними препаратами.

Мета роботи – розробити методику оцінки показників нейропсихологічного тестування хворих з АТГЕ на основі даних ОФЕКТ з перфузійними радіофармпрепаратами, зокрема з ^{99m}Tc -гексаметилпропіленаміноксимом (^{99m}Tc -ГМПАО).

Cerebral SPECT is recommended for patients with encephalopathy for assessing the brain lesion spread. In cases of focal changes, this examination becomes demonstrative in assessment of the efficacy of the therapy and normalization of effective perfusion. Perfusion CT images of the brain are also informative in the cases of predementia disorders [10]. Indeed, in [10] statistical connection between the indicators of radiopharmaceutical (RPh) accumulation in structural functional blocks according to O. Luria and the type of predementia cognitive disorders are observed.

The main clinical tool for diagnosing cognitive impairments is a neuropsychological test (NPT) [11, 12]. But the possibilities of electroencephalography are also worth mentioning [13], as well as rapidly developing methods of functional MRI, which make it possible to estimate the brain connectivity – compatibility of system components, their synchronization [14]. The disadvantages of NPT are a too big number of different tests, which are used in clinical institutions, and thus, make it extremely complicated to compare the data; in monitoring studies, patients can learn answers, which somewhat distorts the results. Moreover, no matter if the test is aimed at diagnostics of a certain cognitive function, all of them somehow activate the whole range of different groups of neurons which get «indirectly» involved in the processes. In other words, NPT doesn't allow physiologically caused reasons of cognitive changes to be determined. Therefore, we set a task of estimating the possibility of quantitative assessment of cognitive impairments which are equivalent to the main NPT on the basis of the analysis of SPECT brain images with perfusion radiopharmaceuticals.

Objective – of the study was to develop methodology for assessing the scores of NPTs in patients with atherosclerotic hypertensive encephalopathy (ATHE) based on data from SPECT with perfusion radiopharmaceuticals, in particular with ^{99m}Tc -hexamethylpropyleneamineoxime (^{99m}Tc -HMPAO).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

MATERIALS AND METHODS

Пацієнти

Було обстежено 20 пацієнтів віком 45 – 60 років з діагнозом атеросклеротична гіпертензивна енцефалопатія (АТГЕ) II стадії з тривалістю захворювання $9 \pm 4,2$ років. Середній вік обстежених становив $53,1 \pm 2,5$ року. Діагноз встановлювався з урахуванням характеристики клініко-неврологічного синдрому відповідно до класифікації судинних захворювань головного мозку, рекомендованої МКБ-10. Всім хворим проводили такі дослідження: клініко-неврологічне обстеження в динаміці, нейропсихологічне тестування, оцінювали артеріальний тиск за даними добового моніторингу, магнітно-резонансну томографію ГМ, ультразвукове дуплексне сканування судин голови і шиї, лабораторні дослідження, ОФЕКТ головного мозку.

Нейропсихологічне тестування

У відповідності до мети в роботі співставляються дані ОФЕКТ з такими методиками НПТ:

– MADRS – шкала Монтгомери–Асберга для оцінки депресії (Montgomery–Asberg Depression Rating Scale);

Patients

20 patients aged from 45 to 60 years with stage 2 ATHE were examined. The disease duration was $9 \pm 4,2$ years and the average age of the patients – $53,1 \pm 2,5$ years. The diagnosis was established, taking into account the characteristics of clinical neurological syndrome according to the classification of vascular diseases of the brain, recommended by ICD-10. Every patient underwent the following examinations: a clinical neurological dynamic examination, a neuropsychological test, magnetic resonance imaging of the brain, ultrasound duplex scanning of head and neck vessels, laboratory examinations, brain SPECT imaging. Arterial pressure was assessed according to the data of daily monitoring.

Neuropsychologic testing

In accordance with the purpose of the work the SPECT data were correlated with the following NPT methods:

– MADRS (Montgomery–Asberg Depression Rating Scale) – a scale for measuring the severity of depression;

– HARS – шкала тривоги Гамільтона (The Hamilton Anxiety Rating Scale) – клінічна рейтингова шкала, призначена для оцінки тривожних розладів пацієнта;

– таблиці Шульте (Schulte Table) – дослідження швидкості переключення уваги, працездатності. Методика дослідження передбачає виконання п'ятьох тестів Шульте, що дозволяє прослідкувати вплив втоми на увагу. Тому, крім результатів безпосереднього окремого тестування ($Sh_1, Sh_2, Sh_3, Sh_4, Sh_5$) розраховувався узагальнений показник – середнє значення балів тестів (Sh_{av});

– методика запам'ятовування десяти слів за О. Лурія (O. Luria) – спрямована на визначення об'єму короткочасної і відстроченої пам'яті. Цей тест також передбачає дослідження впливу втоми на результат, тому тестування виконувалось сім разів послідовно ($L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6, L_7$). В якості узагальненого показника оцінки пам'яті використовували сумарне значення балів (кількості слів, що запам'ятав пацієнт) всіх тестів ($L_{\Sigma 7}$).

З метою інтегральної кількісної оцінки рівня когнітивних порушень використовували узагальнений показник тесту Шульте – Лурія (G_1) і MADRS – HARS (G_2) [15]:

$$G_1 = \sqrt{(Sh / Sh_0)^2 + (L_0 / L)^2}, \quad (1)$$

$$G_2 = \sqrt{MADRS^2 + HARS^2}, \quad (2)$$

де Sh – середній час проходження пацієнтом тестів Шульте, Sh_0 – ідеалізований час проходження тестів Шульте (30 с), $L_{\Sigma 7}$ – сумарна кількість слів, що запам'ятав пацієнт за сім тестів Лурія, L_0 – ідеалізована кількість слів, що повинен запам'ятати пацієнт за сім тестів Лурія (70 слів), MADRS і HARS – бальна оцінка відповідних тестів.

Пацієнти проходили також НПТ за методиками:

– MMSE – Коротка шкала оцінки психічного статусу (Mini-Mental State Examination)

– FAB – Тест батарейної лобної дисфункції (Frontal Assessment Battery), що розроблений для виявлення деменції з переважним ураженням лобних часток чи підкіркових утворень мозку. Відмітимо, що за даними ОФЕКТ далеко не завжди спостерігались достовірні ознаки зміни перфузії цих часток;

– ТБН – тест балансування на одній нозі;

– HADS – Госпітальна шкала тривоги та депресії (Zigmond A.S. і Snaith R.P.). Шкала розроблена для виявлення та оцінки тяжкості депресії і тривоги;

– CLOCK – тест малювання годинника – хворого просять намалювати годинник. Тест використовується для диференціальної діагностики деменції лобового типу і при ураженні підкоркових структур від альцгеймерівського.

Однак останні тести були критеріями формування групи хворих, тому регресійний аналіз між даними тестами та зображеннями ОФЕКТ малоінформативний та непередставлений в даній роботі.

Узагальнені характеристики пацієнтів за зазначеними даними НПТ наведено в табл. 1.

ОФЕКТ зображення

Сцинтиграфічні дослідження ГМ проводили на гамма-камері «E. Cam» (Siemens) з коліматором LEHR через 15–20 хвилин після введення ^{99m}Tc -ГМПАО. Томографічне дослідження включало збір 128 проекцій для матриці 128×128 (3 пацієнти) або 64 проекції для матриці 64×64 (17 пацієнтів); введена активність РФП становила 740 МБк.

– HARS (Hamilton Anxiety Rating Scale) – a clinical rating scale for measuring the severity of anxiety symptoms in patients;

– Schulte Table – an attention switching test, performance capability. This method consists of five Schulte tests which allow the influence of fatigue on the attention to be observed. Therefore, along with the results of immediate separate testing ($Sh_1, Sh_2, Sh_3, Sh_4, Sh_5$), the generalized value – the average score of the tests (Sh_{av}) was calculated;

– O. Luria's 10-word memory test. It is aimed at estimating the volume of short-term and long-term memory. This test includes the examination of fatigue influence on the result, so it was performed seven consecutive times ($L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6, L_7$). The total score value (a number of words, remembered by a patient) of all the tests ($L_{\Sigma 7}$) was used as a generalized indicator of memory assessment.

