TIBBIYOTDA OPTIK KVANT GENERATORLARINING QO‘LLANILISHI

Yaxshiboyeva Lobar Qahramon qizi

Samarqand davlat tibbiyot universiteti pediatriya fakulteti talabasi

Abduraxmonova Xumora Qahramon qizi

Samarqand davlat tibbiyot universiteti pediatriya fakulteti talabasi

Ilmiy rahbar: **Sharipov Sharofiddin Arslonqul o‘g‘li**

Samarqand davlat tibbiyot universiteti “Raqamli texnologiyalar va bioinjineriya” kafedrasi assistenti.

Annotatsiya: Maqolaning maqsadi tibbiyotda ishlatiladigan optik kvant generatorlarining fizik-texnik ko‘rsatkichlarini biologik to‘qimalar bilan o‘zaro ta’siri va klinik vazifalari nuqtayi nazaridan qiyosiy baholashdan iborat. Ilmiy manbalarning mavzuli-qiyosiy tahlili orqali CO_2, Nd:YAG, Er:YAG, eksimer va diodli lazerlar to‘lqin uzunligi, asosiy yutuvchi xromoforlari, to‘qimaga ta’sir chuqurligi va amaliy cheklovlari bo‘yicha solishtirildi. Tahlil natijasida suvda yuqori yutiladigan infraqizil nurlanish yuzaki ablatsiya uchun, 1064 nm atrofidagi nurlanish esa ayrim vazifalarda chuqurroq termik ta’sir uchun mosligi, 193 nm eksimer nurlanishi shox pardani aniq fotoablatsiya qilish imkonini berishi ko‘rsatildi. Klinik samaradorlikni faqat lazer turi yoki quvvati bilan izohlash yetarli emas: to‘lqin uzunligi, energiya zichligi, impuls davomiyligi, nishon xromofori va xavfsizlik talablari birgalikda baholanishi zarur. Natijalar laboratoriya yoki klinik sinov ma’lumotlari emas, adabiyotlar asosidagi qiyosiy xulosalardir.

Kalit so‘zlar: optik kvant generatori, lazer, majburiy nurlanish, kogerentlik, fototermik ta’sir, to‘lqin uzunligi, selektiv fototermoliz, fotoablatsiya, klinik qo‘llanilish.

APPLICATION OF OPTICAL QUANTUM GENERATORS IN MEDICINE

Yakhshiboyeva Lobar Kahramon kizi

Student of Faculty of Pediatrics, Samarkand State Medical University

Abdurakhmonova Khumora Kahramon kizi

Student of Faculty of Pediatrics, Samarkand State Medical University

Scientific supervisor: **Sharipov Sharofiddin Arslankulovich**

Assistant of the Department of "Digital Technologies and Bioengineering" of Samarkand State Medical University.

Abstract: This narrative comparative review examines the physical and technical parameters of medical lasers in relation to laser–tissue interactions and clinical applications. Published literature was comparatively analyzed for CO_2, Nd:YAG, Er:YAG, excimer and diode lasers, focusing on wavelength, principal absorbers, relative interaction depth, applications and limitations. Water-absorbing infrared lasers are particularly suitable for superficial ablation, whereas 1064-nm systems can provide deeper thermal effects in selected contexts; 193-nm excimer radiation enables precise corneal photoablation. The comparison indicates that laser selection should not be based on device type or output power alone. Wavelength, fluence, pulse duration, target chromophore and safety constraints must be considered together. These findings are derived from a literature-based comparative analysis, not from original clinical experiments.

Keywords: optical quantum generator, laser, stimulated emission, coherence, photothermal effect, wavelength, selective photothermolysis, photoablation, clinical applications.

