



VILNIAUS UNIVERSITETAS
MEDICINOS FAKULTETAS

Medicina

Ausų, nosies, gerklės ir akių ligų klinika

Matas Padegimas, 6 kursas, 13 grupė.

VIENTISŪJŲ STUDIJŲ MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

Skirtingi lazeriai laringologijoje ir jų pritaikymas (CO2 lazeris, Blue lazeris, diodinis
lazeris)

Different Lasers in Laryngology and Their Application (CO2 Laser, Blue Laser,
Diode Laser)

Darbo vadovas

lektorius Arnoldas Morožas

Katedros ar klinikos vadovas

prof. dr. Eugenijus Lesinskas

Vilnius, 2025.

matas.padegimas@mf.stud.vu.lt

Turiny

Turiny	2
Santrauka	3
Summary	4
Sąvokos	5
Raktažodžiai	5
Įvadas	6
Lazerio veikimo principas, lazerių tipai	7
Lazeriai laringologijoje	9
Lazerinės chirurgijos privalumai	10
Lazerinės chirurgijos trūkumai	13
CO ₂ lazeris	16
Diodinis lazeris	17
Mėlynos spalvos lazeris	21
Lazerių palyginimas	24
Išvados	30
Šaltiniai	33
Priedai	39

Santrauka

Mato Padegimo baigiamasis magistro darbas: „Skirtingi lazeriai laringologijoje ir jų pritaikymas (CO₂ lazeris, TruBlue lazeris, diodinis lazeris)“

Darbo vadovas: gyd. Lektorius Arnoldas Morozas

Tikslas: atlikti literatūros apžvalgą ir palyginti CO₂, diodinį ir mėlynos spalvos lazerius, nagrinėjant jų fizikines savybes, veikimo principą ir pritaikymą laringologijoje.

Darbo uždaviniai: 1. Apžvelgti lazerių fizikines savybes ir veikimo principą. 2. Įvertinti jų taikymą operacinėje ir ambulatoriškai, bei naudojimo paprastumą. 3. Aptarti lazerių naudojimą gydant gerybines ir piktybines gerklų ligas.

Darbo metodika: Atlikta literatūros apžvalga. Darbe analizuojami moksliniai straipsniai, literatūros ir sisteminės apžvalgos ir klinikiniai atvejai ir klinikiniai tyrimai, publikuoti *PubMed* ir *Google Scholar* duomenų bazėse. Atrankos kriterijai apėmė straipsnius, publikuotus per pastaruosius 10–20 metų, parašytus anglų ir lietuvių kalbomis nagrinėjančius CO₂, TruBlue bei diodinio lazerio taikymą laringologijoje. Kadangi CO₂ lazeris laringologijoje naudojamas jau nuo 1972 metų, į šaltinius yra įtrauktos keletas senesnių studijų, nagrinėjančių CO₂ lazerio savybes.

Išvados: Lazerinė chirurgija laringologijoje tampa vis universalesniu ir plačiau taikomu gydymo metodu, ypač gydant gerybinę ir piktybinę gerklų patologiją. Kiekviena lazerio rūšis turi savitų pranašumų, dėl kurių tam tikrose klinikinėse situacijose ji tampa tinkamiausiu pasirinkimu. CO₂ lazeris išlieka aukso standartu, ypač transoralinėje lazerinėje mikrochirurgijoje (TLM), kur reikalingas preciziškas audinių pjovimas. Jo universalumas išplėstas naudojant lanksčias tuščiavidures šviesolaidines sistemas, tačiau dėl ribotos koaguliacinės galios jis nėra optimalus kraujavimui kontroliuoti. Kitų lazerių naudojimas gali užtikrinti geresnius rezultatus, ypač gydant gerybinę gerklų patologiją. Mėlynos spalvos lazeris yra reikšmingas technologinis proveržis, pasižymintis tiek fotoangiolizinėmis, tiek pjovimo savybėmis. Dėl mažo dydžio, paprasto naudojimo ir gerų gydymo išeičių jis itin tinkamas ambulatorinėms intervencijoms. Be to, mažesnė randėjimo ir komplikacijų rizika daro jį patraukliu pasirinkimu tiek gerybinei, tiek piktybinei patologijai gydyti. Diodinis lazeris laringologijoje taikomas ribotai. Nors diodinis lazeris pasižymi universalumu, jo pjovimo efektyvumas yra prastesnis nei CO₂ lazerio, o fotoangiolizinės savybės – prastesnės nei mėlynos spalvos lazerio. Be to, mažėjantis naujų mokslinių publikacijų skaičius, rodo mažėjančią domėjimąsi jo taikymu gerklų chirurgijoje.

Summary

Matas Padegimas. Final master thesis: “Different lasers in laryngology and their use (CO₂, Blue laser, diode laser) “

Work supervisor: gyd. lektorius Arnoldas Morozas

Purpose: To conduct a literature review and compare the CO₂, diode, and blue lasers by examining their physical properties, principles of operation, and clinical applications in laryngology.

Tasks of the work: 1. To review the physical properties and principles of operation of different laser types. 2. To evaluate their application in both theatre and outpatient settings, with particular attention to ease of use. 3. To discuss the use of lasers in the treatment of benign and malignant laryngeal diseases.

Work methodology: A literature review was conducted for the purposes of this study. The analysis includes scientific articles, literature and systematic reviews, clinical case reports, and clinical trials published in the PubMed and Google Scholar databases. The selection criteria encompassed articles published within the last 10 to 20 years, written in English or Lithuanian, and addressing the application of CO₂, TruBlue, and diode lasers in laryngology. As the CO₂ laser has been used in laryngology since 1972, several older studies examining its characteristics were also included in the literature review.

Conclusions: Laser surgery is becoming an increasingly versatile and widely adopted modality in laryngology, particularly in the management of benign and malignant laryngeal pathologies. Each type of laser possesses distinct advantages that render it more appropriate for specific clinical scenarios. The CO₂ laser remains the gold standard, especially in transoral laser microsurgery (TLM), where precise tissue dissection is essential. Its versatility has been further enhanced by the development of flexible fiber delivery systems. However, due to its limited coagulative capabilities, it is less optimal for effective hemostasis. The use of other types of lasers may result in improved outcomes, particularly in the treatment of benign laryngeal pathologies. The blue laser represents a significant technological advancement, offering both photoangiolytic and cutting properties. Its compact size, user-friendly design, and favorable clinical outcomes make it particularly well-suited for outpatient procedures. Furthermore, its association with reduced scarring and a lower risk of complications makes it an attractive option for the treatment of both benign and malignant laryngeal conditions. The diode laser, in contrast, has a more limited role in laryngology. Although it demonstrates good hemostatic properties and a degree of versatility, its cutting efficiency is inferior to that of the CO₂ laser. Moreover, the decreasing number of recent publications suggests a declining interest in its use within laryngeal surgery.

Sąvokos

Ankstyvos stadijos gerklų vėžys – tai Tis-T2 stadijos gerklų vėžys. Apimanti plačią susirgimų grupę nuo lokalios in situ gerklų karcinomos, iki T2 stadijos vėžio, kuris gali būti išplitęs į supraglotinius ar subglotinius regionus, sukeliantis abipusę balso klosčių paralizą.

BNI-10 – balso neįgalumo indeksas

TLM – transoralinė lazerinė mikrochirurgija

TNFLS – transnasalinė lanksti lazerinė chirurgija, *angl. transnasal flexible laser surgery*

Kontaktinis lazerio naudojimo būdas - tai lazerio naudojimo būdas, kai lazerio šviesą perduodančių skaidulų galiukas liečiasi su lazeriu veikiamu audiniu.

Nekontaktinis lazerio naudojimo būdas – tai lazerio naudojimo būdas, kai tarp lazerio šviesą perduodančių skaidulų galiuko ir lazeriu veikiamo audinio yra tarpas.

Nuolatinės srovės režimas – tai lazerio sistemos nustatymas, kai lazerio šviesos energija generuojama nuolat.

Pulsinis režimas – tai lazerio sistemos nustatymas, kai lazerio šviesos energija perduodama iš anksto suprogramuotais intervalais, su pauzėmis, kai lazerio šviesos energija nėra perduodama. Tai įgalina lazeriu veikiamą audinį atvėsti, siekiant išvengti aplinkinių sveikų audinių terminio pažeidimo.

Raktažodžiai

CO₂ lazeris, mėlynos spalvos lazeris, diodinis lazeris, laringologija, lazerinė chirurgija.

Įvadas

Lazeriai vis dažniau naudojami laringologijoje. Šios sistemos pritaikymas sukėlė proveržį, kadangi tai minimaliai invazyvi gydymo alternatyva gerybinei gerklų patologijai ir gerklų vėžiui gydyti. Gydymas lazeriu yra tikslus, toks gydymo metodas suteikia chirurgams galimybę netrukdomai matyti operacinį lauką, atliekant minimalų audinių manipuliavimą ir dirbant iš didesnio atstumo. Lazerinės chirurgijos privalumai: mažesnė pooperacinio kraujavimo rizika, didesnis sterilumas, minimalus aplinkinių audinių pažeidimas ir geresnė intraoperacinė hemostazė. Literatūroje randama duomenų, kad ši chirurgija sumažina šalutinių poveikių skaičių bei lemia geresnę pooperacinę balso kokybę. Lazeriai gali būti ekonomiškesni nei tradicinės chirurginės procedūros gydant gerklų navikus, nes jie leidžia sutrumpinti hospitalizacijos laiką ir pagreitina žaizdų gijimą, ypač pacientams, sergantiems gerklų vėžiu. (1)

Lanksčios lazerio šviesą perduodančios skaidulos ir šviesolaidiniai endoskopai su darbo kanalu leidžia laringologams atlikti procedūras dienos stacionaro sąlygomis, pasiekiant tikslumą, prilygstantį operacinėje atliekamoms intervencijoms. Šios gydymo technikos lemia mažiau su anestezija susijusių komplikacijų, trumpesnę atsistatymo laikotarpį, galimybę beveik iš karto grįžti į darbą, lengvesnį procedūrų planavimą, sutrumpina operacijos laiką, sumažina išlaidas, suteikia galimybę realiu laiku įvertinti paciento balso funkciją ir fonaciją. Ši operacinė technika yra gydymo alternatyva pacientams, kuriems bendroji anestezija kontraindikuotina. (2,3) Tokio tipo operacijos gali būti taikomos plačiam gerybinių laringologinių susirgimų spektrui.

Laringologinėje chirurgijoje svarbią vietą užima gerklų vėžio gydymas. Gerklų vėžys sudaro 30–40% galvos ir kaklo piktybinių navikų ir yra dažniausias piktybinis susirgimas otorinolaringologijoje. Kasmet visame pasaulyje užregistruojama 184 615 gerklų vėžio atvejų, tai sudaro 1,1 % visų onkologinių susirgimų, ir 99 840 mirčių, arba 1% visų su vėžiu susijusių mirčių. (4) Europa išlieka žemynu, kuriame šio piktybinio naviko paplitimas yra didžiausias. (5) 2022m. WHO duomenimis Lietuvoje gerklų vėžys yra 20 vietoje pagal sergamumą (190 naujų atvejų 1,2%) ir 19 vietoje pagal mirštamumą (127 mirties atvejai 1,5%). Šiuo metu ankstyvam gerklų vėžiui gydyti kaip pasirinkimo gydymo metodas yra transoralinės lazerinės mikrochirurgijos (TLM) metodika atliekamos navikų šalinimo operacijos. Transoralinė lazerinė mikrochirurgija yra minimaliai invazyvus endoskopinis metodas, kuris apjungia suspensinės laringoskopijos, operacinio mikroskopo, audinius pjaunančio lazerio ir mikrochirurginių instrumentų naudojimą pirminiam navikui pašalinti. Kitos gydymo alternatyvos ankstyvam gerklų vėžiui gydyti yra atvira dalinė laringektomija ir radioterapija. (6) Nustatyta, kad transoralinės lazerinės mikrochirurgijos onkologiniai rezultatai yra panašūs į atviros dalinės laringektomijos rezultatus. (7,8) TLM yra

veiksmingas ankstyvos stadijos gerklų vėžio (T1-T2) gydymo būdas užtikrinantis onkologinę kontrolę ir funkcijos išsaugojimą, sukeliantis minimalias komplikacijas. (9)

Nepaisant lazerinių sistemų populiarumo klinikinėje praktikoje, vis dar trūksta išsamių palyginamųjų apžvalgų, kurios įvertintų skirtingų lazerių veikimo skirtumus, gydymo efektyvumą ir saugumą laringologijoje. Šio darbo tikslas – atlikti literatūros apžvalgą ir palyginti CO₂, diodinį (980 nm) ir mėlynos spalvos lazerius, analizuojant jų sąveiką su gerklų audiniais, bei taikymo galimybes laringologijoje.

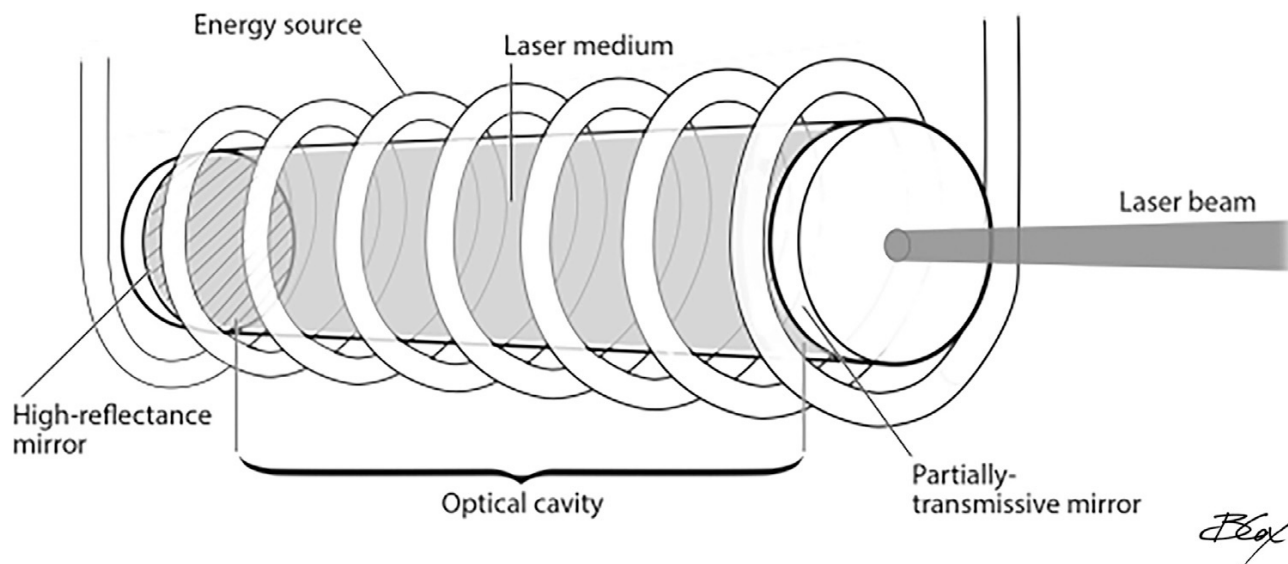
Buvo atlikta literatūros apžvalga. Darbe analizuojami moksliniai straipsniai, literatūros ir sisteminės apžvalgos, klinikiniai atvejai ir klinikiniai tyrimai, publikuoti *PubMed* ir *Google Scholar* duomenų bazėse. Šioje literatūros apžvalgoje nagrinėjami straipsniai publikuoti per pastaruosius 10–20 metų, parašyti anglų ir lietuvių kalbomis nagrinėjantys CO₂, TruBlue bei diodinio lazerių taikymą laringologijoje, jų fizikines savybes ir jas lyginantys. Kadangi CO₂ lazeris laringologijoje naudojamas jau nuo 1972 metų, į šaltinius yra įtraukti keli senesni už atrankos kriterijus straipsniai. Naujų straipsnių, nagrinėjančių diodinio lazerio taikymą laringologijoje, surasti dvejose naudotose duomenų bazėse pavyko pastebimai mažiau nei CO₂ ir mėlynos spalvos lazerių. Literatūroje gausu tyrimų apie CO₂ lazerį ir jo gydymo efektyvumą, tačiau TruBlue lazeris pradėtas naudoti neseniai, todėl gerklų vėžio gydymo efektyvumo rezultatai yra tik preliminarūs. Ypač sudėtinga rasti duomenų apie diodinio lazerio naudojimą šioje srityje. Verta paminėti, kodėl šiame darbe neapžvelgiami kiti laringologijoje naudojami lazeriai, pavyzdžiui, KTP (kalio titano fosfato) ar PDL (pulsed dye laser). Nors šiuos lazerius vis dar galima rasti gydymo įstaigose, jų gamyba buvo nutraukta. (10) Dėl šios priežasties jų prieinamumas ateityje yra ribotas, o mėlynos spalvos lazerio analizė yra aktualesnė šio darbo kontekste.

