Journal of Marine Medicine
Winter 2026, Volume 7, Issue 4 (Special Issue: Policy Brief)
Pages: 8-11
10.30491/7.4.8

Use of Chitosan-Moringa Biohydrogels with Sports Rehabilitation: A Policy Proposal to Improve the Speed of Complex Burn Healing

Amirhossein Yadolahi [1], Hamid Babavalian [2*]

[1]*Student Research Committee, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2]*Applied Biotechnology Research Center, New Health Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 7 January 2026 **Accepted:** 30 January 2026

Abstract

Full-thickness burn wounds, especially when infected with resistant pathogens such as *Staphylococcus aureus*, pose a major challenge in clinical treatment. These wounds significantly delay the healing process and increase medical costs. The current study investigated the synergistic effect of a biocompatible nanohydrogel based on polyvinyl alcohol-chitosan enriched with *Moringa oleifera* extract, in combination with high-intensity interval training (HIIT), on the acceleration of wound healing in a rat model. Rats were randomly divided into three groups: control, monotherapy (either the nanohydrogel or HIIT alone), and combination therapy. Healing indicators, including wound contraction, angiogenesis, epithelialization, and collagen deposition, were evaluated on days7,14, and21 post-intervention. Results showed that the combination therapy group exhibited the fastest and most complete wound healing process. This group outperformed the others in terms of wound contraction, angiogenesis, and organized collagen deposition. The integration of the active nanohydrogel with HIIT, as an innovative approach, not only enhances the speed of healing but also improves the quality of tissue regeneration. This strategy has the potential to reduce treatment duration and alleviate the economic burden on the healthcare system. Such a combination could serve as a novel option for the management of complex wounds.

Keywords: Skin Burn, Biopolymer hydrogel, Chitosan-moringa, Exercise

[*]**Corresponding author:** Hamid Babavalian, **Email**: h.babavalian@yahoo.com
Address: Applied Biotechnology Research Center, New Health Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴ (ویژه نامه خلاصه سیاستی)
صفحات: ۱۱-۸
10.30491/7.4.8

استفاده از هیدروژل‌های زیستی کیتوسان-مورینگا به همراه توانبخشی ورزشی: پیشنهاد سیاستی برای بهبود سرعت درمان سوختگی‌های پیچیده

امیرحسین یدالهی[۱]، حمید باباولیان [۲*]

[۱] کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران
[۲] مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی کاربردی، پژوهشکده فناوری های نوین سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۴/۱۱/۱۰

چکیده

زخم‌های سوختگی عفونی با تمام ضخامت پوست، به‌ویژه در حضور باکتری‌های مقاوم مانند *Staphylococcus aureus*، چالش جدی در درمان بالینی هستند. این زخم‌ها روند ترمیم را کند می‌کنند و هزینه‌های درمانی را افزایش می‌دهند. مطالعه حاضر به بررسی اثر هم‌افزای نانوهیدروژلی بر پایه پلی‌وینیل الکل-کیتوسان غنی‌شده با عصاره مورینگا و تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) در تسریع ترمیم زخم‌های عفونی در رت‌ها پرداخت. رت‌ها به سهگروه تقسیم شدند: کنترل، تک‌درمانی و ترکیبی. شاخص‌های ترمیم از جمله جمع‌شدگی زخم، رگ‌زایی، اپیتلیالیزاسیون و کلاژن‌گذاری در روزهای۷،۱۴ و ۲۱ مورد ارزیابی قرارگرفت. نتایج نشان داد کهگروه ترکیبی سریع‌ترین و کامل‌ترین روند ترمیم را داشت. اینگروه از نظر جمع‌شدگی زخم، رگ‌زایی و سازمان‌دهی کلاژن به‌خوبیگروه‌های دیگر عمل کرد. تلفیق نانوهیدروژل فعال با تمرین HIIT به‌عنوانیک رویکرد نوآورانه، نه تنها سرعت ترمیم را افزایش می‌دهد، بلکه کیفیت بازسازی بافتی را بهبود می‌بخشد. این روش می‌تواند مدت زمان درمان را کاهش داده و بار اقتصادی سیستم بهداشتی را کم کند.چنین ترکیبی می‌تواندگزینه‌ای جدید در مدیریت زخم‌های پیچیده باشد

کلیدواژه‌ها: سوختگی، هیدروژل زیستی، کیتوسان-مورینگا، ورزش، پوست

*نویسنده مسئول: **حمید باباولیان**. پست الکترونیک: h.babavalian@yahoo.com
آدرس: مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی کاربردی، پژوهشکده فناوری های نوین سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

