

Статеві особливості ішемічного інсульту: нові підходи за допомогою штучного інтелекту (Огляд літератури)

С. В. Конотопчик¹, І. В. Альтман¹, С. О. Коломійченко¹, М. Є. Поліщук², О. М. Гончарук², А. В. Муравський³, Ю. В. Бурик³, М. Б. Виваль¹

¹ДУ «Науково-практичний центр ендovasкулярної нейрорентгенохірургії НАМН України», м. Київ

²Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика, м. Київ

³Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ

Ішемічний інсульт залишається однією з провідних причин смертності та інвалідації дорослого населення в усьому світі, зокрема серед пацієнтів чоловічої статі. Чоловіки мають вищий ризик розвитку інсульту в молодшому віці порівняно з жінками, а особливості перебігу та відповідь на лікування у них можуть відрізнятися через комплекс факторів, включно із соціальними детермінантами, професійними ризиками та біологічними відмінностями. Це обумовлює необхідність розробки точних і персоналізованих підходів саме для цієї демографічної групи. У сучасній неврології та кардіології вагомійшій ролі набувають інноваційні технології, серед яких ключове місце посідає штучний інтелект (ШІ), зокрема машинне навчання. Вони відкривають нові горизонти для аналізу великих масивів медичних даних, виявлення складних закономірностей і створення прогностичних моделей.

Для проведення літературного огляду було здійснено систематичний пошук наукових публікацій в електронних базах даних PubMed, IEEE Xplore та Google Scholar. Пошук обмежений статтями, опублікованими переважно за останні 5 років (2019–2025 рр.), з урахуванням ключових фундаментальних робіт більш раннього періоду. До огляду були включені оригінальні дослідження, метааналізи й систематичні огляди, що присвячені застосуванню методів машинного та глибокого навчання в нейрорадіології.

ШІ значно покращує діагностику та лікування інсульту. Алгоритми глибокого навчання (наприклад, Viz.ai, e-ASPECTS) автоматично аналізують зображення комп'ютерної томографії / магнітно-резонансної томографії, виявляючи ознаки ішемії та оклюзії великих судин, що критично важливо для чоловіків, які частіше є кандидатами на тромбектомію через більш ранній вік її настання. Впровадження ШІ-систем скорочує час до початку лікування на 15–37 хв, підвищує точність і узгодженість діагностичних оцінок, що безпосередньо покращує доступ до своєчасної допомоги. У прогнозуванні наслідків ШІ-моделі, які інтегрують дані нейровізуалізації та клінічні показники, підтверджують, що чоловіки мають кращий функціональний прогноз після інсульту порівняно з жінками за інших рівних умов. Хоча сучасні алгоритми застосовуються уніфіковано, ШІ як інструмент дослідження виявляє статеві відмінності. Зокрема, у чоловіків мозок може мати іншу функціональну організацію, що впливає на наслідки інсульту. Утім, ці дані потребують подальшого уточнення в лонгітудинальних дослідженнях. Впровадження ШІ в інсультологію обіцяє новий рівень персоналізованої медицини. Зокрема, для чоловіків це призведе до більш точного оцінювання ризиків та ефективнішого лікування. Майбутній прогрес полягає в інтеграції даних про статеві відмінності в алгоритми ШІ. Розробка гендерно-чутливих інструментів є ключем до забезпечення рівного доступу до високоефективної допомоги й максимальної реалізації потенціалу ШІ для всіх пацієнтів.

Ключові слова: штучний інтелект, інсульт, чоловіча стать, оклюзія великої судини, ендovasкулярна тромбекстракція, гендерно-орієнтовані алгоритми, ефективність лікування.

Sex-specific features of ischemic stroke: new approaches using artificial intelligence (Literature review)

S. V. Konotopchik, I. V. Altman, S. O. Kolomiichenko, M. Ye. Polishchuk, O. M. Honcharuk, A. V. Muravskiy, Yu. V. Buryk, M. B. Vyval

Ischemic stroke remains one of the leading causes of mortality and disability in the adult population worldwide, particularly among male patients. Men are at a higher risk of developing stroke at a younger age compared to women, and their clinical course and response to treatment may differ due to a complex interplay of social determinants, occupational hazards, and biological differences. This highlights the need for accurate and personalized approaches tailored specifically to this demographic group. In modern neurology and cardiology, innovative technologies – especially artificial intelligence (AI), including machine learning – are gaining a central role. They open new horizons for analyzing large volumes of medical data, detecting complex patterns, and building predictive models.