Šio darbo tikslas – atlikti literatūros apžvalgą ir palyginti CO₂, TruBlue ir diodinį (980 nm) lazerius, nagrinėjant jų fizikines savybes, veikimo principus ir taikymą laringologijoje, nustatyti, kurie lazeriai efektyviai gali būti pritaikomi gydymui. Išnagrinėti problematiką, kodėl nėra daroma naujų studijų nagrinėjančių diodinio lazerio pritaikymą laringologijoje.

Lazerio veikimo principas, lazerių tipai.

Žodis *eng. laser - light amplification by stimulated emission of radiation*, yra šviesos stiprinimo stimuliuotu spinduliavimo būdu akronimas. Esminis lazerio veikimo principas - dažniausiai elektros energija suaktyvinami lazerinės terpės, kuri gali būti kieta, skysta ar dujinė, atomai arba molekulės. Gautą energiją atomai išspinduliuoja šviesos pavidalu. Iš kokios medžiagos pagaminta lazerinė terpė, taip ir vadinamas lazeris – CO₂, argono, diodiniai lazeriai ir pan. Lazerinė terpė yra patalpinta

tarp dviejų veidrodžių, tai leidžia fokusuoti šviesą, taip sukuriamas lazerio spindulys. (11) Lazerio skleidžiama šviesa skiriasi nuo įprastos šviesos. Ji yra monochromatinė (visi fotonai turi tą pačią spalvą ir tą patį bangos ilgį), kolimuota (visi fotonai keliauja lygiagrečiai) ir koherentinė (keliauja ta pačia kryptimi ir sinchroniškai). (12)



Paveikslas 1. Lazerio optinė rezonansinė kamera. Naudojant elektros srovę, lazerinės terpės molekulės sužadinamos, o aušinamos aplink kamerą tekančio vandens. Veidrodžiai naudojami sužadintų dujų molekulių sukurtam energijos srautui (šviesai) sustiprinti. (13)

Gydytojas keisdamas lazerio parametrus, gali keisti lazerio poveikį audiniams. Lazerio galia, matuojama vatais (W), taškinis dydis, matuojamas milimetrais ar kvadratiniais centimetrais (mm ir cm^2) ir ekspozicijos laikas, matuojamas sekundėmis, yra nustatomi gydytojo. (1) Tokiu būdu gydytojas gali sukelti skirtingą poveikį operuojamiems audiniams. (13) Naudojant didesnės energijos spindulius režimu trumpiau, lemia mažesnę audinio pažaidą, nei naudojant mažesnės energijos lazerio spindulius ilgiau. Siekiant sumažinti žalą audiniams, operatorius gali naudoti pulsinį režimą, arba daryti periodines pertraukas, dirbant su nuolatinės srovės lazeriu. Modifikuojant taškinį dydį, galima pagal situaciją pritaikyti, kiek audinio ir kaip giliai bus paveikta, kaip giliai lazerio spinduliai prasiskverbs. Labai svarbu atkreipti dėmesį į ekspozicijos laiką, kuris matuojamas sekundėmis. Išvestinis matavimo vienetas - sklandumas (*ang. Fluence*), matuojamas J/cm^2 apibrėžia lazerio energijos kiekį tenkantį plotui. Gydytojai gali sklandumą sumažinti, vietoj nuolatinio spindulio nustatymo naudodami pulsinį režimą. Šis režimas leidžia sumažinti audinio pažeidimą, kai įkaitusiam audiniui tarp lazerio spindulio ekspozicijų leidžiama atvėsti. Audinio atvėsimas apibrėžiamas šiluminės relaksacijos laiku, tai yra laikas, kurio reikia audiniui 50% gautos energijos išspinduliuoti difuzijos būdu tarp lazerio pulsų. (14)

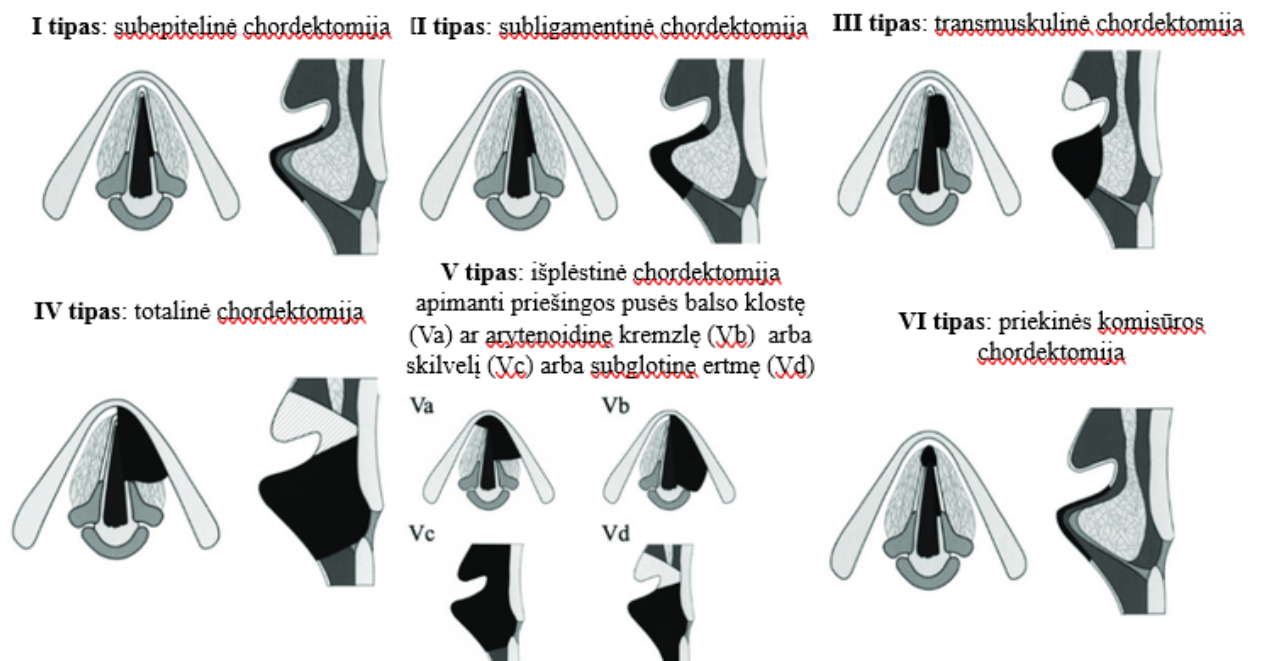
Lazeriai laringologijoje

Laringologijoje naudojami dviejų tipų lazeriai - pjaunantys/abliuojantys ir fotoangiolitiniai lazeriai, kurie skiriasi savo selektyvumu, nulemtu skirtingų molekulių lazerio spindulių sugertimi (žr. paveikslą 3). Pjaunantiems lazeriams priskiriamas CO₂ ir Tiulio lazeris, jų šviesą sugeria vandens molekulės. Angiolitinių lazerių, pvz. kalio-titanil-fosfato (KTP), impulsinio *eng. pulsed dye laser* (PDL) lazerių šviesą daugiausiai sugeria hemoglobinas ir melaninas. Mėlynos spalvos lazeris *TruBlue* yra pirmasis lazeris sujungiantis pjaunančias lazerio savybes su fotoangiolitinėmis lazerio savybėmis. (15)

Kuo didesnė lazerio galia ir ilgesnis audinių ekspozicijos laikas, tuo didesnė audinių pažeidimo rizika. Operuojant lazeriu tiek galia tiek ekspozicijos laikas turi būti kuo mažesnis norimiems rezultatams pasiekti. (16) Tačiau lazerio galios parametrai turi būti optimalūs, pernelyg mažos lazerio galios parametrai yra taip pat rizikinga, nes tai ilgina operacijos ir anestezijos laiką. (17) Operuojant lazeriu, svarbi operacinė technika ir chirurgo patirtis. Operatorius prieš operaciją turi aiškiai žinoti, koks yra norimas rezultatas. Kuo didesnis atstumas tarp lazerio spindulius perduodančių skaidulų galiuko ir veikiamo audinio, tuo labiau spinduliai išsklaidomi, didėjant audinio plotui, kuris yra veikiamas lazerio spindulių ir mažėjant energijos koncentracijai į ploto vienetą (J/cm²). Veikiant audinius stačiu kampu, rezultatas bus labiau nuspėjamas, nei audinius veikiant įstrižai, nes keičiant spindulių kritimo pasvirimo kampą, kinta audinių spindulių sugertis. (15) Pritaikant atstumą tarp pažeidimo ir lazerio šviesą perduodančių skaidulų, bei šviesos kritimo pasvirimo kampą kiekvienam atvejui individualiai, galima pasiekti palankių išėičių, bei sumažinti aplinkinių audinių pažeidimą.

1972 m.. Strong ir Jako aprašė pirmąjį CO₂ lazerio panaudojimą transoralinėje mikrochirurgijoje. (18) Šias modernias operacijas įgalino atlikti CO₂ lazerio sukūrimas, kuris ir dabar laikomas aukso standartu laringologijoje. Dėl lazerinės chirurgijos evoliucijos, pagerėjo galimybės atlikti minimaliai invazyvias, labai preciziškas operacijas, tinkamas plačiam otolaringologinių ligų spektrui. (19) Transoralinės lazerinės mikrochirurgijos (TLM) operacijos atliekamos per burną. Pagrindinis chirurginis instrumentas yra lazeris (kartu su klasikiniiais instrumentais, tokiais kaip žnyplės, siurbtukai ir kt.), o lazerio spindulys yra pagrindinis pjovimo įrankis procedūros metu. Procedūros metu operacinis laukas yra padidintas naudojant chirurginį mikroskopą, rečiau gali būti naudojami lankstūs endoskopai, kai TLM atliekamos su lanksčiomis lazerio šviesą perduodančiomis skaidulomis. (20,21) Tokio tipo operacijos yra minimaliai invazyvios, dažniausiai jose naudojamas CO₂ lazeris su mikroskopu, lazerio spindulius nukreipiant mikromanipulatoriaus pagalba, operacijos atliekamos bendroje nejautroje, nelanksčiu pakeliančiuoju (suspensiniu) laringoskopu vizualizuojant gerklas. (22,23) Gydyimas lazeriais yra labai tikslus metodas, chirurgas

gali modifikuoti lazerio galios parametrus, dėmės dydį, pasirinkti tarp nuolatinio ir pulsuojančių režimų. Gerklų ligos operuojamos su mikroskopu – patologinis darinys apžiūrimas su dideliu padidiniu, tai leidžia geriau įvertinti išplitimą. Mikroskopai ir distalinio lusto laringoskopai gali būti suderinami su siauros šviesos spektro įrenginiais (ang. Narrow Band Imaging NBI), kurie leidžia vizualizuoti pakitusią mikrovaskulatūrą. Naudojant siauros šviesos spektro vaizdavimo įrenginius prieš operaciją ir operacijos metu padidina navikinio paviršinio išplitimo įvertinimo tikslumą. (24) Šiuo metu naudojami CO₂ lazerio mikromanipulatoriai geba fokusuoti lazerio spindulį mažesniame nei 250 μm plote, leidžia operuoti itin preciziškai. (20) Visi šie faktoriai paverčia lazerinę chirurgiją labai tiksliu gydymo metodu. Transoralinė lazerinė mikrochirurgija (TLM) yra pagrįsta naviko plitimo principu, pašalinant tik paveiktus audinius ir struktūras, pašalinant kuo mažiau sveiko audinio. Toks metodas leidžia išsaugoti nepažeistą gerklų kremzlinį karkasą, taip išsaugojama gerklų funkcija. Šios technikos tikslas – pašalinti naviką, taikant fonochirurginę techniką siaurų, naviko nesiekiančių ribų rezekciją ankstyvųjų balso klosčių navikų (Tis – T2) atveju, siekiant maksimaliai išsaugoti balso funkciją. Tuo tarpu esant vidutinio ar pažengusio naviko stadijai, gali būti atliekama agresyvesnė, dalinius gerklų segmentus apimanti rezekcija - chordektomija, siekiant užtikrinti radikalią onkologinį gydymą. (25)



Paveikslas 2. Skirtingi chordektomijų tipai. Adaptuota iš The European Laryngological Society classification of endoscopic corpectomies.

Lazerinės chirurgijos privalumai

Pritaikius lazerius chirurgijoje, minimaliai invazyvi chirurgija tapo pritaikoma gerkloms gydyti tiek operuojant pakeliančios laringoskopijos technika, tiek atliekant ambulatorines operacijas lanksčiu

laringoskopu. Lazerinių technologija, kai tinkamai naudojama, turi privalumų lyginant su atvira gerklų chirurgija, nes užtikrina didesnę preciziškumą, sumažėja aplinkinių audinių trauma ir kontroliuojamas kraujavimas. (16)

Įvairiems gerklų susirgimams yra galimybė taikyti procedūras gydytojo kabinete, kai operacijos atliekamos vietinėje nejautroje lanksčiu laringoskopu. Distalinio lusto lankstūs laringoskopai su aukštos raiškos vaizdo kokybe, leidžia stebėti ir įrašyti vaizdą vaizdo ekrane. Be to, į endoskopą integravus darbinį kanalą, per jį pravedamos lanksčios lazerio šviesą perduodančios skaidulos. (26,27) Tokio tipo operacijos yra pritaikomos, saugios ir gerai toleruojamos. Jos lemia laiko iki diagnozės ir gydymo sutrumpėjimą, bei leidžia sumažinti gydymo išlaidas. Šis gydymo metodas gali būti gydymo būdo pasirinkimas pacientams, turintiems kontraindikacijų bendrajai nejautrai arba kai pacientai išreiškia norą būti operuojami vietinėje nejautroje, taip pat esant pakitimams, kurie negali būti vizualizuoti ir operuojami rigidiniais laringoskopa, kai paciento kaklas nėra pakankamai mobilus, ar yra kontraindikacija kaklo hiperekstenzijai, pvz. esant kaklo slankstelių patologijai. (28–30) Dėl anestezijos, technologijų, instrumentų ir chirurginės technikos pažangos terapija iš operacinės persikėlė į kabinetą, ir apskaičiuota, kad iki 15 % procedūrų atliekama kabinete. (31)