Kirish. Zamonaviy tibbiyotda diagnostika va davolash usullarining aniqligini oshirish ko‘p jihatdan optik texnologiyalarning rivojlanishi bilan bog‘liq. Optik kvant generatori (OKG), ya’ni lazer, ma’lum to‘lqin uzunligidagi elektromagnit nurlanishni boshqariladigan tarzda hosil qiluvchi qurilmadir. Oddiy yorug‘lik manbalaridan farqli ravishda lazer nuri yuqori yo‘nalganlikka, spektral torlikka va muayyan darajadagi fazaviy uyg‘unlikka ega. Shu xususiyatlar energiyani kichik maydonga jamlash, nozik biologik tuzilmalarni nishonga olish va o‘lchash sezgirligini oshirish imkonini beradi [1, 2]. Biroq amaliyotda «kuchliroq lazer samaraliroq» degan yondashuv yetarli emas. Bir xil energiyali nurlanish suv, gemoglobin va melanin ulushi har xil bo‘lgan to‘qimalarda turlicha yutiladi; impuls davomiyligi va nurlantirilayotgan maydon ham termik tarqalish hamda xavfsizlikka ta’sir qiladi [3, 4]. Shuning uchun lazerlarning tibbiy afzalliklarini faqat sanab o‘tish emas, balki ularni yagona fizik mezonlar bo‘yicha solishtirish zarur.

Asosiy qism. Tadqiqot maqsadi — CO_2, Nd:YAG, Er:YAG, ArF eksimer va diodli lazerlarning fizik-texnik parametrlarini, lazer–to‘qima o‘zaro ta’sirini hamda asosiy klinik qo‘llanilishdagi imkoniyat va cheklovlarini qiyosiy baholash.

Tadqiqot nazariy-qiyosiy adabiyotlar tahlili shaklida bajarildi. Fizikaning majburiy nurlanish, foton energiyasi va optik energiya uzatilishi haqidagi asosiy qonuniyatlari hamda lazer–to‘qima o‘zaro ta’siri, jarrohlik, stomatologiya, dermatologiya va onkologiyaga oid nashrlar tahlil qilindi [1–9]. Taqqoslash mezonlari: (1) tipik to‘lqin uzunligi; (2) ustuvor yutuvchi komponent; (3) odatiy biologik ta’sir mexanizmi; (4) tegishli klinik vazifalar; (5) cheklov va xavflar. Manbalar turli tadqiqot dizaynlari va to‘qimalarni qamrab olgani sababli miqdoriy metatahlil yoki klinik samaradorlik foizlari hisoblanmadi. Jadvaldagi xulosalar umumlashtiruvchi fizik tavsif bo‘lib, bemorga individual muolaja parametrlarini belgilamaydi.

Optik kvant generatorining fizik ishlash prinsipi. Lazerning ishlashi atom, ion yoki molekulalarning energiya sathlari orasidagi kvant o‘tishlariga asoslanadi. Faol muhit tashqi energiya manbai — elektr toki, yorug‘lik yoki boshqa usul bilan qo‘zg‘atilganda yuqori energetik holatlarda zarrachalar soni ortadi. Pastki holatga nisbatan yuqori sathda zarrachalar ko‘proq bo‘lishi invers bandlik deb ataladi. Shu sharoitda kelayotgan foton qo‘zg‘algan zarrachadan chastotasi, fazasi va yo‘nalishi mos bo‘lgan ikkinchi foton ajralishini rag‘batlantiradi. Ushbu hodisa majburiy nurlanish bo‘lib, lazer nurlanishini kuchaytirishning fizik asosidir [1, 2].

Oddiy lazer tizimi uchta asosiy qismdan iborat: faol muhit, energiya bilan qo‘zg‘atish tizimi va optik rezonator. Rezonatordagi ko‘zgular yorug‘likni ko‘p marta faol muhit orqali o‘tkazib, kuchaytiradi; qisman shaffof ko‘zgu esa nurning bir qismini tashqariga chiqaradi. Faol muhitiga ko‘ra gazli (CO_2), qattiq jismli (Nd:YAG, Er:YAG), yarimo‘tkazgichli (diodli) va boshqa lazerlar ajratiladi.

Foton energiyasi $E = h\nu = hc/\lambda$ ifoda bilan aniqlanadi. Bu yerda h — Plank doimiysi, c — yorug‘likning vakuumdagi tezligi, λ — to‘lqin uzunligi. Demak, to‘lqin uzunligi qisqarganda bitta foton energiyasi ortadi. Biroq tibbiy ta’sir faqat foton energiyasiga emas, nurning yutilishi, sochilishi, berilgan umumiy energiya va vaqt parametrlariga ham bog‘liq.

