if available

THE FIRST INTERNATIONAL CONGRESS ON HEALTH SERVICES TRANSFORMATION

اولین کنگره بین المللی تحول خدمات سلامت

۲۷ و ۲۸ مهر ماه

Code: 1467



مهندسی ریزمحیط عصبی مبتنی بر هیدروژل‌های هوشمند: تنظیم سرنوشت سلول‌های بنیادی برای بازسازی بافت عصبی

شبنم کرمانی *

۱. استادیار، گروه زیست شناسی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

shabnamkermani@iau.ac.ir

مقدمه

مقدمه: ریزمحیط سلولی نقش حیاتی در تنظیم رفتار و سرنوشت سلول‌های بنیادی برای خودنوزایی و تمایز به بافت عصبی ایفا می‌کند. هیدروژل‌های هوشمند به‌عنوان یکی از رویکردهای نوین در مهندسی بافت، امکان طراحی ریزمحیط‌های کنترل‌شده و پویا را فراهم کرده‌اند. هدف این مقاله مروری، مهندسی ریزمحیط هیدروژل‌های هوشمند برای هدایت سرنوشت سلول‌های بنیادی برای بازسازی بافت عصبی می‌باشد.

روش ها

این مطالعه مروری که با هدف بررسی نقش هیدروژل‌های هوشمند در مهندسی ریزمحیط عصبی و هدایت سرنوشت سلول‌های بنیادی در بازسازی بافت عصبی انجام شد. جست‌وجوی منابع در پایگاه‌های PubMed و Google Scholar برای مطالعات منتشرشده طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۶ انجام گرفت. کلیدواژه‌های مورد استفاده شامل Cellular Microenvironment، Smart Materials، Hydrogels، Nerve Regeneration و Stem Cellsبود. با توجه به موضوع هر جست‌وجو، ترکیب‌های مختلف و در برخی موارد زیرمجموعه‌ای از کلیدواژه‌ها برای شناسایی مطالعات مرتبط‌تر و تخصصی‌تر به‌کار گرفته شد. همچنین، فهرست منابع مقالات مرتبط به‌صورت دستی بررسی شد تا مطالعات مرتبط بیشتری شناسایی شوند. معیارهای ورود شامل مقالات انگلیسی‌زبان، دارای متن کامل و مرتبط با هیدروژل‌ها، ریزمحیط سلولی، سلول‌های بنیادی و بازسازی بافت عصبی بود.

یافته ها

نقش در ترمیمCNS	ویژگی/مقدار کلیدی	پارامتر طراحی
افزایش زیست سازگاری و بهبود برهم کنش هیدروژل با سلولهای عصبی (ECM) ، تقلید بهتر از ویژگیهای ماتریکس خارج سلولی	استفاده از پلیمرهای طبیعی مانند هیالورونیک و کلاژن، پلیمرهای سنتزی یا (HA) اسید ترکیبی از آنها	ترکیب پلیمری
شبیه سازی سفتی بافت مغز و نخاع و فراهمکردن محیط مکانیکی مناسب برای تمایز و عملکرد نورونی	–مدول الاستیک پایین، تقریباً در محدوده ۱۰۰ ۱۰۰۰ Pa	خواص مکانیکی
تسهیل انتقال اکسیژن، مواد مغذی و مولکولهای پیامرسان و حمایت از بقای سلولی	ایجاد شبکه متخلخل و به هم پیوسته	تخلخل
افزایش انتقال مواد مغذی، اکسیژن و عوامل سیگنال دهی به سلولهای موجود در محل آسیب	وجود مسیرهای انتشار در شبکه هیدروژل	قابلیت انتشار
فراهم کردن امکان جایگزینی تدریجی هیدروژل با بافت جدید و جلوگیری از باقیماندن طولانی مدت داربست	تخریب تدریجی و کنترل شده با تولید محصولات غیرسمی	تجزیه پذیری
امکان استفاده از روش کم تهاجمی و تطابق هیدروژل با شکل و هندسه حفره آسیب دیده	قابلیت تزریق و ژل شدن در محل آسیب (in situ)	تزریق پذیری
تقویت چسبندگی و مهاجرت سلولی، تعامل سلول–ECM داربست و بازآرایی	افزودن پپتیدهای چسبنده سلولی و استفاده از پیوندهای عرضی قابل تجزیه	عملکردی سازی زیستی
ایجاد یک ریزمحیط مناسب برای بقای سلولها، بازسازی CNS بافت و بهبود فرآیند ترمیم	هماهنگی هم زمان خواص شیمیایی، مکانیکی و زیستی هیدروژل	تعامل با ریزمحیط عصبی

