

С. Г. Опімах ВИНАХІД КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ І ЙОГО ЗНАЧЕННЯ В ІСТОРІЇ ПУЛЬМОНОЛОГІЇ

ДУ «Національний інститут фізіатрії і пульмонології ім. Ф. Г. Яновського НАМН України», Україна

ВИНАХІД КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ І ЙОГО ЗНАЧЕННЯ В ІСТОРІЇ ПУЛЬМОНОЛОГІЇ

С. Г. Опімах

Резюме

Візуалізаційні діагностичні методики в пульмонології беруть початок із відкриття рентгенівських променів. Рентгенографія є інструментом першого ряду для обстеження органів грудної порожнини, але в багатьох випадках її можливості обмежені.

Метою роботи є дослідження історії винаходу комп'ютерної томографії.

Оскільки рентгенограма є двовірним сумарним зображенням тривимірної анатомічної структури, виникла потреба візуалізації окремих шарів патологічного процесу. З 1913 року було випробувано багато технічних рішень томографії. Лінійна томографія певний час слугувала для діагностики легеневої патології, допомагала точніше визначити локалізацію, поширеність, характер і структуру патологічного процесу, виявити дрібні патологічні утворення та порожнини. Але якість томографії не була задовільною. Двоє геніальних винахідників комп'ютерної томографії, яким була присуджена Нобелівська премія з медицини 1979 року, не були лікарями. Аллан Маклеод Кормак (професор і керівник інституту фізики в Університеті Тафтса в Медфорді, штат Массачусетс, США) був першим, хто виклав принципи реконструкції поперечного перерізу тканин в органі на основі рентгенівських проєкцій в 1963 році. Годфрі Ньюболд Хаунсфілд (керівник відділу медичних досліджень компанії Electric and Musical Industries, Мідлсекс, Англія) не тільки відтворив математичні алгоритми методики, але й сконструював томограф і безпосередньо приймав участь у його клінічному впровадженні у 1971 році. Серед розробників ідеї тривимірної рентгенівської томографії в 1957—1958 роках були вчені Київського політехнічного інституту Семен Тетельбаум та Борис Коренблюм.

Ключові слова: рентгенологія, комп'ютерна томографія, історія пульмонології.

Укр. пульмонол. журнал. 2024;32(1):66–74:

Опімах Світлана Генріхівна

ДУ «Національний інститут фізіатрії і пульмонології ім. Ф. Г. Яновського НАМН України», дівідення діагностики, терапії та клінічної фармакології захворювань легень

Старший науковий співробітник

Канд. мед. наук

10, вул. М. Амосова, Київ, 03038, Україна

Тел./факс: 380 44 275-27-33, sveta_infodoc@ukr.net

THE INVENTION OF COMPUTED TOMOGRAPHY AND ITS SIGNIFICANCE IN THE HISTORY OF PULMONOLOGY

S. G. Opimakh

Abstract

Imaging diagnostic methods in pulmonology originate from the discovery of X-rays. Radiography is the first-line tool for chest imaging, but in many cases its capabilities are limited.

The aim was to study the history of the invention of computed tomography.

Since the radiogram is a two-dimensional summation image of a three-dimensional anatomical structure, there was a need to visualize separate layers of the pathological process. Since 1913, many technical solutions of tomography have been tested. Linear tomography for some time served for the diagnosis of lung pathology, helped to determine the localization more accurately, examine a prevalence, nature and structure of the pathological process, to detect small pathological formations and cavities. But the quality of tomography was not satisfactory. The two outstanding inventors of computed tomography who were awarded the 1979 Nobel Prize in Medicine were not the physicians. Allan McLeod Cormack (Professor and Head of the Institute of Physics at Tufts University, Medford, Massachusetts, USA) was the first to outline the principles of cross-sectional tissue reconstruction in an organ based on X-ray projections in 1963. Godfrey Newbold Hounsfield (Head of Medical Research at Electric and Musical Industries, Middlesex, England) not only reproduced the mathematical algorithms of the technique, but also designed the tomograph and directly participated in its clinical implementation in 1971. Among the developers of the idea of three-dimensional X-ray tomography in 1957–1958 were the scientists of Kyiv Polytechnic Institute Semyon Tetelbaum and Boris Korenblyum.

Key words: radiology, computed tomography, history of pulmonology.

Ukr. Pulmonol. J. 2024;32(1):66–74.

Svitlana G. Opimakh

SO "National Institute of phthisiology and pulmonology named after F. G. Yanovskii National Academy of medical sciences of Ukraine" Department of diagnostics, therapy and clinical pharmacology of lung diseases, Senior research associate

Candidate of medical science

10, M. Amosova str., Kyiv, 03038, Ukraine

Tel./fax: 380 44 270 27 33, sveta_infodoc@ukr.net

Своєчасна точна діагностика захворювання є основою клінічної практики, слугує керівництвом для лікування і є першою сходинкою у досягненні успішних результатів для пацієнтів [1]. Діагностичні методики пульмонології виникали і розвивалися одночасно зі становленням внутрішньої медицини. Сто п'ятдесят — двісті років тому талановиті терапевти справлялися із визначенням дихальної патології за допомогою органів чуття. Вони бачили, наприклад, ціаноз, вимушене положення тіла пацієнта або участь допоміжної мускулатури в акті

дихання, чули відтінки перкуторного тону, ослаблене або бронхіальне дихання, шуми і хрипи, тактильно відчували голосове дрижання грудної клітини і так далі [2]. Згідно міжнародної класифікації хвороб *International Lists of Causes of Death (ILDC)*, яка по суті була класифікацією причин смерті, станом на 1900 рік розрізняли наступні захворювання органів дихання: декілька варіантів перебігу пневмонії: лобарну, епідемічну, бронхопневмонію та інші форми (*Pneumonia: Lobar, Epidemic, Broncho, Not defined*), а також туберкульоз легень, ателектаз, ларингальний стридор, ларингіт, бронхіт, емфізему, астму, плеврит і навіть фіброїдну хворобу легень (*Fibroid disease of lung*) [3]. Ці діагнози лікарі встановлювали за допомогою своєї спостережливості, а класифікація створювала-

© Опімах С. Г., 2024

www.search.crossref.org

DOI: 10.31215/2306-4927-2024-32-1-66-74

ся не без участі дослідників патологічної анатомії. Сьогодні дані фізикального обстеження не є підґрунтям для постановки остаточного діагнозу, а скоріше слугують приводом для призначення додаткових методів досліджень. Лікарі сміливо забувають навички на кшталт топографічної перкусії легень в аудиторіях медичного університету, тому що мають цілий арсенал діагностичних спроможностей. Серед неінвазивних методик в пульмонології найбільш вражаючою є комп'ютерна томографія, яка дозволяє побачити структуру дихальних шляхів, легеневої паренхіми, судин, лімфатичних вузлів та м'яких тканин грудної клітини.

З пошаною до цінної і наполегливої праці геніальних винахідників, з подякою до всіх спеціалістів, хто удосконалював методику і продовжує це робити, метою даної роботи є дослідження історії винаходу комп'ютерної томографії.