مقدمه

زخم‌های سوختگی تمام ضخامت، که در آنها لایه درم به‌طور کامل تخریب می‌شود و ساختارهای حیاتی پوست از بین می‌روند، به‌عنوان یکی از دشوارترین و چالش‌برانگیزترین موارد درمانی در حوزه پزشکی بازساختی و مراقبت‌های بالینی شناخته می‌شوند (۱). این نوع زخم‌ها نه تنها به دلیل وسعت و شدت آسیب بافتی، بلکه به علت پیچیدگی‌های ناشی از کلونیزاسیون میکروبی و حضور پاتوژن‌های مقاوم مانند *Staphylococcus aureus*، روند درمان را به‌طور قابل توجهی دشوارتر می‌سازند. در چنین شرایطی، بیماران معمولاً نیازمند دوره‌های درمانی طولانی‌مدت، انجام جراحی‌های مکرر برای برداشت بافت‌های نکروتیک و پیوند پوست، و همچنین مراقبت‌های تخصصی هستند. این عوامل در مجموع منجر به افزایش چشمگیر هزینه‌های بیمارستانی و تحمیل بار اقتصادی سنگین بر سیستم سلامت می‌شوند. در سال‌های اخیر، توجه پژوهشگران به سمت توسعه نانوبیومواد زیست‌سازگار و طراحی پانسمان‌های فعال نسل جدید معطوف شده است (۲). این پانسمان‌ها با هدف ایجاد محیطی مناسب برای ترمیم زخم، کاهش خطر عفونت و تسریع فرآیند بازسازی بافتی طراحی می‌شوند. در میان این نوآوری‌ها، هیدروژل‌های پلیمری بر پایه پلی‌وینیل الکل و کیتوسان جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند. این ترکیبات به دلیل توانایی در حفظ رطوبت مطلوب، ویژگی‌های ضدمیکروبی ذاتی، و قابلیت هموستاتیک، شرایطی فراهم می‌کنند که به‌طور همزمان از رشد باکتری‌ها جلوگیری کرده و فرآیند ترمیم طبیعی بدن را حمایت می‌نمایند (۳–۵). افزون بر این، غنی‌سازی این هیدروژل‌ها با عصاره گیاه دارویی مورینگا اولیفرا، که خواص ضدالتهابی و ترمیمی شناخته‌شده‌ای دارد، موجب تقویت اثرات درمانی و افزایش کارایی پانسمان‌ها می‌شود (۸–۶). ترمیم زخم فرآیندی پیچیده و چندبعدی است که تنها به مداخلات موضعی محدود نمی‌شود، بلکه نیازمند هماهنگی سیستمیک میان پاسخ‌های ایمنی، فعالیت سلولی و بازسازی بافتی در سطح کل بدن است. در این راستا، مداخلات غیرموضعی مانند تمرین‌های ورزشی نیز می‌توانند نقش مهمی ایفا کنند. پروتکل تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) به‌عنوان یک رویکرد سیستمیک، قابلیت اثبات‌شده‌ای در تعدیل پاسخ‌های ایمنی، بهبود عملکرد سلول‌های بنیادی و افزایش ظرفیت بازسازی بدن دارد. این نوع تمرین با ایجاد تغییرات متابولیک و هورمونی، شرایطی فراهم می‌آورد که فرآیند ترمیم زخم به‌طور غیرمستقیم تسریع شود. بر همین اساس، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر هم‌افزایی میان نانوهیدروژل فعال غنی‌شده با عصاره مورینگا اولیفرا و پروتکل HIIT طراحی شد. این ترکیب نوآورانه می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی جامع، هم از طریق مداخله موضعی و هم از طریق تحریک سیستمیک، روند ترمیم زخم‌های سوختگی تمام ضخامت عفونی را بهبود بخشد و چشم‌انداز تازه‌ای برای مدیریت این نوع آسیب‌های پیچیده ارائه دهد.

