لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۹، دورۀ ۱۷، شمارۀ ۱، صفحات: ۳۹-۳۳ .

مقاله مروری

مروری بر تکنیک نوردرمانی در ترمیم

افشان شیرکوند[1]
مریم اخوان توکلی[2]

۱. دکتری تخصصی بیوفوتونیک- فیزیک پزشکی، پژوهشگر گروه لیزر پزشکی، مرکز تحقیقات لیزر پزشکی جهاد دانشگاهی علوم پزشکی تهران

۲. دکتری تخصصی علوم تشریح، گروه تشریح، دانشگاه علوم پزشکی ایران

نویسندۀ مسئول: افشان شیرکوند، تلفن: ۰۲۱۶۶۴۶۴۸۶۲
پست الکترونیک: a_shirkavand@sbu.ac.ir

خلاصه

در کنار درمان‌های معمول، از تکنیک‌های مختلفی همچون امواج صوت، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، تخت‌های کاهش فشار و ... برای ترمیم و بهبود زخم استفاده می‌شوند. این روش‌ها معمولاً برای جلوگیری و بهبود زخم‌های فشاری استفاده می‌شوند. ترمیم زخم یک روند هم‌پوشانی‌کننده و ماتریس پیچیده است. به‌منظور تسریع روند بهبود و به حداقل رساندن عفونت باکتریایی از روش درمانی مبتنی‌بر نور برای تحریک زیست‌نوری استفاده می‌شود. یکی از این انواع روش‌های مورد استفاده در بهبود زخم نیز لیزر (نور تقویت‌شده توسط تابش تحریکی) درمانی است که پتانسیل زیادی برای درمان زخم دارد. پارامترهای مختلف می‌توانند بر بازده لیزردرمانی تأثیر بگذارند. در این مقاله سعی داریم تا تکنیک‌های لیزر در درمان و ترمیم و بهبود زخم، سابقۀ استفاده از لیزردرمانی تأثیرات بیولوژیکی و همچنین پارامترهای بهینۀ نور مانند طول موج و دوز برای بهبود زخم را مرور نماییم.

واژه‌های کلیدی: پوست، ترمیم زخم، گیاهان دارویی

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-05]

مقدمه

زخم عبارت از آسیب فیزیکی است که توسط اختلال در ساختار طبیعی بدن ایجاد می‌شـــود. در زخم برخی از پوسته‌های سطحی و ساختارهای پوســت می‌تواند به شـــکل اساســـی آســـیب ببیند[۱و۲]. برای مدیریت پیشگیری از زخم اقدامات مداوم آموزشی مانند بهداشت حرفه‌ای، مشاورهٔ خانواده و دستورالعمل‌ها باید در اختیار مردم قرار گیرد. روش‌های درمانی متفاوت مانـــند داروهای معمولی، تخت و بالشـــتک راحت و نیز گیاهان دارویی بـــرای درمان زخم‌ها توســـعه یافته‌اند. روش‌هـــای درمانی مانند اســـتفاده از امواج اولتراسوند و امواج الکترومغناطیســـی به‌عنوان درمان جایگزین یا کمکی در بهبود زخم معرفی شـــده اســـت[۵-۳]. اگرچه این روش‌ها برخی مزیت‌ها دارند اما، نتایج آن‌ها همیشه امیدوارکننده نیست.

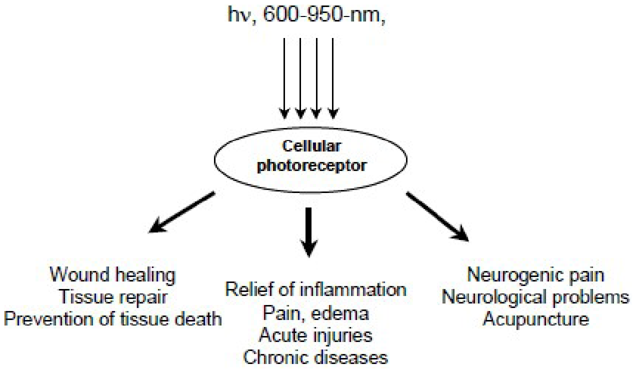
اخیراً، کاربردهای لیزر به‌عنوان تکنیک غیرجراحی در سرعت بخشیدن بـــه روند ترمیـــم و بهبود زخم مورد توجـــه زیادی قرار گرفته اســـت. با ایـــن وجود، اثـــرات لیزر در کاهش درد و ترمیم بافت کاملاً درک نشـــده اســـت[۶و۷]. گزارش شـــده اســـت که اســـتفاده از لیزر می‌تواند ترمیم بیولوژیکی آســـیب‌دیدهٔ بافت را تسهیل کند[۸] و یکی از روش‌های عالی برای درمان ضایعهٔ زخم‌ها استفاده از نور کم‌توان است که توسط سیستم‌ها و منابع نوری مانند لیزر (نور تقویت‌شـــده توســـط تابش تحریک[1]) تولید می‌شود. تاریخچهٔ استفاده از لیزر در بهبود زخم‌ها به دههٔ ۱۹۶۰ میلادی برمی‌گردد. با این وجود، به‌دلیل عدم استانداردسازی در آزمایشات، نتایج بسیار متناقض است. اثربخشی درمان با لیزر به‌طور گسترده‌ای به انتخاب مناسب پارامترهای تابشی لیزر یا نور بستگی دارد[۹].

