doi: https://doi.org/10.15407/visn2026.11.073



Василь Федорович Чехун

ЕРА КОНВЕРГЕНЦІЇ БІОМЕДИЧНИХ І ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ: НОВИЙ ІМПУЛЬС МОЖЛИВОСТЕЙ В ОНКОЛОГІЇ

Інтерв'ю з академіком НАН України В.Ф. Чехуном (до 70-річчя від дня народження)

15 листопада цього року виповнюється 70 років відомому вченому в галузі патофізіології та експериментальної онкології, лауреату Державної премії України в галузі науки і техніки (2007), заслуженому діячеві науки і техніки України (2005), лауреату премії ім. Р.Є. Кавецького НАН України (2015), багаторічному очільнику (1996—2021), а тепер голові вченої ради, раднику при дирекції, завідувачу відділу моніторингу пухлинного процесу та дизайну терапії, почесному директору (2026) Інституту експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України, доктору медичних наук (1994), професору (1997), академіку НАН України (2006) Василю Федоровичу Чехуну.

Цього року своє 70-річчя відзначає відомий вчений-онколог академік НАН України Василь Федорович Чехун. Редакція журналу вирішила цього разу не зосереджуватися на біографічних відомостях, які легко можна знайти в численних публікаціях і довідкових виданнях, а поговорити з ювіляром на актуальну тему сьогодення — про вплив штучного інтелекту (ШІ) на розвиток сучасної онкології.

— Зізнаюся, Василю Федоровичу, я планувала поговорити з Вами про вплив штучного інтелекту на онкологічну науку і лікувальну практику, але нещодавно потрапив мені на очі звіт МОЗ щодо онкоепідеміологічної ситуації в Україні. Неведена там статистика, м'яко кажучи, невтішна: за останні три роки захворюваність на рак зросла на 16 %. Тому не можу оминути і цю тему: як, на Вашу думку, війна вплинула на загальну картину онкозахворюваності в Україні?

— Війна, безумовно, створює надзвичайно складне для здоров'я людини середовище. Йдеться не лише про безпосередні наслідки бойових дій, а й про забруднення довкілля канце-

рогенними сполуками, які утворюються після вибухів і пожеж, тривалий дистрес воєнного часу, змінення способу життя, а також зниження показників раннього виявлення хвороби через руйнування медичної інфраструктури, особливо в прифронтових областях. Усі ці фактори значно підвищують ризики розвитку патологічних процесів.

Однак гірка статистика, що свідчить про збільшення випадків онкопатологій, характерна не лише для України — за даними ВООЗ, захворюваність і смертність від раку у світі продовжує неухильно зростати. І сьогодні, в еру інтенсивного розвитку постгеномних технологій, це вимагає від науковців та клініцистів негайного перегляду нинішніх стратегій вирішення однієї з найскладніших медико-біологічних проблем сучасності.

Особливе занепокоєння викликає те, що в Україні, як і у світі загалом, онкопатологія стрімко набирає нових обертів і дедалі частіше виходить за межі традиційного уявлення про «хворобу людей похилого віку». Тепер у молодих людей, особливо жінок, цю хворобу фіксують значно частіше, та ще й на тлі істотного зростання її агресивності.

— Наскільки я пам'ятаю, ще за часів президенства Барака Обами у Сполучених Штатах прийняли програму боротьби з раком, яка мала амбітну мету — здійснити «квантовий стрибок» у лікуванні онкологічних захворювань. Прогрес щодо рівня смертності в США однозначно є, але кількість випадків продовжує зростати. Чому так?

— Прагнення наукової та клінічної спільноти стримати (чи принаймні обмежити) розвиток негативних наслідків злоякісного процесу на тлі досить високого рівня фінансування досліджень справді поглибило наше розуміння окремих механізмів канцеро- та антиканцерогенезу, однак ще не привело до революційного прориву в питаннях своєчасного скринінгу, профілактики раку, його ранньої діагностики та ефективного лікування хворих. Після сплеску оптимізму щодо швидкої перемоги над раком настала пора розчарувань — дослідники зіткнулися з цілою низкою нових клінічних проблем, серед яких ключовими є проблеми метастатичного поширення злоякісного процесу та резистентності пухлин до медикаментозних засобів.

Уже на початку XXI ст. в колі фахівців усе частіше почала лунати думка, що мрію про швидку перемогу над раком доведеться відтермінувати. Річ у тім, що злоякісний процес виявився набагато більш складною хворобою, ніж думали раніше, — він спричиняє багаторівневе системне ураження організму. Сьогодні вже не можна розглядати пухлину лише як результат певних генетичних змін у трансформованій клітині. Ми маємо враховувати її мікрооточення, метаболічні особливості, взаємодію клітин, процеси васкуляризації, імунну відповідь та багато інших чинників.

