



Original Article

Iranian Journal of Biological Sciences

h t t p s : / / z i s t i . i a u v a r a m i n . a c . i r



Investigation of the Effects of Helium-Neon and Nd:YAG Lasers on Antibiotic-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* Isolated from Burn Wound Infections

Katayoun Borhani^{1*}, Mohammad Javad Torkamani², Marjan Jahangiri¹

¹Department of Biology, CT. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Department of Energy Engineering and Physics, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran

Article Info

Article History:

Received 2025.09.19

Revised 2025.11.22

Accepted 2025.12.06

KeyWords:

Pseudomonas aeruginosa
antibiotic resistance
burn wound infection
helium-neon laser
Nd:YAG laser

*Corresponding author:

E-mail address:
kborhani54@gmail.com

Abstract

Introduction: Burn wound infections caused by antibiotic-resistant *Pseudomonas aeruginosa* represent a critical clinical problem that has limited therapeutic options and prompted researchers to explore alternative approaches, including the use of lasers. The aim of this study was to investigate the effects of helium-neon (He-Ne) and Nd:YAG lasers on antibiotic-resistant *Pseudomonas aeruginosa* isolates obtained from patients with burn wound infections.

Methods: Bacterial isolates were collected from burn patients admitted to Motahari Burn and Trauma Hospital, Tehran. Following biochemical tests, PCR assays, and antibiotic susceptibility testing, the isolates were confirmed as antibiotic-resistant *Pseudomonas aeruginosa*. After determining the appropriate bacterial dilution for the colony-counting method, the isolates at the selected dilution were exposed separately and simultaneously to a helium-neon laser (wavelength 633 nm) and an Nd:YAG laser (wavelength 1064 nm) for exposure times of 1, 2, and 3 minutes.

Results: Colony-counting results demonstrated a reduction in bacterial numbers following laser irradiation, particularly with increasing exposure time. The Nd:YAG laser exhibited a greater inhibitory effect compared with the helium-neon laser. Moreover, the simultaneous application of both lasers produced a stronger effect than their individual use.

Conclusion: The application of these lasers, under optimized irradiation conditions, may be effective in reducing antibiotic-resistant *Pseudomonas aeruginosa* associated with burn wound infections. After further confirmatory studies, this approach could be considered as an alternative therapeutic strategy for treatment.

Cite this article: K Borhani, M J Torkamani, M Jahangiri. Investigation of the Effects of Helium-Neon and Nd:YAG Lasers on Antibiotic-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* Isolated from Burn Wound Infections. Iranian Journal of Biological Sciences. 2025; 20 (2): 13-22



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by Islamic Azad University, Varamin.

This article is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Print ISSN: 1735-4226

Online ISSN: 1727-459X



بررسی اثر لیزر هلیوم نئون و Nd:YAG بر سودوموناس آئروژینوزای مقاوم به آنتی بیوتیک جدا شده از عفونت های سوختگی

کتایون برهانی^۱، محمد جواد ترکمنی^۲، مرجان جهانگیری^۳

^۱ گروه زیست‌شناسی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ گروه مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

مقدمه: عفونت های سوختگی ناشی از سودوموناس آئروژینوزای مقاوم به آنتی بیوتیک، مشکلی بحرانی است که سبب محدودیت در درمان آن شده و محققین را درصدد ایجاد روش های جایگزین از جمله کاربرد لیزر کرده است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر لیزرهای هلیوم نئون و Nd:YAG بر روی جدایه های سودوموناس آئروژینوزا مقاوم به آنتی بیوتیک از بیماران مبتلا به عفونت سوختگی میباشد.

تاریخچه مقاله

ارسال ۱۴۰۴/۰۶/۲۸
بازنگری ۱۴۰۴/۰۹/۰۱
پذیرش ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

مواد و روش ها: عفونت های سوختگی ناشی از سودوموناس آئروژینوزای مقاوم به آنتی بیوتیک، مشکلی بحرانی است که سبب محدودیت در درمان آن شده و محققین را درصدد ایجاد روش های جایگزین از جمله کاربرد لیزر کرده است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر لیزرهای هلیوم نئون و Nd:YAG بر روی جدایه های سودوموناس آئروژینوزا مقاوم به آنتی بیوتیک از بیماران مبتلا به عفونت سوختگی میباشد.

کلمات کلیدی

سودوموناس آئروژینوزا
مقاومت آنتی بیوتیکی
عفونت سوختگی
لیزر هلیوم-نئون
لیزر Nd-YAG
هم افزایی

یافته ها: نتایج شمارش کلنی نشان دهنده کاهش تعداد باکتری ها بعد از تابش لیزر خصوصا با افزایش زمان بود. لیزر Nd-YAG تاثیر بیشتری را نسبت به لیزر هلیوم-نئون نشان داد. همچنین تاثیر دو لیزر بصورت همزمان بیشتر از تاثیر آنها بصورت جداگانه بود.

