Іновації в офтальмології

УДК 617.7-78:681.3

Стратегії розвитку кіберофтальмології

Ю. Г. Даник [1], д-р тех. наук, професор; **О. В. Зборовська** [2], д-р мед. наук;
Н.В. Пасєчнікова [2], д-р мед. наук, член-кор. НАМН України, професор

[1] Інститут інформаційних технологій;
Київ (Україна)

[2] ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України»;
Одеса (Україна)

E-mail: filatoveye@gmail.com

Ключові слова:
кіберофтальмологія, кібермедицина, телемедицина, штучний інтелект, нейрокомп'ютерний інтерфейс, кібербезпека

Актуальність. *Покращення і наближення висококваліфікованого офтальмологічного супроводу та ефективності лікування офтальмопатології всіх верств населення в усіх куточках України є актуальною задачею не тільки відомчого, але й державного рівня.*
Мета. *Дати наукове, теоретико-прикладне обґрунтування формування нового напряму в офтальмології – кіберофтальмології.*
Результати. *Показується актуальність досліджуваної проблеми, її важливість у світлі розвитку теле і кібермедицини, розширення застосування інформаційних і кібертехнологій та впровадження штучного інтелекту в медицині в цілому та в галузі офтальмології зокрема.*
Висновок. *Кіберофтальмологія стає об'єктивною реальністю і самостійним напрямком, невід'ємною складовою частиною офтальмології. Її дослідження і розвиток сприяють наближенню висококваліфікованого офтальмологічного супроводу та зростанню ефективності лікування офтальмопатології у всіх верств населення.*

Актуальність. В сучасному світі людей, які можуть похвалитися відмінним зором та відсутністю проблем пов'язаних із органом зору, не так багато.

На цей час захворюваність патологією органу зору на території України становить близько 3 227 на 100 тис. населення [1]. Залишаються високими показники інвалідності внаслідок очної патології. В Україні кількість врахованих сліпих і слабозорих становить близько 300 тис. чоловік, з них сліпих - 40 тис., рівень сліпоти і слабобачення – 37,69 на 10 тис. населення [3].

За попередніми підрахунками в даний час в Україні глаукомою страждає близько 213 223 осіб (612,7 пацієнтів на 100 тис. населення). На 100 тис. населення країни припадає в середньому 458,0 пацієнтів з діабетичною ретинопатією, які потребують проведення лазеркоагуляції сітківки або хірургічного втручання. [1].

Є загальна тенденція до дефіциту фахівців-офтальмологів в амбулаторно-поліклінічній мережі. Чисельність офтальмологів амбулаторно-поліклінічної ланки на 10 тис. населення становить в середньому по Україні 0,45 за наявності штатних посад 0,52 на 10 тис. населення, що свідчить про неукомплектованість наявних штатів.

При цьому щоденні зорові навантаження на людей: робота за комп'ютером та з іншими гаджетами з оптичним відображенням інформації, водіння автомобіля, тривалий перегляд телевізора, особливості впливу 3D фільмів, застосування засобів віртуальної та доповненої реальності, - все це накладає свій несприятливий відбиток на зорову функцію. Також ситуацію може суттєво ускладнити введення пов'язаних з COVID19 карантинів та перехід на дистанційні режими роботи і навчання із значним зростанням часу роботи з різними електронними гаджетами і перебування в кіберпросторі та значне (в рази) збільшення інформаційних і зорових навантажень на людей. Також, слід враховувати, що більше 80% хвороб очей – це прояви інших хвороб.

Тому покращення і наближення висококваліфікованого офтальмологічного супроводу та ефективності лікування офтальмопатології всіх верств населення в усіх куточках України є актуальною задачею не тільки відомчого, але й державного рівня. Практично всі регіони України відчувають брак спеціалізованих кабінетів (диспансерів, центрів) офтальмологічної допомоги. Вирішити це питання в рамках реформ, які відбуваються, передбачається шляхом переходу офтальмології в більшості на приватну ланку та реалізації державно-приватного партнерства. Ряд проблем є і в стаціонарній ланці офтальмологічної допомоги. У багатьох місцях на сьогоднішній день відсутні або вкрай недостатні умови, кваліфікований персонал та високотехнологічні засоби діагностики і лікування офтальмопатології. Вкрай серйозним питанням залишається наближення якісної офтальмологічної допомоги жителям села. Все це викликає необхідність

