

УДК 378.147.091.31-021.36 : [57:61+575] : [577.2+602.6]

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-12\(30\)-464-475](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-12(30)-464-475)

Снісар Олена Анатоліївна кандидат педагогічних наук, завідувач кафедри природничих дисциплін, Черкаська медична академія, вул. Хрещатик, 215, м. Черкаси, 18000, тел.: (093) 409-43-98, <https://orcid.org/0000-0002-4624-2959>

Білик Любов Володимирівна кандидат педагогічних наук, проректор з науково-педагогічної роботи та післядипломної освіти, доцент кафедри природничих дисциплін, Черкаська медична академія, вул. Хрещатик, 215, м. Черкаси, 18000, тел.: (093) 409-43-98, <https://orcid.org/0000-0002-0054-4628>

Ліневич Катерина Андріївна кандидат педагогічних наук, доцент кафедри природничих дисциплін, Черкаська медична академія, вул. Хрещатик, 215, м. Черкаси, 18000, тел.: (063) 424-06-09, <https://orcid.org/0000-0002-6237-4070>

Самогулова Ольга Андріївна викладач циклової комісії фундаментальних та природничих дисциплін, Черкаська медична академія, вул. Хрещатик, 215, м. Черкаси, 18000, тел.: (067) 832-36-08

ТРАНСФОРМАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ВИКЛАДАННЯ МЕДИЧНОЇ БІОЛОГІЇ ТА ГЕНЕТИКИ У КОНТЕКСТІ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ МОЛЕКУЛЯРНОЇ БІОЛОГІЇ ТА ГЕНЕТИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Анотація. У статті розглянуто питання змін, які необхідно впроваджувати у процес викладання медичної біології та генетики у зв'язку з прогресом генетичної інженерії, молекулярної біології, біотехнології. Інновації у цих галузях надзвичайно швидко проходять шлях від наукових розробок до практичного застосування у медицині, фармації, лабораторній діагностиці. Проаналізовано такі сучасні розробки, як мРНК-вакцини, препарати генної терапії, метод полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) та його застосування для ДНК-діагностики спадкових захворювань, виявлення мутацій, які асоційовані з канцерогенезом та застосування його у фармакогенетиці. Акцентовано увагу на трьох напрямках, у яких має проходити трансформація підходів викладання медичної біології та генетики. До першого належить постійне наповнення викладачем навчальних матеріалів актуальною, сучасною інформацією, що забезпечується постійним моніторингом наукових інновацій у біології, медицині та фармації. Другим напрямом є формування у здобувачів освіти високого рівня базової підготовки з біології, що включає достатній понятійний апарат, термінологічний запас,

розуміння ключових процесів, які лежать в основі збереження, передачі та реалізації спадкової інформації. Важливим напрямом є подолання антиінноваційного бар'єру, який може заважати позитивно сприймати впровадження інновацій, як важливу частину професійної діяльності сучасного медика та фармацевта. Наведено приклади застосування інновацій у галузі генетичної інженерії та молекулярно-генетичних методів аналізу в медицині та фармації в Україні. У статті наголошується, що трансформація підходів до викладання медичної біології та генетики в сучасних умовах наукового прогресу у багатьох галузях біології є обов'язковою для підготовки висококваліфікованого, здатного до інноваційної діяльності та постійного самовдосконалення фахівця.

Ключові слова: медична біологія, медична генетика, молекулярна біологія, генетична інженерія, біотехнологія, медична та фармацевтична освіта.

Snisar Olena Anatoliivna Candidate of Pedagogical Sciences, Head of the Department of Natural Sciences, Cherkasy Medical Academy, Khreschatyk St., 215, Cherkasy, 18000, tel.: (093) 409-43-98, <https://orcid.org/0000-0002-4624-2959>

Bilyk Liubov Volodymyrivna Candidate of Pedagogical Sciences, Vice-Rector for Scientific-Pedagogical Work and Postgraduate Education, Associate Professor of the Department of Natural Sciences, Cherkasy Medical Academy, Khreschatyk St., 215, Cherkasy, 18000, tel.: (093) 409-43-98, <https://orcid.org/0000-0002-0054-4628>

Linievych Kateryna Andriivna Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences, Cherkasy Medical Academy, Khreschatyk St., 215, Cherkasy, 18000, tel.: (063) 424-06-09, <https://orcid.org/0000-0002-6237-4070>

Samogulova Olga Andriivna Teacher of the Cycle Committee of Fundamental Disciplines and Natural Sciences, Cherkasy Medical Academy, Khreschatyk St., 215, Cherkasy, 18000, tel.: (067) 832-36-08

TRANSFORMATION OF APPROACHES TO TEACHING MEDICAL BIOLOGY AND GENETICS IN THE CONTEXT OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF MOLECULAR BIOLOGY AND GENETIC ENGINEERING

Abstract. The article discusses the issue of changes that need to be implemented in the process of teaching medical biology and genetics in connection with the progress of genetic engineering, molecular biology, and biotechnology.

