

ІСТОРІЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНУ

Тетяна БІРЮКОВА, Олена ОЛАР,

Володимир ФЕДІВ, Катерина ГАЛУШКО,

ВДНЗ України «Буковинський державний медичний університет»

Чернівці (Україна),

tanokbir@ukr.net, elena.olar@ukr.net, vfediv@ukr.net, katrin512@meta.ua

HISTORY OF DEVELOPMENT OF LASER TECHNOLOGIES IN MEDICINE

Tatyana BIRYUKOVA, Olena OLAR,

Volodymyr FEDIV, Kateryna GALUSHKO,

Higher state educational establishment of Ukraine

"Bukovinian State Medical University",

ORCID: 0000-0003-4112-7246, Researcher ID: C-3855-2017

ORCID: 0000-0002-2467-6932, Researcher ID: C-3084-2017

ORCID: 0000-0002-5033-1356, Researcher ID: D-1027-2017

ORCID: 0000-0003-3284-1683, Researcher ID: D-2301-2017

Бирюкова Т.В., Олар Е.И., Федів В.И., Галушко К.С. История внедрения лазерных технологий в медицине. В статье рассмотрены основные исторические этапы развития лазерных технологий и их внедрения в медицине на основе достижений физики. **Цель исследования.** В статье рассмотрены исторические этапы внедрения лазерных технологий в медицине. Приведены основные направления развития лазерной медицины, а также лазеров, используемых в офтальмологии, косметологии, хирургии, стоматологии. **Методы исследования:** описательный, методика классификации и систематизации для анализа, синтеза и обобщения исторических данных о развитии и внедрения в медицину лазеров различных типов. **Научная новизна** заключается в систематизации исторических данных об открытии квантовых генераторов и их использование в медицинских целях. **Выводы:** применение лазеров в медицине оправдано, экономически выгодно, является более совершенной альтернативой существующим методам лечения и диагностики, позволяет предложить пациенту большой перечень неинвазивных, фактически безболезненных и безопасных для здоровья процедур, соответствующих высоким клиническим стандартам оказания медицинской помощи.

Ключевые слова: лазер, длина волны, луч, мощность, скальпель, медицина, излучение, диагностика, лечение.

Вступ. Слово «лазер» - це акронім від англійського Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, що у перекладі означає «підсилення світла шляхом вимушеної емісії випромінювання». Лазер - це пристрій, що створює і підсилює вузький, інтенсивний промінь когерентного світла, а залежно від функцій, які він виконуватиме, лазери бувають різними за розмірами і за технічними характеристиками.

Цікаво, що людська уява передбачала появу лазерів. Так, у літературі вперше поняття «тепловий промінь» використав англійський письменник-фантаст Герберт Уеллс у романі «Війна світів» (1898 р.), в якому розповідається про використання прибульцями-марсіанами високоенергетичних смертоносних «теплових променів», для знищення всього живого на планеті Земля. У 1924 р. відомий письменник Михайло Булгаков у своїй фантазмагоричній повісті «Фатальні яйця» розповідає про результат дії яскраво-червоного «променя життя» на яйцеклітину і дейтероплазму. Один із героїв повісті – Володимир Ігнатійович Персіков – винахідник спеціальної камери, виготовленої із лінз та дзеркал. А в повісті Олексія Толстого «Гіперболоїд інженера Гаріна» (1927 р.) приведено креслення апарата, що створює висконаправлений промінь світла надвеликої потужності, здатного розрізати і нищити будь-який матеріал, тобто не тільки конструктивно, але і функціонально схожий на лазер. Зброя, схожа на пістолет, яка випускає «тепловий промінь», у 30-50-х роках ХХ століття отримала популярність у коміксах, а пізніше і в телесеріалах за участю героя Флеша Гордона. У даний час цю зброю можна ідентифікувати як надпотужні лазери.