© Даник Ю.Г., Зборовська О.В., Пасєчнікова Н.В., 2020

використання інноваційних високотехнологічних комплексних підходів до покращення якості та підвищення доступності офтальмологічної допомоги населенню. Важливими напрямками роботи є активне впровадження стаціонарзаміщуючих, ресурсозберігаючих клінічних технологій, часткове виведення на амбулаторний рівень лікувальної (консервативної і хірургічної) допомоги, комплексне вдосконалення заходів з профілактики захворювань, підвищення своєчасної звертаємості пацієнтів за офтальмологічною допомогою та своєчасного і якісного виявлення і лікування їх офтальмопатологій. Вирішення цих питань значною мірою визначається використанням можливостей сучасних інформаційних та кібертехнологій та подальшим розвитком і вдосконаленням науково-методичних і організаційних основ офтальмології в контексті зазначеного.

Мета. Дати наукове, теоретико-прикладне обґрунтування формування нового напряму в офтальмології – кіберофтальмології та розглянути стратегію її розвитку.

Матеріал и методи

В процесі досліджень були застосовані методи: системного аналізу (системи та методи прийняття рішень, консолідована інформація, аналітика даних), бібліографічний, історичний, концептуального моделювання, експертних оцінок;

та матеріали: бібліографічні джерела та інформація щодо новітніх розробок в офтальмології, телемедицині, кібермедицині, кіберфізичних системах, інформаційних та цифрових технологіях. Аналізувалися відповідні бази даних та матеріали, викладені PubMed, Scopus, Cochrane base, Google scholar. Проведено аналіз більш ніж 1800 джерел.

Результати

Офтальмологія, як галузь медицини, що вивчає анатомію і фізіологію органа зору, хвороби ока, займається їх лікуванням і профілактикою, пройшла у своєму розвитку декілька важливих етапів. Як галузь наукових медичних знань офтальмологія почала оформлятися лише на початку XIX століття. І лише в XX ст. офтальмологія збагатилася новими методами інструментальної діагностики. Тоді були також впроваджені нові ефективні лікувальні засоби, розроблені операції з пересадки рогівки, з приводу відшарування сітчастої оболонки, фотокоагуляція при внутрішньоочних пухлинах і багато іншого. У другій половині XX ст. в практику було введено лазерну терапію та очні операції під мікроскопом (мікрохірургія ока).

На цей час в офтальмології сформувався ряд спеціалізованих самостійних відгалужень: лазерна офтальмологія (laser ophthalmology), мікрохірургія ока (microsurgery), нейроофтальмологія (neuroophthalmology), рефракційна хірургія (refractive surgery), хірургія глаукоми і катаракти (cataract and glaucoma surgery), дитяча офтальмологія (pediatric ophthalmology), страбізмологія (strabismus), ретинологія (retinology), вітрео-ретинальна хірургія (vitreo-retinal surgery), травматологія (traumatology), увеїти (uveitis), офтальмокомбустіологія (ophthalmocombustiology), офтальмоонкологія (ophthalmooncology), патологія рогівки (pathology of the cornea), оптометрія (optometry).

Надання медичної офтальмологічної допомоги пацієнту за кожним з цих напрямків пов’язано, в сучасних умовах, з широким застосуванням електронних, інформаційних, телекомунікаційних, робототехнічних, кіберфізичних, сенсорних технологій, технологій роботи з великими масивами даних та кібернетики, обміну медичною інформацією, вирішення клінічних, організаційно-адміністративних, навчальних і наукових завдань. Теорія, методи і технології організації їх раціонального застосування за кожним із вузькоспеціалізованих напрямків офтальмології та забезпечення при цьому системності та комплексності їх використання в межах галузі офтальмології в цілому в контексті підвищення ефективності та якості офтальмологічної допомоги пацієнту є предметом кіберофтальмології. Основними завданнями кіберофтальмології як науки є збирання, оновлення, систематизація, критичний аналіз фактів, синтез нових знань та здійснення узагальнень, що описують явища і процеси, пов’язані із застосуванням електронних, інформаційних, телекомунікаційних, робототехнічних, кіберфізичних, сенсорних технологій, технологій роботи з великими масивами даних, штучного інтелекту та кібернетики, обміну медичною інформацією; вирішення клінічних, організаційно-адміністративних, навчальних і наукових завдань та дозволяють будувати причинно-наслідкові зв'язки між ними і прогнозувати їх перебіг. А самі зазначені явища і процеси складають об’єкт кіберофтальмології.