Innovations in these fields move from scientific developments to practical applications in medicine, pharmacy, and laboratory diagnostics extremely quickly. Such modern developments as mRNA vaccines, gene therapy drugs, the polymerase chain reaction (PCR) method and its use for DNA diagnostics of hereditary diseases, detection of mutations associated with carcinogenesis and its application in pharmacogenetics are analyzed. Attention is focused on three directions in which the transformation of approaches to teaching medical biology and genetics should take place. The first includes the constant filling of educational materials by the teacher with relevant, up-to-date information, which is ensured by constant monitoring of scientific innovations in biology, medicine and pharmacy. The second direction is the formation of high-level basic training in biology in students, which includes a sufficient conceptual apparatus, terminological reserve, and understanding of the key processes that underlie the preservation, transmission and implementation of hereditary information. An important direction is to overcome the anti-innovation barrier, which can prevent a positive perception of the introduction of innovations as an important part of the professional activity of a modern doctor and pharmacist. Examples of the application of innovations in the field of genetic engineering and molecular genetic analysis methods in medicine and pharmacy in Ukraine are given. The article emphasizes that the transformation of approaches to teaching medical biology and genetics in modern conditions of scientific progress in many fields of biology is mandatory for training a highly qualified specialist capable of innovative activities and constant self-improvement.

Keywords: medical biology, medical genetics, molecular biology, genetic engineering, biotechnology, medical and pharmaceutical education.

Постановка проблеми. Інтенсивний прогрес у галузях генетичної інженерії, молекулярної біології, біотехнології є однією з основних тенденцій сучасної науки. Інновації у цих галузях швидко знаходять практичне застосування у медицині, фармації, лабораторній діагностиці. З кожним роком динаміка розвитку цих напрямів пришвидшується: якщо від ідеї методу ПЛР до того, як він був використаний для діагностики спадкового захворювання пройшло два роки, то на впровадження у практичну охорону здоров'я технології мРНК-вакцин від COVID-19 вистачило одного року.

У таких умовах шаленого прогресу методів молекулярної генетики необхідний постійний моніторинг наукових досягнень та висвітлення їх під час викладання медичної біології та генетики при підготовці медичних і фармацевтичних фахівців. Це є обов'язковою умовою, якщо заклад освіти ставить за мету підготовку сучасного, висококваліфікованого, здатного до інноваційної діяльності та постійного самовдосконалення фахівця.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню сучасних підходів до змісту та методів викладання медичної біології присвячено низку наукових праць. О. Романенко, В. Грінкевич пропонували застосувати інноваційні

технології, а О. Загричук, І. Привроцька, Л. Федонюк інтерактивні технології для покращення підготовки здобувачів освіти з медичної біології, підвищення їх мотивації, активізації пізнавальної діяльності. Т. Шевчук проаналізовано науково-педагогічні підходи до викладання дисципліни та акцентовано увагу на важливості ретельного відбору змісту навчального матеріалу. Формування професійної компетентності майбутніх лікарів при вивченні медичної біології вивчали С. Дубінін, А. Ваценко, В. Пілюгіна, Н. Улановська-Циба, Н. Передерій, О. Рябушко, О. Овчаренко. Акцентували увагу на викладанні саме медичної генетики в рамках дисципліни «Медична біологія» Р. Піскун, Н. Гринчак, В. Шкарупа, О. Спрут, Т. Васенко. Педагоги вказували на важливість щорічного внесення змін у навчальні програми та методичні матеріали у зв'язку із застосуванням новітніх досягнень медицини.

Незважаючи на широкий спектр досліджень присвячених викладанню медичної біології, питання впровадження змін у підходах до вивчення дисципліни і, зокрема, тем з медичної генетики, у зв'язку з розвитком молекулярної генетики, розглянуто не було.

Мета статті – аналіз сучасних підходів, які мають застосовуватися при викладанні медичної біології та генетики в умовах інноваційного розвитку молекулярної біології та генетичної інженерії.