از زمان معرفی تحریک زیست‌نوری در مراقبت‌های بهداشتی، مطالعات متفاوتی امکان‌ســـنجی و اثربخشی منابع نور برای رفتار زخم‌های پوستی را مطالعه نموده‌اند. با این حال، مکانیســـم‌های بیولوژیکی برهمگنش نور با توان کم در بافت به‌طور دقیق هنوز توضیح داده نشـــده است[۱۰]. در همین راســـتا، برخی تحقیقات نشـــان داده‌اند که استفاده از نور می‌تواند ســـبب افزایش تکثیر سلولی چندین نوع ســـلول از قبیل فیبروبلاست‌ها، سلول‌های اندوتلیال و کراتینوسیت‌ها شود[۱۱و۱۲].

پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر برهمکنش نور و بافت بیولوژیکی تأثیر وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌انداز طول‌موج و دوزتابی نور به‌علاوه خصوصیات نوری بافت. با لحاظ کردن این ویژگی‌های سیستم‌های نوری و لیزری، لیزر منبع نوری از انواع مختلفی از مواد فعال ازجمله مایع، جامد یا گازی تشـــکیل می‌شـــود و نور حاصل از آن‌ها دارای مشخصات تابشی خاصی خواهد بود[۱۳].

سیستم‌های لیزری مختلفی از قبیل He-Ne، AlGaAs، InGaAlP و ... وجود دارند، لیزرهای مختلفی پارامترهای تابشـــی نوری (طول‌موج،

1. LASER



شکل۱: شماتیک بیان‌گر زمینه‌های مهم کاربرد لیزرهای کم‌توان[۱۴]

قدرت، انرژی، تکرار پالس و مدت‌زمان پالس) متنوع و شـــرایط تابشی در پروتکل‌های درمانی (زمان قرارگرفتـــن در معرض، فرکانس و مدت‌زمان درمان) دارند که طیف گسترده‌ای را شامل می‌شوند[۱۳، ۱۹-۱۵].

پارامترهای متداول نور لیزر شامل توان در محدودهٔ طول‌موج و همچنین در حالت پیوسته در فرکانس، پالس، تابش کل، شدت و دوز گزارش شده است که لیزردرمانی می‌تواند زخم‌ها یا سلول‌هایی که رشد کمتری دارند را تحت‌تأثیر قرار دهد، درحالی‌که تأثیری روی سلول‌های عادی ندارد[۲۰].

در این مقاله سعی می‌شود بررسی جامعی در ارتباط با تکنیک‌های لیزر برای بهبود زخم و اصول اساسی آن‌ها برهمکنش لیزر- بافت و پارامترهای بهینهٔ نور مانند طول‌موج و دوز در بهبود زخم ارائه و مورد بحث قرار گیرد.

فوتون نوری لیزر

نور لیزر در مقایســـه با ســـایر نورها دارای ویژگی‌های تابشـــی منحصر به فرد اســـت. ایـــن ویژگی‌ها عبارت‌انداز تک‌رنـــگ (دارای یک طول‌موج خاص)، همدوســـی (انتشـــار در یک جهت) و عدم واگرایی در مسیرهای انتشـــاری که ســـبب نفوذ غیرتهاجمی این نور به درون بافت بیولوژیکی می‌شـــود[۱۰و۲۳-۲۱]. قابل‌توجه‌تریـــن اثرات بیولوژیکی با دوز بیشـــتر از ۵ J/cm^2 گزارش شـــده اســـت [۱۱و۱۵]. در دوزهای بســـیار کم دوز اثرات بیولوژیکی مشاهده نمی‌شود این در حالی‌است‌که در دوزهای بالاتر عملکرد سلول مهار می‌شوند[۱۱، ۱۹و۲۰].

توان خروجی نوری پرتوی لیزر

توان پرتوی لیزر یا توان خروجی نوری پرتوی لیزر یک ویژگی اساســـی برای هر پرتوی لیزر است. به‌طور معمول برای یک لیزر دیود که در شرایط جریان تزریق رو به جلو منتشـــر می‌شود، برای لیزرهای مد پیوستهٔ مورد استفاده در LLLT ممکن اســـت شدت جریان تا ۱۰۰ میلی‌آمپر متغیر باشد. همچنین شدت جریان آستانه I_{th} که پارامتر مهم شدت نوری است که در یک LED (دیود نورگسیل) توان خروجی کمتر از آستانه و در لیزر دیود نور با توان خروجی بالاتر تولید می‌شـــود (شکل۳). از شکل ۳ نتیجه

[Downloaded from iclml.ir on 2025-12-05]

در مصارف درمانی اســـتفاده می‌شود سبب انتقال حرارت ناچیز می‌باشد. بدین‌ترتیب، انرژی فوتون مستقیماً به سیتوکروم سی اکسیداز سلول‌های هدف بدون ایجاد آسیب حرارتی تحویل داده می‌شود[۱۹]. به‌منظور بررسی اثرات بیولوژیکی نـــور تک‌رنگ لیزر در محدودهٔ طول‌موجی ۶۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر که در درمان اســـتفاده می‌شود، می‌توان آن را به سه دسته تقسیم کرد: اثرات اولیه (ناشـــی از نور)، اثرات ثانویه (در پاسخ به اثرات اولیه رخ داده است) و اثرات دیگر شناخته‌شده به‌عنوان اثرات سیستمیک[۲۵و۲۶].

