

УДК 616.61-006.4:004.932:616-073

С.М. Халак^{1,2}, А.Й. Наконечний¹

Радіоміка при пухлині Вільмса: від візуалізації до персоналізованого прогнозування

¹ДНТ «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», Україна²Клінічний центр дитячої медицини, м. Львів, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2026. 1(90): 119-124. doi: 10.15574/PS.2026.1(90).119124

For citation: Khalak SM, Nakonechnyy AY. (2026). Radiomics in Wilms' tumor: from visualization to personalized prediction. Paediatric Surgery (Ukraine). 1(90): 119-124. doi: 10.15574/PS.2026.1(90).119124.

Пухлина Вільмса є найпоширенішою злоякісною пухлиною нирки в дітей та залишається актуальною проблемою дитячої онкохірургії, незважаючи на високі показники виживаності. Відсутність стандартизованих неінвазивних методів кількісної оцінки даних візуалізації обмежує можливості точного прогнозування клінічного перебігу захворювання, ризику рецидиву та білатерального ураження нирок.

Мета – проаналізувати сучасні наукові дані щодо застосування радіоміки при пухлині Вільмса у дітей та оцінити її діагностичний і прогностичний потенціал для клінічної практики.

Радіоміка ґрунтується на екстракції кількісних текстурних, морфологічних та інтенсивнісних характеристик із даних комп'ютерно-томографічних зображень, що дозволяє об'єктивно оцінити гетерогенність пухлини. Дані сучасних досліджень засвідчили про високу ефективність радіоміки у диференційній діагностиці пухлини Вільмса та інших пухлин нирки дитячого віку, а також у прогнозуванні відповіді на лікування, ризику рецидиву та виживаності.

Висновки. Інтеграція радіомічних маркерів із клінічними, радіологічними та патоморфологічними даними дозволяє впроваджувати персоналізований підхід до лікування, що сприяє оптимізації хірургічної тактики та покращенню віддалених результатів у дітей із нефробластомою.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: пухлина Вільмса, радіоміка, прогнозування рецидиву, діти.

Radiomics in Wilms' tumor: from visualization to personalized prediction

S.M. Khalak^{1,2}, A.Y. Nakonechnyy¹¹SNPE «Danylo Halytskyi Lviv National Medical University», Ukraine²Clinical Center of Pediatric Medicine, Lviv, Ukraine

Wilms' tumor is the most common malignant renal tumor in children and remains a significant challenge in pediatric oncologic surgery despite high survival rates. The lack of standardized noninvasive methods for the quantitative assessment of imaging data limits the accurate prediction of disease course, risk of recurrence, and bilateral renal involvement.

Aim – to analyze current scientific evidence on the application of radiomics in pediatric Wilms' tumor and to evaluate its diagnostic and prognostic potential for clinical practice.

Radiomics is based on the extraction of quantitative textural, morphological, and intensity features from computed tomography images, enabling an objective assessment of tumor heterogeneity. Recent studies demonstrate high effectiveness of radiomics in the differential diagnosis of Wilms' tumor and other pediatric renal tumors, as well as in predicting treatment response, recurrence risk, and survival outcomes.

Conclusions. The integration of radiomic markers with clinical, radiological, and pathomorphological data facilitates the implementation of a personalized treatment approach, contributing to the optimization of surgical tactics and the improvement of long-term outcomes in children with nephroblastoma.

The authors declare no conflict of interest.

Keywords: Wilms' tumor, radiomics, recurrence prediction, children.

Reviews

Вступ

Пухлина Вільмса (WT) – одна з найпоширеніших солідних пухлин у дитячому віці, яка добре піддається лікуванню за умови застосування терапії згідно з чинними клінічними протоколами [23]. Орієнтовно 90% пацієнтів із WT у країнах із високим рівнем доходу виживають завдяки дотриманню протокольного лікування. Натомість у країнах з обмеженими ресурсами показники виживаності залишаються низькими – на рівні 50% або навіть менше ніж 30%. Це відображає обмеження матеріальних і кадрових ресурсів, а також відсутність стандартизації лікувальних процесів [10,37]. Для дітей віком молодше 20 років із WT, також відомою як нефробластома, 5-річна виживаність становить 93%, а з нирково-клітинним раком – 76% [27].