Виклад основного матеріалу. Викладання медичної біології та генетики майбутнім медичним і фармацевтичним фахівцям має відповідати тим викликам, які є актуальними у контексті інноваційних досягнень таких сучасних напрямків, як генетична інженерія, молекулярна біологія, біотехнологія, клітинна біологія. Зважаючи на вище вказане, має відбутися трансформація підходів у таких напрямках:

1. Наповнення навчальних матеріалів актуальною, сучасною інформацією, адже темп наукового прогресу у галузі молекулярної біології та генетики на даний час є надзвичайно швидким.

2. Забезпечення високого рівня базової підготовки здобувачів освіти, що включає достатній понятійний апарат, термінологічний запас, розуміння ключових процесів, що лежать в основі збереження, передачі та реалізації спадкової інформації на молекулярному, клітинному та онтогенетичному рівнях.

3. Подолання антиінноваційного бар'єру зі сторони здобувачів освіти. Дане явище може виникати внаслідок відсутності особистого досвіду із застосування сучасних молекулярних, генетичних технологій, недостатня обізнаність із методами, що використовуються у провідних закладах охорони здоров'я України або впровадження такої допомоги із залученням міжнародних програм.

Перший напрям – наповнення навчальних матеріалів актуальною, сучасною інформацією у висвітленні питань молекулярних та цитологічних основ життєдіяльності людини, генетики і медичної генетики. Це

є першочерговим, адже медичний та фармацевтичний фахівець має отримувати знання відповідно до світових тенденцій розвитку науки. Обов'язковий щорічний перегляд викладачем та внесення змін у зміст навчального матеріалу в лекціях і навчальних посібниках, завданнях у робочих зошитах для практичних занять, темах самостійної позааудиторної роботи, матеріалах контролю.

Одним із прикладів, який ілюструє важливість постійного моніторингу та впровадження у освітній процес інновацій, що комплексно стосуються біології, медицини та фармації є створення та поширення по всьому світу мРНК-вакцин. Найвідомішими розробками даного виду препаратів є мРНК-вакцини від COVID-19 фармацевтичних компаній Pfizer-BioNTech та Moderna. Хронологія впровадження даної інновації вражає: 10 січня 2020 року Pfizer-BioNTech розпочала розробку вакцини, 11 грудня 2020 Управління з контролю за продуктами та ліками США схвалило екстрене використання вакцини, а сама вакцинація від COVID-19 у США розпочалася 14 грудня 2020 року. В Україні вже 2 лютого 2021 року Міністерство охорони здоров'я зареєструвало вакцину Pfizer-BioNTech для екстреного медичного застосування. Через шість місяців, а саме 16 квітня 2021 року в Україну привезли першу партію вакцини Pfizer – 117 тисяч доз. Це демонструє як шлях новітньої розробки на основі нуклеїнових кислот від лабораторії до звичайного пацієнта у США зайняв 11 місяців, а в Україні – 15 місяців. На такому прикладі також зрозуміло, що сучасна Україна є частиною європейського та світового наукового простору, а інновації, які розробляються у провідних країнах світу, швидко стають доступними у нас в країні.

Даний приклад вирішує ще одне питання – подолання антиінноваційного бар'єру у здобувачів освіти, який ґрунтується на помилкових стереотипах, що в Україні не доступні сучасні методи діагностики та лікування. Він демонструє зворотну ситуацію та спонукає медиків і фармацевтів до постійного професійного зростання, щоб бути готовими до впровадження досягнень сучасної науки. Саме глибокі знання медика з питань вакцинації та використання новітніх вакцин, зможуть допомогти відповісти на різні запитання пацієнтів та стануть найкращим аргументом на користь щеплення від COVID-19. Навпаки, незмістовна відповідь лікаря, неточності та розбіжності з іншими джерелами інформації про вакцину, можуть стати причиною, з якої пацієнт відтермінує вакцинацію або взагалі відмовиться від неї.