Тому настав час переглянути нинішні стратегії боротьби з раком і сформувати нову парадигму протидії цьому небезпечному захворюванню — на основі сучасних інноваційних технологій, серед яких особливе місце посідають омікс- та цифрові технології, і, звісно, методів з використанням штучного інтелекту.

— І як далеко сучасна онкологічна наука і практика вже просунулися на шляху до цієї нової парадигми?

— Успіхи, безумовно, є. Сьогодні інноваційні біомедичні технології поступово стають рутинним інструментом доказової медицини, заповнюючи простір прийняття інтуїтивних рішень, які раніше ґрунтувалися переважно на виявлених симптомокомплексах та інтегральних методах діагностики. Ще недавно параметри діагностики та якості життя хворих вимірювали на основі даних анамнезу, загальних клініко-лабораторних обстежень, рентгенографії, а нині вже є можливість користуватися колосальним арсеналом стандартизованих показників, розроблених на засадах функціональної геноміки, епігеноміки, транскриптоміки, протеоміки, метаболоміки, глікоміки, ліпідоміки, біоміки, флексоміки та інших омікс-технологій. Це дозволяє схарактеризувати структуру окремих білків, сайтів їх зв'язування, ініціацію

і трансдукцію сигнальних каскадів, які здатні забезпечити вимірювання унікальних показників для аналізу перебігу молекулярно-генетичних процесів на різних рівнях системної біології. Варіабельність цих процесів впливає на проліферативну активність клітин, формування екстрацелюлярного матриксу, структуру стромальної компоненти пухлин, їх васкуляризацію, фактори мікрооточення пухлин, метаболічні особливості, які одночасно можуть як стримувати, так і провокувати прогресію злоякісного процесу та впливати на ефективність фармако-терапевтичних засобів. Тобто конвергенція біомедичних і цифрових технологій дає можливість аналізувати процеси на різних структурних рівнях і краще розуміти, чому пухлина прогресує, метастазує або стає резистентною до лікування.

— Василю Федоровичу, а Ви могли б більш детально розповісти, що таке омікс-технології, про які Ви згадали вище?

— Омікс-технології — це група високопродуктивних молекулярно-біологічних та аналітичних методів, які дають змогу комплексно досліджувати, ідентифікувати й кількісно оцінювати великі сукупності біологічних молекул і пов'язаних з ними процесів на клітинному, тканинному, органному та системному рівнях. Вони дозволяють одночасно аналізувати величезні масиви біологічних молекул (ДНК, РНК, білків, метаболітів) та вивчати їхні взаємодії, отримуючи в результаті повну картину функціонування організму.

Термін *omics* означає системне вивчення саме сукупності компонентів певного біологічного рівня, а не лише окремих його елементів. Він походить від суфікса *-оміка* (*-omics*), який використовують у назвах наук, що вивчають різні сукупності певних молекул. Наприклад, *геноміка* досліджує весь генетичний матеріал організму; *епігеноміка* вивчає зміни в активності генів, які не пов'язані зі зміною самої послідовності ДНК (зокрема, зумовлені впливом довкілля); *транскриптоміка* аналізує сукупність молекул РНК, щоб визначити, які саме гени активні в клітині в конкретний момент часу; *протеоміка* фокусується на дослідженні білків, їхніх структур та модифікацій; *глікоміка* досліджує полісахариди; *ліпідоміка* — ліпіди; *флексоміка* — конформаційну гнучкість макромолекул.

Саме завдяки омікс-технологіям стало можливим не лише отримувати характеристики структурно-функціонального стану білків, ліпідів та їхньої кооперативної взаємодії, а й визначати імунний репертуар у пухлинному вогнищі, який створює передумови для прецизійної імунотерапії. На жаль, і досі фахівці не завжди враховують співвідношення численних імунокомпетентних клітин, хемокіноактивних ростових та інших факторів, хоча на основі цих даних можна поділити новоутворення на «холодні» та «гарячі» варіанти. Це важливо, адже науковці довели, що «холодні» пухлини проявляють низьку імуногенність і мляво реагують на імунотерапію, тоді як «гарячі» пухлини більш чутливі до індукторів протипухлинного захисту.

Такий підхід дозволить у майбутньому розробити модель цифрового двійника досліджуваного об'єкта, що відкриє унікальні можливості для оптимальної діагностики та вибору стратегій персоналізованої терапії.