* مسئول مکاتبات:

kborhani54@gmail.com

نتیجه گیری: استفاده از لیزرهای مذکور و ایجاد شرایط بهینه برای پرتو دهی می تواند بر کاهش سودوموناس آئروژینوزای مقاوم به آنتی بیوتیک ناشی از عفونت های سوختگی مؤثر باشد و پس از انجام تست های تکمیلی، می تواند به عنوان یک راه درمانی جایگزین برای درمان در نظر گرفته شود

شیوه آدرس دهی این مقاله: ک برهانی، م ج ترکمنی، م جهانگیری، بررسی اثر لیزر هلیوم نئون و Nd:YAG بر سودوموناس آئروژینوزای مقاوم به آنتی بیوتیک جدا شده از عفونت های سوختگی. مجله دانش زیستی ایران. ۲۰:۱۴۰۴ (۲): ۱۳-۲۲



مقدمه

باکتری سودوموناس آئروژینوزا میکروارگانیزمی است که می‌تواند طیف گسترده‌ای از عفونت‌های فرصت طلب شدید را در بیماران مبتلا به بیماری‌های زمینه‌ای جدی ایجاد کند (۱). این باکتری از سیستم ایمنی ناتوان افراد مبتلا به بیماری زمینه‌ای مثل نقص سیستم ایمنی، دیابت، سرطان، HIV و یا بیماران مبتلا به سوختگی استفاده می‌کند و در آن‌ها عفونت‌های مختلفی مانند عفونت مجاری ادراری، سیستم تنفسی، التهاب و آماس پوست و باکتری‌ای ایجاد می‌کند و در واقع یکی از مهمترین باکتری‌های جدا شده از بیماران می‌باشد (۳،۲). سوختگی و عوارض حاصل از آن از شایع‌ترین عوامل مرگ و میر در جهان می‌باشد. بیماران دچار سوختگی به دلیل سرکوب سیستم ایمنی ناشی از سوختگی بیشتر در معرض عفونت‌های بیمارستانی قرار می‌گیرند. امروزه مطالعات نشان دادند که ۷۵ درصد از مرگ‌های ناشی از سوختگی در ارتباط با عفونت می‌باشد که به دنبال شوک سپتیک و باکتری‌های شدید ایجاد می‌گردد (۵،۴). سودوموناس آئروژینوزا یکی از شایع‌ترین عوامل عفونت بیمارستانی به ویژه در زخم‌های سوختگی است که می‌تواند عفونت‌های شدیدی نظیر سپتی سمی، پنومونی، مننژیت را به دنبال داشته باشد (۶). این باکتری در اکثر باکتری‌های ناشی از سوختگی به وجود می‌آید و با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته، هنوز مرگ‌ومیری حدود ۸۰ درصد را موجب می‌شود (۷). اکثر باکتری‌های جدا شده از عفونت‌های سوختگی مقاوم به چند دارو هستند که با کسب جهش‌های مختلف و یا انتقال افقی ژن‌های مقاومت، مقاومت آنتی‌بیوتیکی گسترش می‌یابد (۸). استفاده بی‌رویه از داروهای موثر بر روی سودوموناس آئروژینوزا سبب بوجود آمدن مقاومت ذاتی شدید این باکتری نسبت به بیشتر آنتی‌بیوتیک‌ها شده است (۱۰،۹). در واقع این باکتری نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های مختلف مقاوم شده، بطوریکه وجود سویه‌هایی با مقاومت چند دارویی (MDR) Multi-drug Resistance، مشکل اصلی در درمان عفونت‌های ناشی از این باکتری در بخش‌های مهم بیمارستانی از جمله سوختگی گردیده است (۱۱). به علت اینکه عفونت‌های سودوموناسی مقاوم به آنتی‌بیوتیک به یک مشکل بحرانی تبدیل شده و سبب محدودیت درمان گشته است، پژوهشگران در صدد ایجاد روش‌های

جایگزین از جمله به کارگیری لیزر در جهت درمان این عفونت‌ها هستند. لیزر منبع نوری با قابلیت تمرکز در یک سطح کوچک و تولید پالس‌های کوتاه با شدت بالا می‌باشد که باعث تمایز این منبع نوری از سایر نورهای موجود در طبیعت می‌گردد و به دلیل همین خواص، کاربردهای مختلفی در تحقیقاتی، صنعتی و پزشکی دارد (۱۲). یکی از دلایل استفاده از لیزر در درمان، توانایی آن در تخریب و از بین بردن پاتوژن‌ها از جمله باکتری‌ها و قارچ‌ها براساس طول موج‌های خاص می‌باشد (۱۳). درمان با لیزر می‌تواند با ایجاد تغییر در DNA باکتری‌ها را از بین ببرد. همچنین، مولکول‌های آب درون آنها، فوتون‌های لیزر را جذب کرده و این امر باعث مهار یا مرگ آن‌ها می‌شود (۱۴). لیزر هلیوم نئون یکی از قدیمی‌ترین لیزرها در درمان است (۱۵). همچنین، پرکاربردترین لیزر جامد، Nd-YAG می‌باشد. از دلایل پرکاربرد بودن این لیزر می‌توان به بالا بودن ضریب هدایت گرمایی، خواص اپتیکی بالایی میزبان و کم پهنایی باریکه و پایین بودن آستانه لیزری اشاره کرد (۱۶). مطالعات مختلفی بر روی اثرات مختلف این دو لیزر در طول موج‌های مختلف با توان و مدت زمان‌های متفاوت بر روی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی صورت گرفته و اثرات کاهشی در تعداد باکتری‌ها پس از تابش لیزر گزارش شده است (۱۷-۲۰). بعلاوه اینکه لیزرها با مکانیسمی مستقل از مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌ها عمل می‌کنند، می‌توانند در درمان عفونت‌های زخم و سوختگی‌ها مورد استفاده قرار گیرند