За рік, який тривала розробка та випробування мРНК-вакцин, фахівці охорони здоров'я мали покращити свою підготовку з питань молекулярної біології, тобто набути відповідних знань про теоретичні основи даного виду вакцин, як препаратів абсолютно інноваційних, адже неможливо рекомендувати пацієнту вакцинуватися препаратом про який лікар або

медична сестра нічого не знає. Необхідне розуміння складу вакцини, механізму її роботи в клітинах організму та вироблення імунітету. Ключовим при цьому є знання про особливості генетичного матеріалу РНК-вірусів, оскільки коронавірус SARS-CoV-2 має спадкову інформацію у вигляді РНК, а також знання про етапи синтезу білка. Вакцини містять мРНК, що кодує не усі білки вірусу, а лише S-білок, який синтезується у пацієнта після щеплення. Саме на цей білок імунна система буде виробляти антитіла, формуючи імунітет. Пацієнтів часто турбує питання про те наскільки вакцина безпечна і чи не може вона змінювати спадковий апарат людини. Лікар має володіти знаннями про те, що спадкова інформація у людини реалізується у послідовності: ДНК – мРНК – білок. Для зворотного напрямку мРНК – ДНК необхідний спеціальний фермент зворотна транскриптаза (ревертаза), яка відсутня як у клітинах людини, так і в складі вакцини. мРНК вакцини ніякої небезпеки не становить, живе і функціонує декілька днів, а потім розщеплюється [1]. Таке ґрунтовне, чітке, наукове пояснення медика стане найкращим аргументом проти антивакцинальних настроїв та надасть впевненості пацієнту.

Іншим прикладом, що ілюструє наскільки важливою є постійна робота викладача по моніторингу наукових інновацій у галузі біології та внесення змін у навчальні матеріали, є впровадження революційних розробок генетичної інженерії у лікування спадкових захворювань. Швидкість, з якою змінюються тенденції, можна простежити на прикладі динаміки застосування методів лікування спадкового захворювання спінальної м'язової атрофії (СМА). Дане захворювання має аутосомно-рецесивний тип передачі та обумовлено мутацією гена SMN1, який відповідає за синтез білка SMN у моторних нейронах спинного мозку. Синтезований на основі мутантного гена білок є нестійким і менш активним, тому не забезпечує виконання своєї функції, як наслідок – прогресуюча дегенерація мотонейронів, що призводить до прогресуючої атрофії м'язів, обмеження життєдіяльності та високої дитячої смертності [2].

Як багато інших спадкових захворювань, спінальна м'язова атрофія вважалась невиліковною і мала дуже несприятливий прогноз. Але після 2016 року викладачі повинні були змінити цю інформацію у своїх матеріалах, адже було схвалено перші ліки – Спінраза. Увагу здобувачів освіти необхідно зосередити на тому, що препарат працює на рівні нуклеїнових кислот, впливаючи на механізми реалізації спадкової інформації і таким чином підвищує рівень продукції повноцінного білка SMN. Цей препарат призначений для хворобомодифікуючої терапії, яку пацієнт повинен отримувати систематично кожні 4 місяці протягом усього життя. На даний час ефективність Спінрази доведена при тривалих клінічних дослідженнях і цей препарат призначається пацієнтам згідно з сучасними стандартами лікування та суттєво поліпшує тривалість і якість життя хворих на СМА [3].

У 2019 році при висвітленні питання лікування СМА навчальні матеріали мали бути доповнені інформацією про один з перших у світі препаратів генної терапії Золгенсма. При висвітленні питань генної терапії на прикладі Золгенсма варто підкреслити абсолютну унікальність технології як у виробництві лікарського препарату, так і у механізмі дії на організм людини. Даний препарат змінює генетичну причину розвитку СМА, а не здійснює симптоматичне лікування, як у випадку застосуванням ліків для інших спадкових захворювань. Достатньо тільки однієї внутрішньовенної інфузії, яка забезпечує внесення у клітини хворого на СМА нормального гена SMN1, який буде продукувати у мотонейронах нормальний білок SMN і забезпечуватиме роботу нейронів [4]. Золгенсма демонструє високу ефективність, особливо у маленьких пацієнтів віком до 2 років, які отримують не тільки шанс на життя, а і можливість самостійно сидіти, а багато хто стояти та ходити, що було б неможливо при відсутності такої терапії. Складність технології та майже десять років, що пішли на розробку, обумовили надзвичайно високу вартість даного препарату – 2,1 млн. доларів.