A systematic search of scientific publications was conducted in PubMed, IEEE Xplore, and Google Scholar for literature review. The search was limited primarily to articles published in the last 5 years (2019–2025), taking into account key fundamental studies from an earlier period. The review included original research, meta-analyses, and systematic reviews dedicated to the application of machine learning and deep learning methods in neuroradiology.

AI significantly improves stroke diagnosis and treatment. Deep learning algorithms (e.g., Viz.ai, e-ASPECTS) automatically

analyze computed tomography / magnetic resonance imaging scans, detecting signs of ischemia and large vessel occlusion, which is particularly important for men, who more often qualify for thrombectomy due to earlier onset age. Implementation of AI systems reduces treatment times (by 15–37 minutes) and increases diagnostic accuracy and consistency, directly improving timely access to care. For outcome prediction, AI models integrating neuroimaging and clinical data confirm that men tend to have better functional recovery after stroke compared to women under otherwise equal conditions. While current algorithms are applied uniformly, AI as a research tool reveals sex-specific features. Thus, in men, the brain may have a different functional organization that affects the effects of stroke. However, these findings require further confirmation in longitudinal studies.

Integration of AI into stroke medicine promises a new level of personalized care. Specifically for men, it will provide more precise risk assessment and more effective treatment. Future progress lies in incorporating sex-related differences into AI algorithms. Developing gender-sensitive tools is key to ensuring equitable access to high-quality care and fully realizing AI's potential for all patients.

Keywords: artificial intelligence, stroke, male sex, large vessel occlusion, endovascular thrombectomy, gender-oriented algorithms, treatment effectiveness.

Інсульт залишається однією з провідних причин смертності та інвалідності у світі, причому демографічні фактори, зокрема стать, відіграють важливу роль у його епідеміології й наслідках. Дослідження вказують на наявність статевих відмінностей у поширенні інсульту: наприклад, у відносно молодшому віці частіше інсульт трапляється в чоловіків, але через довшу тривалість життя загалом більше жінок переносять інсульт [1]. Жінки також нерідко мають тяжчі прояви інсульту та гірші функціональні наслідки порівняно з чоловіками [2]. Водночас чоловіки більш схильні до певних факторів ризику (куріння, артеріальна гіпертензія (АГ) тощо), тоді як жінки мають інші унікальні фактори (гормональні впливи) [1]. Ці статеві відмінності вказують на потребу персоналізованого підходу в профілактиці та лікуванні інсульту.

Сучасна медицина покладає великі надії на штучний інтелект (ШІ) у вдосконаленні допомоги при інсульті. За останні 15 років відбувся стрімкий розвиток методів ШІ та машинного навчання (МН), які знаходять застосування на всіх етапах ведення пацієнтів з інсультom – від оцінювання ризику й профілактики до діагностики, гострого лікування, прогнозування наслідків і реабілітації [3]. З'явилися автоматизовані системи аналізу медичних зображень для швидкої діагностики інсульту, прогностичні моделі для оцінювання результатів лікування, а також інтелектуальні алгоритми підтримки рішень під час нейроінтервенційних втручань [4–7]. Важливо наголосити, що більшість таких інструментів ШІ розроблено для загальної популяції пацієнтів і часто не враховують специфіку окремо для чоловіків чи жінок. У цьому огляді узагальнено дані щодо застосування ШІ в контексті інсульту, з акцентом на чоловіках та статевих відмінностях у профілактиці, діагностиці, прогнозуванні й лікуванні інсульту.

Стать та фактори ризику інсульту: профілактика

Первинна профілактика інсульту значною мірою залежить від виявлення факторів ризику та визначення індивідуальної ймовірності інсульту. Традиційні моделі ризику (шкали Framingham чи CHA₂DS₂-VASc) дали змогу визначити основні фактори – АГ, цукровий діабет (ЦД), куріння тощо, однак сучасні підходи із застосуванням ШІ здатні виявляти складніші нелінійні взаємозв'язки між цими факторами, а також враховувати їхню різну значущість у чоловіків і жінок [3]. Наприклад, дослідження 2023 р. показало, що хоча

загальна точність моделей на основі МН для передбачення 10-річного ризику атеросклеротичних серцево-судинних подій (включно з інсультom) у чоловіків і жінок була подібною до традиційних шкал, проте асоціації окремих факторів ризику зі станом здоров'я різнилися між статями [8]. Зокрема, у чоловіків підвищений рівень загального холестерину виявився сильніше пов'язаним із ризиком серцево-судинних подій, тоді як для жінок більш значущими предикторами були старший вік та збільшений об'єм талії [9]. Це наголошує на важливості статевоспецифічного оцінювання ризиків і профілактичних стратегій.