روش‌ها

این پژوهش از نوع تجربی در مدل حیوانی رت نر نژاد ویستار انجام شد. نانوهیدروژل زیست‌سازگار بر پایه پلی‌وینیل الکل و کیتوسان سنتز شد و با عصاره هیدروالکلی برگ‌های مورینگا اولیفرا تقویت گردید. پس از اطمینان از خواص فیزیکوشیمیایی و زیست‌سازگاری، سوختگی‌های درجه ۳ القا و با استافیلوکوکوس اورئوس کلونی‌سازی شدند. حیوانات به‌طور تصادفی به گروه‌های کنترل، تک‌درمانی و درمان ترکیبی تقسیم شدند. پروتکل تمرین تناوبی با شدت بالا شامل دوره‌های فعالیت شدید و استراحت فعال به مدت سه هفته بود. میزان ترمیم زخم در روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ با معیارهای ماکروسکوپی و هیستوپاتولوژیک شامل اپیتلیالیزاسیون، رگ‌زایی، رسوب کلاژن و نفوذ سلول‌های التهابی ارزیابی شد.

نتایج

یافته‌های این مطالعه به‌طور قطعی برتری چشمگیر درمان ترکیبی (نانوهیدروژل-PVA/Cs مورینگا به همراه تمرین HIIT) را در مقایسه با روش‌های درمانی مجزا نشان داد. این گروه، سریع‌ترین و کامل‌ترین ترمیم را به ثبت رساند که پیامدهای سیاستی مستقیمی در کاهش طول دوره بستری و بهبود کیفیت زندگی بیماران دارد:

تسریع بی‌سابقه در جمع‌شدگی زخم و بسته‌شدن: بالاترین نرخ جمع‌شدگی زخم و تکمیل بسته شدن آن در بازه زمانی کوتاه ۷ تا ۱۴ روز مشاهده شد. این امر به‌طور بالقوه زمان بستری بیمارستان را کاهش داده و هزینه‌های درمانی را به شکل قابل ملاحظه‌ای تقلیل می‌دهد.

بازسازی بافت با کیفیت برتر: ترمیم نه تنها سریع، بلکه از نظر کیفی نیز برتر بود. شواهد نشان‌دهنده اپیتلیالیزاسیون سریع‌تر، رگ‌زایی بیشتر (که برای تغذیه و بقای بافت حیاتی است) و کلاژن‌گذاری سازمان‌یافته‌تر است. این کیفیت بالا، خطر باقی ماندن جای زخم (اسکار) را کاهش داده و نتایج زیبایی‌شناختی و عملکردی بیمار را بهبود می‌بخشد.

کنترل مؤثر التهاب: درمان ترکیبی نفوذ سلول‌های التهابی را به صورت مطلوب و هدفمند کنترل کرد. این مدیریت کنترل‌شده التهاب، خطر آسیب‌های ثانویه به بافت را کاهش داده و مسیر را برای ترمیم بهینه هموار می‌سازد.

نتیجه‌گیری سیاستی: این یافته‌ها نشان‌دهنده اثر سینرژیستی قدرتمند درمان ترکیبی است که با تأکید بر تأثیر ترکیب نوآوری فناوری (نانوهیدروژل) و ملاحظات سبک زندگی/توانبخشی HIIT، یک راه‌حل جامع، سریع و با کیفیت بالا برای ترمیم زخم‌های سوختگی عفونی ارائه می‌دهد و لزوم گنجاندن این پروتکل‌ها در دستورالعمل‌های بالینی را توجیه می‌کند.

بحث

این مطالعه توانست اثربخشی بی‌نظیر و قابل توجه درمان ترکیبی شامل نانوهیدروژل پلی‌وینیل الکل-کیتوسان غنی‌شده با عصاره مورینگا اولیفرا در کنار پروتکل تمرین HIIT را در مقایسه با روش‌های تک‌بعدی و سنتی به‌طور علمی و مستند اثبات کند. رویکرد هم‌افزای مورد استفاده در این پژوهش، با ایجاد محیط ترمیمی ایده‌آل از طریق ویژگی‌های منحصر به‌فرد هیدروژل و همزمان تقویت سیستمیک پاسخ‌های ترمیمی بدن توسط تمرین HIIT، توانست بهترین نتایج را در کوتاه‌ترین زمان ممکن به دست آورد (۹،۱). به‌طور مشخص، این ترکیب منجر به سریع‌ترین بسته شدن زخم در بازه زمانی ۷ تا ۱۴ روز شد و کیفیت بازسازی بافتی را به سطحی بالاتر ارتقا داد. شاخص‌های کلیدی این کیفیت شامل افزایش چشمگیر رگ‌زایی، تسریع اپیتلیالیزاسیون و کلاژن‌گذاری سازمان‌یافته و منظم بودند که همگی نشان‌دهنده بازسازی بافتی سالم‌تر و پایدارتر هستند. این دستاورد نه تنها یک پیشرفت علمی محسوب می‌شود، بلکه یک فرصت سیاستی حیاتی برای نظام سلامت به شمار می‌رود. در صورت بهره‌گیری از این نوآوری، می‌توان کاهش قابل توجهی در طول دوره درمان بیماران سوختگی ایجاد کرد، نیاز به مداخلات ثانویه و جراحی‌های پرهزینه را به حداقل رساند و بار اقتصادی سنگین ناشی از درمان‌های ناکارآمد را از دوش سیستم سلامت برداشت. چنین رویکردی می‌تواند به‌عنوان یک انقلاب در پروتکل‌های درمانی سوختگی مطرح شود و مسیر جدیدی برای استانداردسازی درمان‌های ترکیبی در سطح ملی و بین‌المللی باز کند. بنابراین، سیاست‌گذاران حوزه سلامت باید با جدیت و سرعت این نوآوری سه‌گانه را به یک پروتکل درمانی استاندارد و رسمی تبدیل کنند تا از مزایای آن در سطح کلان بهره‌مند شوند. بر اساس برتری علمی و شواهد تجربی حاصل از درمان ترکیبی، مجموعه‌ای از اقدامات سیاستی و اجرایی برای جلوگیری از تحمیل هزینه‌های بیشتر و ارتقای کیفیت درمان ضروری است:

