



Co-funded by
the European Union

Lazeriai medicinoje: kaip šviesa padeda diagnozuoti ligas



BIO4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."

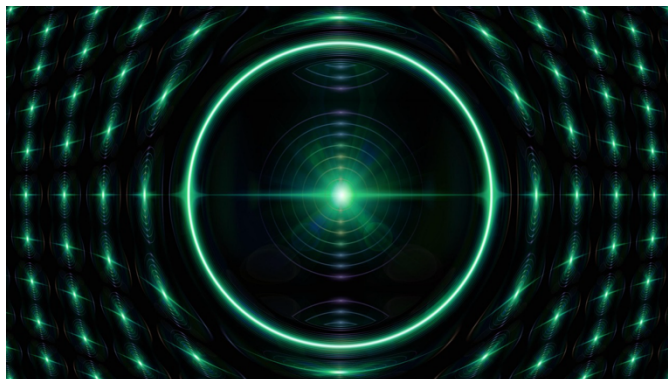




TURINYS

Ivadas.....	2
1. Šviesos ir lazerių technologijų pagrindai.....	3
2. Lazerio ir audinių sąveikos principai	5
3. Lazerinių technologijų medicininės diagnostikos taikymas.....	7
4. Biologiškai įkvėptos lazerinės diagnostikos inovacijos.....	9
5. Lazerinės diagnostikos privalumai ir trūkumai	11
6. Lazerinės diagnostikos integravimas į švietimą: realaus pasaulio klasės projektai.....	12
7. Papildytosios realybės integravimo į lazerinės diagnostikos mokymą moksliniai pagrindai	14
Išvada	16
Literatūra	18





Laukas	Turinys
Bendra mokymosi kelio tema	Šviesa, lazeriai ir medicininė diagnostika
Konkretus mokymosi vieneto pavadinimas	Lazeriai medicinoje: kaip šviesa padeda diagnozuoti ligas
Tikslinis naudotojų amžius	14–18 metų
Besimokančiojo reikalavimai	Pagrindinės optikos (atspindys/refrakcija), žmogaus anatomijos ir bendrosios fizikos/biologijos žinios
Mokymosi vieneto aprašymas	Šis tarpdisciplininis modulis supažindina studentus su pagrindiniais šviesos ir lazerių principais ir nagrinėja, kaip šios technologijos naudojamos šiuolaikinėje medicinoje ligoms diagnozuoti. Mokymosi kelyje pabrėžiama, kaip lazerio ir audinių sąveika taikoma tokiuose metoduose kaip optinė koherentinė tomografija (OCT), fluorescencinis vaizdavimas ir neinvazinis skenavimas. Papildytosios realybės (AR) įrankiai naudojami optiniams reiškiniams imituoti, leidžiant studentams vizualizuoti, kaip lazerio šviesa elgiasi biologinėse sistemose, ir suteikiant galimybę praktiškai tyrinėti diagnostines sąvokas, kurios paprastai nematomos žmogaus akiai.
Dalyvaujantys subjektai	Fizika, Biologija, Chemija, Matematika
Raktiniai žodžiai	Lazeriai, šviesos ir audinių sąveika, optika, diagnostika, papildyta realybė (AR), vizualizacija, neinvazinis vaizdinimas, bioįkvėpimas
Pagrindiniai įgūdžiai, gebėjimai, žinios, kurias galima įgyti	- Suprasti, kaip lazerio šviesa sąveikauja su biologiniais audiniais (absorbcija, sklaida, fluorescencija)





Ivadas

Lazerių naudojimas medicinoje per pastaruosius dešimtmečius smarkiai išaugo, suteikdamas galimybę atlikti įvairias diagnostines ir terapines procedūras, kurios yra tikslios, minimaliai invazinės ir dažnai pranašesnės už įprastinius metodus. Lazeris, apibrėžiamas kaip prietaisas, skleidžiantis šviesą optinio stiprinimo būdu, pagrįstu stimuliuojama elektromagnetinės spinduliuotės emisija, generuoja koherentinius, monochromatinius ir labai kolimuotus šviesos pluoštus. Šios savybės leidžia išskirtinai kontroliuoti energijos tiekimą, todėl lazeriai unikaliai tinka sąveikai su biologiniais audiniais tiek makroskopiniu, tiek mikroskopiniu lygmeniu.

Medicininėje diagnostikoje lazeriai pirmiausia naudojami dėl jų gebėjimo teikti didelės skiriamosios gebos vaizdus realiuoju laiku ir atlikti biocheminę analizę nereikalaujant audinių ekscizijos. Jų taikymas apima įvairias sritis, įskaitant oftalmologiją, onkologiją, dermatologiją ir širdies bei kraujagyslių mediciną. Pavyzdžiui, optinė koherentinė tomografija (OCT), kurioje naudojamas mažos koherencijos artimojo infraraudonojo spektro lazerio spindulys, tapo standartiniu vaizdavimo įrankiu oftalmologijoje, teikiančiu mikrometrų mastelio tinklainės skerspjūvio vaizdus (Barsom ir kt., 2016). Panašiai lazeriu indukuota fluorescencija (LIF) leidžia aptikti nenormalų audinių metabolizmą analizuojant fluorescencinių molekulių emisijos spektrą, o tai padeda anksti nustatyti vėžį (Albrecht ir kt., 2013).

Audinių lygmenyje lazerio ir medžiagos sąveika labai priklauso nuo biologinių chromoforų, tokių kaip hemoglobinas, melaninas ir vanduo, sugerties spektrų. Kruopščiai parinkus lazerio bangos ilgį, galima paveikti konkrečius audinių komponentus nepažeidžiant aplinkinių struktūrų. Nejonizuojantis lazerio šviesos pobūdis taip pat daro ją saugesnę, palyginti su jonizuojančiais diagnostiniais metodais, tokiais kaip rentgeno spinduliai ar KT tyrimai, ypač pakartotiniam stebėjimui ar vaikų naudojimui (Zafar ir kt., 2021). Be to, lazerių technologijos nuolat tobulėja, integruojamos su optiniais jutikliais, fotonika ir dirbtinio intelekto vaizdo gavimo sistemomis, siekiant pagerinti diagnostikos tikslumą, greitį ir duomenų interpretavimą.

Nauji tyrimai sutelkti į lazerinės diagnostikos derinimą su spektroskopiniais metodais, tokiais kaip Ramano spektroskopija, difuzinio atspindžio spektroskopija ir fotoakustinis vaizdavimas, kurie gali suteikti molekulinio lygio informaciją in vivo. Šios hibridinės sistemos yra perspektyvios neinvazinėms „optinėms biopsijoms“, kurios tam tikrais atvejais galėtų pakeisti tradicinę histopatologiją (De Miguel ir Martínez, 2023). Tobulėjant technologijoms, tikimasi, kad lazerinės diagnostikos sistemos taps kompaktiškesnės, prieinamesnės ir išmanesnės, todėl jų prieinamumas tiek klinikinėje, tiek nuotolinėje aplinkoje padidės.

Lygiagrečiai su šia technologine pažanga, integracija Papildytoji realybė (AR) į biomedicininio švietimo ir modeliavimo aplinką patenka naujų būdų vizualizuoti, sąveikauti ir suprasti sudėtingus optinius reiškinius. AR leidžia realiuoju laiku perkelti virtualius objektus, tokius kaip lazerio spinduliai, audiniai, diagnostiniai prietaisai ar molekulinės reakcijos, į realų pasaulį, padėdama studentams ir besimokantiems įgyti erdvinį ir funkcinį abstrakčių procesų supratimą. Pavyzdžiui, AR gali imituoti virtualų optinės koherentinės tomografijos (OCT) skenavimą, kai vartotojai manipuliuoja lazeriniu zonu virš 3D žmogaus akies modelio ir stebi vaizdų generavimą sluoksnis po sluoksnio. Panašiai, fluorescencijos pagrindu veikiančios lazerinės sąveikos gali būti vizualizuojamos naudojant spalvų perdangas, kurios rodo metabolinius ar struktūrinius pokyčius audiniuose. Ši patirtis peržengia statinių iliustracijų ar vaizdo įrašų ribas, nes leidžia dinamiškai manipuluoti, teikti grįžtamąjį ryšį ir tyrinėti realiuoju laiku – funkcijas, kurios, kaip įrodyta, žymiai padidina mokymosi motyvaciją ir įsiminimą (Akçayır ir Akçayır, 2017; Bacca ir kt., 2014).