Пухлини нирки становлять близько 7% усіх онкологічних захворювань у дітей [27]. Більшість злоякісних захворювань нирки в дитячому віці – це WT [16,30]. Водночас у віковій категорії від 15 до 19 років переважає нирково-клітинний рак [27]. Захворюваність на пухлину Вільмса становить 10,4 випадка на кожний мільйон дітей до 15 років і 0,2 – на 10 000 немовлят [17,27]. Щороку в Сполучених Штатах Америки діагностують приблизно 650 первинних випадків WT. Натомість в азіатській популяції захворюваність значно нижча [8,17].

Пухлина Вільмса зазвичай розвивається у здорових дітей без будь-якої схильності до злоякісних новоутворень. Водночас, приблизно в 10% дітей із WT наявні уроджені аномалії [26,31]. Виникнення WT можна умовно розділити на синдромні та несиндромні причини [28].

Синдромні форми WT виникають внаслідок генетичних змін, які порушують нормальний ембріональний розвиток нирки. Частина випадків пов'язана з мутаціями або аномаліями генів-супресорів пухлин, таких як WT1 та WT2. Вони локалізовані на хромосомі 11 і беруть участь у регуляції розвитку нирок і гонад. Окрім WT1/WT2, інші генетичні зміни (наприклад, мутації в гені *REST* або *DIS3L2*) також можуть бути причиною нефробластоми [27].

Несиндромна WT розвивається з персистуючих нефрогенних структур – ембріональних фрагментів тканини у нирці або навколо неї, які формуються ще до народження і можуть зазнавати злоякісної трансформації після народження [28].

Попри те, що в розвитку WT задіяна значна кількість генів, сімейні форми цього захворювання трапляються рідко. Лише приблизно у 2% пацієнтів відзначається обтяжений сімейний анамнез щодо

WT. Імовірність розвитку WT у братів або сестер дітей із цим захворюванням становить менше 1% [6,7,38].

Деякі автори вказують на наявність прямого зв'язку між використанням матер'ю домашніх пестицидів під час вагітності та ризиком виникнення WT у дитини [30].

Мета дослідження – проаналізувати сучасні наукові дані щодо застосування радіоміки при WT у дітей та оцінити її діагностичний і прогностичний потенціал.

Клінічні особливості та сучасні підходи до лікування

Пухлина Вільмса може уражати одну нирку (однобічна) або обидві (білатеральна). Менш поширені типи новоутворень нирок у дітей включають рабдоїдні пухлини, світлоклітинну саркому, уроджену мезобластну нефрому, саркому Юінга нирки, первинну ниркову міоепітеліальну карциному, кістозну частково диференційовану нефробластома, мультилокулярну кістозну нефрому, первинну синовіальну саркому нирки, анапластичну саркому, а також нефробластоматоз нирки, який є різновидом доброякісної неоплазії [1,2].

Наразі не існує стандартизованої системи оцінки для діагностики WT. Зазвичай, використовують дві основні системи стадіювання WT: система Міжнародного товариства дитячої онкології (SIOP) та система Групи дитячої онкології (COG).

Систему SIOP застосовують в Європі. Вона передбачає проведення хіміотерапії перед операцією. Натомість система COG, яка використовується в США та Канаді, передбачає проведення операції перед хіміотерапією. Стадії визначають на основі розміру пухлини, її поширення на інші органи та гістологічних характеристик [5]. Ці системи допомагають лікарям вибирати найбільш відповідний план лікування для кожного окремого випадку. В обох варіантах основним методом лікування є комбінація хірургічного втручання, хіміотерапії та, в деяких випадках, променевої терапії [16].