در این مطالعه با توجه به اهمیت لیزر تراپی در درمان عفونت‌های سوختگی به عنوان روشی جایگزین در درمان عفونت‌های سوختگی مقاوم به درمان، اثرات دو لیزر هلیوم نئون با طول موج ۶۳۳ نانومتر و Nd-YAG با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر بر روی نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای مقاوم به آنتی‌بیوتیک جدا شده از زخم‌های سوختگی مورد بررسی قرار گرفتند

مواد و روش ها

تهیه نمونه های بالینی و شناسایی

تعداد ده جدایه های سودوموناس آئروژینوزا از بیمارستان سوانح سوختگی مطهری تهیه شد. برای تشخیص باکتری و اطمینان حاصل کردن از جنس و گونه باکتری، رنگ آمیزی گرم و تست های بیوشیمیایی نظیر اکسیداز، SIM، سیمون سیترات، OF/TSI و رشد در دمای ۴۲ درجه انجام گرفت. جهت تایید مولکولی جنس و گونه جدایه های سودوموناس آئروژینوزا تست PCR صورت گرفت. بدین منظور استخراج DNA به روش جوشاندن انجام شد. در

این روش از کشت ۲۴ ساعته باکتری توسط یک سوآپ استریل یک یا دو تک کلنی برداشته و در آب مقطر حل گردید و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد جوشانده شد. به دنبال آن سانتریفوژ در دمای ۲۴ درجه و در دور rpm12000 انجام گرفت و محلول رویی حاوی DNA برای انجام تست PCR جدا گردید. توالی پرایمر برای مشاهده ژن 16srRNA اختصاصی سودوموناس آئروژینوزا بر اساس جدول ۱ مورد استفاده قرار گرفت (۲۱)

جدول ۱. پرایمرهای مورد استفاده برای مشاهده ناحیه 16srRNA سودوموناس آئروژینوزا

نام ژن	پرایمر (5'→3')	طول محصول (bp)
16srRNA	F: GGGGATCTTCGGACCTCA R: TCCTTAGAGTGCCACCCG	955

سیپروفلوکساسین (۳۰۰µg)، کلیستین (۱۰۰µg)، نورفلوکساسین (۱۰۰µg)، سفتازیدیم (۳۰۰µg)، پیراسیلین (۱۰۰µg)، سفوتاکسیم (۱۵۰µg)، آمیکاسین (۳۰۰µg)، کربنی سیلین (۱۰۰µg)، ایمی پنم (۱۰۰µg)، مروپنم (۱۰۰µg)، همگی از شرکت پادتن طب ایران سنجیده شد و نتایج بر اساس دستور العمل مؤسسه استانداردهای آزمایشگاهی و بالینی Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) مورد بررسی قرار گرفتند

رقت سازی و شمارش کلنی

به منظور بدست آوردن کلنی قابل شمارش از باکتری از روش رقت سازی برای مشخص شدن رقت مناسب از باکتری استفاده شد. از این رقت باکتری برای تاباندن لیزر و بررسی تاثیر آن برروی کلنی ها نیز استفاده گردید. در این روش از کشت تازه یکی از جدایه های مقاوم به آنتی بیوتیک باکتری سوسپانسیون معادل نیم مک فارلند تهیه شد. سپس رقت های سریالی تهیه گردید. پس از کشت از رقت های مختلف در پلیت و ۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد شمارش کلنی انجام شد و بهترین رقت را انتخاب گردید. رقت ۵-۱۰، رقت مناسب باکتری برای تابش لیزر تعیین گردید

واکنش PCR در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر شامل: ۱۲/۵ میکرولیتر مسترمیکس، ۰/۵ میکرولیتر پرایمر Forward، ۰/۵ میکرولیتر پرایمر Reverse، ۹/۵ میکرولیتر آب مقطر استریل و ۲ میکرولیتر DNA الگو انجام شد. در ادامه واکنش PCR در دستگاه ترموسایکلر با شرایط دمایی ۴ دقیقه واسرشت شدن ابتدایی در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد و در ادامه ۳۰ چرخه شامل واسرشت شدن در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ ثانیه، اتصال در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ ثانیه، طولی شدن در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۴۰ ثانیه و در نهایت طولی شدن نهایی در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۴ دقیقه در دستگاه ترموسایکلر (سنسکوست، آلمان) انجام شد. سپس محصولات PCR بر روی ژل آگارز ۱٪ الکتروفورز شده و در دستگاه ترانس لومیناتور جهت وجود یا عدم وجود ژن 16srRNA مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت.