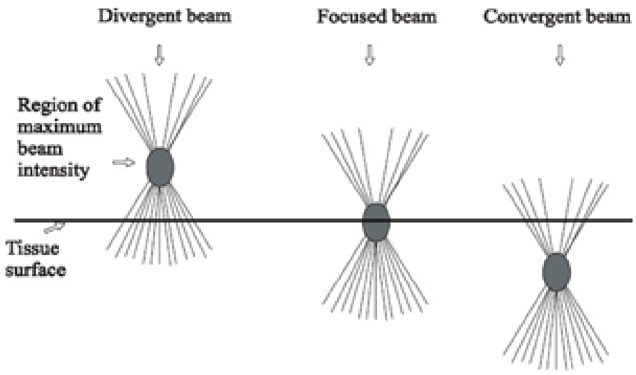
تأثیرات اولیهٔ فوتوتراپی

اثـــرات ســـلولی اولیه به‌طـــور کلی مربـــوط به برهمکنـــش فوتون‌ها و مولکول‌های درون‌سلولی و سیتوکروم‌ها است که آن‌ها را جذب می‌کنند. نور مرئی و تابش الکترومغناطیســـی مادون قرمز توســـط سیتوکروم‌هایی جذب می‌شود که بسیاری از آن‌ها در میتوکندری واقع شده‌اند[۲۷]. این همچنین فرض شـــده اســـت که نور می‌تواند به‌عنوان کاتالیزور عمل کند و مولکول‌ها، اندامک‌ها و ســـلول‌های بدون جذب را تحت‌تأثیر قرار دهد. اگرچـــه این به‌طور کامل تضعیف نور به محض اینکه به بافت نفوذ می‌کند را توضیح نمی‌دهد. اینکه آیا تأثیرات اولیهٔ نور باعث ایجاد آبشـــار تأثیرات ثانویه و ثالثه می‌شود یا خیر و اینکه آیا این احتمالات به دانسیتهٔ فوتونی بســـتگی دارد یا خیر. زیرا آســـتانهٔ اثربخشـــی فوتون‌های نوری به تفاوت سلول‌ها در محیط داخلی و خارجی بستگی دارد[۲۸].

واکنش‌های اولیه با جذب فوتون‌ها همراه است. به‌معنای دیگر، به‌عنوان برهمکنش بین فوتون‌های جذب شده در مواد جاذب نوری درنظر گرفته می‌شـــوند که درعـــرض چند ثانیه یا چند دقیقه پـــس از تابش نور ایجاد می‌شـــوند[۲۹و۳۰]. این واکنش‌های اصلی نور هســـتند هنوز به‌روشنی مشخص نشده است با این وجود فرضیه‌هایی بر درک سازوکار اصلی عمل لیـــزر که منجر به تولید اثرات بیولوژیکی در بافت جذب انرژی می‌شـــود، وجود دارد. به‌طور گسترده جذب به نوع لیزر بستگی دارد. طول‌موج نقش مهمی در جـــذب دارد. نور لیزر علاوه‌بر طول‌موج، بـــر بافت کروموفورها (هموگلوبین و ملانین) می‌توانند تأثیر بگذارند[۱۸و۳۱].

تأثیرات ثانویهٔ فوتوتراپی

اثرات ثانویهٔ فوتوتراپی در پاســـخ به رســـپتورهای نـــوری رخ می‌دهد. به‌شـــرطی‌که فوتون‌هـــای کافی با انرژی بالاتر از آســـتانهٔ ســـلول جذب می‌شوند[۲۶]، دریافت نور سپس با تبدیل به سیگنال و تقویت آن دنبال می‌شود. افزایش ATP و تغییرات در نفوذپذیری غشای سلولی به سدیم، K و Ca2 در همهٔ سلول‌های پاسخ‌دهنده رخ می‌دهد. آنچه اتفاق می‌افتد به نوع سلول و حساسیت آن‌ها به تغییرات محیطی بستگی دارد. به‌عنوان مثال، ماکروفاژها فاکتورهای رشـــد را ترشـــح می‌کنند و فیبروبلاست‌ها همانند ســـلول‌های اندوتلیال و کراتینوســـیت‌ها تکثیر می‌شـــوند. سایر اثرات ثانویه شـــامل افزایش ATP-ase و فعال‌سازی cAMP و آنزیم‌ها