Be to, papildytoji realybė (AR) gali palaikyti tarpdisciplininius ryšius, iliustruojant, kaip gamtos įkvėptos vizualinės sistemos, pavyzdžiui, jautrumas poliarizacijai maldininkų krevetėse ar nanostruktūros drugelių sparnuose, paveikė lazerinės diagnostikos dizainą. Gerai suprojektuotoje AR mokymosi aplinkoje studentai gali virtualiai tyrinėti tiek biologinį organizmą, tiek jo technologinį atitikmenį greta, taip pagerindami biologinės įkvėpimo, kaip dizaino principo, supratimą. Tokia sąveika skatina ne tik conceptualų mokymąsi, bet ir sisteminį mąstymą bei kūrybišką problemų sprendimą.

Lazerinės diagnostikos ir papildytosios realybės (AR) vizualizacijos suartėjimas kartu sukuria galingą švietimo, mokymo ir atradimų platformą, suteikiančią besimokantiems galimybę aktyviai tyrinėti nematomą, tačiau esminę šviesos ir gyvybės sąveiką.

1. Šviesos ir lazerių technologijų pagrindai

1.1 Šviesos prigimtis

Šviesa yra elektromagnetinės spinduliuotės forma, kuri elgiasi ir kaip banga, ir kaip dalelė (fotonas). Ji apima platų bangos ilgių spektrą – nuo didelės energijos gama spindulių ir rentgeno spindulių iki mažos energijos radijo bangų. matomas spektras, kurio bangos ilgis yra maždaug nuo 400 iki 700 nanometrų (nm), yra elektromagnetinio spektro dalis, kurią gali aptikti žmogaus akis. Kiekvienas bangos ilgis atitinka spalvą – nuo violetinės (trumpesnio bangos ilgio) iki raudonos (ilgesnio bangos ilgio). Tačiau daugeliui medicininės diagnostikos pritaikymų nematomų bangų ilgių, ypač artimasis infraraudonasis spinduliavimas (NIR, 700–1400 nm) ir ultravioletiniai spinduliai (UV, <400 nm) yra veiksmingesni dėl specifinės sąveikos su biologiniais audiniais (Barsom ir kt., 2016).

Šviesos sąveika su materija, ypač su biologiniu audiniu, priklauso nuo tokių savybių kaip absorbcija, išsibarstymas atspindys, ir pralaidumas. Šioms sąveikoms įtakos turi audinių molekulinė sudėtis ir struktūra, ir jos kinta priklausomai nuo bangos ilgio. Pavyzdžiui, artimoji infraraudonoji spinduliuotė gali prasiskverbti į audinius kelis milimetrus su minimalia absorbcija, todėl ji ypač naudinga giliųjų audinių vaizdinimas ir kraujotakos analizė (Zafar ir kt., 2021).

1.2 Kas yra lazeris?

A Lazeris – šviesos stiprinimas stimuliuojamąja spinduliuote – yra prietaisas, skleidžiantis šviesą optinio stiprinimo būdu. Skirtingai nuo įprastų šviesos šaltinių, kurie skleidžia nekoherentinę ir plataus spektro šviesą, lazeris sukuria spindulį, kuris yra:

- Monochromatinis : sudarytas iš vieno bangos ilgio arba spalvos,
- Koherentinė : šviesos bangos yra fazėje, sklinda ta pačia kryptimi,
- Kolimuotas : spindulys išlieka siauras ir sufokusuotas dideliais atstumais.

Šios savybės leidžia lazeriams tiksliai tiekti koncentruotą energiją, todėl jie ypač naudingi tiek diagnostinis ir terapinis medicininės paskirties. Lazerio šviesa gali būti nukreipta į konkrečius audinius nepaveikiant gretimų sričių, todėl galima atlikti tikslines intervencijas ląstelių arba subląsteliniam lygmenyje (Akçayır ir Akçayır, 2017; Albrecht ir kt., 2013).





1.3 Medicinoje naudojamų lazerių tipai

Lazeriai skiriasi šviesai generuoti naudojama terpe, kuri turi įtakos jų bangos ilgiui ir energijos išėjimui. Pagrindiniai tipai:

- Dujų lazeriai (pvz., argonas, CO₂) : Dažnai naudojami oftalmologijoje ir dermatologijoje. Argono lazeriai skleidžia melsvai žalią šviesą, naudingą tinklainės fotokoaguliacijai.
- Kietojo kūno lazeriai (pvz., Nd:YAG) : Skleidžia artimojo infraraudonojo spektro šviesą, plačiai naudojamą audinių abliacijai, koaguliacijai ir vaizdavimui.
- Diodiniai lazeriai : kompaktiški, efektyvūs ir reguliuojamo dažnio artimojo infraraudonojo spinduliavimo diapazone. Vis dažniau naudojami nešiojamuosiuose diagnostikos prietaisuose.
- Eksimeriniai lazeriai (UV diapazonas): Naudojamas refrakcinėse akių operacijose, tokiose kaip LASIK, dėl tikslumo pašalinant ragenos audinį nepažeidžiant aplinkinių sričių.

The bangos ilgis nustato, su kokio tipo audiniu ar molekule lazeris sąveikauja. Pavyzdžiui, melaninas ir hemoglobinas stipriai sugeria matomą šviesą, tuo pačiu metu vanduo yra pagrindinis infraraudonųjų spindulių absorberis (Bacca ir kt., 2014).

1.4 Lazerio ir audinių sąveika diagnostikoje

Lazerio diagnostinę vertę lemia jo sąveika su audiniais. Diagnostiniai lazeriai paprastai veikia mažos galios siekiant išvengti žalos ir maksimaliai padidinti duomenų gavimą optiniais signalais. Įprasti sąveikos mechanizmai apima:

- Elastinis sklaidymas : šviesa atspindi nuo audinių nepakeisdama energijos, naudojama tokiuose metoduose kaip difuzinis optinis vaizdavimas .
- Neelastingas sklaidymas (Ramano efektas): šviesa praranda arba įgauna energijos, atskleisdama molekulinę sudėtį – naudinga Ramano spektroskopija .
- Fluorescencija : šviesa sužadina audinių molekules, kurios skleidžia antrinę šviesą. Tai panaudojama Lazeriu indukuota fluorescencija (LIF) nustatyti nenormalų medžiagų apykaitos aktyvumą.
- Interferencija : Naudojama Optinė koherentinė tomografija (OKT) rekonstruoti vidines struktūras pagal atspindėtų bangų fazinius poslinkius (Barsom ir kt., 2016).

Šių sąveikų supratimas leidžia tyrėjams ir klinikų specialistams kurti neinvaziniai diagnostikos įrankiai kuris gali aptikti tokias ligas kaip vėžys, geltonosios dėmės degeneracija ir širdies bei kraujagyslių ligos, nereikalaujant pjauti audinių ar išimti mėginių.

1.5 Šviesos pagrindu veikiančių medicinos technologijų ateities tendencijos

Konvergencija fotonika biosensorius ir Dirbtinis intelektas stumia lazerinę diagnostiką į naujas ribas. Miniatiūriniai optiniai lustai , daugiamodalinės vaizdo gavimo sistemos ir išmanūs nešiojami lazeriniai jutikliai kuriamos sistemos, skirtos stebėti realaus laiko biožymenis, tokius kaip gliukozės, laktato ar deguonies kiekis, per odą (Zafar ir kt., 2021; De Miguel ir Martínez, 2023). Šios sistemos naudoja lazerio tikslumą ir išmanųjį duomenų apdorojimą, kad diagnostika būtų priartinta prie gydymo vietos ir net namų aplinkos.





Lygiagrečiai, lazerinių technologijų švietimas ir mokymai yra tobulinami įtraukiančių įrankių, tokių kaip Papildytoji realybė (AR) . Pridedant lazerio ir audinių sąveiką, spindulio savybes ir molekulinis modelius prie 3D simuliacijų, AR gali suteikti praktinį sudėtingų optinių principų supratimą. Tai ypač vertinga besimokantiesiems, pirmą kartą susiduriantiems su tokiais sąvokomis kaip sklaida, koherencija ar spektrinė absorbcija (Akçayır ir Akçayır , 2017).

2. Lazerio ir audinių sąveikos principai

2.1 Sąveikos mechanizmų apžvalga

Kai lazerio šviesa sąveikauja su biologiniu audiniu, gali vykti keli fiziniai procesai, priklausomai nuo audinio tipo, lazerio bangos ilgio, energijos, impulso trukmės ir ekspozicijos laiko. Keturi pagrindiniai sąveikos mechanizmai yra šie:

- Absorbcija : fotonus pasisavina audinio molekulės (chromoforai);
- Išsklaidymas : šviesa, prasiskverbusi pro audinius, yra nukreipiama kita kryptimi;
- Atspindys : dalis krintančios šviesos atsispindi nuo paviršiaus;
- Perdavimas : dalis šviesos visiškai praeina pro audinį.