Аналіз кіберофтальмології як напрямку офтальмології, наукові дослідження її складових дають змогу відокремити: 1) мету; 2) основні закономірності, загальні принципи розвитку (теоретична складова кіберофтальмології); 3) принципи практичного застосування, що мають суттєве значення для визначення завдань, основних шляхів та засад створення галузевої інтегруючої кіберофтальмологічної системи, організації її функціонування, всебічного забезпечення цього процесу (прикладна складова кіберофтальмології).

В основі формування напрямку кіберофтальмології спочатку лежали досягнення телемедицини, медичної кібернетики і кібермедицини. Тобто, використання комп'ютерних і телекомунікаційних технологій для обміну медичною інформацією в тому числі, зв'язок лікаря з лікарем, лікаря з пацієнтом і рішення інших проблем медицини за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій та інтернету і використання ідей, методів, технічних засобів кібернетики, робототехнічних і кіберфізичних систем в медицині і охороні здоров'я.

На сьогоднішній день до функцій телемедицини відносять: клінічні, організаційно-адміністративні, превентивні, навчальні, наукові. Основним завданням телемедицини є забезпечення надання медичної допомоги пацієнту, коли відстань і відсутність наявності висококваліфікованих фахівців є критичними чинниками. Метою є надання медичних послуг та сприяння підвищенню якості допомоги та оптимізації процесів організації та управління охороною здоров'я в цих умовах.

Зараз термін «кібермедицина» більше підходить для опису високотехнологічної медицини, використання нейро-комп'ютерних інтерфейсів (НКІ), або, по-іншому, «інтерфейсів мозок-комп'ютер» (ІМК, BCI - Brain-Computer Interface), медичних систем на основі великих даних (Big Data), штучного інтелекту (ШІ, Artificial Intelligence), медичної біоінженерії, медичних кіберфізичних систем та роботизованої медицини і біоніки. На сьогоднішній день більшість дослідників під кібермедициною розуміють науковий і практичний напрямок в медицині, заснований на поняттях, законах і закономірностях життєдіяльності людського організму і навколишнього для нього середовища, і пов'язаний з відповідними технологіями, методами і методиками кібернетики.

На сьогодні можна навести безліч прикладів досягнень кібермедицини в контексті створення і використання робототехнічних та кіберфізичних систем і засобів [4, 5, 7, 8, 11].

Роботизована хірургія почала розвиватися в 1980-х роках. Одним з перших автоматичних апаратів в хірургії був da Vinci (робото-хірургічна система «da Vinci» (англ. Da Vinci Surgical System) - апарат для проведення хірургічних операцій. В середині XX сторіччя почали активно створювати біонічні протези кінцівок, зокрема рук. Існує багато компаній, які конкурують на цьому напряму. Завдяки впровадженню технологій 3D-принтерів, вартість протезів значно подешевшала. Freddie Payne став першою восьмирічною дитиною (з вродженою патологією), яка отримала біонічну руку, створену за допомогою 3D-принтеру, розроблену Open Bionics. Офтальмологічний протез - також відомий як біонічне око - це експериментальний візуальний пристрій, призначений для відновлення функції зору у тих, хто страждає повною або частковою сліпотою. При розробці пристроїв цього типу застосовуються технології, які використовуються при створенні кохлеарних імплантатів і нейропротезуванні [2]. Існуючі проекти: Argus II, що випускається американською компанією Second Sight [6]; візуальний протез на основі мікросистем (MIVP), імплантований мініатюрний телескоп; проект MPDA Alpha IMS (субретинальний протез сітківки); MIT Retinal Implan (протез сітківки), штучна кремнієва сітківка (ASR), фотоелектричні протези сітківки (PRIMA), Bionic Vision (імплант в субхоріоідальному просторі), Dobelle Eye (за функціями аналогічний пристрою MIT Retinal Implan, за винятком того, що чіп-стимулятор знаходиться в зоровій корі), інтракортикальний зоровий протез [10, 13].

Медичні продукти із застосуванням штучного інтелекту активно розробляють і впроваджують відомі компанії: Microsoft, Apple, Google, IBM, General Electric і багато інших (за даними дослідницької компанії Venture Scanner, їх більше 800). Найактивніше діють компанії з США, Великобританії та Ізраїлю. Так, наприклад, програма Google Deepmind Health проводить аналіз доступної інформації про симптоми пацієнта і видає список рекомендацій, а лікар, користуючись підказками такого помічника, призначає пацієнтові курс лікування. Програма IBM Watson Health також дозволяє ставити діагнози: розпізнавати кардіоміопатію, тромбози, серцеві напади. Також штучний інтелект (ШІ - AI) дає можливість оцінювати вплив медикаментів на організм людини, допомагаючи лікарям зрозуміти, як особливості генетичної будови пацієнта впливають на перебіг захворювання, і який ефект може надати новий лікарський препарат. За допомогою програми IBM Watson Health Cloud доктор отримує і аналізує дані про організм пацієнта з електронного браслета, і на основі цього підбирає ефективний курс лікування. В Україні також започатковано стартап Altris Al (головний офіс в Чікаго, США, R&D в Україні) щодо застосування ШІ в інтерпретації результатів ОКТ.