Новітні роботи застосовують окремі моделі МН для чоловіків і жінок, щоб точніше визначити ключові фактори ризику інсульту. Так, Jacobs та співавт. (2024) проаналізували молодшу вибірку (вік 33–43 роки) і виявили, що хоча загальномедичні чинники (АГ, ЦД тощо) значущі для обох статей, існують відмінності в поведінкових детермінантах інсульту. У жінок серед провідних предикторів інсульту в молодому віці були, зокрема, вживання марихуани, нижчий рівень освіти, мігрень, депресія та посттравматичний стресовий розлад, тоді як у чоловіків – низький рівень доходу, наявність ішемічної хвороби серця, ЦД, нічне апное й підвищена тривожність [9]. Відповідно, автори наголошують на необхідності розробки профілактичних заходів, враховуючи ці статеві особливості, аби ефективніше знизити захворюваність на інсульт у кожній групі.

Окрім поведінкових факторів, ШІ застосовували й для моделювання комбінованого впливу класичних факторів ризику. У великому китайському дослідженні (2025 р.) із понад 134 тис. учасників використано мережі Баєса (Bayesian networks) для побудови гендерно-специфічних моделей ризику інсульту. Встановлено, що у чоловіків прямими (безпосередніми) факторами ризику були: дисліпідемія (порушення рівня жирів крові), АГ та вік, тоді як непрямыми – хронічний, низький рівень освіти й епізоди нічного апное. У жінок прямими предикторами виявилися: вік, АГ та пасивне куріння, а непрямим фактором – хронічний. Навіть спільні фактори діяли з різною силою: сімейний анамнез інсульту збільшував ризик для жінок приблизно в 5,56 раза, тоді як для чоловіків – у 4,22 раза [1]. Таким чином, ШІ-аналіз підтвердив, що біологічні та поведінкові відмінності між статями суттєво впливають на ризик інсульту, і запропонував наочні причинно-наслідкові схеми цих взаємозв'язків.

Загалом МН у профілактичній медицині інсульту демонструє здатність покращити стратифікацію ризику. Проте варто зазначити, що не всі сподівання на ІІІ у цій сфері одразу справдилися. Зокрема, у великому дослідженні, опублікованому С. Hong et al. в JAMA (2023), порівняли точність традиційних моделей ризику інсульту з новими алгоритмами ІІІ у різних підгрупах (за расою, статтю та віком) і дійшли висновку, що *нові МН-моделі не перевершують класичні шкали за прогностичною точністю*. Дискримінаційна здатність (С-індекс) моделей виявилася подібною, а в деяких підгрупах (особливо у темношкірих пацієнтів) – навіть гіршою, незалежно від статі [10]. Це засвідчує, що для повноцінного використання потенціалу ІІІ в оцінюванні ризику потрібні більш різноманітні дані й вдосконалення алгоритмів з урахуванням, зокрема, соціально-демографічних особливостей. Важливо, що більшість згаданих моделей ризику (окрім тих, що спеціально створені для порівняння статей) застосовуються однаково до чоловіків і жінок. Якщо окремо не зазначено, алгоритми профілактики інсульту на основі ІІІ, як правило, не адаптовані під стать пацієнта – натомість вони можуть включати стать як одну з вхідних змінних. У випадках, коли дослідження не аналізує статевих відмінностей як моделі, ми обмежимося описом загальних результатів без спроб інтерпретації їх через гендерну призму.

ІІІ у діагностиці інсульту

Швидка й точна діагностика інсульту є критично важливою для своєчасного лікування, і в цій сфері ІІІ вже довів свою корисність. Комерційно доступні алгоритми глибокого навчання інтегровані в клінічну практику для автоматизованого розпізнавання інсульту на зображеннях мозку [11]. Системи комп'ютерного зору здатні аналізувати результати комп'ютерної томографії (КТ) або магнітно-резонансної томографії (МРТ) головного мозку і виявляти ознаки гострого ішемічного інсульту чи внутрішньочерепного крововиливу без втручання рентгенолога. Наприклад, алгоритми для визначення оклюзії великих судин на КТ-ангіограмах вже впроваджені в багатьох регіонах і довели свою клінічну корисність [3]. Такі інструменти автоматично повідомляють лікарів про виявлену закупорку магістральної артерії, що дозволяє швидше розпочати підготовку до тромбекстракції.