Радіоміка при WT

Зберігається значна невизначеність у прогнозуванні біологічної поведінки та наслідків WT у дітей. Радіоміка на основі комп'ютерної томографії (КТ) має значний потенціал для покращення лікування WT шляхом визначення неінвазивних кількісних біомаркерів для прогнозування рецидиву, білатерального ураження та виживаності. Вона передбачає вилучення значного масиву кількісних показників із медичних зображень, що дозволяє доповнити традиційні методи візуалізації більш об'єктивною

інформацією про гетерогенність пухлини [12]. Водночас більшість запропонованих радіомічних підходів залишаються на етапі дослідницьких моделей і наразі не інтегровані у стандартизовані клінічні алгоритми ведення пацієнтів.

Радіомічні характеристики є чутливими до параметрів візуалізації, зокрема товщини зрізу, напруги трубки, алгоритмів реконструкції та фаз контрастування, що призводить до варіабельності результатів між дослідженнями та ускладнює відтворюваність моделей [35]. Це є особливо критичним у педіатричній практиці, де параметри КТ-сканування часто індивідуалізуються з метою зниження променевого навантаження. Практичне застосування радіоміки при WT обмежується відсутністю стандартизованих протоколів КТ-сканування в дітей.

Дослідженнями Y. Deng та співавт. (2024) показано, що радіоміку можна ефективно використовувати для розрізнення WT та світлоклітинної саркоми нирки в дітей. Зокрема, було вилучено 107 текстурних характеристик зображень пухлини та відібрано найбільш дискримінаційні характеристики за допомогою технік зменшення розмірності. Розроблена модель аналізу на основі нейронної мережі досягла високої діагностичної ефективності з площею під кривою в навчальному (AUC=0,901) і тестовому наборах (AUC=0,784). Це свідчить про її ефективність у розрізненні цих двох типів пухлин [12]. Отримані результати демонструють потенціал радіоміки у складних диференційно-діагностичних ситуаціях. Водночас ретроспективний дизайн дослідження та обмежений розмір вибірки знижують можливість узагальнення цих результатів.

Попри обнадійливі дані, більшість радіомічних досліджень при WT базуються на ретроспективних одноцентрових вибірках із невеликою кількістю пацієнтів і часто не проходять зовнішньої мультицентрової валідації. Це створює ризик перенавчання моделей та обмежує їх клінічну значущість.

У дослідженні I. Koska та співавт. (2024) показано, що комбінована модель, яка інтегрує клінічні, радіологічні та радіомічні дані КТ, може неінвазивно диференціювати WT та нейробластому до операції [21]. Примітно, що в кількох випадках модель перевершила експертну оцінку радіологів. Запропонований підхід може розглядатися як перспективний передопераційний інструмент, при цьому самі автори наголошують на необхідності валідації моделі на більших проспективних вибірках перед її клінічним впровадженням.

Диференційно-діагностичний спектр новоутворень нирки дитячого віку є ширшим і може включати рідкісні неопластичні та гістіоцитарні захворювання. Описано випадок хвороби Ердгейма–Честера із первинною підозрою на пухлину Вільмса, що демонструє потенційні труднощі інтерпретації даних візуалізації та необхідність мультидисциплінарного підходу [19].

Загалом застосування радіоміки в діагностиці WT має перспективи для покращення точності діагностики, допомоги в плануванні лікування та прогнозуванні результатів для пацієнтів. Ці досягнення підкреслюють потенціал радіоміки для трансформації дитячої онкологічної візуалізації і сприяння більш персоналізованій та ефективній клінічній допомозі [18].

Радіомічні маркери КТ можуть потенційно інтегруватися з існуючими системами стадіювання пухлини Вільмса – SIOP та COG, щоб покращити діагностику та прогнозування результатів лікування. Взаємозв'язок між радіомічними маркерами та традиційними шкалами можна розглянути з декількох поглядів:

1. Покращення точності стадіювання. Радіомічні маркери надають додаткову інформацію про гетерогенність пухлини, її текстуру, форму та інші характеристики, які не завжди можна побачити на звичайних зображеннях. Це допомагає більш точно визначити стадію пухлини, а відтак впливає на вибір відповідного плану лікування [3].

2. Прогнозування відповідей на лікування. Радіомічні маркери можна використовувати для прогнозування відповіді пухлини на хіміо- чи променеви терапію. Це важливо для прийняття рішень про доцільність передопераційної хіміотерапії, як у системі SIOP, або післяопераційної, як у системі COG [18,25,32].

