

ДЕНТАЛНИТЕ ЛАСЕРИ- ПРЕДИЗВИК НА СОВРЕМЕНАТА СТОМАТОЛОГИЈА

Arsovski Ljupka

Faculty of medical sciences, University "Goce Delcev"- Stip, Republic of North Macedonia,
address: Krste Misirkov, 10A, 2000, Stip
e- mail: ljupka.arsovski@ugd.edu.mk

Petrovski Mihajlo

Faculty of medical sciences, University "Goce Delcev"- Stip, Republic of North Macedonia,
address: Krste Misirkov, 10A, 2000, Stip
e- mail: mihajlo.petrovski@ugd.edu.mk

Terzieva Petrovska Olivera

Faculty of medical sciences, University "Goce Delcev"- Stip, Republic of North Macedonia,
address: Krste Misirkov, 10A, 2000, Stip
e- mail: olivera.petrovska@ugd.edu.mk

Toneva Stojmenova Verica

Faculty of medical sciences, University "Goce Delcev"- Stip, Republic of North Macedonia,
address: Krste Misirkov, 10A, 2000, Stip
e- mail: verica.toneva@ugd.edu.mk

Rogoleva Gjurovski Sonja

Faculty of medical sciences, University "Goce Delcev"- Stip, Republic of North Macedonia,
address: Krste Misirkov, 10A, 2000, Stip
e- mail: sonja.rogoleva@ugd.edu.mk

Апстракт: Ласерската технологија станува сè попопуларна во стоматологијата во последните неколку децении. Денталните ласери поседуваат мноштво на индикации кои се изведуваат во секојдневната стоматолошка пракса, вклучувајќи третман на пародонталните заболувања (ласерите може да се користат за отстранување на инфламираното гингивално и пародонтално ткиво и за промовирање на растот на здравото ткиво); отстранување на каризоните лезии (ласерите може да се користат за отстранување на кариесот на забите, без употреба од анестезија); белење на заби (ласерите може да се користат за активирање на средствата за белење и подобрување на ефикасноста на третманите за белење на забите); за изведување на биопсија (ласерите може да се користат за отстранување на мали примероци од ткиво за биопсија); процедури на меките орални ткива (Ласерите може да се користат за преобликување или отстранување на ткивото на непцата за да се подобри изгледот на насмевката). Најважни за споменување се придобивките од употребата на ласери во стоматологијата од кои најзначајни се намалена болка и непријатност кај пациентот, намалено крварење и побрзо време на заздравување. Ласерите исто така можат да бидат попрецизни од традиционалните стоматолошки алатки, што овозможува значително покonzервативен третман.

Клучни зборови: безболно, ефикасност, прецизност, ласер, третман.

1. Вовед

Употребата на светлината во дијагностички и терапевтски процедури датира многу оддамна. Древните лекари ја користеле за да ја следат бојата на кожата, да го следат процесот на зараснување на раните и да се изведуваат различни терапевтските активности. Исто така, топлината на сончевата светлина во минатото лекарите ја користеле како тераписки модалитет. Па така, Грците и Римјаните користеле сончеви бањи и солариуми и остатоци од истите може да се најдат во нивните домови во археолошките ископини. Старите народи, како Египјаните, Кинезите и Индијците ја користеле светлината во третманот на псоријаза, рак на кожата, па дури и психоза. Подоцна, во осумнаесеттиот и деветнаесеттиот век, европските физичари користеле сончева светлина или вештачка светлина за лекување на туберкулоза на кожата, псоријаза, егзематозни дерматози и мукозни габични инфекции.[3]

Со користење на ласерската светлина во стоматологијата може да се изведат бројни интервенции на тврдите и меките ткива во усната шуплина. Иако ласерите сè уште не успеале да ги заменат конвенционалните инструменти и техники, нивните бројни предности се причината поради која почнале да се користат почесто.[11]

Стоматолошките интервенции кои се изведуваат со помош на ласер поседуваат бројни придобивки и за терапевтот и за пациентите. Особено значајно е дека во текот и после изведувањето на стоматолошките интервенции со помош на ласер се постигнува: намалување на постоперативните компликации, скратување на постоперативниот тек, настанува помала траума при интервенцијата и во повеќето случаи ласерските интервенции може да се употребат без користење или пак со минимална количина на анестетички раствор.[4]

Врз основа на претходно наведеното ја поставивме и основната цел на ова истражување да го опишеме настанувањето на ласерскиот зрак, стоматолошките интервенции кои може да се изведат со помош на ласерите. Посебен сегмент е насочен и кон бенефитите од употребата на ласерската светлина во денталната медицина.