Одним з яскравих успіхів ІІІ у діагностиці є підвищення оперативності маршрутизації пацієнтів. Програмне забезпечення Viz.ai – приклад схваленої FDA системи (Food and Drug Administration – Управління з контролю за харчовими продуктами та лікарськими засобами США), яка моніторить зображення КТ / МРТ пацієнтів із підозрою на інсульт і автоматично оповіщає нейрохірургічну чи інсультну команду на смартфон у разі виявлення оклюзії великої судини. Досвід використання Viz.ai показав значне скорочення часових інтервалів: за даними дослідження 2023 р., впровадження цього ІІІ-інструменту зменшило час від прибуття до початку ендovasкулярного втручання (door-to-puncture time) в середньому на 15 хв ($p = 0,009$), а час міжлікарняного трансферу (door-in-door-out time) – на 37 хв ($p = 0,04$).

У лікарнях, які не використовували систему автоматичного оповіщення, подібного покращення не спостерігалося [12]. Ці дані свідчать, що ІІІ-помічники в діагностиці реально прискорюють процес прийняття рішень і, як наслідок, початок лікування інсульту.

ІІІ також допомагає стандартизувати оцінювання діагностичних зображень, зменшуючи суб'єктивні розбіжності між лікарями. Одним із прикладів є програма e-ASPECTS (Brainomix), яка автоматично обчислює шкалу ASPECTS (Alberta Stroke Program Early CT Score) на нативній КТ головного мозку. ASPECTS використовується для кількісного оцінювання ранніх ішемічних змін при ішемічному інсульті (0 балів – обширний інсульт, 10 – відсутність ураження) і впливає на рішення про тромболітичну терапію або тромбектомію. У мультицентровому дослідженні 2023 р. за участю 10 американських рентгенологів і неврологів було показано, що підказки e-ASPECTS значуще покращують точність та узгодженість оцінок із референсним стандартом. Площа під кривою (AUC – Area Under the Curve) діагностики ішемічного ураження зросла з 0,81 до 0,83 при використанні ІІІ ($p = 0,028$), а коефіцієнт узгодженості к між експертами підвищився з 0,60 до 0,65, що підтверджує користь для досвідчених фахівців від автоматизованого аналізу – ІІІ-інструмент зменшує вплив людського фактора і підвищує об'єктивність діагностики [13].

Важливо відзначити, що статевих відмінностей у точності або роботі діагностичних ІІІ-алгоритмів для інсульту наразі спеціально не описано. Наявні системи (визначення оклюзії великих судин, виявлення крововиливу, оцінка ASPECTS тощо) розроблені з використанням великих датасетів, до яких входили як чоловіки, так і жінки, але результати валідовані загалом по вибірці. Хоча жінки статистично частіше мають нетипові симптоми інсульту (наприклад, сплутаність свідомості, загальна слабкість замість класичного одностороннього паралічу) [2], нинішні системи ІІІ здебільшого орієнтовані на аналіз зображень або голосових сигналів екстрених викликів і ще не враховують тонкощів гендерних відмінностей у клінічній симптоматиці. Однак перспективні розробки тривають: наприклад, дослідження в Данії оцінило потенціал автоматичного розпізнавання мовлення під час екстрених дзвінків для виявлення інсульту. Моделювання показало, що впровадження такого ІІІ може підвищити рівень розпізнавання інсульту диспетчерами до понад 61%, з яких додатково 5% пацієнтів отримають тромболізис, причому особливої користі ця технологія може принести саме для жінок і молодих пацієнтів, які нині часто залишаються недооціненими [14]. Отже, хоча на сьогодні діагностичні алгоритми ІІІ застосовуються уніфіковано до обох статей, потенційно вони здатні компенсувати наявні гендерні диспропорції (наприклад, покращуючи виявлення інсульту в жінок з атиповими проявами). Подальші дослідження мають оцінити, чи є різниця в чутливості/специфічності таких систем залежно від статі пацієнта, і за потреби адаптувати алгоритми.

