

Конвергентні технології — нанобіомедичний аспект

І.С. Чекман, Т.Ю. Небесна, А.М. Дорошенко

Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця

Резюме. На початку XXI ст. чотири хвилі науково-технічної революції перетнулися у часі. Фраза «конвергентні технології» стосується синергетичної комбінації чотирьох великих NBIC (nano-bio-info-cogno) галузей науки і техніки: нанонауки і нанотехнологій, біотехнологій і біомедицини, інформаційних технологій і когнітивної науки. Стаття містить характеристику конвергентних технологій та їх значення для біомедицини.

Ключові слова: конвергентні технології, NBIC-конвергенція, нанотехнології, біомедицина.

Процес розвитку науки здійснюється від встановлення значної кількості окремих фактів до об'єднання їх у наукові концепції, закономірності. При цьому у міру розширення галузей знань спостерігалася тенденція до спеціалізації за різними напрямками науки. Однак технології завжди розвивалися взаємопов'язано, прориви в одній галузі знань були пов'язані з досягненнями в інших галузях. Розвитку технологій протягом тривалого періоду сприяло певне визначне відкриття, зокрема у біології, техніці (металургії), електроенергії. У сучасному світі завдяки прискоренню науково-технічного прогресу спостерігається пересічення у часі ряду хвиль науково-технічної революції: революція в галузі інформаційних і комунікаційних технологій, біотехнологічна революція, стрімкий розвиток нанотехнологій і когнітивної науки (Прайд В., Медведев Д.А., 2008; Swierstra T. et al., 2009). Певні прояви конвергенції наук і технологій відзначалися у XX ст. при вирішенні людством надскладних завдань: втілення атомного і космічного проєктів (Ковальчук М., 2009).

Термін «**конвергентні технології**» (від англ. converging — ті, що сходяться; ті, що збираються разом; поєднані загальними інтересами, та technologies — технології) з'явився порівняно нещодавно — в середині 90-х років XX ст. і пов'язаний з роботами Мануеля Кастельса (Баксанський О.Е. і соавт., 2010).

Найбільш визначною роботою з конвергентних технологій є звіт М.С. Росо та W.S. Bainbridge під назвою «Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science», підготовлений у 2002 р. у Всесвітньому центрі оцінки технологій (World Technology Evaluation Center, WTEC). На думку авторів, наукові дослідження досягли того рівня, за якого вони мають поєднуватися для більш швидкого розвитку, а «нове відродження (ренесанс)» має базуватися на цілісному баченні науки і технологій. Авторі звіту зазначають, що «велику конвергенцію», яка розгортається зараз, не можна плутати зі звичайним ростом міждисциплінарних і мультидисциплінарних галузей. Якими б не здавалися важли-

вими «локальні конвергенції» для вчених, які в них задіяні, все одно вони бліднуть порівняно з глобальною конвергенцією, яка відбувається. Словосполучення «конвергентні технології» стосується синергетичної комбінації чотирьох головних галузей науки і техніки, кожна з яких на сьогодні розвивається швидкими темпами (Roco M.C., Bainbridge W.S., 2002a; b; Roco M.C., Bainbridge W.S., 2006):

- нанонаука і нанотехнології;
- біотехнології та біомедичні технології, включаючи генну інженерію;
- інформаційні технології, включаючи передове обчислювальне устаткування і комунікації;
- когнітивна наука, в тому числі когнітивна нейронаука.

Отже, у звіті йдеться про NBIC-конвергенцію (N — nano, B — bio, I — info, C — cogno), особливості, а також значення цього процесу для розвитку світової цивілізації. Як зазначають автори, межі між нанотехнологіями, біотехнологіями, інформаційними технологіями і когнітивними науками зникнуть, що зумовить більш цілісне розуміння кожної із складових, в тому числі нанонауки і нанотехнологій, у рамках загального процесу становлення конвергентних технологій.