Lazer nurlanishining biologik to‘qimalar bilan o‘zaro ta’siri. Teri, shox parda, qon va boshqa to‘qimalarda yorug‘lik qaytishi, sinishi, sochilishi va yutilishi mumkin. Yutilishning asosiy markazlari — suv, gemoglobin va melanin kabi xromoforlardir. Ularning spektral xususiyatlari turlicha bo‘lgani uchun bir lazer ko‘z shox pardasida kuchli yutilsa, boshqasi nisbatan chuqurroq to‘qimalarga yetib

borishi mumkin [3, 4]. Shuning uchun muolaja usulini tanlashda lazer nomidan ko‘ra to‘lqin uzunligi va nishon to‘qima xossalari ustuvor ahamiyatga ega.

Nurlanishning asosiy doza parametrlaridan biri energiya zichligi (radiant exposure, fluence) bo‘lib, H = E/S orqali hisoblanadi; birligi J/cm². Uzluksiz nur uchun quvvat zichligi (irradiance) I = P/S ko‘rinishida yoziladi; birligi W/cm². Bunda P — quvvat, E — energiya, S — yoritiladigan sirt yuzi. Impulsli lazerlarda impuls davomiyligi, takrorlanish chastotasi va pik quvvat ham muhim. Bir xil jami energiya turli vaqt davomida berilsa, termik va mexanik natijalar keskin farq qilishi mumkin.

Fototermik ta’sirda yutilgan optik energiya issiqlikka aylanib, koagulyatsiya, bug‘lanish yoki ablatsiya yuzaga keltiradi. Fotokimyoviy jarayonda yorug‘lik biologik yoki kiritilgan fotosensibilizator molekulalarida kimyoviy reaksiyalarni boshlaydi. Fotomexanik ta’sir esa juda qisqa va yuqori pik quvvatli impulslar ta’sirida tez kengayish, bosim to‘lqini yoki optik parchalanish bilan bog‘liq. Ushbu mexanizmlarning har biri alohida klinik vazifalar uchun qo‘llaniladi [3, 4].

1-jadval. Tibbiyotda qo‘llaniladigan lazerlarning tanlangan fizik va klinik xususiyatlarini qiyoslash

Lazer turi	**Tipik λ**	**Asosiy yutilish / ta’sir**	**Klinik imkoniyat**	**Cheklov**
CO_2	10 600 nm	Suvda kuchli yutilish; yuzaki termik ablatsiya	Jarrohlikda kesish va to‘qimani olib tashlash	Atrofdagi to‘qimada termik shikastlanish, tutun
Nd:YAG	1064 nm	Pigment va to‘qima optikasiga bog‘liq, nisbatan chuqur ta’sir	Koagulyatsiya, ayrim endoskopik muolajalar	Keraksiz chuqur isitish xavfi
Er:YAG	2940 nm	Suvda juda kuchli yutilish; yuzaki ablatsiya	Dermatologiya, stomatologiya	Parametrga bog‘liq cheklangan koagulyatsiya
ArF eksimer	193 nm	UV fotoablatsiya, juda sayoz ta’sir	Shox parda refraktiv jarrohligi	Aniq dozalanish va ko‘z xavfsizligi zarur
Diodli	Masalan, 808–980 nm	To‘lqin uzunligiga qarab melanin/gemoglobin va boshqa yutilishlar	Yumshoq to‘qima muolajalari, dermatologiya	Turli modellarning xossalari bir xil emas

Qiyosiy tahlil uchta asosiy qonuniyatni ajratishga imkon beradi. Birinchidan, CO_2 va Er:YAG lazerlarining suvda kuchli yutilishi ularga yuzaki to‘qimalarni ablatsiya qilishda afzallik beradi, ammo quvvat va impuls rejimi noto‘g‘ri tanlansa termik shikastlanish yuzaga keladi. Ikkinchidan, 1064 nm Nd:YAG nurlanishi ayrim biologik sharoitlarda nisbatan chuqurroq yetib borishi mumkin; bu koagulyatsiya uchun foydali bo‘lsa-da, chuqur shikastlanish ehtimolini ham oshiradi. Uchinchidan, 193 nm ArF eksimer nurlanishining sayoz fotoablatsion ta’siri shox parda geometriyasini aniq o‘zgartirish imkonini beradi [3–5].