Термін «комп'ютерна томографія», або КТ, стосується комп'ютеризованої процедури рентгенівської візуалізації, і поява КТ не була можливою без відкриття рентгенівського випромінювання.

Відомо, що 8 листопада 1895 року Вільгельм Конрад Рентген, професор фізики із Вюрцбурга, Баварія, випадково відкрив рентгенівські промені, перевіряючи, чи можуть катодні промені проходити крізь скло. Його катодна трубка була вкрита цупким чорним папером, тож він був здивований, коли розжарене зелене світло все ж вирвалося й спроєктувалося на сусідній флуоресцентний екран. За допомогою експериментів він виявив, що таємниче світло проходило крізь більшість речовин, але залишало тіні від твердих об'єктів. Оскільки він не знав, що це за промені, він назвав їх «X-rays». Рентген швидко виявив, що X-промені також можуть проходити крізь тканини людини, роблячи кістки видимими. Його робота була нагороджена першою Нобелівською премією з фізики у 1901 році [4].

Серед вчених, які створювали підґрунтя науки про X-промені, був український фізик та електротехнік Іван Пулюй. Він пояснив природу променів і відкрив здатність іонізувати атоми та молекули, визначив місце утворення і просторовий розподіл променів. 1881 року І. Пулюй сконструював катодну лампу («трубку Пулюя») як принципово новий тип джерела світла. Іван Пулюй продемонстрував використання катодної лампи як джерела інтенсивних X-променів для отримання зображень, і 18 січня 1896 року отримав X-променевий знімок кисті [5].

Проникна здатність X-променів різна для різних матеріалів, менш прозорі для нього частини об'єкта дають більш світлі ділянки на знімку, ніж ті, через які випромінювання проникає добре. Впровадження рентгенографії стало важливою рушійною силою розвитку респіраторної медицини, адже дозволило об'єктивно визначати ознаки таких захворювань, як пневмонія, туберкульоз, пухлини легень та інших. Цим винаходом, як інструментом першого ряду для візуалізації органів грудної порожнини, людство і сьогодні користується у всьому світі [6].

Але в деяких випадках діагностичного пошуку рентгенографії недостатньо, тому що вона надає двовимірне сумарне зображення тривимірної анатомічної структу-

ри, в якій втрачається визначення глибини. У загальній картині легень на шляху променів усі деталі перекриваються. Ребра та середостіння закривають до 40 % легеневої паренхіми, і залежно від того, де розташоване патологічне ураження, відмінності в щільності між патологічними та прилеглими нормальними структурами можуть бути незначними. Інтерпретація можливих змін у легенях радіологом ґрунтується на його знаннях про нормальну анатомію легень і властивості патологічних аномалій. Але в деяких випадках природа рентгенограми робить судження беззаперечно суб'єктивним. Тому в багатьох ситуаціях виникає потреба відокремити зображення патологічної ділянки від розташованих поруч структур за допомогою томографії (від грец. τόμος — «розріз» і ὑράφω — «пишу, зображаю») [7].

У грудні 1913 року Кароль Майєр (Karol Mayer), доктор медицини Ягеллонського університету (Краків), оприлюднив оригінальну ідею одночасного використання двох рентгенівських трубок із однаковою потужністю, що розташовані на прямій лінії одна за одною. Майєр хотів посилити рентгенівське випромінювання подібно до фокусування пучка світла за допомогою лінз і надав точні розрахунки для розташування трубок та визначення відстані від опромінюваного об'єкта. Поєднавши знання топографічної анатомії із властивостями рентгенівського випромінювання та законами оптики, Майєр показав, що належні рухи рентгенівської трубки під час обстеження можуть значно зменшити видимість помутнінь, що походять з інших органів, і таким чином «розкрити» ділянку, що вивчається. Перехід від раніше статичної рентгенівської трубки до планомірного руху та навмисне розмивання зображення навколишніх структур стало основою майбутньої рентгенівської томографії [8].

Протягом багатьох років було випробувано багато технічних рішень томографії, але жодне не було визнано повністю задовільним. У 1916 році французький дерматолог Андре Бокаж (André Bocage), не знаючи про відкриття Майєра, розв'язав, як використовувати рухому лампу та касету із рухомими пластинами відповідно до суворо визначених геометричних моделей. Модель Бокажа фактично була ідентичною розв'язку Майєра, але досить суттєва різниця полягала в «приведенні в рух» іншого компонента системи, рентгенівської пластини, відносно тіла пацієнта. І хоча Бокаж подбав про патентування свого рішення в 1921 році, тоді воно не викликало великого інтересу [8]. Німецький конструктор і дизайнер Гроссман (Reiniger-Veifa Gustav Grossmann) і італійський дослідник Валлебона (Alessandro Vallebona) розвинули ідею далі та створили власне обладнання. У 1931 році голландський радіолог Зієдсес де Плантес (Bernard G. Ziedses des Plantes) оприлюднив найширше та ґрунтовне дослідження томографії [9] і продемонстрував техніку, за якою шляхом переміщення джерела рентгенівського випромінювання та приймача зображення (плівки) можна створити томографічне зображення. На цьому зображенні структури над і під фокальною площиною були розмиті, тоді як ті, що лежать у фокальній площині, залишаються у фокусі [10]. Не менше десяти дослідників самостійно винайшли томографію протягом

періоду з 1921 до 1934 року, абсолютно не підозрюючи, що інші працювали над тими ж цілями. Коли вони дізналися про роботу один одного, мало місце змагання за визнання. Далі було більше міжнародної співпраці, але Друга світова війна все ще стояла на заваді обміну інформації [11]. У сорокових і п'ятдесятих роках спостерігався застій, проводилися лише подальші вдосконалення існуючого обладнання. Незважаючи на те, що німецький дослідник Френк (Gabriel Frank) і японський радіолог Такахаші (Shinji Takahashi) оприлюднили основні принципи аксіальної томографії в середині сорокових років, довелося дочекатися необхідних розробок в електроніці, перш ніж було розроблено першу аксіальну комп'ютерну томографію [9, 11].

Лінійна томографія певний час слугувала для діагностики легеневої патології, допомагала точніше визначити локалізацію, поширеність, характер і структуру патологічного процесу, виявити дрібні патологічні утворення та порожнини. Свою користь вона відіграла і для виявлення сторонніх тіл грудної клітини внаслідок поранень під час Другої світової війни. Але з чисто фізичних причин класичні томограми не мали можливості досягти повного усунення впливу інших відділів органу на знімок досліджуваної ділянки, і контрастність зображення знижувалася. Крім того, пацієнти піддавалися високому променевому навантаженню, а рентгенівська плівка мала відносно низьку чутливість у відтворенні коливань щільності тканини [7].

Запит на якісну томограму залишався невирішеним.

Вченим, який захопився досягненням чіткого зображення на томограмах, був Аллан Маклеод Кормак (Allan McLeod Cormack) (рис. 1). Аллан Кормак народився 24 лютого 1924 року в Йоханнесбурзі, Південна Африка, з 1936 року проживав в Кейптауні. Вищу освіту здобував в Кейптаунському університеті за спеціальністю електротехніка. Після отримання ступенів бакалавра та магістра в Кейптауні навчався у коледжі Св. Джона в Кембриджі як аспірант. Працював у Кавендішській лабораторії із радіоактивними ізотопами гелію. У 1950 році повернувся до університету Кейптауна на посаду викладача [12].