Вважається, що NBIC-конвергенція призведе до революційних наукових відкриттів та інноваційних технологічних впроваджень. У звіті також відзначаються 20 основних тенденцій, які виникнуть внаслідок впливу NBIC-конвергенції на суспільний устрій протягом найближчих 10–20 років. Наведемо деякі з цих тенденцій (Roco M.C., Bainbridge W.S., 2002a):

- створення високошвидкісних прямих інтерфейсів (зв'язків) між людським мозком і машинами, які змінять роботу на заводах, спосіб керування автомобілями, підвищать ефективність військової техніки, зумовлять появу нових видів спорту, мистецтва і людських відносин;
- новостворені сенсори та комп'ютери поліпшать обізнаність кожної людини про стан здоров'я, умови навколишнього середовища, зокрема потенційні зовнішні загрози, хімічні забруднення;
- людське тіло набуде більшої витривалості, здоров'я та енергії, стійкості

до стресів, біологічних загроз і старіння, підвищаться можливості до відновлення;

- можливість контролю над генетичною структурою людини, тварин і сільськогосподарських культур значно поліпшить рівень життя при вирішенні відповідних етичних, юридичних і моральних проблем;
- «середня людина» нарівні з посадовими особами отримає значно вищий ступінь поінформованості про когнітивні, соціальні та біологічні сили, що впливають на її життя, завдяки чому значно покращаться пристосованість, креативність, розпорядок дня.

У основі NBIC-конвергенції лежать інформатизація та мініатюризація технологічних процесів. Будь-які процеси, які відбуваються в живому чи неживому світі або у світі пізнання, можуть перетворюватися на інформацію. Таким чином, завдяки інформації з'являється можливість поєднувати різні раніше несумісні елементи. Наприклад, генетична інформація містить коди, які можуть розшифровувати і зчитувати біосенсори, інформація з мозку може передаватися на комп'ютер, і навпаки. Мініатюризація, яка стає можливою завдяки нанонауці та нанотехнологіям, дозволяє створювати надмалі пристрої для забезпечення безпосередніх контактів, наприклад між мозком і комп'ютером, між певними речовинами у кровоносному руслі і сенсорами тощо (Swierstra T. et al., 2009).

Особливо важливе значення у концепції NBIC-конвергенції приписується **нанотехнологіям**, оскільки ці технології дають можливість здійснювати цілеспрямовані маніпуляції на атомарному і молекулярному рівнях. Інтеграція технологій засновується на «єдності природи на нанорівні». Нанорівень, який зазвичай визначається у проміжку між 0,1 і 100 нм, — це такий розмірний діапазон, у якому утворюються складні молекули, поєднуються складові частини живої клітини, штучно створюються найдрібніші компоненти комп'ютерної пам'яті та процесорів. Останні досягнення у нанонауці і нанотехнологіях зумовлюють швидку конвергенцію інших наук і технологій, що спостерігається вперше за історію людства. Саме

тому нанотехнології виступають у ролі «каталізатора» конвергенції (Roco M.C., Bainbridge W.S., 2002a; b; Roco M.C., Bainbridge W.S., 2006; Schummer J., 2008).

R. Smalley (2002) класифікував нанотехнології на «вологі», до яких належать живі біосистеми, і «сухі» нанотехнології, спрямовані на пошук системних підходів для створення рукотворних нанорозмірних об'єктів з метою їх поєднання у більш за розміром об'єкти, як це здійснює природа.

Біосистеми керуються нанорозмірними процесами, які вдосконалювалися впродовж мільйонів років за час створення живого наносвіту. Нанорозмірна сукупність органічного і неорганічного матеріалу призводить до формування клітин і найбільш складної з відомих систем — мозку і тіла людини. Наприклад, більшість ключових структур організму людини, таких як везикули з нейромедіаторами, проміжки синаптичних щілин, які вони долають, іонні канали тощо, існують і функціонують на нанорівні. Зважаючи на це, нанотехнології відіграють ключову роль у розумінні складних процесів у живому організмі, які відбуваються у цьому розмірному діапазоні (Roco M.C., 2003; Roco M.C., Bainbridge W.S., 2006).

Зв'язок між нанотехнологіями та біологічними науками на сьогодні стає все більш очевидним. По-перше, нанотехнології забезпечують досягнення у біологічних науках і біотехнологіях, надаючи широкую технологічну платформу для ряду напрямків. Наномедицина надає інноваційні підходи для виявлення і лікування захворювань, цільової доставки лікарських засобів, нановимірної хірургії, відновлення чи заміщення частин тіла за допомогою великого різноманіття наноматеріалів: наночастинок, нановолокон, ліпосом, дендримерів, фулеренів, квантових міток тощо. Досить чітко сформувалася нанофармакологія, покликана вивчати фізико-хімічні, фармакодинамічні властивості розроблених на основі нанотехнологій нанопрепаратів, їх показання, проти-показання, можливі побічні ефекти (Чекман І.С., 2008). Одночасно розвиваються нанотоксикологія і наноекологія, спрямовані на дослідження впливу наноматеріалів на здоров'я людини, тварин, довкілля. Здобутки нанотехнології спрямовані також на поліпшення діяльності людини, в тому числі за допомогою під'єднання до нервової системи наноструктурних матеріалів, наноелектроніки. Крім того, нанотехнології забезпечують прогрес у харчовій промисловості й сільському господарстві (підвищення врожайності, поява нових продуктів харчування і способів консервації їжі) (Roco M.C., 2003; Рыбалкина М., 2005; Борисевич В.Б., Каплуненко В.Г., 2010).

