

С. Г. Опімах ІСТОРІЯ СПІРОМЕТРІЇ

ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології імені Ф. Г. Яновського НАМН України»

ІСТОРІЯ СПІРОМЕТРІЇ

С. Г. Опімах

Резюме

Значення об'єктивної кількісної оцінки параметрів вентиляції легень є надзвичайно важливим у клінічній практиці. Серед легеневих функціональних тестів спірометрія є доступною простою методикою, що дозволяє отримати цінну корисну інформацію.

Метою даної роботи є дослідження історії спірометрії за даними літератури. Намагання визначити кількісні характеристики дихання відомі з 17 століття. У 1681 році італієць Джованні Альфонсо Бореллі розробив методику вимірювання дихального об'єму за допомогою всмоктування рідини у циліндричну скляну трубку. Об'єм повітря, витісненого водою, обчислювався за діаметром трубки та висотою меніска. На початку 18 століття у 1727 році англієць Стівен Хейлз збирав повітря, яке можна видихнути, в міхур, і вимірював його об'єм шляхом подальшого витіснення води згідно з принципом Архімеда. Класичний спірометр, наповнений водою, був розроблений на основі газгольдера або «газометра» у 1798 році. Альтернативним підходом до вимірювання дихальних об'ємів і попередником бодіплетизмографії був підхід Бурхааве, в якому занурена у велику ванну з водою людина робила сильний вдих, а потім вимірювалося підвищення рівня рідини після «розширення грудної клітки». У 1846 році Джон Гатчінсон опублікував свій *magnus opus* про щойно створений «спірометр». У другій половині 19 століття було презентовано понад 50 варіацій спірометрів. Лише майже через 100 років, у 1960 — на додаток до приладів, в яких використовували воду, було створено інший тип спірометрів, конструкція яких була «сухою». Значний прогрес спірометрії відбувся у 1947 році, коли два французькі лікарі, Роберт Тіффно та Андре Пінеллі, запропонували впровадити оцінку форсованого об'єму видиху за першу секунду та індекс Тіффно-Пінеллі. Незалежно від них цей показник описав Едвард Генслер із США. Криві максимального потоку-об'єму були вперше описані в 1960 році. Наразі ми користуємося сучасними зручними портативними спірометрами з програмним забезпеченням з дуже широкими можливостями, а сама методика стандартизована. Історія спірометрії від зародження до сьогодення надає цінну інформацію про загальний розвиток нашого розуміння дихальної системи та допомагає визнати проблеми, що перешкоджають оптимальному використанню цього потужного інструменту в наші дні.

Ключові слова: спірометрія, легеневі функціональні тести, легеневі об'єми, Джон Гатчінсон, історія пульмонології.

Укр. пульмонол. журнал. 2025;33(3):61–70.

Опімах Світлана Генріхівна

ДУ «Національний науковий центр фтизіатрії, пульмонології та алергології імені Ф. Г. Яновського НАМН України»,
Відділення 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, opimakh@ifp.kiev.ua

ORCID 0000-0002-4631-2048

Суб'єктивне відчуття задишки у стані спокою або при мінімальному навантаженні створює значний дискомфорт для пацієнтів та осіб, які за ними доглядають [1]. Наявність задишки свідчить про неминучу нестачу повітря або кисневе голодування, але стосовно відчуття задишки немає чітко встановленого визначення. Гостра задишка може бути спричинена різними розладами від

THE HISTORY OF SPIROMETRY

S. G. Opimakh

Abstract

The value of objective quantitative assessment of lung ventilation parameters is extremely important in clinical practice. Among pulmonary function tests, spirometry is an accessible, simple technique that allows obtaining valuable useful information.

The aim was to study the history of spirometry by the literature data.

Attempts to measure quantitative characteristics of breathing have been known since the 17th century. In 1681, Giovanni Alfonso Borelli developed a method for measuring tidal volume by sucking liquid into a cylindrical glass tube. The volume of air displaced by the water was calculated from the diameter of the tube and the height of the meniscus. In the early 18th century, in 1727, Stephen Hales collected the air that could be exhaled into a bladder and measured its volume by further displacing water according to Archimedes' principle. The classic water-filled spirometer was developed based on the gas holder or "gasometer" in 1798. An alternative approach to measuring tidal volumes, and a precursor to bodyplethysmography, was the Boerhaave approach, in which a person immersed in a large bath with water took a forceful inspiration and then measured the rise in fluid level after the "expansion of the chest." In 1846, John Hutchinson published his *magnus opus* on the newly invented "spirometer." Over 50 variations of spirometers were introduced in the second half of the 19th century. Only after approximately 100 years, in 1960, in addition to the water-based devices, a second type of spirometer was developed, which was "dry." A significant advance in spirometry occurred in 1947, when two French physicians, Robert Tiffeneau and André Pinelli, proposed the introduction of forced expiratory volume in one second and the Tiffeneau-Pinelli index. This index was independently described by Edward Gensler in the United States. Peak flow-volume curves were first described in 1960. Currently, we use modern, convenient portable spirometers with software with very broad capabilities, and the methodology itself is standardized. The history of spirometry from its inception to the present provides valuable information about the overall development of our understanding of the respiratory system and helps to recognize the problems that prevent the optimal use of this powerful tool today.

Key words: spirometry, pulmonary function testing, lung volumes, John Hutchinson, history of pulmonology.

Ukr. Pulmonol. J. 2025;33(3):61–70.

Svitlana G. Opimakh

SO "National scientific center of phthisiology, pulmonology and allergology 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

MD, PhD

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

Tel./fax: 380 44 270 27 33, opimakh@ifp.kiev.ua

ORCID 0000-0002-4631-2048

простих випадків, які лікуються амбулаторно, до дуже серйозних та небезпечних для життя невідкладних станів (як-от інфаркт міокарда, астматичний напад, що загрожує життю, або легенева емболія), що потребують термінових заходів [2]. Навіть після оптимального лікування оборотних причин задишки, є пацієнти, які продовжують відчувати задишку як частину свого повсякденного життя, яка обмежує їхні можливості. Механізми тривалої задишки мають різні причини, як-от хронічні захворювання легень та серця, злаякісні новоутворення, хронічні інфекції, анемія, прогресуюча м'язова слабкість,

ожиріння та тривога, а також поєднання названих станів. Показники поширеності задишки в загальній популяції значно варіюють від 0,9 до 32 % [1].

Задишка є суб'єктивною ознакою і не дозволяє достовірно встановити ступінь порушення вентиляційної функції легень. Приблизно від 1 до 4 % усіх візитів до лікарів первинної медичної допомоги відбувається з причини задишки. Дослідження демонструють, що лікарі недооцінюють клінічну тяжкість хронічного обструктивного захворювання легень (ХОЗЛ) у 41 % пацієнтів та переоцінюють — у 29 % порівняно з об'єктивними результатами спірометрії. Таким чином, клінічна оцінка тяжкості захворювання лікарем є точною лише у 30 % пацієнтів [3]. Невідповідність у відчутті тяжкості задишки ступеню вентиляційних порушень притаманна і пацієнтам із патологією легень, тому об'єктивна оцінка легеневої функції є важливим компонентом клінічної практики [4].