Всі ці проекти та багато інших, які з'являються сьогодні майже щодня, служать прикладами лікування і реабілітації з використанням штучного інтелекту, інноваційних інформаційних, сенсорних та кібертехнологій.

Основною метою кіберофтальмології є забезпечення, на основі застосування електронних, інформаційних, телекомунікаційних, робототехнічних, кіберфізичних, сенсорних систем, систем штучного інтелекту і обробки великих масивів даних, а також раціональної організації їх роботи в галузі офтальмології, найкращих результатів надання офтальмологічної допомоги населенню при мінімальних витратах тих чи інших ресурсів.

Основні закономірності, загальні принципи розвитку кіберофтальмології

Кіберофтальмологія, таким чином, є системоутворюючим напрямом в галузі офтальмології, який включає в себе серед інших високотехнологічних складових, як невід'ємні складові елементи «телемедицини» та «кібермедицини». Кіберофтальмологія використовує «телемедицину» як один з інструментів досягнення вказаної мети. Певним чином можна говорити про те, що кіберофтальмологія базується на системному об'єднанні досягнень «телемедицини», кібермедицини і медичної кібернетики і робототехніки, сучасних інформаційних і кібер технологій в галузі офтальмології і є невід'ємною системоутворюючою складовою офтальмології, окремим напрямком її розвитку. Саме

напрямком, в той час як «телемедицина» є інструментом з забезпечення надання медичної допомоги пацієнту, коли відстань є критичним чинником..

Діагностика, лікування і профілактика захворювань офтальмологічного профілю, обмін інформацією тощо, впровадження та застосування можливостей телемедицини та медичної кібернетики в офтальмології ще й досі більшою мірою залежать від можливості обробки, обміну, інтерпретації та збереження великих об'ємів даних, часто набагато більших ніж в інших галузях медицини. Таким чином, Big Data Processing в даному контексті відіграє величезну роль.

Практично у всіх регіонах України для наближення якості та доступності офтальмологічної допомоги населенню, особливо жителям села, є реальна необхідність використання інноваційних високотехнологічних комплексних підходів до покращення її якості та підвищення ефективності.

В цілому зазначене питання може бути вирішеним шляхом створення ієрархічної кіберінформаційної системи надання офтальмологічної допомоги населенню за клієнт-серверним принципом із застосуванням інформаційних, телекомунікаційних, мережевих та кіберфізичних систем.

Розглянемо можливу модель системи, побудованої за принципом «клієнт-сервер», для надання офтальмологічної допомоги населенню у вищезазначених умовах (схема 1). Така система складається з «клієнтів» – пунктів офтальмологічної допомоги на місцях та «серверів» – обласних (регіональних) та головного центрів офтальмологічної допомоги населенню. Основна ідея полягає в тому, що «клієнти» – пункти первинної спеціалізованої офтальмологічної допомоги на місцях за допомогою зовнішніх інтерфейсів отримують доступ і можливість взаємодії в огляді та первинній діагностиці з центрами, де зосереджуються потужні засоби діагностики та лікування і персонал для забезпечення вторинної високоспеціалізованої офтальмологічної допомоги, а також всі необхідні бази даних щодо пацієнтів та їх лікування. «Сервер» – центр виконує обслуговування і управління цими процесами і відповідає за цілісність і збереження даних, а також забезпечує операції щодо визначення порядку дій стосовно кожного пацієнта та взаємодії з цих питань з головним центром держави, де зберігається та обробляється вся наявна інформація в галузі офтальмології на державному та міждержавному рівнях. Тобто, на основі сучасних кіберінформаційних технологій формується мережева архітектура, в якій завдання або мережеві навантаження розподілені між постачальниками послуг, високоспеціалізованими центрами – так званими «серверами», і замовниками послуг, місцевими пунктами надання первинної спеціалізованої офтальмологічної допомоги – так званими «клієнтами». Фактично «клієнт» і «сервер» взаємодіють між собою через комп'ютерну мережу за допомогою мережевих протоколів. «Сервери», отримують від «клієнтів» запити і надають їм свої ресурси у вигляді даних (інформації) та діагностико-консультативної допомоги в реальному часі, наприклад, через мережу інтернет.