Історіографія питання. Наведемо деякі історичні

факти щодо створення лазера. У 1916 р. А. Ейнштейном передбачено існування фізичної основи функціонування лазера, а саме явища вимушеного випромінювання, яке отримало теоретичне обґрунтування в рамках квантової механіки в роботах П. Дірака (Велика Британія) в 1927-1930 роках. Експериментальне підтвердження існування вимушеного випромінювання було доведено Р. Ладенбургом (Німеччина) і Г. Копферманном (Німеччина) у 1928 р. У 1940 р. В. Фабрикантом і Ф. Бутаєвою (СРСР) запропонована можливість використання вимушеного випромінювання для підсилення електромагнітного випромінювання. Роботи А. Кастлера, Ж. Бросселя і Ж. Вінтера (Франція), Ч. Таунса, Дж. Гордона, Г. Цайгера (США) увінчалися створенням першого мікрохвильового генератора - мазера. У 1960 р. Т. Мейман (США) продемонстрував роботу першого оптичного квантового генератора – лазера, використавши кристал штучного рубіна. У 1963 р. Ж. Алфьоров (СРСР) і Г. Кремер (Німеччина), які стали Нобелівськими лауреатами з фізики 2000 р. за свої відкриття, розробили теорію напівпровідникових гетероструктур, на основі яких було створено безліч різних сучасних лазерів. Не можна не відзначити вагомий внесок фізиків О. Прохорова та М. Басова (СРСР), Нобелівських лауреатів з фізики 1964 року, у вивченні та практичному дослідженні принципів квантового підсилення та генерації.

У 1962-1963 роках одночасно у СРСР та США створюються перші напівпровідникові лазери. У 1964 р. також розроблено та випробувано аргоновий іонний лазер неперервної дії з випромінюванням у синьо-зеленій ділянці спектра (довжина хвилі 488 нм), яка є характерною ділянкою поглинання гемоглобіну.

У 1964 році лікар Л. Голдман використав рубіновий лазер для руйнування волосяних фолікулів, що поклато початок масштабному застосуванню лазерних технологій в естетичній медицині. З появою рубінового лазера з'явилися перші позитивні результати в офтальмології. З'явилися лазерні системи для лікування захворювань сітківки ока. При застосуванні лазера енергія випромінювання перетворюється в теплову з підвищенням температури приблизно до 65 °С, що призводить до денатурації білка з утворенням коагуляту, чим забезпечується злипання відшарованої сітківки та судинної оболонки. Одним із піонерів у галузі лазерної офтальмології був американець Ф. Есперанс, який працював в Інституті ока (Нью-Йорк, США). Перше випробування відбулося 14 лютого 1968 р. - була зроблена спроба усунути більмо на зіниці у молодій дівчини за допомогою аргонного лазера. Операція виявилася успішною, і у дівчини повністю відновився зір. Аргонний лазер, і сьогодні залишається одним із основних інструментів у офтальмології.

У 1964 році в лабораторії Bell (США) був розроблений неодимовий лазер (Nd:YAG - алюмоітрієвий гранат, легований неодимом) і вуглекислотний лазер (CO₂).

Випромінювання вуглекислотного лазера (1060 нм), що працює у неперервному режимі, добре поглинається м'якими тканинами людини, що сприяло широкому використанню його у хірургії як скальпеля. Використання цього лазера мінімізувало крововтрати. У 70-х роках ХХ століття вуглекислотні лазери знайшли широке застосування в госпіталях при інститутах у США. Сферою застосування для лазерних скальпелів стали також гінекологія і отоларингологія.

У тому ж 1964 році Голдманом та ін. була зроблена спроба застосування рубінового лазера для хірургічних маніпуляцій у порожнині рота і лікування карієсу, яка привернула увагу всього світу. У 1967 році Гордоном була зроблена спроба препарування каріозної порожнини і хірургічного лікування карієсу за допомогою рубінового лазера на живих зубах, що призводило до пошкодження пульпи зуба. Подібні дослідження з вуглекислотним лазером також зіткнулися з цією проблемою. Для мінімізації теплового ефекту почали використовувати імпульсні лазери. Створення імпульсного ербієвого лазера (Er:YAG-алюмоітрієвий гранат, легований ербієм), забезпечило позитивні результати у збереженні здорових тканин зуба.