Механізм дії препаратів генної терапії абсолютно інноваційний і вимагає від майбутніх лікарів і фармацевтів реалізації другого напрямку, а саме високого рівня базової підготовки з біології. Батькам дитини при призначенні даного виду терапії необхідно пояснити механізм дії препарату, що відбувається після його введення у клітинах, як препарат працює і завдяки чому досягається терапевтичний ефект, чому достатньо тільки однієї ін'єкції, які можуть бути побічні дії, чому у пацієнтів спостерігаються різні ефективності. Глибоке розуміння особливостей генних препаратів, кваліфікована відповідь лікаря на запитання пацієнта, правильна його підготовка до генної терапії, проведення важливих попередніх обстежень – усе це неможливе без глибокого розуміння таких понять сучасної біології, як будова гена людини, регуляція експресії генів, етапів біосинтезу білка (транскрипція, процесинг, сплайсинг, трансляція), властивостей генетичного коду та його універсальності для усіх організмів.

Варто підкреслити, що ідея і технологія генної терапії та розробка відповідного препарату у випадку лікування СМА не є одиничним випадком. Важливо інформувати здобувачів освіти про те, що успішні результати застосування Золгенсма відкрили можливість для більш активної розробки та отримання дозволів для інших ліків генної терапії. У 2022 році на фармацевтичний ринок вийшли такі препарати, як Zynteglo для лікування бета-таласемії (вартість – 2,8 млн. доларів) та Hemgenix для допомоги хворим на гемофілію В (вартість – 3,5 млн. доларів) [5].

Генна терапія, про потенційні можливості якої вже давно говорили і вчені-генетики і практикуючі лікарі, з сфери теоретичних розробок та експериментальних методів лікування переходить у практичну медицину. Якщо і надалі будуть зберігатися такі темпи розробки та впровадження

препаратів генної терапії, вони стануть поширеним методом лікування спадкових захворювань. Саме темпи розвитку даного напрямку варто підкреслювати для подолання антиінноваційного бар'єру у здобувачів освіти.

Вивчення курсу медичної біології та генетики не бути відповідати сучасним вимогам, якщо у ньому детально та всебічно не розглянути питання полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Мабуть кожна людина у світі почула назву цього методу в 2020 році у зв'язку з діагностикою коронавірусної інфекції, а мільйони людей неодноразово проходили відповідне обстеження. До пандемії COVID-19 цей метод був відомий вже багато років. Ним користувалися генетики для діагностики спадкових захворювань, а також інфекціоністи і гінекологи для виявлення вірусів герпесу, гепатитів, ВІЛ, цитомегаловірусу, папіломавірусної інфекції, мікоплазмозу, хламідіозу. Саме діагностика COVID-19 методом ПЛР привернула увагу до цієї унікальної технології, яка дозволяє вирішити багато проблем у різних галузях медицини.

Метод полімеразної ланцюгової реакції, розроблений у 1983 році американським біохіміком Кері Маллісом, має тривалий і цікавий шлях від одного з експериментальних досліджень у біотехнологічній лабораторії до визнання його одним з монументальних наукових відкриттів ХХ століття, за яке у 1993 році Малліс отримав Нобелівську премію. Цей метод у багато разів здешевив і прискорив процес роботи по виділенню потрібних фрагментів ДНК, їх клонування. У 1985 році ПЛР вже було використано для пренатальної діагностики спадкового захворювання. За допомогою класичних генно-інженерних методів такі дослідження ДНК виконувалися від півроку до двох років, але за допомогою методу Малліса на такий же об'єм роботи вистачало одного дня [6].

Багато запитань виникає стосовно достовірності цього методу, випадків отримання помилкових результатів, тривалості та вартості дослідження, чому не кожна лабораторія може його робити. У пацієнтів є нерозуміння застосування різних назв методу (ПЛР, ДНК-тест, ДНК-діагностика). Також є недовіра викликана великим спектром досліджень, при яких він може застосовуватися: діагностика вірусних та бактеріальних інфекцій, встановлення мутацій у батьків для попередження спадкових захворювань у дітей, пренатальна та постнатальна діагностика спадкових патологій, ДНК-діагностика схильності до спадкових форм онкології, ДНК-тест для визначення індивідуальних програм харчування та спортивних тренувань. Відповіді на ці та багато інших запитань містяться у розумінні суті того, як проходить дослідження методом полімеразної ланцюгової реакції.

Компетентність медика у даному питанні забезпечується його знаннями з молекулярної біології. Розуміння технології проведення ПЛР безпосередньо пов'язане з такими базовими поняттями, як будова, хімічний склад, властивості нуклеїнових кислот ДНК та РНК, що забезпечують спадковість людини та інших організмів. Важливим є володіння термінами:

подвійна спіраль ДНК, дезоксирибонуклеозидтрифосфати, олігонуклеотиди, комплементарність нуклеотидів, ДНК-полімераза, реплікація, денатурація, елонгація, зворотна транскрипція, праймери, ампліфікація, амплікон, ампліфікатор (термоциклер).