При цьому процес надання офтальмологічної допомоги складається з низки етапів, які можливо формалізувати та алгоритмізувати наступним чином. Первинне звернення (поточний офтальмологічний огляд) особи до пункту первинної офтальмологічної допомоги (сімейного лікаря), збір попереднього анамнезу та введення його до бази даних для попереднього офтальмологічного аналізу, за необхідності дистанційне звернення через мережу до обласного (регіонального) центру високоспеціалізованої офтальмологічної допомоги та проведення (за необхідності) консультацій із спеціалістами центру. Фіксація звернення та скарг пацієнта, із зазначенням прийнятих заходів, у відповідному електронному протоколі первинного звернення. Прийняття рішення щодо лікування за місцем звернення або відправлення для високоспеціалізованої діагностики та лікування до обласного (регіонального) центру. Обстеження в обласному (регіональному)

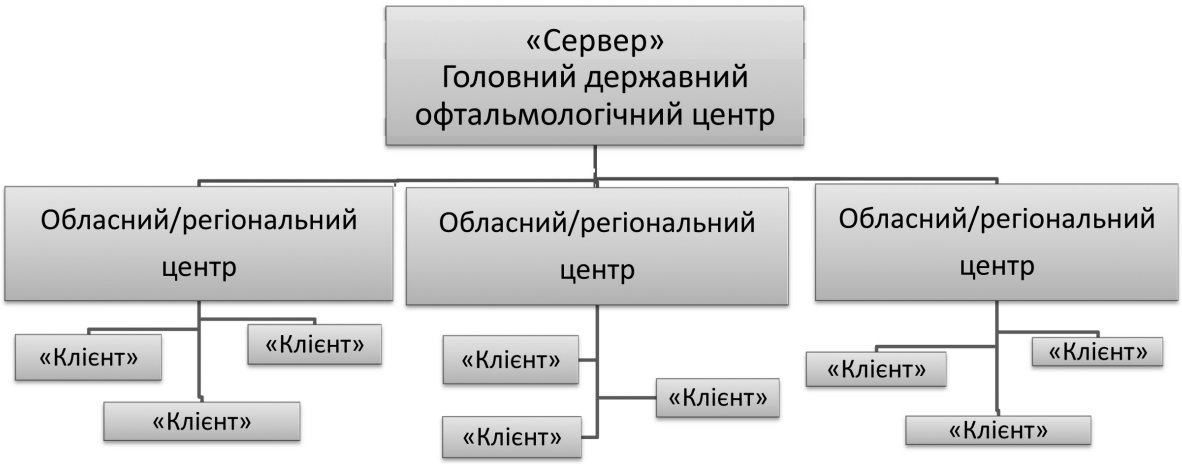

Схема 1. Ієрархічна кіберінформаційна система

центрі за дистанційної участі (за необхідності) фахівців головного державного офтальмологічного центру, прийняття рішення щодо лікування на місці або відправлення для високоспеціалізованої діагностики та лікування до головного державного офтальмологічного центру. Обстеження та діагностика в головному державному офтальмологічному центрі, прийняття рішення про подальші дії стосовно лікування та реабілітації пацієнта. Інформаційний супровід пацієнта та дій лікарів на всіх етапах офтальмологічної допомоги пацієнту.

Обговорення

Принципи практичного застосування. ВВ цілому, кіберофтальмологічна система держави на організаційному і технічному рівнях може складатися з базової та розширеної, на основі державно-приватного партнерства, кіберофтальмологічних мереж держави, які об'єднують в єдине ціле пункти первинної спеціалізованої офтальмологічної допомоги, обласні (регіональні) та головний державний центр високоспеціалізованої офтальмологічної допомоги оснащені відповідними, для кожного рівня, електронними, кіберфізичними та інформаційними системами (для проведення діагностики та лікування) та інформаційно-комунікаційними і комп'ютерними системами (для забезпечення сталого функціонування кіберофтальмологічної системи) з відповідним програмним забезпеченням, а також системи управління, баз даних, медичного та ІТ персоналу. Її особливістю є поєднання, за єдиним замислом і планом, відповідно до цілей і задач надання своєчасної і якісної офтальмологічної допомоги всім верствам населення на всій території України, усіх функціональних і структурних елементів, з яких вона складається, у єдину складну кібернетичну систему, яка забезпечує їх досягнення і вирішення. З точки зору теорії систем вона є складною багаторівневою ієрархічною системою з її функціями, елементами та взаємозв'язками за рівнями медичної допомоги.

