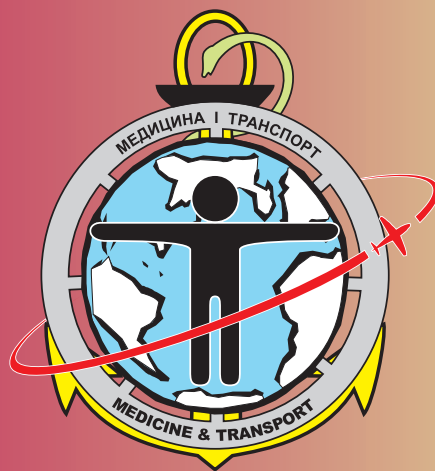


# АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕДИЦИНИ

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕДИЦИНИ



ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT MEDICINE



ISSN 1818-9385 (print)

ISSN 1818-9393 (online)

• навколишнє середовище  
environment

• професійне здоров'я  
occupational health

• патологія  
pathology

**2026**  
**№ 2 (84)**

*Медичний науковий журнал*

# АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕДИЦИНИ:

**навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія**

## НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Засновники: Український науково-дослідний інститут медицини транспорту Міністерства охорони здоров'я України та Фізико-хімічний інститут ім. О.В.Богатського Національної Академії наук України



№ 2 (84), 2026 г.

Заснований у серпні 2005 р.

**Журнал є офіційним виданням Українського наукового товариства патофізіологів**

Головний редактор д.мед.н. Р.С.Вастьянов  
Науковий редактор д.б.н. О.Г.Пихтеева  
Відповідальний секретар к.б.н. Д.В.Большой

The editor-in-chief R.S.Vastyanov  
The scientific editor E.G.Pykhtieva  
The responsible secretary D.V.Bolshoy

### Редакційна колегія

Д.б.н. І.А.Кравченко (Німеччина), PhD (біол)  
М.В.Нестеркіна, Д.мед.н. В.Жуков (Польща),  
Д.мед.н. С.Сушельницький (Швеція), PhD (біол)  
Н.С.Бадюк, Д.мед.н. А.І.Гоженко, Д.мед.н.  
О.В.Горша, Д.б.н. Н.М.Дмитруха, PhD (біол)  
Л.В.Еберле, Д.мед.н. Л.А.Ковалевська, Д.б.н.  
А.П.Левицький, Д.б.н. І.М.Михейцева, Д.мед.н.  
А.В.Мокієнко, Д.мед.н. П.Т.Муравйов, Д.мед.н.  
І.К.Новицька, PhD (мед.) О.А.Оленович, Д.мед.н.  
Є.В.Опря, Д.мед.н. Ю.Є.Роговий, Д.б.н. О.В.Третьякова, PhD (біол) А.О.Цісак

### Editorial board

Dr.Biol.Sci. I.A.Kravchenko (Germany), PhD (Biol)  
M.V.Nesterkina (Germany), Dr. Med. Sci. W.Zhukov  
(Poland), PhD (Biol) N.S.Badyuk (Ukraine), Dr. Med.  
Sci. A.I.Gozhenko, Dr. Med. Sci. O.V.Horsha, Dr. Biol.  
Sci. N.M.Dmytrukha, PhD (Biol) L.V.Eberle,  
Dr.Med.Sci. L.A. Kovalevska, Dr.Biol.Sci.  
A.G.Levytsky, Dr.Biol.Sci. I.M.Mikheitseva,  
Dr.Med.Sci. A.V.Mokienko, Dr.Med.Sci. P.T.Muraviov,  
Dr.Med.Sci. I.K.Novytska, PhD (med) O.A.Olenovych,  
Dr.Med.Sci. Ye.V.Oprya, Dr Med.Sci. Yu.Ye.Rohovy,  
Dr.Biol.Sci. O.V.Tretiakova, PhD (Biol) A.O.Tsisak

### Редакційна рада

Акад.НАМНУ, Д.б.н. М.Я.Головенко, Д.мед.н.  
Є.П.Белобров, Д.б.н. Л.М.Гуніна-Орлова (Гуніна),  
Д.мед.н. Б.А.Насибуллін, Д.мед.н. І.В.Савицький,  
Д.мед.н. К.О.Талалаєв, Д.мед.н. Д.Д.Іванов,  
Д.мед.н. С.В.Ружилю, PhD (мед.) І.Л.Попович

### Редакційна рада

Acad.of the NAMS of Ukraine, Dr.Biol.Sci.  
M.Ya.Holovenko, Dr.Med.Sci. Ye.P.Belobrov, Dr. Biol.Sci.  
L.M. Gunina-Orlova, Dr.Med.Sci. B.A.Nasibullin,  
Dr.Med.Sci. I.V.Savytskyi, Dr.Med.Sci. K.O.Talalaev,  
Dr.Med.Sci. D.D.Ivanov, Dr.Med.Sci S.V.Ruzhylo, PhD  
(med) I.L.Popovych