Šios sąveikos nėra viena kitą paneigiančios ir dažnai vyksta vienu metu, darydamos įtaką lazerio įsiskverbimo gilumai ir diagnostinio ar terapinio poveikio atsiradimui. Šių procesų supratimas ir valdymas yra labai svarbūs kuriant saugius ir veiksmingus lazerinius diagnostikos įrankius (Barsom ir kt., 2016; Zafar ir kt., 2021).

2.2 Chromoforų vaidmuo ir bangos ilgio priklausomybė

Audinių atsaką į lazerio šviesą daugiausia lemia chromoforai – molekulės, kurios sugeria specifinius bangos ilgius. Svarbiausi biologinių audinių chromoforai yra šie:

- Hemoglobinas (sugeria matomoje šviesoje),
- Melaninas (plati absorbcija nuo UV iki NIR),
- Vanduo (stipri absorbcija vidutiniame ir tolimajame infraraudonajame spektre).

Todėl lazerio bangos ilgio pasirinkimas yra labai svarbus. Pavyzdžiui, žali ir mėlyni lazeriai (bangos ilgis apie 488–532 nm) lengvai sugeria hemoglobina, todėl jie idealiai tinka kraujagyslių vizualizavimui ir taikymui. Artimųjų infraraudonųjų spindulių šviesa (700–1400 nm) prasiskverbia giliau į audinius dėl mažesnės sugerties ir sklaidos, todėl ji puikiai tinka poodinių struktūrų, tokių kaip Optinė koherentinė tomografija (OKT) arba Lazerio Doplerio srauto matavimas (LDF) (Albrecht ir kt., 2013; De Miguel & Martínez, 2023).

2.3 Diagnostinės ir terapinės sąveikos slenksčiai

Lazerio ir audinių sąveikoje, energijos lygis vaidina lemiamą vaidmenį nustatant, ar poveikis yra diagnostinis, ar terapinis. Diagnostiniams taikymams reikia mažai energijos naudojančios, neardomosios sąveikos, kurios teikia optinius signalus nepažeidžiant ląstelių ar audinių. Šie signalai gali būti:

- Elastinis sklaidymas , naudojamas difuziniame atspindyje ir optinėje koherentinėje vaizdavimo technikoje (OCT);





- Fluorescencija , naudojama LIF metaboliniam ar vėžio nustatymui;
- Ramano sklaida , naudojama molekulių sudėčiai nustatyti naudojant neelastingą fotonų poslinkį.

Priešingai, terapinis poveikis, pvz. fotokoaguliacija abliacija arba fotomechaninis sutrikimas vyksta esant aukštesniems energijos lygiams ir dažnai priklauso nuo terminių arba mechaninių pokyčių audinyje (Zafar ir kt., 2021).

2.4 Šviesos sklaida ir vaizdavimo gylis

Sklaida įvyksta, kai fotonai keičia kryptį dėl sąveikos su audinių mikrostruktūromis, tokiomis kaip ląstelių membranos ar organelės. sklaidos koeficientas priklauso nuo bangos ilgio ir audinio heterogeniškumo. Trumpesni bangos ilgiai (pvz., mėlyna šviesa) labiau išsklaido spindulius, sumažindami vaizdo gylį, bet pagerindami skiriamąją gebą prie paviršiaus. Ir atvirkščiai, ilgesni bangos ilgiai (pvz., artimojo infraraudonojo spinduliavimo) sklaida mažesnė ir prasiskverbia giliau, nors ir su mažesne erdvine skiriamąja geba.

Šis kompromisas yra esminis optinės diagnostikos projektavimo iššūkis. Tokios technologijos kaip laiko skiriamosios gebos spektroskopija , dažnio srities vaizdavimas ir daugiafotoninė mikroskopija išnaudoti sklaidos elgseną, siekiant išgauti naudingus diagnostinius signalus iš audinių skirtinguose gyliuose (Barsom ir kt., 2016).

2.5 Taikymas optinėje biopsijoje ir stebėjime realiuoju laiku

Lazerio ir audinių sąveika taip pat yra vystymosi pagrindas neinvazinės optinės biopsijos – metodai, kurie suteikia molekulinę arba struktūrinę informaciją nepaunant ir nepašalinant audinių. Tai apima:

- Ramano spektroskopija , kuri in vivo fiksuoja audinių cheminius pirštų atspaudus;
- Fotoakustinis vaizdavimas , kurio metu lazeriu sukeltos ultragarso bangos naudojamos hibridiniams optiniams-akustiniams vaizdams sukurti;
- Lazerinis Doplerio srauto matavimas , kuris aptinka mikrovaskulinę kraujotaką naudodamas Doplerio poslinkius atgalinėje išsklaidytoje šviesoje.

Tokie įrankiai vis dažniau naudojami onkologijoje, neurologijoje ir dermatologijoje, ir yra tiriami jų pritaikymas realaus laiko diagnostikai prie lovos (De Miguel ir Martínez, 2023).

2.6 Saugos aspektai ir dozimetrija

Svarbus lazerio ir audinių sąveikos aspektas yra saugių ekspozicijos lygių palaikymas. Dozimetrija – audinių sugeriamos energijos apskaičiavimas ir matavimas – yra labai svarbi diagnostikos srityje, siekiant išvengti netyčinės terminės ar mechaninės žalos. Saugos standartus apibrėžia tokios įstaigos kaip Amerikos nacionalinis standartų institutas (ANSI) ir Tarptautinė elektrotechnikos komisija (IEC) . Šie standartai lazerius suskirsto į saugos klases pagal galią ir rizikos lygį, vadovaudamiesi jų naudojimu klinikinėje ir švietimo aplinkoje.





Akių ir odos apsauga, tikslus bangos ilgio parinkimas ir ekspozicijos laiko kontrolė yra esminiai dalykai tiek klinikinėje praktikoje, tiek studentų mokymo aplinkoje. Atsirandančios papildytosios realybės (AR) pagrindu sukurtos modeliavimo platformos dabar leidžia vartotojams saugiai tyrinėti šias sąveikas virtualioje erdvėje, sustiprinant dozimetrijos principus be fizinės rizikos (Akçayır ir Akçayır, 2017).

3. Lazerinių technologijų medicininės diagnostikos taikymas

3.1 Lazerinės diagnostikos apžvalga

Lazerinė diagnostika naudoja tikslią, bangos ilgiui būdingą šviesos sąveiką su audiniais, kad aptiktų, vaizduotų ir analizuotų fiziologines ir patologines būkles. Šie metodai yra neinvaziniai, pasiūlymas didelės erdvinės skiriamosios gebos ir gali užtikrinti Realaus laiko funkciniai ir struktūriniai duomenys. Nukreipdamos dėmesį į audinių chromoforus ir išnaudodamos optinius reiškinius, tokius kaip sklaida, fluorescencija ir Doplerio poslinkiai, šios technologijos leidžia klinikų gydytojams stebėti ligos progresavimą, nukreipti chirurgines procedūras ir anksti diagnozuoti ligas, sukeldamos minimalią pacientų diskomfortą (Barsom ir kt., 2016; Zafar ir kt., 2021).

3.2 Optinė koherentinė tomografija (OKT)

UŠT yra vienas iš plačiausiai naudojamų lazerinių diagnostikos įrankių, ypač oftalmologijoje. Jis naudoja mažos koherencijos artimojo infraraudonojo spektro šviesą, kad gautų didelės skiriamosios gebos audinių mikrostruktūrų skerspjūvio vaizdus. Technika pagrįsta interferometrija, kai iš skirtingų audinių gylių sklindanti atgalinė šviesa lyginama su etaloniniu spinduliu, sukuriant detalius vaizdus, panašius į ultragarso struktūrą, tačiau vietoj garso naudojant šviesą. OKT gali vizualizuoti tinklainės sluoksnius, aptikti geltonosios dėmės degeneraciją ir mikrometro tikslumu sekti glaukomos progresavimą.

Be oftalmologijos, optinės koherentinės tomografijos (OKT) tyrimai vis dažniau taikomi ir kitose srityse. kardiologija (pvz., vainikinių plokštelių vaizdinimas), dermatologija (odos vėžio patikra) ir odontologija (emalio įvertinimui arba karieso nustatymui) (Albrecht ir kt., 2013). Jo Dėl nekontaktinio, didelės spartos vaizdinimo šis metodas yra pageidaujamas įrankis subtiliems ar jautriems anatominiams regionams.