بررسی حساسیت به آنتی بیوتیک ها

با استفاده از روش استاندارد دیسک دیفیوژن، حساسیت آنتی بیوتیکی هر یک از جدایه ها به آنتی بیوتیک های جنتامایسین (۱۰۰µg)، توبرامایسین (۱۰۰µg)،

پرتوتابی

برای تابش دهی ابتدا از کشت تازه باکتری، سوسپانسیون نیم مک فارلند تهیه شد و طبق روش توضیح داده شده رقت های سریالی از باکتری تهیه گردیدند. رقت ۵-۱۰ از باکتری هم به عنوان کنترل و هم برای تابش لیزر تهیه گردید. سویه استاندارد سودوموناس آئروژینوزا ATCC 20853 به عنوان کنترل مورد استفاده قرار گرفت. سپس جهت تاباندن لیزر رقت های تهیه شده به شیشه های مکاری استریل منتقل گردیدند. باریکه لیزر طوری تنظیم شده بود که پس از عبور از یک لنز محدب ($f=50\text{mm}$) در ناحیه ای بعد از کانون لنز واگرا شده و قطر آن به ۳ میلی متر برسد. فاصله لنز از سطح نمونه ۷ سانتی متر

تنظیم شد. به شیشه های حاوی سوسپانسیون میکروبی لیزر هلیوم نئون با طول موج ۶۳۳ نانومتر و توان ۱/۴ میلی وات و لیزر Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر با توان ۱۳۴ میلی وات به صورت جداگانه در فواصل زمانی 1، 2، 3 دقیقه بر روی نمونه ها تابانده شد و همچنین به طور همزمان دو لیزر در فواصل زمانی مذکور بر نمونه ها تابانده شدند. سپس از سوسپانسیون های باکتریایی تحت تابش لیزر مقدار معینی در پلیت نوترین آگار کشت داده شد. پس از انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه به مدت ۲۴ ساعت، تعداد کلنی پلیت ها شمارش شدند و نتایج با نمونه های اولیه قبل از پرتوتابی مقایسه و مورد بررسی قرار گرفتند

نتایج

شناسایی نمونه های سودوموناس آئروژینوزا و تعیین حساسیت آنتی بیوتیکی

براساس تستهای مورفولوژیکی و بیوشیمیایی انجام گرفته، ۱۰ نمونه بالینی جدا شده از عفونت های سوختگی به عنوان سودوموناس آئروژینوزا شناسایی شدند. جنس و گونه باکتری با بررسی قطعه تکثیر شده ۱۶srRNA در PCR تایید گردید

بر اساس الگوی حساسیت آنتی بیوتیکی بدست آمده، تمامی جدایه ها به تمام آنتی بیوتیک های مورد بررسی به جز سفنازیدیم مقاوم بودند. میزان مقاومت به سفنازیدیم (۸۰٪) مورد مشاهده شد

نتایج پرتودهی

پس از تابش لیزرهای Nd:YAG، هلیوم نئون و تابش ترکیبی لیزرها تحت شرایط ذکر شده بر روی جدایه های سودوموناس آئروژینوزا، سویه کنترل و باکتری های شاهد که در شرایط یکسان بودند اما تحت تابش لیزر قرار نگرفته بودند و کشت آن ها بر روی پلیت های نوترین آگار و شمارش و مقایسه کلنی ها در زمان های مختلف

پرتودهی با نمونه شاهد، نتایج بدست آمده بیان کننده کاهش تدریجی تعداد کلنی باکتری ها همراه با افزایش زمان تابش، هم در جدایه های باکتری بدست آمده از سوختگی و هم در سویه استاندارد می باشد. نتایج در هر سه شرایط تابش دهی بر روی باکتری ها در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، تابش لیزرهای نئودیم یگ و هلیوم نئون به مدت ۳ دقیقه به باکتری، به ترتیب باعث کاهش تعداد باکتری به ترتیب به میزان ۵۵٪ و ۳۲/۵٪ گردید. این مقدار کاهش، زمانی که از هر دو لیزر بصورت همزمان در همان مدت زمان تابش استفاده گردید به میزان ۶۳/۶۲٪ افزایش یافت. همچنین در نمودارهای شکل ۱، میزان کاهش تعداد باکتری ها (سویه استاندارد و جدایه بالینی) پس از تابش لیزرها به تنهایی و ترکیبی نشان داده شده است. طبق نمودار نشان داده شده، با افزایش مدت زمان تابش، میزان کاهش تعداد باکتریها بیشتر گردید. اثر کشندگی تابش ترکیبی لیزر بر روی باکتری ها نیز بیشتر می باشد. همچنین تاثیر لیزر بر روی کاهش تعداد کلنی جدایه های بالینی بیشتر از سویه استاندارد است.