ІІІ у прогнозуванні наслідків інсульту

Прогнозування перебігу та наслідків інсульту – складне завдання, оскільки на результат впливає

багато чинників: обсяг та локалізація ураження мозку, своєчасність і вид лікування, вік, супутні захворювання тощо. ІІІ активно застосовується для моделювання клінічних прогнозів, зокрема для передбачення функціонального відновлення (за модифікованою шкалою Ренкіна через 3 міс.), виживаності, ризику ускладнень тощо [3]. За оглядовими даними, саме прогностичні моделі є найбільш численною категорією досліджень ІІІ в інсультології – майже 40% публікацій присвячені передбаченню результатів, що включає як прогноз функціональних наслідків, так і оцінювання ризику повторного інсульту, розвитку післяінсультної пневмонії чи інших супутніх станів [3].

Статеві особливості відіграють важливу роль у відновленні після інсульту. Відомо, що хоча жінки й живуть довше після інсульту, часто мають гірший функціональний стан – зокрема, вищий рівень інвалідизації та гіршу якість життя, ніж чоловіки того ж віку [14]. Це пояснюють і тим, що жінки зазвичай старші на момент інсульту, і можливими біологічними відмінностями у мозковій реактивності. Цікаві дані отримали A. Bonkhoff et al. (2021). Вони застосували методи моделювання Баєса (Bayesian modelling) для аналізу топографії ураження мозку при ішемічному інсульті й виявили, що певні патерни локалізації інфаркту асоційовані з тяжкістю інсульту по-різному в чоловіків і жінок. Ураження лівої півкулі в ділянках задньої мозкової циркуляції значно погіршували неврологічний статус у жінок, тоді як у чоловіків подібної залежності не спостерігалось [2]. Це наштовхує на думку про наявність *функціональної асиметрії* мозку, що різниться між статями і може впливати на наслідки інсульту. Іншими словами, жінкам для виникнення тяжких розладів достатньо менших за обсягом уражень у певних зонах, тоді як чоловічий мозок може мати трохи іншу організацію функцій. Дані були отримані завдяки аналізу великих масивів даних за допомогою ІІІ й у майбутньому можуть бути враховані під час розробки статевоспецифічних підходів до ведення пацієнтів – наприклад, більш агресивна реабілітація чи нагляд за жінками з інсультом у певних зонах мозку.

Окрім цього, МН дозволяє оцінити вплив статі як предиктора клінічного (функціонального) виходу після інсульту. Інтерактивні МН-моделі підтвердили, що стать є одним зі значущих факторів, пов'язаних із відновленням після інсульту. Під час аналізу пацієнтів із великими та малими інфарктами було показано, що чоловіки мали кращий функціональний прогноз, ніж жінки, за інших рівних умов [15]. Важливо наголосити, що такі відмінності не завжди вловлюються стандартними статистичними моделями, але можуть бути краще враховані алгоритмами ІІІ, які аналізують великий набір змінних. Поки що жоден із широко впроваджених прогностичних алгоритмів не є окремо «для чоловіків» чи «для жінок» – натомість стать входить до списку змінних моделей. Якщо дослідження не виявило істотної взаємодії «стать – інший фактор», автори зазвичай роблять висновок, що модель однаково застосовна до обох статей. Наприклад, в одному з досліджень прогнозування довго-

строкового результату після тромболізу за методами Explainable AI було зазначено, що стать мала дуже низьку кореляцію з результатом, тобто прямого лінійного зв'язку не виявлено [16]. Однак це не означає відсутності реальних відмінностей – можливо, вони проявляються через опосередковані фактори (вік, обсяг інфаркту тощо).

Отже, роль ІІІ у прогнозуванні інсульту подвійна: з одного боку, такі алгоритми вже зараз покращують точність прогнозу для всіх пацієнтів, а з іншого – вони є інструментом дослідження, який допомагає виявити приховані статеві ефекти. У майбутньому можна очікувати появи більш персоналізованих моделей, де при прогнозі відновлення після інсульту враховуватиметься стать пацієнта як модифікатор впливу інших змінних.