Спірометрія — це термін, що використовується для базового обстеження функції легень, за допомогою якого вимірюють параметри повітря, що вдихається та видихається. При цьому отримують три основні пов'язані показники: об'єм, час та потік. Спірометрія є об'єктивною, неінвазивною, чутливою до ранніх змін та відтворюваною методикою. Завдяки наявності портативних вимірювачів і за умов належної підготовки її можна проводити майже будь-де [5]. Спірометрію вважають одним із фундаментальних тестів у клінічній медицині, таким як електрокардіограма, рентгенографія грудної клітки, пульсоксиметрія та загальний аналіз крові [6].

Значення спірометрії надзвичайно важливе. Її виконують з діагностичною метою, для моніторингу перебігу захворювань та оцінки терапевтичного втручання, для спостереження за пацієнтами, які зазнали впливу шкідливих агентів або побічних реакцій на препарати з відомою легеневою токсичністю, для оцінки інвалідності. Також сферою застосування спірометрії є епідеміологічні дослідження та клінічні випробування [3]. Спірометрія, оцінена в дитинстві, підлітковому віці та ранньому і пізньому дорослому періоді, може бути відтворюваним, неінвазивним, безпечним та доступним глобальним маркером здоров'я для виявлення осіб у загальній популяції з ризиком респіраторних та нереспіраторних неінфекційних захворювань [7].

Намагання визначити кількісні характеристики дихання відомі з 17 століття. Спірометр, наразі звичний для клініцистів діагностичний інструмент, з'явився завдяки зацікавленості, наполегливій праці та конструкторським талантам допитливих дослідників [8].

Метою даної роботи є дослідження історії спірометрії за даними літератури.

Найдавніше зафіксоване використання пристрою для дослідження дихального об'єму належить яскравій амбітній постаті часів Римської імперії. Грецький лікар, письменник і філософ Клавдій Гален (Claudius Galenus, 129 р. н. е. — приблизно 200–216 рр. н. е.) служив хірургом у школі гладіаторів, а пізніше лікарем імператора Марка Аврелія (Marcus Aurelius), але його головний інтерес полягав у клінічному спостереженні. При вивченні певної поведінки людини він розробляв для неї унікальне лікування. Наприклад, він визначив, що для людини з

проблемами дихання через слабкість грудної клітки корисні співочі вправи. У другому столітті нашої ери Гален провів експеримент, у якому хлопчик вдихав та видихав у сечовий міхур тварини, примітивний спірометр, щоб оцінити, скільки повітря можуть вмістити легені дитини. Спостереження призвели Галена до висновку, що об'єм газу не змінюється з часом [9].

Історія має значну часову прогалину щодо інших подібних експериментів до 1600-х років, коли Джованні Альфонсо Бореллі (Giovanni Alfonso Borelli), італійський фізіолог, астроном, математик і лікар, розробив власний «натхнений» експеримент по вимірюванню дихального об'єму, оприлюднений у 1681 році. Його дуже приблизні оцінки були зроблені за допомогою циліндричної скляної трубки з рідиною. Він просив піддослідного всмоктувати рідину в трубку, закривши ніс, щоб уникнути протікання, а потім розраховував об'єм повітря. Об'єм повітря, витісненого водою, обчислювався за діаметром трубки та висотою мениска. Його рішення закрити ніздрі виявилось ключовим для отримання більш точних результатів, що впроваджено і в сучасну методику спірометрії [9]. Але загалом через зміни тиску всередині трубки вимірювання були значно занижені. За розрахунками Бореллі дихальний об'єм становив 15 «кубічних пальців» (246 мл), а резервний об'єм видиху — це 20 кубічних пальців (328 мл) [10].

Набагато реалістичніші об'єми були отримані на початку 18 століття англійським священиком Стівеном Хейлзом (Stephen Hales) у 1727 році. Він зафіксував мак-

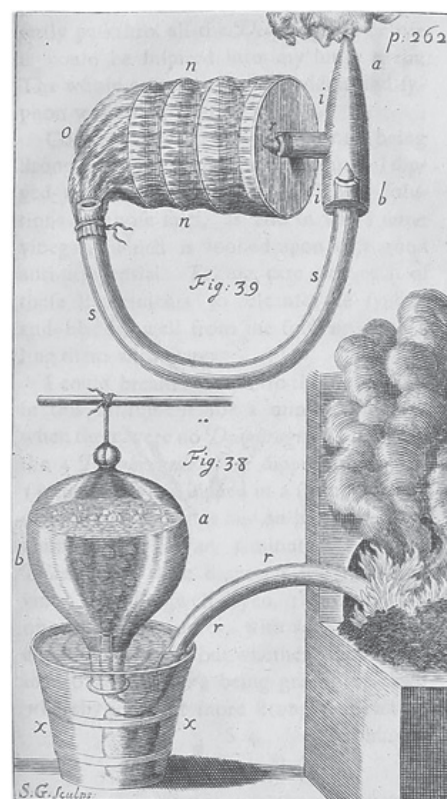


Рис. 1. Зразок спроби аналізу повітря за допомогою різноманітних хіміо-статичних експериментів авторів Стівена Хейлза та Саймона Грібеліна (Simon Gribelin), які були прочитані на кількох засіданнях перед Королівським товариством. Бібліотека спадщини біорізноманіття [11]

симальний об'єм повітря, який можна видихнути в міхур (рис. 1), вимірявши його шляхом подальшого витіснення води згідно з принципом Архімеда. Його оцінка того, що пізніше було названо життєвою ємністю легень (ЖЕЛ), становила ~220 кубічних дюймів (3,6 л). Цікаво, що результати Хейлза заховані в монографії під назвою «Овочеві волокна», яка присвячена головним чином експериментам з соком овочів. Описавши метод збору газу над водою, Хейлз зробив ще один важливий внесок у пізніший розвиток спірометрії. Однак він розробив його для вивчення продуктів згоряння з печі, і, схоже, не використовував цю методику для вимірювань дихання. Ще однією важливою заявкою на фізіологічну славу Хейлза було те, що він першим зробив прямі вимірювання артеріального тиску у стегновій артерії коня [10].

Класичний спірометр, наповнений водою, був розроблений на основі газгольдера або «газометра», за допомогою якого великі хіміки кінця 18 століття, такі як Прістлі (Priestley), Лавуазьє (Lavoisier) та Ватт (Watt), виконували свої новаторські роботи з киснем, вуглекислим та іншими газами. Цей тип приладу незабаром був модифікований з метою обстеження людей, спочатку з використанням ртуті, а пізніше — води [10]. У 1798 році Вільям Клейфілд (William Clayfield) за допомогою своїх колег Томаса Беддоса (Thomas Beddoes), Хамфрі Дейві (Humphry Davy) та Джеймса Ватта (James Watt) з Пневматичного інституту в Англії створили «ртутний повітряний тримач та дихальний апарат», здатний точно вимірювати ємність легень (рис. 2). Пристрій містив важливу конструкторську особливість: балансує проти ваги, які зменшують опір приладу, котра пізніше стала стандартним компонентом подібних інструментів [8].