Поява у 1969 першого імпульсного лазера на барвниках, а в 1975 році першого ексімерного лазера ознаменувала новий етап використання лазерів. Ці лазери могли працювати в імпульсному режимі і дозволяли здійснювати селективний вплив, не пошкоджуючи навколишні тканини. Поява перших імпульсних лазерів на барвниках сприяла зростанню популярності застосування лазерів у косметології, оскільки з допомогою лазерних систем можна видаляти капілярні гемангіоми і вроджені плями. Згодом поява лазерів з модуляцією добротності (Q-switched laser) зробила можливим ще й видалення татуювань.

У 80-х роках лазери (здебільшого вуглекислотні і аргонні, які застосовувалися в хірургії та офтальмології) широко впроваджуються у практичну охорону здоров'я в США. Недоліками лазерів того часу були неперервність

випромінювання, що виключало можливість високоточної роботи, оскільки було теплове ушкодження тканин навколо оброблюваної зони. Тому успіх застосування лазерних технологій того часу серйозно залежав від навиків і досвіду роботи лікаря.

На початку 90-х років були розроблені і впроваджені технології сканування, точність лазерної обробки тепер могла контролюватися комп'ютером. З'явилася можливість проводити лазерне шліфування шкіри (лазерний пілінг), що значно сприяло популярності лазерної косметології і лазерної хірургії.

Виклад основного матеріалу. У сучасній офтальмології лазер використовується для корекції зору, у лікуванні глаукоми, катаракти, тощо. Широкий спектр біологічної дії лазерного випромінювання визначається довжиною хвилі¹ і дозою². Наприклад, аргонний лазер, синьо-зелене випромінювання якого добре поглинається гемоглобіном, ефективний при лікуванні судинних патологій (діабетичної ретинопатії, тромбозів вен сітківки та ін.), а досить високий рівень поглинання (порядку 70%) меланіном дозволяє використовувати його для впливу на пігментовані утворення та їх руйнування³. Криптоновий лазер, який випромінює світло в жовтому і червоному діапазонах, які максимально поглинаються пігментним епітелієм і судинною оболонкою, не викликаючи пошкодження нервового шару сітківки, дозволяє здійснювати коагуляцію центральних відділів сітківки. Діодний лазер незамінний у лікуванні різних видів патології макулярної області сітківки, так як ліпофусцин не поглинає його випромінювання. Випромінювання діодного лазера (810 нм) проникає в судинну оболонку ока на більшу глибину, ніж випромінювання аргонного і криптонового лазерів. Оскільки його випромінювання відбувається в інфрачервоному діапазоні, пацієнти не відчують сліпучого ефекту під час коагуляції⁴. Неодимовий лазер на алюмоітрієвому гранаті (Nd:YAG-лазер) з випромінюванням в ближньому ІЧ-діапазоні (1,06 мкм), що працює в імпульсному режимі, застосовується для точних внутрішньоочних розрізів, розсічення вторинних катаракт і формування зіниці. Низькоенергетичні He-Ne-лазери (632,8 нм), які працюють у неперервному режимі випромінювання, володіють біостимулюючою дією. Ексімерні лазери, які випромінюють в УФ-діапазоні (довжина хвилі - 193-351 нм) дозволяють видаляти певні поверхневі ділянки тканини з точністю до 500 нм, використовуючи процес фотоабляції (випаровування).

Висока потужність лазерного випромінювання дозволяє використовувати його як скальпель у хірургії. Лазерний промінь направляють на тканину за допомогою світловода. Промінь фокусується в точку з діаметром порядку долі нанометра. Розтин відбувається точно і швидко з мінімальною крововтратою внаслідок практично миттєвої коагуляції білків на місці розтину і закриття просвіту кровоносних судин через збільшення температури тканини в результаті поглинання нею лазерного випромінювання. Також властивості лазерного випромінювання дозволяють використовувати його як лазерний «скальпель» у нейрохірургії. Патологічне вогнище видаляють без механічного контакту з тканинами нервової системи. З допомогою сфокусованого до мінімуму лазерного променя

¹ Shahno E.A. «Fizicheskie osnovy primeneniya lazerov v meditsine» [Physical bases of application of lasers in medicine], SPb, NIU ITMO, 2012, 129 p.