3.3 Lazeriu indukuota fluorescencija (LIF)

Lazeriu indukuota fluorescencija (LIF) yra diagnostinis metodas, kurio metu audiniai sužadinami lazeriu, siekiant sukelti fluorescenciją. Ši emisija gali būti iš natūraliai susidarantių medžiagų (endogeninių fluoroforų), tokių kaip NADH, FAD arba porfirinų, arba iš išoriškai naudojamų fluorescencinių žymeklių. fluorescencijos intensyvumas ir spektrinis poslinkis atspindi audinio biocheminę sudėtį, leidžiančią aptikti medžiagų apykaitos aktyvumą, naviko ribos arba bakterijų bioplėvelės.

LIF parodė daug žadančių rezultatų nustatant ikivėžinių pažeidimų, tokių kaip burnos ertmės ar gimdos kaklelio, ir yra naudojamas intraoperaciniu būdu, siekiant nukreipti naviko rezekciją. Pagrindiniai jo privalumai: greitas signalo gavimas, didelis jautrumas ir gebėjimas stebėti dinامينius medžiagų apykaitos pokyčius (Zafar ir kt., 2021; De Miguel ir Martínez, 2023).





3.4 Lazerinė Doplerio srauto matavimo (LDF) sistema

Lazerinis Doplerio srauto matavimas matuoja mikrovaskulinę kraujotaką naudodamas Doplerio efektą. Kai mažos galios lazeriu apšviečiami judantys raudonieji kraujo kūneliai, atgal išsklaidytos šviesos dažnis pasikeičia proporcingai kraujotakos greičiui ir tūriui. Šie duomenys apdorojami, kad būtų sukurti kraujotakos žemėlapiai, audinių perfuzija, uždegimas, arba žaizdų gijimo dinamika.

LDF yra plačiai naudojamas nudegimų įvertinimas, periferinių arterijų ligos stebėjimas ir diabetinės pėdos patikra, suteikianti klinikų specialistams neinvazinį metodą mikrocirkuliacijos funkcijai įvertinti realiuoju laiku (Barsom ir kt., 2016). Naujausi pasiekimai pagerino LDF erdvinę skiriamąją gebą, o hibridinės sistemos dabar derina LDF su terminiu vaizdavimu arba artimojo infraraudonojo spektroskopija daugiarūšei diagnostikai.

3.5 Ramano spektroskopija

Nors vis dar klinikinių tyrimų stadijoje, Ramano spektroskopija tampa vertingu lazeriu pagrįstu įrankiu Molekulinio lygio diagnostika. Ji pagrįsta neelastingu lazerio šviesos sklaidos būdu, kai išsklaidytų fotonų energijos pokyčiai atskleidžia molekulių virpesių režimus audinyje. Kadangi kiekviena molekulė sukuria unikalų spektrinį piršto atspaudą, Ramano spektroskopija gali atskirti sveikus ir vėžinius audinius net ankstyvosiose stadijose.

Technika buvo išbandyta dėl smegenų auglio apibrėžimas, odos vėžio nustatymas ir burnos vėžio atrankinė patikra, pasižyminti dideliu cheminiu specifiškumu, nereikalaujant dažiklių ar kontrastinių medžiagų. Kartu su šviesolaidiniais zondais ir miniatiūriniais prietaisais Raman sistemos integruojamos į diagnostinės platformos prie lovos ir robotinė chirurgija aplinka (De Miguel & Martínez, 2023).

3.6 Fotoakustinis vaizdavimas

Fotoakustinis vaizdavimas yra hibridinė technika, kuri apjungia lazerinę optiką ir ultragarsą. Trumpus lazerio impulsus sugeria audinių chromoforai, sukeldami greitas šiluminis plėtimasis ir karta akustinės bangos. Ultragarsiniai keitikliai aptinka šias bangas, kad atkurtų didelio kontrasto struktūrų, tokių kaip kraujagyslės, navikai, arba deguonies prisotinimo modeliai.

Šis metodas leidžia atlikti giliųjų audinių vaizdinimą naudojant optinį kontrastą ir yra ypač naudingas, kai onkologija ir kraujagyslių vaizdinimas, įskaitant ankstyvą aptikimą krūties vėžys, melanoma ir aterosklerozinės plokštelės. Taip pat kuriamos fotoakustinės sistemos nešiojamiesiems diagnostikos įrankiams ir nešiojamiesiems jutikliams (Zafar ir kt., 2021).

3.7 Lazerinės diagnostikos privalumai klinikinėje aplinkoje

Lazerinė diagnostika turi daug privalumų:

- Didelė skiriamaoji geba ir jautrumas, gebantis aptikti ankstyvos stadijos ligą,
- Neinvazinis ir neskausmingas, pagerina paciento paklusnumą gydymui,
- Stebėjimas realiuoju laiku, naudingas chirurginių intervencijų metu,
- Be jonizuojančiosios spinduliuotės, todėl jie saugesni pakartotiniam naudojimui.





- Nešiojamas ir keičiamo dydžio, su potencialu nuotoliniam naudojimui ir naudojimui priežiūros vietoje.

Be to, daugelis šių sistemų yra tobulinamos, pvz. mašininio mokymosi algoritmai, leidžiantys automatiškai atpažinti šablonus ir atlikti greitesnę bei tikslesnę diagnostiką. Šios išmaniosios lazerinės sistemos žymi poslinkį link personalizuota medicina, kai diagnostika yra greitesnė, tikslesnė ir pritaikyta individualiems biologiniams profilams (Albrecht ir kt., 2013).

4. Biologiškai įkvėptos lazerinės diagnostikos inovacijos

4.1 Įvadas į biologiškai įkvėptą dizainą

Bioįkvėpimas, dar vadinamas biomimetika, yra biologinių sistemų, procesų ir organizmų tyrimo praktika, siekiant įkvėpti kurti naujas medžiagas, technologijas ir sprendimus žmonių keliamiems iššūkiams. Medicininės diagnostikos, ypač lazerinių technologijų, srityje gamta pasirodė esanti neįkainojamas modelis. Daugelis gyvūnų išvystė labai specializuotas optines sistemas, skirtas šviesai aptikti, valdyti ir interpretuoti išgyvenimui, navigacijai, medžioklei ar maskavimuisi. Šios evoliucinės adaptacijos siūlo naujus jutimo, vaizdavimo ir šviesos valdymo metodus, kuriuos galima atkartoti ir patobulinti inžinerinėse sistemose (Vincent ir kt., 2006).

4.2 Krevetės maldininkės ir poliarizacijai jautrus vaizdavimas

The maldininko krevetės turi vieną pažangiausių gamtoje žinomų regos sistemų. Jis gali aptikti tiesinę ir apskritiminę poliarizuotą šviesą, taip pat ultravioletinę spinduliuotę. Jo sudėtinės akys talpina iki 16 fotoreceptorių ląstelių tipų, palyginti su vos 3 žmonėmis. Šis poliarizacijos jautrumas leidžia krevetėms aptikti subtilius paviršiaus struktūros pokyčius ir paslėptą grobį ar plėšrūnus drumstame vandenyje.

Inžinieriai ir fizikai mėgdžiojo šį gebėjimą vystyti poliarizacijai jautrius optinius prietaisus, ypač vėžio diagnostikoje. Auglio audiniai dažnai išsklaido ir poliarizuoja šviesą kitaip nei sveiki audiniai dėl ląstelių išsidėstymo ir tankio skirtumų. Įkvėpti maldininko krevetės akių struktūros, tyrėjai sukūrė kompaktiški, poliarizacijos pagrindu veikiantys vaizdo jutikliai galintys aptikti ankstyvos stadijos vėžį su pagerintu kontrastu ir specifiskumu (Pang ir kt., 2016; Zafar ir kt., 2021). Šie jutikliai gali būti integruoti į endoskopus arba rankinius diagnostikos įrankius, leidžiančius atlikti neinvazinį audinių tyrimą klinikinėje aplinkoje.

4.3 Drugelio sparnai ir nanostruktūriniai biosensoriai

Drugeliai, tokie kaip Morfo genties atstovai pasižymi ryškiomis, metališkomis spalvomis ne dėl pigmentacijos, o dėl nanostruktūros ant jų sparnų žvynų, kurie atspindi ir išsklaido šviesą. Šios mikrostruktūros sąveikauja su šviesa per interferenciją, difrakciją ir selektyvų atspindį. Jų gebėjimas keisti šviesą nanoskopiniu lygmeniu įkvėpė sukurti optiniai biosensoriai ir fotoniniai kristalai.

Šios biologiškai įkvėptos medžiagos gali aptikti nedidelius pokyčius lūžio rodiklis paviršiaus, kuris dažnai atsiranda, kai prie jutiklių paviršių prisijungia biomolekulės, tokios kaip gliukozė, antikūnai ar vėžio žymenys. Mokslininkai, imituodami drugelių nanostruktūras, sukūrė kolorimetriniai biosensoriai kurios keičia spalvą reaguodamos į biologinio jungimosi įvykius, įgalindamos atlikti vizualinę diagnostiką realiuoju laiku, nereikalaudant elektros energijos ar sudėtingų nuskaitymo





sistemų (Kolle ir kt., 2010). Tokios sistemos idealiai tinka tyrimams priežiūros vietoje, kur mažai išteklių.