### Адреса редакції:

вул. Канатна, 92, 65039, м. Одеса, Україна  
Тел.: +380-50-988-98-94, +380-50-562-05-22  
E-mail: med\_trans@ukr.net

### The address of editorial office:

Kanatna str., 92, 65039, Odesa, Ukraine  
Phone: +380-50-988-98-94, +380-50-562-05-22  
E-mail: med\_trans@ukr.net

Журнал зареєстрований Держкомітетом по телебаченню та радіомовленню України  
31 травня 2005 р. Свідоцтво: серія **КВ** № 9901,  
ідентифікатор медіа – **R30-07168** (рішення № 1096 від  
23.04.2026)  
**ISSN 1818-9385 (print), ISSN 1818-9393 (online)**

The Journal is registered by the State Committee on TV and  
broadcasting of Ukraine  
May 31, 2005. The certificate: series **KB** № 9901  
media identifier – **R30-07168** (decision No. 1096 dated  
04/23/2026)  
**ISSN 1818-9385 (print), ISSN 1818-9393 (online)**

Рукописи не повертаються авторам. Відповідальність за достовірність та інтерпретацію даних несуть автори статей. Редакція залишає за собою право скорочувати матеріали по узгодженню з автором.

Manuscripts are not returned to the authors. Authors bear all responsibilities for correctness and reliability of the presented data. Edition retains the right to reduce the size of the materials in agreement with the author.

Журнал внесений до переліку видань, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт з біології та медицини (Категорія «Б», наказ міністра науки і освіти України № 886 від 02.07.2020)  
Журнал зареєстрований в міжнародній наукометричній базі Scopus (Польща)

Роботи, що представлені в цьому номері, рекомендовані до друку Редакційною колегією журналу після сліпого рецензування

Періодичність — 4 рази на рік  
Передплатний індекс 95316  
Адреси електронної версії:

<http://aptn.com.ua/>; <http://www.medtrans.com.ua/>; [http://www.nbuv.gov.ua/portal/Chem\\_Biol/Aptm/texts.html](http://www.nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/Aptm/texts.html)

© Науковий журнал „Актуальні проблеми транспортної медицини”, 2005 р.

Підписано до друку 28.05.2026 р. Гарнітура Pragmatica. Формат 64x90 / 8. Друк офсетний. Ум. печ. лист. 15,2.  
Надруковано з готового макету в друкарні "ART-V". м Одеса, вул. Комітетська, 24А.