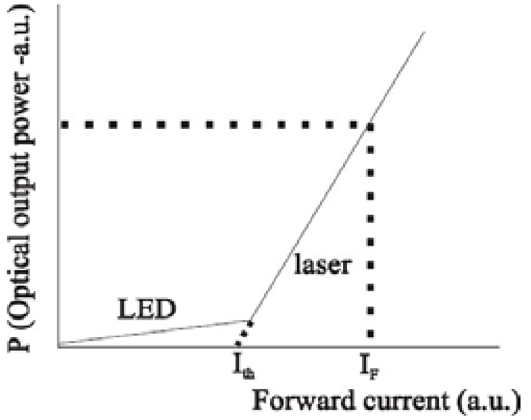
شکل۲: ارتباط فوکوس نور بر سطح و نفوذ در بافت[۲۳]

گرفته می‌شـــود که قدرت نوری خروجی به شدت به مقادیر جریان تزریق بالای آستانه، بســـیار قوی‌تر از توان خروجی نوری بستگی دارد وابستگی درمورد LED .[۲۳]

برهمگنش نور - بافت و سلول

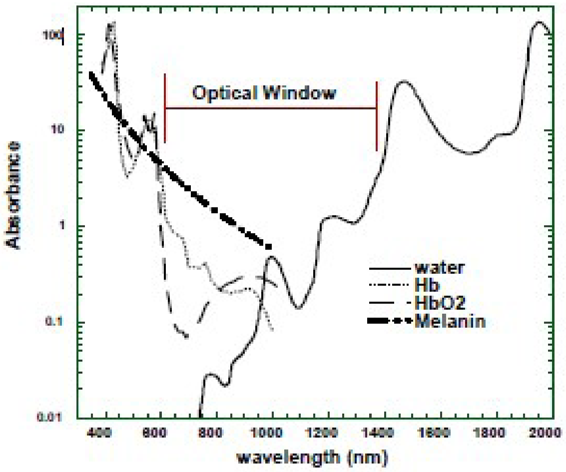
قانون اول فوتوبیولوژی تصریح می‌کنـــد برای اینکه نور مرئی کم‌قدرت بر سیســـتم بیولوژیکی زنده تأثیر بگذارد، فوتون‌ها باید توســـط باندهای الکترونیکی متعلق به برخی کروموفورهای مولکولی گیرنده جذب شـــوند. یک رویکرد برای یافتن هویت ایـــن رنگدانه‌ها یافتن طیف‌های فعال این مولکول‌ها اســـت. این طیف یک نمـــودار نمایانگر ذات اختصاصی بافت یا سلول زیستی است که به‌عنوان تابعی از طول‌موج، تعداد موج، فرکانس یا انرژی فوتون می‌باشد و باید شبیه طیف جذب مولکول گیرندهٔ نوری باشد. این واقعیت که طیف می‌تواند توصیف ســـاختدار کوانتومی ماده باشـــد، فرضیهٔ وجود ســـلول‌های گیرندهٔ سلولی و ســـیگنالینگ را در مسیرهای تحریک‌شده توسط نور پشتیبانی می‌کند[۱۴و۲۴].

برخی از مطالعات نشـــان داده‌اند که ســـیتوکروم سی‌اکسیداز می‌تواند طول‌موج طیف قرمز تا نزدیـــک مادون قرمز را جذب کند[۱]. لیزری که



شکل۳: مقایسهٔ توان نوری خروجی ال‌ای‌دی و لیزر

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-05]



شکل۴: پنجرهٔ اپتیکی فوتوتراپی

می‌باشد. تشـکیل اسـید نیتریک یک اثر ثانویهٔ پرتودرمانی مادون قرمز است[۳۲]. مهم‌ترین مزیت مطالعهٔ سـلول‌های آزمایشگاهی مکانیسم‌ها اسـت و پارامترهای درمانی را می‌توان به روشـی کنترل‌شده و دوسویه بررسـی کرد. جمعیت‌های بزرگ با روشـی مناسـب و مقرون به صرفه. طول‌موج و پارامترهای دیگری که سـلول‌ها به آن‌ها پاسخ می‌دهند قابل تعیین و بهینه‌سـازی هسـتند. در این مرحله، اثرات متابولیکی مختلفی اتفـاق می‌افتد که منجر به تولید انـواع مختلف تغییرات فیزیولوژیکی در سطح سلولی یعنی تغییر در نفوذپذیری غشای سلولی می‌شود[۱].