Šio tipo operacijos padeda išvengti bendrosios nejautos ir dažnu atveju sedacijos, o pacientai gerai toleruoja šias operacijas. (32) Kadangi pacientai operacijų, atliekamų kabinete metu, būna sąmoningi, yra galimybė pacientams atlikti įvairius kaklo judesius, kad būtų pagerintas priėjimas prie pažeidimo, ar manevrus, pvz. Valsalvos, padedančius vizualizuoti piriforminį sinusą ir užpakalinį žiedinės kremzlės regioną. (33) Plačiam gerybinės gerklų patologijos spektrui (pasikartojanti kvėpavimo takų papilomatozė, leukoplakija ir kt.) Transnasalinė lanksti lazerinė chirurgija (TNFLS) kabinete yra gydymo alternatyva operacinėje atliekamoms operacijoms, ypač atsinaujinančioms ligoms ir dariniams, pvz. pasikartojančiai kvėpavimo takų papilomatozei, nes operacijos gali būti kartojamos vietinėje nejautroje. Gydant labai pasikartojančias ligas, galima gydyti kiekvieną nedidelį pasikartojimą, taip trumpinamas laiko tarpas tarp procedūrų, išlaikant gerą balso kokybę ir atvirus kvėpavimo takus, bei išvengiant papilomų augimo, kurioms pakankamai užaugus, reiktų atlikti intervenciją taikant bendrąją anesteziją. Laiku skirtas gydymas padeda išvengti pakartotinių bendrųjų nejautrų ir palengvinama ligos našta pacientams, operacijos gali būti saugiai kartojamos su minimalia sveikatos pažeidimo rizika. Operacijos kabinete yra saugesnė gydymo alternatyva, nei operacijas kartojamos bendroje nejautroje. (33–35) Araki ir kt. studijos autoriai spekuliuoja, kad tokiais atvejais, ligos kontrolė ankstyvose ligos stadijose gali būti pasiekta kartojant operacijas procedūriniame kabinete taip sumažinant ligos našta pacientui. (29) TNFLS privalumai: pacientai gali būti gydomi dienos stacionare, po tokio tipo operacijų nereikia

hospitalizacijos. Lyginant su operacijomis bendroje nejautoje, laukimo laikas iki operacijos atliekamos kabinete yra trumpesnis, o toks gydymo metodas lemia panašias išeitis su mažesnėmis išlaidomis. TNFLS metu daug mažesnė rizika pažeisti paciento dantis nei operuojant rigidiu laringoskopu, taip pat TNFLS metu laringoskopas yra lankstus, todėl galima lengviau vizualizuoti sunkiai prieinamas anatomines struktūras. (35) Operacijos kabinete naudingos pasikartojančios kvėpavimo takų papilomatozės ir kitų užkrečiamų kvėpavimo takų ligų atvejais, nes leidžia tinkamai vizualizuoti visas gerklų dalis, įskaitant gerklų skilvelį ir užpakalinę komisūrą, bei suteikia sveikatos priežiūros specialistams didesnę apsaugą nuo užteršimo mikroorganizmais per orą. (35)

Šiuo metu, visi lazeriai gali būti derinami su lanksčiomis lazerio spindulius perduodančiomis skaidulomis ar CO₂ lazerio atveju su lankčiu tuščiaviduriu šviesolaidžiu, tad bet kuris lazeris gali būti naudojamas kabinete atliekamoms operacijoms. Lazerio pasirinkimą lemia norimas pasiekti rezultatas. (35) Xie ir kt. atlikta sisteminė apžvalga ir nerado įrodymų, kad lazerinė chirurgija kabinete yra mažiau saugi, palyginti su lazerine chirurgija operacinėje. (36)

Šiuo metu gerklų vėžiui gydyti yra trys alternatyvos: transoralinė lazerinė mikrochirurgija (TLM) atvira gerklų operacija – dalinė ar totalinė laringektomija ir radioterapija (RT). TLM ir spindulinė terapija daugelyje pasaulio centrų yra pirmojo pasirinkimo gydymo metodai ankstyvosioms gerklų navikų stadijoms. Pacientams, sergantiems ankstyvosios stadijos liga, transoralinė lazerinė mikrochirurgija gali užtikrinti tiek gydomąjį poveikį, tiek organo išsaugojimą išvengiant nepageidaujamų reiškinių, būdingų RT. Tačiau pažengusių navikų stadijų gydymas TLM metodu išlieka kontroversiškas. (20) Tokios operacijos metu, darinio ribos gerai vizualizuojamos, dariniai gali būti šalinami *en bloc* arba disekuojami pasluoksniui, taip įvertinant darinio išplitimo ribas ir gylį. (23) Lyginant su atviromis skirtingų tipų laringektomijomis, TLM metu, išsaugomas gerklų kremzlinis karkasas ir infrahyoidiniai raumenys. Manoma, kad tai yra priežastis, lemianti geresnę pacientų rijimo funkciją po šios metodikos operacijų lyginant su atviromis laringektomijomis. (37) TLM operacijos yra ir labiau ekonomiškai efektyvi gydymo alternatyva, užtikrinanti trumpesnę hospitalizavimo laikotarpį, bei greitesnę gijimo procesą. (38) Mažiau nei 2 % visų pacientų prireikia intraoperacinės tracheostomijos, o pooperacinių komplikacijų dažnis yra labai mažas. (39) Daugumai pacientų operaciją galima atlikti taikant ambulatorinį arba vienos dienos stacionaro režimą. Trumpa hospitalizacija žymiai sumažina gydymo kaštus. Skirtingų studijų duomenimis TLM yra ekonomiškai efektyviausias gerklų vėžio gydymo metodas. (8)

Šiuo metu, operuojant patyrusiam chirurgui, lokali T1-T2 gerklų vėžio stadijos ligos kontrolė išvengiant laringektomijos, gali būti pasiekama 80-90% pacientų. (40) TLM, palyginti su atvira daline chordektomija ar radioterapija, pasižymi panašiais arba geresniais onkologiniais rezultatais, įskaitant ilgą išgyvenamumą be ligos, vietinės ar regioninės ligos kontrolės rodiklį ir gerklų

išsaugojimo rodiklį. Remiantis kohortiniais tyrimais, ankstyvojo gerklų vėžio vietinės kontrolės rodiklis yra $> 90 \%$, o gerklų išsaugojimo rodiklis $> 95 \%$. (41–43) Atlikta sisteminė apžvalga ir metaanalizė nustatė TLM pranašumus lyginant su RT bendro išgyvenamumo, ligai specifinio išgyvenamumo ir gerklų išsaugojimo aspektais, o lokali ligos kontrolė tarp TLM ir RT statistiškai reikšmingai nesiskyrė gydytiems T1 stadijos gerklų vėžio pacientams. (44) Ma ir kt. atlikta pirmoji daugiamodalinė balso analizė, tyrusi balso funkciją RT gavusių ir TLM operuotų pacientų dėl ankstyvos stadijos gerklų vėžio parodė, kad ilgalaikė balso funkcijos išeitis yra geresnė TLM nei RT pagal objektyvius rodiklius (GRBAS įvertį, Disfonijos Cepstral Spectral indeksą), subjektyvus BNI-10 balas tarp tiriamųjų grupių statistiškai reikšmingai nesiskyrė. Teigiama, kad norint pasiekti kuo geresnę ilgalaikę balso funkcijos išeitį pacientams, sergantiems ankstyvąja gerklų karcinoma, pirmenybė teikiama TLM, o ne RT. (45) RT gali lemti trumpalaikes komplikacijas: celiulitą, sveikų audinių mukozitą ar kserostomiją. Dėl šių priežasčių, pacientai dažniau renkasi lazerinę chirurgiją. (46) Lyginant TLM metodu ir atviros dalinės chordektomijos rezultatus T1 gerklų karcinomai gydyti, Karatzanis ir kt. atlikta studija nustatė panašias onkologines išeitis, tačiau pooperacinio ligotumo išeitys TLM tiriamųjų grupėje buvo geresnės. (47)

Įvykus ligos recidyvui, pacientai gydyti TLM turi pilną spektrą gydymo variantų, įskaitant revizinę chordektomiją, RT, atvirą laringektomiją. Ilgalaikio išgyvenamumo rodikliai ir ligos relapsų dažnis nesiskiria tarp lazerinės chirurgijos ir RT. (48,49) TLM kaip antros eilės gydymas taip pat turi daug privalumų. Zhong ir kt. atlikta sisteminė analizė nustatė, kad TLM yra veiksmingas gerklų vėžio recidyvo po pirminio gydymo būdas, lemiantis gerą bendrą išgyvenamumą, vietinę ligos kontrolę, ir didelį gerklų išsaugojimo dažnį. (50)

Lazerinės chirurgijos trūkumai

Operacijoms su lanksčiu laringoskopu gali trukdyti stiprus žiaukčiojimo refleksas ar laringinis hipersensityvumas. (28,30) TNFLS trūkumus lemia subjektyvūs veiksniai. Tokių operacijų preciziškumą ir galimas komplikacijas lemia operuojančio gydytojo profesionalumas ir paciento tolerancija. Galimybės ištaisyti galimas intraoperacines komplikacijas taip pat ribotos, atliekant operaciją gydytojo kabinete. Nors manoma, kad mėlynos spalvos lazeris sukelia mažiau kraujavimo komplikacijų lyginant su šaltaisiais mikroinstrumentais, CO₂, KTP, lazeriais. (51) Pirmą tokio tipo operaciją įprastai atliekama labai konservatyviai, siekiant išvengti audinių randėjimo ar perteklinio terminio poveikio, tai didina reoperacijų tikimybę. Objektyviai atstumas ir kampas tarp lazerio pluošto gleivinės pažeidimo negali būti išmatuojamas, lazerio pluoštas ir energija negali būti standartizuoti skirtingoms gerklų patologijoms, dėl to atsiranda suteikiamų paslaugų kokybės kintamumas. (3) Operacija, nepažįstama aplinka pacientams sukelia stresą. TNFLS atliekamą

gydytojo kabinete metu aprašoma tachikardijos ir hipertenzijos atvejų, todėl prieš operaciją nustatyti kardiovaskuliniai rizikos veiksniai gali būti kontraindikacija tokio tipo operacijai. Siekiant išvengti komplikacijų pacientai turėtų būti supažindinami su operacijos atlikimo technika, kabineto aplinka dar prieš operaciją. Operacijų kabinete metu gali įvykti komplikacijos, kaip edema, purpura, kraujagyslių pralaidumo atvejai ar laringospazmas. Edema įvyksta, kai lazerio energija paveikia sveikus, aplink patologinį darinį esančius audinius. Purpura ir kraujagyslių pralaidumo atvejai įvyksta dėl fototermolizės reiškinių, to galima išvengti mažinant lazerio spindulių ekspoziciją audiniams. Laringospazmas įvyksta dažniausiai hipersensityviems pacientams; nurijus seiles ir stipriai įkvėpus pro nosį sučiaupus burną ši situacija dažniausiai išsisprendžia. Nors ir retai, pasitaiko komplikacijų susijusių su anestetikų naudojimu vietinei anestezijai. (35) Dažniausios komplikacijos yra vazovagalinės sinkopės 4,1%, operacijos pirmalaikis nutraukimas dėl paciento operacijos netoleravimo 13,6%. (52) Nepalankios gerklų patologijos gydymui gydytojo kabinete: pažeidimai žemiau balso plyšio, difuzinis pažeidimas ar didelės masės patologija. (3) Atvejai kai dariniai yra egzofitiniai, dideli ar yra kvėpavimo takų pažeidimai taip pat nėra tinkami operuoti kabinete. (35)

Nors endoskopu galima atlikti daugelį operacijų kabinete, yra anatominių vietų, kurias sunku tinkamai pasiekti ir operuoti, pvz. užpakalinė ryklės sienelė. (33) Norint užtikrinti TNFLS operacijos sėkmę, pacientas turi gerai toleruoti procedūrą, paciento judesiai ar žiaukčiojimo refleksas gali sumažinti gydymo efektyvumą, bei lemti jatrogenines pažaidas. Norint to išvengti būtinas pakankamas gerklų, ryklės nuskausminimas. (35)

TLM operacijos irgi turi limitacijų ir trūkumų. Gera gerklų ekspozicija būtina sėkmingai TLM operacijai. Kai gerklos vizualizuojamos mikrolaringoskopu tik dalinai, tai gali lemti blogas išeitis: klaidingą diagnozę, nevisišką rezekciją, nereikalingą papildomą adjuvantinę terapiją arba netyčinį dantų ir gerklės bei ryklės minkštųjų audinių sužalojimą. (53) Buvo lyginama panašių T1-T2 gerklų vėžio pacientų navikų pašalinimo radikalumas. Skirtumas tarp šių pacientų – vienai pacientų grupei priekinė balso klosčių komisūra buvo lengvai vizualizuojama, o kitai grupei buvo būdinga apsunkinta priekinės balso klosčių komisūros ekspozicija. Kai priekinė gerklų komisūra prastai vizualizuojama, dvigubai dažniau nustatomas teigiamas rezekcinis kraštas, lyginant su pacientų grupe, kuriai gerklų ekspozicija buvo gera ir nekomplikuota. (53) Kai navikas yra pažeidęs priekinę komisūrą, kyla daug diskusijų, ar toks navikas yra tinkamas TLM operacijai. Netikėti sunkumai TLM operacijos metu vizualizuojant priekinę komisūrą apimančius pažeidimus gali lemti nepilną naviko rezekciją. Toks klinikinis scenarijus yra neigiamas onkologinių ir funkcinių rezultatų prognozavimo veiksnys. (54) Laringinė chirurgija bendroje nejautroje atitolina laiką iki diagnozės ir adekvataus gydymo, nes operacijas reikia planuoti. Galima žala dantims dėl naudojamų rigidinių

laringoskopų. (55) TLM operacijos mokymosi kreivė yra ilga, tai reiškia, kad išmokti operuoti transoraliai yra sudėtinga. Lyginant su atvira operacija, kai mokantysis gali tiksliai sekti mokojo veiksmus, TLM metu operatorius turi geresnį vaizdą, o asistentas prastesnį, todėl TLM operacijos metu mokančiajam yra sunkiau sekti mokojo veiksmus, daryti korekcijas ir tai apsunkina bei prailgina mokymosi procesą. (56) Lazerio spindulio atsispindėjimas nuo intubacinio vamzdelio gali sukelti netyčinį sveikų aplinkinių audinių pažeidimą, pažeisti intubacinį vamzdelį, taip pakeisdamas anestetikų savybes ar jiems susimaišius su deguonimi – sprogimą. Sprogimas ar gaisras kvėpavimo takuose yra sunki lazerinės chirurgijos komplikacija. Operacijos metu gali susidaryti nuodingi garai toksiški gydytojui, komandai ir pacientui. (57) Reikia imtis papildomų atsargumo priemonių, norint operacijos metu išvengti veido ir burnos gleivinės nudegimų, oro užteršimo. Galimos ir atokios (vėlyvos) pooperacinės komplikacijos, kaip emfizema, balso klosčių randėjimas ar disfunkcija. (1,12) Nors lazerinė chirurgija yra pigesnė nei radioterapija, lazerio aparatas yra brangus - gali būti neprieinamas mažiau pasiturinčioms gydymo įstaigoms. Nepaisant pačio lazerio įrenginio, kuris gali būti brangus, yra ir papildomų išlaidų kai operuojama su lazeriu. Tokio tipo operacijose turi būti naudojamas lazerio spinduliams atsparus endotrachėjinis vamzdelis, arba įprastas endotrachėjinis vamzdelis dengiamas sudrėkintais tvarsčiais, siekiant išvengti kvėpavimo takų gaisro. Lazeriu asistuojamose operacijose turi būti naudojamas specialus siurbimo prietaisas, sugeriantis lazerio pliūpsnio sukeltus dūmus, speciali saugos įranga ir ženklavimas, bei laikas susijęs su įrangos ir ženklavimo įrengimu ir priežiūra, bei paciento ir personalo apsauginės priemonės. Taip pat reikia suprasti, kad dėmės dydis neapriboja temperatūros plitimo, audiniai esantys plačiau nei lazerio dėmės dydis taip pat gali įkaisti ir tai yra susiję su potencialia šilumine trauma, kas gali sukelti nepageidaujamus šalutinius poveikius ir lemti blogą pooperacinę balso funkciją. Operuojant lazeriu gydytojas netenka jutiminio pojūčio, kitaip nei operuojant šaltaisiais mikrochirurginiais instrumentais. Gydytojui sunku nustatyti pažeidimo kietumą ir išplitimą. Lazerio energijos paveikti audiniai pakinta, tai gali maskuoti rezekcijos kraštą ir apsunkinti rezekcijos krašto įvertinimą, kai svarbu tikslus rezekcijos krašto įvertinimas, norint įvertinti operacijos radikalumą. (32)