4.4 Naktiniai gyvūnai ir šviesos stiprinimo sistemos

Daugelis naktinių gyvūnų, pvz. katės, pelėdos ir giliavandenės žuvys išsiugdė anatomines adaptacijas, kurios pagerina regėjimą prietemoje. Svarbiausias tokių gyvūnų kaip katės bruožas yra tapetum lucidum – atspindintis sluoksnis už tinklainės, kuris atspindi šviesą per fotoreceptorius, padidindamas fotonų absorbcijos tikimybę ir pagerindamas naktinį matymą.

Šis principas buvo perkeltas į dizainą šviesą taupančios tinklainės vaizdavimo sistemos, pavyzdžiui, naudojamos esant silpnam apšvietimui akių dugno fotografija ir Adaptyvioji optika – skenuojanti lazerinė oftalmoskopija. Šie instrumentai maksimaliai padidina išsklaidytos ir atspindėtos šviesos surinkimą nuo tinklainės sluoksnių, sumažindami intensyvaus apšvietimo poreikį ir taip pagerindami paciento komfortą bei saugumą diagnostinio vaizdavimo metu (Barsom ir kt., 2016).

4.5 Biologiškai įkvėptos optinės dangos ir šviesos manipuliavimas

Gamta taip pat įkvėpė optinių dangų ir šviesos valdymo inovacijas. antirefleksinės dangos pavyzdžiui, kandžių akyse randami mikroskopiniai paviršiaus raštai, kurie slopina atspindį plačiame bangos ilgių diapazone. Ši savybė buvo pakartota, siekiant sukurti biomimetinės antirefleksinės plėvelės. Naudojamas lazerinių jutiklių sistemose, pagerina signalo aiškumą, sumažindamas foninės šviesos trukdžius.

Panašiai ir galvakojų šeima (pvz., kalmarų ir aštuonkojų) panaudojimas aktyvus kamufliažas dinamiškai keisdami atspindinčių baltymų išsidėstymą jų odoje. Šios biologinės fotoninės sistemos įkvėpė reguliuojamo dažnio lazeriniai komponentai, išmanieji filtrai ir jutikliai, kurie gali prisitaikyti prie įvairių aplinkos ar diagnostinių sąlygų (Tian ir kt., 2019).

4.6 Edukacinė integracija ir AR vizualizacija

Biologinės įkvėpimo įtraukimas į lazerinės diagnostikos mokymą suteikia unikalų tarpdisciplininį ryšį tarp biologija, fizika, inžinerija ir dizaino mąstymas. Papildytoji realybė (AR) suteikia galingą platformą šiems ryšiams vizualiai tyrinėti. Pavyzdžiui, studentai gali bendrauti su 3D modeliais maldininko krevetės akies ir iš karto pamatyti, kaip poliarizacijai jautrūs jutikliai imituoja šią galimybę navikų aptikimo metu. Panašiai AR aplinka gali imituoti šviesos sklaidą ant drugelio sparnų žvynų arba pademonstruoti šviesos atspindį per tapetum lucidum sluoksnį, leidžiant besimokantiems patiems patirti mechanizmus (Akçayır ir Akçayır, 2017; De Miguel ir Martínez, 2023).

Tokia integracija ne tik gilina konceptualų supratimą, bet ir skatina kūrybišką problemų sprendimą bei sisteminį mąstymą – įgūdžius, kurie yra labai svarbūs inovacijoms biomimetinių technologijų ir medicinos inžinerijos srityse.





5. Lazerinės diagnostikos privalumai ir trūkumai

5.1 Lazerinės diagnostikos privalumai

Lazerinė diagnostika siūlo daug privalumų, palyginti su tradicinėmis vaizdo gavimo ir jutimo technologijomis. Jų pagrindinis privalumas yra tas, kad tikslumas ir selektyvumas šviesos ir audinių sąveikos, kurią įgalina lazeris monochromatinis, koherentinis ir kolimuotas prigimtis. Šios savybės leidžia labai sufokusuotiems spinduliams nukreipti specifines biologines struktūras su minimalia difuzija, todėl galima analizuoti arba vaizduoti audinius mikroskopiniu arba molekulinio lygmeniu (Barsom ir kt., 2016).

Vienas iš pagrindinių privalumų yra neinvaziškumas. Tokiems metodams kaip optinė koherentinė tomografija (OKT), lazerinė doplerio srauto matavimas (LDF) ir lazeriu indukuota fluorescencija (LIF) nereikia audinių ekscizijos ar sąlyčio su oda, todėl sumažėja infekcijos rizika ir paciento diskomfortas. Šie įrankiai ypač naudingi jautriose vietose, tokiose kaip akys, smegenys ir gleivinės (Zafar ir kt., 2021).

Lazerinė diagnostika taip pat žinoma dėl didelės erdvinės ir laikinės skiriamoji geba. Pavyzdžiui, optinė koherentinė tomografija (OCT) leidžia gauti mikrometrų lygio skerspjūvio vaizdus pakankamai dideliu greičiu, kad būtų galima vizualizuoti realiuoju laiku, o tai yra labai svarbu tokiose srityse kaip tinklainės skenavimas ir intraoperacinis valdymas (Albrecht ir kt., 2013). Be to, lazerinės sistemos dažnai veikia be... jonizuojanti spinduliuotė, kitaip nei rentgeno spinduliai ar kompiuterinė tomografija, todėl juos saugesnis pakartotiniam naudojimui, ypač gydant vaikus arba stebint lėtines ligas.

Šiuolaikiniai lazeriniai prietaisai tampa vis labiau prieinami, kompaktiškas, mobilus ir automatizuotas dėl pažangos puslaidininkiniai lazeriai, šviesolaidiniai įrenginiai ir mašininio mokymosi algoritmai. Šios inovacijos atveria duris diagnostiką priežiūros vietoje, net ir mažai išteklių turinčiose ar nuotolinėse vietose (Le ir kt., 2023). Nešiojamos „Raman“ sistemos ir rankiniai optinės koherentinės tomografijos (OCT) įrenginiai yra pavyzdžiai, kaip lazerinė diagnostika iš laboratorijų persikelia į realią klinikinę aplinką.

Be to, lazerinė diagnostika gerai integruojama su papildyta realybe (AR) ir kompiuterizuotos vaizdo gavimo sistemos, kurios dar labiau pagerina jų pritaikomumą švietimo ir klinikose reikmėms. AR perdengimai gali vizualiai paryškinti problemines sritis atliekant skenavimą realiuoju laiku arba padėti vartotojams pasirinkti optimalius lazerio nustatymus, taip pagerinant jų naudojimą tiek gydytojams, tiek praktikantiems (Akçayır ir Akçayır, 2017).

5.2 Apribojimai ir techniniai iššūkiai

Nepaisant daugybės privalumų, lazerinės diagnostikos sistemos taip pat turi techniniai, biologiniai ir praktiniai apribojimai.

Vienas pagrindinių apribojimų yra audinių įsisiskverbimo gylis, kurį iš esmės riboja šviesos sklaida ir absorbcija. Nors artimojo infraraudonojo spektro lazeriai gali prasiskverbti į minkštuosius audinius kelių milimetrų gylyje, jie yra mažiau veiksmingi vaizduojant gilius organus ar tankias struktūras, tokias kaip kaulai. Dėl to jie mažiau tinka išsamiems vidaus organų vaizdams, palyginti su tokiais metodais kaip MRT ar KT (Barsom ir kt., 2016).





Be to, audinių heterogeniškumas gali apsunkinti interpretavimą. Skirtingi audinių tipai, hidratacijos lygis ar pigmentacija gali pakeisti sklaidos ir absorbcijos savybes, todėl reikia kruopštaus kalibravimo, o rezultatai kartais būna nenuoseklūs. Fluorescencijos pagrindu atliekamoje diagnostikoje tokios problemos kaip fotobalinimas arba autofluorescencija gali pabloginti signalo kokybę arba iškraipyti rezultatus (Zafar ir kt., 2021).

Kaina ir sudėtingumas taip pat yra didelių kliūčių plačiai diegti. Aukštos kokybės lazeriai, optiniai detektoriai ir aušinimo sistemos gali būti brangūs, o tiksliam suderinimui ir kalibravimui palaikyti reikia techninių žinių. Nors miniatiūrizacija vyksta, daugeliui sistemų vis dar reikalinga kontroliuojama aplinka arba apmokytas personalas, todėl jų diegimas kaimo vietovėse arba nepakankamai finansuojamose sveikatos priežiūros sistemose yra ribojamas (Ibrahim ir kt., 2022).