<b>Зміст:</b>		<b>Content:</b>
ФАРМАКОЛОГІЧНИЙ СУПРОВІД ПСИХОРЕАБІЛІТАЦІЇ ВЕТЕРАНІВ ІЗ ПОСТТРАВМАТИЧНИМ СТРЕСОВИМ РОЗЛАДОМ: БАЛАНС МІЖ СИМПТОМАТИЧНИМ КОНТРОЛЕМ І РЕАБІЛІТАЦІЙНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ (ОГЛЯД) — <i>Рябухін К.В.</i>	66	PHARMACOLOGICAL SUPPORT OF PSYCHOREHABILITATION OF VETERANS WITH POST-TRAUMATIC STRESS DISORDER: BALANCE BETWEEN SYMPTOMATIC CONTROL AND REHABILITATION POTENTIAL (REVIEW) — <i>Ryabukhin K.V.</i>
ПОЛІГРАФ У ВОЄННИЙ ЧАС: ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ОБМЕЖЕННЯ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ БОЙОВОГО СТРЕСУ (ОГЛЯД) — <i>Баскіна В.В.</i>	73	POLYGRAPH IN WAR TIME: PSYCHOPHYSIOLOGICAL LIMITATIONS AND THEIR SIGNIFICANCE IN CONDITIONS OF COMBAT STRESS (REVIEW) — <i>Baskina V.V.</i>
<b>Клінічні аспекти медицини транспорту</b>	<b>80</b>	<b>Clinical Aspects of Transport Medicine</b>
СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ПІДХОДІВ У ВПРОВАДЖЕННІ ТЕСТУВАНЬ НА ВІЛ-ІНФЕКЦІЮ ЗА ІНІЦІАТИВИ МЕДИЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ — <i>Семененко І.В., Талалаєв К.О.</i>	80	SYSTEMATIZATION OF APPROACHES TO THE IMPLEMENTATION OF PROVIDER-INITIATED HIV TESTING - <i>Semenenko I.V., Talalaiev K.O.</i>
ХРОНІЧНА ВТОМА ТА АЛОСТАТИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ: БІОПСИХОСОЦІАЛЬНИЙ МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ ДОПАТОЛОГІЧНИХ СТАНІВ — <i>Кучеренко М.П., Кукушкин В.Н., Бобро О.В.</i>	88	CHRONIC FATIGUE AND ALLOSTATIC LOAD: A BIO-PSYCHO-SOCIAL PATHWAY TO PRE-PATHOLOGICAL STATES — <i>Kucherenko M.P., Kukushkin V.N., Bobro E.V.</i>
ПОЛІВАРІАНТНІСТЬ РЕАКЦІЇ НА БАЛЬНЕОТЕРАПІЮ КЛІРЕНСУ ТА ФРАКЦІЙНОГО ВИВЕДЕННЯ СЕЧОВОЇ КИСЛОТИ ТА СУПУТНІ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ НЕЙРО-ЕНДОКРИННО-ІМУННОГО КОМПЛЕКСУ ТА МЕТАБОЛІЗМУ — <i>Іщенко В.С.</i>	98	POLYVARIANCE OF RESPONSES TO BALNEOTHERAPY OF CLEARANCE AND FRACTIONAL EXCRETION OF URIC ACID AND CONCOMITANT CHANGES IN PARAMETERS OF THE NEURO-ENDOCRINE-IMMUNE COMPLEX AND METABOLISM — <i>Ishchenko V.S.</i>
<b>Експериментальні дослідження</b>	<b>11</b>	<b>The Experimental Researches</b>
АКТИВНЕ УНИКНЕННЯ ТА ДИСКРИМІНАТИВНА ЗДАТНІСТЬ ПРИ ПЕНТИЛЕНТЕТРАЗОЛОВОМУ КІНДЛІНГУ ЗА УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО ПУЛЬСУЮЧОГО УЛЬТРАЗВУКУ — <i>Первак М.П.</i>	111	ACTIVE AVOIDANCE AND DISCRIMINATIVE ABILITY IN PENTYLENETETRAZOLE KINDLING UNDER THE APPLICATION OF LOW-INTENSITY PULSED ULTRASOUND — <i>Pervak M.P.</i>
РОЛЬ СУРФАКТАНТНИХ ПРОТЕЇНІВ А (SP-A), В (SP-B) У ФОРМУВАННІ ЛЕГЕНЕВОЇ ПАТОЛОГІЇ У ТВАРИН ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ГОСТРОМУ ПАНКРЕАТИТІ — <i>Заяць Л. М., Пасічник О. В.</i>	117	ROLE OF SURFACTANT PROTEINS A (SP-A) AND B (SP-B) IN THE DEVELOPMENT OF PULMONARY PATHOLOGY IN ANIMALS WITH EXPERIMENTAL ACUTE PANCREATITIS — <i>Zaiats L.M., Pasichnyk O.V.</i>
НЕЙРОЕНДОКРИННО-ІМУННІ ВЗАЄМОВІДНОСИНИ У ІНТАКТНИХ ЩУРІВ — <i>Плиська О.І., Воробієнко А.А., Янчий Р.І.</i>	122	NEUROENDOCRINE-IMMUNE RELATIONSHIPS IN INTACT RATS - <i>Plyska O.I., Vorobienko A.A., Yanchij R.I.</i>

УДК 616.853-092.9:612.821.3:615.837

DOI: <https://zenodo.org/records/20358585>

## АКТИВНЕ УНИКНЕННЯ ТА ДИСКРИМІНАТИВНА ЗДАТНІСТЬ ПРИ ПЕНТИЛЕНЕТЕТРАЗОЛОВОМУ КІНДЛІНГУ ЗА УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО ПУЛЬСУЮЧОГО УЛЬТРАЗВУКУ

*Первак М.П.*

*Одеський національний медичний університет*

*e-mail: mykhailo.pervak@onmedu.edu.ua*

## ACTIVE AVOIDANCE AND DISCRIMINATIVE ABILITY IN PENTYLENETETRAZOLE KINDLING UNDER THE APPLICATION OF LOW-INTENSITY PULSED ULTRASOUND

*Pervak M.P.*

*Odesa National Medical University*

*Author information*

*Первак М.П. (Pervak M.P.) <https://orcid.org/0000-0002-0360-5756>*

### Summary/Резюме

Cognitive impairment in epilepsy patients requires alternative compensation approaches. The purpose of the study is to study active avoidance and novel object recognition in PTZ-kindled rats under low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS). Kindled rats failed 7/10 avoidance tests ( $P < 0.001$ ). LIPUS restored reactions to 4-6/10 ( $P < 0.01$ ). Discrimination index (DI) in kindled rats dropped by 42.5% ( $P < 0.001$ ). LIPUS increased DI by 42.2% compared to sham group ( $P = 0.0015$ ). LIPUS corrective effects are likely mediated by neurogenesis activation and neuroinflammation suppression, effectively restoring learning processes. Thus, transcranial LIPUS eliminates cognitive deficits in rats with chronic epilepsy syndrome.