Shu sababli «eng yaxshi lazer» degan umumiy toifa mavjud emas: muayyan klinik vazifa uchun nishon xromofori, zarur ta’sir chuqurligi, impuls rejimi va qabul qilinadigan xavf birgalikda ko‘rib chiqilishi

lozim. Bunday mezonli taqqoslash umumiy tasnifdan farqli ravishda lazer tanlovining fizik asosini ochib beradi.

Lazerlarning tibbiyotdagi asosiy qo‘llanilish yo‘nalishlari va cheklovlari

Oftalmologiya. Eksimer lazer shox parda stromasining mikroskopik qatlamlarini ablatsiya qilish orqali uning egriligini o‘zgartirishda ishlatiladi. LASIK kabi refraktiv usullarda aynan shox parda shaklining o‘zgarishi ko‘zning optik kuchiga ta’sir etadi; bemorni tanlash va asoratlar xavfini baholash zarur [6]. Ayrim retinal kasalliklarda lazer fotokoagulyatsiyasi nishon to‘qimada boshqariladigan termik ta’sir hosil qilishga asoslanadi. Bu ikki usulning fizik mexanizmi bir xil emas: birinchisida aniqlikdagi fotoablatsiya, ikkinchisida fototermik ta’sir ustun.

Jarrohlik va endoskopiya. CO_2 lazeri suvga boy yuzaki to‘qimalarda kuchli yutiladi, shuning uchun kesish va ablatsiyada qo‘llanadi. Nd:YAG kabi ayrim tizimlar optik tolalar orqali endoskopik yo‘l bilan ichki sohalarga yetkazilishi mumkin. Lazer bilan kesishda kichik tomirlarning koagulyatsiyasi qon ketishini kamaytirishi mumkin, biroq issiqlikning atrof to‘qimalarga tarqalishi, tutun va ko‘z xavfsizligi nazorat qilinishi kerak [3, 5].

Dermatologiya. Selektiv fototermoliz tamoyiliga ko‘ra, muayyan xromofor nurni nisbatan kuchli yutadigan to‘lqin uzunligi va mos impuls davomiyligi tanlanadi. Melanin bilan bog‘liq pigment o‘zgarishlari, qon tomir tuzilmalari va tuk follikulalari turli lazer platformalariga turlicha javob beradi. CO_2 va Er:YAG tizimlari terining yuzaki qatlamlarini ablatsiya qilishda, impulsli bo‘yoqli lazerlar ayrim qon tomir o‘zgarishlarida qo‘llanadi [4, 7]. Natija teri fototipi, sovitish va protsedura parametrlariga bog‘liq; xususan, pigment o‘zgarishi va kuyish xavfini inobatga olish zarur.

Stomatologiya. Ayrim lazerlar yumshoq to‘qima jarrohligi, periodontal muolajalar va qattiq to‘qimalarga ishlov berishda qo‘llaniladi. Ularning amaliy samarasi to‘lqin uzunligi, suv va gidroksiapatit bilan o‘zaro ta’siri, ishlatilgan quvvat hamda klinik ko‘rsatmaga bog‘liq [8]. Lazer har qanday stomatologik vaziyatda an’anaviy asbobni avtomatik almashtirmaydi: ayrim holatlarda termik zarar, narx va operator tayyorgarligi muhim cheklovlardir.