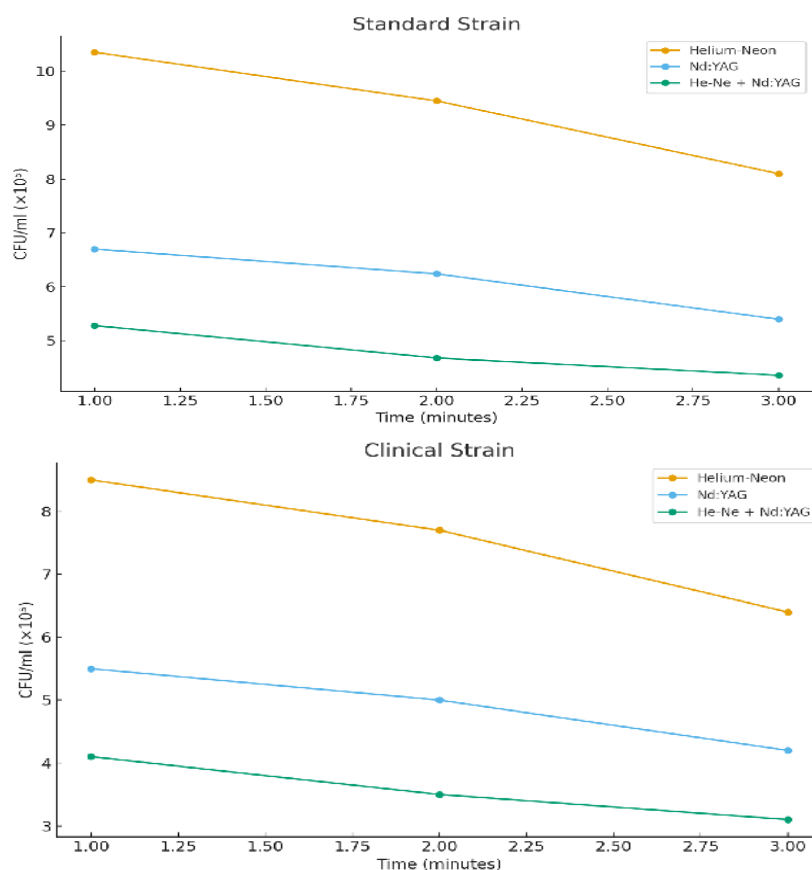
بحث

عفونت های سوختگی ناشی از سودوموناس های مقاوم به آنتی بیوتیک ها موجب افزایش روزافزون مرگ و میر در این دسته از بیماران شده است و بصورت یک مشکل بحرانی درآمده که سبب محدودیت در درمان آن شده است. در نتیجه دانشمندان درصدد به کارگیری روشهای

جایگزین و موثر در جهت مهار این باکتری، ازجمله به کار بردن لیزر بوده اند (۲۲). لیزر های کم توان در حال حاضر در بازار با طول موج، دوز و فرکانس متفاوت وجود دارند که برای درمان بالینی مختلف مورد استفاده قرار می گیرند (۲۳).

جدول ۲. اثر لیزرهای مورد استفاده در زمان های ۱، ۲ و ۳ دقیقه بر روی سودوموناس آئروژینوزا. جدول بالا اثر لیزر بر سودوموناس آئروژینوزا ATCC20853، جدول پایین اثر لیزر بر جدایه های بالینی سودوموناس آئروژینوزا

Laser	colony number (before laser)	Time(min)	colony number (after laser)	CFU/ml	Percentage of reduction
Helium-neon	800	1	690	10.35×10^5	13.75%
		2	630	9.45×10^5	21.75%
		3	540	8.10×10^5	32.5%
Nd: YAG	800	1	447	6.70×10^5	44.12%
		2	416	6.24×10^5	48%
		3	360	5.40×10^5	55%
He-ne/Nd:YAG	800	1	352	5.28×10^5	56%
		2	312	4.68×10^5	61%
		3	291	4.36×10^5	63.62%
Helium-neon	671	1	570	8.5×10^5	15.05%
		2	516	7.7×10^5	23.09%
		3	430	6.4×10^5	35.91%
Nd: YAG	671	1	370	5.5×10^5	44.85%
		2	334	5×10^5	50.22%
		3	280	4.2×10^5	58.27%
He-ne/Nd:YAG	671	1	278	4.1×10^5	58.56%
		2	235	3.5×10^5	64.97%
		3	210	3.1×10^5	68.70%



شکل ۱. تاثیر لیزر های به ترتیب هلیوم نئون، Nd:YAG و ترکیب هر دو لیزر بر روی سویه استاندارد (همودار بالا) و جدایه بالینی (همودار پایین)