— Тобто ми маємо розглядати пухлину не просто як ізольовану групу патологічно змінених клітин, ми повинні ще враховувати всю складну систему її взаємодій з навколишніми клітинами, судинами, елементами імунної системи, факторами росту та іншими структурами, правильно?

— Так. Але враховувати необхідно ще багато чого. Зокрема, на формування активності та прогресію пухлинного вогнища значною мірою впливає функціональний мікробіом. Іноді його метафорично навіть називають «блукаючий орган». Ця величезна екосистема мікроорганізмів привносить значну кількість додаткових маркерів і мішеней, які можна використати для розроблення й удосконалення технологій низькоінвазивного і одночасно високотехнологічного раннього виявлення біомаркерів раку та ідентифікації таргетних мішеней впливу.

Загалом сучасна фундаментальна біомедична наука досягла неймовірного прогресу в розумінні структури та функцій як окремих елементарних, так і складних системних процесів, які забезпечують основні параметри життєдіяльності організму, але водночас здатні сприяти розвитку патобіологічних змін у балансі їхньої природної ієрархії. Якщо раніше пухлинну хворобу розглядали переважно як сукупність генетичних змін та порушення проліферативних процесів трансформованих клітин, то нині є можливість оцінювати її складну багаторівневу просторово-часову систему, яка формує власну архітектуру і систему координат та створює умови для прогресії пухлин, їх інвазії, метастазування, а також для розвитку резистентності до лікування.

— І тут ми впритул підходимо до головної теми нашої бесіди. Ви показали, що сучасна онкологія продукує і накопичує величезні масиви даних. Як опрацювати цю інформацію, проаналізувати й обробити? І найголовніше, як її осягнути, щоб використовувати на практиці? Виходить, що без штучного інтелекту вже складно уявити подальший розвиток онкології?

— Беззаперечно, стрімке, можна навіть сказати, астрономічного масштабу, розширення й накопичення науково-практичних знань щодо молекулярно-генетичних і патобіологічних процесів та особливостей функціонування складних систем потребує глибокого аналізу й синтезу отриманої інформації, а також розроблення алгоритмів і стратегій її ефективного застосування. Обсяги накопичених даних настільки великі, що їх аналіз та інтерпретація вже виходять за межі можливостей людського інтелекту. Створити оптимальну модель використання накопичених ресурсів знань на стику теорії функціонування складних систем, біомедицини та цифрових технологій з урахуванням їх окремих компонентів можливо лише за умови залучення штучного інтелекту.

Загалом бажання створити віртуальні продукти для забезпечення не лише потреб, а й фантазій людини проходить крізь усю історію розвитку цивілізації. Ще в доісторичних міфах, казках і легендах люди намагалися наділити створені ними предмети чи образи якостями розумних суб'єктів. Не уникали цієї теми і філософи. У своїх трактатах Аристотель, Декарт та інші описували діяльність людини крізь призму механічного сприйняття систем мислення. Водночас можна стверджувати, що умовний шлях від «батька» античної медицини Гіппократа до творця і засновника сучасної кібернетики і науки управління Норберта Вінера продовжився на етапі раціональної та цілеспрямованої реалізації управління функціональними системами людини.

Перевагою ШІ є те, що цей інструмент дозволяє обробляти великі обсяги даних і одночасно уникати втрат важливої, але іноді непомітної для людського ока інформації, яка може виявитися ключовою для пошуку чи ухвалення оптимального рішення. Світові лідери в галузі інформаційних технологій ще на початку XXI ст. ініціювали створення кількох масштабних проєктів, спрямованих на вирішення ключових проблем сучасної медицини, зокрема й на подолання наявних і прогнозованих викликів в онкології.

Слід зазначити, що в рамках генеральної асамблеї Організації європейських інститутів раку, яка відбулася 15—17 червня 2022 р. в м. Валенсія (Іспанія) і в роботі якої я особисто брав участь, проходила наукова конференція «Штучний інтелект як інструмент сучасного і майбутнього в онкології». На ній чітко було визначено вектор розвитку онкологічної галузі на прийдешні роки під гаслом «Сприяння інноваціям та якості для пацієнтів» (Promoting Innovation and Quality for Patients). Також було ухвалено рішення про створення європейської цифрової платформи для співпраці та інтеграції ШІ в онкологічну практику.

— А якщо говорити безпосередньо про практичну онкологію, де в ній штучний інтелект уже зараз став корисним для лікарів?