**Key words:** *kindling, epilepsy, LIPUS, active avoidance, cognitive impairment.*

Порушення когнітивних функцій у хворих на епілепсію супроводжуються резистентністю до фармакотерапії, що робить пошук альтернативних підходів актуальним завданням. Метою роботи є вивчення активного уникнення та розпізнавання нових об'єктів щурами із ПТЗ-кіндлінгом за умов впливу низькоінтенсивним пульсуючим ультразвуком (НІПУ). Кіндлінгові щури не реагували на 7 із 10 подразнень на електродній підлозі ( $P < 0,001$ ). Застосування НІПУ забезпечило реакції уникнення на 4-6 із 10 подразнень ( $P < 0,01$  порівняно з хибним впливом). Індекс дискримінації (ІД) у кіндлінгових щурів знижувався порівняно до контролю на 42,5% ( $P < 0,001$ ). На тлі НІПУ ІД перевищував показник групи хибного впливу на 42,2% ( $P = 0,0015$ ). Корируючий вплив НІПУ може бути пов'язаний із активацією нейрогенезу та пригніченням нейрозапалення. Відновлення здатності до навчання підтверджує терапевтичний потенціал ультразвукової модуляції. Отже, НІПУ усуває порушення когнітивних функцій у щурів

із хронічним епілептичним синдромом, відновлюючи навички активного уникнення та дискримінації об'єктів.

**Ключові слова:** кіндлінг, епілепсія, НІПУ, активне уникнення, когнітивні порушення.

Епілепсія є тяжким захворюванням головного мозку, на яку в Світі хворіє близько 70 млн., а протягом року нові випадки реєструють у 50 пацієнтів на 100,000 населення [8]. Наслідки захворювання, особливо у випадку резистентності до фармакотерапії та прогресивному характері перебігу, включають нейробіологічні, когнітивні, психологічні порушення, а також соціальну дезадаптацію.

Скронева форма епілепсії є найбільш поширеною формою захворювання і зустрічається у 40% серед дорослих, хворих на епілепсію, а при вогнищевих формах - у 60-66% [9]. Виразні когнітивні порушення, в особливості порушення навчання, відтворення навичок є найбільш характерними проявами міжнападових когнітивних порушень саме при скроневої епілепсії порівняно до інших форм захворювання, які пов'язані із залученням до патогенезу структур гіпокампу, розвитку гіпокампулярного склерозу [14]. В той же час, ПТЗ-індуковані кіндлінгові судоми дозволяють адекватно моделювати порушення когнітивних функцій притаманних скроневої формі епілепсії [11].

Встановлено протисудомну ефективність впливу низькоінтенсивним пульсуючим ультразвуком (НІПУ) на каїнат-індуковані судоми [13], а також у відношенні до корекції депресії при ПТЗ-індукованому кіндлінгу [1-3]. В роботі [7] на моделях судинної деменції, а також деменції при хворобі Альцгеймера, які відтворювали відповідно білатеральним стенозуванням сонних артерій, а також використанням трансгенних мишей лінії 5XFAD, визначено ефективність відновлення когнітивних функцій при впливі НІПУ (1,875/ МГц, 6,0/ кГц, 32 цикли) на півкулі мозку мишей.

На обох моделях встановлено по-

кращення відтворення поведінкових навичок в тестах з використанням Y-подібного лабіринту та пасивного уникнення, а також покращення кровотоку в мозковій тканині [7]. Визначено ефективність відновлення процесів навчання у щурів із модельованим застосуванням сполук алюмінію синдромом Альцгеймера за умов застосування НІПУ [15].

В механізмах реалізації ефектів НІПУ на діяльність нейронів важливими є попередження реакції активації мікроглії, як типового патологічного процесу формування нейрозапалення [19]. Визначено, що подібний вплив на функціональний стан мікроглії мозку пов'язаний із гальмуванням MAPK-NF-κB сигнального шляху [12]. Однак до останнього часу не проводились дослідження впливу НІПУ на стан когнітивних функцій у щурів із модельованим застосуванням ПТЗ хронічним епілептичним синдромом.

Тому метою дослідження було вивчення активного уникнення, а також розпізнавання нових об'єктів щурами із ПТЗ-індукованим кіндлінгом за умов застосування транскраніального впливу низькоінтенсивним пульсуючим ультразвуком.

#### **Матеріал і методи дослідження**

Дослідження провели на 39 статевозрілих щурах лінії Вістар (віком три місяці). Тварини знаходились за стандартних умов віварію Одеського національного медичного університету при постійній температурі 23°C, 60% вологості, 12-годинній зміні освітлення, вільним доступом до води та стандартною дієтою.