مطالعات نشان داده که نور در طول موج و شدت های خاص، خاصیت ضد باکتریایی برای ارگانیسم های خاص دارد. در برخی مطالعات استفاده از لیزر با توان پایین در ترکیب با یک حساس کننده به عنوان عامل مرگ میکروب ها در شرایط آزمایشگاه بررسی شده است (۲۴). درمان فتودینامیکی با منبع نور با طول موج مناسب و با هدف ایجاد مرگ میکروبی، می تواند باعث آسیب سلول و مرگ سلولی می گردد (۲۶-۲۵). در این مطالعه، جدایه های سودوموناس آئروژینوزا های مقاوم حاصل از عفونت های سوختگی تحت تابش دو لیزر کم توان هلیوم-نئون و Nd-YAG به ترتیب با طول موج های ۶۳۳ نانومتر و ۱۰۶۴ نانومتر و با توان های ۴/۱ میلی وات و ۱۳۴ میلی وات در مدت زمان های ۳،۲۱ دقیقه بصورت جداگانه و همزمان قرار گرفتند. بر اساس نتایج بدست آمده، تعداد باکتری ها تحت تاثیر تابش لیزر کاهش پیدا کرد و با افزایش مدت زمان پرتوتابی این میزان کاهش بیشتر شد. در این راستا یکی از عواملی که در کاهش زنده ماندن باکتری ها تاثیر داشته، زمان تابش لیزر بوده است. در مطالعه ای که فانگ جینگ و همکارانش در سال ۲۰۱۵ بر روی اثر ضدباکتریایی لیزر LED بر روی سودوموناس آئروژینوزا انجام دادند، با افزایش زمان تابش LED، میزان کشته شدن باکتری ها افزایش یافت (۲۷). از طرف دیگر افزایش توان و دوز پرتو دهی موجب تاثیر بیشتری بر کشندگی باکتری ها گردید. چنین نتایجی در مطالعات انوار عبدل جاید و همچنین جی. استفان گوفی و همکارانشان گزارش شد (۲۸،۲۰). در سال ۲۰۲۱ نیز ابید و همکارانش بر بازدارندگی رشد این باکتری توسط لیزر Nd-YAG با توان بالا تاکید داشتند (۲۹). مکانیسم اثر لیزر بر روی مرگ باکتری ها بسته به نوع لیزر، شدت تابش، و طول موج متفاوت است. مطالعاتی که از لیزر با شدت پایین (LILT) و لیزر Nd:YAG با توان بالا در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر استفاده کرده اند، نشان داده اند که لیزر می تواند باعث فوتواکسیداسیون (برانگیختگی نوری) مولکول های پورفیرین اندوژن میکروبی موجود در میکروارگانیسم ها شود. این فرآیند از طریق گونه های فعال اکسیژن (ROS) منجر به آسیب اکسیداتیو می شود که توان کشندگی بالایی برای باکتری ها، قارچ ها و ویروس ها دارد (۳۰). در برخی مطالعات گزارش شده است که اثر باکتری کشی لیزر هلیوم-نئون (He-Ne) نیز به دلیل تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS) در سلول های باکتری رخ می دهد که این امر منجر به مرگ سلولی می شود.

علاوه بر این، به نظر می رسد که اثر باکتری کشی لیزر He-Ne به شدت و مدت زمان تابش لیزر وابسته است؛ به طوری که شدت های بالاتر و زمان های طولانی تر تابش معمولاً باعث افزایش فعالیت باکتری کشی می شوند (۳۱). مطالعات دیگر بیان می کنند که باکتری هایی که دارای پیگمان هستند ممکن است انرژی لیزر را بهتر جذب کنند و لذا اثر بهتری بر روی کشندگی باکتری داشته باشند (۳۲). با توجه به اینکه سودوموناس آئروژینوزا پیگمان تولید می کند احتمال دارد بر تاثیر لیزر بر روی باکتری موثر باشد. علاوه بر این، نکته ای که باید توجه داشت این است که گرچه بالا بردن توان تابش لیزر باعث افزایش تاثیر آن می گردد، اما بعلاوه این که هدف نهایی از این تحقیقات، کاربرد بالینی لیزر در درمان عفونت های ناشی از زخم های سوختگی است، آسیب احتمالی ناشی از توان بالای این لیزر ها در بافت های آسیب دیده باید در نظر گرفته شود. علاوه بر این به نظر می رسد لیزر Nd-YAG قدرت کشندگی بیشتری از لیزر هلیوم-نئون دارد. نه تنها مطالعه ما این موضوع را نشان داد بلکه در مطالعه مقایسه ای که دادرس و همکارانش بر روی باکتری های سودوموناس آئروژینوزا و استافیلوکوکوس اورئوس انجام دادند، تاثیر بیشتر لیزر Nd-YAG را گزارش کردند (۳۳). علاوه بر این با توجه به اینکه هر دو لیزر به کار رفته اثر کاهشی بر روی رشد باکتری نشان دادند، با تابش همزمان دو لیزر اثر هم افزایی آنها مورد بررسی قرار گرفت و همانطور که انتظار می رفت، کاهش تعداد باکتری ها بیش از زمانی بود که از یک نوع لیزر استفاده گردید. این تاثیر مضاعف زمانی که جی. استفان گوفی و همکارانش در سال ۲۰۰۶ مطالعه ای سال ۲۰۰۶ مطالعه ای را در ارتباط با اثر ترکیبی لیزر با نور آبی با طول موج ۴۰۵ نانومتر و لیزر با نور قرمز با طول موج ۸۸۰ نانومتر بر روی سودوموناس آئروژینوزا و استافیلوکوکوس اورئوس در شرایط آزمایشگاهی انجام دادند نیز گزارش گردید (۲۸). بر اساس نتایج ما، اثر کشندگی لیزر بر جدایه های بالینی بیشتر از سویه استاندارد سودوموناس آئروژینوزا ATCC20853 گزارش گردید. در هر صورت کاربرد لیزرهای به کار رفته در این مطالعه و در دیگر مطالعات صورت گرفته نیاز به بررسی تاثیرات آن در مدل های بافت و شرایط *in vivo* دارد تا از عدم تاثیرات سوء احتمالی بر روی بافت های آسیب دیده اطمینان حاصل گردد

نتیجه گیری

ایجاد کننده عفونت های ناشی از سوختگی می تواند موثر باشد و با توجه به مقاوم بودن به درمان آنتی بیوتیکی این عفونت ها، به کارگیری این لیزرها بعد از کارآزمایی های بالینی می تواند پیشنهاد گردد