2. Материјал и метод

За да се исполнат основните цели на ова истражување направено е литературно пребарување на различните бази на податоци- научни трудови, доминантно на PubMed, во претходно определен период, кој ја опфаќа последната деценија (2013-2023), се со цел да се задржи современоста на темата. Во истражувањето користени се податоци од трудови за кои се смета дека се основни иако потекнуваат од постар датум и се однесуваат само на темата која е цел на ова истражување, како и одредени трудови кои имаат за цел дообјаснување на самата тема. За исполнување на зададената цел изведен е сеопфатен литературен преглед во контекст на бараните информации и примарно се користени студии публикувани на англиски јазик.

Опфатени беа трудовите од различни типови како: публикуван труд (Journal Article), клиничко испитување (Clinical Trial), рандомизирано контролирано испитување (Randomized Controlled Trial), прегледни трудови (Review), компаративна студија (Comparative study). За правилно насочено пребарување беа користени само соодветни клучни зборови.

Пред да започнеме со описот на најчесто изведуваните стоматолошки интервенции со помош ласер, како и на бенефитите од користењето на истите, ќе биде презентирани краток историски развој и ќе биде опишан и начинот на создавањето на ласерскиот зрак во самите уреди.

Преку исполнување на целите на овој труд сакаме да ги презентираме основните начела на употребата на ласерската светлина во денталната медицина. Тоа се должи пред сè на фактот дека ласерската технологија станува сè попопуларна во стоматологијата во последните неколку децении. Денталните ласери поседуваат мноштво на индикации кои се изведуваат во секојдневната стоматолошка пракса, кои секој стоматолог треба да ги знае за да може да ги почувствува бенефитите од оваа ултрамодерна алатка.

2.1. Формирање на ласерски зрак

Развитокот на ласерската светлина и можностите за нејзината употреба во дијагностички и тераписки процедури во денталната медицина потекнува од базичните физички истражувања на интеракцијата на светлината и материјата од почетокот на 20 век.

Во почетокот на овој дел ќе го дефинираме ласерот како уред и неговите можни примени во секојдневната медицина и стоматологијата.

Ласерот претставува уред преку кој се создава и емитира ласерска светлина низ процесот на засилување на светлината (амплификација) врз основа на стимулирана емисија на електромагнетно зрачење. Ласерот се карактеризира со фокусирана светлина насочена кон мала точка на голема далечина. Токму поради овој факт, со помош на ласерската светлина може да се изведат значително прецизни стоматолошки интервенции.[18]

Особено значајно е да се воочат разликите помеѓу обичната светлина и ласерските зраци. Имено, главната разлика помеѓу ласерската и обичната светлина е во тоа што ласерската светлина е монохроматска, кохерентна и паралелна, за разлика од повеќебојната-обична светлина, чии бранови не се синхронизирани и непаралелни, односно нејзините зраци се прекршени.[27]

Ласерскиот зрак се создава со помош на феноменот означен како стимулирана емисија. Прв услов за фотонска емисија е ласерскиот медиум да содржи енергетски нивоа чија енергија (или енергетска разлика) одговара на енергијата на емитираните фотони. Втор услов е поголемиот број на атоми да бидат во ексцитирана состојба. Преку надворешно доведена енергија може атомите на ласерскиот медиум да се доведат во возбудена состојба подигнувајќи го енергетското ниво. Кога електроните спонтано ќе се вратат во својата нормална енергетска состојба се емитираат фотони, по пат на спонтана емисија, во разни насоки. Тие фотони понатаму може да се апсорбираат од невозбудените атоми и на тој начин настанува стимулирана емисија на преостанатите возбудени атоми.[29]

Во текот на описот на формирањето на ласерскиот зрак неминовно е да се напомене и терминот популациска инверзија на атомите во ласерскиот медиум состојба во која бројот на атомите во возбудена состојба мора да биде поголем од бројот на атоми во нормалната, основна состојба. Инверзната населеност се постигнува со доведување на средината во една термодинамичка нерамнотежа со помош на некој надворешен причинител поради што поголем број од атомите од основна состојба преминуваат во возбудена.[5]