3. Персоналізація лікування. Застосування радіомічних маркерів може допомогти в плануванні персоналізованого лікування для пацієнтів із WT. Специфічні характеристики пухлини, які отримують із радіомічного аналізу, можуть дозволити лікарям краще передбачити агресивність пухлини та відповідно коригувати інтенсивність лікування [5,32,36].

4. Моніторинг рецидивів та прогресії захворювання. Радіомічні маркери можуть бути корисними для моніторингу змін у пухлині, допомагаючи виявляти ранні ознаки рецидиву або прогресії захворювання. Це може бути особливо важливим для дітей, у яких вже була діагностована WT та які перебувають на спостереженні після лікування [3].

Reviews

Радіомічні маркери КТ мають потенціал для значного покращення діагностичних та прогностичних можливостей при WT, доповнюючи існуючі системи стадіювання і допомагаючи у створенні більш ефективних та персоналізованих підходів до лікування [3]. Досвід окремих лікарів відображає можливість широкого впровадження технологій, які уособлюють концептуально нові підходи в діагностиці та лікуванні. Наразі жодна з існуючих систем стадіювання не включає радіомічні параметри як стандартизований критерій прийняття клінічних рішень.

Радіологічна об'ємна оцінка WT є важливим показником для прийняття рішень щодо лікування. Однак, через гетерогенність пухлин, рентгенологи мають відмінності в трактуванні результатів, що можуть призвести до неправильного діагнозу та неякісного лікування [24]. У дослідженні W. Li та співавт. (2024) представлено новий метод, який підвищує точність прогнозування об'єму WT шляхом інтеграції автоматизованого контуру штучного інтелекту (ШІ) та 3D-діаметрів пухлини. Цей підхід перевершує точність використання лише результатів ШІ та має потенціал для покращення клінічної оцінки педіатричних пацієнтів із WT. Завдяки поєднанню результатів ШІ з клінічними даними цей метод стає більш інтерпретативним із багатообіцяючим застосуванням за межами WT, зокрема в інших педіатричних захворюваннях [24]. Однак практичне застосування цього підходу в рутинній клінічній практиці обмежується технічною складністю, часовими витратами та потребою в спеціалізованому програмному забезпеченні.

3D-реконструкція WT має низку переваг, зокрема для передопераційного хірургічного планування та оцінки судинних ризиків, однак вона не виконується систематично через значні часові витрати на ручну сегментацію [15]. Повністю автоматизована сегментація залишається проблемою в галузі обробки медичних зображень. Використання вже розроблених нейронних мереж, таких як U-Net, виявило, що отримані результати не були задовільними для сегментації неопластичних нирок або WT у дітей. Відповідно, розроблено інноваційний метод навчання згорткових нейронних мереж – CNN (Convolutional Neural Networks) – на основі архітектури U-Net дає змогу сегментувати нирку та її пухлину з точністю експерта, скорочуючи час втручання радіологів на 80% [15].

3D-реконструкція нирки, базована на даних візуалізації пацієнта, забезпечує кілька переваг. До них належать передопераційне хірургічне плануван-

ня, передбачення операційних ризиків (особливо судинних), допомога у виборі пацієнтів, яким може бути виконана часткова нефректомія, і покращення інформованості батьків [15].

Незважаючи на багатообіцяючі докази в поточній літературі, радіоміка потребує глибшого аналізу. Постійне вдосконалення алгоритмів ШІ та обчислювальних платформ має потенціал для підвищення точності, а також надійності інтегрованих систем підтримки прийняття рішень. Це сприяє розробці більш персоналізованих та адаптивних планів лікування [4]. Радіоміка поєднує медичну візуалізацію та науку про дані, обіцяючи значний прогрес для трансформаційних змін у плануванні лікування та прогнозі для онкологічних пацієнтів [22].