بر اساس تایج مطالعه حاضر، به کارگیری لیزر هلیوم- نئون و Nd-YAG با توان و زمان مناسب می تواند در کاهش عفونت های ناشی از سودوموناس آئروژینوزا بخصوص سویه های مقاوم آن ها به عنوان یکی از مهمترین عوامل

در دسترس بودن

داده های به کاررفته در این پژوهش در حال حاضر به صورت عمومی در دسترس نیستند، اما در صورت درخواست معقول، از طریق نویسنده مسئول قابل دریافت می باشند

تضاد منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تعارض منافع شخصی یا سازمانی در انجام این پژوهش وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش هیچ گونه حمایت مالی از سوی نهادهای دولتی، خصوصی یا دانشگاهی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی مطالعه و نظارت و هدایت پژوهش توسط نویسنده مسئول انجام شده و سایر نویسندگان در جمع آوری داده ها، آنالیز نتایج و بازبینی نهایی مقاله مشارکت داشته اند

References

1. Vázquez-López R, Solano-Gálvez SG, Juárez Vignon-Whaley JJ, Abello Vaamonde JA, Padró Alonzo LA, Rivera Reséndiz A, et al. Acinetobacter baumannii resistance: a real challenge for clinicians. *Antibiotics*. 2020;9(4):205. doi: 10.3390/antibiotics9040205.
2. Farazandeh A, Noorbakhsh F, Honarmand Jahromi S. Effect of silver nanoparticles on surface hydrophobicity and biofilm formation in *Staphylococcus aureus*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*. *Iranian Journal of Biological Sciences*. 2021;16(1):17-31.
3. Shahcheraghi F, Feizabadi MM, Yamin V, Abiri R, Abedian Z. Serovar determination, drug resistance patterns and plasmid profiles of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from burn patients at two hospitals of Tehran (IRAN). *Burns*. 2003;29(6):547-51. doi: 10.1016/s0305-4179(03)00142-6.
4. Azimi L, Motevallian A, Ebrahimzadeh Namvar A, Asghari B, Lari AR. Nosocomial infections in burned patients in motahari hospital, tehran, iran. *Dermatology research and practice*. 2011;2011(1):436952. doi: 10.1155/2011/436952.
5. Ghadiri K, Ghasemi T, Heidari M, Najafi F, Karamimatin R. Epidemiology of hospital death related to burn in Kermanshah, Iran during 2004-2009. *Journal NI*. 2014;1(1).
6. Adabi M, Talebi TM, Arbabi L, Afshar M, Fathizadeh S, Minaeian S, et al. Determination of antibiotic resistance pattern of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from patients with burn wounds. *Journal of Ardabil University of Medical Sciences*. 2015;15(1):66-74.
7. Cho G, Kwon J, Soh SM, Jang H, Mitchell RJ. Sensitivity of predatory bacteria to different surfactants and their application to check bacterial predation. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019;103(19):8169-78. doi: 10.1007/s00253-019-10069-w.
8. Moazamian E, Rafati AR, Fardin M. Evaluation of *Bacteriovorus stali* Predator on the Healing of *Pseudomonas aeruginosa*-infected Burn Wounds in Rats. *Journal Of Animal Physiology and Development*. 2021;14(4):35-45.
9. Mahdavi Ourtakand M, Honarmand Jahromi S, Resalati Z. Biofilm Formation and Determination of Antimicrobial Resistance Pattern in *Pseudomonas aeruginosa* Clinical Isolates. *Iranian Journal of Biological Sciences*. 2018;12(4):23-9.