Найпершим і одним з найбільш важливих кроків на шляху збереження повноцінного зору в офтальмології є своєчасна і точна діагностика. На цей час вона виконується із застосування великої кількості як загальнодіагностичних так і вузькоспеціалізованих електронних інформаційно-кібернетичних діагностичних засобів з можливістю отримання та збереження даних діагностики в цифровому вигляді. Це забезпечує можливість формування та використання електронних карт пацієнтів (ЕКП), розробки і впровадження системи "e-health" в галузі офтальмології.

Впровадження широкого спектру діагностичної апаратури при різній патології ока зробило істотний внесок в розуміння патогенетичних аспектів захворювання, в розробку принципово нових методів профілактики, заклало основи нових підходів до лікування та оцінки його ефективності. Висока точність, неінвазивність, об'єктивність, можливість архівування інформації сприяють постановці діагнозу на доклінічному рівні і на ранніх клінічних стадіях захворювання, визначаючи більш своєчасні показання до лікування та оцінки його ефективності, надають можливість автоматизованого ведення електронних карт пацієнтів та їх збереження у відповідних базах даних, як на місцях так (за необхідності) і в головному офтальмологічному центрі.

Після реалізації збору діагностичних даних на місцях виникає необхідність в технічно оснащеному центрі з зчитування, сортування та інтерпретації цих даних. Збір інформації про пацієнта, що має відношення до його здоров'я, правильне її структурування, інтерпретація та застосування в діагностиці неминуче веде до своєчасності надання допомоги і персоналізації лікування пацієнта. На сьогоднішній день цим активно займаються такі корпорації-гіганти як Google і IMB [9, 10]. При цьому виникає проблема обробки великих масивів офтальмологічних даних. Якщо вести мову про вузькоспеціалізоване застосування поняття «великі дані» в офтальмології, варто зазначити наступне. За відсутності системи, яка пропонується в рамках напряму кіберофтальмології та її неможливості працювати з великими масивами даних (для кіберофтальмології це питання є критично важливим), вирішення питання про направлення пацієнта в медичні заклади високоспеціалізованого рівня для сімейного лікаря і фахівця-офтальмолога, які працюють на рівні надання первинної допомоги найчастіше є складним і має високі ризики в прийнятті рішення стосовно своєчасності і правильності направлення пацієнта в медичні заклади високоспеціалізованого рівня. При цьому є достатньо велика частина пацієнтів, які направляються у центри високоспеціалізованої офтальмологічної допомоги або занадто пізно або надсилаються необґрунтовано. Це призводить, в першому випадку до зниження ефективності лікування, а в другому - до невиправданих часових і ресурсних витрат. З впровадженням в офтальмологічну практику досвіду застосування технологій обробки великих масивів даних в медицині, ми прагнемо ефективно оптимізувати роботу офтальмологів на місцях і забезпечити пацієнту максимально ефективну, якісну і своєчасну медичну допомогу. Для цього можливо застосовувати вже існуючі універсальні технології, які допоможуть офтальмологам в режимі дистанційного доступу до регіонального або головного офтальмологічного центру збору, обробки, аналізу, збереження та обміну інформації (ЦЗОАЗОІ) фіксувати дані необхідні, для діагностики офтальмологічної патології. Ці методи дослідження повинні бути доступними, однаковими за своїми технічними характеристиками для всіх офтальмологічних клінік і кабінетів і мати можливість оцифровки результатів. Варто зазначити, що для реалізації цього кроку важливим моментом є кваліфікація лікаря-офтальмолога і його готовність навчатися новим методам кібер-діагностики. Разом з цим не варто нехтувати і мобільними гаджетами, і додатками для смартфонів зі збору

суб'єктивних і об'єктивних даних, які будуть доступними і зрозумілими для пацієнтів [13].