For the purpose of integral quantitative assessment of the degree of cognitive impairments, the generalized indicator of Schulte-Luria test (G_1) and MADRS - HARS (G_2) was used [15]:

$$G_1 = \sqrt{(Sh / Sh_0)^2 + (L_0 / L)^2}, \quad (1)$$

$$G_2 = \sqrt{MADRS^2 + HARS^2}, \quad (2)$$

where Sh is average time of Schulte test completion by the patient, Sh_0 is an ideal time of Schulte test completion (30 s), $L_{\Sigma 7}$ is a total number of words, remembered by the patient in seven Luria tests, L_0 is an ideal number of words that the patient should remember in 7 Luria tests (70 words), MADRS and HARS – the score of respective tests.

The patients also underwent NPT according to the following methods:

– MMSE (Mini-Mental State Examination);

– FAB (Frontal Assessment Battery), which was developed for detecting dementia with prevalent disorders of frontal lobe or subcortex of the brain. According to the SPECT data, the adequate signs of perfusion change in these lobes weren't always observed;

– Single Leg Stance Test;

– HADS (Hospital Anxiety and Depression Scale), which was developed by Zigmond A.S. and Snaith R.P. to detect and measure the severity of depression and anxiety;

– CLOCK – the clock-drawing test in which the patient is asked to draw a clock. The test is used for differential diagnosis of dementia of frontal lobe and in the cases of disorders of subcortex structures – of Alzheimer's disease.

However, the latter tests were the criteria for the formation of the group of patients, therefore regression analysis between these tests and SPECT image is uninformative and is not presented in this work.

General characteristics of the patients according to the mentioned NPT data are given in Table 1.

SPECT images

Scintigraphic examinations of the brain were performed on the gamma camera «E. Cam» (Siemens) with LEHR collimator 15–20 minutes after ^{99m}Tc -HMPAO administration. Tomographic examination included the collection of 128 projections for 128×128 matrix (3 patients) or 64 projections for 64×64 matrix (17 patients); the injected radiopharmaceutical activity amounted to 740 MBq.

Таблиця 1. Загальна характеристика хворих на АТГЕ за даними НРТ
Table 1. General characteristics of the patients with ATHE according to NPT data

Тест Test	Середні значення $M \pm \sigma$ [діапазон значень], бали Average values $M \pm \sigma$ [range of values], score	Тест Test	Середні значення $M \pm \sigma$ [діапазон значень], бали Average values $M \pm \sigma$ [range of values], score
MADRS	13.70 ± 7.60 [2 ÷ 30]	HARS	18.91 ± 8.56 [5 ÷ 40]
L ₁	4.46 ± 1.03 [2 ÷ 7]	Sh ₁	55.04 ± 9.03 [40 ÷ 80]
L ₂	5.30 ± 1.05 [3 ÷ 7]	Sh ₂	55,94 ± 9,96 [34 ÷ 78]
L ₃	5.80 ± 1.22 [3 ÷ 9]	Sh ₃	57,89 ± 8,87 [40 ÷ 79]
L ₄	6.11 ± 1.25 [4 ÷ 9]	Sh ₄	56.79 ± 9.72 [42 ÷ 85]
L ₅	6.30 ± 1.13 [4 ÷ 9]	Sh ₅	56.77 ± 9.98 [40 ÷ 85]
L ₆	6.11 ± 0.99 [4 ÷ 8]	Sh _{av}	56.49 ± 7.97 [42 ÷ 76.4]
L ₇	4.02 ± 0.86 [3 ÷ 6]	MMSE	26.02 ± 0.12 [25 ÷ 27]
L ₇	38.11 ± 5.41 [26 ÷ 51]	CLOCK	8.62 ± 0.57 [7 ÷ 9]
G ₁	2.67 ± 0.29 [2.17 ÷ 3.24]	TBN	3.93 ± 0.74 [2 ÷ 6]
G ₂	23.64 ± 9.88 [5 ÷ 48.83]	FAB	16.83 ± 1.58 [13 ÷ 18]

Обробка та аналіз зображень проводились у середовищі Matlab-2018 у додатку, розробленому авторами «ScintiBrain» з інтерфейсом для користувача [16].

Основними розрахунковими параметрами були внутрішньопівкульова симетрія (ВПС) мозку (θ) [17] у сегментах ГМ, та питоме накопичення РФП у сегментах:

- 1, 2 – Lobusfrontalis (R, L),
- 3, 4 – Lobusparietalis (R, L),
- 5, 6 – Lobusoccipitalis (R, L),
- 7, 8 – Lobusinsularis (R, L),
- 9, 10 – Lobustemporalis (R, L),
- 11, 12 – Nucleus (R, L),
- 13, 14 – Thalamus (R, L),
- 15, 16 – Cerebellum (R, L),
- 17, 18 – Pons (R, L),
- 19, 20 – Hemisphere (півкулі ГМ, виключаючи мозочок) (R, L),

де R, L – індекси приналежності зоні інтересу (3I) до правої чи лівої півкулі відповідно.

Питоме накопичення РФП у заданому сегменті (Upt) розраховувалось як відношення абсолютної кількості зареєстрованих гамма-імпульсів в зоні інтересу (Q) до її об'єму (V) в cm^3 :

$$Upt_i = Q_i / V_i, \quad (3)$$

де індекс i – порядковий номер сегментів ГМ (зони інтересу).

На відміну від показника ВПС, що зазначено та описано в публікаціях [12], в даній роботі для підвищення стійкості (зменшення варіабельності) розрахунку відповідного показника використовувалось нормування значення θ :

$$\theta_i^v = \frac{\theta_i}{(V_{19} + V_{20})V_i}, \quad (4)$$

де i – порядковий номер сегментів ГМ (3I); індекси «19» та «20» відповідають лівій та правій півкулям.

Використання нормування (3) та (4) дозволило зменшити варіабельність розрахунків вихідних даних: Upt – з 5–10% до 3–7%, θ – з 5–17% до 5–8%. Ці варіабельності були оцінені на основі обробки скінтиграфічних зображень пацієнтів п'ять разів без застосування автоматичного вибору параметрів згладжування та просторової орієнтації ГМ, застосовувався експертний метод оцінки якості попередньої обробки зображень.

Зазначимо, що на перших етапах дослідження замість показника Upt використовувались значення

Processing and analysis of the images were conducted in Matlab-2018 environment in the application with the user interface, created by the «ScintiBrain» developers [16].

The main calculation parameters were intrahemispheric symmetry (IHS) of the brain (θ) [17] and specific accumulation of RPh in the brain segments:

- 1, 2 – Lobus frontalis (R, L),
- 3, 4 – Lobus parietalis (R, L),
- 5, 6 – Lobus occipitalis (R, L),
- 7, 8 – Lobus insularis (R, L),
- 9, 10 – Lobus temporalis (R, L),
- 11, 12 – Nucleus (R, L),
- 13, 14 – Thalamus (R, L),
- 15, 16 – Cerebellum (R, L),
- 17, 18 – Pons (R, L),
- 19, 20 – Hemisphere (hemisphere of the brain, excluding the cerebellum) (R, L),

where R, L are the indexes of relation to the regions of interest (ROI) of the right or left hemisphere respectively.

Specific accumulation of RPh in a given segment (Upt) was calculated as ratio of absolute value of registered gamma-impulses in the region of interest (Q) to its volume (V) in cm^3 :

$$Upt_i = Q_i / V_i, \quad (3)$$

where index i is an ordinal number of the brain segments (regions of interest).

Unlike the IHS value, which is mentioned and described in the publications [12], for increasing the stability (reduction in variability) of the calculation of respective parameter, normalization of the θ value was used in this work:

$$\theta_i^v = \frac{\theta_i}{(V_{19} + V_{20})V_i}, \quad (4)$$

where i is an ordinal number of the brain segments (ROI); indexes «19» and «20» are the right and the left hemisphere respectively.

The use of normalization of (3) and (4) permitted variability of the output data calculations to be reduced: Upt – from 5 – 10% to 3 – 7%, θ – from 5 – 17% to 5 – 8%. These variabilities were estimated according to the processing of scintigraphic images of the patients five times without automatic smoothing parameters selection and spatial orientation of the brain; an expert method for assessing the quality of prior image processing was used.