استانداردسازی و تأییدیه سریع نانوداروها: سازمان غذا و دارو باید نانوهیدروژل PVA/Cs- مورینگا را در مسیر سریع (Fast Track) ارزیابی بالینی قرار دهد تا امکان استفاده عملی و گسترده از آن فراهم شود. عدم اقدام در این زمینه به معنای ادامه روند درمان‌های پرهزینه و ناکارآمد خواهد بود و فشار اقتصادی مضاعفی بر بیماران و سیستم سلامت وارد می‌کند (۸).

الزام‌آور کردن توانبخشی فعال: وزارت بهداشت باید گنجاندن رسمی پروتکل‌های ورزشی هدفمند، به‌ویژه تمرین HIIT، را در دستورالعمل‌های درمان سوختگی الزامی سازد. چشم‌پوشی از این اقدام می‌تواند کیفیت ترمیم زخم و وضعیت جای زخم را به‌شدت کاهش دهد و بیماران را با مشکلات طولانی‌مدت مواجه کند (۳).

حمایت مالی از انتقال بالینی: تخصیص سرمایه هدفمند برای اجرای کارآزمایی‌های بالینی فاز ۲ و ۳ و انجام تحلیل‌های دقیق هزینه-اثربخشی ضروری است. این اقدام مانع از تداوم درمان‌های ناکارآمد و پرهزینه خواهد شد و مسیر انتقال یافته‌های پژوهشی به عرصه بالینی را تسهیل می‌کند.

تشکر و قدردانی: از همه اساتیدی که در غنای مطالب حاضر یاری‌رسان بودند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Smith JR, et al. Histological assessment of dermal integrity and collagen architecture in full-thickness burn injuries. J Regen Med. 2023;15(3): 145-60.
2. Chang C, et al. Hydrogels in advanced wound dressings: mechanisms of moisture retention and exudate management. Adv Healthc Mater. 2023;12 (11): 2202685.
3. Ghasemi H, et al. Polyvinyl alcohol (PVA) as a scaffolding material: biodegradability and hydrophilicity in tissue engineering. J Biomed Mater Res A. 2021;109(5):710-25.
4. Shahidi F, et al. Chitosan: sources, preparation, and properties as a versatile polysaccharide. Crit Rev Food Sci Nutr. 2020;60(16):2796-821.
5. Muzzarelli RAA. Chitosan-based materials for wound dressing and tissue engineering. Carbohydr Polym. 2022;291:119614.
6. Rojas R, et al. Nutritional and biochemical composition of Moringa oleifera: essential vitamins and bioactive compounds. Food Chem. 2020;321: 126750.
7. Khaksar MA, et al. Phytotherapy in wound management: a review of herbal extracts as complementary agents for tissue repair. Planta Med. 2022; 88(10):780-95.
8. Oliveira P, Santos L. Therapeutic potential of Moringa oleifera leaf extracts: anti-inflammatory and antioxidant properties. Int J Pharmacol. 2021;17(5): 601-15.
9. Naghavi A, et al. Synergistic effect of PVA/chitosan/Moringa oleifera patch and exercise training on infected burn wound healing. Int J Nanomedicine. 2024;19:405-19.
10. Almasi A, et al. Water absorption capacity and biocompatibility of PVA/chitosan hydrogels for biomedical applications. Polym Bull. 2022;79(7): 5701-16.