Далі, необхідно забезпечити єдиний стандарт для інтерпретації отриманих даних. Максимально правильне рішення в цьому випадку – застосування вже наявного і створення нового програмного забезпечення для збору, обробки, аналізу, сортування, узагальнення, розшифровки та інтерпретації даних. При цьому слід мати на увазі, що на теперішній час є прецеденти більш точної постановки діагнозу штучним інтелектом в порівнянні з лікарем [12], хоча штучний інтелект поки що не може повністю замінити хорошого фахівця з розвиненим клінічним мисленням. На допомогу лікарю в ЦЗОАЗОІ необхідно мати і фахівця, який володіє навичками обслуговування штучного інтелекту і програмного забезпечення по роботі з великими об'ємами даних. Це суттєво підвищить ефективність вирішення питання впровадження технологій кіберофтальмології для своєчасної і якісної діагностики офтальмологічної патології. З чисто технічної сторони - необхідно забезпечити ЦЗОАЗОІ якісними сенсорними та кіберінформаційними засобами і системами для збору, обробки та зберігання зібраних даних, а також швидким інтернет-з'єднанням для діагностики on-line. Фактично, в сучасних і прогнозованих майбутніх умовах, процеси, які супроводжують діяльність в будь-якій складовій офтальмології та в галузі в цілому, включають спільну роботу та взаємодію складної системи взаємопов'язаних складових різної природи походження (наприклад, технічних, біологічних, соціальних та ін.), персоналу та кіберфізичних систем здатних сприймати, запам'ятовувати, переробляти, перетворювати і обмінюватися інформацією відповідно визначеній меті під комплексним узгодженим керуванням (що є класичними ознаками кібернетичної системи і медичної кібернетики в рамках офтальмології). Це в свою чергу обумовлює формування і розвиток окремого напряму офтальмології, який досліджує закономірності та забезпечує здійснення цих процесів.

За останні 30-40 років інформаційно-комунікаційні та кіберфізичні технології змінили життя і основоположні принципи роботи цілих галузей. Офтальмологія є галуззю, де ці технології вже стають системоутворюючими і життєвонеобхідними для надання кваліфікованої офтальмологічної допомоги всім верствам населення в сучасних соціоекономічних умовах. Основними тенденціями в області кіберофтальмології є забезпечення можливості своєчасно і якісно надавати необхідну офтальмологічну допомогу населенню на всій території держави, отримувати доступ до необхідної інформації та обмінюватися нею в будь-який час і в будь-якому місці з можливістю оперування та опрацювання великих об’ємів даних з використанням в тому числі хмарних технологій (нескінченно масштабоване зберігання і обробка даних, гнучко-відповідно до потреб) із забезпеченням всіх необхідних заходів безпеки даних та кібербезпеки в цілому.

Таким чином, зараз ми знаходимося на порозі епохальних змін в медицині та, зокрема – офтальмології. Слід здійснювати подальше системне впровадження кіберофтальмології в рамках розвитку сучасних високих технологій та їх використання в медицині для того, щоб цей напрямок став об'єктивною реальністю і самостійним системоутворюючим напрямком, невід'ємною складовою частиною офтальмології та мав всі підстави для подальшого інтенсивного розвитку. Її дослідження і розвиток сприяють наближенню висококваліфікованого офтальмологічного супроводу та зростанню ефективності лікування офтальмопатології у всіх верств населення. Але її становлення і ефективний розвиток залежать від впливу ряду об’єктивних та суб’єктивних причин. Так само, як витоки телемедицини пов’язують із застосуванням в 1935 році в м.Львові, професорами Мар’яном Франке і Вітольдом Ліпинським телелектрокардіографії (Polska Gazeta Lekarska (№ 27, 1937 рік, с.15), так впровадження і розвиток кіберофтальмології, сподіваємося, також буде пов’язано з нашою країною.

При цьому, все більш актуальною стає розробка засобів для категоризації, інтерпретації, делегування і відстеження даних, а кіберзагрози ускладнюють обмін даними та роботу з ними, вимагаючи забезпечення їх безумовного і надійного захисту.

В цілому в роботі проаналізовано аспекти становлення та основні тенденції розвитку телемедицини, кібермедицини, нейрокомп'ютерних інтерфейсів і кіберінформаційних елементів офтальмології в контексті формування нового напряму офтальмології - кіберофтальмології. Кіберофтальмологія - невід'ємна складова частина і самостійний напрям офтальмології, що представляє собою теорію і практику використання ідей, методів і технічних засобів електронних, інформаційних, телекомунікаційних, робототехнічних, кіберфізичних, сенсорних технологій, технологій роботи з великими масивами даних, штучного інтелекту та кібернетики для вивчення анатомії, фізіології і захворювань ока, а також розробки і застосування методів лікування, протезування і профілактики захворювань ока, обміну медичною інформацією рішення клінічних, організаційно-адміністративних, превентивних, навчальних і наукових завдань для підвищення ефективності та якості забезпечення надання медичної допомоги пацієнту. Таким чином, в роботі представлені базовані на результатах системних аналізу та досліджень основні етапи та перспективи розвитку кіберофтальмології, в цифровому світі, який змінюється.