У праці M. Zhang та співавт. (2024) розглянуто сучасні досягнення та перспективи використання глибокого навчання у візуалізації захворювань нирок, зокрема повний цикл обробки даних, а саме: збір даних, попередню обробку, вибір моделі, навчання, валідацію та тестування, а також оцінку та інтерпретацію результатів моделі [40]. Водночас впровадження цих підходів у педіатричній практиці стримується обмеженою доступністю великих, добре анотованих наборів даних та потребою вікової адаптації моделей.

Радіоміка продемонструвала значний потенціал у діагностиці та прогнозуванні перебігу різних злоякісних новоутворень [34]. Останніми роками цей підхід також почали застосовувати при нейробластомі (NB) [9,11,13,29,39] та WT [20]. Переважна більшість досліджень, присвячених використанню радіоміки при NB, зосереджена на ідентифікації ампліфікації гена *MYC* [11,13,29,39]. У цих роботах повідомляється про показники площі під кривою операційних характеристик приймача – ROC-кривою (Receiver Operating Characteristic) – (AUC), що варіюють у межах 0,72–0,97 [11,13,37]. Водночас подібні радіомічні підходи при WT залишаються менш вивченими та недостатньо валідованими.

Прогнозування має вирішальне значення для ведення пацієнтів із пухлиною нирки під час лікування. Прогноз залежить від складних медичних даних, таких як клінічні фактори ризику, гістопатологічні картини та зображення. Інтеграція цих гетерогенних мультимодальних результатів створює проблеми в аналізі даних. Розробка моделей глибокого навчання пропонує нові підходи до мультимодального аналізу і може додатково опрацьовувати дані для точніших висновків.

Додатковими невирішеними викликами залишаються етичні та регуляторні аспекти впровадження радіоміки та алгоритмів штучного інтелекту в дитячу онкологію, зокрема питання інтерпретованості моделей, відповідальності за клінічні рішення та необхідності їх стандартизації відповідно до міжнародних рекомендацій.

Таким чином, попри значний потенціал радіоміки при WT, її клінічне впровадження наразі обмежене відсутністю стандартизації методології, дефіцитом великих мультицентрових вибірок, недостатньою зовнішньою валідацією та обмеженою інтеграцією з клініко-молекулярними даними.

Висновки

Радіоміка є перспективним неінвазивним підходом для прогнозування клінічних результатів та підтримки прийняття рішень при WT у дітей. Інтеграція радіомічного аналізу з традиційними методами візуалізації дозволяє більш об'єктивно оцінювати гетерогенність пухлини, що є важливим фактором у прогнозуванні відповіді на лікування та ризику рецидиву.

Неінвазивний характер радіоміки робить її особливо цінною у педіатричній практиці, зокрема для передопераційної оцінки. Аналіз кількісних характеристик КТ-зображень може надати додаткову прогностичну інформацію щодо агресивності пухлини, потенційної відповіді на терапію та загального прогнозу без необхідності застосування інвазивних процедур.

Радіомічні ознаки, отримані з початкових КТ-досліджень, потенційно можуть вказувати на ризик двостороннього ураження нирок, що має вирішальне значення для вибору хірургічної тактики та планування лікування при WT. Таким чином, радіоміка може доповнювати традиційні клінічні та патологічні фактори в побудові персоналізованих підходів до лікування.

Водночас клінічне впровадження радіоміки при WT наразі обмежене відсутністю стандартизованих протоколів візуалізації, дефіцитом великих мультицентрових проспективних вибірок та недостатньою зовнішньою валідацією моделей. Подальші дослідження спрямовують на подолання цих обмежень і визначення чіткого місця радіоміки у стандартизованих алгоритмах лікування нефробластоми в дітей.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

1. Ahmed HU, Arya M, Levitt G et al. (2007). Primary malignant non-Wilms' renal tumours in children. Part I. *Lancet Oncol.* 8(8): 730-737.