ІІІ та нейроінтервенційні втручання при інсульті

Розвиток ендovasкулярних методів лікування ішемічного інсульту (механічна тромбектомія) відкрив нову еру в терапії оклюзій великих судин. ІІІ у цьому напрямі виконує дві основні ролі: оптимізація логістики лікування (швидкий відбір пацієнтів і транспортування) та допомога під час самої процедури. Першу роль ми вже розглянули – системи на кшталт Viz.ai чи RapidAI автоматично виявляють пацієнтів, яким показана тромбектомія, і сповіщають команду, що суттєво скорочує час до втручання [12]. Дослідження також показують, що впровадження цих систем здатне збільшити частку пацієнтів, які отримують ендovasкулярне лікування, адже деякі хворі, яких інакше могли б не перевести вчасно до центру, завдяки ІІІ-оповіщенню потрапляють на тромбектомію [3]. Це особливо важливо для чоловіків, які, за даними статистики, дещо частіше стають кандидатами на тромбектомію (оскільки в середньому інсульт у них виникає в молодшому віці, й при меншій тяжкості дефіциту вони швидше звертаються по допомогу). Утім, жінки часто приїжджають пізніше або з невизнаним інсультом, тож автоматизована пріоритизація може допомогти зменшити таку нерівність, забезпечивши всім пацієнтам рівний доступ до спеціалізованої допомоги [3].

Другий напрям – безпосередня підтримка нейрохірурга / інтервенційного радіолога під час операції. У 2025 р. з'явилися перші повідомлення про успішне застосування ІІІ в режимі реального часу при тромбектомії. Японські лікарі повідомили про систему NeuroVascular Assist – це програмне забезпечення на основі глибокого навчання, яке під час процедури проводить моніторинг положення катетера на рентгенівському зображенні й миттєво сповіщає оператора, якщо катетер випадково вийшов за межі видимого поля [17]. У серії з 16 пацієнтів така система працювала без збоїв, з точністю визначення 97% і чутливістю 99%. У близько 20% випадків підказка ІІІ допомогла хірургу швидше (менше ніж за 10 с) скоригувати позицію катетера, що потенційно запобігло ускладненням. Важливо, що додавання цього «асистента» не спричинило затримок чи побічних ефектів під час втручань [17]. Хоча досвід поки що обмежений, це перший крок до «розумних» нейроінтервенцій, де ІІІ стежить за критичними моментами операції й підтримує лікаря,

підвищуючи безпеку та ефективність процедури. У перспективі такі технології можуть розширитися: від автоматичного розпізнавання ключових етапів втручання до рекомендацій щодо оптимальної тактики (тип стент-ретривера, кількість проходів тощо) на основі аналізу тисяч попередніх випадків.

Наразі опубліковані дослідження щодо ІІІ в нейроінтервенціях не повідомляють про окремий аналіз ефективності в чоловіків проти жінок. Усі пацієнти, незалежно від статі, вииграють від скорочення часу до реперфузії чи більш точної техніки операції. Відомо, що результати тромбектомії можуть статистично відрізнятися за статтю (деякі роботи відзначали трохи гірші функціональні результати у жінок, що пов'язано з віком і станом судин), але алгоритми ІІІ покликані покращити допомогу для кожного пацієнта без «гендерних налаштувань». У літературі все більше уваги приділяється питанням упередженості (bias) ІІІ-моделей щодо статі: деякі автори закликають перевіряти алгоритми стосовно того, чи однаково добре вони працюють для чоловіків і жінок [18]. Поки що у сфері інсульту таких проблем не виявлено або вони не висвітлені. Отже, у контексті нейроінтервенцій можна сказати, що ІІІ-технології сприяють загальному покращенню процесу лікування інсульту, і потенційно це має позитивно відбитися на всіх хворих, незалежно від їх статі.

ІІІ усе глибше інтегрується в систему допомоги при інсульті, охоплюючи всі етапи – від профілактики до лікування і реабілітації. За останні 15 років накопичено значний масив досліджень, які демонструють переваги ІІІ: підвищення точності оцінювання ризику інсульту завдяки виявленню прихованих закономірностей у факторах ризику, прискорення діагностики й початку терапії за допомогою автоматичного аналізу нейровізуалізації та оповіщень, покращення узгодженості лікарських рішень (наприклад,

в інтерпретації КТ), а також підтримка хірургів у разі високотехнологічних втручань. Водночас аналіз літератури показує, що питання статевих відмінностей у застосуванні та ефективності ІІІ-підходів ще недостатньо вивчене. Є переконливі дані про різницю між чоловіками й жінками в епідеміології та наслідках інсульту, а окремі дослідження із застосуванням МН-моделей навіть виділяють різні набори ключових факторів ризику для кожної статі. Для прогресу в цьому напрямі важливо, щоб майбутні роботи зосередилися на оцінюванні справедливості та відсутності статевих упереджень у роботі ІІІ. Наприклад, доцільно перевіряти, чи однаково точно алгоритм прогнозує наслідки для чоловіків і жінок, чи немає різниці у швидкості розпізнавання інсульту із зображень тощо. Якщо будуть виявлені розбіжності, варто адаптувати моделі – чи то шляхом балансування вибірки, чи введенням коригувальних коефіцієнтів. Чоловіки як цільова група в контексті інсульту можуть мати свої особливості (більший вплив гіперліпемії на ризик, кращий відновний потенціал після інсульту тощо), і ІІІ здатен врахувати це за умови достатнього навчання.