У 1955 році фізик лікарні Groote Schuur Кейптауна пішов у відставку. Південноафриканське законодавство вимагало, щоб фізик належної кваліфікації контролював використання будь-яких радіоактивних ізотопів, і оскільки Кормак був єдиним фізиком-ядерником у Кейптауні, його запросили у лікарню, де він виконував ці обов'язки протягом першої половини 1956 року. Кормак стежив за плануванням променевої терапії і звернув увагу, що діаграми ізодозування стосувалися однорідних матеріалів, а, оскільки людське тіло є досить неоднорідним, то діаграми дуже спотворені неоднорідностями. Кормак розумів, щоб покращити результати лікування, потрібно знати розподіл коефіцієнта ослаблення тканин в організмі, і що цей розподіл потрібно знайти за допомогою вимірювань, зроблених поза тілом. Незабаром Кормаку спало на думку, що ця інформація буде корисною для діагностичних цілей і становитиме томограму або серію томограм, хоча тоді він не вживав слово «томограма» [13].



Рис. 1. Аллан Маклеод Кормак.
24 лютого 1924 — 07 травня 1998

У Кейптауні не було можливостей досліджувати дане питання, тому у 1956–57 роках Кормак проводив творчі відпустки в Гарварді на Гарвардському циклотроні, проводячи експерименти з ядерної фізики. Влітку 1957 року в Кейптауні Кормак в якості досліду за допомогою γ -променів просканував фантом із алюмінієвих циліндрів, оточених дерев'яним кільцем. Сканування виявило цільнісну аномалію в центрі фантома, таким чином вчений відтворив деталі внутрішньої будови об'єкта, але не оприлюднював цей винахід до 1963 року [14]. Восени 1957 року Кормак переїхав до Сполучених Штатів і став професором Університету Тафтса [12].

У той час експотенціальне послаблення рентгенівського та гамма-випромінювання було відоме та використовувалося більше шістдесят років із однорідними пластинами матеріалу з паралельними сторонами. Кормак припустив, що за ці шістдесят років було зроблено узагальнення і щодо неоднорідних матеріалів, але пошук не виявив відповідної літератури, тому він розглядав проблему з початку, *ab initio*. Вченому було очевидно, що проблема є математичною, і якщо тонкий пучок гамма-променів із інтенсивністю I_0 падає на тіло, а інтенсивність, що виникає, дорівнює I , тоді вимірювана величина $g = \ln(I_0/I) = \int_L f ds$, де f — змінний коефіцієнт поглинання вздовж лінії L . Отже, якщо f є двовимірною функцією, а g відомий для всіх ліній, що перетинають тіло, постає питання: «Чи можна визначити f , якщо відомий g ?» [13].

Кормак був переконаний, що питання має великий принциповий інтерес, і передбачив, що, якщо його можна буде вирішити, то з'являться можливості застосування томографії в діагностиці та радіотерапії. У 1963 році Аллан Кормак першим, з теоретичної точки зору, проаналізував умови для зображення правильного поперечного перерізу в біологічній системі і вивів свій власний метод розрахунку. У великих модельних експериментах, у яких він

використовував гамма-випромінювання, яке має коротшу довжину хвилі, ніж рентгенівське, він показав, що теорія та експеримент добре узгоджуються [7].

Як розробники класичної томографії не знали про роботи один іншого, так і Кормак лише у 1965 році дізнався, що математичну складову його праці вже дослідив Радон [14].

Йоганну Радону (Johann Radon), австрійському професору математики, який працював у різних університетах Австрії та Німеччини, належать перші спроби обчислити об'ємні зображення. Він продемонстрував, що зображення тривимірного об'єкта може бути побудовано із нескінченної кількості двовимірних зображень об'єкта. Радон ввів інтегральне перетворення і його зворотню конверсію та показав, як можна побудувати двовимірну функцію $f(x,y)$ від її лінійних інтегралів. Більше того, він показав, як можна реконструювати n -вимірну функцію з її інтегралів по гіперплощинах розмірності $n-1$. Це інтегральне перетворення тепер називається перетворенням Радона. Як це часто буває із багатьма прекрасними і значущими математичними відкриттями, перетворення Радона і залишалося непоміченим протягом багатьох років [15].

Після того як Кормак винайшов математичне рішення для вимірювання розподілу щільності тканин в тілі, він припустив, що рентгенівські промені можна скерувати під різними кутами навколо мозку чи тіла. Враховуючи різний вплив м'яких і щільних тканин на поглинання рентгенівських променів, комп'ютер міг би зібрати ці зображення в тривимірні. Але Кормак не розвивав цю ідею далі в плані створення інструменту, який міг би це здійснити на практиці [16].

Внесок Кормака у розвиток теорії комп'ютерної томографії був раннім і передбачав майбутній розвиток на кілька років. Кормак був першим, хто виклав принципи реконструкції поперечного перерізу тканин в органі на основі рентгенівських проєкцій. Причина, чому відкриття Кормака не знайшло промислового застосування, невідома, але можна припустити, що комп'ютери того часу не мали достатньої потужності, щоб уможливити застосування методу в медичній допомозі [7].

Вирішальний внесок у створення першої системи КТ і її впровадження в медицині зробив Годфрі Ньюболд Хаунсфілд (Godfrey Newbold Hounsfield) (рис. 2). Годфрі Хаунсфілд народився 28 серпня 1919 в місті Ньюарк, Великобританія, виріс поблизу села в Ноттінгемширі і в дитинстві насолоджувався свободою досить ізольованого сільського життя. Батько мав невелику ферму, де у дуже ранньому дитинстві Хаунсфілда зацікавили всі механічні та електричні пристрої, які вже тоді можна було знайти на фермі: молотарки, в'язучі машини, генератори. В період між одинадцятим і вісімнадцятим роками Годфрі здійснив перші спроби експериментів, які б ніколи не були зроблені, якби він жив у місті. Він сконструював електричні реєструючі машини, досліджував принципи польоту, кидаючись із копиць сіна на саморобному планері, ледь не підірвав себе під час захоплюючих експериментів із використанням наповнених водою бочок із дьогтю та ацетилену, щоб побачити, на яку висоту їх можна підняти водометним двигуном [17].



**Рис. 2. Годфрі Ньюболд Хаунсфілд.
28 серпня 1919 — 12 серпня 2004**

В школі Magnus Grammar School у Ньюарку Годфрі із легкістю й помірним ентузіазмом сприймав лише фізику й математику, також його цікавили літаки. З початком Другої світової війни він приєднався до Королівських ВПС як резервіст-доброволець, там пройшов курс із радіомеханіки, здав професійний іспит і його негайно взяли на посаду інструктора з механіки радіолокаційної техніки та перевели до Королівського наукового коледжу в Південному Кенсінгтоні, а згодом — до Школи радіолокаційних систем Cranwell. У школі він також займався створенням великоекранного осцилографа та демонстраційного обладнання як допоміжних засобів для навчання, за що був нагороджений грамотою. Після війни, завдяки отриманню стипендії, Годфрі вступив до електротехнічного коледжу Фарадея Хауса в Лондоні, де й отримав диплом [17].