Onkologiya. Lazer terapiyasida tanlab yo‘naltirilgan yorug‘lik ayrim yuzaki yoki endoskop orqali yetib boriladigan o‘smalarni ablatsiya qilish, qon ketishni kamaytirish yoki obstruksiyani yengillashtirish uchun ishlatiladi. Fotodinamik terapiyada fotosensibilizator va muayyan to‘lqin uzunligidagi yorug‘lik birgalikda faol kislorod shakllarini hosil qilib, nishon hujayralarga zarar yetkazadi. Fotodinamik davolashda lazer yagona yorug‘lik manbai emas; mos LED tizimlari ham qo‘llanadi [9, 10]. Mazkur usullar barcha o‘smalarni davolashning universal alternativasi sifatida talqin qilinmasligi kerak.

Optik diagnostika. Lazerlar ayrim konfokal mikroskopiya, lazer Doppler oqim o‘lchash va spektroskopik tizimlarda muhim o‘rin egallaydi. Optik kogerent tomografiyada esa past kogerentli interferometriya yordamida to‘qimalarning kesim tasvirlari olinadi; barcha OKT qurilmalari lazer manbasidan foydalanmaydi. Diagnostik yo‘nalishda asosiy natija termik shikastlash emas, balki yorug‘likning qaytishi, sochilishi va interferensiyasidan axborot olishdir.

Xulosa

Optik kvant generatorlari zamonaviy tibbiyotda energiyani aniq yo‘naltirish va biologik to‘qimalarga boshqariladigan ta’sir ko‘rsatish imkoniyatini yaratadi. O‘tkazilgan adabiyotlar qiyosiy tahlili ularning klinik xususiyatlari faqat nominal quvvat bilan emas, to‘lqin uzunligi, yutilish spektri, energiya zichligi, impuls davomiyligi va to‘qimaning optik-biologik xossalari bilan belgilanishini ko‘rsatdi.

CO_2 va Er:YAG lazerlarining suvga sezgirligi yuzaki ablatsiyada, Nd:YAG nurlanishining ayrim sharoitlarda chuqurroq ta’siri koagulyatsiyada, 193 nm eksimer lazerning sayoz fotoablatsiyasi esa refraktiv jarrohlikda muhim ahamiyatga ega. Diodli tizimlarning qo‘llanishi esa ularning aniq to‘lqin uzunligi va ishlash rejimiga bog‘liq. Shunday qilib, lazer turini baholash uchun «to‘lqin uzunligi — xromofor — to‘qima javobi — klinik vazifa — xavfsizlik» mezonlari majmuasini qo‘llash asosli hisoblanadi. Tibbiy-biologik fizika kursida mazkur qiyosiy yondashuvni qo‘llash bo‘lajak shifokorlarning diagnostika, davolash va optik xavfsizlik masalalarini ilmiy tushunishiga yordam beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Remizov A.N. Tibbiy va biologik fizika. Toshkent: O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi Davlat ilmiy nashriyoti; 2005.

2. Silfvast W.T. Laser Fundamentals. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2004.

3. The safe use of lasers in biomedicine: principles of laser-matter interaction. 2023. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10395181/ (murojaat sanasi: 09.11.2026).

4. Park S., Hyeon J., So H. Strategic selection of multi-parametric laser settings and clinical endpoints in dermatology: an engineering-to-clinical review. Lasers in Medical Science. 2026;41:137. DOI: 10.1007/s10103-026-04892-7.

5. Laser applications in surgery. 2017. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5220034/ (murojaat sanasi: 09.11.2026).

6. U.S. Food and Drug Administration. LASIK. URL: https://www.fda.gov/medical-devices/surgery-devices/lasik (murojaat sanasi: 09.11.2026).

7. Binzowaimil A.M. From photonic principles to clinical practice: A review of medical laser technologies. Optics and Lasers in Engineering. 2026;202:109772. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2026.109772.

8. Current concepts of laser–oral tissue interaction. 2020. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7558496/ (murojaat sanasi: 09.11.2026).

9. National Cancer Institute. Lasers to Treat Cancer. URL: https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/surgery/lasers (murojaat sanasi: 09.11.2026).

10. National Cancer Institute. Photodynamic Therapy to Treat Cancer. URL: https://www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/photodynamic-therapy (murojaat sanasi: 09.11.2026).