Be to, saugumo problemos turi būti kruopščiai valdomas. Didelio intensyvumo lazerio spindulių, ypač matomoje arba artimojoje infraraudonojoje spektro dalyje, poveikis gali kelti pavojų akių ir odos. Reguliavimo standartai iš IEC (Tarptautinė elektrotechnikos komisija) ir ANSI (Amerikos nacionalinis standartų institutas) klasifikuoti lazerius pagal riziką ir nurodyti saugos priemonės klinikiniam naudojimui, įskaitant apsauginius akinius, ženklimą ir spindulių ribojimą (Albrecht ir kt., 2013).

5.3 Etikos ir prieinamumo aspektai

Pažangios lazerinės diagnostikos naudojimas taip pat kelia etikos klausimai, ypač susiję su duomenų privatumas, algoritminis interpretavimas ir sveikatos priežiūros lygybė. Diegiant dirbtiniu intelektu patobulintas lazerines sistemas, svarbu užtikrinti, kad automatizuota diagnostika yra patvirtinti įvairiose populiacijose ir kad sprendimų priėmimo skaidrumas yra išlaikomas.

Prieinamumas yra dar vienas svarbus klausimas. Nors lazerinė diagnostika teoriškai gali sumažinti sveikatos priežiūros išlaidas, nes leidžia anksčiau nustatyti ligą ir sumažinti invazinių procedūrų skaičių, pradinės investicijos ir priežiūra technologijos gali būti pernelyg brangios. Pastangos kurti atvirojo kodo aparatinę įrangą, pigūs lazeriniai diodai ir švietimo programos yra būtini siekiant užtikrinti, kad šios priemonės būtų naudingos įvairioms bendruomenėms visame pasaulyje.

6. Lazerinės diagnostikos integravimas į švietimą: realaus pasaulio klasės projektai

6.1 Lazerių mokymas viduriniame STEM ugdyme

Lazerinių technologijų mokymas vidurinėse mokyklose suteikia mokiniams galimybę susipažinti su realaus pasaulio fizika, biomedicinos taikymais ir inžineriniu projektavimu. Nors lazeriai dažnai laikomi pažangiais arba abstrakčiais dalykais, daugelis sėkmingų švietimo iniciatyvų parodė, kad jauni besimokantieji gali suprasti ir įsitraukti į lazerių principus, kai juos remia praktinės, tyrimais pagrįstos ir vaizdinės priemonės.

Tokios temos kaip lengvas elgesys, optinės sistemos ir lazerio ir audinių sąveika buvo nagrinėjami klasėse per tarpdisciplininius STEM modulius, kurie sujungia biologiją, fiziką ir technologijas. Kai kuriose mokymo programose mokiniai konstruoja paprastas optines sistemas, kad ištirtų atspindį, refrakciją ir lazerio lygiavimą, naudodami saugius mažos galios





diodinius lazerius. Kitose programose dalyvauja modeliavimai, kurie demonstruoja, kaip lazerio šviesa sąveikauja su biologinėmis medžiagomis, ypač pasitelkiant papildytąją realybę arba skaitmeninės vizualizacijos įrankius.

6.2 1 pavyzdys: Projektas „Šviesa ir gyvenimas“ – Vokietija

Vokietijoje mokyklos, dalyvaujančios programoje MINT-EC (STEM kompetencijos centras) tinklas įdiegė teminį vieneta, vadinamą „Šviesa ir gyvenimas“, kuriame buvo integruota biologija, fizika ir medicinos mokslai 14–18 metų mokiniams. Mokiniai eksperimentuodami sužinojo apie žmogaus akį ir diagnostinio vaizdavimo metodus. mažos galios lazeriai ir lęšiai imituoti optinę koherentinę tomografiją (OCT). Jie taip pat tyrė, kaip šviesa prasiskverbia į biologinius audinius, kurdami želatinos fantomas, įterptus į įvairias medžiagas (navikams ar kraujagyslėms imituoti), ir naudodami raudonus lazerinius žymeklius sklaidai ir absorbcijai stebėti.

Projektas baigėsi studentų pristatymais, kuriuose jie pasiūlė savo biologijos įkvėptus vaizdo gavimo įrankius, susiedami savo optinį supratimą su realaus pasaulio sveikatos priežiūros iššūkiais. Kai kurios mokyklos naudojo „CoSpaces Edu“, kad studentai galėtų imituoti šiuos įrenginius papildytoje realybėje (MINT-EC, 2022).

6.3 2 pavyzdys: BIOS4You projektas – lazerinio matymo modeliavimas AR aplinkoje

Viduje BIOS4You „Erasmus+“ projekte studentai iš įvairių Europos šalių dalyvavo moduluose, kuriuose buvo naudojama Papildyta realybė ištirti, kaip gyvūnai suvokia šviesą ir kaip šios žinios perkeliama į lazerinę diagnostiką. Vienas skyrius buvo skirtas maldininko krevetės poliarizuota vizija, kai besimokantieji peržiūrėjo gyvūno 3D modelį, o tada perėjo prie virtualios poliarizacija pagrįstos vėžio aptikimo priemonės simuliacijos.

Studentai sužinojo, kaip poliarizuota lazerio šviesa naudojamas vėžiniams audiniams atskirti nuo sveikų, sąveikaujant su virtualiomis diagnostinėmis sąsajomis, reguliuojant lazerio bangos ilgus ir interpretuojant spalvomis koduojamus AR perdangas. Ši veikla padėjo abstrakčias biomedicinos sąvokas paversti konkrečias ir kartu pademonstravo realaus pasaulio bioįkvėpimo pritaikymą technologijose. Mokytojų atsiliepimai parodė pagerėjusį įsitraukimą ir supratimą, ypač tarp vizualiai mąstančių mokinių.

6.4 3 pavyzdys: iLASER – Airijos nacionalinė fotonikos švietimo iniciatyva

The iLASER (Lazerių žinomumo skatinimas mokyklose pasitelkiant edukacinius išteklius) iniciatyva, vadovaujama Airijos tyrėjų, sukūrė priemonių rinkinį vidurinių mokyklų gamtos mokslų mokytojams, skirtą supažindinti su lazerių fizika ir taikymais. Mokiniai sužinojo apie elektromagnetinį spektrą, sukonstravo savo paprastus lazerinius įrenginius, naudodami saugius infraraudonųjų spindulių šviesos diodus ir plastikinę optiką, ir tyrinėjo lazerio saugumas, šviesolaidis ir medicininis vaizdavimas.

Vienas iš svarbiausių iLASER mokymo programos elementų buvo „Lazeris medicinoje“ iššūkis, kurio metu studentams buvo pavesta sukurti neinvazinį diagnostikos įrankį. Jie naudojo papildytosios realybės (AR) modeliavimą ir skaitmenines schemas, kad sukurtų tokius įrankius kaip nešiojami gliukozės matuokliai ar bekontakčiai odos vėžio detektoriai. Programoje buvo pabrėžiama tyrimais grįstas mokymasis, bendradarbiavimas su kolegomis ir realaus pasaulio problemų sprendimas. (iLASER, 2021).





6.5 Mokymosi rezultatai ir pedagoginis poveikis

Šie realaus pasaulio pavyzdžiai rodo, kaip lazerių mokymas gali būti veiksmingai integruotas į mokyklą, kai kartu taikomas:

- Saugūs, praktiniai eksperimentai kurie demaskuoja lazerių paslaptį;
- AR modeliavimas kurie vizualizuoja šviesos ir audinių sąveiką;
- Bioįkvėpimo veikla jungiančius gyvybės mokslus su inžinerija;
- Studentams skirti dizaino projektai kurie skatina kūrybiškumą ir problemų sprendimą.

Tyrimai rodo, kad fizinio manipuliavimo (pvz., lęšių ir lazerių) derinimas su skaitmeniniu papildymu (pvz., AR perdengimais) lemia stipresnis konceptualus išlaikymas ir padidėjusi motyvacija (Bacca ir kt., 2014; De Miguel ir Martínez, 2023). Šios programos taip pat skatina studentus galvoti apie STEM karjeros, įskaitant medicinos fiziką, biomedicininę inžineriją ir fotoniką.