2. Ahmed HU, Arya M, Levitt G et al. (2007). Treatment of primary malignant non-Wilms' renal tumours in children. Part II. *Lancet Oncol.* 8(9): 842-848.
3. Alhashim M, Anan N, Tamal M et al. (2024). Optimization of Wilms tumour management using radiomics: a review. *BJR Open.* 2024;6(1):tzae034. Erratum in: *BJR Open.* 6(1): tzae044.
4. Arimura H, Soufi M, Kamezawa H et al. (2019). Radiomics with artificial intelligence for precision medicine in radiation therapy. *J Radiat Res.* 60(1): 150-157.
5. Balis F, Green DM, Anderson C et al. (2021). Wilms tumor (nephroblastoma), Version 2.2021, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J Natl Compr Canc Netw.* 19(8): 945-977.
6. Bonaïti-Pellié C, Chompret A, Tournade MF et al. (1992). Genetics and epidemiology of Wilms' tumor: the French Wilms' tumor study. *Med Pediatr Oncol.* 20(4): 284-291.
7. Breslow NE, Olson J, Moksness J et al. (1996). Familial Wilms' tumor: a descriptive study. *Med Pediatr Oncol.* 27(5): 398-403.
8. Breslow N, Olshan A, Beckwith JB et al. (1994). Ethnic variation in the incidence, diagnosis, prognosis, and follow-up of children with Wilms' tumor. *J Natl Cancer Inst.* 86(1): 49-51.
9. Brisse HJ, Blanc T, Schleiermacher G et al. (2017). Radiogenomics of neuroblastomas: relationships between imaging phenotypes, tumor genomic profile and survival. *PLoS One.* 12(9): e0185190.
10. Chagaluka G, Paintsil V, Renner L et al. (2020). Improvement of overall survival in the Collaborative Wilms Tumour Africa Project. *Pediatr Blood Cancer.* 67(9): e28383.
11. Chen X, Wang H, Huang K et al. (2021). CT-based radiomics signature with machine learning predicts MYCN amplification in pediatric abdominal neuroblastoma. *Front Oncol.* 11: 687884.
12. Deng Y, Wang H, He L. (2024). CT radiomics to differentiate between Wilms tumor and clear cell sarcoma of the kidney in children. *BMC Med Imaging.* 24(1): 13.
13. Di Giannatale A, Di Paolo PL, Curione D et al. (2021). Radiogenomics prediction for MYCN amplification in neuroblastoma. *Pediatr Blood Cancer.* 68(10): e29110.
14. Grimm LJ, Mazurowski MA. (2020). Breast cancer radiogenomics: current status and future directions. *Acad Radiol.* 27(1): 39-46.
15. Hild O, Berriet P, Nallet J et al. (2024). Automation of Wilms' tumor segmentation by artificial intelligence. *Cancer Imaging.* 24(1): 83.
16. Hol JA, Jewell R, Chowdhury T et al. (2021). Wilms tumour surveillance in at-risk children: literature review and recommendations from the SIOP-Europe Host Genome Working Group and SIOP Renal Tumour Study Group. *Eur J Cancer.* 153: 51-63.
17. Howlader N, Noone AM, Krapcho M et al. (2019). SEER Cancer Statistics Review (CSR) 1975-2016. Bethesda (MD): National Cancer Institute; Available from: https://seer.cancer.gov/csr/1975_2016/.
18. Kang W, Qiu X, Luo Y et al. (2023). Application of radiomics-based multiomics combinations in the tumor microenvironment and cancer prognosis. *J Transl Med.* 21(1): 598.
19. Khalak S, Nakonechnyi A. (2026). Erdheim-Chester disease mimicking Wilms tumor in a child: a diagnostic challenge. *BMC Pediatr.* 26(1): 352.
20. Kikinis R, Pieper SD, Vosburgh KG. (2014). 3D Slicer: a platform for subject-specific image analysis and clinical support. In: Jolesz FA, editor. *Intraoperative imaging and image-guided therapy.* New York: Springer: 277-289.
21. Koska IO, Ozcan HN, Tan AA et al. (2024). Radiomics in differential diagnosis of Wilms tumor and neuroblastoma with adrenal location in children. *Eur Radiol.* 34(8): 5016-5027.
22. Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM et al. (2017). Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol.* 14(12): 749-762.