— Один із найважливіших напрямів — це, звісно, діагностика. Поєднання можливостей інструментів ШІ з кількісною та якісною

інформацією щодо молекулярно-генетичних і структурно-функціональних особливостей клітинних компонентів у нормі та в разі розвитку патологічних процесів може бути гарним прикладом оптимізації діагностики злоякісної хвороби з використанням штучного інтелекту.

Аналіз текстурних характеристик зображень просторової організації тканин і параметрів позаклітинного матриксу дає змогу виявляти кількісні біомаркери гетерогенності, які є важливою ознакою агресивності перебігу злоякісного процесу.

— Тобто йдеться вже не просто про автоматизацію роботи патолога чи радіолога, а про зміну самої логіки аналізу пухлини?

— Саме так. Інтеграція штучного інтелекту і сучасних біомедичних технологій не лише змінює традиційні принципи описової гістологічної характеристики, а й стає інструментом обчислювальної морфології злоякісного процесу, що дозволяє формувати нову логіку та підносить на новий рівень науковий аналіз складних онкопатологічних процесів.

Сьогодні застосування цифрового аналізу гістологічних і цитологічних зображень дозволяє об'єктивізувати високу варіабельність гістологічних структур, підвищувати швидкість оброблення інформації, ідентифікувати з прецизійною точністю зміни в розвитку онкологічних захворювань.

— А якщо подивитися ширше: чи може штучний інтелект допомогти не лише точніше поставити діагноз, а й визначити, як саме лікувати конкретного пацієнта?

— Це один із найбільш перспективних напрямів. Поєднання сучасних методів гістологічної візуалізації, цифрового аналізу зображень, морфометрії та біоінформатики дає змогу виявляти нове покоління біомаркерів, що можуть доповнити традиційні молекулярно-генетичні та морфологічні критерії аналізу розвитку і прогнозування перебігу хвороби. Подальше поглиблення інтеграції цифрової патології, просторової біології та методів штучного інтелекту відкриває можливості для моделювання різних внутрішньо- та позаклітинних процесів, а також стану пухлинного мікрооточення, які є важливими провісниками ризику прогресування хвороби та впливають на вибір схем і протоколів індивідуального лікування відповідно до принципів прецизійної онкології. У світі стрімко зростає обсяг досліджень із залученням ШІ до структури дизайну обстежень пацієнта та вибору стратегії прецизійної медицини.

— Чи означає це, що застосування штучного інтелекту на наших очах змінює саму модель онкологічної допомоги — від раннього виявлення захворювання до моніторингу пацієнта і корекції лікування?

— Такі можливості вже формуються. Складність і гетерогенність пухлинної хвороби, особливості її перебігу, різноманіття маркерів і таргетних мішеней стримування патологічного процесу — все це приводить до того, що обсяг відповідної інформації дедалі більше перевищує аналітичні можливості традиційних підходів до діагностики та лікування. Тому очікується, що застосування штучного інтелекту і машинного навчання стане важливим інструментом для автоматизованої ідентифікації ключових ланок трансформації нормальних клітин до їхнього злоякісного фенотипу й дасть змогу значно поглибити наше розуміння складних екосистемних мереж, утворених злоякісним процесом. Інтеграція транскриптоміки окремих клітин, просторової біології, протеоміки, метаболоміки та обчислювальних мереж може зрештою забезпечити динамічне моделювання ініціації злоякісного процесу, його скринінгу, профілактики, персоналізованої фармакокорекції і навіть запропонувати раціони профілактичного харчування. Сьогодні ШІ-технології вже активно використовують для оптимізації диференційної діагностики, моніторингу, оброблення клініко-лабораторних результатів обстежень, у дистанційно керованих технологіях лікування та інших медичних практиках. Технологічна база для цього активно розвивається.

— Добре, це ми з Вами, Василю Федоровичу, обговорили «плюси» штучного інтелекту.

А які ризики Ви бачите від передачі частини діагностичних і лікувальних рішень цифровим системам? У кібернетиці є такий базовий принцип — закон Ешбі, який спрощено звучить так: «Керувати може лише та система, яка має не менший рівень складності (різноманітності), ніж система, якою вона керує». Якщо керівна система простіша за керовану, вона просто не зможе зреагувати на всі можливі зміни та збурення, що призведе до втрати контролю. Чи не є це засторогою нам від надмірного захоплення новим інструментом?

— Безумовно. Широке впровадження ШІ у сферу охорони здоров'я супроводжується значними ризиками як у повсякденній клінічній практиці, так і у сфері захисту прав людини. Тому розвиток технологій має відбуватися паралельно з нормативно-правовим регулюванням.