Она што е исто така значајно е дека за да настане стимулирана емисија во активната средина, доволен е само еден надворешен фотон да навлезе во неа. Тој ќе индуцира создавање на уште еден фотон. Понатаму, двата заедно, ќе индуцираат уште четири такви

и на таков начин процесот брзо ќе се прошири низ средината. Бројот на апсорбираните фотони ќе зависи од бројот на атомите во основното ниво, а бројот на емитираните фотони по пат на спонтанна и стимулирана емисија од бројот на атомите во повисокото енергетско ниво. На тој начин пати излегување на зраците од таквата средина интензитетот ќе биде засилен.[20]

2.2. Употреба на ласерската технологија во денталната медицина

Напредокот во дизајнот и инженерството на денталните ласери се зголеми експоненцијално во последните неколку децении. Сепак, ласерската светлина не се користи само во стоматолозијата. Се користи и во многу други гранки како во индустријата за прецизно сечење, оптички инструменти, ласерски печатачи, баркодови, ласерска хирургија, телекомуникации, мерење на лунарното растојание итн.[8]

Денес сите достапни стоматолошки ласери се во рамките на брановите должини од 500 nm до 10,600 nm, односно може да се најдат во видливиот или во невидливиот дел од електромагнетниот спектар. Во суштина денталните ласери емитуваат зраци со бранова должина која се наоѓа во нејонизирачкиот спектар. Дентални ласерски инструменти кои емитуваат ласерски зраци во рамките на видливата светлина се: аргон ласерите со бранова должина од 488 nm и 514 nm (денеска веќе не се произведуваат), Nd:YAG ласерите со бранова должина од 532 nm, ниско енергетските ласери за фотобиомодулација со бранова должина од 635 nm и ласерите за кариес детекција со бранова должина од 655 nm. Преостанатите дентални ласери емитуваат невидлива ласерска светлина и тоа од блискиот, средниот и далечниот дел од инфрацрвениот електромагнетен спектар.[27]

Бројни се индикациите за употребата на денталните ласери во секојдневната стоматолошка пракса, кој лесно може да се групираат во следниве постапки:

- третман на пародонталните заболувања. Значајно е дека ласерите може да се користат за отстранување на инфламираното гингивално и пародонтално ткиво и за промовирање на растот на здравото ткиво; [7,22]
- отстранување на каризоните лезии. Ласерите може да се користат за отстранување на кариесот на забите, без употреба од анестезија; [12,26]
- белење на заби. Па така во секојдневната стоматолошка пракса ласерите може да се користат за активирање на средствата за белење и подобрување на ефикасноста на третманите за белење на забите; [2]
- за изведување на биопсија. Ласерите може да се користат за отстранување на мали примероци од ткиво за биопсија, што е особено значајно поради исклучително минорната траума на околните ткива;[13]
- процедури на меките орални ткива. Ласерите може да се користат за преобликување или отстранување на ткивото на гингивата за да се подобри изгледот на насмевката;[25]
- третман на пулпините и периапикалните промени. Ласерите поради нивниот антисептичен ефект вршат неутрализација на бактериите со што нивниот квантум се намалува; [9]
- третман на фиксиран френулум на јазикот или усните;[25]
- Третман на афтозни и херпетични лезии.[13]

Минималната инвазивност во текот на ласерскиот третман на кариозните лезии се базира на фактот - колку поголема содржина на вода има во ткивото, толку полесно ласерите ќе го отстранат кариес-распаднатото ткиво. Затоа, многу заболеното забно ткиво

(со зголемен квантум на вода) ќе се отстранува многу полесно и со помалку енергија-од помалку кариозно распадатите ткива. Стапката на аблација на забните тврди ткива е во корелација со количината на ласерски енергија доставена до ткивото, ефектите на бранова должина, пулсното времетраење, обликот на пулсот, стапката на повторување, густина на моќноста, термичкото релаксационо времето на ткивото и начинот на испорака. Ласерската препарација на кариозните кавитети се базира на "минималистички" пристап при што се врши отстранување само на заболеното ткиво и и при тоа се употребуваат композитно-смолести реставративни материјали.