Хамфрі Дейві був великим хіміком. Дейві відомий, зокрема, відкриттям закису азоту («звеселяючого газу») і розумів, що для інтерпретації результатів своїх експериментів із закисом азоту йому потрібно знати ємність своїх легень. Окрім вимірювання ЖЕЛ за допомогою спірометра Клейфілда, у 1800 році Дейві повторно вдихував газову суміш, що містила водень, розведення якої дозволило йому оцінити залишковий об'єм легень. Він визначив власну ЖЕЛ як 213 кубічних дюймів (3,5 л), а залишковий об'єм — лише 41 кубічний дюйм (670 мл),

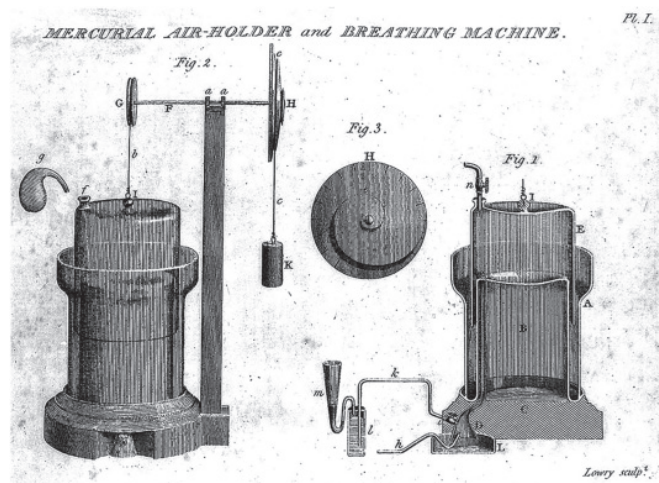


Рис. 2. Ртутний повітряний тримач та дихальний апарат [12]



Рис. 3. Ілюстрація з «Дисертації про дихання» Мензіса 1799 року. Рисунок зліва внизу показує бочку Бурхааве, в якій суб'єкт сидів зануреним по шию [10]

але зазначив, що «ця ємність, найімовірніше, нижча за середню, мої груди вузькі, їхня окружність становить лише 29 дюймів» (Джон Гатчінсон (John Hutchinson) у 1846 році поставив під сумнів, чи не міг цей нереалістичний вимір бути друкарською помилкою замість 39 дюймів) [10].

Альтернативним підходом до вимірювання дихальних об'ємів був підхід Бурхааве (Boerhaave), який «змушив людину зануритися у велику ванну з водою вище плечей і попросив її зробити сильний вдих». Потім він виміряв підвищення рівня рідини після «розширення грудної клітки». Це було, по суті, попередником бодіплетизмографа, хоча голова випробуваного була розташована над ванною і він вдихав безпосередньо з кімнати. Единбурзький лікар Роберт Мензіс (Robert Menzies) повідомляв про використання методу Бурхааве, коли випробуваний був занурений у наповнену водою винну бочку, але його спроба виміряти дихальні об'єми була зірвана через те, що вода переливалася та стікала по зовнішній стороні бочки. «Дисертація про дихання» Мензіса 1799 року ілюструє цей та інші методи, що використовувалися приблизно в той же час (рис. 3) [10].

Можливо, найдавніший опис вимірювання об'ємів легень при захворюваннях зробив Едвард Кентіш (Edward Kentish) у 1814 році з використанням свого «пульмометра» (рис. 4), пристрою, що складався з градуйованої склянки, перевернутої у воду, в яку газ вводився зверху (а не знизу, як у звичайному спірометрі). Як і у випадку з попередніми вимірюваннями Бореллі, об'єми були обмежені зростанням тиску в склянці. Кентіш повідомив, що «пан С., 17-річний чоловік з туберкульозом, міг вдихнути лише 2 пінти повітря. Зважаючи на його зріст, він мав би, якби його легені були здоровими, вдих-

нути 7 пінт, якщо не більше», спостереження, які чітко показують, що він розумів необхідність порівняння з референтними значеннями. Кентіш далі зазначив, що через 3 тижні під час розтину легень хворого «здавалися досить повними горбків, від розміру фундука, поступово зменшуючись до вигляду просіяного зерна... Нижня або відвисла частина легень стала твердою або м'ясистою; коли відрізаний шматочок легень кидали у воду, він опускався на дно... Якби стан легень цього молодого чоловіка був виміряний пульмометром раніше, можна було б спробувати зупинити прогресування захворювання», коментар, який чітко передбачає цінність спірометрії у скринінгу на ранній стадії захворювання. Кентіш також повідомив про зменшення дихального об'єму у пацієнтів з плевральним випотом, спричиненим серцевою недостатністю («водянка грудної клітки»), зі збільшенням об'єму після зникнення випотів, що є раннім спостереженням позалегенового обмеження об'єму [10].

Подібний прилад використовував Чарльз Текра (Charles Thackrah) у 1831 році, лікар, якого часто вважають батьком медицини праці. Він визнав, що зафіксований ним об'єм (ЖЄЛ) «не показує просто місткість легень», а «є сукупністю місткості повітряних комірок та сили дихальних м'язів». Він повідомив, що середній об'єм повітря, який 19 драгунів «могли видихнути за один повний видих», становив 217 кубічних дюймів (3,56 л). З його підслідних дев'ять були офіцерами (можливо, краще харчувалися?), а їхня середня ЖЄЛ становила 240 кубічних дюймів (3,94 л), тоді як «високий молодий корнетист «видихнув» 295 кубічних дюймів (4,84 л), і це найбільший видих, який нам відомий» [10]. Також Чарльз Текра провів обстеження здоров'я по всій Англії за допомогою такого пристрою і встановив раннє розуміння зв'язку між професійною діяльністю та здоров'ям легень [8].

У 1943 році Джуліус Джеффріс (Julius Jeffreys) описав наступні легеневі об'єми: залишкове повітря ("residual air"), резервний об'єм видиху ("supplementary air"), дихальний об'єм ("the breath") та резервний об'єм вдиху ("complementary air"). У своїй книзі «Views on the Statics of the Human Chest» автор зауважив, що його власні дослідження включали численні випробування, ретельно проведені з апаратом, сконструйованим для забезпечення точності, але про сам прилад він взагалі не дав жодної інформації [14].

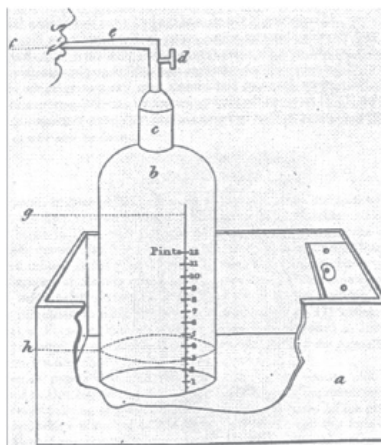


Рис. 4. «Пульмометр» Едварда Кентіша [13]

Справжній початок сучасного тестування функції легень можна датувати 1846 роком, коли Джон Гатчінсон (John Hutchinson), англійський лікар, винайшов спірометр, взявши звичайний газометр і перетворивши його на точний прилад для вимірювання об'єму повітря, що видихається людиною [15]. Пристрій (заввишки з дорослого пацієнта) був, по суті, каліброваним відром, яке поміщали догори дном у воду. Об'єм видихуваного повітря з повністю наповнених легень можна було точно виміряти, видихаючи в трубку, що веде у відро [16]. Спірометр Гатчінсона складався з протизваги, перевернутої у воді, завдяки чому дихання у підключену пневматичну трубку призводило до вимірюваного вертикального руху колокола (рис. 5) [8].

Людина видихала через трубку, витісняючи певну кількість води та рухаючи індикатор, який вказував на об'єм видиху в кубічних дюймах. Пристрій також можна було налаштувати на атмосферні умови за допомогою серії шківів та протизваг, щоб тиск усередині пристрою відповідав атмосферному барометричному тиску. Прилад навіть містив термометр для відповідних коригувань, однак мав суттєвий недолік: він міг вимірювати лише об'єм, а не потік. Теоретично, потік можна було виміряти за допомогою відповідного таймера або годинника, але на той момент тестування легеневої функції було ще достатньо новим, тому це навіть не було відомо. Об'єм був усім, про що були обізнані дослідники [17].