10. Livermore DM. Current epidemiology and growing resistance of gram-negative pathogens. The Korean journal of internal medicine. 2012;27(2):128. doi: 10.3904/kjim.2012.27.2.128.
11. Nakhjavani A. Prevalence of extended spectrum beta lactamases among strains of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from burn patients. Tehran University of Medical Sciences Journal. 2008;66(5):333-7.
12. Prasad PN. Introduction to biophotonics. Hoboken: John Wiley & Sons; 2004.
13. Azizi A, Shohrati P, Goudarzi M, Lawaf S, Rahimi A. Comparison of the effect of photodynamic therapy with curcumin and methylene Blue on streptococcus mutans bacterial colonies. Photodiagnosis and photodynamic therapy. 2019;27:203-9. doi: 10.1016/j.pdpdt.2019.06.002.
14. Machado RS, Viana S, Sbruzzi G. Low-level laser therapy in the treatment of pressure ulcers: systematic review. Lasers in Medical Science. 2017;32(4):937-44. doi: 10.1007/s10103-017-2150-9.
15. Gul NY, Topal A, Cangul IT, Yanik K. The effects of topical tripeptide copper complex and helium-neon laser on wound healing in rabbits. Veterinary Dermatology. 2008;19(1):7-14. doi: 10.1111/j.1365-3164.2007.00647.x.
16. Tsunekane M, Taguchi N, Inaba H. Reduction of thermal effects in a diode-end-pumped, composite Nd: YAG rod with a sapphire end. Applied optics. 1998;37(15):3290-4. doi: 10.1364/ao.37.003290.
17. Pohekar PG, Rathod SM, Sinha A, Jagtap SS. Physical control of *Pseudomonas aeruginosa* using He-Ne laser. Bionano Frontier. 2013;6:187-90.
18. Abo-Ksour ME, Al-Jubori SS, Jawad HA. Influence of Helium-Neon laser on some virulence factors of Staphylococcus aureus and Escherichia coli. Al-Mustansiriyah Journal of Science. 2018;29(3):29-34. doi: 10.23851/mjs.v29i3.619.
19. Al-Taie KLS, Rasheed HM. Effects of Nd: YAG (1064NM) on staphylococcus aureus isolated from wounds. Plant Archives. 2019;19(2):1728-31.
20. Ebid AA, Alhammad RM, Alhendi RT, Alqarhi BA, Baweyan EM, Alfadli LH, et al. Immediate effect of pulsed high-intensity neodymium-doped yttrium aluminum garnet (Nd: YAG) laser on staphylococcus aureus and *pseudomonas aeruginosa* growth: an experimental study. Journal of Physical Therapy Science. 2019;31(11):925-30. doi: 10.1589/jpts.31.925.
21. Altaai ME, Aziz IH, Marhoon AA. Identification *Pseudomonas aeruginosa* by 16s rRNA gene for Differentiation from Other Pseudomonas Species that isolated from Patients and environment. Baghdad Science Journal. 2014;11(2):1028-34. doi: 10.21123/bsj.2014.11.2.1028-1034.
22. Tseng SP, Teng LJ, Chen CT, Lo TH, Hung WC, Chen HJ, et al. Toluidine blue O photodynamic inactivation on multidrug-resistant pseudomonas aeruginosa. Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery. 2009;41(5):391-7. doi: 10.1002/lsm.20765.
23. Chung W, Petrofsky JS, Laymon M, Logoluso J, Park J, Lee J, et al. The effects of low level laser radiation on bacterial growth. Physical therapy rehabilitation science. 2014;3(1):20-6. doi: 10.14474/ptrs.0000.3.1.20.
24. Khosravi AD, Rostamian J, Moradinegad P. Investigation of bactericidal effect of low level laser of gallium-aluminum-arsenide on cariogenic species on streptococci and lactobacillus. Journal of Medical Sciences. 2008;8(6):579-82. doi: 10.3923/jms.2008.579.582.
25. Awad MM, Tovmasyan A, Craik JD, Batinic-Haberle I, Benov LT. Important cellular targets for antimicrobial photodynamic therapy. Applied microbiology and biotechnology. 2016;100(17):7679-88. doi: 10.1007/s00253-016-7632-3.
26. Vilela SFG, Junqueira JC, Barbosa JO, Majewski M, Munin E, Jorge AOC. Photodynamic inactivation of Staphylococcus aureus and Escherichia coli biofilms by malachite green and phenothiazine dyes: an in vitro study. Archives of Oral Biology. 2012;57(6):704-10. doi: 10.1016/j.archoralbio.2011.12.002.
27. Fang J, Xing J, Gao L, Shen B, Kang H, Jie L, et al. LED array designing and its bactericidal effect researching on *Pseudomonas aeruginosa* in vitro. In: AOPC 2015: Advanced Display Technology; and Micro/Nano Optical Imaging Technologies and Applications. SPIE; 2015. p. 68-73. doi: 10.1117/12.2197305.
28. Guffey JS, Wilborn J. Effects of combined 405-nm and 880-nm light on Staphylococcus aureus and *Pseudomonas aeruginosa* in vitro. Photomedicine and Laser Therapy. 2006;24(6):680-3. doi: 10.1089/pho.2006.24.680.

29. Ebid AA, Alhammad RM, Alhindi RT, Alghamdi AA, Alqarhi AK, Abdullah HA, et al. Effect of high-power Nd: YAG laser on the growth of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*: an experimental study. *Journal of Physical Therapy Science*. 2021;33(3):222-8. doi: 10.1589/jpts.33.222.
30. Grzech-Leśniak K, Nowicka J, Pajęczkowska M, Matys J, Szymonowicz M, Kuropka P, et al. Effects of Nd:YAG laser irradiation on the growth of *Candida albicans* and *Streptococcus mutans*: in vitro study. *Lasers in Medical Science*. 2019;34(1):129-37. doi: 10.1007/s10103-018-2622-6.
31. Salih WH, Hassan SH. The bacteriocidal effects of 632.8 nm HE-NE laser on *Staphylococcus aureus* colonies. *Biomedical Photonics*. 2023;12(1):22-7.
32. Ebid AA, Alhammad RM, Alhindi RT, Alghamdi AA, Alqarhi AK, Abdullah HA, et al. Effect of high-power Nd:YAG laser on the growth of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*: an experimental study. *The Journal of Physical Therapy Science*. 2021;33(3):222-8. doi: 10.1589/jpts.33.222.
33. Dadras S, Mohajerani E, Eftekhar F, Hosseini M. Different photoresponses of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* to 514, 532, and 633 nm low level lasers in vitro. *Current microbiology*. 2006;53(4):282-6. doi: 10.1007/s00284-005-0490-3.