Експериментальні процедури виконували відповідно до вимог Гельсінської декларації (Directive 86/609/EEC) та вимог Національного Інституту Здоров'я США щодо поводження з експериментальними тваринами. Протокол дослідження схвалено Комісією з Біоетики Одеського на-

ціонального медичного університету (Протокол № 1, 14.03.2022).

ПТЗ-індукований кіндлінг моделювали за раніше описаною методикою [1]. PTZ (P6500, Sigma-Aldrich, США) розчиняли в 0,9% NaCl ex tempore і застосовували внутрішньочеревинно (в/очер) дозою 35,0 мг/кг щодобово протягом 21 дня. Щурам групи контролю (інтактні тварини) щодобово вводили 0,9% фізіологічний розчин NaCl.

Транскраніальний вплив здійснювали однократно протягом п'яти діб за раніше описаною методикою [1-3]. Щури фіксували в стереотаксичному апараті СЕЖ-5, з метою анестезії застосовували в/очер кетамін дозою 80,0 мг/кг у поєднанні з ксилазином дозою 10,0 мг/кг. Використовували наступні параметри НІПУ: 1,5 МГц, інтенсивність 30 мВт/см<sup>2</sup>, загальна тривалість сеансу складала 20,0 хв - по 10,0 хв на ліву та праву півкулі. Щурам груп контролю здійснювали хибні впливи НІПУ.

Активне уникнення у щурів досліджували за методикою [4]. В якості умовно-рефлекторного сигналу використовували звуковий сигнал частотою 1000 Гц та силою 50 дБ, який поєднували із подразненням підшкірки кінцівок тварин на електродній підлозі електричним струмом (90 В). Захищена від подразнення площадка слугувала місцем активного уникнення. Навчальні сеанси проводили тричі на добу протягом двох тижнів. Визначали число позитивних уникнень на послідовні 10 подразнень.

Тест розпізнавання нових об'єктів проводили за методикою [16]. Після попереднього 30-хвилинного ознайомлення тварин з полем (65 Ч 65 см<sup>2</sup>, висота 45 см), в якому відбувалось спостереження, проводили перше тренувальне випробування, під час якого в полі розміщували два однакових об'єкти, і щур вільно досліджував їх протягом 5 хвилин. Через годину проводили друге випробування, в якому один об'єкт був замінений на інший, а досліджуваність оцінювали про-

тягом 5 хвилин. Результати дослідження - індекс дискримінації (ІД) вираховували як відсоток часу, проведеного з новим об'єктом, по відношенню до загального часу спостереження.

Щурів розподілили в наступні експериментальні групи:

- Інтактні щури з щодобовим застосуванням 0,9% фізіологічного розчину NaCl (n=9).
- Інтактні щури з щодобовим застосуванням 0,9% фізіологічного розчину NaCl з хибними впливами НІПУ (n=8);
- Щури з розвиненим ПТЗ-індукованим кіндлінгом (n=7);
- Щури з розвиненим ПТЗ-індукованим кіндлінгом та впливом НІПУ- (n=7).
- Щури з розвиненим ПТЗ-індукованим кіндлінгом та впливом НІПУ-(n=8).

Проведення тестування поведінки здійснювали на наступну добу після п'ятого сеансу НІПУ.

Статистичний аналіз було проведено із використанням програмного пакету SPSS для Windows (SPSS Inc., версія 21.0, США). Для порівняння показників активного уникнення застосовували критерій Kruskal-Wallis з post-hoc Dunn тестом, а для показника дискримінації нових об'єктів застосовували метод ANOVA з post-hoc Tukey's HSD тестом. Відмінності приймалися як статистично значущі при  $P < 0,05$ . Результати представлені як середня величина з середньоквадратичним відхиленням ( $M \pm SD$ ).

### Результати досліджень та їх обговорення

Порівняння відтворюваності реакції уникнення щурів на умовний сигнал визначило наявність достовірних відмінностей між групами при  $H=21,577$ ,  $df=4$ ;  $P=0,00024$ . При цьому якщо в групі інтактних щурів активне уникнення на сім і вище умовних подразнень із 10 спостерігалась у 7 із 9 щурів (77,8%), в групі інтактних щурів (контроль) тільки у 2 із 8 (25%) щурів реєструвались реакції уникнення

( $P < 0,05$ ) (Табл. 1).