It should be noted that at first stages of the research, instead of Upt , the value of volume of cerebral blood

ОМК за методиками розрахунку Лассена та за розробленим авторами методом [18, 19]. Однак, зазначені методи базуються на розрахунку співвідношення накопичення РФП в ЗІ до мозочка чи головного мозку в цілому. Тому, використання ОМК як базисного показника для реалізації наведеного в даній роботі метода недоцільно, оскільки потребує додаткових розрахунків зі своїми похибками. Особливо це стосується ОМК за методом Лассена, тому що в даному випадку, як референтна зона, використовується накопичення РФП у ЗІ «мозочок», яка має низькі кореляційні взаємозв'язки з даними НПТ.

Методика співставлення даних ОФЕКТ з НПТ

На основі розрахованих значень накопичення РФП та ВПС у ЗІ для кожного пацієнта будувалася трикутна матриця співвідношень значень U_{pt} та θ між сегментами ГМ:

$$U_k^{U_{pt}} \equiv U_{i,j}^{U_{pt}} \equiv \frac{U_i^{U_{pt}}}{U_j^{U_{pt}}} \text{ для значень } U_{pt}$$

$$i \quad U_k^{\theta} \equiv U_{i,j}^{\theta} \equiv \theta_i - \theta_j \text{ для значень ВПС}$$

де i, j – порядковий номер відношення між ЗІ;

$$i = 1 \dots (n-1), \quad j = (i+1) \dots n$$

n – кількість ЗІ ($n = 20$); k – порядковий номер відношення; N – загальна кількість відношень (для $n = 20$ $N = 190$):

$$N = \frac{(n-1)n}{2}$$

Після знаходження матриць відношень для кожного пацієнта були побудовані скатерограми між даними ОФЕКТ і результатами НПТ. Отримані скатерограми апроксимувались прямою:

$$y = ax + b,$$

де x – дані ОФЕКТ, y – результати того чи іншого тесту НПТ, a, b – коефіцієнти рівняння апроксимації.

У результаті перебору та порівняння всіх відношень показників ОФЕКТ з даними НПТ було виділено ті скатерограми, де коефіцієнти кореляції (R) між кривою апроксимації і значеннями на скатерограмі були максимальними. Таким чином, пошук найбільш оптимальних комбінацій показників ОФЕКТ, що характеризує нейрокогнітивний стан пацієнта, можна віднести до регресійних методів машинного навчання.

При цьому дані ОФЕКТ представляли собою відношення I, II, III і IV порядку, де

– відношення I порядку – безпосередні значення матриць відношень для U_{pt} чи ВПС:

$$x_k^I = U_k;$$

– відношення II порядку – геометричне середнє між U_k та U_{k+z} :

$$x_{kz}^{II} = \sqrt{(U_k)^2 + (U_{k+z})^2},$$

де $k = 1 \dots N-1$; $z = (k+1) \dots N$;

– відношення III порядку – геометричне середнє між U_k , U_{k+z} та U_{k+v}

$$x_{kzv}^{III} = \sqrt{(U_k)^2 + (U_z)^2 + (U_v)^2},$$

де $k = 1 \dots N-2$, $z = (k+1) \dots (N-1)$, $v = (z+1) \dots N$.

flow which was calculated by Lassen's method and the method developed by the authors, was used [18, 19]. However, the mentioned methods are based on calculating the ratio of RPh accumulation in ROI to the cerebellum or the brain. Therefore, using volume of cerebral blood flow as a basic value for implementation of the method given in this work, is not relevant since it requires additional calculation with its errors. In particular, Lassen's method of calculating volume of cerebral blood flow is irrelevant, because in this case RPh accumulation in ROI «cerebellum» which have low correlation relationships with NPT data, is used as a reference zone.

Method for comparing SPECT and NPT data

Based on the calculated values of RPh accumulation and IHS in ROI, a triangular matrix of ratios of U_{pt} to θ values between the brain segments was built for every patient:

$$U_k^{U_{pt}} \equiv U_{i,j}^{U_{pt}} \equiv \frac{U_i^{U_{pt}}}{U_j^{U_{pt}}} \text{ for } U_{pt} \text{ values}$$

$$\text{and} \quad U_k^{\theta} \equiv U_{i,j}^{\theta} \equiv \theta_i - \theta_j \text{ for IHS values,}$$

where i, j are ordinal numbers of ratios between ROI;

$$i = 1 \dots (n-1), \quad j = (i+1) \dots n$$

n – number of ROI ($n = 20$); k – ordinal number of ratio; N – total number of ratios (for $n = 20$ $N = 190$):

$$N = \frac{(n-1)n}{2}$$

After finding the matrices of ratios, scatterograms between SPECT data and NPT results were built for every patient. The obtained scatterograms were approximated by the line:

$$y = ax + b,$$

where x is SPECT data, y is the result of a certain test, a, b are equation approximation coefficients.

As a result of analyzing and comparing the ratios of SPECT values to NPT data, the scatterograms, in which correlation coefficients (R) between the approximation curve and values on the scatterogram were maximal, were highlighted. Thus, the search for the most optimal combinations of SPECT values that characterizes neurocognitive condition of the patients can be classified as regressional method of machine learning.

SPECT data represented relations of I, II, III and IV order, where

– relations of I order – proximate values of the matrices of ratios for U_{pt} or IHS:

$$x_k^I = U_k;$$

– relations of II order – the geometric mean between U_k and U_{k+z} :

$$x_{kz}^{II} = \sqrt{(U_k)^2 + (U_{k+z})^2},$$

where $k = 1 \dots N-1$; $z = (k+1) \dots N$;

– relations of III order – the geometric mean between U_k , U_{k+z} and U_{k+v}

$$x_{kzv}^{III} = \sqrt{(U_k)^2 + (U_z)^2 + (U_v)^2},$$

where $k = 1 \dots N-2$, $z = (k+1) \dots (N-1)$, $v = (z+1) \dots N$.

Також аналізувались значення відношень IV порядку:

$$x_{kzvm}^{IV} = \sqrt{(U_k)^2 + (U_z)^2 + (U_v)^2 + (U_m)^2}$$

де $k = 1..N - 3$, $z = (k + 1)..(N - 2)$, $v = (z + 1)..(N - 1)$, $m = (v + 1)..(N)$.

Однак останні практично в усіх випадках не показали більш точні результати розрахунків показників НРТ за даними ОФЕКТ в порівнянні з відношеннями III порядку. Тому відповідні дані в роботі не представлені.

The values of the relations of IV order were also analyzed,

$$x_{kzvm}^{IV} = \sqrt{(U_k)^2 + (U_z)^2 + (U_v)^2 + (U_m)^2}$$

where $k = 1..N - 3$, $z = (k + 1)..(N - 2)$, $v = (z + 1)..(N - 1)$, $m = (v + 1)..(N)$.

Nevertheless, the latter didn't show more accurate results of the calculation of NPT values according to SPECT data than the relations of III order in most cases. That's why the respective data are not presented in the study.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Після машинного навчання, тобто перебору всіх відношень I–III порядку для питомого накопичення РФП та ВПС в 3D й виділення найбільш інформативних відношень між сегментами, були отримані лінійні залежності між даними ОФЕКТ та НРТ з коефіцієнтами кореляції (R) від 0,7 до 0,9. Для оцінки похибки та стійкості розрахунків, всі скінтиграфічні зображення пацієнтів були оброблені повторно. Отримані дані підставлялись у визначені апроксимаційні залежності. Для підвищення стійкості та надійності розрахунків машинне навчання виконувалось на ОФЕКТ даних пацієнтів, що оброблялись двічі. Тобто вихідна таблиця даних пацієнтів складалась не з 20 строк (загальна кількість пацієнтів), а з 40. Валідація розрахунків виконувалась на третьому варіанті обробки ОФЕКТ.

Відзначимо, що найбільш вагомими факторами обробки 3D зображень ОФЕКТ для наведеного в роботі методу розрахунку показників НРТ, які впливають на точність, є варіабельність якості фільтрації (згладжування) зображень та, найбільш суттєво, точність сегментації.

У табл. 2 – 4 результати навчання для тестів пам'яті та уваги за Лурія і Шульте наведені узагальнені дані, що характеризуються показниками $L_{\Sigma 7}$, Sh_{av} , G_1 і G_2 . Однак ці нейротести передбачають повторне виконання тестування (тест Лурія виконується 7 разів, Шульте – 5 разів). Багаторазове тестування дає можливість оцінити нейрофізіологічні характеристики в деякій динаміці та врахувати ефекти втоми та навчання пацієнтів. Результати машинного навчання співставлення даних ОФЕКТ з даними НРТ показали, що за показниками ВПС спостерігається монотонне підвищення коефіцієнта кореляції R апроксимації скатерограм для тестів Лурія за мірою збільшення номера тесту, тоді як за показниками питомого накопичення РФП значення R залишались статистично однаковими. Для тестів Шульте спостерігалась протилежна ситуація: при підвищенні номера тесту монотонно збільшувалось значення R для показників Upt, тоді як за показниками ВПС не спостерігався достовірний тренд. Ці спостереження ілюструються на рис. 1.