اثرات ثالثهٔ فوتوتراپی

اثر سـوم نیز به‌عنوان یک اثر سیستمیک شناخته شده است که کمک می‌کند تا توضیح دهد که چرا درمان یک ضایعه می‌تواند باعث تحریک و بهبود آن ضایعهٔ مستقیم درمان‌شده و سایر ضایعاتی که ممکن است بیمار داشته باشد، شود[۲۶]. ضایعه‌ای که مورد فوتوتراپی واقع می‌شود، آسیب نمی‌بیند و از تحریک موضعی و سیستمیک نوری بهره برده می‌شود. این ازنظر بالینی به‌منظور تأثیر دارای اهمیت اسـت. فوتون‌ها به‌طور مستقیم با سـلول‌ها در برهمکنش نیسـتند. اثرات ثالثه در ترمیم و تسکین درد توسـط فوتوتراپی این حالت اتفاق می‌افتد و از اهمیت ویژه‌ای در تحریک بافـت برخوردار هسـتند. به‌دلیل تعدد متغیرهـای محیط‌های داخلی و خارجـی یک بیمار، اثرات ثالثهٔ اثرات اولیه یا ثانویه کمتر قابل پیش‌بینی اسـت. مکانیسم ممکن دیگر تغییر در متابولیسم میتوکندری و همچنین فعال‌سازی زنجیرهٔ تنفسی توسـط فوتون این است. این منجر به تقویت تولید آنیون‌های سوپراکسـید O2 می‌شود. همچنین گزارش شده است که تابش لیزر مهار سـیتوکروم c اکسیداز را معکوس می‌نماید و درنتیجه میزان تنفس افزایش و لذا سنتز ATP را افزایش می‌دهد[۱، ۱۱و۱۴].

پارامترهای مؤثر تابش نور در فرآیند فوتوتراپی

همان‌طورکه گفته شـد، چندین پارامتر می‌تواند بـر کارآیی فتوتراپی تأثیـر بگذارد. این پارامترها می‌توانند روش درمانی مناسـب برای درمان زخم‌های سطحی یا صدمات اسکلتی عضلانی درمان مؤثر را تعیین کنند:

نحوهٔ برهمکنش نور با بافت‌های زیستی به ویژگی‌ها و پارامترهای تابشی نور شـامل نوع منبع، طول‌موج و دوز و همچنین ویژگی‌های نوری بافت بستگی دارد[۱۵].

لیزر

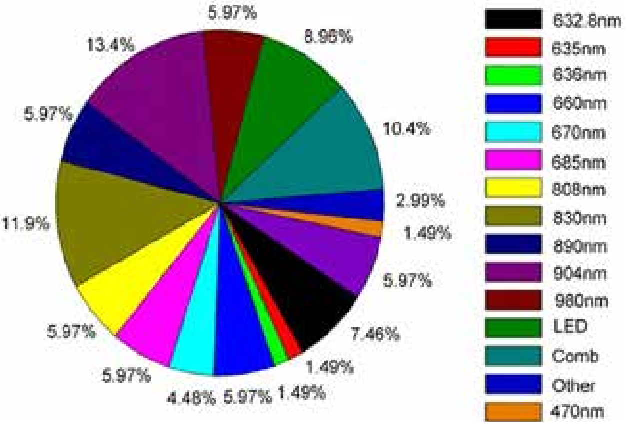
مطالعات مختلفی اثر درمانی هر لیزر را مورد بررسـی قرار داده اسـت و گزارش شـده اسـت که طول‌موج نور که در لیزر He-Ne نسـبت به لیزردیود بلندتر است، اثرات بیولوژیکی نور که از ۶۶۳ نانومتر از لیزر دیود ساطع می‌شود درمقایسه با نور یک He-Ne کمتر است. بدیهی است که هنگام لیزر دیود با قدرت بالاتر (۵۰-۵۰ مگاوات) و دوز بالاتر اثر آن بالیزر He-Ne، مشابه است[۱۸و۳۳].

طول‌موج

نشان داده شد که طول‌موج نور می‌تواند به‌طور گسترده‌ای روی بهره‌وری فوتوتراپی تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال استفاده از لیزر در طول‌موج ۶۳۰ مهار باکتری را ایجاد می‌کند[۳۴و۳۵].گزارشی از اثرات تحریکی طول‌موج ۶۶۰ نانومتر نور لیزر در فیبروبلاست به‌طور تصور قابل توضیح است[۳۶و۳۷]. برخی محققان بـر اهمیت طول‌موج مختلف بـرای نتایج مطلوب تأکید دارنـد. بین تأثیرات نور لیـزر و نور LED در طول‌موج‌های مشـابه در فرآیندهای بهبود زخم تفاوت معنی‌داری گزارش نشده است[۳۶، ۳۸و۳۹].

دانسیتهٔ انرژی

گزارش شـده اسـت که دوزهای مؤثر نور مادون قرمـز نزدیک ممکن اسـت به‌ویژه در آسـیب‌های عمیق سـبب ایجاد دوزهای بسیار بالاتر از ۱۰ J/cm^2 باشد. دوزهای بسیار پایین نیز ممکن است سبب اثرات ناچیز باشـد. ازطرف‌دیگر، تجویز دوز بالاتر از بالاترین مقدار مناسـب منجر به تولید اثر منفی می‌شود. همچنین حتی بیشتر دوز می‌تواند باعث القای اثر



شکل۵: توزیع درصدی انواع طول موج‌های نور مورد استفاده در فرآیند ترمیم زخم[۴۰]

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-05]

مهاری یا ساپرس‌کنندگی زیستی شود[۴۱و۴۲].