Таблиця 1

Активне уникнення у щурів із судомами за умов застосування неінвазивного транскраніального впливу низькоінтенсивним пульсуючим ультразвуком

Групи спостереження	Число тестувань з позитивними реакціями активного уникнення										P (Kruskal Wallis+ Dunn)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1 Контроль - введення 0,9 % NaCl (n = 9)	-	-	-	-	-	2	3	2	2	-	-	-
2 Контроль+ хибний вплив НІПУ (n = 8)	-	-	-	-	3	3	2	-	-	-	-	P <sub>2</sub> - P <sub>1</sub> = 0,0333
3 Кіндлінг (n = 7)	-	-	1	3	2	1	-	-	-	-	-	P <sub>3</sub> - P <sub>1</sub> = 0,0006
4 Кіндлінг + хибний вплив НІПУ (n = 7)	-	1	2	1	2	1	-	-	-	-	-	P <sub>4</sub> - P <sub>1</sub> = 0,000 P <sub>4</sub> — P <sub>2</sub> = 0,0416
5 Кіндлінг + вплив НІПУ (n = 8)	-	-	-	1	4	3	-	-	-	-	-	P <sub>5</sub> - P <sub>4</sub> = 0,0082

Примітка: показник "P" наведений тільки для статистично підтвердженої достовірності відмінностей між відповідними групами.

Кіндлінгові щури не реагували на 7 і вище електричними подразненнями, що було достовірно менше порівняно до контролю ( $P < 0,001$ ). За умов застосування хибних подразнень НІПУ у 3 із 7 щурів реакції уникнення реєструвались не вище від 3 подразнень із 10, що було достовірно менше порівняно як до групи контролю з в/очер застосуванням фізіологічного розчину NaCl ( $P < 0,001$ ), так і порівняно до групи контролю з хибним впливом НІПУ ( $P < 0,05$ ) (Табл. 1).

На тлі транскраніального впливу НІПУ всі досліджувані тварини демонстрували реакції уникнення на 4-6 подразнень електричним струмом із 10, що достовірно перевищувало показник в групі кіндлінгових щурів із хибними впливами ( $P < 0,01$ ) (Табл. 1).

Порівняння виразності ІД визначило наявність статистичних відмінностей між групами при  $F=13,306$ ;  $df=4$ ;  $P=0,000$ . Спостерігалось достовірне зниження досліджуваного показника в групі контролю з хибним впливом НІПУ (група II) - на 25,1% ( $P=0,019$ ) (Рис. 1). ІД у кіндлінгових щурів (група III) зменшувався порівняно до контролю (група I) на 42,5% ( $P < 0,001$ ); при хибних впливах НІПУ (група IV) порівняно з інтактним контролем (група I) зменшення складо 51,1% ( $P < 0,001$ ).

Крім того, ІД кіндлінгових щурів з хибним впливом НІПУ (група IV) зменшувався порівняно до контролю з хибним застосуванням НІПУ (група II) на 34,6% ( $P=0,024$ ). На тлі транскраніального застосування НІПУ ІД перевищував показник в групі кіндлінгових щурів із хибним застосуванням НІПУ на 42,2% ( $P=0,0015$ ), а також був вищим на 32,0% порівняно до кіндлінгових щурів (група III) ( $P=0,0226$ ) (Рис. 1).

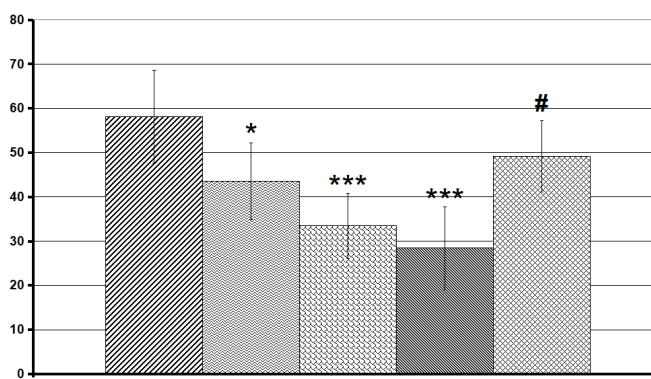


Рис. 1. Показник індексу дискримінації (ІД) у щурів з розвиненим кіндлінгом на тлі застосування НІПУ.

Примітки: по вісі абсцис: I-контроль (введення 0,9 % фізіологічного розчину NaCl); II- контроль + хибні впливи НІПУ; III- розвинений кіндлінг; IV- розвинений кіндлінг + хибні впливи НІПУ; V- розвинений кіндлінг+ НІПУ.

\*- $P < 0,05$  та \*\*\*-  $P < 0,001$  порівняно до контролю (група I); #- $P < 0,05$  порівняно до групи IV (ANOVA+Neman-Keuls тест).