Гатчінсон зміг співпрацювати з одними з найкращих виробників інструментів у всьому Лондоні, що дозволило створити початковий пристрій з точними допусками. Він також діяв спільно з професійними групами того часу, щоб залучати операторів для своїх апаратів, навчаючи попередників сучасних операціоністів з функціональних легневих тестів. Як науковець, Гатчінсон також знав важливість стандартизованих режимів тестування, і набір, який він розробив для використання зі своїм новим пристроєм, містив детальні інструкції щодо того, як і в якому порядку проводити тести, щоб оптимізувати якість даних. Наявність надійного набору процедур, високоточної машини та кваліфікованих техніків дозволила Гатчінсону зібрати деякі з перших доступних епідеміологічних наборів даних про функцію легень, а також визначити фактори, що впливають на життєву ємність

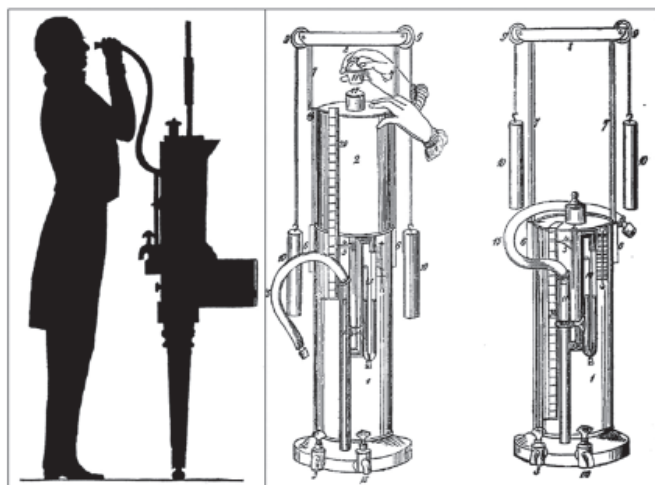


Рис. 5. Спірометр Гатчінсона [13]

легень. Гатчінсон та його команда зібрали дані тисяч лондонців з різним ступенем здоров'я та з різних верств суспільства. Примітно, що використання цих нині рудиментарних машин розкрило багато фундаментальних концепцій легеневої функції, які досі прийняті. Робота Гатчінсона підтвердила, що життєва ємність легень безпосередньо пов'язана з певними фізичними факторами, такими як зріст та маса черевної порожнини. Він продемонстрував, що вік може впливати на функцію, відстежуючи власну життєву ємність легень протягом кількох років [17].

В якийсь момент Гатчінсон продемонстрував аудиторії лікарів та вчених, що може точно передбачити їхню життєву ємність легень лише на основі віку та зросту. Дані також були зібрані для різних професій, що дозволило провести попередні порівняння на основі фізичної підготовки та подібних факторів. На жаль, жінки були значною мірою виключені з оцінки (і, отже, з розробки прогностичних діаграм) не з якоїсь наукової причини, а тому, що стандарти скромності того часу загалом не дозволяли їм знімати достатньо одягу для тих самих вимірювань грудної клітки та інших оцінок, які дозволяли створювати набори даних для чоловіків. Це питання залишалося актуальним ще довго після ери Гатчінсона та підкреслювало, наскільки суперечливими можуть бути «нормальні значення». Однак, слід віддати належне Гатчінсону, який зрештою зміг пояснити відмінності в життєвій ємності легень щільністю одягу, що дозволило краще зрозуміти ці фізіологічні відмінності між статями, а не просто припускати, що жінки просто дихають по-різному, ніж чоловіки [17]. Таким чином, Гатчінсон використав спірометр для систематичного збору великої вибірки респіраторних вимірювань, застосував сучасні статистичні методи, встановив «нормальні» спірометричні значення [8]. Він задокументував нормальну зміну ЖЄЛ залежно від віку, статі та будови тіла, використав зріст як показник розміру, який використовується й донині [10].

Гатчінсон народився в Ньюкасл-апон-Тайн (Newcastle upon Tyne), Велика Британія, у 1811 році та здобув медичну кваліфікацію в Лондоні. У 1830-х і 1840-х роках він практикував медичним оцінювачем у страховій компанії Britannia Life. За цей час він накопичив величезну кількість (>4000) вимірювань ЖЄЛ у здорових осіб та пацієнтів із захворюваннями легень. Найбільш розповсюдженим в той час захворюванням легень, від якого страждали пацієнти, був туберкульоз (ТБ). Дійсно, Гатчінсон показав, що вимірювання ЖЄЛ було набагато більш чутливим для виявлення ТБ, ніж аускультация за допомогою стетоскопа (який був винайдений Лаеннеком (Laennec) приблизно на 30 років раніше). Це було за 50 років до появи рентгенографії та за 40 років до того, як Роберт Кох (Robert Koch) відкрив туберкульозну паличку [10]. Гатчінсон показав чітке зниження ЖЄЛ, яке можна побачити навіть на ранніх стадіях захворювання на ТБ. Він значно розширив роботу Текра про зміну стану легень в осіб різних професій. Він багато публікувався, і його *magnum opus* (1846), що налічує понад 120 сторінок, містить безліч інформації та спостережень, які актуальні й сьогодні. Серед осіб, яких він досліджував, були «моряки, пожежники, поліцейські, жебраки, реміс-

ники, солдати, друкарі, візники, боксери та борці, велетні та карлики, джентльмени, дівчата та хворі». Хоча він не був першим, хто повідомив про вимірювання ЖЄЛ, він дав йому назву та, як лікар страхової компанії, запропонував використовувати вимірювання ЖЄЛ для прогнозування тривалості життя [10].

Ймовірно, завдяки своїй великій роботі зі спірометрії, Гатчінсона в 1850 році призначили асистентом лікаря в нещодавно відкритій лікарні Бромптон для лікування сухот у Лондоні (Велика Британія), але він залишався там лише короткий період, перш ніж емігрувати до Австралії, де працював лікарем загальної практики на нещодавно відкритих золотих родовищах. Десять років по тому він переїхав на Фіджі, де й помер. Хоча робота Гатчінсона була схвалена, коли він працював у Лондоні, вона, здається, не отримала широкого визнання [10]. На жаль, незважаючи на початкове позитивне сприйняття сучасними вченими та фізіологами, а також на власні зусилля Гатчінсона щодо просування свого спірометра, його використання протягом понад 50 років після виходу переважно зводилося до досліджень. Це може бути частково пов'язано з тим, що досвід Гатчінсона у продажу страхування життя спонукав його спочатку просувати спірометр для актуарних оцінок, а також, що правильне використання спірометра вимагало певного ступеня навчання пацієнтів та координації. Розуміння медициною клінічної респіраторної патології все ще розвивалося. Якою б не була причина, це не останній раз в історії тестування легеневої функції, коли клінічна цінність нових відкриттів і методів спочатку була ігнорована [8]. І справді, невдовзі після звільнення з лікарні Бромптон один з його колишніх колег оприлюднив детальну критику «помилки» спірометра. У 1875 року в опублікованому в журналі «The Lancet» клінічному випадку з лікарні Бромптон було зазначено, що «спірометр останнім часом не дуже використовувався в лікарні Бромптон, оскільки цей інструмент вимагає значної освіти з боку пацієнта, особливо нервових жінок» [10].