ВИСНОВКИ

ІІІ відкриває нові горизонти в розумінні й подоланні інсульту. Для чоловіків це означає більш точну персоналізацію профілактики (з урахуванням притаманних саме їм факторів ризику) та покращення надання допомоги на гострому етапі. Хоча наразі більшість ІІІ-систем не розрізняє пацієнтів за статтю, накопичені докази статевих відмінностей вказують на перспективу створення гендерно-орієнтованих алгоритмів. Такий підхід сприятиме підвищенню ефективності та справедливості медичної допомоги, забезпечуючи отримання максимальної користі від революції ІІІ в інсультології як чоловіками, так і жінками.

Відомості про авторів

Конотопчик Станіслав Вікторович – ДУ «Науково-практичний центр ендovasкулярної нейрорентгенохірургії НАМН України», м. Київ

ORCID: 0000-0003-4951-4785

Альтман Ігор Володимирович – ДУ «Науково-практичний центр ендovasкулярної нейрорентгенохірургії НАМН України», м. Київ

ORCID: 0000-0001-7279-4071

Коломійченко Сергій Олегович – ДУ «Науково-практичний центр ендovasкулярної нейрорентгенохірургії НАМН України», м. Київ

ORCID: 0009-0003-3688-1110

Поліщук Микола Єфремович – Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика, м. Київ; тел.: (044) 205-49-96. E-mail: office@nuozu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-9669-9503

Гончарук Оксана Миколаївна – Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика, м. Київ; тел.: (044) 205-49-96. E-mail: office@nuozu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8602-6572

Муравський Андрій Володимирович – Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика, м. Київ; тел.: (044) 205-49-96. E-mail: office@nuozu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-7846-6255

Бурик Юлія Владиславівна – Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ

Виваль Микола Богданович – ДУ «Науково-практичний центр ендovasкулярної нейрорентгенохірургії НАМН України», м. Київ

ORCID: 0000-0002-9428-4678

Information about the authors

Konotopchuk Stanislav V. – SI “Scientific and Practical Center of Endovascular Neurorentgenosurgery of NAMS of Ukraine”, Kyiv

ORCID: 0000-0003-4951-4785

Altman Ihor V. – SI “Scientific and Practical Center of Endovascular Neurorentgenosurgery of NAMS of Ukraine”, Kyiv

ORCID: 0000-0001-7279-4071

Kolomiichenko Serhii O. – SI “Scientific and Practical Center of Endovascular Neurorentgenosurgery of NAMS of Ukraine”, Kyiv

ORCID: 0009-0003-3688-1110

Polishchuk Mykola Ye. – Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv; tel.: (044) 205-49-96. *E-mail:* office@nuozu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-9669-9503

Honcharuk Oksana M. – Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv; tel.: (044) 205-49-96. *E-mail:* office@nuozu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8602-6572

Muravskiy Andrii V. – Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv; tel.: (044) 205-49-96. *E-mail:* office@nuozu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-7846-6255

Buryk Yuliia V. – Bogomolets National Medical University, Kyiv

Vyval Mykola B. – SI “Scientific and Practical Center of Endovascular Neurorentgenosurgery of NAMS of Ukraine”, Kyiv