توان

دانسیتهٔ توان به‌عنوان یک پارامتر تابشی لیزر، شدت نور در سطح بافت درنظر گرفته می‌شود و با دیمانسیون mW/cm^2 بیان شده است. درواقع، آن توان جذب‌شدهٔ نور در واحد سطح ناحیهٔ بافت هدف را بیان می‌کند. استفاده از توان قوی‌تر نور لیزر منجر به کاهش زمان درمان می‌شود[۱، ۱۱و۴۲].

موج نوری پالسی و پیوسته

موج پیوسته به‌عنوان یک منبع نور درنظر گرفته می‌شود که شدت ثابت تولید می‌کند درحالی‌که نور پالسی منبع نوری است که نور را در شدت‌های مختلف تابش می‌کند. نور پالسی معمولاً با قطع نور پیوسته با اپتومکانیکی مانند چاپر[۲] تولید می‌شود. اگر نور پالسی استفاده شود، توان نور تابشی منبع دیگر ثابت نخواهد بود[۴۳]. بنابراین، برای تعیین دوز نور تابشی، متوسط توان درنظر گرفته می‌شود و این درحالی‌است که لیزرهای موج پیوسته از توان خروجی استفاده می‌کنند[۱].

تماسی و غیرتماسی

یک لیزر در دو حالت مختلف با تماس و غیرتماسی قابل استفاده است. برای ایجاد نفوذ زیاد به پوست پروب لیزر باید در تماس مستقیم با پوست باشد و همچنین در زاویهٔ ۹۰ درجه قرار داده شود. این امر منجربه به‌حداقل رساندن موارد بازتاب از سطح پوست و نفوذ بیشتر به داخل بافت می‌شود[۱۴و۲۳].

کاربردهای درمانی نور و لیزر

برخی از محققان هر دو اثر مهاری و تحریکی لیزر و نور را برروی روندهای درمانی نوری و ترمیم زخم گزارش کردند[۴۴]. همچنین مشخص شد که استفاده از لیزر می‌تواند اثر مفیدی در درمان زخم ایجاد کند. باتوجه به آگاهی‌های نسبی از پارامترهای بهینهٔ درمانی، دوزیمتری لیزر مکانیسم عمل آن هنوز به‌طور کامل درک نشده است[۴۵].

مطالعات اثبات می‌کنند که درمان با نور و لیزر کم‌توان، برای درمان زخم کاربرد دارد، زیرا علاوه‌بر ایجاد تکثیر سلول‌های اپی-تلیال، استئوبلاست‌ها و فیبروبلاست در کاهش ادم در روند التهابی نیز مؤثر است. همچنین به‌دلیل سنتز کلاژن به‌دنبال تابش نور با پارامترهای بهینهٔ طول‌موج و چگالی انرژی تسریع روند ترمیم بافت تغییریافته نیز در مطالعات مختلف گزارش شده است[۴۶].

نور آبی به‌دلیل اثرات ضدمیکروبی، ضدتکثیری و ضدالتهابی بدون آسیب رساندن به بافت درمقایسه با نور UV خطرناک و همچنین عمق نفوذ کم آن شناخته شده است[۴۷]. بنابراین در مراحل اول فرآیند ترمیم زخم، تابش نور آبی استفاده می‌شود، از تشکیل یک کلونی باکتریایی از یک طرف و جلوگیری از اپیدرمیزه شدن بیش از حد با رشد کراتینوسیت‌ها منجر به بسته شدن زودرس زخم می‌شود. برای مراحل بعدی بهبود زخم پس‌از "ضدعفونی‌شدن" زخم، برنامه‌ریزی شده است که از نور قرمز استفاده شود تا رشد سلولی تسریع شده در سلول‌های غیرفعال در لایه‌های عمیق‌تر پوست مانند فیبروبلاست یا سلول‌های بنیادی قرار داشته باشد[۴۸و۴۹].

نور و نور لیزر مرئی ازطریق افزایش تکثیر سلول‌ها و کاهش التهاب می‌تواند ترمیم زخم را تسریع کند. درمان زخم با استفاده از منابع نوری مختلف ازجمله ۴۴۲، ۴۸۸، ۶۳۲، ۷۸۰ و ۸۳۰ نانومتر با دانسیتهٔ انرژی معین مورد نیاز در هر طول‌موج در مطالعات مختلفی بررسی شده‌اند[۵۰و۵۱].

براساس اطلاعات در دسترس تکنیک درمان‌های ترکیبی به‌منظور تسریع روند بهبود ممکن است همزمان از نور دارای اثرات ضدباکتریایی و نور القاءکنندهٔ مسیر ضدالتهابی مفیدتر باشد[۵۲].

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه، لیزردرمانی سطح پایین در دوزیمتری مناسب پارامترهای تابشی نور در درمان‌های مبتنی‌بر نور و لیزر در ترمیم زخم می‌تواند به‌طور سریع‌تری موجب ترمیم زخم شود. اثرات تحریک زیستی‌نوری در فرآیند درمان نوری به انتخاب پارامترهای بهینهٔ فیزیکی نور وابسته است که باید از متخصص نوری بهره برد.