І сьогодні, в умовах стрімкої конвергенції біомедичних і цифрових технологій, дуже важливо дотримуватися основних застережень, викладених у звіті керівного комітету Ради Європи з прав людини в галузі біомедицини та охорони здоров'я, опублікованому 7 червня 2022 р. (цей орган розробляє етичні та юридичні стандарти для всієї Європи). Експерти детально проаналізували ШІ-системи крізь призму основоположних прав людини і виокремили 6 ключових сфер ризику, де ШІ може порушити права пацієнтів, а саме:

1) нерівність у доступі до високоякісної медичної допомоги;

2) брак прозорості алгоритмів для лікарів та пацієнтів («ефект чорної скриньки»);

3) ризик соціальної упередженості в системах ШІ;

4) знеособлення пацієнта, розмивання його суб'єктивного відчуття благополуччя;

5) ризик сліпої довіри до автоматизації, втрати лікарями навичок, питання юридичної відповідальності за помилки;

6) загроза для права на приватність і захист медичних даних.

У звіті наголошено, що застосування ШІ не повинне порушувати засади концепції про захист прав і гідності людини, приватності та недоторканності її особистого життя.

Водночас в умовах стрімкої конвергенції базових засад персоналізованої медицини та ШІ постає ціла низка інших, зовсім не риторичних питань:

• чи є цифровий профіль геному людини частиною особистості і чи може він бути об'єктом права власності?

• коли штучний інтелект за результатами секвенування геному приймає рішення про лікування, хто несе відповідальність у разі помилки чи технічного порушення в системі аналізу, що призвело до встановлення хибного діагнозу?

• чи не йдемо ми шляхом створення біологічної кастовості в реалізації персоналізованої медицини на практиці?

Перелік проблемних питань можна продовжувати, тому своєчасне прогнозування та вироблення механізмів їх вирішення сьогодні як ніколи на часі.

Формулою успіху для ефективного впровадження інноваційного продукту на основі біомедичних і цифрових технологій має стати своєчасне розроблення регуляторної бази та забезпечення нормативно-правового унормування у сфері охорони здоров'я в інтересах людини та її права на збереження власного здоров'я.

Головний пріоритет — людина, а не технологія.

— І на завершення хотіла б повернутися до ситуації в Україні. Війна створює для нас нові, потенційно дуже серйозні, виклики у сфері онкології. І саме в цей час наука отримує новітні технологічні інструменти, які раніше були недоступними. Чи може синергія біомедичних і цифрових технологій стати шансом для української онкології?

— Сподіваюся, що може. Загалом я вважаю, що саме конвергенція знань і технологій є одним із ключових напрямів розвитку сучасної онкології. Ми вже маємо базу фундаментальних знань про молекулярно-генетичні, клітинні та системні механізми злоякісного процесу, маємо накопичені величезні масиви даних, а також цифрові технології та ШІ-інструменти.

Наше завдання — навчитися поєднувати ці ресурси так, щоб вони працювали на раннє виявлення захворювання, його точнішу діагностику, прогнозування перебігу та індивідуальний вибір лікування.

— Дякую, Василю Федоровичу, що приділили час і поділилися своїми думками. Як на мене, розмова вийшла дуже цікавою і спонукає до подальших міркувань на цю тему. Дозвольте також привітати Вас з ювілейною датою і побажати творчого натхнення та нових наукових звершень.

— І я Вам дякую.

Розмову вела
Олена Мележик

THE ERA OF CONVERGENCE OF BIOMEDICAL AND DIGITAL TECHNOLOGIES:
A NEW IMPULSE OF OPPORTUNITIES IN ONCOLOGY

Interview with Academician of the NAS of Ukraine V.F. Chehun (to the 70th anniversary)

November 15 of this year marks the 70th anniversary of the famous scientist in the field of pathophysiology and experimental oncology, laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology (2007), Honored Worker of Science and Technology of Ukraine (2005), laureate of the R.E. Kavetsky Prize of the NAS of Ukraine (2015), long-time head (1996—2021), and now the chairman of the academic council, advisor to the administration, head of the department of tumor process monitoring and therapy design, honorary director (2026) of the R.E. Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology of the NAS of Ukraine, Doctor of Medical Sciences (1994), Professor (1997), Academician of the NAS of Ukraine (2006) Vasyl Fedorovych Chehun.

Cite this article: The era of convergence of biomedical and digital technologies: a new impulse of opportunities in oncology. Interview with Academician of the NAS of Ukraine V.F. Chehun (to the 70th anniversary). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2026. (11): 73—79. https://doi.org/10.15407/visn2026.11.073