Далі Хаунсфілд влаштувався конструктором до дослідницького відділу Electric and Musical Industries (EMI) у 1951 році, де спочатку працював над радіолокаційними системами і керованою зброєю, а пізніше керував невеликою конструкторською лабораторією. Серед його досягнень виділялася розробка першого в Британії повністю транзисторного комп'ютера EMIDEC 1100 у 1958 році. EMI перевела Хаунсфілда до своїх Центральних дослідницьких лабораторій після продажу комп'ютерного підрозділу в 1962 році та доручила йому проєкт розробки тонкоплівкової комп'ютерної пам'яті із миттєвим доступом до одного мільйона слів. Цей проєкт провалився з комерційних причин, але, довіряючи творчим здібностям Хаунсфілда, його керівники дали йому свободу дій у виборі наступного дослідницького проєкту [16].

Саме у цей період під час сільської прогулянки у Хаунсфілда спалахнуло натхнення. Хаунсфілд думав про свої радіолокаційні дослідження, зокрема про проблеми

розпізнавання образів. Радарні системи сканують оточення, надсилаючи радіохвилі з центральної точки та виявляючи об'єкти на периферії. Чому б не спробувати зворотний процес, подумав Хаунсфілд під час прогулянки, і не вивчити центральний або внутрішній малюнок об'єкта ззовні? Чому б не відправити промені через посилку, щоб дізнатися, що заховано всередині? Він подумав «Чи не було б чудово, якби у мене було багато параметрів, отриманих з усіх сторін через коробку. Хіба не було б чудово, якби на основі цих даних я міг відтворити в 3-D, що насправді було в коробці?». Винахід Хаунсфілда полягав у тому, щоб розглядати тривимірний об'єкт як серію поперечних сканувань або зрізів, і він почав вивчати, як це зробити математично. Ідея Хаунсфілда була зосереджена на явищі ослаблення рентгенівського випромінювання. Якби ми могли спостерігати різні моделі ослаблення людського об'єкта, направляючи крізь нього рентгенівський промінь під різними кутами, припустив Хаунсфілд, ми могли б розрізнити різні типи тканин і реконструювати зображення «зрізу» цього об'єкта [16].

Хаунсфілд надіслав свою дослідницьку пропозицію в ЕМІ під назвою «Покращена форма рентгенівської радіографії», в якій він запропонував, щоб серія рентгенівських знімків, зроблених під різними кутами навколо ділянки тіла, могла створити зображення поперечного перерізу цієї області. Різні експозиції рентгенівського випромінювання могли бути виявлені сенсорним пристроєм, і ці показання були б оцифровані та подані на комп'ютер для створення картини матеріалу всередині «зрізу». Хаунсфілд не знав, що австрійський математик Йоганн Радон і південноафриканський фізик Аллан Кормак вже показали в теорії, що таке зображення можна отримати. Однак завдяки фінансуванню ЕМІ Хаунсфілд міг почати перетворювати свою ідею на робочий продукт. Проект викликав достатню зацікавленість, до якого долучилося Міністерство охорони здоров'я Великої Британії через свого радника з питань радіології Евана Леннона (Evan Lennon) [16].

Повну систему КТ Хаунсфілд описав у своїй заявці на патент у 1968 році [7]. Перша експериментальна система Хаунсфілда використовувала гамма-промені від радіоактивного елемента Америцій для сканування пляшок або банок із плексигласу, наповнених водою та шматками металу та пластику, і була «дуже імпровізованою», як він згадував у своїй Нобелівській лекції. Станина токарного верстата забезпечувала засоби для переміщення та обертання джерела гамма-випромінювання, а чутливі детектори були розміщені по обидва боки від пляшок або банок. Процес сканування тривав дев'ять днів і створив 28 000 вимірювань, на обчислення та обробку яких у високошвидкісному комп'ютері знадобилося дві з половиною години. Проте зображення, створені комп'ютером, були достатньо хорошими, щоб переконати як ЕМІ, так і Департамент охорони здоров'я інвестувати по 6000 фунтів стерлінгів у придбання рентгенівської трубки та генератора, що скоротило б час сканування до дев'яти годин. Хаунсфілд мандрував підземкою Лондоном, доставляючи голови биків і свиней із біяни до своєї лабораторії, де він зробив перші знімки, на яких можна було чітко розрізнити білу та сіру речовину головного мозку [16].

Зображення мозку тварин показали, що метод спрацював, але Хаунсфілду потрібно була взаємодія із клініцистом, щоб показати, чи працюватиме він на мозку людини. Леннон з Департаменту охорони здоров'я намагався знайти такий контакт, але наткнувся на стіну скепсису. «Навіщо мені зустрічатися з таким диваком?» відповів перший радіолог, до якого звернувся Леннон, і ще кілька відмовилися зустрітися з Хаунсфілдом. Леннон наполягав і зрештою досяг згоди консультанта-рентгенолога на ім'я Джеймі Амброуз (Jamie Ambrose), який працював у радіологічному відділенні лікарні Аткинсона Морлі у Вімблдоні, Лондон. Амброуз досліджував способи візуалізації живого мозку за допомогою таких методів, як ультразвук і ехо-енцефалографія, і він погодився зустрітися з Хаунсфілдом. Перша зустріч пройшла не дуже добре. Амброуз вважав, що у Хаунсфілда складний характер. З одного боку останній не був дуже балакучим, обережно пояснював будь-які деталі свого винаходу, а з іншого на всі новітні неврологічні зображення, які показував йому Амброуз, відповідав зневажливим «Я можу зробити краще, ніж це» [16].

Коли вони прощалися після, здавалося б, невдалого знайомства, Амброуз передав Хаунсфілду банку з мозком із пухлиною та попросив у нього якісь докази свого винаходу. На наступну зустріч Хаунсфілд привіз із собою фотографію мозку, на якій було видно пухлину та навіть ділянки крововиливу всередині пухлини. Амброуз був приголомшений. Передбачливість і ентузіазм Амброуза виявилися вкрай необхідною підтримкою для Хаунсфілда та його винаходу. Загалом радіологи шукали шляхи покращення роздільної здатності рентгенівських зображень і скорочення часу, необхідного для їх отримання. Проте нова революційна техніка, яка обіцяла зображення мозку, але мала меншу роздільну здатність (як тоді здавалося) і потребувала більше часу, ніж існуючі методи, не була першою у списку бажань для більшості радіологів — принаймні вони так думали [16].