Результати машинного навчання для показників U^{Upt} і U^{θ} наведені в табл. 2–3. Аналіз цих даних показує вагомі значення коефіцієнтів кореляції R між показниками відношень U^{Upt} і U^{θ} та більшими оцінками НРТ: для показників I порядку R знаходилось в межах 0,38–0,71; II порядку – 0,52–0,74; III порядку – 0,60–0,78. Тобто з підвищенням порядку відношень достовірність апроксимації теж підвищувалась. Інше спостереження стосується зон інтересу, які для різних порядків відношень для окремого тесту НРТ

RESULTS AND DISCUSSION

After machine learning, namely the analysis of relations of I–III order for specific RPh accumulation and IHS in ROI and selection of the most informative ratios between segments, linear dependences between SPECT and NPT data with correlation coefficients (R) from 0,7 to 0,9 were obtained. For assessing the error and stability of calculations all the scintigraphic images of the patients were processed for a second time. The obtained data were inserted in the determined approximate dependencies. Machine learning was performed on SPECT of these patients, processed twice to increase the stability and reliability of the calculations. So, the final table of these patients consisted of 40 columns (total number of patients) instead of 20. The validation of calculations was performed on the third variant of SPECT processing.

It should be noted that the most significant factors for 3D SPECT images processing for the given method of calculation of NPT values which affect accuracy, are variability of filtering quality (smoothing) of the images and, most importantly, the accuracy of the segmentation.

In Tables 2 – 4 the results of studying for Luria and Schulte memory and attention tests are given. The data are characterized by $L_{\Sigma 7}$, Sh_{av} , G_1 and G_2 indicators. However, these neurotests require repeated performance (Luria's test is performed 7 times, Schulte's one – 5 times). Repeated testing gives an opportunity to assess neurophysiological characteristics over time and take into account influence of fatigue and studying on the patients. The results of machine learning of comparing SPECT data to NPT results showed that, according to IHS values, a monotonous increase in correlation coefficient R of the approximation of the scatterograms for Luria's tests was observed as the patient completed more tests, whereas according to RPh accumulation values, R values remained statistically similar. In Schulte's tests the situation was different: as the patient completed more tests, R value monotonously increased for Upt indicators, whereas according to IHS values, no reliable trend was observed. These data are illustrated on Fig. 1.

The results of machine learning for U^{Upt} and U^{θ} values are given in Tables 2 and 3. The analysis of these data showed significant correlation coefficient R values between the ratios of U^{Upt} and U^{θ} to NPT scores: for the values of I order R was in the range of 0,38 – 0,71; for the values of II order – 0,52 – 0,74; for the values of III order – 0,60 – 0,78. So, with the increase in relation order the reliability of approximation was also increasing. Another observation concerned regions of interest which can be different for various relation orders for a separate NPT. It can be explained, first of all, by the

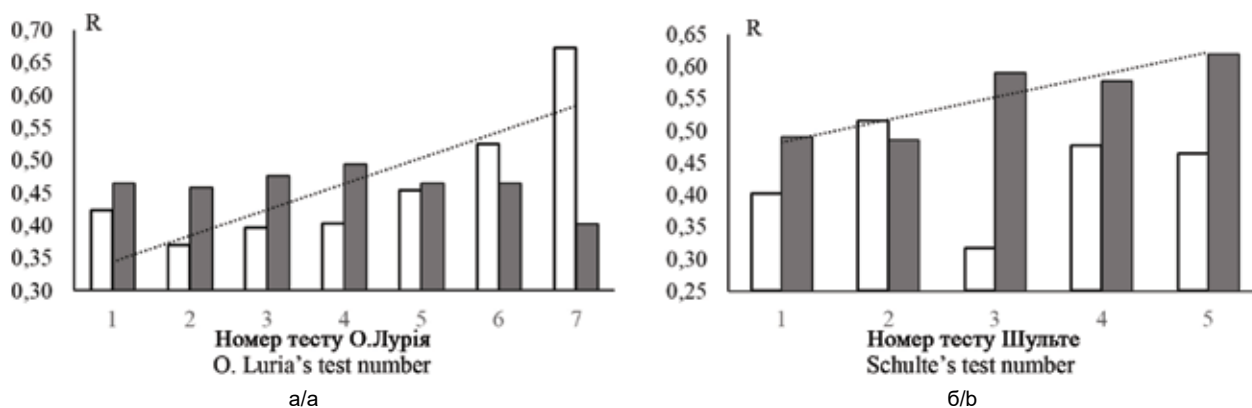


Рис. 1. Гістограми зміни коефіцієнта кореляції R лінійної апроксимації скатерограм між показниками відношень I порядку в залежності від номера тесту О. Лурія (а) та Шульце (б): □ – для показників ВПС, ■ – для Upt.

Достовірність для всіх наведених значень R за t-критерієм відповідала $p < 0.05$

Fig. 1. Histograms of the change of correlation coefficient R of linear approximation of the scatterograms between the values of I-order relations depending on the number of the O. Luria's (a) and Schulte's (b) test: □ – for IHS values, ■ – for Upt. The reliability for all given R values according to t-criterion was $p < 0.05$

Таблиця 2. Результати машинного навчання за показниками ВПС
Table 2. Results of machine learning according to IHS values

Характеристика апроксимації Approximation characteristics	Порядок відношення / Relation order		
	I	II	III
MADRS			
Рівняння / Equation	$2237,62x + 13,32$	$12976,89x + 9,17$	$8551,7x + 5,79$
R	0,41	0,52	0,60
D, бали/score	5,54	5,18	5,11
3I/ROI	7–8	6–10; 9–10	3–5; 6–9; 6–10
HARS			
Рівняння / Equation	$13373,58x - 4,62$	$13686,41x - 5,83$	$20884,61x - 8,2$
R	0,71	0,74	0,78
D, бали/score	5,02	4,80	4,50
3I/ROI	4–19	4–19; 6–10	6–10; 1–19; 2–19
Sh_{av}			
Рівняння / Equation	$2701,78x + 71,71$	$-2056,09x + 74,76$	$-1835,7x + 75,7$
R	0,42	0,57	0,62
D, бали/score	8,26	8,04	7,99
3I/ROI	3–8	4–18; 8–10	4–18; 8–10; 4–8
L₅₇			
Рівняння / Equation	$9329,86x + 30,37$	$11544,6x + 27,25$	$11867,44x + 26,76$
R	0,47	0,62	0,65
D, бали/score	5,03	4,67	4,65
3I/ROI	4–9	4–9; 5–9	4–9; 5–9; 9–10
G₁			
Рівняння / Equation	$-539,13x + 3,1$	$-568,01x + 3,19$	$-494,53x + 3,3$
R	0,38	0,58	0,63
D, бали/score	0,33	0,32	0,32
3I/ROI	4–10	4–10; 6–9	4–10; 6–9; 1–15
G₂			
Рівняння / Equation	$13889,82x - 0,51$	$24178,24x + 0,93$	$17730,8x + 1,3$
R	0,64	0,71	0,75
D, бали/score	6,33	5,83	5,46
3I/ROI	4–19	3–14; 6–10	1–6; 2–19; 3–5

Таблиця 3. Результати машинного навчання за показниками Upt
Table 3. Results of machine learning according to Upt values