Lazerinė chirurgija reikalauja gydytojo įgūdžių ir patirties. Analizės rodo, kad daugiau patirties turintys gydytojai pasiekia geresnių rezultatų. (58) Literatūroje sunku rasti standartizuotus lazerio parametrus ir galios nustatymus, kurie turėtų būti pritaikomi skirtingoms laringologinėms patologijoms. Tai slypi lazerinės chirurgijos prigimtyje. Skirtingi galios parametrai gali lemti skirtingą šalutinę žalą aplinkiniams audiniams. Kiekvienai procedūrai lazerio nustatymai turi būti pritaikomi chirurgo, įvertinant susirgimą pagal chirurgo turimą patirtį. Audinių pažeidimas priklauso nuo audinio sugerties koeficiento, lazerio bangos ilgio, galios tankio ir laiko, per kurį audinys yra veikiamas lazeriu, o tai labai priklauso nuo technikos. (1)

CO₂ lazeris

CO₂ lazeris yra plačiai naudojamas otolaringologijoje. Šio lazerio bangos ilgis (10,6 μm arba 10 600 nm) nepatenka į regimąjį spektrą, todėl darbui su juo būtinas pagalbinis nukreipiamasis spindulys, generuojamas helio-neono arba diodinio lazerio. Vandens molekulės ir paviršinio sluoksnio ląstelės gerai sugeria lazerio spindulius, dėl to CO₂ lazeris pasižymi itin maža šalutine termine audinių sąveika, palyginti su kitų bangos ilgių lazeriais, naudojamais medicinoje. Jo šiluminė skvarba apsiriboja mikrometrų dydžio sluoksniu, tuo tarpu kitų lazerių bangų ilgiai gali įsiskverbti net kelis milimetrus. CO₂ lazeris yra plačiai naudojamas otolaringologijoje, dėl savo tikslumo ir nuspėjamos sąveikos su minkštaisiais audiniais, ypač audinių pjaustymui ir garinimui. Jo veikimo mechanizmas leidžia minimaliai pažeisti aplinkinius sveikus audinius ir sumažina anglėjimo formavimąsi. Šiuolaikiniai CO₂ lazeriai gali būti aprūpinti robotizuotais skeneriais ir pažangia „Acublade“ sistema. „Acublade“ – tai skenerio programinė įranga, leidžianti preciziškai valdyti spindulio trajektoriją per taikinį tiesiomis arba išlenktomis linijomis. Be to, galima individualiai programuoti spindulio veikimo parametrus: pjūvio ilgį (0,5–3,5 mm) ir gylį (0,2–2 mm), taip optimizuojant chirurginės intervencijos tikslumą ir saugumą. (19,57,59)

Audiniai CO₂ lazerio poveikyje gali įkaisti iki 100 °C, vyksta vandens išgarinimas. Audinių tūrio didėjimas atidalina audinių sluoksnius, įgalindamas lazerio pjovimo savybes. Staigus skysčio išgarinimas sumažina edemos riziką. Šis reiškinys vadinamas fotogarimu. (12,57) Dėl šių savybių CO₂ lazeris priskiriamas pjaunantiems lazeriams. CO₂ lazeris gali veikti nuolatinio ir pulsuojančiu režimais. Nuolatinis režimas įgalina chirurgą audinius pjauti kaip peiliu, o pulsuojantis režimas leidžia audinius dalinti pasluoksniui. Dažniausiai lazeris naudojamas pulsiniu režimu, tai užtikrina adekvačias pjovimo savybes, bei leidžia audiniams atvėsti, taip apsaugojami aplinkiniai audiniai nuo nepageidaujamos terminės žalos. (20) Lazeris veikdamas pjovimo ir abliavimo režimais yra labai nuspėjamas ir saugus. Kraujagyslės, kurių diametras yra iki 0,5 mm yra koaguluojamos lazerio spinduliais, tai užtikrina kraujavimo kontrolę, „sausą“ operacinį lauką, geresnes aseptines sąlygas. Lazerio poveikyje pasiekama aukšta temperatūra sumažina pooperacinio kraujavimo riziką, pagreitina gijimo procesus ir balso funkcijos išsaugojimo tikimybę. (12,57)

CO₂ lazeris yra efektyvus gerybinėms ir priešvėžinėms laringologinėms būklėms gydyti. Šių patologijų gydymo tikslas - pagerinti balso funkciją. Modernus lankstus tuščiaviduris šviesolaidis įgalina chirurgą atlikti labai precizišką darinio pašalinimą vietinės neįautros sąlygomis. (12,60) Tokio tipo operacijas galima atlikti ambulatoriškai. Studių metu buvo sėkmingai išgydyti gerklų leukoplakijos, polipų, papilomatozės, hiperkeratozės, balso klosčių cistos, karcinomos in situ atvejai. Daugeliu atvejų užteko vienos operacijos ligai suvaldyti, per stebimuosius laikotarpius ligos recidyvo nestebėta, o operacinių komplikacijų buvo išvengta. Pacientams ne tik buvo išgydyta liga,

bet pagerėjo balso funkcija vertinant subjektyviai, bei statistškai reikšmingai sumažėjo objektyvios balso funkcijos vertės (BNI-10 indeksas, fonacijos laikas, virpėjimas). (28–30) Lyginant CO₂ ir KTP lazerių pasikartojančios kvėpavimo takų papilomatozės gydymo efektyvumą, KTP lazeriu atlikta ekscizija lėmė reikšmingai geresnius pooperacinius klinikinius rezultatus ir mažesnę nesėkmių dažnį, palyginti su CO₂ lazeriu. (61) Tai leidžia manyti, kad KTP lazerio ekscizija gali būti veiksmingesnė gydant pasikartojančią kvėpavimo takų papilomatozę.

Kadangi tai lazeris, kuris pirmiausiai buvo pritaikytas laringologijoje, jis yra labiausiai ištirtas. CO₂ lazeris yra labai gera alternatyva šaltiesiems mikroinstrumentams, dėl mažesnio traumos paviršiaus, minimalios šalutinės žalos, efektyvios hemostazės ir mažesnės pooperacinės edemos ir skausmo. (1) CO₂ lazeriu operuojant patyrusiam chirurgui, 80 – 90% pacientų sergančių T1-T2 stadijos gerklų vėžiu galima sustabdyti ligos plitimą ir išvengti laringektomijos. (40) TLM atlikta asistuojant CO₂ lazeriu ankstyvos stadijos (T1a, T1b ir atrinkti T2 ir T3 atvejai) gerklų vėžiui turi privalumų lyginant su radioterapija ar atvira daline laringektomija. TLM asistuojamos CO₂ lazeriu pasižymi visais privalumais būdingais TLM operacijoms: leidžia sumažinti intraoperacinį ir pooperacinį mirtingumą, trumpesnę hospitalizaciją, išsaugoti fiziologinę kvėpavimo funkciją, nesukeltiant rijimo sutrikimų. TLM asistuojant CO₂ lazeriu rodo geresnius rezultatus lyginant su radioterapija (62) Zheng ir kt. metanalizės duomenimis TLM operacijos atliktos su CO₂ lazeriu yra lygiavertės pooperacinio išgyvenamumo, ligos atkryčio ir balso funkcijos prasme lyginant su radiodažnumine abliacija, radioterapija, KTP lazeriu atliekamomis operacijomis. Tačiau operuojant CO₂ lazeriu, pasiekiamas greitesnis pooperacinis gleivinės gijimas. (63)

Be įprastų lazerinei chirurgijai komplikacijų, operuojant CO₂ lazeriu audiniai stipriai įkaista, todėl anglėjimo visiškai išvengti sunku, tai gali sukelti sunkumų įvertinant rezekcinio krašto radikalumą. (12) Norint operuoti CO₂ lazeriu, reikia įgūdžių, o mokymosi kreivė yra ilga. Svarbu pabrėžti, kad CO₂ lazeris reikalauja patirties ir gerai išlavintų manualinių įgūdžių. Egzistuoja tiesioginis ryšys tarp gydytojo patirties ir ligos atkryčio dažnio – daugiau patirties turintys chirurgai pasiekia geresnių pooperacinių rezultatų. (58)

Diodinis lazeris

Diodinis lazeris yra tinkamas minkštųjų audinių chirurgijai. Lazerio šviesos bangos ilgis varijuoja tarp 805-980 nm (20) 810 nm ir 980 nm šviesos bangos ilgio lazeriai buvo naudojami medicinoje, tačiau nuo 2013 m., 980 nm šviesos bangos ilgio diodinis lazeris tapo dažniausiai naudojamu laringologijoje. Pagrindinis skirtumas tarp šių dviejų diodinių lazerių bangos ilgių yra jų skirtinga šviesos absorbcija balso raukšlėje. 980 nm bangos ilgis yra labiau absorbuojamas vandens nei 810 nm. (38) Šio lazerio šviesa perduodama per stiklo pluošto lanksčias skaidulas, kurių diametras gali

būti 300 – 1400 μm . (38) Tačiau 980 nm bangų ilgio diodinis lazeris dažniausiai yra naudojamas su 400 μm diametro skaidulomis, kurios naudojamos su endoskopais gali būti tiksliai nukreipiamos į sunkiai pasiekiamas anatomines vietas per pieštuką primenantį rankinį zondinį aplikatorių, taip užtikrinant tikslumą. (38,64) Diodinio lazerio spinduliai yra artimi infraraudonųjų spindulių spektro spinduliams, o šie bangos ilgiai daugiausia absorbuojami hemoglobino ir melanino. Lazerio šviesos prasiskverbimo gylis priklauso nuo šių tamsių pigmentų koncentracijos ir paprastai siekia 0,3–1,0 mm. Šio lazerio šviesą sugeria ir vandens molekulės, tačiau prasčiau nei CO₂ lazerio. Todėl diodinis lazeris labiau tinka fotokoaguliacijai, tačiau gali ir pjauti minkštuosius audinius. (46,65) Atliekant tyrimus su gyvūnais pastebėta, kad 980 nm lazerio spinduliai geba keisti PDGF ir bFGF genų ekspresiją taip stimuliuojant ląstelių proliferaciją ir fibroblastų augimą. Ši savybė leidžia pagreitinti žaizdų gijimą. (66) Diodinis lazeris medicinoje yra pritaikomas dėl savo pjaunančių savybių, kai lazeris naudojamas nuolatinės srovės režime. Šis lazeris populiarus nosies ertmės ir priekinio kaukolės pamato navikams rezekuoti. (20)

Diodinis lazeris gali būti naudojamas nuolatinės srovės ir pulsiniu režimu. Kontaktiniu būdu naudojamas lazeris užtrikrina fotokoaguliaciją ir audinio abliaciją, priklausomai nuo lazerio galios. Nekontaktiniu būdu naudojant lazerį, užtikrinama gera fotokoaguliacija, dėl geros melanino ir hemoglobino lazerio spindulių absorbcijos. (65,67,68) Geriausiai chirurgijai tinka 5-25 W lazerio galios nustatymas. Norint pjauti audinius, priimtina galią nustatyti 5-10 W intervale ir lazerio skaidulas taikyti kontaktiniu būdu. Lazerio galią nustačius 10 – 15 W intervale ir lazerį naudojant nekontaktiniu būdu – pasiekama gera audinių abliacija. Pakankamai fotokoaguliacijai pasiekti, lazerio galia nustatoma 5 – 10 W intervale ir lazerio skaidulos naudojamos nekontaktiniu būdu. (69) Literatūroje vis dar trūksta duomenų apie idealius lazerio parametrus. Aprašomi atvejai, kai gerklų patologijai gydyti naudojamas diodinis lazerio galios režimas svyruoja tarp 3 W ir 60 W. Arroyo ir kt. sisteminės analizės duomenimis, 980 nm diodinis lazeris naudojamas 3–9 W galios intervale, tiesioginio kontakto metodu ir naudojant nuolatinės srovės režimą. (38) Tai rodo, kad diodinis lazeris praktikoje pritaikomas dėl savo pjaunančių savybių, tačiau jos yra prastesnės nei CO₂ lazerio.

Atliekant TLM operacijas diodiniu lazeriu, operacijose naudojama pakeliančios laringoskopijos technika, leidžianti pasiekti gerklas, o gerklos vizualizuojamos mikroskopu, 30° endoskopu arba 3D vizualizavimo sistema. Diodinio lazerio spinduliai perduodami per lanksčias skaidulas, jas nukreipiant zondų, įgalina pasiekti sunkiai prieinamas anatomines vietas. (21) (žr. priedą 1)

Diodinis lazeris gali būti pritaikomas gydant burnos ertmės, nosies ertmės ir sinusų, gerklės, ryklės ir trachėjos susirgimus. (69) Dėl lanksčių lazerio skaidulų gali būti pasiekiamos net ir sunkiai tiesiais lazerio spinduliais pasiekiamos gerklų vietos, pvz. priekinė balso klosčių komisūra. (38,67)

Šis lazeris gali būti pritaikomas operuojant vietinėje nejautroje, gydytojo kabinete. Nors literatūroje nėra daug studijų nagrinėjančių diodinio lazerio panaudojimą vietinėje nejautroje atliekamoms operacijoms, nuo 2005 metų 525 tokio tipo balso klosčių operacijų buvo atlikta sėkmingai be komplikacijų su geromis išeitimis. (70) Diodinio lazerio naudojimas endolaringinėje mikrochirurgijoje paskutiniaisiais metais išaugo. (71) Laringologijoje diodinis lazeris gali būti naudingas įrankis gydant suprastominę granulomą, laringomaliaciją, balso klosčių polipus ir sąaugas, papilomas, glotinę karcinomą, abipusę balso klosčių parėzę, subglotines cistas, subglotinę stenozę, subglotines hemangiomos ir limfangiomos, abipusę balso klosčių parėzę. Gydomo išeitys yra lygiavertės lyginant su kitais laringologijoje naudojamais lazeriais. (38,72) Gydant pacientus sirgusius balso klosčių polipais, statistiškai reikšmingo skirtumo tarp pacientų pooperacinių išėčių gydytų diodiniu lazeriu ir šaltaisiais mikroinstrumentais laringinės mikrochirurgijos metu nebuvo pastebėta. (71) Vaikų populiacijoje, diodiniu lazeriu gali būti sėkmingai išoperuotos įvairios gerklų gerybinės būklės, kaip gerklų papilomos, polipai, sąaugos subglotinė stenožė ir subglotinės cistos, balso klosčių mazgeliai, atliekamos arytenoidektomijos, aryepiglotoplastikos, gydomos suprastominės granuliacijos. Šios Bajaj ir kt. atliktos studijos metu su lazerio naudojimu susijusių komplikacijų nebuvo pastebėta, o 61% visų pacientų pakako vienkartinės operacijos. Autoriai teigia, kad diodinis lazeris yra efektyvus įrankis vaikų gerklų ligoms gydyti, dėl lanksčių lazerio spindulį perduodančių skaidulų, užtikrinamas preciziškas gydymas. Tačiau trūksta įrodymų, kad diodinis lazeris veikia geriau nei kitos lazerinės sistemos. (64) 13 vaikų (amžius 4.43 ± 3.4 metų amžiaus) buvo atliktos iš viso 56 operacijos juvenilinei pasikartojančiai kvėpavimo takų papilomatozei gydyti diodiniu lazeriu. 30,8% visų operacijų buvo susijusios su komplikacijomis: balso klosčių priekinės dalies sąaugos, supraglotinė stenožė, glotinė stenožė, tai didesnis komplikacijų dažnis po lazerinio gerklų gydymo, nei aprašoma literatūroje. Autoriai spekuliuoja, kad taip nutiko dėl patirties stokos ir netinkamų lazerio parametrų, bei rekomenduoja rinktis diodinį lazerį juvenilinei pasikartojančiai kvėpavimo takų papilomatozei gydyti, tik tuomet, kai CO₂ lazeris yra neprieinamas. (73)