Прототип того, що називається сканером мозку ЕМІ, було встановлено в лікарні Морлі Аткинсона. За конструкцією сканера голову пацієнта оточувала камера з водою. Першого жовтня 1971 року було обстежено першого пацієнта. Сканер мозку ЕМІ пізніше було перейменовано в комп'ютерну томографію, а метод також називали комп'ютерна аксіальна томографія. Для першого комп'ютерного сканування Амброуз обрав пацієнтку із підозрою на пухлину мозку. «Було отримане прекрасне зображення круглої кістки прямо посередині лобової частки, — згадував Хаунсфілд, — і, звичайно, це схвилювало всіх у лікарні, хто знав про цей проект» (рис. 3). Після зображення Хаунсфілд і Амброуз відчували себе, як згадував останній, футболістами, які щойно забили переможний гол. Череп більше не був недоступним ззовні, тонкощі мозку тепер були видимі, і вони могли відрізнити здорову тканину від хворої. Протягом наступних кількох тижнів вони підтвердили можливість сканера приблизно із десятьма іншими пацієнтами, у яких діагностували та локалізували захворювання мозку [16].

Коли 20 квітня 1972 року Амброуз представив ці перші клінічні зображення на щорічному конгресі Британського інституту радіології — найстарішого раді-

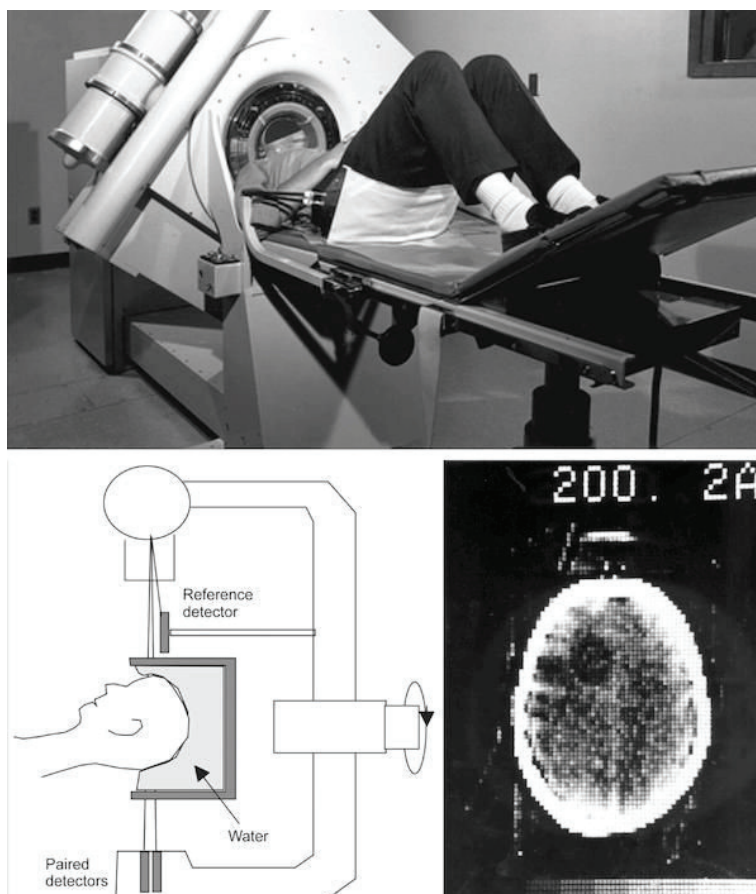


Рис. 3. Музейне фото першого EMI сканера в лікарні Аткінсона Морлі в Лондоні, схема томографії та перша комп'ютерна томограма головного мозку [18]

ологічного товариства у світі — публіка була приголомшена. Зображення мозку, на яких чітко видно ураження, пухлини та крововиливи, миттєво розвіяли весь скептицизм радіологів щодо техніки [16]. КТ звільнила пацієнтів із патологією мозку від травматичних методів досліджень (ангіографії та вентрикулографії). Якщо уявити пацієнта в тяжкому стані із складними неврологічними розладами, котрому необхідно зробити пункцію субарахноїдального простору, ввести повітря в шлуночки мозку, щоб виконати, наприклад, пневмовентрикулографію, то вибір на користь КТ є безсумнівним [19, 20].

КТ миттєво отримала «зелене світло» у практичному впровадженні. Міністерство охорони здоров'я придбало перші три виготовлені сканери EMI і розмістило їх у Манчестерській королівській лікарні в Глазго та в Інституті неврології в Лондоні. Ще два сканери були відправлені в клініку Мейо і Массачусетську загальну лікарню в США [16].

Детальний опис системи КТ з'явився в грудневному номері Британського журналу радіології 1973 року. Ця робота створення всіх компонентів, покладених в основу конструкції та роботи комп'ютерного томографа, стала епохальним досягненням в медичній радіології. Хаунсфілд, очевидно, не знав про внесок Кормака і розробив власний метод реконструкції зображення. З незвичайним поєднанням бачення, інтуїції та уяви, а також із надзвичайно впевненим поглядом на оптимальний вибір фізичних факторів у системі, яка, мабуть, створює

вала дуже великі проблеми, він отримав результати, які здивували медичний світ. Жоден інший метод рентгенівської діагностики за такий короткий проміжок часу не призвів до таких значних досягнень щодо досліджень і кількості застосувань, як комп'ютерна томографія [7].

Нобелівська премія з медицини 1979 року була присуджена двом геніальним винахідникам КТ, які не були лікарями. На момент вручення премії Аллан Маклеод Кормака був професором і керівником інституту фізики в Університеті Тафтса в Медфорді, штат Массачусетс, США, а Годфрі Ньюболд Хаунсфілд був керівником відділу медичних досліджень компанії Electric and Musical Industries, Мідлсекс, Англія [7].

Як обидва винахідники тривалий період своєї праці над винайденням КТ не знали про розробки один одного, так само вони не підозрювали, що в період 1957 — 1958 років у Київському політехнічному інституті були проведені подібні роботи.

Тетельбаум Семен Ісакович — видатний вчений в галузі радіоелектроніки, член-кореспондент АН УРСР, випускник КПІ, професор, завідувач кафедри «Приймальна і передавальна апаратура», декан факультету. Семен Ісакович народився в Києві 7 липня 1910 року. У 1928–1932 роках навчався в КПІ, після закінчення працював інженером-конструктором при інституті. У 24-річному віці став кандидатом технічних наук, у 29-річному захистив докторську дисертацію, у 30 років став керівником кафедри, у 38 — членом-кореспондентом АН УРСР.

Він дивував усіх, хто знав його як вченого — теоретика і експериментатора — своїм вмінням виконувати складні токарні, слюсарні, монтажні та інші роботи. У 1932 році Тетельбаум сконструював і збудував телевізійну установку, за допомогою якої в Україні вперше були проведені експерименти з телебачення. У 1934–1939 роках під керівництвом С.І. Тетельбаума були успішно виконані важливі дослідження і розроблені конструкції в галузі телемеханіки і автоматики, радіолокації, електроакустики, ультразвуку і гідроакустики. В післявоєнні роки С. І. Тетельбаум проводив дослідження кільцевого безелектродного розряду з метою мирного використання атомної енергії та розробляв питання ефективної передачі енергії без проводів на великі відстані, зробив численні винаходи в галузі радіотехніки, телебачення, електроакустики, автоматики і телемеханіки, електротехніки [21].