При ласерското белење се "активираат" елементите на средствата за белење со користење на многу ефикасен извор на светлосна енергија - ласер. Со употребата на ласерот, односно преку фотоните, на специфична бранова должина која е приближна на спектарот на апсорпција на избелувачкото средство, наместо користење на извор на светлина кој емитува повеќе бранови должини, хемиската реакција се изведува побрзо, а со тоа се редуцира времето на изложеност на средството за белење. Со тоа можноста за компликации значително се минимизира.

Со помош ласерите може да се обезбеди безбедна, ефикасна нехемиска алтернатива во текот на изведувањето на ендодонтскиот третман. Оттука може да се каже дека ласерите се ефикасна алтернатива за лекување на пулпата, со дополнителен бенефит во обезбедување на адекватна пулпина терапија, без користење на хемикалии. [14]

Со помош на стоматолошките ласери може да се изведе и третман на афтозните лезии и на херпес лабиалис. Третман на овие лезии обично се изведува со ласери со ниска енергија со дефокусиран зрак. Целта е да не се оштети ткивото, но при тоа да се делува на епителот околу лезијата. Исто така кога херпетиформните лезии се третираат при иницијалните знаци на инфекција, лезиите лесно може да се отстранат. При третманот потребно е третираната област да ја вклучува целата лезија, како и најмалку 3-5 мм странично од еритематозниот ореол кој ја означува границата на оваа лезија. [17]

Во современата стоматологија, употребата на денталните ласери е од особена корист во подобрувањето на третманот, како во хируршката, така и во постхируршката и протетската фаза во денталната имплантологија. Паралелно со зголемување на застапеноста на денталните импланти како терапевска опција, се подобруваат и перформансите на денталните ласери. Ласерите понатаму можат да бидат особено корисни во справувањето со различните компликации од имплантната терапија и во третман на воспалително периимплантно ткиво. Различните бранови должини на ласерите кои ни се на располагање, имаат уникатни карактеристики кои го олеснуваат пристапот на стоматологот до имплантите, како и удобноста на пациентите. Денталните ласери им овозможува на клиничарите подобра визуелизација на хируршкото поле со намалување на крварењето и намалување на времетраењето на дадената процедура. Со создавање стерилни услови со помош на денталните ласери, за време и по изведувањето на хируршката интервенција, значително се намалуваат можните компликации и инфекции. [15,16]

2.3. Бенефити од користењето на денталните ласери

Многубројните предности од користењето на ласерската светлина тешко можат да се игнорираат, како што се прецизноста, леснотијата на користење и поголем успех во терапијата од конвенционалните терапевтски процедури во современата стоматологија.

Сепак, целосното познавање на оваа терапевтска алатка е императив за да се избегнат несаканите ефекти и да се добијат сите посакувани бенефити во текот на работата.

Она што е од иклучително значење е дека со помош на ласерските зраци настанува лесно отстранување на патолошки променетото ткиво без крварење, оток или постоперативна болка е огромна предност за стоматологот и за пациентот.

Ласерите се одлично решение за проблемот со контаминација на хируршкото поле. Тоа се должи на фактот дека сите ласери се бактерицидни. Стоматологот треба да го изложи хируршкото поле, неколку секунди на ласерската енергија, а при тоа бактерицидните ефекти се длабоки и речиси моментални, и со тоа хируршкото поле се стерилизира. Пред остеотомијата, мекото ткиво може да се стерилизира многу поефикасно со ласер отколку преку класичните методи со плакнење на устата со помош на антисептични средства. Брановите должини на ербиум и неодимиум ласерите може да постигнат деконтаминација пред се поради тоа што ласерскиот зрак физички го озрачува секој квадратен милиметар од работната површина.[1]

Мора да се напомене дека ербиумовата група на ласери не се толку ефикасни како другите бранови должини во обезбедувањето хемостаза. Но тоа претставува и значителен бенефит при користењето на овој ласер бидејќи овозможува површинско крварење на коскените структури, со што се подобрува коскениот заздравување, без разлика дали е вметнат имплант или графтинг материјал, или едноставно алвеолаата се остава да се наполни со коагулум и да започне да се случува заздравување на раната.[2]