Literatūroje trūksta įrodymų diodinio lazerio naudojimui, visgi diodinis lazeris naudojamas atliekant įvairias laringologines operacijas. 980 nm diodinis lazeris dėl savo savybių yra alternatyva CO₂ lazeriui. (38,48) Cömert ir kt. atlikta studija parodo, kad diodinis lazeris yra daug žadantis instrumentas ankstyvam gerklų vėžiui gydyti. 72 pacientams navikai buvo pašalinti chirurgiškai asistuojant diodiniu lazeriu, o 68 pacientams buvo taikoma RT. 6,9% lazeriu gydytų pacientų ir 10,2% RT gavusių pacientų įvyko lokalus ligos recidyvas. 3 metų ilgalaikis pacientų išgyvenamumas statistiškai reikšmingai nesiskyrė šiose dviejose pacientų grupėse. Autoriai mano, kad mikroskopinė diodinio lazerio chirurgija yra onkologiškai saugi procedūra, kuri lemia panašų 3 metų išgyvenamumą kaip ir radioterapija. (48) Tuncel ir kt. tyrimas pateikia įrodymų, kad TLM

diodiniu lazeriu yra saugus ir veiksmingas ankstyvosios stadijos balso klosčių vėžio, apimančio priekinę komisūrą gydymo būdas. Panašūs vietinio recidyvo dažniai rodo, kad TLM atliekamos su diodiniu lazeriu gali būti stipri CO₂ lazerio alternatyva, ypač gydant navikus, apimančius priekinę komisūrą. Studijos metu buvo operuoti 108 pacientai ir po operacijos stebėti vidutiniškai 51,5 mėn. Pacientų pradinio penkerių metų ligos vietinės kontrolės dažnio ir penkerių metų išgyvenamumo be ligos rodikliai statistiškai reikšmingai nesiskyrė nuo literatūroje aprašomų CO₂ lazeriu gydytų pacientų rodiklių. Tačiau lyginant balso klosčių sąaugų susidarymo dažnius, diodiniu lazeriu gydytų pacientų buvo mažesnis nei CO₂ lazeriu gydytų pacientų dažnio aprašomo literatūroje (5,5 % ir 10,6% atitinkamai). (74) Liang ir kt. atlikta studija patvirtina, kad naudojant diodinį lazerį, galima operuoti priekinę komisūrą. Šios studijos metu buvo naudojama novatoriška dvigubo bangos ilgio 980nm/1470nm diodinių lazerių sistema. Studijos metu buvo operuojami pacientai sirgę ankstyvos stadijos gerklų vėžiu. Ši lazerių sistema leidžia vienu metu perduoti skirtingos šviesos bangos ilgio lazerio energiją per vieną skaidulą. (21) Dvi pacientų grupės buvo operuotos asistuojant dvigubo bangos ilgio diodinio lazerio ir CO₂ lazerio sistemoms. Visų pacientų navikai buvo pašalinti sveikų audinių ribose, tačiau statistiškai reikšmingai skyrėsi operacijos laikas, kuris dvigubo bangos ilgio diodinio lazerio grupėje buvo trumpesnis (32 min. ir 37,5 min. atitinkamai). Autorių teigimu, lyginant su CO₂ lazerine chirurgija, transoralinė 980 nm/1470 nm dvigubo bangos ilgio lazerio mikrochirurgija yra saugus ir veiksmingas ankstyvos stadijos balso klosčių vėžio gydymo metodas. Ji užtikrina aiškų chirurginį lauką be kraujavimo ir leidžia atlikti operaciją paprasčiau, sklandžiau bei greičiau. (21) Šios sistemos efektyvumas grindžiamas vandens ir hemoglobino molekulių 980 nm lazerio šviesos bangos ilgio absorbcija, suteikianti lazeriui geras hemostazines bei pjovimo savybes. Tuo tarpu 1470 nm šviesos bangos ilgio lazerio vandens absorbcijos koeficientas yra 40 kartų didesnis nei 980 nm lazerio, todėl jis pasižymi mažesniu skvarbumu, bei efektyviai pjauna audinius. Toks dviejų lazerių savybių derinys lemia momentinį pjovimą ir koaguliaciją tiek kontaktiniu, tiek bekontakčiu režimu. (21) Visgi tai yra vienintelė studija, kai buvo naudojamas dvigubo bangos ilgio lazerio sistema gerklų vėžiui gydyti. Duomenų bazėse nepavyko rasti kitų straipsnių, aprašančių analogiškų lazerinių sistemų naudojimo laringologijoje atveju.

Operuojant lazeriu galimos komplikacijos kaip infekcija, trachėjos sąaugos, lazerio sąlygotos granulomos, gerklų stenoze, kraujavimas, fistulės susiformavimas. Nors ir retai, pasitaiko poodinė emfizema, itin retai lazerio spinduliais sukeltas gaisras kvėpavimo takuose. (38) Operuojant diodiniu lazeriu gali susiformuoti balso klosčių sąaugos, išsivystyti perichondritas. Manoma, kad perichondrito galima išvengti sumažinus diodinio lazerio galios parametrus iki 3-5 W. (74) Pjovimas diodiniu lazeriu nėra toks linijinis, kaip kitų sistemų, pvz CO₂ lazeriu, todėl tai gali lemti aplinkinių audinių anglėjimą. (69)

Mėlynos spalvos lazeris

Iki mėlynos spalvos lazerio atsiradimo nebuvo sukurta hibridinio lazerio įrenginio, kuris vienoje sistemoje sujungtų pjovimo ir fotoangiolitinio lazerio savybes. Mėlynos spalvos lazerio šviesos bangos ilgis (445 nm) yra mėlynos spalvos spektre. Mėlynos šviesos lazeris yra priskiriamas fotoangiolitiniams lazeriams, nes jo spindulius hemoglobinas, melaninas ir pigmentai sugeria geriausiai lyginant su kitais fotoangiolitininiais lazeriais. (15) 445 nm šviesos bangos ilgio lazerio spinduliai turi fotoangiolitines ir pjaunančias savybes, o šiuo lazeriu galima ne tik koaguluoti kraujagysles, bet ir pjauti audinius, atlikti darinių rezekcijas, todėl šis lazeris gali būti plačiai pritaikomas laringologijoje. Tai kol kas yra pirmasis lazeris pasižymintis koaguliuojančiomis ir pjovimo savybėmis, tai lemia šio lazerio pritaikomumą plačiam patologijų spektrui ne tik išimtinai laringologijoje, bet apskritai otorinolaringologijoje ir medicinoje. (15,52,75) Palyginus su konveciniais fotoangiolitininiais (KTP ir PDL) lazeriais, dabartinis mėlynos spalvos lazeris yra techniškai labai supaprastintas. (15,76) Mėlynos spalvos lazeris perduoda energiją per puslaidininkį, galia pasirinktinai gali būti 1 mW-10 W intervale, o lazerio spinduliai perduodami per 300, 400 ir 600 μ m diametro skaidulas. (16) Kadangi iš trijų aptariamų lazerių šiame darbe, tik 445 nm mėlynos spalvos lazeris yra priskiriamas fotoangiolitiniams lazeriams, tikslinga mėlynos spalvos lazerį lyginti su konveciniais fotoangiolitininiais lazeriais kaip KTP ar PDL. Dėl mėlynos spalvos lazerio šviesos selektyvumo žala aplinkiniams audiniams ir epiteliui išlieka minimali. Dėl trumpesnio šviesos bangos ilgio – mėlynos spalvos lazerio spinduliai geriau išsklaidomi audiniuose už ilgesnio bangų ilgio kitų fotoangiolitinių lazerių šviesą. Tai padeda išvengti aplinkinių audinių netyčinio pažeidimo. Tai didelis privalumas laringologijoje, nes lazerio spinduliais veikiamas tik patologinis darinys apsaugant sveikus balso klostės audinius. (76) Palyginimui CO₂ lazeris prasiskverbia į audinius irgi santykinai negiliai, nes vandens molekulės gerai absorbuoja lazerio spindulius, tačiau CO₂ lazeris nėra specifiskas tam tikriems audiniams - veikia vandens turinčius, vaskuliarizuotus ir pigmentuotus audinius. CO₂ lazeris pjauna audinius, taip sukeldamas lamina propria pažeidimus. Fotoangiolitinių lazerių atveju – apsaugoma lamina propria nuo terminio pažeidimo, tai svarbu operuojant balso klostes, siekiant kuo geresnės pooperacinės balso funkcijos. (77) Tyrimai su žiurkėmis rodo, kad dėl specifiškumo hemoglobiniui ir pigmentams, mėlynos spalvos lazeris efektyviau veikia sumažinus galią lyginant su KTP ir diodiniais lazeriais, todėl ir energija perduodama aplinkiniams audiniams yra mažesnė, apsaugant nuo nenorimos žalos ir maksimaliai sumažinamos nekrozės zonos. (78)

Mėlynos spalvos lazeris gali būti naudojamas nuolatinio režimu, siekiant pjauti, abliuoti audinius arba sukelti epitelio išgarinimą. 6 W lazerio galia, 60 ms aktyvacija ir 300 ms pertrauka naudojant lazerį pulsiniu režimu leidžia chirurgui stebėti poveikį audiniui ir saugiai tęsti procedūrą,

sumažinant netyčinių nepageidaujamų padarinių riziką. Priklausomai nuo audinio reakcijos, pulso galia ir laiko intervalai gali būti mažinami arba didinami. (16) Norint pjauti audinius, lazeris naudojamas nuolatinio režimu, kontaktiniu būdu. Nuolatinio režimu – lazeris gali būti naudojamas randinio audinio, kremzlės ar minkštųjų audinių incizijoms atlikti, didesnių papilomų, displastiškų ar karcinomos pažeistų audinių plotų abliacijai. Mėlynos spalvos lazeriui teikiamas pirmumas lyginant su šaltaisiais mikroinstrumentais, dėl kraujavimo kontrolės, galimybės išgarinti audinius, šalinti randinius audinius ir sukelti kremzlių remodeliaciją. Pulsiniu režimu – lokalizuotų pažeidimų, papilomų šalinimui. Siekiant išvengti balso klosčių subepitelinio sluoksnio pažaidos ir taip pagerinti pooperacinę balso funkciją, rekomenduojama operuojant balso klostes vengti kontaktinio lazerio skaidulų naudojimo būdo. (16) Lazerio šviesa nukreipiama per lanksčias lazerio skaidulas įvestas per lankstaus endoskopo darbinį kanalą. (52) Campos ir kt. atliktoje studijoje TLM operacijos buvo atliktos prie rigidinio 30° endoskopo pritvirtintus lazerio šviesą perduodančias lanksčias 400 µm diametro skaidulas Steri Strip™ juostelėmis. (žr. 2 priedą)

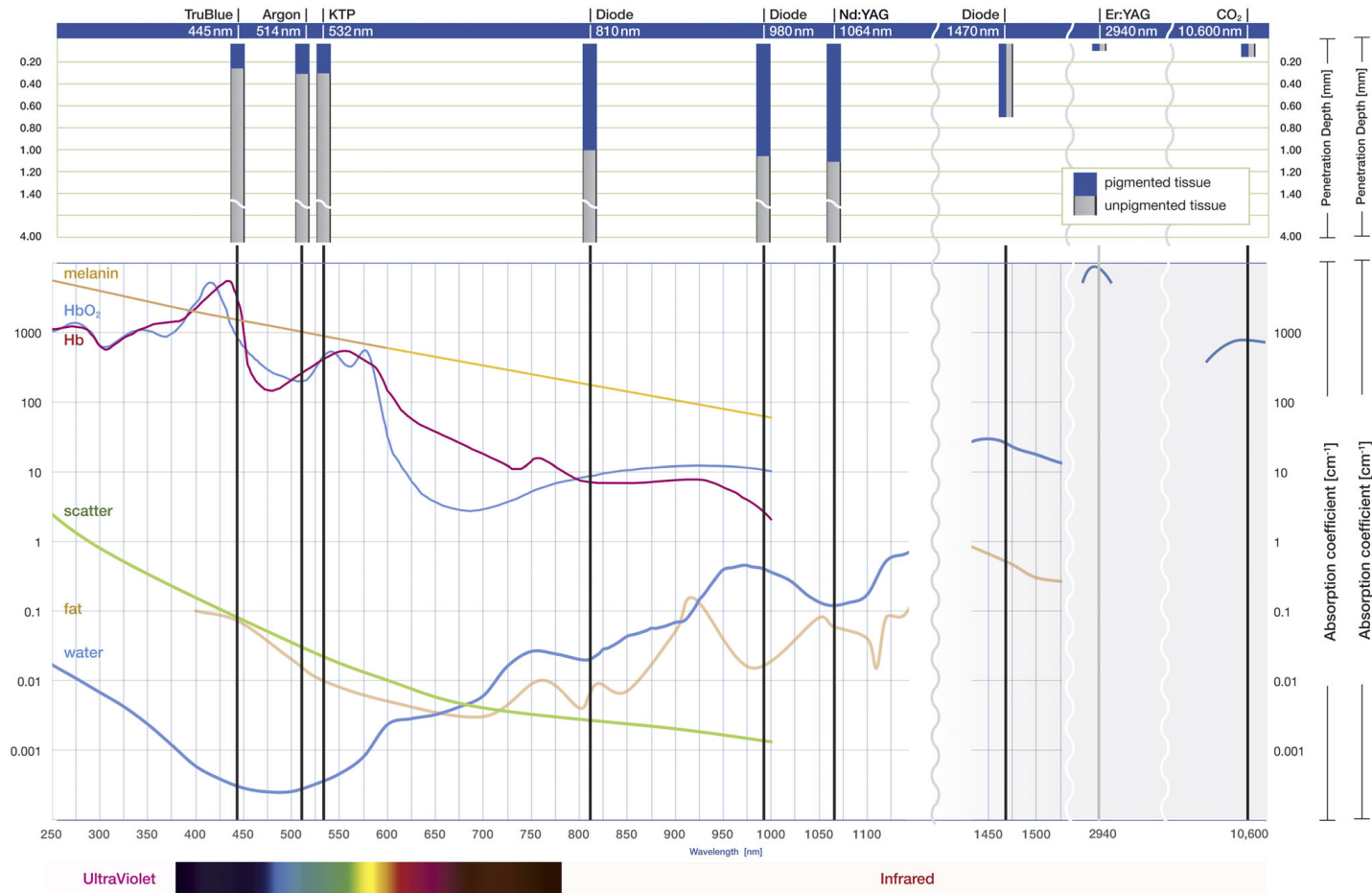
Dėl mėlynos spalvos lazerio specifiškumo hemoglobiniui gali būti sukeliamas vaskuliarizuotų darinių angiolizė – tokiu būdu gydant vaskuliarizuotus ar pigmentuotus darinius. (15) Tačiau šis lazeris yra tinkamas gydyti ne tik balso klosčių kraujagyslinius darinius (varikozes, ektazines kraujagysles), bet ir kitas gerklų gerybines ir piktybines būkles: balso ataugų kontaktinės granulomos, po tracheostomos atsiradusias granulomas, balso klosčių polipus ir cistas, Reinkės edemą, displazijas, balso klosčių randus, subglotinė stenozę, laringotrachėjinę stenozę, atsinaujinančią kvėpavimo takų papilomatozę, leukoplakiją, navikus, gali būti šalinamos masės, atliekamos aryteinoidektomijos ir chordektomijos, asistuojamos biopsijos. (16,52,76) Dėl selektyvumo ir santykinai mažos skvarbos 445 nm lazeris puikiai tinka fonochirurgijoje, kuomet labai svarbu išsaugoti gerklų ir balso funkciją, nes mažos kraujagyslės, papilomos ar granulomos gali būti gydomos selektyviai, minimaliai žalojant sveiką epitelį esantį tarp lazerio spindulio šaltinio ir patologinio audinio. (75,76) Mėlynos spalvos lazerio efektyvumas yra panašus, kaip ir tradicinių gydymo metodų, tokių kaip šaltieji mikroinstrumentai, CO₂ lazeris, KTP lazeris. Tačiau naudojant mėlynos spalvos lazerį sumažinama pooperacinio kraujavimo ar revizijos rizika, o nepageidaujamų reiškinių nebuvo pastebėta. (51) Gydymo išeitis yra panašios kaip ir KTP lazerio, jau ilgą laiką naudojamo otorinolaringologų praktikoje. (52) Bhat ir kt. atliktos sisteminės ir metaanalizės duomenimis - 445 nm bangos ilgio mėlynasis lazeris yra naujas ir perspektyvus metodas gerklų lazerinėje chirurgijoje, pasižymintis panašiu saugumu, tačiau geresnėmis pooperacinėmis išeitimis, palyginti su PDL ir KTP lazeriais. (10)