Велика кількість досягнень у біотехнологіях і біомедицині стосуються нанорівня, зокрема гена інженерія має справу із молекулами ДНК товщиною близько 3 нм. Певною мірою сучасні біотехнології є варіантом нанотехнологій. Біотехнології визначають як галузь, яка застосовує на-

норозмірні принципи і технології для розуміння і перетворення біосистем (живих чи неживих), а також застосовують біологічні принципи і матеріали для створення нових приладів і систем (Roco M.C., 2003; Roco M.C., Bainbridge W.S., 2006).

По-друге, повторення концепцій і принципів, запозичених з біології, сприяло розвитку нанотехнологій, зокрема розробці різноманітних наночастинок, приладів для наноелектроніки, макромолекулярних кристалів тощо. Біоміметика — термін, який відображає використання концепцій і принципів, взятих із природи, з метою створення нових матеріалів, приладів і систем (Roco M.C., 2003).

Інформаційні технології у NBIC-конвергенції покликані, зокрема, для накопичення, зберігання, обробки великих масивів інформації, широкомасштабного моделювання нано-, біоструктур, систем і процесів, розробки мережевих технологій, комп'ютерного проектування гібридних матеріалів і систем, біонейронної інформатики тощо (Roco M.C., Bainbridge W.S., 2002a; b; Ковальчук М., 2009).

Моделювання біологічних систем завдяки інформаційним технологіям привело до появи нових міждисциплінарних галузей: обчислювальної біології (застосування алгоритмів для здійснення біологічного аналізу), біоінформатики, системної біології. Не лише комп'ютерні технології впливають на розвиток біотехнологій. Спостерігається і зворотний процес, який можна проілюструвати розробкою ДНК-комп'ютерів (Jonoska N. et al., 1999; Macdonald J. et al., 2006).

Передові інформаційні технології базуються на мікроелектроніці і швидко розвиваються у напрямку наноелектроніки. Причому виникає не лише мініатюризація приладів, але й вступають в силу унікальні електричні властивості, притаманні нанорівню. Електричний заряд як носій інформації може поступитися таким носіям, як електронний спин, квантовий стан, фотон (Roco M.C., Bainbridge W.S., 2006).

Із чотирьох галузей NBIC-конвергенції **когнітивна наука** — наймолодша, але багатообіцяюча. Вона є міждисциплінарною конвергенцією психології, лінгвістики, антропології, нейронауки і комп'ютерної науки, а саме аспектів штучного інтелекту (Roco M.C., Bainbridge W.S., 2006). Взаємодія між когнітивною наукою та інформаційними технологіями, а саме комп'ютерною технікою є, можливо, найбільш важливою складовою науково-технічного зростання, яка приведе до більш якісного вивчення мозку людини і вищої нервової діяльності, комп'ютерного моделювання і симуляції мозку, розробки інтерфейсів «мозок — комп'ютер». Вінцем цього напрямку має стати створення універсального штучного інтелекту, здатного до самостійного навчання, творчості, вільного спілкування з людиною (Прайд В., Медведев Д.А., 2008). Важливі кроки у напрямку комп'ютерного моделювання мозку з метою створення штучного інтелекту, а також більш повного пізнання мозку людини, здійснюють вчені проекту «Blue Brain»

під керівництвом Генрі Маркрама (*Blue Brain Project*, <http://bluebrain.epfl.ch>). Одним із досягнень проекту є створення комп'ютерних моделей окремих нейронних колонок неокортексу. Безумовною перевагою цього проекту є втілення набутих людством протягом століття знань про мікроструктуру мозку, роботу нейронної колонки неокортексу у робочу модель, завдяки якій ці знання можуть бути зібрані, перевірені, а також візуалізовані у трьох вимірах (Markram H., 2006).