Таким чином, отримані результати засвідчили, що відтворення умовнорефлекторної реакції активного уникнення у щурів із розвиненим ПТЗ-кіндлінгом зменшується порівняно до контролю. На тлі застосування хибних впливів - п'яти-добового застосування кетамінової анестезії, спостерігається достовірне гальмування формування реакцій уникнення як у відповідній групі контролю, так і виразна тенденція до подальшого посилення гальмування у щурів із розвиненим кіндлінгом. Важливим є отриманий результат відновлення здатності навчання кіндлінгових щурів на тлі транскраніальних впливів НІПУ. При цьому здатність щурів до реагування на больові подразнення перевищувала таку в групі кіндлінгових щурів із хибним впливом НІПУ ( $P < 0,01$ ) і не відрізнялась від досліджуваного показника в групах контролю ( $P > 0,05$ ).

Можливими механізмами здійснен-

ня коригуючого впливу НІПУ у відношенні до порушення когнітивних функцій є зростання активності ендотеліальних клітин - збільшення імуногістохімічної активності CD-31- позитивних, клітин - прекурсорів олігодендроцитів (Olig2 - позитивних) на моделі деменції судинного генезу [7]. Також визначено, що під впливом НІПУ (1,875/ МГц, 6,0/ кГц, 32 циклу) зростає Іba-1 позитивна імунореактивність мікроглії та знижується вміст амілоїду-в на моделі хвороби Альцгеймера. На обох моделях значно зростає вміст РНК, а також експресія ендотеліальної синтази оксиду азоту (eNOS) та нейротрофінів. Причому, позитивні впливи НІПУ були відсутні у мишей з відсутністю генів які кодують eNOS [7]. Також важливим механізмом відновлення когнітивних функцій є активація нейрогенезу в структурах гіпокампу (зубчаста звивина) [18].

Слід зазначити, що ефекти посилення порушень навчання кетаміном пояснюються здатністю препарату посилювати тривожність при його застосуванні в низьких дозах -2,5 мг/кг [10], а при збільшенні дози препарату до 80,0 мг/кг виникають виразні порушення навчання на тлі нейродегенеративних змін в структурах гіпокампу [17]. Причому повторні застосування кетаміну викликають зростання зазначених порушень, зокрема підвищення тривожної поведінки щурів [5, 6]. Тобто, наведені порушення, викликані кетаміном є характерними для моделі хронічного епілептичного синдрому, викликаного методом ПТЗ-кіндлінга. Позитивний ефект НІПУ за подібної умови співпадіння патогенезу кетамін-викликаного та кіндлінг-індукованого порушень свідчать щодо перспективи дослідження НІПУ в якості екстреної медичної допомоги при отруєнні кетаміном.

#### Висновки

1. У щурів із розвиненим кіндлінгом здатність до навчання умовнорефлекторним реакціям активного уникнення знижується. Застосування повторної кетамінової анестезії гальмує формування навички уникнення як в

групі контролю (хибний вплив НІПУ) у щурів із ПТЗ-кіндлінгом.

2. Здатність до розпізнавання нових об'єктів зменшується у щурів із ПТЗ-кіндлінгом. Кетамінова анестезія викликає зниження індексу дискримінації у щурів групи контролю.
3. Транскраніальні впливи НІПУ відновлюють здатність до формування активного уникнення а також підвищують розпізнавання нових об'єктів щурами із сформованим кіндлінгом.

#### References/Література

1. Первак М.П. Особливості плавальної поведінки щурів із хронічним епілептичним синдромом на тлі транскраніального застосування низькоінтенсивного пульсуючого ультразвуку. Вісник морської медицини. 2026; №1(110): 158-164 <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.19372993>
2. Первак М.П. Особливості періоду постнападової депресії у кіндлінгових щурів на тлі транскраніального застосування низькоінтенсивного пульсуючого ультразвуку. Клінічна анатомія та оперативна хірургія. 2026; 25 (1): 45-53. <http://doi.org/10.24061/1727-0847.25.1.2026.05>
3. Первак М.П., Єгоренко О.С., Букреєва Н.І., Кащенко О.А., Ляшенко С.Л. Особливості поведінки щурів з пентилентетразол-індукованим епілептичним синдромом у відкритому полі та тесті вимушеного плавання за умов транскраніального впливу низькоінтенсивним пульсуючим ультразвуком. Перспективи та інновації науки. 2026; 2(60): 2497-2508. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-2\(60\)-2497-2508](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-2(60)-2497-2508)
4. Погоріла ІВ. Вплив похідного пептидамідобензофенону та діазепаму на поведінку активного уникнення щурів у післясудомному періоді. Інтегративна антропологія. 2011; 1(17): 61-64.
5. Acevedo J., Mugarura N.E., Welter A.L., Johnson E.M, Siegel J.A The Effects of Acute and Repeated Administration of Ketamine on Memory, Behavior, and Plasma Corticosterone Levels in Female Mice, Neuroscience. 2023; 512: 99-109, <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2022.12.002>
6. Amorim M., J.Bravo, A.I. Silva, C.J.Alves, P.R.R. Monteiro, A.Magalhães, T.Summavielle. Repeated exposure to ketamine in adolescent rats results in persistent anxiety in the adulthood. Journal of Drug and Alcohol Research. 2018; 7: 236060, <http://doi.org/10.4303/jdar/236060>