Характеристика апроксимації Approximation characteristics	Порядок відношення / Relation order		
	I	II	III
MADRS			
Рівняння / Equation	79,78x – 53,53	71,45x – 83,24	76,24x – 115,16
R	0,58	0,67	0,73
D, бали/score	4,78	4,35	4,02
3I/ROI	8/17	8/11; 8/18	8/11; 8/13; 14/18
HARS			
Рівняння / Equation	78,62x – 61,81	– 104,28x + 179,06	– 173,65 x + 325,66
R	0,48	0,57	0,67
D, бали/score	6,99	6,51	5,90
3I/ROI	6/10	2/6; 17/19	2/6; 10/17; 17/19
Sh_{av}			
Рівняння / Equation	29,49x + 25,43	126,95x - 128,01	112,82 x - 140,97
R	0,58	0,67	0,71
D, бали/score	7,47	6,81	6,44
3I/ROI	4/15	4/14; 174	4/14; 10/19; 14/19
L₇₇			
Рівняння / Equation	– 91,х + 130,08	79,52x – 83,37	148,19x – 234,31
R	0,46	0,53	0,64
D, бали/score	5,14	4,93	4,48
3I/ROI	5/6	6/19; 10/19	6/18; 10/20; 18/19
G₁			
Рівняння / Equation	2,88x – 0,04	3,17x – 1,58	3,86 x – 4,10
R	0,52	0,59	0,67
D, бали/score	0,30	0,28	0,26
3I/ROI	4/6	4/14; 14/17	1/3; 4/10; 4/13
G₂			
Рівняння / Equation	83,55x – 51,51	– 120,71x + 208,88	– 148,47x + 296,08
R	0,50	0,61	0,65
D, бали/score	7,48	6,81	6,59
3I/ROI	6/17	2/6; 17/19	2/3; 3/6; 17/19

можуть бути різними. Це пояснюється, по-перше, тим, що одна і та ж когнітивна функція ГМ може бути охарактеризована різними співвідношеннями ефективної перфузії в сегментах ГМ; по-друге, коефіцієнт кореляції та якість лінійної апроксимації точок виміру залежить великою мірою від діапазону їх значень, зокрема, по осі абсцис – даних ОФЕКТ. При збільшенні порядку відношень збільшується цей діапазон для оптимальних виділених пар; при цьому пара 3I, що входила в менший порядок відношень, далеко не завжди сприяла підвищенню відповідного діапазону.

Дані в табл. 2 і 3 показують, що результати машинного навчання як за значеннями відношень питомого накопичення РФП, так і ВПС, мали один порядок R та середньоквадратичну похибку D (останнє може виступати як критерій довірчого інтервалу). Це свідчить про приблизно однакову діагностичну цінність кількісних критеріїв Upt та θ . Тут слід підкреслити, що Upt є кількісною характеристикою накопичення РФП в 3I, а θ більшою мірою є характеристикою просторового розподілення РФП. Незалежність Upt та θ дає можливість підвищити точність розрахунків

fact that one cognitive brain function can be characterized by different proportions of effective perfusion in brain segments; secondly, correlation coefficient and the quality of linear approximation of the measuring points depends mostly on the range of their values, in particular, on x-axis – SPECT data. When the relation order increases, the range for optimal highlighted pairs also extends; moreover, the pair of ROI, which was in the lesser relation order didn't always contribute to the increase of respective range.

The data in Tables 2 and 3 show that results of machine learning according to both values of ratios of RPh accumulation and IHS values have the same R order and a mean squared error D (the latter can act as a criterion for a credible interval). It indicates a similar diagnostic value of quantitative criteria Upt and θ . It should be emphasized that Upt is a quantitative characteristic of RPh accumulation in ROI, whereas θ is mostly a characteristic of spatial distribution of RPh. The independence of Upt and θ makes it possible to increase the accuracy of calculations of NPT values by algebraic averaging of calculations by U^{Upt} i U^θ ratios. The result of this

показників НПТ шляхом алгебраїчного усереднення розрахунків за відношеннями U^{Upt} і U^{θ} . Результат цього усереднення наведено в табл. 4, де замість даних ОФЕКТ, що використовувались при навчанні, були взяті кількісні значення третього варіанту обробки скінтиграфічних даних пацієнтів. Представлені результати свідчать про досить високу кореляційну залежність між даними ОФЕКТ та НПТ – R знаходиться в межах 0,75 – 0,93; середня відносна похибка знаходилась в межах 7–22%. Графічне представлення результатів машинного навчання відображено на рис. 2.

averaging is given in Table 4, where instead of SPECT data, which were used in the learning, the quantitative values of the third variant of scintigraphic data processing of the patients were used. The given results indicate quite a high correlation dependence between SPECT and NPT data – R is in the range of 0,75 – 0,93; the average relative error – in the range of 7 – 22%. The graphic demonstration of the results of machine learning are shown in Fig. 2.

Таблиця 4. Оцінка якості розрахунку значень НПТ за даними ОФЕКТ при усередненні результатів навчання за ВПС і Upt
Table 4. Assessment of the quality of calculations of NPT values according to SPECT data with averaging of the results according to IHS and Upt

НПТ / NPT	Коефіцієнт кореляції (R) Correlation coefficient (R)	Середньоквадратична абсолютна похибка (D), бали Mean squared absolute error (D), points score
MADRS	0,93 (p < 0.01)	2,35
HARS	0,79 (p < 0.01)	2,92
Sh _{av}	0,83 (p < 0.01)	4,78
L ₂₇	0,82 (p < 0.01)	3,16
G ₁	0,75 (p < 0.01)	0,19
G ₂	0,85 (p < 0.01)	3,09

Наведемо деякі пояснення розрахунку показників НПТ за даними ОФЕКТ, зокрема, тесту MADRS:

1. У сегментах ГМ на основі ОФЕКТ зображень розраховуються показники Upt та ВПС за формулами (3) та (4).

2. У відповідності до табл. 2 і 3 для показників III порядку розраховуються відношення та середньо-геометричні їх значення:

– для ВПС:

$$x_{\theta} = \sqrt{(\theta_3 - \theta_5)^2 + (\theta_6 - \theta_9)^2 + (\theta_6 - \theta_{10})^2}$$

чи у відповідності з нумерацією 3I

$$x_{\theta} = \sqrt{\left(\theta_{Parietalis-R} - \theta_{Occipitalis-R}\right)^2 + \left(\theta_{Occipitalis-L} - \theta_{Temporalis-R}\right)^2 + \left(\theta_{Occipitalis-L} - \theta_{Temporalis-L}\right)^2}$$

Оцінка тесту MADRS за показниками ВПС становитиме:

$$MADRS_{\theta}^{SPECT} = 8551.71x_{\theta} + 5.79 ;$$

– для Upt:

$$x_{Upt} = \sqrt{\left(\frac{Upt_8}{Upt_{11}}\right)^2 + \left(\frac{Upt_8}{Upt_{13}}\right)^2 + \left(\frac{Upt_{14}}{Upt_{18}}\right)^2}$$

чи у відповідності до нумерації 3I

$$x_{Upt} = \sqrt{\left(\frac{Upt_{Insularis-L}}{Upt_{Nucleus-R}}\right)^2 + \left(\frac{Upt_{Insularis-L}}{Upt_{Thalamus-R}}\right)^2 + \left(\frac{Upt_{Thalamus-R}}{Upt_{Pons-L}}\right)^2}$$

Оцінка тесту MADRS за показниками Upt становитиме:

$$MADRS_{Upt}^{OFEKT} = 76.24x_{Upt} - 115.16.$$

3. Усереднена оцінка MADRS становитиме:

$$MADRS^{OFEKT} = \frac{1}{2} \left(MADRS_{VPS}^{OFEKT} + MADRS_{Upt}^{OFEKT} \right).$$

Таким чином, можна вважати, що вперше розроблено методику кількісної оцінки нейропсихологічного та когнітивного стану пацієнтів на основі об'єктивного

Here are some explanations of the calculation of NPT values according to SPECT data, in particular, MADRS test:

1. In the brain segments, Upt and IHS values are calculated by the formulas (3) and (4) on the basis of SPECT images.

2. In accordance with Tables 2 and 3, for the values of III order the ratios and their geometric mean values are calculated:

– for IHS:

$$x_{\theta} = \sqrt{(\theta_3 - \theta_5)^2 + (\theta_6 - \theta_9)^2 + (\theta_6 - \theta_{10})^2}$$

or in accordance with ROI numeration

$$x_{\theta} = \sqrt{\left(\theta_{Parietalis-R} - \theta_{Occipitalis-R}\right)^2 + \left(\theta_{Occipitalis-L} - \theta_{Temporalis-R}\right)^2 + \left(\theta_{Occipitalis-L} - \theta_{Temporalis-L}\right)^2}$$

MADRS test score according to IHS equals:

$$MADRS_{\theta}^{SPECT} = 8551.71x_{\theta} + 5.79 ;$$

– for Upt:

$$x_{Upt} = \sqrt{\left(\frac{Upt_8}{Upt_{11}}\right)^2 + \left(\frac{Upt_8}{Upt_{13}}\right)^2 + \left(\frac{Upt_{14}}{Upt_{18}}\right)^2}$$

or in accordance with ROI numeration

$$x_{Upt} = \sqrt{\left(\frac{Upt_{Insularis-L}}{Upt_{Nucleus-R}}\right)^2 + \left(\frac{Upt_{Insularis-L}}{Upt_{Thalamus-R}}\right)^2 + \left(\frac{Upt_{Thalamus-R}}{Upt_{Pons-L}}\right)^2}$$

MADRS test score according to Upt values equals:

$$MADRS_{Upt}^{SPECT} = 76.24x_{Upt} - 115.16$$

3. The averaged MADRS score equals:

$$MADRS^{SPECT} = \frac{1}{2} \left(MADRS_{\theta}^{SPECT} + MADRS_{Upt}^{SPECT} \right)$$

Thus, it can be concluded that, for the first time, the method of quantitative assessment of the neuropsychological and cognitive state of patients was developed on the basis of an objective research method. The accuracy of calculations can be significantly increased

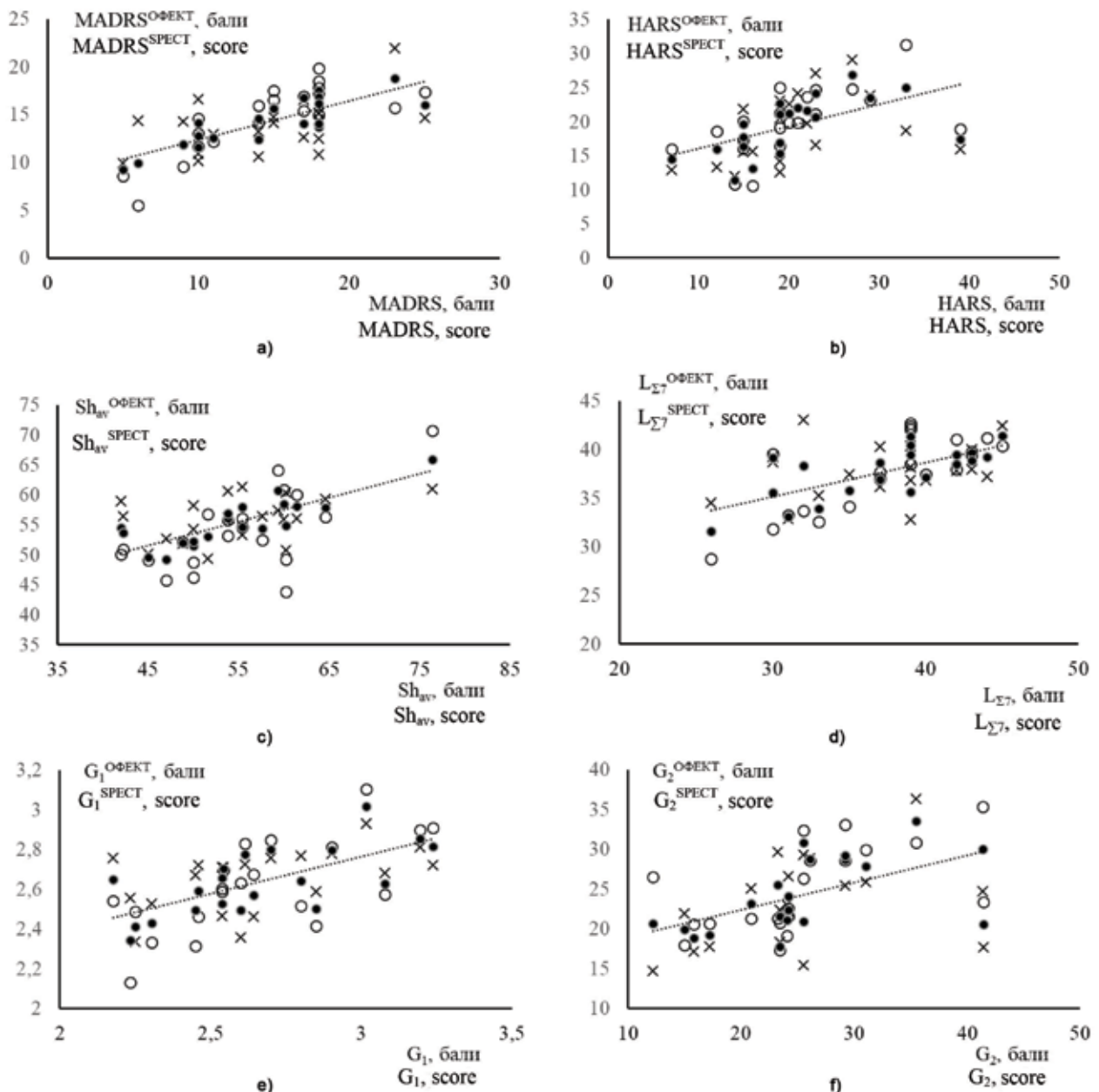


Рис. 2. Скатерограми між бальними оцінками тестів НПТ та відповідними результатами машинного навчання за даними ОФЕКТ: О – навчання за значеннями ВПС; × – навчання за Upt; ● – усереднені результати навчання й відповідні їм пунктирні лінії апроксимації

Fig. 2. Scatterograms between the scores of NPT tests and respective results of machine learning according to SPECT data: O – learning according to IHS values; × – learning according to Upt; ● – averaged results of the learning and respective dotted lines of approximation

методу дослідження. Відзначимо, що точність розрахунків може бути суттєво збільшена за рахунок мінімізації суб'єктивної оцінки якості попередньої обробки скінтиграфічних зображень (в даній роботі ця операція навмисно була загрублена, для оцінки похибки розрахунків з урахуванням не досить великої кількості пацієнтів); підвищення точності сегментації 3D зображень ГМ; збільшення матриці проєкційних кадрів ОФЕКТ з 64 до 128.

by minimizing the subjective assessment of the quality of prior processing of scintigraphic images (in our study this examination was deliberately roughened for estimating the error of calculations taking into account a relatively small number of patients); by increasing the accuracy of 3D segmentation of the brain images; by increasing the matrix of SPECT project frames from 64 to 128.

ВИСНОВКИ

Вперше розроблено методику кількісної оцінки нейропсихологічного та когнітивного стану пацієнтів на основі об'єктивного методу дослідження, а саме ОФЕКТ.

CONCLUSIONS

For the first time, the method of quantitative assessment of the neuropsychological and cognitive state of patients was developed on the basis of an objective

Відносна похибка розрахунків еквівалентних значень НПТ знаходиться в межах 7–22%. При цьому показано, що за нейропсихологічний та когнітивний стан пацієнтів, зокрема, хворих на АТГЕ, за аналізом ефективної перфузії ГМ, відповідає не один конкретний сегмент мозку, а ансамбль з трьох взаємовідношень накопичення РФП у сегментах. Наявність достатньо високої кореляції між даними НПТ та показниками питомого накопичення РФП і ВПС у сегментах ГМ свідчить, що нейропсихологічний та когнітивний стан пацієнта залежить не тільки від інтенсивності накопичення РФП в сегментах, а й від просторового його розподілення.

Для підвищення точності оцінки нейропсихологічного та когнітивного стану пацієнтів доцільно максимально автоматизувати процес попередньої обробки сцинтиграфічних даних, підвищити точність сегментації 3D зображень та використовувати ОФЕКТ з матрицями 128×128.

research method, namely SPECT. The relative error in calculations of equivalent values of NPT was in the range of 7 – 22%. At the same time, it was shown that the neuropsychological and cognitive state of patients, in particular patients with ATHE, according to the analysis of effective brain perfusion didn't correspond to one specific segment of the brain, but instead to a group of three ratios of RPh accumulation in the brain segments. The presence of a sufficiently high correlation between the NPT data and the indicators of the specific accumulation of RPh and the IHS in the brain segments showed that the neuropsychological and cognitive state of the patient depended not only on the level of accumulation of RPh in segments, but also on its spatial distribution.