Mėlynos spalvos lazeriu gali būti gydomi ir ankstyvos stadijos gerklų vėžio atvejai, su geromis išeitimis ir gera pooperacine balso funkcija. Gydant ankstyvos stadijos gerklų vėžį mėlynos spalvos

lazeriu, ligos išėity, ligai specifinis išgyvenamumas, gerklų išsaugojimo dažnis, ir lokalus ligos suvaldymas statistiškai reikšmingai nesiskyrė nuo KTP lazeriu gydytų pacientų. 49 pacientai mėlyno lazerio grupėje (ligai specifinis išgyvenamumas 95,9%, gerklų išsaugojimo dažnis 98%) ir 88 KTP lazerio grupėje (ligai specifinis išgyvenamumas 100%, gerklų išsaugojimo dažnis 96,6%). (77) Mėlynos spalvos lazeris, sumažina pooperacinių balso klosčių sąaugų tikimybę, nes manoma, kad dėl savo šviesos savybių, kitaip reaguoja su gerklų audiniais. 9 pacientams sirgusiems skirtingo spektro priešvėžinėmis ir piktybinėmis gerklų ligomis (patologijos svyravo nuo lengvo laipsnio displazijos iki gerklų karcinomos), kai patologiniai dariniai buvo išplitę į priekinę balso klosčių komisūrą, buvo atliktos vieno etapo patologiinių darinių šalinimo operacijos. 1 pacientui iš 9 susiformavo priekinės komisūros sąaugos. Visgi balso klosčių sąaugos buvo diagnozuotos tik videolaringoskopijos metu, pacientas subjektyviai jautėsi gerai ir jokių skundų dėl balso neišsakė, jo BNI-10 indeksas buvo 0 balų. Tai reiškia, kad pacientas jokių skundų dėl balso neturėjo. (79)

Mėlynos spalvos lazeris turi ir trūkumų – jis gali būti netinkamas gydant giliau esančius darinius, dėl mažos spindulių skvarbos. Dėl didelės lazerio spindulių sugerties audiniuose ir patirties trūkumo, dėl per didelės ekspozicijos galimi audinių pažeidimai, darinių plyšimai ir kitos komplikacijos. (80) Mėlynos spalvos lazerio įrenginys yra sąlyginai naujas įrankis, todėl yra brangesnis nei kitos rūšies lazeriai. Tai gali riboti prieinamumą. Kadangi mėlynos spalvos lazeris yra gana naujas instrumentas, nėra standartizuotų nurodymų, kokius parametrus nustatyti konkrečaus pažeidimo gydymui bei trūksta informacijos apie ilgalaikius gydymo rezultatus ir efektyvumą. (75) Tačiau Campos ir kt. studijos autorių teigimu, nėra prasmės laikytis griežtų lazerio parametrų tam tikroms patologijoms gydyti. Vietoj to, chirurgas turi paveikti audinį skirtingu atstumu ir galios parametrais pradedant nekontaktiniu būdu (5 mm nuo audinio) ir mažais galios parametrais, po truputį juos didinant. Tai atliekant, operatorius turi atidžiai stebėti kaip audinys reaguoja ir kokio efekto pasiekama, taip individualizuojant lazerio parametrus ir operavimo technikos ypatybes skirtingiems atvejams. (16)

Lazerių palyginimas



Paveikslas 3. Skirtingų lazerių šviesos bangos ilgiai ir jų šviesos sugertis. Mėlynos spalvos lazerio šviesą geriausiai sugeria hemoglobino ir melanino molekulės bei šiek tiek vandens molekulės. Diodinio lazerio šviesą melaninas sugeria geriau nei hemoglobino molekulės, bet vandens molekulės šviesą absorbuoja geriau nei mėlynos spalvos lazerio. CO₂ lazerio šviesą absorbuoja tik vandens molekulės ir lyginant su kitais lazeriais – geriausiai. Šaltinis ARC Laser Systems GmbH.

Lentelė 1. Lazerių palyginimo lentelė.

	CO₂ lazeris (10,600 nm)	Diodinis lazeris (980 nm)	Mėlynas spalvos lazeris (445nm)
Veikimo principas	Stipriai absorbuojamas vandens molekulių, todėl veikia paviršinius audinio sluoksnius.	Vidutinė absorbcija hemoglobine ir vandenyje, geras pjovimo ir koaguliacijos balansas.	Stipri absorbcija hemoglobine, efektyvi koaguliacija su maža šilumine žala. Galimybė pjauti audinius.
Audinių penetracijos gylis	0,1–0,3 mm (paviršinis).	0,3–1,0 mm (didelis skvarbos gylis).	0,3 mm (paviršinis).
Pjovimo savybės	Labai preciziškas pjovimas su minimaliu terminio pažeidimo plotu.	Pjovimo savybės ne tokios tiesinės, kaip kitų lazerių sistemų. Gali sukelti audinių anglėjimą.	Galimas pjovimas su maža terminio poveikio zona
Koaguliacijos efektyvumas	Koaguliuojamos iki 0,5 mm skersmens kraujagyslės	Geresnės koaguliacijos savybės nei CO ₂ lazerio, blogesnės nei mėlynos spalvos lazerio	Labai efektyvus dėl stiprios hemoglobino absorbcijos. Geriausios koaguliacinės savybės
Naudojimo būdas	Lazerio spinduliai nukreipiami mikromanipulatoriaus pagalba arba per lankstų tuščiavidurį šviesolaidį. Galima naudoti kabinetuose ar operacinėje	Lanksčios lazerio šviesą perduodančios skaidulos, galima naudoti kabinetuose ir operacinėse	Lanksčios lazerio šviesą perduodančios skaidulos, galima naudoti kabinetuose ir operacinėse

Lentelė 1. Lazerių palyginimo lentelė. (Tęsinys)

	CO₂ lazeris (10,600 nm)	Diodinis lazeris (980 nm)	Mėlynos spalvos lazeris (445nm)
Privalumai	Labai preciziškas, minimalus terminis pažeidimas.	Geras koaguliacijos ir pjovimo balansas, galima naudoti kabinete ir operacinėje.	Efektyvi koaguliacija, pjovimo savybės, maža terminė žala, gali būti naudojamas kabinete ir operacinėje.
Trūkumai	Ribotas koaguliacijos efektas, reikalauja brangios įrangos, įrenginys sunkus ir jautrus smūgiams.	Didesnė terminė zona nei CO ₂ lazerio, mažesnis preciziškumas.	Pjovimo savybės prastesnės nei CO ₂ lazerio.
Transportabilumas ir paprastumas naudoti	Sudėtingas lazerio paruošimas naudojimui, sunkus lazerio įrenginys (lazerio sistemos svoris apie 100 kg.), Išmatavimai 83 x 43 x 195 cm. Įrenginys jautrus smūgiams, todėl mažai transportabilus.	Lazeris paprastas naudoti, nereikalaujantis daug priežiūros, transportabilus. Lazerio sistemos svoris apie 4-8 kg, išmatavimai 10 x 24 x 20 cm.	Lazeris paprastas naudoti, nereikalaujantis daug priežiūros, transportabilus. Lazerio sistemos svoris apie 3 kg, išmatavimai 10 x 24 x 20 cm

Lentelė 2. Skirtingais lazeriais galimos gydyti patologijos.

	CO₂ lazeris (10,600 nm)	Diodinis lazeris (980 nm)	Mėlynos spalvos lazeris (445nm)
Ilgimti ir gerybiniai susirgimai	- Laringinės cistos, - Įgimta subglotinė stenozė, gerklų stenozė, - Subglotinė hemangioma, - Balso klosčių polipai, cistos, mazgeliai. - Reinkės edema, - Pointubacinės granulomos, - Abipusė balso klosčių parezė, - Poradiacinė arytenoidinių kremzlių edema, - Gerklų papilomatozė, - Laringomaliacija.	- Subglotinės cistos, - Subglotinė stenozė, - Subglotinės hemangiomos ir limfangiomos - Pointubacinė granuloma, - Abipusė balso, klosčių parezė, - Balso klosčių polipai ir sąaugos, - Gerklų papilomatozė, - Laringomaliacija.	- Balso klosčių polipai, cistos, mazgeliai, - subglotinė stenozė, - Balso ataugų kontaktinės granulomos, - Reinkės edema, - Pointubacinės granulomos, - Balso klosčių sąaugos, - Laringotrachėjinė stenozė, - Kvėpavimo takų papilomatozė.

Lentelė 2. Skirtingais lazeriais galimos gydyti patologijos. (Tęsinys)

	CO₂ lazeris (10,600 nm)	Diodinis lazeris (980 nm)	Mėlynos spalvos lazeris (445nm)
Įgimti ir gerybiniai susirgimai	- Amiloidozė* Užpakalinė chordektomija*.		- Varikozės**, - Ektazinės kraujagyslės**, - Balso klosčių randai**, - Aryteinoidektomijos**, chordektomijos**, Šalinamos masės**, asistuojamos biopsijos**.
Priešvėžiniai susirgimai	- Leukoplakija, - Keratozė, Hiperplazija.	-	- Leukoplakija Balso klosčių displazijos
Piktybiniai susirgimai	- Anstyvos stadijos gerklų vėžys (Tis – T2)		

Praktiniu požiūriu CO₂ lazeris turi reikšmingų trūkumų. Fortec Medical duomenimis: laringologijoje naudoti pritaikytas įrenginys yra didelių gabaritų (83 x 43 x 195 cm) ir sunkus (sveria 158 kg), todėl jo transportavimas iš otorinolaringologo kabineto į operacinę yra sudėtingas. Internetu yra įvairių gamintojų CO₂ lazerių sistemų, kurių svoris varijuoja 21 – 100 kg. Be to, šie lazeriai yra jautrūs mechaniniams smūgiams, todėl kiekvienas pervežimas kelia riziką pažeisti įrangą. Kai kuriems kitiems lazeriams (pvz. PDL) reikalinga sudėtinga ir brangi techninė priežiūra, o dėl sudėtingos lazerinės technologijos senesni KTP lazeriai gali veikti tik riboto impulso trukmės režimu, o tai mažina jų pritaikymo galimybes. (15) Diodinis ir mėlynos spalvos lazeriai išsprendžia šias problemas: jie yra maži (abiejų lazerių išmatavimai vienodi 10 x 24 x 20 cm.), lengvi apie 8 kg. ir < 3kg. atitinkamai, bei transportabilūs įrenginiai (A.R.C Laser duomenimis). Pastaruosius lazerius lengva pernešti iš vienos patalpos į kitą, todėl šie lazeriai naudojami ne tik operacinėse, bet ir procedūriniuose kabinetuose.

Lyginant mėlynos spalvos, diodinį ir CO₂ lazerį, vandens molekulės CO₂ lazerio spindulius sugeria geriausiai. Visgi operuojant šiuo lazeriu, spinduliai neprasiskverbia giliai (skvarba iki 0,3 mm.), tai sumažina galimybę koaguluoti kraujagysles, tai didina kraujavimo riziką. Diodinio lazerio spinduliai sugeriami daugiausiai melanino ir hemoglobino, o lazeriai spinduliai prasiskverbia giliau į audinius (iki 1 mm.) ir nors diodinis lazeris nėra priskiriamas fotoangiolitiniams lazeriams, tačiau

turi pranašesnę koaguliacijos gebą, bei pasižymi chirurginiu tikslumu, kuris yra tik nežymiai prastesnis nei CO₂ lazerio. Todėl gali būti tinkamas gerklų kraujagyslinių pažeidimų gydymui. (38) Mėlynos spalvos lazerio šviesą hemoglobinas ir pigmentai sugeria geriausiai (žr. Figūrą 3), todėl mėlynos spalvos lazerio fotoangiolitinės savybės geriausios.

Diodiniu ir CO₂ lazeriais gydytų onkologinių susirgimų išeitys yra panašios. Lyginant pacientus sergančius Tis -T1a gerklų karcinoma, ir atlikus I, II, III, IV tipo chordektomijas, pooperacinis VHI indeksas buvo lyginamas su tokių pat pacientų VHI indeksu gavusių RT ir gydytų CO₂ lazeriu. I ir II tipų chordektomijos neturėjo reikšmės pacientų balsui, III ir IV tipų chordektomijos lėmė saikingą kalbinę negalią. Nors diodiniu lazeriu gydytų pacientų VHI pooperacinis indeksas buvo didesnis nei CO₂ lazerių gydytų ar RT gavusių pacientų. Tačiau, priešoperacinis VHI indeksas diodiniu lazerių gydytų pacientų buvo didesnis nei pooperacinis VHI indeksas, kas rodo balso funkcijos pagerėjimą po operacijos. (82) Pooperacinis VHI indeksas priklauso ne tik nuo gydymo modifikacijos, bet ir nuo chordektomijos tipo, bei gerklų vėžio dydžio ir išplitimo. Lazerinė chordektomija šiuo metu yra chirurginio pasirinkimo aukso standartas gydyti ankstyvam gerklų vėžiui, o diodinis lazeris vis dažniau naudojamas kaip alternatyva CO₂ lazeriui gydyti ankstyvą gerklų vėžį. Tačiau tikslinė pooperacinė balso funkcija svarbus veiksnys renkantis tarp šių dviejų gydymo alternatyvų. (83)

Mėlynos spalvos lazeris pasižymi panašiu efektyvumu ir saugumu lyginant su tradiciniais gydymo metodais, tokiais kaip šaltieji mikroinstrumentai ar CO₂ bei KTP lazeris. Daugeliu atvejų mėlynos spalvos lazeris lėmė mažesnius pakartotinės operacijos dažnius. (51) Balso stygų edema ir kraujavimas reikšmingai sumažėja gydant su mėlynos spalvos lazeriu lyginant su KTP lazerio operacijomis. (75) Kadangi pigmentai ir melaninas mėlynos spalvos lazerio spindulius sugeria maždaug 10 k. geriau, 445 nm lazeris gali būti naudojamas žymiai sumažinus galios parametrus, lyginant su KTP lazeriu, tai sumažina aplinkinių audinių terminį poveikį ir nekrozės zonos susidarymo riziką. 445 nm lazeris pasižymi geresnėmis pjovimo savybėmis, todėl mėlynos spalvos lazerio panaudojimui yra daugiau indikacijų, nei KTP lazeriui. (15,51,76)

445 nm lazeris gali būti pritaikomas balso klosčių mazgelių gydymui vaikų populiacijoje. Nors pirmo pasirinkimo gydymas šiai patologijai yra balso higiena ir terapija. Mazgeliai anksčiau buvo gydomi CO₂ lazeriu, siekiant išvengti disfonijos vaikų amžiuje, taip išvengiant patyčių ir užtikrinti gerą gyvenimo kokybę vaikui. Vaikų populiacijoje, šiai patologijai gydyti yra tinkamesni fotoangiolitiniai lazeriai, kadangi po operacijos CO₂ lazeriu ar šaltaisiais mikroinstrumentais, reikalingas balso ramybės režimas. Gydant vaikus, ramybės režimą sunku užtikrinti. Operuojant mėlynos spalvos lazeriu – išsaugomas epitelis ir paviršinis lamina propria sluoksnis, veikiamas tik randinis audinys, kuris lazerio poveikyje verčiamas persitvarkyti. Ši operacija mėlynos spalvos

lazeriu lemia gerus rezultatus ir nereikalauja po operacijos balso ramybės režimo, todėl puikiai tinka vaikų populiacijoje. (84) Po intervencijos objektyvus pediatrinis su balsu susijęs gyvenimo kokybės įvertis (angl. pediatric voice related quality of life – PVRQOL) padidėjo vidutiniškai 38,8 balo (kai padidėjimas daugiau nei 12 balų laikomas kliniškai reikšmingu). Tai rodo, kad 445 nm mėlynos spalvos lazeris yra geras instrumentas balso klosčių mazgeliams gydyti, po tokios operacijos pacientai balso funkcija pagerėja, bei nereikia laikytis ramybės režimo ir po operacijos jaunieji pacientai gali iš karto kalbėti.