Метод ПЛР забезпечується процесом ампліфікації – це реплікація ДНК *in vitro*, яка походить в три етапи у спеціальному приладі – ампліфікаторі. Ці етапи повторюються багаторазово, що призводить до збільшення кількості специфічних фрагментів ДНК у мільйони разів, саме до такої кількості, яка може бути визначена. Детекція продуктів ампліфікації у сучасних лабораторіях проходить за допомогою сигналу флуоресценції в режимі реального часу. Це дає можливість швидко здійснювати кількісний аналіз накопичення продуктів полімеразної ланцюгової реакції у пробірці та автоматично реєструвати його.

Знання про особливості виконання ПЛР дозволяють медичному фахівцю розуміти особливості даної методики та доносити потрібну інформацію до пацієнта уже в більш простій, доступній для сприйняття формі. Проте наскільки зараз поширений метод полімеразної ланцюгової реакції говорить така статистика: у розпал пандемії SARS-CoV у березні-квітні 2021 року робили 1,25-1,27 млн тестів за місяць, а у жовтні 2021 – 1,6 млн [7]. Таке число тестів – це тільки діагностика одного інфекційного захворювання. Ці цифри є досить переконливим аргументом того, що кожний лікар має добре знати що таке полімеразна ланцюгова реакція, адже у кожного пацієнта, що проходить обстеження методом ПЛР є свої запитання і відповіді на них він чекає саме від лікаря.

У сучасній медицині часто використовують термін ДНК-діагностика, не вказуючи повну назву ДНК-діагностика методом полімеразної ланцюгової реакції. Вперше застосування ПЛР в медичних цілях відбулося саме для діагностики спадкового захворювання і з того часу даний напрямок активно розвивався. Найчастіше лікарі повинні уміти пояснити, що таке панель генетичних досліджень, які спадкові захворювання діагностуються методом ПЛР, що таке генетичний скринінг, чому обстеження можуть пропонуватися сімейній парі чи особі до настання вагітності або вже під час вагітності. Пацієнти можуть звертатися за роз'ясненням і більш специфічних термінів: секвенування екзонів, дослідження з генотипування, генетичне дослідження ризику розвитку генної хвороби, виявлення мутацій генів, дослідження поліморфізму генів, генотипування алелів, визначення мутації в локусі. Така термінологія є досить специфічною, але науковий прогрес у галузі ДНК-діагностики призводить до того, що пацієнти зустрічають ці терміни на сайтах лабораторій, в рекламі, публікаціях у пресі. Професійну консультацію з таких питань може дати лікар компетентний з питань молекулярної біології та молекулярної генетики. Не тільки лікарі-генетики повинні мати знання з даного питання, адже спочатку пацієнт звертається не до вузькопрофільного

фахівця, а до свого сімейного лікаря, акушера-гінеколога, педіатра. Тому питання компетентності лікарів будь-якої спеціальності стосовно сучасних можливостей ДНК-діагностики спадкових захворювань або захворювань із спадковою схильністю є надзвичайно актуальним. Це підкреслює важливість другого напрямку трансформації підходів до викладання медичної біології: забезпечення базової підготовки здобувачів освіти, щодо понятійного апарату, термінологічного словника, розуміння реалізації спадкової інформації на різних рівнях організації живого.

Застосування методу ПЛР постійно розширюється і галуззю, де в останні роки все активніше його застосовують є онкологія. Наприклад, є дослідження, в яких встановлено зв'язок між мутаціями в генах BRCA1 та BRCA2 і підвищенням ризику розвитку раку молочної залози (РМЗ) і яєчників (РЯ) до 50-80% [8]. Гени BRCA стали відомими для більшості людей завдяки тому, що акторка Анджеліни Джолі відкрито розповіла про свою проблему і наважилася на мастектомію, оскільки ризик розвитку раку грудей у неї становив 87%. Такі приклади є надзвичайно важливими для популяризації серед населення генетичних аналізів для попередження розвитку онкології. Доступ пацієнтів до актуальної сучасної інформації вимагає від лікарів бути настільки компетентним у даних інноваціях, щоб надавати роз'яснення та рекомендації відповідно до індивідуальної ситуації кожного пацієнта. Доцільно направляти на дослідження ДНК методом ПЛР в режимі реального часу на наявність мутацій генів BRCA1 і BRCA2 пацієнтів, у яких розвинувся РМЗ у віці до 45 років, при тричі-негативному РМЗ у віці до 60 років, при онкології яєчників, підшлункової та передміхурової залози в будь-якому віці а також здорових людей, у яких є родичі, хворі на вище зазначені форми онкології [9]. Спадкова природа визначена і при інших видах раку, тому цей напрямок застосування методу ПЛР буде тільки розвиватися, оскільки важливим у ранній діагностиці та профілактиці онкологічних захворювань є виявлення осіб з мутаціями, які асоційовані з канцерогенезом. Медичні фахівці, в свою чергу, повинні мати достатньо кваліфікації та інноваційної активності, які б забезпечили впровадження цих методів.