To increase the accuracy of assessment of the neuropsychological and cognitive state of the patients it is appropriate to maximally automate the process of prior processing of scintigraphic data, to increase the accuracy of 3D segmentation of the brain images and to use SPECT with 128×128 matrices.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

REFERENCES

1. Товажнянская Е. Л., Безуглова И. О., Ярош В. А. Гипертоническая энцефалопатия. Роль антигипертензивной терапии в профилактике и лечении. *Международный неврологический журнал*. 2014. № 2(64). С. 93–99.
2. Lass P, Buscombe J. R., Harber M., Davenport A., Hilsen A. J. Cognitive impairment in patients with renal failure associated with multiple-infarct dementia. *Clinical nuclear medicine*. 1999. Vol. 24(8). P. 3561–3565. DOI: <https://doi.org/10.1097/00003072-199908000-00003>
3. González-Suárez I., Arpa J., Ríos-Blanco J. J. Brain Microvasculature Involvement in ANCA Positive Vasculitis. *Cerebrovascular diseases*. 2016. Vol. 41(5–6). P. 313–321. DOI: <https://doi.org/10.1159/000443750>
4. Rizk H., Allam M., Hegazy A. Predictors of poor cerebral collaterals and cerebrovascular reserve in patients with chronic total carotid occlusion. *Cerebrovascular diseases*. 2019. Vol. 129(5). P. 455–460. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207454.2018.1538990>
5. Schmidt M. A., Engelhorn T., Lang S. et al. DSC brain perfusion using advanced deconvolution models in the diagnostic work-up of dementia and mild cognitive impairment: A semiquantitative comparison with HMPAO-SPECT-brain perfusion. *Journal of clinical medicine*. 2020. Vol. 9(6). 1800 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jcm9061800>
6. Sheikh-Bahaei N., Acharya J., Rajamohan A., Kim P. E. Advanced imaging techniques in diagnosis of Posterior Reversible Encephalopathy Syndrome (PRES). *Frontiers in neurology*. 2020. Vol. 11. 165 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fneur.2020.00165>
7. Верещин Н. В., Моргунов В. А., Гулевская Т. С. Патология головного мозга при атеросклерозе и артериальной гипертензии. *Медицина*. 1997. 288 с.
8. Schaafsma A., de Jong B. M., Bams J. L., Haaxma-Reiche H., Pruijm J., Zijlstra J. G. Cerebral perfusion and metabolism in resuscitated patients with severe post-hypoxic encephalopathy. *Journal of the neurological sciences*. 2003. Vol. 15. P. 23–30. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0022-510x\(03\)00063-7](https://doi.org/10.1016/s0022-510x(03)00063-7)
9. Sviridova N. K., Trufanov E. O., Pedachenko E. G. et al. Hypertensive encephalopathy. Clinical characteristics, diagnostic criteria. *Romanian journal of neurology and psychiatry*. 2019. Vol. 18(2). P. 57–64. DOI: <http://dx.doi.org/10.37897/rjn.2019.2.1>
10. Соколова Л. П. Перфузия и кровоснабжение головного мозга при додементных когнитивных расстройствах различного генеза. *Радиология*. 2011. № 5. С. 51–57.
11. Litvin O. V., Chernii T. V., Kovalenko O. Y. et al. Cognitive disorders in persons of working age with dyscirculatory encephalopathy. *Wiadomości Lekarskie*. 2020. Vol. 73., № 3. P. 449–453.
12. Burdakov V. V., Krasnykh D. V. The efficacy and safety of ethyl methyl hydroxypyridine succinate used as part of sequential therapy in patients with chronic cerebral ischemia. *Neurology Neuropsychiatry Psychosomatics*. 2020. Vol. 12(1). P. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2020-1-56-60>
13. Maksimenko V. A., Runnova A. E., Zhuravlev M. O. et al. Human personality reflectsspatio-temporalandtime-frequency EEG structure. *PLoSOne*. 2018. Vol. 13(9). e0197642 p. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197642>
14. Фокин В. Ф., Пономарева Н. В., Коновалов Р. Н. Изменения коннективности головного мозга у больных с нарушениями вербальной оперативной памяти при дисциркуляторной энцефалопатии. *Вестник Российского государственного медицинского уни-*
1. Tovazhnyanskaya YeL, Bezuglova IO, Yarosh VA. Hypertensive encephalopathy. The role of antihypertensive therapy in the prevention and treatment. *International neurological journal*. 2014;2(64):93–9. (In Russian).
2. Lass P, Buscombe JR, Harber M, Davenport A, Hilsen AJ. Cognitive impairment in patients with renal failure associated with multiple-infarct dementia. *Clinical nuclear medicine*. 1999;24(8):3561–5. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1097/00003072-199908000-00003>
3. González-Suárez I, Arpa J, Ríos-Blanco JJ. Brain Microvasculature Involvement in ANCA Positive Vasculitis. *Cerebrovascular diseases*. 2016;41(5–6):313–21. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1159/000443750>
4. Rizk H, Allam M, Hegazy A. Predictors of poor cerebral collaterals and cerebrovascular reserve in patients with chronic total carotid occlusion. *Cerebrovascular diseases*. 2019;129(5):455–60. (In English). DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207454.2018.1538990>
5. Schmidt MA, Engelhorn T, Lang S et al. DSC brain perfusion using advanced deconvolution models in the diagnostic work-up of dementia and mild cognitive impairment: A semiquantitative comparison with HMPAO-SPECT-brain perfusion. *Journal of clinical medicine*. 2020;9(6):1800. (In English). DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jcm9061800>
6. Sheikh-Bahaei N, Acharya J, Rajamohan A, Kim PE. Advanced imaging techniques in diagnosis of Posterior Reversible Encephalopathy Syndrome (PRES). *Frontiers in neurology*. 2020;11:165. (In English). DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fneur.2020.00165>
7. Vereshchagin NV, Morgunov VA, Gulevskaya TS. Brain pathology in atherosclerosis and arterial hypertension. *The medicine*. 1997;288. (In Russian).
8. Schaafsma A, de Jong BM, Bams JL, Haaxma-Reiche H, Pruijm J, Zijlstra JG. Cerebral perfusion and metabolism in resuscitated patients with severe post-hypoxic encephalopathy. *Journal of the neurological sciences*. 2003;15:23–30. (In English). DOI: [https://doi.org/10.1016/s0022-510x\(03\)00063-7](https://doi.org/10.1016/s0022-510x(03)00063-7)
9. Sviridova NK, Trufanov EO, Pedachenko EG et al. Hypertensive encephalopathy. Clinical characteristics, diagnostic criteria. *Romanian journal of neurology and psychiatry*. 2019;18(2):57–64. (In English). DOI: <http://dx.doi.org/10.37897/rjn.2019.2.1>
10. Sokolova LP. Perfusion and blood supply to the brain in pre-dementia cognitive disorders of various origins. *Radiology*. 2011;5:51–7. (In Russian).
11. Litvin OV, Chernii TV, Kovalenko OY et al. Cognitive disorders in persons of working age with dyscirculatory encephalopathy. *Wiadomości Lekarskie*. 2020;73(3):449–53. (In English).
12. Burdakov VV, Krasnykh DV. The efficacy and safety of ethyl methyl hydroxypyridine succinate used as part of sequential therapy in patients with chronic cerebral ischemia. *Neurology Neuropsychiatry Psychosomatics*. 2020;12(1):56–60. (In English). DOI: <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2020-1-56-60>
13. Maksimenko VA, Runnova AE, Zhuravlev MO et al. Human personality reflectsspatio-temporalandtime-frequency EEG structure. *PLoSOne*. 2018;13(9):e0197642. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197642>
14. Fokin VF, Ponomareva NV, Kononov RN. Changes in brain connectivity in patients with impaired verbal operative memory in dyscirculatory encephalopathy. *Bulletin of the Russian State*