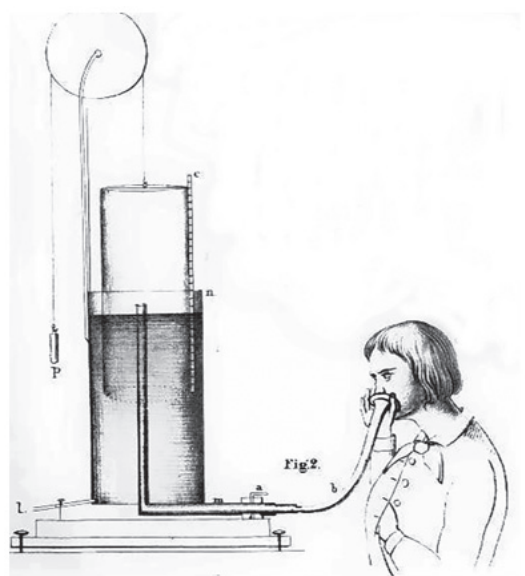


Рис. 6. Ілюстрація з лекцій та спостережень Йоганна Фрідріха Германа Альберса (Johann Friedrich Hermann Albers), 1850, опублікованих Адольфом Маркусом (Adolph Marcus), Бонн [15]

Хоча Гатчінсон не був першим, хто винайшов спірометр або ідентифікував дихальні об'єми — синтез і розширення робіт попередніх авторів, численні публікації та просування цінності спірометрії як клінічного інструменту зробили його центральною фігурою в історії спірометрії. Його робота, натхненна Такрою та іншими дослідниками до нього, вдихнула нове життя в галузь дихальної механіки, розкрила весь потенціал спірометрії [8] та надихнула інших дослідників та винахідників. Протягом кількох років удосконалені версії його спірометра з'явилися по всій Європі та Сполучених Штатах. Безсумнівно, Гатчінсон заслуговує на чільне місце в цій галузі, і його пам'ять має бути вшанована [15].

Примітно, що лише через чотири роки після публікації трактату Гатчінсона його оригінальний дизайн спірометра, схоже, вже був модифікований. Розробник цього оновленого пристрою невідомий, і його ім'я не згадується в німецькому тексті, що його описує (рис. 6) [15].

Герметичний водонепроникний спірометр без протипаги був представлений десять років потому (рис. 7). Він мав напрямний стрижень (позначений як «В» на рисунку), щоб тримати внутрішній колокол прямим, та заповнену повітрям водонепроникну камеру в краю нижньої частини внутрішнього колокола (буй «Е»), яка служила тій самій меті, що й протипага. Пробку (позначену як «D» на рисунку) видаляли після того, як було зроблено зусилля для вимірювання життєвої ємності легень, і її фіксували, щоб дозволити повернути колокол в нижнє положення [15].

Через три роки з'явився прилад Боумана (Bowman), ескіз якого зображено на рис. 8. У своїй статі автор писав: «Дешевий спірометр можна легко виготовити з двох жерстяних посудин, подібних за формою до тих, що зображені на супровідній гравюрі на дереві». Звертає увагу калібрування приладу в пінтах та рідких унціях праворуч [15].

Також у 1863 році було представлено спірометр доктора Вейра Мітчелла (W. Weir Mitchell), виготовлений на основі схеми побутового сухого газового лічильника (рис. 9), що деякий час використовувався в Німеччині.

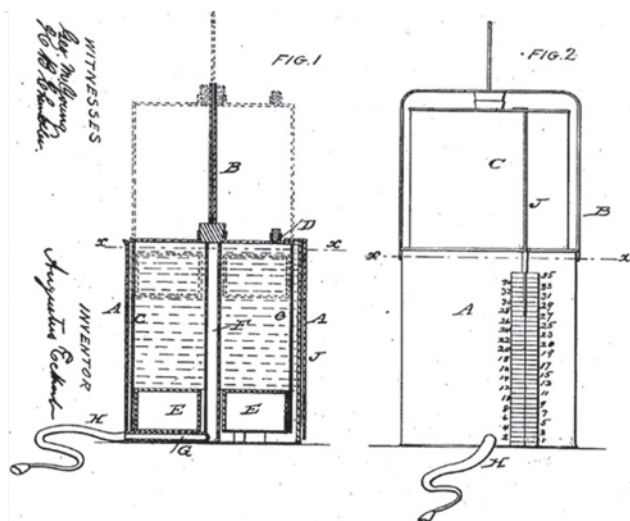


Рис. 7. Спірометр. Патент США 26754, виданий Августом Еккертом (Augustus Eckert) з Дейтона, штат Огайо, поданий у 1860 році [15]

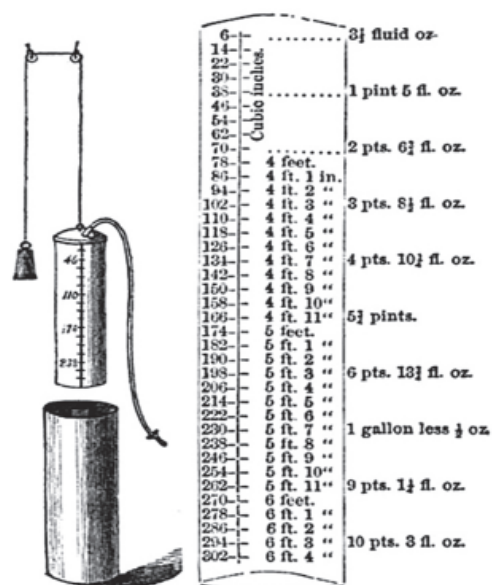


Рис. 8. Спірометр Боумана з книги «Піврічний зміст медичних наук: огляд британської та континентальної медицини, а також прогресу медицини та сусуптніх наук», 1863 рік [15]

Очевидно, він був набагато простішим в управлінні, ніж прилад Гатчінсона, і давав точні результати, тому його було розглянуто в «Трактаті про гігієну» [15].

У 1868 році з'явилися «спіроскоп» А. Гардінера Брауна (A. Gardiner Brown's) та спірометр Г. В. Брауна (G.W. Brown) (рис. 10 та 11). Спіроскоп А. Гардінера Брауна позиціонувався у книзі «Наука та практика медицини» видавництва 1868 р. як «новий та ефективний інструмент для визначення дихальної здатності. Це вологий вимірювач розміром 6,5 дюймів, що має циферблат з двома регістрами, що обертаються зліва направо, відмічаючи за повний оберт 100 та 1000 дюймів відповідно, та кілька футів вулканізованої гумової трубки для дихання» [15].

Прилад Г. В. Брауна був прямокутним водонепроникним спірометром, виготовленим з жерстяної пластини, з розмірами, зазначеними як 8,5 дюйма завширшки, 4,5 дюйма завглибшки та 13,5 дюйма заввишки. Дротяна ручка, що виступає зверху, служила прямою для внутрішнього резервуара спірометра (колокола). Індексна лінійка була прикріплена до внутрішнього резервуара та мала кришку. Вертикальний рух на 0,25 дюйма був

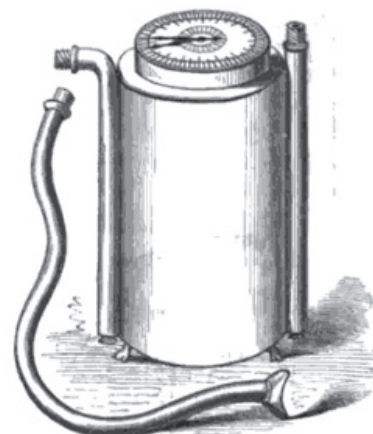


Рис. 9. Спірометр доктора В. Вейра Мітчелла [15]



Рис. 10. «Спіроскоп» А. Гардінера Брауна [15]

еквівалентним 8 кубічним дюймам [15].