Одним з найсучасніших напрямів застосування ДНК-тестів є фармакогенетика. Лікарі та фармацевти, які зараз проходять навчання повинні розуміти, що у недалекому майбутньому саме такий підхід буде традиційним і вони мають вже під час навчання готуватися до цього. Саме фармакогенетика пояснює чому у різних людей один і той же препарат проявляє різну ефективність, дає різні побічні ефекти. Фармакогенетика прагне виявити гени і їх варіанти, що визначають адекватність фармакотерапії і зменшують ризик розвитку побічних ефектів для кожної людини індивідуально. Наприклад, в Україні лабораторії починають пропонувати дослідження фармакогенетики для препарату варфарин. При цьому використовують метод визначення мутацій CYP2C9*2, CYP2C9*3, VKORC1

(маркер G1639A) в ДНК людини методом ПЛР в реальному часі [9]. Важливість таких досліджень обумовлена тим, що варфарин – це препарат, який пацієнти мають приймати дуже довго для лікування і профілактики тромбозів глибоких вен, тромбоемболії легеневої артерії, після протезування клапанів серця. Внаслідок тривалого прийому часто виникають ускладнення – кровотечі. Ризик цього можна значно зменшити, якщо провести генетичний аналіз чутливості пацієнта до варфарину та визначити оптимальну добову дозу.

Висновки. Швидка динаміка інноваційного розвитку у галузях молекулярної біології, генетичної інженерії, біотехнології та активне впровадження даних досягнень у медицину і фармацію ставлять нові вимоги до підготовки фахівців у закладах вищої освіти. Майбутні медики і фармацевти повинні бути готовими впроваджувати інновації молекулярної біології та генетичної інженерії у своїй професійній діяльності для забезпечення високого рівня медичної допомоги населенню, який відповідав би європейським стандартам. Для цього необхідна трансформація підходів до викладання медичної біології та генетики, яка б включала збільшення навчального часу для вивчення молекулярних основ спадковості, механізмів реалізації спадкової інформації, молекулярно-генетичних методів діагностики. Крім формального збільшення теоретичних та практичних занять, що відводяться на дані теми, необхідно працювати і над постійним наповненням навчальних матеріалів сучасною інформацією, яка б презентувала ґрунтовні досягнення у галузі молекулярної біології та генетики. Важливо забезпечувати високий рівень базової підготовки майбутніх медиків та фармацевтів з біології, збільшувати їх термінологічний словник для більш ефективної роботи з інформацією про інновації. Суттєвим напрямом є подолання антиінноваційного бар'єру, скептичного ставлення до можливостей у майбутньому працювати з подібними новітніми проектами на своєму робочому місці, що іноді не дозволяє повністю зануритися у їх вивчення. Викладання медичної біології та генетики, що враховує такі аспекти сприятиме підготовці фахівців, що готові до роботи в сучасних умовах, адже те, що здобувачі освіти вивчають сьогодні як інноваційні методи, на момент початку їх професійної діяльності буде широко застосовуватися у діагностиці та лікуванні пацієнтів.

Література:

1. Пояснення щодо вакцин та вакцинації проти COVID-19. URL: <https://www.covid19infovaccines.com/uk>
2. Шатілло А. В., Матюшенко В. М. Спінальна м'язова атрофія: реалії та перспективи в Україні. *Український медичний часопис*. 2020. Т. 1, № 1. С. 5-7.
3. Свистільник В. О. Особливості сучасної діагностики й лікування спінальної м'язової атрофії з досимптомним, раннім та пізнім початком. URL: <https://health-ua.com/article/63282-osoblivost-suchasno-dagnostiki-jlkuvannya-spnalnomyazovo-atrof-zdosimptomni>