ORCID: 0000-0002-9428-4678

ПОСИЛАННЯ

- Linghu L, Huang Y, Qiu L, Wang X, Zhang J, Ma L, et al. Exploring stroke risk factors in different genders using Bayesian networks: a cross-sectional study involving a population of 134,382. *BMC Public Health*. 2025;25(1):2557. doi: 10.1186/s12889-025-23946-z.
- Bonkhoff AK, Schirmer MD, Bretzner M, Hong S, Regenhardt RW, Brudfors M, et al. Outcome after acute ischemic stroke is linked to sex-specific lesion patterns. *Nat Commun*. 2021;12(1):3289. doi: 10.1038/s41467-021-23492-3.
- Heo J. Application of artificial intelligence in acute ischemic stroke: A scoping review. *Neurointervention*. 2024;20(1):4-14. doi: 10.5469/neuroint.2025.00052.
- Lim DZ, Yeo M, Dahan A, Tahayori B, Kok HK, Abbasi-Rad M, et al. Development of a machine learning-based real-time location system to streamline acute endovascular intervention in acute stroke: A proof-of-concept study. *J Neurointerv Surg*. 2022;14(8):799-803. doi: 10.1136/neurintsurg-2021-017858.
- Hassan A, Benlamri R, Diner T, Cristofaro K, Dillistone L, Khallouki H, et al. An App for Navigating Patient Transportation and Acute Stroke Care in Northwestern Ontario Using Machine Learning: Retrospective Study. *JMIR Form Res*. 2024;8:e54009. doi: 10.2196/54009.
- Lee CC, Su SY, Sung SF. Machine learning-based survival analysis approaches for predicting the risk of pneumonia post-stroke discharge. *Int J Med Inform*. 2024;186:105422. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2024.105422.
- Heo J, Lee H, Seog Y, Kim S, Baek JH, Park H, et al. Cancer prediction with machine learning of thrombi from thrombectomy in stroke: multicenter development and validation. *Stroke*. 2023;54(8):2105-13. doi: 10.1161/STROKEAHA.123.043127.
- Kwak S, Lee HJ, Kim S, Park JB, Lee SP, Kim HK, et al. Machine learning reveals sex-specific associations between cardiovascular risk factors and incident atherosclerotic cardiovascular disease. *Sci Rep*. 2023;13(1):9364. doi: 10.1038/s41598-023-36450-4.
- Jacobs M, Hammarlund N, Evans E, Ellis C Jr. Identifying predictors of stroke in young adults: a machine learning analysis of sex-specific risk factors. *Front Stroke*. 2024;3:1488313. doi: 10.3389/fstro.2024.1488313.
- Hong C, Pencina MJ, Wojdyla DM, Hall JL, Judd SE, Cary M, et al. Predictive Accuracy of Stroke Risk Prediction Models Across Black and White Race, Sex, and Age Groups. *JAMA*. 2023;329(4):306-17. doi: 10.1001/jama.2022.24683.
- Mainali S, Darsie ME, Smetana KS. Machine learning in action: stroke diagnosis and outcome prediction. *Front Neurol*. 2021;12:734345. doi: 10.3389/fneur.2021.734345.
- Field NC, Entezami P, Boulos AS, Dalfino J, Paul AR. Artificial intelligence improves transfer times and ischemic stroke workflow metrics. *Interv Neuroradiol*. 2023;15910199231209080. doi: 10.1177/15910199231209080.
- Kobeissi H, Kallmes DF, Benson J, Nagelschneider A, Madhavan A, Messina SA, et al. Impact of e-ASPECTS software on the performance of physicians compared to a consensus ground truth: A multi-reader, multi-case study. *Front Neurol*. 2023;14:1221255. doi: 10.3389/fneur.2023.1221255.
- Scholz ML, Collatz-Christensen H, Blomberg SNF, Boebel S, Verhoeven J, Krafft T. Artificial intelligence in Emergency Medical Services dispatching: assessing the potential impact of an automatic speech recognition software on stroke detection taking the Capital Region of Denmark as case in point. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2022;30(1):36. doi: 10.1186/s13049-022-01020-6.
- Rout M, Vaughan A, Sidorov EV, Sanghera DK. Improving stroke outcome prediction using molecular and machine learning approaches in large vessel occlusion. *J Clin Med*. 2024;13(19):5917. doi: 10.3390/jcm13195917.
- El-Geneedy M, El-Din Moustafa H, Khater H, Abd-Elsamee S, Gamel SA. A comprehensive explainable AI approach for enhancing transparency and interpretability in stroke prediction. *Sci Rep*. 2025;15:26048. doi: 10.1038/s41598-025-11263-9.
- Hirose E, Matsuda Y, Takano S, Aiura R, Kono K, Mizutani T. World's first real-time artificial intelligence-assisted mechanical thrombectomy for acute ischemic stroke. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2025;46(8):1647-51. doi: 10.3174/ajnr.A8704.
- Cirillo D, Catuara-Solarz S, Morey C, Emre G, Subirats L, Mellino S, et al. Sex and gender differences and biases in artificial intelligence for biomedicine and healthcare. *NPJ Digit Med*. 2020;3:81. doi: 10.1038/s41746-020-0288-5.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2025. – Дата першого рішення 03.11.2025. – Стаття подана до друку 25.11.2025