- версумета*. 2019. № 5. С. 56–62. DOI: <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2019.061>
15. Николов Н.А., Залесная Ю.Д., Makeev С.С., Лошицкий П.П., Коломиец Б.Ю., Усенко А.О. Интегральная оценка пространственного распределения ^{99m}Tc-ГМПАО в головном мозге у пациентов с умеренным икогнитивными изменениями. *Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника*. 2014. Т. 57, № 12(630). С. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.20535/S002134701412005X>
 16. Николов Н. А., Makeev С. С., Новикова Т. Г. и др. Определение абсолютного мозгового кровотока по данным скintiграфии с липофильным радиофарм препаратом. *Медицинская физика*. 2018. Т. 3. С. 36–45.
 17. Николов Н.А., Makeev С.С., Новикова Т.Г., Цікало В.О., Крюкова Є.С. Внутрислошарна симетрія перфузії головного мозгу. Частина 1. Методика розрахунку. *Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника*. 2021. № 64(8). С. 463–475. DOI: <https://doi.org/10.20535/S002134702108001X>
 18. Николов Н.А., Makeev С.С., Ярошенко О.Ю. Количественная оценка мозгового кровотока по данным скintiграфических исследований с ^{99m}Tc-ГМПАО. *Медицинская физика*. 2016. № 4(72). С. 72–79.
 19. Nikolov N. A., Makeyev S. S., Yaroshenko O. Y., Novikova T. G. Quantitative evaluation of the absolute value of the cerebral blood flow according to the scintiographic studies with ^{99m}Tc-HMPAO. *Research Bulletin of National Technical University of Ukraine «Kyiv polytechnic Institute»*. 2017. Vol. 1. P. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2017.1.91646>
 - Medical*. 2019;5:56–62. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2019.061>
 15. Nikolov NA, Zalesnaya YuD, Makeev SS, Loshitsky PP, Kolomiets BYu, Usenko AO. Integral assessment of the spatial distribution of ^{99m}Tc-HMPAO in the brain in patients with moderate and cognitive changes. *News of higher educational institutions. Radio electronics*. 2014;57(12(630)):52–61. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.20535/S002134701412005X>
 16. Nikolov NA, Makeev SS, Novikova TG et al. Determination of absolute cerebral blood flow according to scintiography data with a lipophilic radiopharmaceutical. *Medical physics*. 2018;3:36–45. (In Russian).
 17. Nikolov NA, Makeev SS, Novikova TG, Tsikalo VO, Kryukova EC. I ntrahemispheric symmetry of cerebral perfusion. Part 1. Method of calculation. *News of higher educational institutions. Radio electronics*. 2021;64(8):463–75. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.20535/S002134702108001X>
 18. Nikolov NA, Makeev SS, Yaroshenko OYu. Quantification of cerebral blood flow according to scintiographic studies with ^{99m}Tc-HMPAO. *Medical physics*. 2016;4(72):72–9. (In Russian).
 19. Nikolov NA, Makeyev SS, Yaroshenko OY, Novikova TG. Quantitative evaluation of the absolute value of the cerebral blood flow according to the scintiographic studies with ^{99m}Tc-HMPAO. *Research Bulletin of National Technical University of Ukraine «Kyiv polytechnic Institute»*. 2017;1:61–8. (In English). DOI: <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2017.1.91646>

Перспективи подальших досліджень

Prospects for further research

Розробка методики об'єктивізації оцінки зміни нейропсихологічного та когнітивного стану пацієнтів на основі даних ОФЕКТ. Удосконалення програмного забезпечення обробки та аналізу скintiграфічних даних.

Development of a method of objectification of the assessment of changes in the neuropsychological and cognitive state of patients on the basis of SPECT data. Improvement of scintiographic data processing and analysis software.

Конфлікт інтересів

Conflict of interest

Автори рукопису свідомо засвідчують відсутність фактичного або потенційного конфлікту інтересів щодо результатів цієї роботи з фармацевтичними компаніями, виробниками біомедичних пристроїв, афілійованими з авторами організаціями та іншими юридичними особами, чії продукти, послуги, фінансова підтримка можуть бути пов'язані з предметом наданих матеріалів або які спонсорували проведені дослідження.

The authors of the manuscript knowingly acknowledge the absence of actual or potential conflict of interest in the results of this work with pharmaceutical companies, manufacturers of biomedical devices, affiliated organizations and other legal entities whose products, services, financial support may be related to the subject of materials or who sponsored research.

Інформація про фінансування

Funding information

Фінансування видатками Державного бюджету України.

Financed by the State Budget of Ukraine.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ніколов Микола Олександрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Міністерства науки і освіти України; пр. Перемоги, буд. 37, Київ, Україна UA-03056; доцент кафедри електронної інженерії Державної установи «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва Національної академії медичних наук України»; вул. Саксаганського, буд. 75, м. Київ, Україна, 01033;

e-mail: nikolka_@ukr.net
тел.: +38 (067) 246-68-17

Внесок автора: ідея роботи, розробка програмного забезпечення, статистичний аналіз, написання тексту статті.

Залісна Юліанна Дмитрівна – кандидат медичних наук, лікар-невролог вищої категорії, психотерапевт Медичної неврологічної клініки «Берн-Ю-Мед», вул. Овруцька, буд. 5, м. Київ, Україна, 04050;

e-mail: zyulianna@gmail.com
тел.: +38 (063) 233-10-98

Внесок автора: підбір первинного клінічного матеріалу, нейропсихологічне тестування хворих та клінічний аналіз даних, формування груп хворих, участь у написанні тексту статті.

Nikolov Mykola Olexandrovych – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» of the Ministry of Education and Science of Ukraine; 37, Peremohy Ave., Kyiv, Ukraine, 03056; Associate Professor of Electronic Engineering Department of State Institution «Kundiev Institute of Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»; 75, Saksagansky Str., Kyiv, Ukraine, 01033;

email: nikolka_@ukr.net
tel.: +38 (067) 246-68-17

Author's contribution: idea of the work, software development, statistical analysis, writing the text of article.

Zalisna Yulianna Dmytrivna – candidate of Medical Sciences, Neurologist of the highest category, Psychotherapist of Medical Clinic «Bern-Yu-Med»; 5, Ovrutskya Str., Kyiv, Ukraine, 04050;

e-mail: zyulianna@gmail.com
tel.: +38(063)233-10-98

Author's contribution: selection of primary clinical material, neuropsychological testing of patients and clinical data analysis, formation of groups of patients, participation in writing of the text of article.

Новікова Тетяна Григорівна – лікар відділу ядерної медицини Державної установи «Інститут нейрохірургії імені академіка А.П. Ромоданова Національної академії медичних наук України», вул. Платона Майбороди, буд. 32, м. Київ, Україна, 04050;

e-mail: novikova_tg@ukr.net
тел.: +38 (066) 878-65-77

Внесок автора: проведення сцинтиграфічних досліджень, участь у розробці сцинтиграфічного атласу головного мозку, клінічний аналіз даних.

Макєєв Сергій Сергійович – доктор медичних наук, завідувач відділу ядерної медицини Державної установи «Національний інститут нейрохірургії імені академіка А.П. Ромоданова Національної академії медичних наук України», вул. Платона Майбороди, буд. 32, м. Київ, Україна, 04050;

e-mail: usnm@ukr.net
тел.: +38 (050) 656-51-30

Внесок автора: проведення сцинтиграфічних досліджень, загальне керівництво, участь у написанні та редагуванні тексту статті.

Дученко Анна Вячеславівна – студентка Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Міністерства науки і освіти України, просп. Перемоги, буд. 37, м. Київ, Україна, 03056;

e-mail: annaduchenko777@gmail.com

Внесок автора: участь в комп'ютерному аналізі даних.

Novikova Tetiana Grygorivna – Doctor of Department of Nuclear Medicine of State Institution «Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»; 32, Platon Mayborody Str., Kyiv, Ukraine, 04050;

email: novikova_tg@ukr.net
tel.: +38 (066) 878-65-77

Author's contribution: conduction of scintigraphic examinations, participation in the development of a scintigraphic atlas of the brain, clinical data analysis.

Makeev Serhii Serhiyovych – Doctor of Medical Sciences, Head of Department of Nuclear Medicine of State Institution «Romodanov Neurosurgery Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine»; 32, Platon Mayborody Str., Kyiv, Ukraine, 04050;

email: usnm@ukr.net
tel.: +38 (050) 656-51-30

Author's contribution: conduction of scintigraphic examinations, general management, participation in writing and editing the text of the article.

Duchenko Anna Vyacheslavivna – Student of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» of the Ministry of Education and Science of Ukraine; 37, Peremohy Ave., Kyiv, Ukraine, 03056;

e-mail: annaduchenko777@gmail.com

Author's contribution: participation in computer data analysis.

Рукопис надійшов
Manuscript was received
28.02.2022

Отримано після рецензування
Received after review
10.03.2022

Прийнято до друку
Accepted for printing
29.03.2022

Опубліковано
Published
31.03.2022