С. І. Тетельбаум вивчав використання радіоелектроніки в медицині. У 1957 році, за 6 років до того, як свої праці оприлюднив Алан Кормак, Тетельбаум видав статтю «О методе получения объемных изображений при помощи рентгеновского излучения». В ній йдеться, що на підставі загальних уявлень про можливості компенсації спотворень зображень, пропонується метод отримання просторових зображень об'єкта за допомогою рентгеновського (або іншого достатньо проникного) випромінювання. Було наведено вирішення інтегрального рівняння з урахуванням ослаблення випромінювання, викликаного трьома факторами (поглинання в об'єкті, ослаблення за рахунок розходження конусу випромінювання та ослаблення за рахунок нахилу падіння променя на площину спостереження) (рис. 4) [22].

Для однозначного пошуку коефіцієнта поглинання в кожному елементі об'єкта було враховано взаємне розташування джерела випромінювання, об'єкта і площини спостереження та вирішене відповідне інтегральне рів-

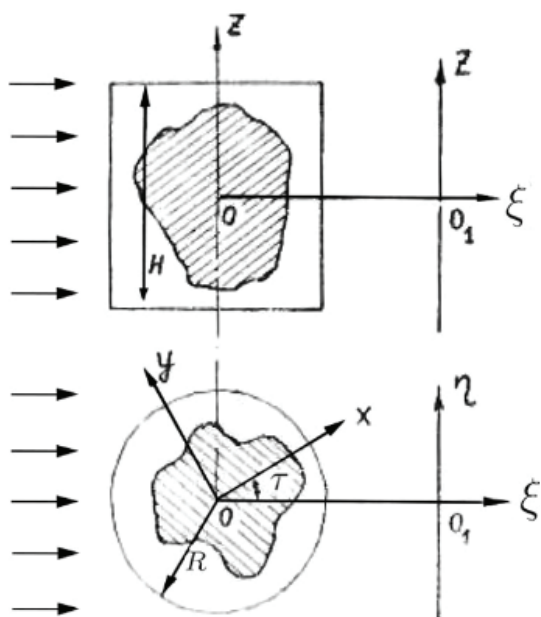


Рис. 4. Ілюстрація до інтегрального рівняння С. І. Тетельбаума [22]

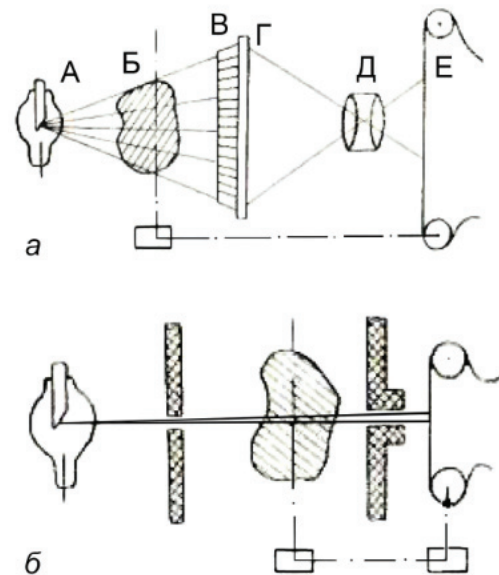


Рис. 5. Схема пристрою томографії С. І. Тетельбаума [22]

няння, в тому числі для випадків зміни координат джерела випромінювання. Автор відмітив принципову можливість суміщати зображення окремих точок, попередньо зафарбувавши їх в основні кольори, щоб отримувати кольорові зображення, що дасть додаткові діагностичні можливості в медицині [22]. Тетельбаум, як і Кормак, не знав про вирішення математичної складової Радоном, але Кормак не шукав практично технічного втілення своїх розрахунків у медицині, а Тетельбаума і його однодумців в 1957 році цікавило медичне конструювання, і він запропонував схему пристрою, де А — джерело випромінювання, В — об'єкт, В — свинцевий решітчастий фільтр, Г — флуоресціюючий екран, Д — об'єкти, Е — кіноплівка (рис. 5) [22].

Соратником Семена Ісаковича був Борис Ісаакович Коренблюм, доктор фізико-математичних наук. Борис Ісаакович народився 12 серпня 1923 року в Одесі, у 1946 році закінчив Київський університет, працював в Інституті математики АН УРСР (Київ, 1947–52 роки), Київському інженерно-будівельному інституті (1952–73 роки). Наукові дослідження вченого присвячені питанням функціонального аналізу, теорії функцій, банахової алгебри [23].

У 1958 році у статті «Об одной схеме томографии» Б. І. Коренблюм та співавтори підсумовували поточний стан речей, що можливості вивчення тонких шарів об'єкта та отримання чітких його пошарових зображень обмежені. Автори запропонували методи рентгенотехніки, що дозволяють визначити значення локального коефіцієнта ослаблення рентгеновського випромінювання в кожному елементі тривимірного об'єкта і отримати об'ємне зображення останнього. В статті вказано, що за допомогою даних методів можуть бути здійснені схеми рентгенографічного дослідження практично скільки завгодно тонких шарів, причому отримане зображення не буде залежати від характеристик будь-яких інших шарів об'єкта [24].

Революційною пропозицією Коренблюма було опромінювати об'єкт достатньо вузьким віялоподібним пуч-

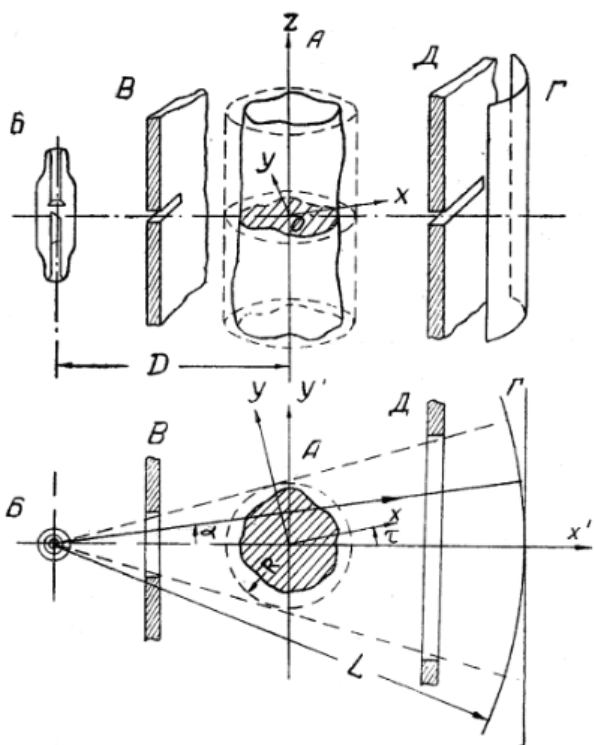


Рис. 6. Віялоподібний пучок рентгенівського випромінювання [24]

ком рентгенівського випромінювання, що утворюється монохроматичним джерелом і щільним коліматором (рис. 6) [24]. Справа в тому, що перша генерація КТ стосувалася використання паралельного пучка променів, який не перекривав всю анатомію ділянки, що вивчається. Тому в 1958 році в Києві представили по суті модель другої генерації КТ [25].

В статті Коренблюма приведена блок-схема телевізійного обчислювального пристрою томографії (рис. 7) і було вказано, що в Київському політехнічному інституті будується експериментальна установка для отримання рентгенівських зображень тонких шарів по описаній схемі [24].