NBIC-конвергенція зумовлює значний вплив на **поліпшення здоров'я людини та її фізичних можливостей**. Суттєве значення для прогресу у цій сфері полягає у всебічному науковому розумінні фундаментальних хімічних і біологічних процесів живого. Відбувається пошук шляхів контролю над метаболізмом у клітинах, тканинах, органах і організмах. Пряма передача біомолекулярних сигналів і нейронних кодів до штучних двигунів відкриє можливості прямого контролю за допомогою мозку над роботою приладів у нейроморфній інженерії. У звіті 2002 р. М.С. Roco та W.S. Bainbridge найвищий пріоритет отримали розробки у 6 технологічних напрямках поліпшення здоров'я людини та її фізичних можливостей (Roco M.C., Bainbridge W.S., 2002a):

- 1) створення біонауко-машин для інноваційних методів лікування, включаючи ті, які є результатом біоінформатики, геноміки і протеоміки;
- 2) створення імплантів на основі нанотехнологій для заміни органів людини, а також для моніторингу фізіологічного стану організму;
- 3) створення нанорозмірних роботів і мало- та неінвазивних інструментів для медичних втручань;
- 4) розширення взаємодії «мозок — мозок» та «мозок — машина» за допомогою підключення до нервової системи людини;
- 5) розробка мультимодальних платформ для людей із порушеннями зору та слуху;
- 6) віртуальні середовища для навчання і роботи, необмеженої за відстанню чи фізичним масштабом, на якому вона виконується.

Нещодавні досягнення у відкритті біомаркерів, біокомп'ютингу («біологічному обчисленні») і нанотехнологіях надають нові можливості у персоналізованій медицині, при якій виявлення і лікування захворювань пристосовуються до молекулярного профілю кожного пацієнта, і у предиктивній медицині, при якій генетична і молекулярна інформація застосовується для прогнозування розвитку захворювання, прогресування і клінічного наслідку. Біо-нано-інфо-конвергенція є перспективною для молекулярної діагностики та індивідуалізованого лікування раку та інших захворювань (Phan J.H. et al., 2009).

Концепція конвергентних технологій набуває конкретних обрисів, зокрема у Курчатівському інституті в Росії, в якому за останні 2–3 роки створено Центр конвергентних нано-, біо-, інфо-, когнітивних (НБІК) наук і технологій — один із перших

у світі майданчиків, де виконуються у тісній взаємодії дослідження з фізики, біотехнології, клітинної та молекулярної біології, нано- та інформаційних технологій, когнітивної науки. Напрямами роботи Центру є, зокрема, розшифровка фундаментальних закономірностей мислення і розробка «прямих» інтерфейсів «мозок — машина»; розуміння принципів роботи штучного інтелекту, побудова на їх основі принципово нових архітектур штучного інтелекту; регуляція та розширення когнітивного потенціалу людини, передусім пам'яті та здібностей до навчання, розуміння молекулярних основ цих процесів. У травні 2009 р. у Московському фізико-технічному інституті на базі Курчатівського центру НБІК-технологій створено перший у світі факультет нано-, біо-, інформаційних і когнітивних технологій (Ковальчук М., 2009).

NBIC-конвергенція зазнає дискусій і переоцінок. Зокрема пропонується додати особливий тип технологій оптимального користування природою, тобто технологій конструювання і експлуатації природних і штучних ландшафтів. У цьому випадку необхідно об'єднати п'ять елементів, включивши технології природо-користування, або технології конструювання та експлуатації природних (тих, що виникли без участі людини), штучних (наприклад космічна станція, підводний човен, «розумний будинок» тощо) та гібридних (міські конгломерати) ландшафтів (Денисов А., 2009).

NBIC-концепція конвергентних технологій відкрита для процесу інтеграції із системотехнікою, теорією складних систем, а також із гуманітарними знаннями у їх міждисциплінарному вимірі: соціологією, лінгвістикою, антропологією, філософією науки і техніки, етикою соціальної відповідальності тощо. Подібна інтеграція врешті трансформує цю концепцію у трансдисциплінарний комунікативний символ для позначення ще не пізнаних взаємозв'язків між науками (Баксанский О.Е. и соавт., 2010).

Висновки

Співіснування значних науково-технічних досягнень XX ст. у галузі біотехнологій та інформаційних технологій, а з переходом у XXI ст. також стрімкий розвиток нанотехнологій і когнітивної науки, привели до їх синергетичної взаємодії і формування концепції NBIC-конвергенції.

Нанотехнології відіграють значну роль у прискоренні NBIC-конвергенції, оскільки

поєднують різні сфери діяльності, які раніше розвивалися переважно окремо.

Процес конвергенції в подальшому може залучити всі напрямки діяльності людини і привести до трансформації суспільства і цивілізації.