² Serebryakov V.A. «Opornyiy konspekt lektsiy po kursu «Lazernye tehnologii v meditsine» [A basic summary of lectures on the course «Laser technologies in medicine»], SPb: SPbGU ITMO, 2009, 266 p.

³ Geynits A.V., Moskvina S.V. «Lazernaya terapiya v kosmetologii i dermatologii» [Laser therapy in cosmetology and dermatology], M.: Tver: Izdatelstvo «Triada», 2010, 400 p.

⁴ Kopaieva V.H. «Ochni khvoroby» [Eye diseases], 2002, 560 p.

зшивають судини мозку діаметром, меншим від 0,5 мм, як на поверхні мозкової тканини, так і в глибині, що неможливо засобами традиційної хірургії. У косметології лазери з довжиною хвилі 1450 нм застосовують для лікування вугрового висипу, 800 нм - з метою проведення епіляції, 694 нм (що відповідає максимуму поглинання меланіну) - для видалення родимих та інших пігментних плям. Завдяки керованості в часі, точності, площі та конфігурації, обмеженості впливу, безпеці існує можливість легко регулювати час і глибину впливу з урахуванням віку, вологості, фототипу шкіри та інших особливостей пацієнта. Впродовж долей секунди оброблювана ділянка нагрівається до 300 - 400° С, в результаті чого вона випаровується разом з водою. Ця властивість використовується, наприклад, при процедурі шліфування шкіри або фототермолізу.

Сьогодні область медичного застосування лазерів - це хірургія, офтальмологія, стоматологія, нейрохірургія, косметологія, урологія, гінекологія, кардіологія і т. ін. Можна собі уявити, що колись лазер був лише непоганою альтернативою скальпелю, а сьогодні з його допомогою можна видаляти ракові клітини, робити високоточні операції на різних органах, діагностувати серйозні захворювання на ранніх стадіях. Зараз лазерні технології в медицині направлені на комбіновані методи лікування, коли поряд з лазерною терапією застосовують інші методи. Наприклад, у лікуванні гнійних захворювань був розроблений комплекс заходів, який включає лазерну обробку, використання антиоксидантів і різних біологічно активних матеріалів.

Висновки. З моменту створення лазера постійно вдосконалюються методики, які використовують його як джерело випромінювання з особливими характеристиками, функціонально розвивається науково-технічний і медичний напрямки - лазерна медицина. З впевненістю можна сказати, що застосування лазерів у медицині виправдане, економічно вигідне, є досконалішою альтернативою існуючим методам лікування та діагностики, дозволяє запропонувати пацієнтові великий перелік неінвазивних, фактично безболісних і безпечних для здоров'я процедур, які відповідають високим клінічним стандартам надання медичної допомоги.

Biryukova T.V., Olar O.I., Fediv V.I., Galushko K.S. History of development of laser technologies in medicine. The article deals with the main historical stages of laser technologies development and its application in medicine on the basis of physics achievements. **The Purpose of the Study.** The article deals with the historical stages of the introduction of laser technologies in medicine. The main directions of laser medicine development, as well as lasers used in ophthalmology, cosmetology, surgery, stomatology, etc. are discussed. **Research methods:** descriptive, classification and systematization techniques for analysis and synthesis of historical data in the development and application in medicine of different types of lasers. Fundamentals of the laser theory were laid in basic principles of physics, first formulated in 1917 by A. Einstein. In 1952, N. G. Basov, A. M. Prokhorov (USSR) and independently of them Ch. Townes (USA), proposed a principle based on the use of induced (stimulated) radiation. This made it possible to create lasers. N. G. Basov, A. M. Prokhorov and Ch. Townes were awarded the Nobel Prize in 1964 for these outstanding works in the field of quantum electronics. Scientific research of lasers application in the field of medicine started in the beginning of the 60s of the XX century as it were invented and continue recently, taking into account the wide spectrum of biological effects of laser radiation (general - on different systems and internal organs of the whole organism and local - on cellular elements tissue). The first successful experience of lasers using in medicine became possible after invention of a ruby laser.