Ankstyvos stadijos gerklų navikų šalinimas su CO₂ lazeriu, kai navikas siekia priekinę komisūrą, reikalauja daug patirties, o mokymosi kreivė yra labai stati. (85) Diodiniu lazeriu priekinės komisūros rezekcijai atliekant TLM nereikia ypatingos patirties, nes lazerio zondinis manipulatorius labai primena pjovimo instrumentą, kuriuo lengva manipuliuoti. (74) Mėlynos spalvos lazeris, turi privalumų lyginant su CO₂ lazeriu, nes manoma, kad dėl savo šviesos savybių, kitaip reaguoja su gerklų audiniais. 1 iš 9 pacientų, kurie buvo operuoti vienmomentiškai dėl priekinės komisūros priešvėžinių ir vėžinių susirgimų, susidarė priekinės komisūros sąaugos, nesukėlusios jokių simptomų. (79) Ši studija įrodo, kad operuojant mėlynos spalvos lazeriu sumažinama balso klosčių sąaugų susiformavimo rizika. Lyginant su CO₂ lazeriu operuotų ankstyvos stadijos gerklų navikų (Tis-T2) pacientų, balso klosčių sąaugomis komplikavosi 10,6-50% operuotų atvejų. (86–88)

Išvados

Gerybinei gerklų patologijai gydyti populiarėja ambulatoriškai atliekamos operacijos. Šios procedūros sutrumpina laiko tarpą tarp diagnozės ir gydymo, užtikrina geresnę ligos kontrolę, taupo kaštus ir garantuoja greitesnį pacientų grįžimą į darbo rinką. Šioje srityje lazeriai yra labai naudingas įrankis. Ambulatorinėms operacijoms tinkamiausias yra mėlynos spalvos lazeris, jis ne tik efektyviai gydo gerybinę patologiją, bet ir sumažina galimų reoperacijų dažnį. Dėl mėlynos šviesos fizikinių ypatybių išsaugomas sveikas gerklų audinys užtikrina greitą gijimą, geresnes gydymo išėtis bei nereikalauja balso tausojimo režimo po tokio tipo operacijų.

Lazerinė chirurgija yra pirmo pasirinkimo gydymu sergant gerklų vėžiu, lemiančiu gerą išgyvenamumą ir išsaugančiu gerklų funkciją. TLM operacijos CO₂ lazeriu yra pirmo pasirinkimo gydymas ankstyvam gerklų vėžiui gydyti. CO₂ lazerio spinduliai dažniausiai perduodami mikromanipulatoriaus pagalba jį sujungus su mikroskopu, lazerio spinduliai yra tiesiniai, todėl šis gydymo metodas turi ribotumą, kai navikinis darinys yra sunkiai prieinamas ar gerklas yra sudėtinga vizualizuoti. Tokiomis situacijomis lanksčios mėlynos spalvos, diodinio ar CO₂ lazerių

šviesą perduodančios skaidulos leidžia pasiekti sunkiai prieinamas anatomines sritis ir efektyviai gydyti gerklų vėžio ankstyvasias stadijas.

Visi trys šiame darbe aptariami lazeriai gali būti naudojami gerybinei ir piktybinei gerklų patologijai gydyti. Visgi, skirtingos lazerių sistemos turi savų privalumų ir trūkumų. Kadangi CO₂ lazeris ilgą laiką yra naudojamas mikroskopinėje gerklų chirurgijoje, sukaupia daug patirties, jo efektyvumas yra neginčijamas, o dėl lazerio šviesos savybių jis puikiai tinka atlikti preciziškas gerklų operacijas. Tai universaliausias lazeris, kuris gali būti pritaikomas ambulatoriškai atliekamoms operacijoms, kai lazerio šviesa perduodama per lanksčias skaidulas, ir TLM operacijoms, kai mikromanipuliatoriaus pagalba lazerio spinduliai gali būti itin tiksliai taikomi šalinant patologinius darinius. Tačiau tai nėra specifinis lazeris, šio lazerio spindulius sugeria visi vandens turintys audiniai, dėl to CO₂ lazeris pasižymi prastesnėmis koaguliacinėmis savybėmis nei kiti darbe aprašomi lazeriai. Operacijoms atliekamoms vietinėje nejautroje gydyti gerybinei gerklų patologijai, kitų lazerių pasirinkimas gali lemti efektyvesnį gydymą ir geresnes pooperacines išeitis.

Mėlynos spalvos lazeris buvo proveržis medicinoje, nes jis sujungia fotoangiolitines ir pjaunančias savybes. Tai labai universalus, nedidelis ir paprastas naudoti įrankis. Mėlynos spalvos lazeris dažnai naudojamas gydytojo kabinete atliekamoms operacijoms atlikti. Vis daugėja studijų ir įrodymų, kad mėlynos spalvos lazeris yra gera gydymo alternatyva gerybine ir piktybine gerklų patologija sergantiems pacientams, lemiantis panašias pooperacines išeitis kaip ir kiti jau seniai laringologijoje naudojami lazeriai. Šis lazeris yra puikus įrankis, kai reikia gydyti kraujagyslinius darinius, o operuojant šiuo lazeriu – sąaugų, kraujavimo, reoperacijos rizika yra mažesnė, randėjimo rizika po mėlynos spalvos lazeriu atliktų operacijų yra mažesnė nei CO₂ lazeriu operuotų pacientų.

Diodinis lazeris yra gera CO₂ lazerio alternatyva, tai pjaunantis lazeris su geresnėmis fotoangiolitinėmis savybėmis. Literatūroje yra duomenų kaip gydoma gerybinė ir piktybinė gerklų patologija, labiau koncentruojantis į piktybinę. Lyginant diodinį 980 nm lazerį su CO₂ lazeriu, pastarasis išlieka aukso standartu audinių pjovime, o diodinis pasižymi geresnėmis hemostazinėmis savybėmis. Arroyo ir kt. atliktoje sisteminėje analizėje matyti, kad diodinis lazeris taikomas kaip pjaunantis įrankis, jo pjaunančios savybės yra prastesnės nei CO₂ lazerio. Tai gali būti viena iš priežasčių, kodėl pastaraisiais metais mažėja publikacijų apie jo taikymą laringologijoje.

Vis dėlto, diodinio lazerio stiprioji pusė – hemostazė. Jo gebėjimas sustabdyti kraujavimą pranoksta CO₂ lazerio galimybes, nors jį lenkia mėlynos šviesos lazeris, kurio šviesa geriau absorbuojama hemoglobino. Tai rodo tendenciją naudoti dvigubo bangos ilgio diodinio lazerio sistemas, kurios apjungia pjovimo ir fotoangiolizės savybes. Galima daryti išvadą, kad diodinis lazeris yra labiau

tinkamas ir naudojamas kitose medicinos srityse, o laringologijoje diodiniam lazeriui yra geresnių alternatyvų.

Literatūroje lazerių galios parametrai stipriai varijuoja, todėl sunku nustatyti idealius lazerio parametrus. Kiekvienam pacientui ir skirtingai gerklų patologijai lazerio galios parametrai turi būti parenkami individualiai, tai priklauso nuo skirtingų centrų ir gydytojų patirties.

1. Yan Y, Olszewski AE, Hoffman MR, Zhuang P, Ford CN, Dailey SH, et al. Use of Lasers in Laryngeal Surgery. *Journal of Voice*. 2010 Jan;24(1):102–9.
2. The Laryngoscope - 2010 - Yung - The Effect of office-based flexible endoscopic surgery on hemodynamic stability123.pdf.
3. Hantzakos AG, Khan M. Office Laser Laryngology: A Paradigm Shift. *Ear Nose Throat J*. 2021 Feb 1;100(1_suppl):59S-62S.
4. Igissin N, Zatonskikh V, Telmanova Z, Tulebaev R, Moore M. Laryngeal Cancer: Epidemiology, Etiology, and Prevention: A Narrative Review. *ijph* [Internet]. 2023 Nov 12 [cited 2025 Apr 2]; Available from: <https://publish.kne-publishing.com/index.php/ijph/article/view/14025>
5. Nocini R, Molteni G, Mattiuzzi C, Lippi G, Section of Ear Nose and Throat (ENT), Department of Surgical Sciences, Dentistry, Gynecology and Pediatrics, University of Verona, Verona 37134, Italy, Service of Clinical Governance, Provincial Agency for Social and Sanitary Services, Trento 38123, Italy, et al. Updates on larynx cancer epidemiology. *Chinese Journal of Cancer Research*. 2020;32(1):18–25.
6. Obid R, Redlich M, Tomeh C. The Treatment of Laryngeal Cancer. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. 2019 Feb;31(1):1–11.
7. Kutter J, Lang F, Monnier P, Pasche P. Transoral Laser Surgery for Pharyngeal and Pharyngolaryngeal Carcinomas. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2007 Feb 1;133(2):139.
8. Suárez C, Rodrigo JP. Transoral Microsurgery for Treatment of Laryngeal and Pharyngeal Cancers. *Curr Oncol Rep*. 2013 Apr;15(2):134–41.
9. Pedregal-Mallo D, Sánchez Canteli M, López F, Álvarez-Marcos C, Llorente JL, Rodrigo JP. Oncological and functional outcomes of transoral laser surgery for laryngeal carcinoma. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2018 Aug;275(8):2071–7.
10. Bhat AM, Marrero-Gonzalez AR, Nguyen SA, Scharner M, Meenan K, Sataloff RT. Photoangiolytic Lasers for Treatment of Benign Laryngeal Lesions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Laryngoscope*. 2024 Dec;134(12):4847–57.
11. C. Gaelyn Garrett, Lou Reinisch and Kenneth C. Fletcher Jr Cummings Otolaryngology: Head and Neck Surgery, 59, 854-867.e1.
12. Chiesa-Estomba CM, González-García JA, Larruscain E, Calvo-Henríquez C, Mayo-Yáñez M, Sistiaga-Suarez JA. CO2 Transoral Laser Microsurgery in Benign, Premalignant and Malignant (Tis, T1, T2) Lesion of the Glottis. A Literature Review. *Medicines*. 2019 Jul 22;6(3):77.
13. O’Connell Ferster AP. Lasers in laryngeal surgery. *Operative Techniques in Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 2019 Dec;30(4):279–83.
14. Benninger M : Microdissection or microspot CO 2 laser for limited vocal fold benign lesions prospective randomized trial. *Laryngoscope* 110:1–17, 2000 .
15. Hess MM, Fleischer S, Ernstberger M. New 445 nm blue laser for laryngeal surgery combines photoangiolytic and cutting properties. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2018 Jun 1;275(6):1557–67.
16. Campos G, Amaya O, Valencia J, Arango L. Transoral flexible laser surgery of the upper aerodigestive tract with blue laser. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2023 Feb;280(2):765–74.
17. Motta G, Esposito E, Motta S, Tartaro G, Testa D. Letter to the editor. *Head Neck*. 2005 Aug;27(8):733–733.

18. Laser Surgery in the Larynx Early Clinical Experience with Continuous Co2 Laser - M. Stuart Strong, Geza J. Jako, 1972 [Internet]. [cited 2025 Jan 3]. Available from: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/000348947208100606?url_ver=Z39.88-2003&rft_id=ori:rid:crossref.org&rft_dat=cr_pub%20%20pubmed
19. Dalal N, Shah U, Shah A. Role of CO2 laser and Diode laser in ENT diseases. 2017;
20. Betka J, Plzák J, Záborský M, Kastner J, Bouček J. Lasers in otorhinolaryngology (ORL) and head and neck surgery. In: Lasers for Medical Applications [Internet]. Elsevier; 2013 [cited 2025 Jan 6]. p. 556–72. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780857092373500187>
21. Liang F, Xiao Z, Chen R, Han P, Lin P, Huang Y, et al. Transoral 980-nm/1470-nm dual-wavelength fiber laser microsurgery for early-stage glottic carcinoma. *Oral Oncology*. 2019 Sep;96:66–70.
22. Hans S, Baudouin R, Circiu MP, Couineau F, Lisan Q, Crevier-Buchman L, et al. Laryngeal Cancer Surgery: History and Current Indications of Transoral Laser Microsurgery and Transoral Robotic Surgery. *JCM*. 2022 Sep 29;11(19):5769.
23. Head Neck - 2011 - Suárez - Laser surgery for early to moderately advanced glottic supraglottic and hypopharyngeal.pdf.
24. Garofolo S, Piazza C, Del Bon F, Mangili S, Guastini L, Mora F, et al. Intraoperative Narrow Band Imaging Better Delineates Superficial Resection Margins During Transoral Laser Microsurgery for Early Glottic Cancer. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2015 Apr;124(4):294–8.
25. McMullen CP, Smith RV. Treatment/comparative therapeutics: cancer of the larynx and hypopharynx. *Surg Oncol Clin N Am*. 2015;24(3):521–45.
26. Koufman JA. Introduction to office-based surgery in laryngology. *Current Opinion in Otolaryngology & Head & Neck Surgery*. 2007 Dec;15(6):383–6.
27. Rosen CA, Amin MR, Sulica L, Simpson CB, Merati AL, Courey MS, et al. Advances in office-based diagnosis and treatment in laryngology. *The Laryngoscope* [Internet]. 2009 Nov [cited 2025 Apr 5];119(S2). Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lary.20712>
28. Wellenstein DJ, Honings J, Schimberg AS, Schutte HW, Herruer JM, Van Den Hoogen FJA, et al. Office-based CO₂ laser surgery for benign and premalignant laryngeal lesions. *The Laryngoscope*. 2020 Jun;130(6):1503–7.
29. Araki K, Tomifuji M, Uno K, Suzuki H, Tanaka Y, Tanaka S, et al. Feasibility of transnasal flexible carbon dioxide laser surgery for laryngopharyngeal lesions. *Auris Nasus Larynx*. 2019 Oct;46(5):772–8.
30. Hu HC, Lin SY, Hung YT, Chang SY. Feasibility and Associated Limitations of Office-Based Laryngeal Surgery Using Carbon Dioxide Lasers. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2017 May 1;143(5):485.
31. Pynnonen MA, Schmalbach CE. Office-based procedures in otolaryngology. *Otolaryngol Clin North Am* 2019;52:xv-xvi. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2019.03.001>.
32. Benninger MS. Laser surgery for nodules and other benign laryngeal lesions. *Current Opinion in Otolaryngology & Head & Neck Surgery*. 2009 Dec;17(6):440–4.
33. Wellenstein DJ, Schutte HW, Takes RP, Honings J, Marres HAM, Burns JA, et al. Office-Based Procedures for the Diagnosis and Treatment of Laryngeal Pathology. *Journal of Voice*. 2018 Jul;32(4):502–13.
34. Zeitels SM, Burns JA. Laser Applications in Laryngology: Past, Present, and Future. *Otolaryngologic Clinics of North America*. 2006 Feb 1;39(1):159–72.