При работата во меки ткива особено значајна е адаптацијата кон дебелината на ткивата. Акоткивото е релативно тенко (1-2 mm), секоја бранова должина е прифатлива за работа. Ако ткивото е подебело, користењето на диодни или Nd: YAG ласерите може да потрае неколку минути наспроти неколку секунди со при употребата на ербиумовите и CO₂ ласерите. Со брзо и ефикасно сечење низ ткивото и создавање оптимална видливост за хирургот, времетраењето на процедурата може успешно да се намали во споредба со конвенционалните техники.[28]

Оттука може да се забележи дека употребата на ласерската светлина при изведувањето на стоматолошките интервенции има бројни предности. Примарно, со помош на ласерите се изведува стерилна инцизија со минимална веројатност да биде инфицирана. Ласерот го сече ткивото без да предизвика каскада на настани што доведуваат до едем и воспаление. Бидејќи ласерите декулаваат и на лимфните садци, односно вршат нивно запечатување постои клинички мерливо намалување на болката, отокот и другите постоперативни компликации.[21]

При употребата на ласерите, потребни се послаби аналгетични средства и антибиотици (кои ќе доведат до помалку интеракции и компликации) бидејќи пациентите доживуваат значително помалку трауматски постоперативен тек. Ова се однесува и на минорни но и на големи орално-хируршки процедури.

Друга предност на ласерите е нивната употреба кај пациенти на антикоагулантна терапија со употреба на лекови како што се аспирин и антикоагуланси. Некои пациенти користат и хербални лекови кои можат значително да го променат времето на коагулација. Но сепак доколку постои и минимална дилема во однос на можноста за пролонгирани крварења кај пациентот, треба да се направат соодветни лабораториски анализи. Ласерите имаат одлични хемостатички својства што доведуваат до намалено крварење, такашто контролирањето на интраоперативното крварење не е проблем. [6,10]

Од се претходно наведено, може да се забележи дека бројни се бенефитите од третманот со ласери на меките и тврдите ткива. Па така при интервенциите на меките ткива постои:

- Можност за сечење, коагулација, аблација и вапоризација на елементите од целните ткива
- Коагулација на малите крвни садови (што овозможува суво работно поле во хируршки интервенции)
- Коагулација на мали лимфатични садови (што води до редуцирање на пост-оперативен едем)
- Стерилизација на ткивата (поради топлината настанува деструкција на бактериските мембрани)
- Намалување на појавата на постоперативни лузни [19]

Исто така бројни се и бенефитите од употребата на ласерската светлина на тврдите ткива кои учествуваат во градбата на стоматогнатниот систем и тоа постои:

- Можност за селективна аблација на кариозно променетото ткиво (побрза аблација настанува при поголемо присуство на вода во кариозно променетите забни ткива)
- Редуцирани периоперативни напукнувања на забни супстанции во компарација со ротирачки инструменти
- Можност за минимално инвазивни интервенции кај почетни кариозни лезии
- Редуцирање на термичко оштетување на пулпата
- Стерилизација на кавитетите [23,24]

3. Заклучок

Денталните ласери, како една современа алатка, поседуваат бројни индикации во секојдневната стоматолошка пракса. Исто така, бројните предности што ги поседува ласерот како алатка треба да бидат причина за неговата се поголема употреба при иведувањето на различни видови стоматолошки интервенции. Сепак, употреба на ласери е сведена на мал број интервенции што е поврзано со знаењето и рутината на клиничарот. Со воведување современи образовни програми, како и дополнителна едукација оваа состојба може да се подобри.