У 1872 році з'явився спірометр Казелли (Casella), (рис. 12). Спірометр Казелли був описаний у «Британському медичному журналі». «Він побудований за принципом чутливого повітряного лічильника ... і складається з точно збалансованого круглого повітряного вітрила, яке рухає стрілку по циферблату, градування якого отримують шляхом реального експерименту за допомогою механізму, призначеного для цієї мети. Циферблат показує силу та кількість дихання, а також об'єм грудної клітки» [15].

Таким чином, друга половина 19 століття було плідною у цій галузі, оскільки в літературі можна знайти понад 50 варіацій спірометрів, які, можливо, були менш значні для практики, ніж показані тут, але цікаві для дослідників історії. Деякі з цих інструментів були надзвичайно простими та винахідливими, тоді як інші демонструють значні досягнення та витонченість. Не один автор працювали над конструкцією спірометрів протягом тривалого часу, що свідчить про рівень зацікавленості, викликаної цією темою, оскільки дихання є важливим для життя. Тим не менш, у деяких винахідників помітна відверта комерційна тенденція (рис. 13), а подекуди деякі ознаки чистого шарлатанства, але наука та техніка

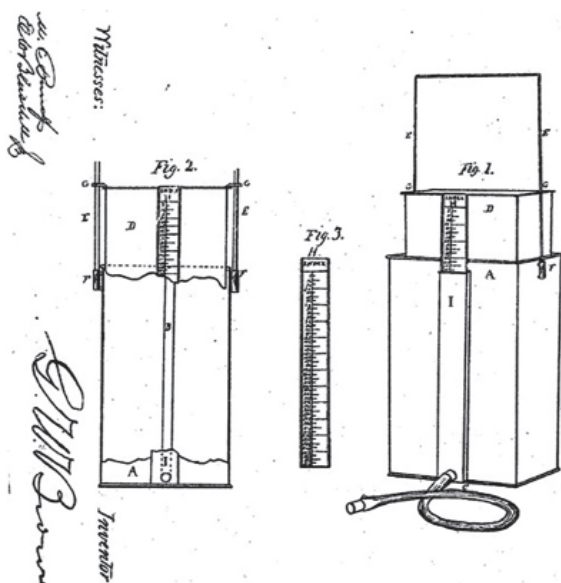


Рис. 11. Спірометр Г. В. Брауна [15]

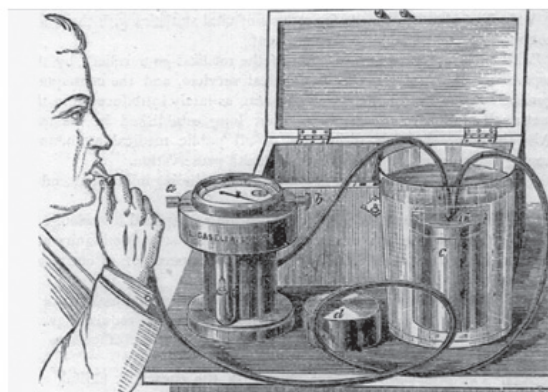


Рис. 12. Спірометр Казелли [15]

завжди супроводжувалися цим небажаним шумом [15].

До кінці 19 століття навіть з такою кількістю наукових даних спірометрія залишалася по суті новинкою, принаймні в клінічній сфері. Зрештою, це була епоха відносної медичної наївності, перехід від ідеї про те, що хвороби спричинені дисбалансом тілесних рідин, до сучасних медичних теорій. І хоча спірометр був цікавим новим інструментом, він все ще був занадто невідомим для багатьох клініцистів того часу, щоб використовувати його регулярно [17].

На початку 20 століття спостерігалось відродження інтересу до вимірювання дихальних об'ємів, але це було зумовлено значною мірою необхідністю вимірювати швидкість метаболізму, особливо у пацієнтів із захворюваннями щитоподібної залози. Апарат, розроблений для цієї функції як Бенедиктом (Benedict), так і Кніппінгом (Knipping), був схожий на спірометр Гатчінсона (рис. 14) [10].



Рис. 13. Реклама спірометра Г.В. Брауна [15]



Рис. 14. Спірометр Бенедикта-Рота [18]

Схоже, що в США спостерігався більш стійкий інтерес до спірометричних вимірювань, і в 1925 році Майєрс (Myers) опублікував монографію, в якій детально описувалися різні стани, за яких знижувалася ЖЄЛ, демонструючи її чутливість, але відносну відсутність специфічності. Відродження інтересу до респіраторних вимірювань у Європі у 1920-х роках було зумовлене трьома факторами: проблемами, з якими зіткнулися авіатори під час Першої світової війни, необхідністю об'єктивних вимірювань після запровадження законодавчих схем компенсації працівникам з професійними захворюваннями легень та, ймовірно, найважливішим фактором є розвиток торакальної хірургії як життєздатної спеціальності та необхідність оцінки фізичного стану пацієнтів. Лікарі, такі як Жорж Дрейєр (Georges Dreyer), започаткували використання спірометрії в передопераційній торакальній хірургії, оцінці професійних захворювань легень та респіраторних проблем, з якими стикалися пілоти під час Першої світової війни, а також документували все більш відомі ускладнення астми та емфіземи [10].

Протягом 1930-х років спостерігалось зростаюче визнання астми як клінічної проблеми, а також зросло усвідомлення важливості емфіземи (напевно через зростання споживання сигарет під час Першої світової війни 20 років тому). Методика визначення максимальної довільної вентиляції легень була запроваджена Германсеном (Hermannsen) у 1933 році та стала популярною, особливо в доопераційній оцінці. У 1938 році Барах (Barach) кількісно оцінив реакцію частоти видиху на небулайзерний адреналін при астмі та емфіземі, що стало першим опублікованим звітом про ефективність бронходилатації. Класичні дослідження Курнанда (Cournaud) та Річардса (Richards) (1941), а згодом Болдуїна (Baldwin) та його колег призвели до класифікації вентиляційних пору-

шень та розпізнавання «обструктивних» та «рестриктивних» патернів [10].

Наступний значний прогрес у розвитку спірометрії відбувся у 1947 році, коли два французькі лікарі, Роберт Тіффно (Robert Tiffeneau) та Андре Пінеллі (Andrew Pinelli), запропонували впровадити оцінку об'єму форсованого видиху за першу секунду (ОФВ1). Тіффно та Пінеллі визнали, що ОФВ1 точніше прогнозує обмеження вентиляції під час фізичного навантаження, ніж життєва ємність легень, його легше виконувати, ніж інші популярні маневри, такі як максимальна довільна вентиляція, і він був відносно постійним, відтворюваним між вимірюваннями. Вони також запровадили індекс Тіффно-Пінеллі, який представляє співвідношення ОФВ1 та форсованої життєвої ємності легень (ФЖЄЛ), тепер відомий як співвідношення ОФВ1/ФЖЄЛ. Незалежно від своїх французьких колег, Едвард Генслер (Edward Gaensler) з Бостонського університету у 1951 році також визнав, що ОФВ1 є важливим спірометричним вимірюванням. Однак, незважаючи на значення початкового відкриття Тіффно та Пінеллі, і, можливо, тому, що воно було опубліковано виключно французькою мовою, знадобилося майже 5 років та паралельна робота Генслера, щоб ОФВ1 був визнаний важливим показником функції легень у всьому світі [8].