Later successes in the field of ophthalmology and surgery became possible due to the invention of argon and CO₂ lasers. Laser radiation today provides an opportunity to provide highly effective multi-factor therapy and diagnosis of various diseases. **The scientific novelty** consists in systematization of historical data in the discovering of quantum generators and its using for medical purposes. The article presents the main directions of development of laser medicine recently and the lasers using in ophthalmology, cosmetology, surgery, dentistry, etc. **Conclusions:** the use of lasers in medicine is justified, economically advantageous, is an alternative to existing methods of treatment and diagnostics, allows to offer to the patients a wide list of non-invasive, actually painless and safe health procedures that corresponds to high clinical standards of medical care.

Key words: laser, wavelength, ray, power, scalpel, medicine, radiation, diagnosis, treatment.

Бірюкова Тетяна – кандидат технічних наук, доцент, асистент кафедри біологічної фізики та медичної інформатики, Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський державний медичний університет». Автор понад 50 наукових, навчальних, навчально-методичних друкованих робіт. Коло наукових інтересів: біологічна фізика, медична фізика, медицина, штучний інтелект, освіта.

Tatyana Biryukova – Ph.D., Associate Professor, Assistant of Biological Physics and Medical Informatics Department, Higher state educational establishment of Ukraine «Bukovinian State Medical University». He is the author of more than 50 scientific, educational, educational and methodical printed works. Research Interests: biological physics, medical physics, medicine, artificial intelligence, education.

Олар Олена – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри біологічної фізики та медичної інформатики, Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський державний медичний університет». Автор понад 100 наукових, навчальних, навчально-методичних друкованих робіт. Коло наукових інтересів: лазерна поляриметрія біологічних тканин, нанотехнології у медицині, освіта.

Olar Olena – Ph.D., Associate Professor of Biological Physics and Medical Informatics Department, Higher state educational establishment of Ukraine «Bukovinian State Medical University». He is the author of more than 100 scientific, educational, educational and methodical printed works. Research Interests: laser polarimetry of biological tissues, nanotechnology in medicine, education.

Федів Володимир – доктор фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри біологічної фізики та медичної інформатики, Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський державний медичний університет». Автор понад 150 наукових, навчальних, навчально-методичних друкованих робіт. Коло наукових інтересів: нанотехнології, біофізика, матеріалознавство.

Volodymyr Fediv – Doctor of Sciences, Associate Professor, Head of Biological Physics and Medical Informatics Department, Higher state educational establishment of Ukraine «Bukovinian State Medical University». He is the author of more than 150 scientific, educational, educational and methodical printed works. Research Interests: nanotechnology, biophysics, materials science.

Галушко Катерина – кандидат фізико-математичних наук, асистент кафедри біологічної фізики та медичної інформатики, Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський державний медичний університет». Автор 7 статей в фахових журналах Scopus, 15 тез наукових фахових конференцій. Коло наукових інтересів: оптика, лазерна фізика.

Kateryna Galushko – Ph.D., Assistant of Biological Physics and Medical Informatics Department, Higher state educational establishment of Ukraine «Bukovinian State Medical University». Author of 7 articles in Scopus's professional journals, 15 theses of scientific professional conferences. Research Interests: optics, laser physics.

Received: 24.10.2017

Advance Access Published: November, 2017

© T. Biryukova, O. Olar, V. Fediv, K. Galushko, 2017

⁵ Birich T.A. «Oftalmologiya: uchebnyk», Birich T.A., Marchenko L.N., Pekina A.Yu. [Ophthalmology], Minsk: Vyish. shk., 2007, 555 p.