Медичні науки — невід'ємна складова NBIC-конвергенції, оскільки в тій чи іншій мірі взаємодіють з усіма її складовими і спрямовані на поліпшення якості життя людини і підвищення її працездатності.

Література

- Баксанский О.Е., Гнатик Е.Н., Кучер Е.Н. (2010) Нанотехнологии, биомедицина, философия образования в зеркале междисциплинарного контекста, URSS, Москва, 224 с.
- Борисевич В.Б., Каплунов В.Г. (ред.) (2010) Наноматериалы в биологии. Основы нанотеринарии. Авицена, Киев, 415 с.
- Денисов А. (2009) «Узкое горло» стратегии NBIC-конвергенции. Экономические стратегии, 7: 140–145.
- Ковальчук М. (2009) Направление прорыва. Технополис XXI, 19(3): 4–7.
- Прайд В., Медведев Д.А. (2008) Феномен NBIC-конвергенции: Реальность и ожидания. Философские науки, 1: 97–117.
- Рыбалкина М. (2005) Нанотехнологии для всех. Nanotechnology News Network, Москва, 444 с.
- Чекман И.С. (2008) Нанофармакология: экспериментально-клинический аспект. Лик. справа. Врачеб. дело, 3–4: 104–109.
- Jonoska N., Karl S.A., Saito M. (1999) Three dimensional DNA structures in computing. Biosystems, 52(1–3): 143–153.
- Macdonald J., Li Y., Sutovic M., Lederman H. et al. (2006) Medium scale integration of molecular logic gates in an automaton. Nano Lett., 6(11): 2598–2603.
- Markram H. (2006) The Blue Brain Project. Nat. Rev. Neurosci., 7(2): 153–160.
- Phan J.H., Moffitt R.A., Stokes T.H., Liu J. et al. (2009) Convergence of biomarkers, bioinformatics and nanotechnology for individualized cancer treatment. Trends Biotechnol., 27(6): 350–358.
- Roco M.C. (2003) Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. Curr. Opin. Biotechnol., 14(3): 337–346.
- Roco M.C., Bainbridge W.S. (Eds.) (2002a) Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and the Cognitive Science. National Science Foundation. Arlington, VA.
- Roco M.C., Bainbridge W.S. (Eds.) (2002b) Converging technologies for improving human performance: integrating from the nanoscale. J. Nanopart. Res. 4(4): 281–295.
- Roco M.C., Bainbridge W.S. (Eds.) (2006) Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging technologies in society, Springer, Berlin.
- Schummer J. (2008) From nano-convergence to NBIC-convergence: «The best way to predict the future is to create it». In: S. Maasen, M. Kaiser, M. Kurath, C. Rehmann-Sutter (eds.) Deliberating Future

Technologies: Identity, Ethics, and Governance of Nanotechnology. Springer.

Smalley R. (2002) Nanotechnology: the wet/dry frontier. Small Wonders Workshop. Washington DC.

Swierstra T., Boenink M., Walhout B., van Est R. (2009) Converging technologies, shifting boundaries. Nanoethics, 3(3): 213–216.

Конвергентные технологии — нанобиомедицинский аспект

И.С. Чекман, Т.Ю. Небесная, А.М. Дорошенко

Резюме. В начале XXI в. четыре волны научно-технической революции пересеклись во времени. Фраза «конвергентные технологии» относится к синергетической комбинации четырех больших NBIC (nano-bio-info-cogno) областей науки и техники: нано-науки и нанотехнологий, биотехнологий и биомедицины, информационных технологий и когнитивной науки. Статья содержит краткую характеристику конвергентных технологий и их значение для биомедицины.

Ключевые слова: конвергентные технологии, NBIC-конвергенция, нанотехнологии, биомедицина.

Converging technologies — nanobiomedical aspect

I.S. Chekman, T.Yu. Nebesna, A.M. Doroshenko

Summary. At the beginning of XXI century four waves of scientific and technological revolution were crossed in time. The phrase «convergent technologies» refers to the synergistic combination of four major «NBIC» (nano-bio-info-cogno) areas of science and technology: nanoscience and nanotechnology; biotechnology and biomedicine; information technology and cognitive science. The article gives a short description of converging technologies and their implications for biomedicine.

Key words: converging technologies, NBIC-convergence, nanotechnology, biomedicine.

Адреса для листування:

Чекман Іван Сергійович
03057, Київ, просп. Перемоги, 34
Національний медичний університет
ім. О.О. Богомольця, кафедра
фармакології та клінічної фармакології
E-mail: chekman_ivan@yahoo.co.uk