Ситуація змінилася у 1950-х роках, коли було встановлено, що 90 % переважних респіраторних захворювань (астма та ХОЗЛ) мали обструктивний (обмежена швидкість потоку) характер [16]. Спірометрія продовжувала своє становлення. У 1960 році були вперше описані криві максимального потоку-об'єму, вони дали елегантний візуальний синтез максимального потоку видиху та вдиху у всьому діапазоні ФЖЄЛ [10].

Опублікований звіт докторів Стеда (Stead) та Веллса (Wells) визначив, що класичні водяні спірометри тієї епохи, хоча й були достатніми для вимірювання об'ємів легень, не підходили для точного вимірювання швидкості потоку. Було зрозуміло, що необхідна інша конструкція спірометра. У 1960 році компанія Jones Medical представила перший доступний безводний спірометр, який був більш простим, точним, гігієнічним та доступним, що ознаменувало нову еру для

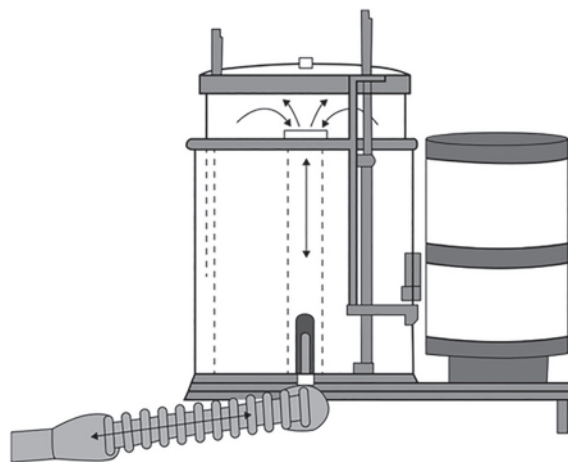


Рис. 15. Схема спірометра, конструкція якого містить воду [20]

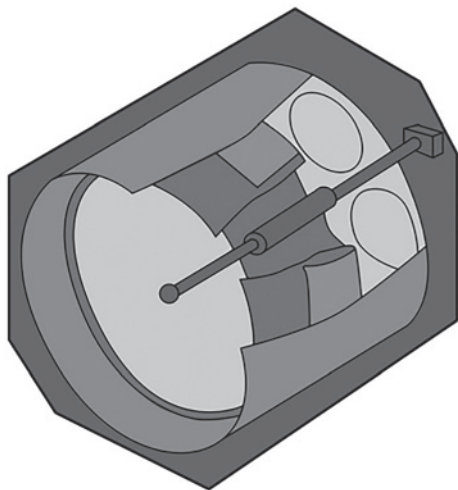


Рис. 16. Сухий спірометр [20]

широкого раннього виявлення захворювань легень на рівні лікарських кабінетів. Таким чином, на додаток до приладів, в яких використовували воду, було створено другий тип спірометрів, конструкція яких була «сухою». [16].

У спірометрі, що містить воду, (рис. 15) мундштук прикріплений до трубки, через яку повітря проходить у легкий колокол, перевернутий над водяною банею. Рух повітря під час видиху через мундштук у колокол призводить до підняття колокола. Коли повітря витягується із системи під час вдиху, колокол опускається. Зміна об'єму з часом може бути записана на каліброваному обертовому барабані або в цифровому форматі за допомогою комп'ютера та відображена на екрані як у графічному, так і в числовому форматах [19].

У сухому спірометрі з рухомим ущільненням (рис. 16) циліндр з рухомим пластиковим ущільненням замінює колокол спірометра та його водяний затвор. Рух повітря через мундштук впливає на зміну положення поршня, який приєднаний до змінного резистора. Резистор, у свою чергу, генерує сигнали напруги, пропорційні зміні об'єму, що відображаються на переміщенні поршня. Ці сигнали обробляються комп'ютером для створення графічних та числових виходів, подібних до сигналів спірометра з водяним ущільненням [19].

Наразі більшість лабораторій легеневої функції використовують спірометри проточного типу з пневмотахографами або обертовими турбінами для визначення потоку повітря. Зазвичай використовуються два типи пневмотахографів: з гарячим дротом та резистивні. У пневмотахографах з гарячим дротом повітря, що протікає повз нагрітий дріт, охолоджує його, тим самим змінюючи його опір пропорційно зміні потоку повітря. Пневмотахографи з резистивним потоком містять резистивний елемент, що складається з паралельних трубок, дротяної сітки або волокнистого, папероподібного елемента. Потік повітря через резистивний елемент призво-

дить до градієнта тиску на пристрої, який можна виміряти дуже чутливим диференціальним манометром [19].

У 1980 році була остаточно підтверджена початкова концепція Гатчінсона, коли після аналізу відомого Фремінгемського дослідження серця (Framingham Heart Study) Асоціація медичних директорів зі страхування життя Америки заявила: «Ця проста офісна процедура (спірометрія) є корисним предиктором захворювань легень та серцевої недостатності і може ефективно вибирати групи осіб з ризиком передчасної смерті. Оскільки ФЖЄЛ прогнозує як серцево-судинну, так і несерцево-судинну смертність, це вимірювання легеневої функції здається справді показником життєздатності, корисним для цілей страхування та андеррайтингу». Відтоді додаткові дослідження також підтвердили, що спірометрія є кращим показником передчасних захворювань серця, ніж будь-який інший окремий неінвазивний тест. Хоча страхові компанії досі не використовують спірометрію для виявлення осіб з високим ризиком передчасної смертності, значення спірометрії для виявлення та лікування респіраторних захворювань більше не ставиться під сумнів [16].

Наразі ми користуємося сучасними мініатюрними спірометрами, котрі є значним покращенням з точки зору зручності та портативності порівняно з сифонними або водонаповненими пристроями, а можливості їх програмного забезпечення дуже широкі і часто випереджають інформативність багатьох показників. Криві максимального потоку-об'єму візуально привабливі та пропонують переваги розпізнавання ознак певних ситуацій, вони також дозволяють візуально відображати адекватність зусиль пацієнта на початку форсованого видиху [10]. Процедура та інтерпретація результатів спірометрії стандартизована рекомендаціями визнаних міжнародних та професійних асоціацій та товариств, які регулярно оновлюються [21].

Підсумок

Історія спірометрії від зародження до сьогодення надає цінну інформацію про загальний розвиток нашого розуміння дихальної системи та допомагає визнати проблеми, що перешкоджають оптимальному використанню цього потужного інструменту в наші дні [8]. Сьогодні спірометр є найціннішим інструментом респіраторної діагностики, доступним медичним працівникам. Спірометрія рекомендується в практичних настановах для діагностики та моніторингу лікування як астми, так і ХОЗЛ. Вимірювання ОФВ1 настільки важливе, що воно є основною кінцевою точкою в клінічних випробуваннях майже кожного схваленого натеper респіраторного препарату. Спірометрія також необхідна для оцінки соціального забезпечення/інвалідності, спостереження у клініці професійної патології та медичних оглядів [16].