7. Papildytosios realybės integravimo į lazerinės diagnostikos mokymą moksliniai pagrindai

7.1 Kognityvinis pagrindimas: nematomo vizualizavimas optikoje ir biofotonikoje

Lazerinė diagnostika iš esmės apima nematomi arba submikroskopiniai reiškiniai: audinių sklaida, fotonų absorbcija, koherentiniai bangos frontai ir lūžio rodiklio pokyčiai. Šiuos procesus vidurinės mokyklos mokiniams sunku suvokti naudojant tradicines 2D diagramas ar statines priemones. AR užpildo šią spragą leisdama įkūnyta, erdvinė ir realaus laiko vizualizacija šviesos ir audinių sąveikos.

Pagal dvigubo kodavimo teoriją (Paivio, 1991) ir kognityvinės apkrovos teoriją (Sweller ir kt., 1998), sudėtingi moksliniai procesai geriau suprantami, kai žodinė informacija pateikiama kartu su dinaminiais vaizdiniais vaizdais. AR leidžia dėmesio suskaidymo mažinimas įterpiant vizualizacijas tiesiai į vartotojo suvokimo lauką, pavyzdžiui, projektuojant, kaip lazerio spindulys lūžta per sluoksniuotus audinius, arba parodant, kaip poliarizuota šviesa sukasi, kai navikuose susiduria su išsidėsčiusiomis kolageno skaidulomis. Tai erdvinės ir konceptualios informacijos kontekstinis susiejimas žymiai pagerina žinių įsiminimą ir perdavimą (Cheng ir Tsai, 2013).

7.2 Mokslinis pagrindimas: lazerio ir audinių sąveika bei optiniai modeliavimai papildytoje realybėje

Naujausi pasiekimai optinės fizikos vaizdavimas realiuoju laiku padaryti techniškai įmanomą tiksliai imituoti lazerio ir audinių sąveiką papildytoje realybėje (AR). Tai apima:

- Spindulių sekimo algoritmai pritaikyti mobilioms papildytosios realybės (AR) platformoms, kurios gali parodyti, kaip lazerio spinduliai elgiasi daugiasluoksniuose biologiniuose terpėse, įskaitant atspindį, refrakciją ir sklaidą ties ribomis (pvz., ragena-tinklainė, oda-riebalai-raumenys).
- Monte Karlo šviesos pernašos modeliai, tradiciškai naudojami medicininio vaizdavimo tyrimuose, dabar gali būti supaprastinti ir integruoti į papildytosios realybės variklius, siekiant imituoti fotonų sugerties gylius, sklaidumo greitis ir optinio kelio ilgis esant skirtingiems bangos ilgiams (Jacques, 2013).





- Imitacinėje diagnostikoje, pvz. UŠT arba Fotoakustinio vaizdavimo pagalba studentai gali vizualizuoti spindulio fokusavimą, koherencijos sinchronizavimą ir signalo grįžimą į audinius, taip giliau suprasdami Signalą formavimas ir vaizdo skiriamoji geba .

Naudojant papildytąją realybę (AR) šioms sąveikoms vizualizuoti, mokiniai gali eksperimentuoti su kintamaisiais (pvz., bangos ilgiu, audinių tipu, spindulio kampu) taip, kaip tai būtų neįmanoma mokyklos laboratorijose. virtualus, bet moksliškai pagrįstas modelis kaip šviesa sąveikauja su biologinėmis sistemomis.

7.3 Empiriniai įrodymai: papildytoji realybė optikoje ir biomediciniame mokymesi

Vis daugiau empirinių tyrimų patvirtina papildytosios realybės (AR) veiksmingumą mokant su šviesa susijusio turinio:

- Dünser ir kt. (2012) nustatė, kad vidurinių mokyklų mokiniai, besimokantys optikos su AR moduliais, parodė žymiai geresnį erdvinį mąstymą ir sąvokų tikslumą, palyginti su tais, kurie naudojo tradicines medžiagas.
- Ibáñez ir kt. (2014) parodė, kad AR integravimas į fizikos ugdymą, ypač bangų ir interferencijos modeliams, pagerino mokinių gebėjimą vizualizuoti abstrakčius principus ir pritaikyti juos realaus pasaulio biomedicinos kontekstuose.
- Tyrimas, kurį atliko Ferrer- Torregrosa ir kt. (2016 m.) Biomedicinos inžinerijos studijų srityje atliktas tyrimas parodė, kad papildytosios realybės (AR) pagrindu sukurtos optinių metodų, tokių kaip konfokalinė mikroskopija ir lazerinis skenavimas, simuliacijos padidino diagnostinio interpretavimo tikslumą ir įsitraukimą, ypač studentams, turintiems mažai išankstinių žinių.
- Naujausi tyrimai STEM žaidimų kūrimas ir XR švietimas (De Miguel & Martínez, 2023) pabrėžia, kaip Interaktyvios diagnostinių prietaisų, tokių kaip naudojami „BIOS4You“, papildytosios realybės (AR) simuliacijos stiprina mokinių motyvą ir skatina gilesnę fizikos, biologijos ir technologijų sąvokų integraciją.

7.4 Įgyvendinimo aspektai: ištikimybė ir pedagoginis suderinamumas

Kad AR integracija lazerinės diagnostikos mokyme būtų moksliškai veiksminga, reikia laikytis dviejų pagrindinių principų:

1. Modelio tikslumas : simuliacijos turi tiksliai atspindėti fizikinę optiką, t. y. spindulio skverbimą, kampinį kritimą, audinių anizotropiją, net ir supaprastintos. Mažos tikslumo vizualizacijos gali skatinti klaidingas nuomones (pvz., pastovus spindulio prasiskverbimo gylis arba neteisingas šviesos sklaidimas nevienalyčiuose audiniuose).
2. Pedagoginis suderinamumas : papildytosios realybės (AR) veikla turi būti susieta su tyrimais grįstu mokymusi, kai mokiniai formuoti hipotezes , bandymo kintamųjų pokyčiai ir interpretuoti diagnostinius rezultatus , o ne pasyviai stebėti animacijas.

Pavyzdžiui, naudojant AR imitacijai Lazerio skverbis į sveiką ir vėžinę odą leidžia besimokantiems reguliuoti bangos ilgį ir stebėti skirtumus gylis ir išsibarstymas , sustiprinantis supratimą apie Optinės biopsijos principai .





Išvada

Šviesos ir biologinio audinio sąveikos supratimas atveria langą į vieną pažangiausių ir įtakingiausių šiuolaikinės medicinos sričių: lazerinę diagnostiką. Šis mokymosi modulis supažindino vidurinių mokyklų mokinius su moksliniais lazerinės fizikos, biomedicininės optikos ir diagnostinių technologijų, tokių kaip optinė koherentinė tomografija (OCT), lazeriu indukuota fluorescencija (LIF) ir fotoakustinis vaizdavimas, principais. Tyrinėdami, kaip konkretūs šviesos bangos ilgiai gali atskleisti svarbią fiziologinę ir patologinę informaciją, mokiniai įgyja įžvalgų apie STEM žinių taikymą realiame pasaulyje fizikos, biologijos ir medicinos inovacijų sandūroje.

Integracija Papildytoji realybė (AR) įrankiai atlieka gyvybiškai svarbų vaidmenį, kad sudėtingi reiškiniai būtų matomi, interaktyvūs ir įtraukiantys. AR modeliavimas leidžia studentams vizualizuoti nematomus procesus, pavyzdžiui, kaip lazerio spinduliai sklaidosi audiniuose, kaip generuojami vaizdo signalai ir kaip diagnostinis tikslumas priklauso nuo optinių parametrų. Šie įrankiai ne tik padeda giliau suprasti per patirtinį mokymąsi, bet ir skatina kūrybiškumą bei tyrinėjimą, leisdami studentams išbandyti kintamuosius, kurti scenarijus ir spręsti diagnostinius iššūkius.

Be to, per Biologiškai įkvėpto dizaino mąstymo principu besimokantieji skatinami semtis įkvėpimo iš gamtos optinių sprendimų, pavyzdžiui, jūrų gyvūnų jautrumo poliarizacijai, kuriant naujus diagnostikos įrankius. Tai skatina tarpdisciplininį mąstymą ir susieja klasėje įgytas žinias su pažangiausiais medicinos technologijų tyrimais.

Baigę šį skyrį, studentai ne tik įgis tvirtą konceptualų lazerio ir audinių sąveikos supratimą, bet ir sustiprins savo problemų sprendimo įgūdžius, mokslinį samprotavimą ir skaitmeninį raštingumą, naudodami papildytosios realybės (AR) aplinkoje. Šis mokymosi kelias iliustruoja, kaip sudėtingas mokslinis turinys gali būti prieinamas, interaktyvus ir orientuotas į ateitį, paruošiant studentus kritiškai ir kūrybiškai mąstyti apie šviesos ir technologijų vaidmenį gerinant žmonių sveikatą.