4. Sheridan M. Hoy. Onasemnogene Apeparvovec: First Global Approval. *Drugs*. 2019. Vol. 79. P. 1255–1262. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40265-019-01162-5>
5. \$3,5 млн за дозу. Як працюють препарати генної терапії – найдорожчі й, можливо, найефективніші у світі. *Журнал Forbes Ukraine*. 06 грудня 2022. URL: <https://forbes.ua/innovations/era-genetichnoi-terapii-chi-vsiv-vona-po-kisheni-rozprovidae-wired-06122022-10284>
6. Волкова Н. Е. Кері Малліс – винахідник ПЛР. *Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів*. 2014. Т. 12, № 1. С. 122-127.
7. Пандемія коронавірусу: скільки ПЛР-тестів щомісяця роблять в Україні. «Слово і Діло» – український аналітичний портал. 4 лютого 2022. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2022/02/04/infografika/suspilstvo/pandemiya-koronavirusu-skilky-plr-testiv-shhomisyacya-roblyat-ukrayini>
8. Чернобай А. В., Чернобай М. А., Мясоєдов С. Д., Сорокін Б. В. Поліморфізм генів, як один з генетичних факторів ризику виникнення злоякісних новоутворень. *Вісник проблем біології і медицини*. 2018. Вип.1, том 2 (143). С. 46-51.
9. Веб-сайт CSD LAB. URL: csdlab.ua

References:

1. Poiasnennia shchodo vaktsyn ta vaktsynatsii proty COVID-19 [Explanation of vaccines and vaccination against COVID-19]. URL: <https://www.covid19infovaccines.com/uk> [in Ukrainian].
2. Shatillo, A. V., Matiushenko, V. M. (2020). Spinalna miazova atrofii: realii ta perspektyvy v Ukraini [Spinal muscular atrophy: reality and future in Ukraine]. *Ukrainskyi medychnyi chasopys*. Т. 1, № 1. S. 5-7. [in Ukrainian].
3. Svystilnyk, V. O. (2021). Osoblyvosti suchasnoi diahnostryky y likuvannia spinalnoi miazovoi atrofii z dosymptomnym, rannim ta piznim pochatkom [Features of modern diagnosis and treatment of spinal muscular atrophy with pre-symptomatic, early and late onset]. URL: <https://health-ua.com/article/63282-osoblivost-suchasno-dagnostiki-jlikuvannya-spnalnomyazovo-atrof-zdosimptomni> [in Ukrainian].
4. Sheridan, M. Hoy. (2019). Onasemnogene Apeparvovec: First Global Approval. *Drugs*. Vol. 79. P. 1255–1262. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40265-019-01162-5>
5. \$3,5 mln za dozu. Yak pratsiuuiu preparaty hennoi terapii – naidorozhchi y, mozhlyvo, naiefektyvnishi u sviti [\$3.5 million per dose. How do gene therapy drugs work - the most expensive and possibly the most effective in the world]. *Zhurnal Forbes Ukraine*. 06 hrudnia 2022. URL: <https://forbes.ua/innovations/era-genetichnoi-terapii-chi-vsiv-vona-po-kisheni-rozprovidae-wired-06122022-10284> [in Ukrainian].
6. Volkova, N. E. (2014). Keri Mallis – vynakhidnyk PLR [Keri Mullis – inventor of PCR]. *Visnyk Ukrainskoho tovarystva henetykiv i selektsioneriv*. Т. 12, № 1. S. 122-127. [in Ukrainian].
7. Pandemiia koronavirusu: skilky PLR-testiv shchomisiatsia robliat v Ukraini [The coronavirus pandemic: how many PCR tests are performed in Ukraine every month]. «Слово і Діло» – український аналітичний портал. 4 liutoho 2022. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2022/02/04/infografika/suspilstvo/pandemiya-koronavirusu-skilky-plr-testiv-shhomisyacya-roblyat-ukrayini> [in Ukrainian].
8. Chornobai, A. V., Chornobai, M. A., Miasoiedov, S. D., Sorokin, B. V. (2018) Polimorfizm heniv, yak odyin z henetychnykh faktoriv ryzyku vynyknennia zloiakisnykh novoutvoren [Polymorphism of genes as a cause of genetic risk factors for malignant neoplasms]. *Visnyk problem biolohii i medytsyny*. Vyp.1, tom 2 (143). S. 46-51. [in Ukrainian].
9. Veb-sait CSD LAB. URL: csdlab.ua [in Ukrainian].