Reviews

23. Leslie SW, Sajjad H, Sharma S. (2018). Cancer, Wilms (Nephroblastoma). Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
24. Li W, Sun Y, Zhang G et al. (2024). Automated segmentation and volume prediction in pediatric Wilms' tumor CT using nnU-Net. *BMC Pediatr.* 24(1): 321.
25. Li Z, Li J, Li Z et al. (2023). A radiomics nomogram for preoperative prediction of nephron-sparing surgery in bilateral Wilms tumor. *Quant Imaging Med Surg.* 13(7): 4234-4244.
26. Narod SA, Hawkins MM, Robertson CM et al. (1997). Congenital anomalies and childhood cancer in Great Britain. *Am J Hum Genet.* 60(3): 474-485.
27. National Cancer Institute. (2023). NCCR*Explorer: An interactive website for NCCR cancer statistics [Internet]. Bethesda (MD): NCI; [cited 2024 Sep 22]. URL: <https://nccrexplorer.ccdi.cancer.gov>.
28. PDQ Pediatric Treatment Editorial Board. (2002). Wilms tumor and other childhood kidney tumors treatment (PDQ*): health professional version. PDQ Cancer Information Summaries. Bethesda (MD): National Cancer Institute; PMID: 26389282.
29. Pereira T, Silva F, Claro P et al. (2022). A random forest-based classifier for MYCN status prediction in neuroblastoma using CT images. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2022: 9871349.
30. Rios P, Bauer H, Schleiermacher G et al. (2020). Environmental exposures related to parental habits in the perinatal period and the risk of Wilms' tumor in children. *Cancer Epidemiol.* 66: 101706.
31. Scott RH, Stiller CA, Walker L et al. (2006). Syndromes and constitutional chromosomal abnormalities associated with Wilms tumour. *J Med Genet.* 43(9): 705-715.
32. Sharaby I, Alksas A, Nashat A et al. (2023). Prediction of Wilms' tumor susceptibility to preoperative chemotherapy using a computer-aided system. *Diagnostics (Basel).* 13(3): 486.
33. Silva F, Pereira T, Morgado J et al. (2021). EGFR assessment in lung cancer CT images using deep unsupervised transfer learning. *IEEE Access.* 9: 54690-54701.
34. Smith CP, Czarniecki M, Mehralivand S et al. (2019). Radiomics and radiogenomics of prostate cancer. *Abdom Radiol (NY).* 44(6): 2021-2034.
35. Traverso A, Wee L, Dekker A, Gillies R. (2018). Repeatability and reproducibility of radiomic features: a systematic review. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 102(4): 1143-1158.
36. Wagner MW, Bilbily A, Beheshti M et al. (2021). Artificial intelligence and radiomics in pediatric molecular imaging. *Methods.* 188: 37-43.
37. Ward ZJ, Yeh JM, Bhakta N, Frazier AL, Girardi F, Atun R. (2019). Global childhood cancer survival estimates and priority-setting: a simulation-based analysis. *Lancet Oncol.* 20(7): 972-983.
38. Winther JF, Sankila R, Boice JD Jr et al. (2001). Cancer in siblings of children with cancer in the Nordic countries: a population-based cohort study. *Lancet.* 358(9283): 711-717.
39. Wu H, Wu C, Zheng H et al. (2021). Radiogenomics of neuroblastoma: CT-based radiomics signature for predicting MYCN amplification. *Eur Radiol.* 31(8): 5719-5728.
40. Zhang M, Ye Z, Yuan E et al. (2024). Imaging-based deep learning in kidney diseases: recent progress and future prospects. *Insights Imaging.* 15(1): 50.

Відомості про авторів:

Халак Світозар Миколайович – аспірант каф. дитячої хірургії ДНТ «ЛНМУ ім. Д. Галицького». Адреса: м. Львів, вул. Дністерська, 27. <https://orcid.org/0000-0002-6210-4556>.

Наконечний Андрій Йосифович – д.мед.н., проф., зав. каф. дитячої хірургії ДНТ «ЛНМУ ім. Д. Галицького». Адреса: м. Львів, вул. П. Орлика, 4. <https://orcid.org/0000-0003-1402-6642>.

Стаття надійшла до редакції 02.12.2025 р., прийнята до друку 16.03.2026 р.