Література

1. Державна служба статистики України. Статистичний збірник. Заклади охорони здоров'я та захворюваність населення україни у 2017 році. Київ, 2018
2. Зоровий нейропротез, сторінка вікіпедії https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97% D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%B7
3. Якушенко Л. М. Актуальні проблеми соціального захисту людей з інвалідністю. – Аналітична записка Серія «Соціальна політика». 2019. – №9.
4. **Chun D.W.** Visual prosthetic device for bilateral end–stage macular degeneration / D. W. Chun, J. S. Heier, M. B. Raizman // Expert Review of Medical Devices. – 2005. – Vol.2(6). – P. 657–665.
5. **Farandos N.M.** Contact Lens Sensors in Ocular Diagnostics / N.M. Farandos, A.K. Yetisen [et al] // Advanced Healthcare Materials. — 2014. – Vol.4 (6). – 792–810.
6. **Fernandes R. A.** Artificial vision through neuronal stimulation / R. A. Fernandes, B. Diniz, R. Ribeiro // Neuroscience Letters. – 2012. – Vol. 519(2). – P. 122–128.
7. **Miyawaki Y.** Visual Image Reconstruction from Human Brain Activity using a Combination of Multiscale Local Image Decoders / Y. Miyawaki, H. Uchida, O. Yamashita, [et al.] // Neuron. – 2008. –Vol. 60 (5). –P. 915–929.
8. **Rush A.D.** A power and data link for a wireless-implanted neural recording system / A. D. Rush, P. R. Troyk // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 2012. – Vol.59(11). –P. 3255–3262.
9. **Santhanam G.** A high–performance brain–computer interface / G. Santhanam, S.I. Ryu., Yu B.M. [et al.] // Nature Letters. –2006. – Vol.442. – P. 195–198.
10. **Vidal J.** Toward Direct Brain–Computer Communication / Vidal J. // Annual Review of Biophysics and Bioengineering. – 1973. – Vol. 2. – P. 157–180.
11. **Wolpaw, J. R.** An EEG–based brain–computer interface for cursor control / Wolpaw, D.J. McFarland, G.W. Neat, [et al.] // Electroencephalography & Clinical Neurophysiology.– 1991. – Vol 78 (3). – P. 252–259.
12. **Wolpaw J.R.** Brain–Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting / J.R. Wolpaw, N. Birbaumer, W. J. Heetderks, [et al.] // IEEE transactions on rehabilitation engineering. – 2000. – Vol. 8(2). – P. 164–173.
13. **Wolpaw J.R.** An EEG-based brain-computer interface for cursor control / J.R. Fernandes R. A. Artificial vision through neuronal stimulation / R. A. Fernandes, B. Diniz, R. Ribeiro, [et al.] // Neuroscience Letters. – 2012. – Vol.519(2). – P. 122-128.

Автори засвідчують про відсутність конфлікту інтересів, які б могли вплинути на їх думку стосовно предмету чи матеріалів, описаних та обговорених в даному рукопису.

Поступила 15.06.2020

Стратегии развития киберофтальмологии

Даник Ю.Г., Зборовська О.В., Пасєчнікова Н.В.

Институт информационных технологий; Киев (Украина)

ГУ «Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В.П. Филатова НАМН Украины»; Одесса (Украина)

***Актуальность**. Улучшение и приближение высококвалифицированного офтальмологического сопровождения и эфективность лечения офтальмопатологии всех слоев населения во всех уголках Украины – актуальная задача не только ведомственного, но и государственного уровня.*

***Цель.** Дать научное, теоретико-прикладное обоснование формирование нового направления в офтальмологии - киберофтальмологии.*

***Результаты.** Показана актуальность исследуемой проблемы, ее важность в свете развития теле- и кибермедицины, расширение использования информационных и кибертехнологий и внедрение искусственного интеллекта в медицину в целом и в сферу офтальмологии в частности.*

***Вывод.** Киберофтальмология становится объективной реальностью и самостоятельным направлением, неотъемлемой составляющей частью офтальмологии. Ее исследование и развитие способствует приближению высококвалифицированного офтальмологического сопровождения и росту эфективности лечения офтальмопатологии у всех слоев населения*

***Ключевые слова:** киберофтальмология, кибермедицина, телемедицина, искусственный интеллект, нейрокомпьютерный интерфейс, кибербезопасность*