2. chopper

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-05]

References:

1. Samaneh R, Ali Y, Mostafa J, Mahmud NA, Zohre R. Laser therapy for wound healing: A review of current techniques and mechanisms of action. Biosci. Biotechnol. Res. Asia, 2015; 12: 217–23.

2. Rodrigo SM, Cunha A, Pozza DH, Blaya DS. Analysis of the Systemic Effect of Red and Infrared Laser Therapy on Wound Repair.Photomed. Laser Surg, 2009; 27(6): 929–35.

3. Poltawski L. Transmission of Therapeutic Ultrasound by Wound Dressings. wounds, 2007; 19 (1): 1–12.

4. Taradaj J, Franek A, Cierpka L, Dolibog P. The use of therapeutic ultrasound in venous leg ulcers : a randomized , controlled clinical trial.Phlebology, 2008; 178–83.

5. Conner-kerr T, Oesterle ME. Current perspectives on therapeutic ultrasound in the management of chronic wounds: a review of evidence. Chronic Wound Care Management and Research, 2017; 89–98.

6. Woodruff LD. The efficacy of laser therapy in wound repair: A meta-analysis of the literature. Photomed. Laser Surg, 2004; 22(3): 241–7.

7. Do S F, Andrade da SD, de O Clark RM, Ferreira ML. Effects of low-level laser therapy on wound healing.Rev. Col. Bras Cir, 2014; 41(2),129–33.

8. Kazemikhoo N. Evaluation of the effects of low level laser therapy on the healing process after skin graft surgery in burned patients (a randomized clinical trial). J. Lasers Med. Sci, 2018; 9(2): 139–43.

9. Ma H, Li YX, Chen HL, Kang ML, Liu TCY. Effects of low-intensity laser irradiation on wound healing in diabetic rats. Int. J. Photoenergy, 2012; 7139.

10. Tuchin V. Tissue Optics and Photonics: Light-Tissue Interaction II," J. Biomed. Photonics Eng, 2016; 2(3): 030201.

11. Farivar S, Malekshahabi T, Shiari R. Biological effects of low level laser therapy. J. Lasers Med. Sci, 2014; 5(2): 58–62.

12. Houreld N, Abrahamse H. In vitro exposure of wounded diabetic fibroblast cells to a helium-neon laser at 5 and 16 J/cm2. Photomed. Laser Surg, 2007; 25(2): 78–84.

13. Basu C, Meinhardt-Wollweber M, Roth B. Lighting with laser diodes.Adv. Opt. Technol, 2013; 2(4): 313–21.

14. Hamblin MR, Demidova TN. Mechanisms of low level light therapy, Mech. Low-Light Ther, 2006 ; 6140: 614001.

15. Chaves ME. de A, Piancastelli ACC, Araújo A. R. de, Pinotti M. Effects of low-power light therapy on wound healing: LASER x LED. An. Bras. Dermatol, 2014; 89(4): 616–23.

16. Hawkins H, Abrahamse D. Phototherapy — a treatment modality for wound healing and pain relief. African J. Biomed. Res 2010; 10(2): 99–109.

17. Hawkins D, Abrahamse H. Influence of broad-spectrum and infrared light in combination with laser irradiation on the proliferation of wounded skin fibroblasts. Photomed. Laser Surg, 2007; 2(3): 159–69.

18. Rezende SB, Ribeiro MS, Núñez SC, Garcia VG, Maldonado EP. Effects of a single near-infrared laser treatment on cutaneous wound healing: Biometrical and histological study in rats J. Photochem. Photobiol. B Biol, 2007; 87(3):145–53.

19. Sommer AP, Pinheiro ALB, Mester AR, Franke RP, Whelan HT. Biostimulatory windows in low-intensity laser activation: Lasers, scanners, and NASA's light-emitting diode array system. J Clin. Laser Med. Surg, 2001; 19(1): 29–33.

20. Diane E, Handy JL, Rita Castro. Effect of Pulsing in Low-Level Light Therapy. Bone, 2011; 23(1): 1–7.

21. Bahaa-e-Saleh, Fundamentals of photonics, 2nd ed. Weily-interscience, 2007.

22. Svelto O, Svelto O. Properties of Laser Beams. Princ. Lasers, 1976; 249–76.

23. Pascu ML. Laser Physics Elements to Consider for low Level Laser Therapy. Laser Ther. 2000; 13(1): 114–25.

24. Sutherland JC. Biological Effects of Polychromatic Light. Photochem. Photobiol, 2002; 76(2): 164.

25. Dalgleish T, Williams JMG, Golden A-MJ, Perkins N, Barrett LF, Barnard PJ. Laser- tissue interactions. Journal of Experimental Psychology: General. 2007; 136: 23-42.

26. Dyson M. Primary, secondary, and tertiary effects of phototherapy: a review. Mech. Low-Light Ther,2006; 6140(2006): 614005.

27. Lanzafame RJ. Low Level Laser Therapy: Clinical Practice and Scientific Background," J. Clin. Laser Med. Surg, 1999; 17(4): 179–179.