На цьому нитка історії київських винахідників обривається. Причина, чому в КПІ не продовжили дану тему, достеменно не відома, вірогідно через те, що С. І. Тетельбаум раптово помер 24 листопада 1958 року. Б. І. Коренблюм емігрував із СРСР у 1973 році. У 1983 році в журналі Радіологічного товариства Північної Америки з'явилася публікація про те, що Вільям Г. Хокінс (William G. Hawkins), математик із Аризони, США, відтворив схему Коренблюма, підтвердив її спроможність і отримав за приведеною схемою томографічні зображення без артефактів та утруднень [26].

Таким чином, для винайдення КТ над різними гранями складної задачі працювало багато ентузіастів різних спеціальностей. Вони формулювали клінічні запити, розробляли теоретичне фізичне підґрунтя, розв'язували математичні рівняння, робили технічні винаходи. Автори могли не знати один про одного. Про внесок багатьох, в

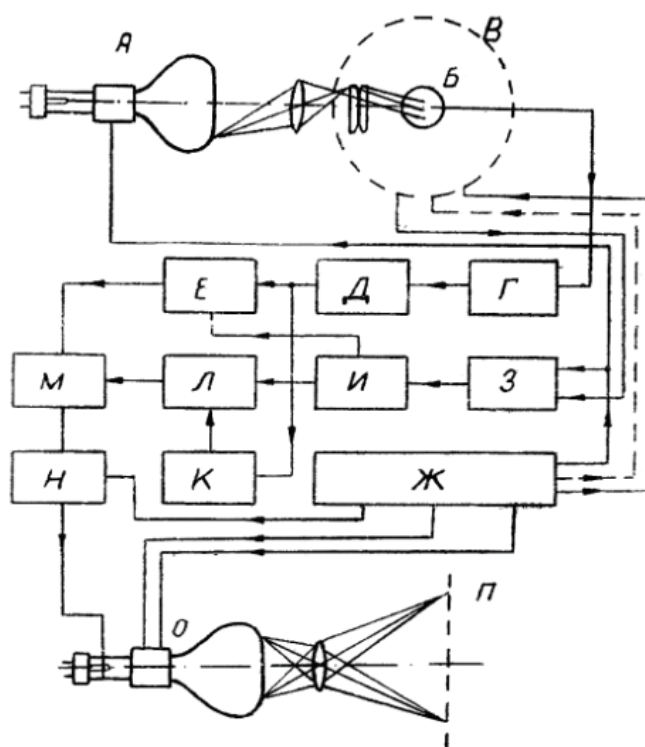


Рис. 7. Блок-схема телевізійного обчислювального пристрою томографії [24]

тому числі і про своїх співвітчизників, дотепер не знаємо і ми. Але відомо одне — тисячі захоплених лікарів, які на порядок підвищили свою компетентність, мільйони вдячних пацієнтів, які отримали відповідне правильному діагнозу лікування, вшановують працю всіх винахідників при щоденному використанні КТ. Будучи першим методом цифрової візуалізації на основі рентгенівського випромінювання, КТ запровадила в загальне використання винятковий інструмент, який щодня приносить користь незліченній кількості пацієнтів [20].

Беззаперечно, винахід КТ мав революційний вплив на діагностику патології легень. Впровадження КТ звільнило не тільки неврологів від призначення, умовно кажучи, пневмоенцефалограм. Натепер завдяки комп'ютерній томографії з високою роздільною здатністю (КТВРЗ) багатьом пацієнтам вдається уникнути біопсії легень, адже цей метод став успішно конкурувати із методом патогістологічного дослідження [27]. Проте пульмонологи і фтизіатри скористалися перевагами КТ пізніше неврологів. Відомо, що в перших сканерах 1971 року тривалість сканування голови тривала від 60 до 120 хвилин. В 1974 році вже сконструювали сканери тіла, але легені ще не досліджували, тому що тривалість процедури перевищувала можливості пацієнтів затримати дихання. Окрім того, якість екстракраніального зображення була ще непостійною через випадкові рухи пацієнта, органів та перистальтики. Від винаходу Хаунсфілда до КТВРЗ легень було пройдено цікавий шлях, який вартий окремого огляду [20].

ЛІТЕРАТУРА

- Singh H, Graber ML, Hofer TP. Measures to Improve Diagnostic Safety in Clinical Practice. *J Patient Saf.* 2019;15(4):311–316. doi: 10.1097/PTS.0000000000000338.
- Geddes D. The history of respiratory disease management. *Medicine (Abingdon).* 2020;48(4):239–243. doi: 10.1016/j.mpmed.2020.01.007.
- International Classification of Diseases. Available at: <http://www.wolffbane.com/icd/index.html>
- History of Medicine: Dr. Roentgen's Accidental X-Rays. Available at: <https://columbiasurgery.org/news/2015/09/17/history-medicine-dr-roentgen-s-accidental-x-rays>
- Підвальна У, Пляцко Р, Лончина В. Іван Пулюй та відкриття X-променів. *Праці Наукового товариства імені Шевченка. Медичні науки.* 2021;64(1). DOI:<https://doi.org/10.25040/ntsh2021.01.18>.
- Jones CM, Buchlak QD, Oakden-Rayner L, et al. Chest radiographs and machine learning - Past, present and future. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2021 Aug;65(5):538–544. doi: 10.1111/1754-9485.13274.
- The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979. Nobel Prize Outreach AB 2024. Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/press-release/>
- Gryglewski RW. The history of tomography. Available at: <https://www.aotm.gov.pl/en/scientific-achievements-and-medical-technologies/history-of-medical-technology/the-history-of-tomography/>
- Seynaeve PC, Broos JI. The history of tomography. *J Belge Radiol.* 1995;78(5):284–288.
- van Gijn J, Gijssels JP. Ziedses des Plantes: inventor of planigraphy and subtraction. *Ned Tijdschr Geneesk.* 2011;155:A2164.
- Webb S. Historical experiments predating commercially available computed tomography. *Br J Radiol.* 1992;65(777):835–837. doi: 10.1259/0007-1285-65-777-835
- Allan M. Cormack. Biographical. Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/cormack/biographical/> (last accessed 05.02.2024).
- Allan M. Cormack. Early two-dimensional reconstruction and recent topics stemming from IT Nobel Lecture, 8 December, 1979. Available at: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/cormack-lecture.pdf>
- Кушнерова МО, Гаврисюк ІВ. Аллан Маклеод Кормак та Годфрі Ньюболд Хаунсфілд – вчені, які винайшли комп'ютерну томографію. *Укр. пульмонолог. журнал.* 2013;1:68–72.
- Zayed AI. A new perspective on the role of mathematics in medicine. *J Adv Res.* 2019;17:49–54. doi: 10.1016/j.jare.2019.01.016.
- Perspectives: With a little help from my friends. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/perspectives/>
- Godfrey N. Hounsfield. Biographical. Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/hounsfield/biographical/>
- American Society of Radiologic Technologists. The first clinical CT scan on a patient. Available at: <https://www.facebook.com/MyASRT/photos/a.207904475411/10159379124915412/?type=3>
- David M, Ruggiero G, Talairach J. Comparison between encephalography and ventriculography. *Acta radiol.* 1954;42(1):37–42. doi: 10.3109/00016925409175094
- Schulz RA, Stein JA, Pelc NJ. How CT happened: the early development of medical computed tomography. *J Med Imaging (Bellingham).* 2021;8(5):052110. doi: 10.1117/1.JMI.8.5.052110.
- Тетельбаум Семен Ісакович – видатний політехнік. Режим доступу: <https://kpi.ua/tetelbaum-foto>
- Тетельбаум СІ. О методе получения объемных изображений при помощи рентгеновского излучения. *Известия Киевского Ордена Ленина Политехнического Института.* 1957;22:154–160. Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/2001.03806.pdf>
- Горбачук ВІ. Енциклопедія Сучасної України. Коренблум Борис Ісакович. Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-3533>
- Коренблум БІ, Тетельбаум СІ, Тютин АА. Об одной схеме томографии. *Известия высших учебных заведений – Радиофизика.* 1958;1(3):13–19. Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/2004.03750.pdf>
- Radiology Key. Computed Tomography. Available at: <https://radiologykey.com/computed-tomography-3/>
- Barrett HH, Hawkins WG, Joy ML. Historical note on computed tomography. *Radiology.* 1983;147(1):172. doi: 10.1148/radiology.147.1.6338562.
- Фещенко ЮІ, Гаврисюк ВК, Горovenko НГ, та ін. Ідіопатичний легеневий фіброз і прогресуючий легеневий фіброз у дорослих: адаптована клінічна настанова, заснована на доказах (проект). *Укр. пульмонолог. журнал.* 2023;31(1):5–33. DOI: 10.31215/2306-4927-2023-31-1-5-33.