4. Користена литература

- [1] Ando, Yoshinori, et al. "Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria." *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery* 19.2, 1996, pp. 190-200.
- [2] Bader, Carl/ Ivo Krejci. "Indications and limitations of Er: YAG laser applications in dentistry." *American journal of dentistry* 19.3, 2006, pp. 178-186.
- [3] Choy, D. S. J. "History of lasers in medicine." *The Thoracic and cardiovascular surgeon* 36, S 2 , 1988, pp. 114-117.
- [4] Crowley, Joseph P. "The most important invention in the history of dentistry and what it teaches us about the future." *The Journal of the American Dental Association* 148.10, 2017, pp. 707-708.
- [5] David, Chaya M./ Pankaj Gupta. "Lasers in dentistry: a review." *Int J Adv Health Sci* 2.8, 2015, pp. 7-13.
- [6] Deppe, Herbert, and Hans-Henning Horch. "Laser applications in oral surgery and implant dentistry." *Lasers in medical science* 22, 2007, pp. 217-221.
- [7] Elavarasu, Sugumari et al. "Lasers in periodontics." *Journal of pharmacy & bioallied sciences* 4.Suppl 2, 2012, S260.
- [8] Gillings, B. R. "Lasers--panacea or paradox?." *Annals of the Royal Australasian College of Dental Surgeons* 13, 1996, pp. 58-70.
- [9] Guerreiro, Marcella Yasmin Reis, et al. "Effect of low-level laser therapy on postoperative endodontic pain: An updated systematic review." *Complementary Therapies in Medicine* 57, 2021, 102638.
- [10] Gupta, Renu, et al. "Lasers in dental implantology: a review." *International Dental & Medical Journal of Advanced Research* 2.1, 2016, pp. 1-4.
- [11] Jesse, James et al. "The evolution of lasers in dentistry: ruby to YSGG." *The Academy of Dental Therapeutics and Stomatology*, 2004.
- [12] Junior, Aldo Brugnera. "Laser phototherapy in dentistry." *Photomedicine and Laser Surgery* 27.4, 2009, pp. 533-534.
- [13] Kale, Luke Nandu, et al. "Evolution and applications of lasers in oral and maxillofacial surgery." *Journal of Dental and Allied Sciences* 6.1, 2017, pp. 28-31.
- [14] Kovacevska, Ivona, et al. "The use of Fidelis III laser in everyday dental practice." *Science & Technologies* 1, 2015, pp. 422-426.
- [15] Lin, Guo-hao et al. "Laser therapy for treatment of periâ implant mucositis and periâ implantitis: An American Academy of Periodontology best evidence review.", 2018
- [16] Papakoca, Kiro, / Petrovski, Mihajlo. "Advantages of laser usage in dental implanology." *KNOWLEDGE-International Journal* 47.4, 2021, pp. 519-523.
- [17] Papakoca, Kiro/ Petrovski, Mihajlo. "Laser assisted periodontal treatment." *KNOWLEDGE-International Journal* 44.2, 2021, pp. 171-175.
- [18] Parker, S. "Introduction, history of lasers and laser light production." *British dental journal* 202.1, 2007, pp. 21-31.
- [19] Parker, S., et al." *Current Concepts of Laser–Oral Tissue Interaction. Dentistry Journal* 8.3, 2020, pp. 61-74.
- [20] Patil, Uddhav A/ Lakshyajit D Dhimi. "Overview of lasers." *Indian journal of plastic surgery : official publication of the Association of Plastic Surgeons of India* 41,Suppl, 2008, S101-13.

- [21] Petrovski, Mihajlo/ Minovska, Ana. "Analysis of early phase wound healing after Er: YAG laser assisted periodontal pocket debridement." *Knowledge–International Journal* 45.4, 2021, pp.803-809..
- [22] Santonocito, Simona, et al. "Impact of laser therapy on periodontal and peri-implant diseases." *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery* 40.7, 2022, pp. 454-462.
- [23] van As, Glenn A. "Lasers in Implant Dentistry, Part 2." *Dentistry today* 34.8, 2015, pp. 94-96.
- [24] van As, Glenn A. "Lasers in implant dentistry, Part I." *Dentistry today* 34.7, 2015, pp. 134-139.
- [25] Verma, Sanjeev Kumar, et al. "Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice." *National journal of maxillofacial surgery* 3.2, 2012, pp. 124.
- [26] Walsh, Joseph T./ Joseph P. Cummings. "Effect of the dynamic optical properties of water on midinfrared laser ablation." *Lasers in surgery and medicine* 15.3, 1994, pp. 295-305.
- [27] Wigdor, Harvey A., et al. "Lasers in dentistry." *Lasers in surgery and medicine* 16.2,1995, pp. 103-133.
- [28] Yamaguchi, Hiroyasu, et al. "Effects of irradiation of an erbium: YAG laser on root surfaces." *Journal of periodontology* 68.12, 1997, pp. 1151-1155.
- [29] Zharikov, Evgeny V., et al. "Stimulated emission from Er³⁺ ions in yttrium aluminum garnet crystals at $\lambda= 2.94 \mu$." *Soviet Journal of Quantum Electronics* 4.8, 1975, pp. 1039.