زیست‌مواد نوین با تنظیم فعالیت میکروگلیا، ماکروفاژها و آستروسیت‌ها می‌توانند التهاب عصبی و آسیب ثانویه را کاهش داده و ریزمحیط مناسب‌تری برای بازسازی ایجاد کنند. هیدروژل‌ها به دلیل آب‌دوستی، سفتی قابل تنظیم و قابلیت تزریق، بستر مناسبی برای پرکردن محل ضایعه و انتقال سلول‌ها و عوامل تروفیک هستند. تنظیم تخلخل، تجزیه‌پذیری، رهایش مولکول‌ها و برهم‌کنش سلول–ماده، کاربرد آن‌ها را در بازسازی عصبی سلول‌دار و بدون سلول گسترش داده است. هیدروژل‌ها با شبیه‌سازی ماتریکس خارج‌سلولی و تنظیم ریزمحیط و پاسخ ایمنی می‌توانند بقا و رشد نورونی و بازسازی آکسونی را تقویت کنند. هیدروژل‌های تزریقی و مبتنی بر اسید هیالورونیک نیز امکان انتقال سلول‌های بنیادی عصبی و مولکول‌های زیست‌فعال را فراهم می‌کنند. با وجود این، ایمنی، مقیاس‌پذیری و الزامات نظارتی از چالش‌های مهم کاربرد بالینی هستند

هیدروژل‌ها علاوه بر حمایت مکانیکی، با تعدیل التهاب، کاهش واکنش‌پذیری آستروسیت‌ها و تشکیل اسکار گلیال، شرایط مناسب‌تری برای رشد آکسون ایجاد می‌کنند. همچنین، به‌عنوان مخزن فاکتورهای رشد و مولکول‌های زیست‌فعال، امکان انتقال موضعی و پایدار آن‌ها را فراهم می‌کنند. کپسوله‌کردن سلول‌های بنیادی یا پیش‌سازهای عصبی در هیدروژل‌ها می‌تواند با بهبود بقا، کنترل تمایز و افزایش ماندگاری سلول‌ها در محل آسیب، اثربخشی درمان‌های سلولی را تقویت کند. از میان پلیمرهای طبیعی، اسید هیالورونیکHA، کلاژن و ژلاتین به دلیل زیست‌سازگاری و شباهت به ECMمورد توجه هستند. HAبه دلیل نقش در تنظیم مهاجرت و تکثیر سلولی اهمیت ویژه‌ای دارد و اصلاح شیمیایی آن امکان تنظیم برهم‌کنش سلول–ماتریکس، چسبندگی سلولی و تجزیه‌پذیری را فراهم می‌کند

هیدروژل‌ها با تنظیم سختی نزدیک به بافت عصبی از تمایز نورونی حمایت می‌کنند. افزودن مولکول‌های چسبنده RGDو استفاده از هیدروژل‌های مبتنی بر اسید هیالورونیک می‌توانند از طریق تعامل با گیرنده‌های CD44و RHAMM، چسبندگی و تمایز عصبی سلول‌ها را تنظیم کنند. هیدروژل‌های تزریقی، با کپسوله‌کردن سلول‌های بنیادی عصبی، بقای آن‌ها را افزایش داده و می‌توانند فاکتورهای زیست‌فعال مانند BDNF، NGFو VEGFو عوامل ضدالتهابی را آزاد کنند.

نتیجه گیری

هیدروژل‌های هوشمند با ترکیب حمایت مکانیکی، تنظیم ریزمحیط، رهایش کنترل‌شده عوامل درمانی و تعدیل پاسخ‌های سلولی و التهابی، ظرفیت ایجاد یک ریزمحیط مناسب برای هدایت سرنوشت سلول‌های بنیادی و بازسازی بافت عصبی را دارند. تنظیم ترکیب پلیمری، سختی، تخلخل، تجزیه‌پذیری، تزریق‌پذیری و عملکردی‌سازی زیستی می‌تواند تعامل سلول–ماده، تمایز نورونی و رشد آکسون را کنترل کند. توسعه هیدروژل‌های هوشمند، چندعملکردی و شخصی‌سازی‌شده، همراه با استانداردسازی و ارزیابی ایمنی بلندمدت، می‌تواند مسیر این فناوری به کاربردهای بالینی را هموار کند. ادغام این قابلیت‌ها با رویکردهای محاسباتی و هوش مصنوعی نیز می‌تواند طراحی مواد و درمان‌های شخصی‌سازی‌شده را تسهیل کند.

رفرنس ها

1. Chandra P, Lee SJ. Synthetic extracellular microenvironment for modulating stem cell behaviors. Biomark Insights. 2015;10(Suppl 1):105-116.
2. Crișan IM, Crețu A. Smart biomaterials in central nervous system repair: from blood-brain barrier targeting to artificial intelligence-guided therapeutic design. Med Mater. 2026;6(2):161-168.
3. Nistor AC, Cocoș ID. Hydrogel-based biomaterials in central nervous system repair: mechanisms, cellular interactions, and translational challenges. Med Mater. 2025;5(4):197-204.