Fazė	Aprašymas
Tyrinėjimas	-Mokslinis atradimas : Studentai supažindinami su šviesos ir lazerio bei audinių sąveikos pagrindais atliekant konsultacinius tyrimus, įskaitant lazerinės diagnostikos taikymą medicinoje (pvz., optinė tomografija (OCT), fluorescencinis vaizdavimas). - Biologinio įkvėpimo tyrimas : Mokiniai tyrinėja natūralias regos sistemas (pvz., maldininkų krevetes, drugelių sparnus) ir jų įtaką šiuolaikinėms diagnostikos priemonėms. - Poreikių ir konteksto analizė : pedagogai įvertina mokinių ankstesnes optikos ir biologijos žinias ir nustato su šviesa, refrakcija ar biologiniu vaizdavimu susijusius klaidingus įsitikinimus.
Taikymas	- Pamokų įgyvendinimas : Pagrindinės pamokos vedamos derinant biologiją ir fiziką, apimant lazerių pagrindus, diagnostikos principus ir audinių sąveiką. - AR pagrindu vykdoma veikla : mokiniai dalyvauja AR modeliavimuose, kad ištirtų, kaip lazerio šviesa elgiasi audinių sluoksniuose, imituodami diagnostines procedūras (pvz., koreguodami bangos ilgį, kad būtų galima paveikti tam tikrus audinius). -Atsiliepimų ciklas : mokytojai renka formuojamąjį grįžtamąjį ryšį per refleksinius žurnalus, papildytosios realybės viktorinas ir diskusijas su kolegomis, kad stebėtų konceptualų supratimą.





Gilinimas	-Papildyta vizualizacija : papildytosios realybės įrankiai imituoja sklaidą, absorbciją ir lazerio spindulio elgseną virtualiuose audinių modeliuose, leisdami studentams sąveikauti su diagnostiniais nustatymais ir juos valdyti. - Dizainas ir inovacijos : mokiniai, pritaikydami papildytosios realybės (AR) žinias, sukuria lazeriu pagrįsto diagnostikos įrankio, pagrįsto gyvūnų regėjimu, koncepciją arba prototipą. -Tarpdisciplininiai ryšiai : studentai apmąsto, kaip biologija, fizika ir inžinerija derinamos realaus pasaulio medicinos priemonėse. - Žaidimo elementai studentų įsitraukimui (lazerinis kontekstas) • Taškai ir ženkleliai : mokiniai renka taškus sėkmingai atlikdami papildytosios realybės (AR) veiklas, pvz., optinės koherentinės tomografijos (OCT) modeliavimą arba lazerinio audinių modelio parametrų koregavimą. Ženkleliai skiriami už tokius pasiekimus kaip „Tiksli diagnozė“ arba „Optikos meistras“. • Lyderių lentelės : studentai arba komandos reitinguojamos pagal diagnostinį tikslumą, laiką, reikalingą lazerinio skenavimo iššūkiams įveikti, arba sėkmę identifikuojant audinius AR skenavimuose. • Užduotys ir lygiai : mokiniai atlieka papildytosios realybės (AR) sustiprintus diagnostinius „atvejus“, pereidami nuo pagrindinių lazerinių audinių modeliavimų prie sudėtingų daugiasluoksnių vaizdavimo scenarijų. • Tyrinėjimo atlygiai : AR modelyje paslėpti papildomi objektai arba medicininės įžvalgos. Pavyzdžiui, studentai gali atrasti paslėptus sluoksnius virtualiame odos skerspjūvyje, kad lazerio atspindžio pagalba atskleistų ankstyvos stadijos melanomą. • Bendradarbiavimo iššūkiai : komandos dirba kartu sprendamos diagnostinius galvosūkius, pvz., aptikdamos anomalijas imituoto audinių skenavimo metu arba siūlydamos biologiškai įkvėptą lazerinio įrankio patobulinimą. AR pagrindu sukurti vertinimo įrankiai (lazerinio mokymosi kryptis) • Interaktyvūs kontroliniai punktai : mokiniai demonstruoja šviesos sklaidimo ir sugerties supratimą, naudodami paženklintus AR audinių modelius. • Scenarijais pagrįstos užduotys : studentai interpretuoja AR imituotus diagnostinius rezultatus (pvz., spalvomis koduojamą fluorescencinį vaizdavimą) ir pagrindžia savo sprendimus. • Kompetencijos ženkleliai : išduodami už tikslų paaiškinimą, kaip lazerio bangos ilgis veikia audinių prasiskverbimą arba kaip poliarizacija naudojama ligoms aptikti.
-------------------------	---





Literatūra

Akçayır , M. ir Akçayır , G. (2017). Papildytosios realybės privalumai ir iššūkiai švietime: sisteminė apžvalga. *Educational Research Review* , 20, 1–11.

Albrecht, UV ir kt. (2013). Mobiliojo papildytosios realybės mokymosi poveikis medicinos studentams, palyginti su mokymusi iš vadovėlių: bandomasis tyrimas – „ *Journal of Medical Internet Research* “ , 15(8), e182.

Arvanitis , TN ir kt. (2009). Žmogiškieji veiksniai mobiliojoje papildytoje realybėje, kurią naudoja mokiniai su negalia mokslo ugdyme. *Asmeninė ir visur esanti kompiuterija* , 13(3), 243–250.

Bacca, J. ir kt. (2014). AR tendencijos švietime: sisteminė apžvalga. *Švietimo technologijos ir visuomenė* , 17(4), 133–149.

Barsom, EZ, Graafland , M. ir Schijven , MP (2016). AR taikymas medicinos mokymuose: sisteminė apžvalga. „*Surgical Endoscopy*“ , 30(10), 4174–4183.

Cheng, KH ir Tsai, CC (2013). Papildytosios realybės galimybės mokantis gamtos mokslų: pasiūlymai būsimiems tyrimams. *Mokslo, švietimo ir technologijų žurnalas* , 22(4), 449–462.

De Miguel, M. ir Martínez, A. (2023). AR STEM ugdyme: mokinių įsitraukimas ir mokymasis. *Švietimo mokslai* , 13(1), 84. <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/1/84>

Dünser , A., Walker, L., Horner, H. ir Bentall, D. (2012). Interaktyvių fizikos vadovėlių kūrimas naudojant papildytąją realybę. *24-osios Australijos kompiuterių ir žmonių sąveikos konferencijos pranešimų medžiaga* .

Ferrer- Torregrosa , J., Jimenez-Rodriguez, MA, Torralba- Estelles , J. ir kt. (2016). Nuotolinio mokymosi e. mokymosi platformos biomedicinos ir sveikatos moksluose: lazerinės diagnostikos e. mokymosi modeliavimas. *BMC medicinos išsilavinimas* , 16, 274.

Ibrahim, A., Awooda , E., ir Elnour , A. (2022). Lazerinių diagnostikos sistemų kainos barjeras Užsachario Afrikoje: iššūkis besiformuojančioms medicinos technologijoms. *Sveikatos technologijos* , 12(3), 225–233.

Ibáñez, MB, Di Serio, Á., Villarán , D. ir Kloos , CD (2014). Elektromagnetizmo eksperimentai naudojant papildytąją realybę: poveikis mokinių patirčiai ir ugdymo efektyvumui. *Kompiuteriai ir švietimas* , 71, 1–13.

Jacques, SL (2013). Biologinių audinių optinės savybės: apžvalga. „*Fizika medicinoje ir biologijoje*“ , 58(11), R37–R61.

Le, T., Chen, Y. ir Chang, J. (2023). Miniatiūriniai lazeriniai biosensoriai diagnostikai priežiūros vietoje: pažanga ir ateities tendencijos. *Jutikliai ir pavaros B: Cheminiai* , 383, 134648.





Paivio , A. (1991). Dvigubo kodavimo teorija: retrospektyva ir dabartinė būseną. *Kanados psichologijos žurnalas* , 45(3), 255–287.

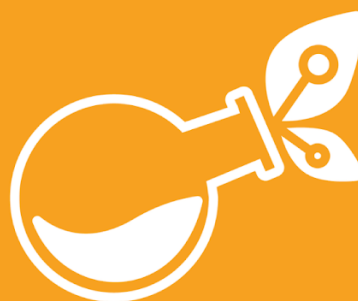
Sweller , J., van Merriënboer , JJ ir Paas , FG (1998). Kognityvinė architektūra ir mokymo dizainas. „*Edukacinės psichologijos apžvalga*“ , 10(3), 251–296.

Zafar, S., Awais , M. ir Zafar, AN (2021). Papildytoji realybė medicinos švietime: sisteminių apžvalgų metaapžvalga. *Visuomenės sveikatos ribos* , 9, 638259.





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.