ЛІТЕРАТУРА

- Currow DC, Plummer JL, Crockett A, et al. A community population survey of prevalence and severity of dyspnea in adults. *J Pain Symptom Manage*. 2009;38(4):533–545. doi: 10.1016/j.jpainsymman.2009.01.006.
- Frese T, Sobeck C, Herrmann K, et al. Dyspnea as the reason for encounter in general practice. *J Clin Med Res*. 2011;3(5):239–246. doi: 10.4021/jocmr642w.
- Langan RC, Goodbred AJ. Office Spirometry: Indications and Interpretation. *Am Fam Physician*. 2020;101(6):362–368. PMID: 32163256.
- Nguyen HQ, Altinger J, Carrieri-Kohlman V, et al. Factor analysis of laboratory and clinical measurements of dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Pain Symptom Manage*. 2003;25(2):118–127. doi: 10.1016/s0885-3924(02)00690-5.
- Moore VC. Spirometry: step by step. *Breathe*. 2012;8:232–240. doi: 10.1183/20734735.0021711.
- Martin L. The Value of Spirometry in Clinical Practice: Part 1. Respiratory therapy. 2010;6:1.
- Agusti A, Fabbri LM, Baraldi E, et al. Spirometry: A practical lifespan predictor of global health and chronic respiratory and non-respiratory diseases. *Eur J Intern Med*. 2021;89:3–9. doi: 10.1016/j.ejim.2021.04.027.
- Kouri A, Dandurand RJ, Usmani OS, et al. Exploring the 175-year history of spirometry and the vital lessons it can teach us today. *Eur Respir Rev*. 2021;30(162):210081. doi: 10.1183/16000617.0081-2021.
- Hanlon P. The Evolution of Spirometry. *Clinical Diagnostics*. 2014. Available at: <https://respiratory-therapy.com/department-management/clinical/tech-insider-the-evolution-of-spirometry/>
- Gibson GJ. Spirometry: then and now. *Breathe*. 2005;1(3):206–216. DOI: <https://doi.org/10.1183/18106838.0103.206>
- Stephen Hales. Available at: <https://itoldya420.getarchive.net/amp/topics/stephen+hailes>
- Mercurial Air-Holder and Breathing Machine. Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mercurial_air-holder_and_breathing_machine_Wellcome_L0010644.jpg
- Exploring the currency of spirometric predictive equations from the viewpoint of the Lung Age concept. Wendy Lynne Newbury. Discipline of General Practice. Available at: <https://digital.library.adelaide.edu.au/server/api/core/bitstreams/326db7c1-8a99-46e7-8c5e-014e9f939425/content>
- Zuck D. Julius Jeffreys and the physiology of lung volumes. *History of Anaesthesia Society*. 1991;10:55–61.
- Valentinuzzi ME, Johnston R. Spirometry: a historical gallery up to 1905. *IEEE Pulse*. 2014;5(1):73–76. doi: 10.1109/MPUL.2013.2289511.
- A brief history of the spirometer. 150 years in the making. Available at: <https://www.jonesmedical.com/brief-history-spirometer/>
- Hess M. The history of PFT - part 1. 2021. Available at: <https://nddmed.com/blog/2021/the-history-of-pft-part-1/>
- Benedict Roth Recording Spirometer. Available at: <https://oakscientific.com/product/benedict-roth-recording-spirometer-bmr/>
- GrippiGregory Tino MA. Pulmonary Function Testing. Available at: <https://thoracickey.com/pulmonary-function-testing-6/>
- Types of Spirometer and their Technologies. Available at: <https://vitalograph.com/respiratory-diagnostics/spirometry-measuring-technology>
- Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200(8):e70–e88. doi: 10.1164/rccm.201908-1590ST.

REFERENCES

- Currow DC, Plummer JL, Crockett A, et al. A community population survey of prevalence and severity of dyspnea in adults. *J Pain Symptom Manage*. 2009;38(4):533–545. doi: 10.1016/j.jpainsymman.2009.01.006.
- Frese T, Sobeck C, Herrmann K, et al. Dyspnea as the reason for encounter in general practice. *J Clin Med Res*. 2011;3(5):239–246. doi: 10.4021/jocmr642w.
- Langan RC, Goodbred AJ. Office Spirometry: Indications and Interpretation. *Am Fam Physician*. 2020;101(6):362–368. PMID: 32163256.
- Nguyen HQ, Altinger J, Carrieri-Kohlman V, et al. Factor analysis of laboratory and clinical measurements of dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Pain Symptom Manage*. 2003;25(2):118–127. doi: 10.1016/s0885-3924(02)00690-5.
- Moore VC. Spirometry: step by step. *Breathe*. 2012;8:232–240. doi: 10.1183/20734735.0021711.
- Martin L. The Value of Spirometry in Clinical Practice: Part 1. Respiratory therapy. 2010;6:1.
- Agusti A, Fabbri LM, Baraldi E, et al. Spirometry: A practical lifespan predictor of global health and chronic respiratory and non-respiratory diseases. *Eur J Intern Med*. 2021;89:3–9. doi: 10.1016/j.ejim.2021.04.027.
- Kouri A, Dandurand RJ, Usmani OS, et al. Exploring the 175-year history of spirometry and the vital lessons it can teach us today. *Eur Respir Rev*. 2021;30(162):210081. doi: 10.1183/16000617.0081-2021.
- Hanlon P. The Evolution of Spirometry. *Clinical Diagnostics*. 2014. Available at: <https://respiratory-therapy.com/department-management/clinical/tech-insider-the-evolution-of-spirometry/>
- Gibson GJ. Spirometry: then and now. *Breathe*. 2005;1(3):206–216. DOI: <https://doi.org/10.1183/18106838.0103.206>
- Stephen Hales. Available at: <https://itoldya420.getarchive.net/amp/topics/stephen+hailes>
- Mercurial Air-Holder and Breathing Machine. Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mercurial_air-holder_and_breathing_machine_Wellcome_L0010644.jpg
- Exploring the currency of spirometric predictive equations from the viewpoint of the Lung Age concept. Wendy Lynne Newbury. Discipline of General Practice. Available at: <https://digital.library.adelaide.edu.au/server/api/core/bitstreams/326db7c1-8a99-46e7-8c5e-014e9f939425/content>
- Zuck D. Julius Jeffreys and the physiology of lung volumes. *History of Anaesthesia Society*. 1991;10:55–61.
- Valentinuzzi ME, Johnston R. Spirometry: a historical gallery up to 1905. *IEEE Pulse*. 2014;5(1):73–76. doi: 10.1109/MPUL.2013.2289511.
- A brief history of the spirometer. 150 years in the making. Available at: <https://www.jonesmedical.com/brief-history-spirometer/>
- Hess M. The history of PFT - part 1. 2021. Available at: <https://nddmed.com/blog/2021/the-history-of-pft-part-1/>
- Benedict Roth Recording Spirometer. Available at: <https://oakscientific.com/product/benedict-roth-recording-spirometer-bmr/>
- GrippiGregory Tino MA. Pulmonary Function Testing. Available at: <https://thoracickey.com/pulmonary-function-testing-6/>
- Types of Spirometer and their Technologies. Available at: <https://vitalograph.com/respiratory-diagnostics/spirometry-measuring-technology>
- Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200(8):e70–e88. doi: 10.1164/rccm.201908-1590ST.