35. Filauro M, Vallin A, Fragale M, Sampieri C, Guastini L, Mora F, et al. Office-based procedures in laryngology. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2021 Jun;41(3):243–7.
36. Xie X, Young J, Kost K, McGregor M. KTP 532 nm Laser for Laryngeal Lesions. A Systematic Review. *Journal of Voice.* 2013 Mar;27(2):245–9.
37. Ambrosch P, Kron M, Steiner W. Carbon dioxide laser microsurgery for early supraglottic carcinoma. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1998;107: 680–688.
38. Arroyo H, Neri L, Fussuma C, Imamura R. Diode Laser for Laryngeal Surgery: a Systematic Review. *Int Arch Otorhinolaryngol.* 2016 Mar 4;20(02):172–9.
39. Preuss SF, Cramer K, Klussmann JP, Eckel HE, Guntinas-Lichius O. Transoral laser surgery for laryngeal cancer: Outcome, complications and prognostic factors in 275 patients. *European Journal of Surgical Oncology (EJSO).* 2009 Mar;35(3):235–40.
40. Mendelsohn AH, Remacle MJ. Vocal Fold Cancer Transoral Laser Microsurgery Following European Laryngological Society Laser Cordectomy Classification. *Front Oncol.* 2018 Jun 22;8:231.
41. Hans S, Crevier-Buchman L, Circiu M, Idrissi YC, Distinguin L, De Mones E, et al. Oncological and Surgical Outcomes of Patients Treated by Transoral CO₂ Laser Cordectomy for Early-Stage Glottic Squamous Cell Carcinoma: A Retrospective Chart Review. *Ear Nose Throat J.* 2021 Feb;100(1_suppl):33S-37S.
42. Day AT, Sinha P, Nussenbaum B, Kallogjeri D, Haughey BH. Management of primary T1–T4 glottic squamous cell carcinoma by transoral laser microsurgery. *The Laryngoscope.* 2017 Mar;127(3):597–604.
43. Hoffmann C, Cornu N, Hans S, Sadoughi B, Badoual C, Brasnu D. Early glottic cancer involving the anterior commissure treated by transoral laser cordectomy. *The Laryngoscope.* 2016 Aug;126(8):1817–22.
44. Vaculik MF, MacKay CA, Taylor SM, Trites JRB, Hart RD, Rigby MH. Systematic review and meta-analysis of T1 glottic cancer outcomes comparing CO₂ transoral laser microsurgery and radiotherapy. *Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery.* 2019 Jan;48(1):44.
45. Ma Y, Green R, Pan S, McCabe D, Goldberg L, Woo P. Long-term Voice Outcome Following Radiation Versus Laser Microsurgery in Early Glottic Cancer. *Journal of Voice.* 2019 Mar;33(2):176–82.
46. Ferri E, Armato E. Diode laser microsurgery for treatment of Tis and T1 glottic carcinomas. *American Journal of Otolaryngology.* 2008 Mar;29(2):101–5.
47. Karatzanis AD, Psychogios G, Zenk J, Waldfahrer F, Hornung J, Velegrakis GA, et al. Comparison among different available surgical approaches in T1 glottic cancer. *The Laryngoscope.* 2009 Sep;119(9):1704–8.
48. Cömert E, Tunçel Ü, Dizman A, Yükselen Güney Y. Comparison of Early Oncological Results of Diode Laser Surgery with Radiotherapy for Early Glottic Carcinoma. *Otolaryngol--head neck surg.* 2014 May;150(5):818–23.
49. Peretti G, Piazza C, Cocco D, De Benedetto L, Del Bon F, Redaelli De Zinis LO, et al. Transoral CO₂ laser treatment for T_{is}–T₃ glottic cancer: The University of Brescia experience on 595 patients. *Head & Neck.* 2010 Aug;32(8):977–83.
50. Zhong A, Xu X, Fan H, Wang L, Niu Y. Transoral laser microsurgery for recurrent laryngeal carcinoma after primary treatment: A systematic review and meta-analysis. *J Can Res Ther.* 2015;11(6):173.
51. Balouch B, Garabet R, Maxwell PJ, Sethi HK, Bress E, Ramadan O, et al. The Safety and Efficacy of the 445-nm Blue Laser for Operative Management of Benign Nonvascular Laryngeal Lesions.

Journal of Voice [Internet]. 2023 Oct 6 [cited 2024 Mar 3]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892199723002862>

52. Miller BJ, Abdelhamid A, Karagama Y. Applications of Office-Based 445 nm Blue Laser Transnasal Flexible Laser Surgery: A Case Series and Review of Practice. *Ear Nose Throat J*. 2021 Feb 1;100(1_suppl):105S-112S.
53. Peretti G, Piazza C, Mora F, Garofolo S, Guastini L. Reasonable limits for transoral laser microsurgery in laryngeal cancer: Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery. 2016 Apr;24(2):135–9.
54. Mendelsohn AH, Kiagiadaki D, Lawson G, Remacle M. CO₂ laser cordectomy for glottic squamous cell carcinoma involving the anterior commissure: voice and oncologic outcomes. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2015 Feb;272(2):413–8.
55. Shah MD, Johns MM 3rd. Office-based laryngeal procedures. *Otolaryngol Clin North Am*. 2013;46:75–84.
56. Bernal-Sprekelsen M, Blanch JL, Caballero-Borrego M, Vilaseca I. The learning curve in transoral laser microsurgery for malignant tumors of the larynx and hypopharynx: parameters for a levelled surgical approach. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2013 Feb;270(2):623–8.
57. Borowik J, Kozak K, Kuśmierczuk K, Brodowski W, Jawoszek P, Trojanowski P. The advantages and disadvantages of using a CO₂ laser in endoscopic treatment of laryngeal cancer: a literature review. 2019 Sep 22 [cited 2025 Jan 7]; Available from: <https://zenodo.org/record/3462178>
58. Hendriksma M, Montagne MW, Langeveld TPM, Veselic M, Van Benthem PPG, Sjögren EV. Evaluation of surgical margin status in patients with early glottic cancer (Tis-T2) treated with transoral CO₂ laser microsurgery, on local control. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2018 Sep;275(9):2333–40.
59. Remacle M, Hassan F, Cohen D, Lawson G, Delos M. New computer-guided scanner for improving CO₂ laser-assisted microincision. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2005 Feb;262(2):113–9.
60. Rubinstein M, Armstrong WB. Transoral laser microsurgery for laryngeal cancer: A primer and review of laser dosimetry. *Lasers Med Sci*. 2011 Jan;26(1):113–24.
61. Yang J, Xie Z, Seyler BC. Comparing KTP and CO₂ laser excision for recurrent respiratory papillomatosis: A systematic review. *Laryngoscope Investig Oto*. 2022 Aug;7(4):970–81.
62. Galli A, Giordano L, Sarandria D, Di Santo D, Bussi M. Analisi oncologica e delle complicanze nel trattamento endoscopico mediante laser CO₂ dei tumori glottici in classe T1-T2: la nostra esperienza. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2016 May;36(3):167–73.
63. Zheng S, Zhan Y, Bao F, Su M, Gong T. CO₂ laser surgery for laryngeal cancer: A meta-analysis and systematic review. *Int J Radiat Res*. 2024 Jan 1;22(1):1–7.
64. Bajaj Y, Pegg D, Gunasekaran S, Knight LC. Diode laser for paediatric airway procedures: a useful tool: Diode laser for paediatric airway procedures. *International Journal of Clinical Practice*. 2010 Jan;64(1):51–4.
65. Saetti R, Silvestrini M, Cutrone C, Narne S. Treatment of Congenital Subglottic Hemangiomas: Our Experience Compared With Reports in the Literature. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2008 Aug 18;134(8):848.
66. Usumez A, Cengiz B, Oztuzcu S, Demir T, Aras MH, Gutknecht N. Effects of laser irradiation at different wavelengths (660, 810, 980, and 1,064 nm) on mucositis in an animal model of wound healing. *Lasers Med Sci*. 2014 Nov;29(6):1807–13.
67. Tunçel Ü, Cömert E. Preliminary Results of Diode Laser Surgery for Early Glottic Cancer. *Otolaryngol--head neck surg*. 2013 Sep;149(3):445–50.

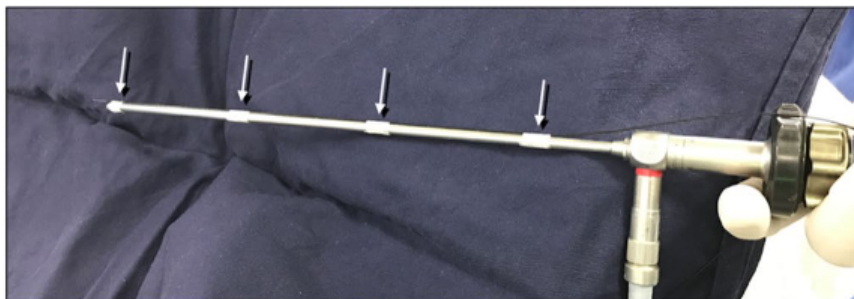
68. Newman J, Anand V. Applications of the Diode Laser in Otolaryngology. *Ear Nose Throat J.* 2002 Dec;81(12):850–1.
69. Ferlito S, Nanè S, Grillo C, Maugeri M, Cocuzza S, Grillo C. DIODES LASER IN ENT SURGERY.
70. Nupur Kapoor Nerurkar. Office-Based Vocal Fold Procedures. In: *Textbook of Laryngology.* p. 124–9.
71. Karasu MF, Gundogdu R, Cagli S, Aydin M, Arli T, Aydemir S, et al. Comparison of Effects on Voice of Diode Laser and Cold Knife Microlaryngology Techniques for Vocal Fold Polyps. *Journal of Voice.* 2014 May;28(3):387–92.
72. Karkos PD, Stavrakas M, Koskinas I, Markou K, Triaridis S, Constantinidis J. 5 Years of Diode Laser “II” Technique for Bilateral Vocal Fold Immobility: A Technique That Improves Airway and Is Friendly to the Voice. *Ear Nose Throat J.* 2021 Feb;100(1_suppl):83S-86S.
73. Kamil S, Mohsen S. Diode Laser for Juvenile Recurrent Respiratory Papillomatosis: A Case Series of 13 Patients. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2024 Feb;76(1):536–9.
74. Tuncel U, Kilic C. Endolaryngeal diode laser surgery for early glottic carcinomas involving anterior commissure. *The European Research Journal* [Internet]. 2017 Apr 21 [cited 2025 Feb 21]; Available from: <https://dergipark.org.tr/en/doi/10.18621/eurj.296461>
75. González-Herranz R, Martínez-Ruiz-Coello M, Hernández-García E, Miranda E, García-García C, Arenas O, et al. Transoral Flexible Laser Surgery of the Larynx with Blue Laser. *J Clin Med.* 2023 Aug 11;12(16):5250.
76. Hamdan AL, Sataloff RT, Ramadan O, Eichorn D, Hawkshaw MJ. Blue Laser Surgery in Laryngology [Internet]. Cham: Springer Nature Switzerland; 2023 [cited 2025 Jan 15]. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-35283-6>
77. The Laryngoscope - 2024 - Rosow - Use of the 445-nm Blue Laser for Management of Early Glottic Carcinoma Preliminary.pdf.
78. Lin RJ, Iakovlev V, Streutker C, Lee D, Al-Ali M, Anderson J. Blue Light Laser Results in Less Vocal Fold Scarring Compared to KTP Laser in Normal Rat Vocal Folds. *The Laryngoscope.* 2021;131(4):853–8.
79. Roitman A, Gez-Reder H. Anterior Glottic Web After Anterior Commissure Lesions Treatment: Does TruBlue Laser Lower the Risk? *Journal of Voice.* 2024 Nov;S0892199724004090.
80. Schimberg AS, Heldens GTN, Klabbers TM, van Engen-Van Grunsven ACH, Verdaasdonk RM, Takes RP, et al. Thermal Effects of CO₂, KTP, and Blue Lasers with a Flexible Fiber Delivery System on Vocal Folds. *Journal of Voice* [Internet]. 2022 Apr 10 [cited 2024 Apr 11]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892199722000741>
81. https://fortecmedical.com/fortec_product/ultrapulse-co2-laser-ent/.
82. Şencan Z, Cömert E, Tunçel Ü, Kılıç C. Voice and Quality-of-Life Outcomes of Diode Laser for Tis–T1a Glottic Cancer. *Ear Nose Throat J.* 2020 May;99(4):229–34.
83. Karkos PD, Koskinas I, Stavrakas M, Triaridis S, Constantinidis J. Diode Laser for Laryngeal Cancer: “980 nm” and Beyond the Classic CO₂. *Ear Nose Throat J.* 2021 Feb;100(1_suppl):19S-23S.
84. Chieffe D, Kalos S, Bunting G, Hartnick C. Blue light laser recontouring for pediatric benign fibrovascular vocal fold lesions. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology.* 2023 Jul;170:111601.

85. Steiner W, Ambrosch P, Rödel RMW, Kron M. Impact of Anterior Commissure Involvement on Local Control of Early Glottic Carcinoma Treated by Laser Microresection. *The Laryngoscope*. 2004 Aug;114(8):1485–91.
86. Bajaj Y, Uppal S, Sharma RK, Grace ARH, Howard DM, Nicolaides AR, et al. Evaluation of voice and quality of life after transoral endoscopic laser resection of early glottic carcinoma. *J Laryngol Otol*. 2011 Jul;125(7):706–13.
87. Lachowska M, Osuch-Wójcikiewicz E, Bruzgielewicz A. Videolaryngoscopic and videostroboscopic evaluation following laser CO₂ and conventional cordectomy of Tis and T1 glottic carcinoma. *aoms*. 2010;4:623–32.
88. Lee M, Buchanan MA, Riffat F, Palme CE. Complications after CO₂ laser surgery for early glottic cancer: An institutional experience. *Head & Neck* [Internet]. 2016 Apr [cited 2025 Mar 2];38(S1). Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hed.24142>
89. Kavaliauskaitė T, Morozas A. PAVELDIMOS HEMORAGINĖS TELANGIEKTAZIJOS SUKELTO KRAUJAVIMO IŠ NOSIES GYDYMO LAZERIU YPATUMAI. *Health Sciences*. 2024 Feb 1;34(1):105–7.

Priedai



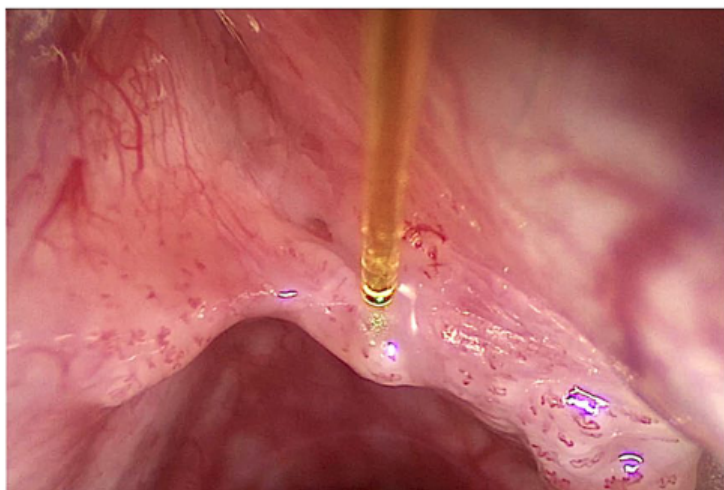
Priedas 1. Karkos ir kt. atliktoje studijoje naudojamos diodinio lazerio lanksčios skaidulos nukreipiamos zodiniu manipulatoriumi, lazerinei kordektomijai esant T1a stadijos gerklų karcinomai. (83)



a



b



c

Priedas 2. Campos ir kt. studijoje naudojama metodika lazerio skaiduloms prie endoskopo pritvirtinti. (16)