REFERENCES

- Singh H, Graber ML, Hofer TP. Measures to Improve Diagnostic Safety in Clinical Practice. *J Patient Saf.* 2019;15(4):311–316. doi: 10.1097/PTS.0000000000000338.
- Geddes D. The history of respiratory disease management. *Medicine (Abingdon).* 2020;48(4):239–243. doi: 10.1016/j.mpmed.2020.01.007.
- International Classification of Diseases. Available at: <http://www.wolffbane.com/icd/index.html>
- History of Medicine: Dr. Roentgen's Accidental X-Rays. Available at: <https://columbiasurgery.org/news/2015/09/17/history-medicine-dr-roentgen-s-accidental-x-rays>
- Pidvalna U, Plyatsko R, Lonchyna V. *Ivan Puluy ta vidkryttya X-promeniv* (Ivan Puluj and the discovery of X-rays). *Proc Shevchenko Sci Soc Med Sci.* 2021;64(1). DOI:<https://doi.org/10.25040/ntsh2021.01.18>.
- Jones CM, Buchlak QD, Oakden-Rayner L, et al. Chest radiographs and machine learning - Past, present and future. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2021 Aug;65(5):538–544. doi: 10.1111/1754-9485.13274.
- The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979. Nobel Prize Outreach AB 2024. Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/press-release/>
- Gryglewski RW. The history of tomography. Available at: <https://www.aotm.gov.pl/en/scientific-achievements-and-medical-technologies/history-of-medical-technology/the-history-of-tomography/>
- Seynaeve PC, Broos JI. The history of tomography. *J Belge Radiol.* 1995;78(5):284–288.
- van Gijn J, Gijssels JP. Ziedses des Plantes: inventor of planigraphy and subtraction. *Ned Tijdschr Geneesk.* 2011;155:A2164.
- Webb S. Historical experiments predating commercially available computed tomography. *Br J Radiol.* 1992;65(777):835–837. doi: 10.1259/0007-1285-65-777-835
- Allan M. Cormack. Biographical. Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/cormack/biographical/> (last accessed 05.02.2024).
- Allan M. Cormack. Early two-dimensional reconstruction and recent topics stemming from IT Nobel Lecture, 8 December, 1979. Available at: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/cormack-lecture.pdf>
- Kushnierova MO, Gavrysiuk IV. *Alan Makleod Kormak ta Godfri Nyubold Hounsfield – vcheni, yaki vynayshly kompyuternu tomografiyu* (Allan McLeod Cormack and Godfrey Newbold Hounsfield – the scientists who invented x-ray computed tomography). *Ukr. Pulmonol. Journ.* 2013;1:68–72.
- Zayed AI. A new perspective on the role of mathematics in medicine. *J Adv Res.* 2019;17:49–54. doi: 10.1016/j.jare.2019.01.016.
- Perspectives: With a little help from my friends. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/perspectives/>
- Godfrey N. Hounsfield. Biographical. Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/hounsfield/biographical/>
- American Society of Radiologic Technologists. The first clinical CT scan on a patient. Available at: <https://www.facebook.com/MyASRT/photos/a.207904475411/10159379124915412/?type=3>
- David M, Ruggiero G, Talairach J. Comparison between encephalography and ventriculography. *Acta radiol.* 1954;42(1):37–42. doi: 10.3109/00016925409175094
- Schulz RA, Stein JA, Pelc NJ. How CT happened: the early development of medical computed tomography. *J Med Imaging (Bellingham).* 2021;8(5):052110. doi: 10.1117/1.JMI.8.5.052110.
- Tetelbaum Semen Isakovych – vydatnyy politehnik* (Semen Isakovich Tetelbaum is an outstanding polytechnic student). Available at: <https://kpi.ua/tetelbaum-foto>
- Tetelbaum SI. O metode polucheniya obyemnykh izobrazheniy pri pomoshchi rentgenovskogo izlucheniya (About a method of obtaining volume images with the help of X-rays). *Bulletin of the Kiev Polytechnic Institute.* 1957;22:154–160. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2001.03806.pdf>
- Horbachuk VI. *Entsyklopediya Suchasnoyi Ukrainy. Korenblyum Borys Isakovych* (Encyclopedia of Modern Ukraine. Borys Isakovich Korenblyum). Available at: <https://esu.com.ua/article-3533>
- Korenblum BI, Tetelbaum SI, Tyutin AA. *Ob odnoy skheme tomografii. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy – Radiofizika* (About one scheme of tomography. Proceedings of higher educational institutions – Radiophysics). 1958;1(3):13–19. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2004.03750.pdf>
- Radiology Key. Computed Tomography. Available at: <https://radiologykey.com/computed-tomography-3/>
- Barrett HH, Hawkins WG, Joy ML. Historical note on computed tomography. *Radiology.* 1983;147(1):172. doi: 10.1148/radiology.147.1.6338562.
- Feshchenko YI, Gavrysiuk VK, Gorovenko NG, et al. *Idiopatichnyy legenevyy fibroz i progresuyuchyiy legenevyy fibroz u doroslykh: adaptovana klinichna nastanova, zasnovana na dokazakh (proyekt)* (Idiopathic pulmonary fibrosis and progressive pulmonary fibrosis in adults: adapted evidence-based clinical guideline (draft)). *Ukr. Pulmonol. J.* 2023;31(1):5–33. DOI: 10.31215/2306-4927-2023-31-1-5-33.