28. Tunner J, Hode L. Laser Therapy: Clinical Practice and Scientific Background. Prima Books, AB, Tallinn, 2002.

29. Huang M. H, Y.Y, H. Chen A.C. Low-level laser therapy: an emerging clinical paradigm. SPIE Newsroom,2009; 9: 1–3.

30. Karu T. Molecular mechanism of the therapeutic effect of low-intensity laser radiation. Lasers Life Sci, 1988; 2(1): 53-74.

31. Karu T. Comparison of the effects of visible femtosecond laser pulses and continuous wave laser radiation of low average intensity on the clonogenicity of Escherichia coli.," J. Photochem. Photobiol. B Biol., 1991; 10(4): 339–44.

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-05]

45. Coombe YL, Ho CT, Darendeliler MA, Hunter N, Philips JR, Chapple CC. The effects of low level laser irradiation on osteoblastic cells. Clin Orthod Res., 2001; 4(1): 3–14.

46. Alencar Fonseca Santos J. De, Campelo MBDi, De Oliveira RA, Nicolau RA, A. Rezende VE, Arisawa EÂL. Effects of low-power light therapy on the tissue repair process of chronic wounds in diabetic feet. Photomed. Laser Surg., 2018; 36(6): 298–304.

47. Dai T. Blue light for infectious diseases: Propionibacterium acnes, Helicobacter pylori, and beyond? . Drug Resist Updat2012; 15(4): 223–36.

48. Avci P. Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring. Semin Cutan Med Surg, 2013; 32(1): 41–52.

49. Teuschl A. Phototherapy with LED light modulates healing processes in an in vitro scratch-wound model using 3 different cell types. Dermatol Surg, 2015; 41(2): 261–8.

50. Farouk AH Al-Watban XYZ. COMPARISON OF THE EFFECTS OF LASER THERAPY ON WOUND HEALING USING DIFFERENT LASER WAVELENGTHS. Laser Ther, 1996; 8(2).

51. FAROUK AH, AL-WATBAN, ZHANG XY. Comparison of Wound Healing Process Using Argon and Krypton Lasers. J. Clin. Laser Med. Surg., 2009; 15(5).

52. Nussbaum EL, Biemann I, Mustard B. Comparison of Ultrasound/Ultraviolet-C and Laser for Treatment of Pressure Ulcers in Patients With Spinal Cord Injury. Phys. Ther, 1994; 74(9): 812–23.

32. Stadler WM, Lanzafame RJ, Oskoui P, Zhang RY, Coleman J, Alteration of skin temperature during low-level laser irradiation at 830 nm in a mouse model. Photomed Laser Surg, 2004; 22(3): 227–31.

33. King PR. Low level laser therapy: A review. Lasers Med. Sci,19894; 3: 141–50.

34. Nussbaum EL, Lilge L, Mazzulli T. Effects of 630-, 660-, 810-, and 905-nm laser irradiation delivering radiant exposure of 1-50 J/cm2 on three species of bacteria in vitro.J. Clin. Laser Med. Surg. 2002; 20(6): 325–33.

35. 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. Curr. Microbiol, 2006; 53(4): 282–6.

36. Wunsch A, Matuschka K. A controlled trial to determine the efficacy of red and near-infrared light treatment in patient satisfaction, reduction of fine lines, wrinkles, skin roughness, and intradermal collagen density increase. Photomed. Laser Surg, 2014; 32(2): 93–100.

37. Vinck EM, Cagnie BJ, Cornelissen MJ, Declercq HA. Increased fibroblast proliferation induced by light emitting diode and low power laser irradiation. Lasers Med. Sci, 2003; 18: 95–9.

38. R. L. R. Russell B.A., Kellett N. A study to determine the efficacy of combination LED light therapy (633nm and 830 nm) in facial skin rejuvenation. J. Cosmet.Laser Ther., 2005; l(7): 196–200.

39. Lee SY, Park KH, Choi JW. A prospective, randomized, placebo-controlled, double-blinded, and splitface clinical study on LED phototherapy for skin rejuvenation: Clinical, profilometric, histologic, ultrastructural, and biochemical evaluations and comparison of three different trea. J. Photochem. Photobiol, 2007; 88: 51–67.

40. Suan LP, Bidin N, Cherng CJ, Hamid A. Light-based therapy on wound healing : A review. Laser Phys, 2014; 24(8).

41. power helium L, Kipshidze N. Neon laser irradiation enhances production of vascular endothelial growth factor and promotes growth of endothelial cells in vitro. Lasers Surg. Med. 2001; 28(4): 355–64.

42. Pereira PR, De Paula JB, Cielinski J, Pilonetto M, Von Bahten LC. Effects of low intensity laser in in vitro bacterial culture and in vivo infected wounds. Rev. Col. Bras. Cir. 2014; 41(1): 49–55.

43. Michael R, HANDBOOK OFPHOTOMEDICINE. Taylor and Francis, 2013.

44. Hopkins JT, McLoda TA, Seegmiller JG, Baxter GD. Low-level laser therapy facilitates superficial wound healing in humans: A triple-blind, sham-controlled study. J. Athl. Train, 2004; 39(3): 223–9.

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-05]