7. Eguchi K., Shindo T., Ito K., Ogata T., Kurosawa R., Kagaya Y., Monma Y., Ichijo S., Kasukabe S., Miyata S., Yoshikawa T., Yanai K., Taki H., Kanai H., Osumi N., Shimokawa H. Whole-brain low-intensity pulsed ultrasound therapy markedly improves cognitive dysfunctions in mouse models of dementia - Crucial roles of endothelial nitric oxide synthase. *Brain Stimulation*. 2018; 11 (5): 959-973, <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.05.012>.
8. Fiest KM, KM Sauro, S Wiebe, SB Patten, CS Kwon, J Dykeman, et al. Prevalence and incidence of epilepsy: a systematic review and meta-analysis of international studies *Neurology*. 2017; 88(3): 296-303 10.1212/WNL.0000000000003509
9. Fisher RS, JH Cross, JA French, N Higurashi, E Hirsch, FE Jansen, et al. Operational classification of seizure types by the International League Against Epilepsy: Position Paper of the ILAE Commission for Classification and Terminology. *Epilepsia*. 2017; 58 (4): 522-530 10.1111/epi.13670
10. Guevara MA, Garcna Menéndez SM, Barrutieta-Arberas I, Romanowicz EA, Landa de Gargiulo AI, Lafuente JV, Gargiulo PB. Effect of Acute Administration of Different Ketamine Doses on Anxiety and Metabolic Activity of the Amygdala in Rats. *Neuropsychobiology*. 2025; 1-8. <http://doi.org/10.1159/000547982>.
11. Hakan S., Oguz Y., Serkan E., Erkanli S.G. A dataset for oxytocin loaded nanoparticles and their effects on pentylenetetrazole-kindling model of male rats. *Mendeley Data*, 2022; 3, <http://doi.org/10.17632/vrpw86vx8f.3>
12. Hsiao N.-J., Lee C.-Y., Ke C.-H., Wu C.-H., Chen S.-F., Yang F.-Y. Low-Intensity Pulsed Ultrasound Attenuates Neuroinflammation and Preserves Synaptic Integrity by Modulating Microglial Polarization Through the MAPK-NF-κB Pathway After Traumatic Brain Injury. *The FASEB Journal*. 2025; 39(23): e71246, <https://doi.org/10.1096/fj.202502379R>
13. Hu Y., Wang Ze., Wu H. Preclinical Applications and Parameter Optimization of Low-Intensity Pulsed Ultrasound Therapy in Neurological Diseases: A Review. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2026; 52(4): 747-764. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2025.12.016>.
14. Levesque M, Avoli M. The kainic acid model of temporal lobe epilepsy. *Neurosci Biobehav Rev*. 2013; 37(10): 2887-2899. <http://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.10.011>
15. Lin, WT., Chen, RC., Lu, WW. et al. Protective effects of low-intensity pulsed ultrasound on aluminum-induced cerebral damage in Alzheimer's disease rat model. *Sci Rep*. 2015; 5: 9671. <https://doi.org/10.1038/srep09671>
16. Pírez-Silanes S, Martisova E, Moreno E et al. Novel Pitolisant-Derived Sulfonyl Compounds for Alzheimer Disease. *Int J Mol Sci*. 2024;25:799.
17. Wang J, Zhou M, Wang X, Yang X, Wang M, Zhang C, Zhou S, Tang N. Impact of ketamine on learning and memory function, neuronal apoptosis and its potential association with miR-214 and PTEN in adolescent rats. *PLoS One*. 2014; 9(6): e99855. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0099855>
18. Wang W, Li Z, Yan Y, Wu S, Yao X, Gao C, Liu L, Yu Y. LIPUS-induced neurogenesis: A potential therapeutic strategy for cognitive dysfunction in traumatic brain injury. *Exp Neurol*. 2024; 371:114588. <http://doi.org/10.1016/j.expneurol.2023.114588>
19. Wang Y., Meng X., Zhang X., et al. Low-Intensity Pulsed Ultrasound Alleviation of LPS-Induced Depression-Like Behavior via Microglial P2X4R Inhibition and BDNF/TrkB Pathway Activation. *CNS Neuroscience & Therapeutics*. 2026; 32(2): e70786, <https://doi.org/10.1002/cns.70786>

*Вперше надійшла до редакції 28.02.2026 р.  
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування*