

Original Article



The Role of Tissue Engineering in Urology: Applications, Challenges, And Future Perspectives

Maziar Malekzadeh Kebria¹ , Morteza Alizadeh¹, Esmaeel Sharifi^{1*} 

1. Department of Tissue Engineering and Biomaterials, School of Advanced Technologies in Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Abstract

Article history:

Received: 02 July 2025

Revised: 09 February 2026

Accepted: 11 February 2026

*Corresponding author: Esmaeel Sharifi, Department of Tissue Engineering and Biomaterials, School of Advanced Technologies in Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Email: Esmaeel.sharifi@gmail.com

Tissue engineering in urology is an innovative branch of medicine that helps regenerate and repair damaged tissues in the urinary and reproductive tract. This method uses a combination of living cells, biological materials, and advanced technologies to treat various disorders in organs, such as the kidney, bladder, urinary tract, and penis. In cases such as kidney failure, bladder injuries, urethral strictures, and penile defects, tissue engineering can be an option for tissue regeneration and improving the function of these organs. Important applications of tissue engineering in urology include bladder reconstruction (for patients who have lost their function due to neurological diseases or serious injuries), treatment of kidney failure using stem cells and production of artificial kidneys, and repair of urethral strictures. Although tissue engineering in urology has great potential, challenges, such as the body's acceptance of artificial tissues, high costs, and the complexity of producing functional tissues, are among the main obstacles to these technologies. Finally, given the scientific and research advances in this field, there is hope for the development of more effective and efficient treatments in the near future.

Keywords: Tissue engineering, Tissue regeneration, Urology

Please cite this article as follows: Malekzadeh Kebria M, Alizadeh M, Sharifi E. The Role of Tissue Engineering in Urology: Applications, Challenges, And Future Perspectives. J Res Urol 2026; 9(1): 24-35 DOI: 10.53208/jru.9.1.24



نقش مهندسی بافت در اورولوژی: کاربردها، چالش‌ها و چشم‌اندازهای آینده

مازیار ملک‌زاده کبریا^۱، مرتضی علی‌زاده^۱، اسماعیل شریفی^{۱*}

^۱ گروه مهندسی بافت و مواد زیستی، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

چکیده

مهندسی بافت در اورولوژی یکی از شاخه‌های نوآورانه در علم پزشکی است که به بازسازی و ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده در دستگاه ادراری و تناسلی کمک می‌کند. این روش با استفاده از ترکیب سلول‌های زنده، مواد زیستی و فناوری‌های پیشرفته، اختلالات مختلف در ارگان‌هایی مانند کلیه، مثانه، مجاری ادراری و آلت تناسلی را درمان می‌کند. در مواردی مانند نارسایی‌های کلیوی، آسیب‌های مثانه، تنگی مجاری ادراری و نقص‌های آلت تناسلی، مهندسی بافت می‌تواند گزینه‌ای برای بازسازی بافت‌ها و بهبود عملکرد این ارگان‌ها باشد. از جمله کاربردهای مهم مهندسی بافت در اورولوژی، می‌توان به بازسازی مثانه (برای بیماران که به دلیل بیماری‌های عصبی یا آسیب‌های جدی عملکرد آن را از دست داده‌اند)، درمان نارسایی‌های کلیوی با استفاده از سلول‌های بنیادی و تولید کلیه‌های مصنوعی و ترمیم تنگی مجاری ادراری اشاره کرد. هرچند مهندسی بافت در اورولوژی قابلیت‌های فراوانی دارد، چالش‌هایی مانند پذیرش بافت‌های مصنوعی توسط بدن، هزینه‌های زیاد و پیچیدگی در تولید بافت‌های عملکردی از جمله موانع اصلی پیش‌روی این فناوری‌ها هستند. در نهایت، با توجه به پیشرفت‌های علمی و تحقیقاتی در این زمینه، امید به توسعه درمان‌های مؤثرتر و کارآمدتر در آینده نزدیک وجود دارد.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱۱/۲۲

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* نویسنده مسئول: اسماعیل شریفی، گروه مهندسی بافت و مواد زیستی، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

واژگان کلیدی: مهندسی بافت، اورولوژی، ترمیم بافت

ایمیل: Esmael.sharifi@gmail.com

استناد: ملک‌زاده کبریا، مازیار؛ علی‌زاده، مرتضی؛ شریفی، اسماعیل. نقش مهندسی بافت در اورولوژی: کاربردها، چالش‌ها و چشم‌اندازهای آینده تحقیقات در اورولوژی، بهار و تابستان ۱۴۰۴: ۹ (۱): ۲۴-۳۵

مقدمه

حوزه‌های علمی در پزشکی، به کمک آمده است. این شاخه میان‌رشته‌ای از علم، با ترکیب روش‌های زیست‌پزشکی، مهندسی، علوم مواد و فناوری‌های نوین، در تلاش است تا با استفاده از سلول‌های زنده، مواد زیستی و محیط‌های کشت پیشرفته، بافت‌هایی را که بر اثر بیماری‌ها، آسیب‌ها یا نقص‌های مادرزادی آسیب دیده‌اند، بازسازی کند [۲].

بافت‌های اورولوژیک، مانند کلیه، مثانه و مجاری ادراری، به دلیل ساختار و عملکرد پیچیده، بسیار حساس هستند [۳]. در حال حاضر، مهندسی بافت در اورولوژی به روش‌هایی برای بازسازی مثانه‌های آسیب‌دیده، درمان نارسایی‌های کلیوی، ترمیم مجاری ادراری مسدود شده و حتی بازسازی بافت‌های تناسلی پرداخته است. برای مثال، مهندسی بافت در بیماران مبتلا به بیماری‌های مزمن کلیوی یا آسیب‌های شدید مثانه، می‌تواند با

اورولوژی به شاخه‌ای از پزشکی اطلاق می‌شود که به تشخیص، درمان و پیشگیری از بیماری‌ها و اختلالات مربوط به دستگاه ادراری و تناسلی در مردان و زنان می‌پردازد. این سیستم شامل ارگان‌هایی چون کلیه‌ها، مثانه، حالب‌ها، مجاری ادراری و دستگاه تناسلی مردانه و زنانه است. مشکلات و بیماری‌های اورولوژیک می‌توانند از آسیب‌های جسمی، عفونت‌ها، نارسایی‌های مزمن، تومورها و اختلالات مادرزادی ناشی شوند. بسیاری از این مشکلات می‌توانند در کیفیت زندگی افراد تأثیرات قابل توجهی بگذارند و حتی به ناتوانی‌های شدید منجر شوند. در بسیاری از موارد، درمان‌های متداول مانند داروها، جراحی‌های ترمیمی یا پیوند اعضا، ممکن است محدودیت‌هایی داشته باشند، به‌ویژه زمانی که بافت‌های آسیب‌دیده یا از دست‌رفته توانایی ترمیم کامل را ندارند [۱]. در این زمینه، مهندسی بافت، به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین

بدن انسان یا حیوان بازسازی کنند [۹]. این رشته به فرایند استفاده از سلول‌های زنده، مواد زیستی و محیط‌های کشت برای بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده اشاره دارد. برای بازسازی بافت‌ها از سلول‌های مختلفی مانند سلول‌های بنیادی، سلول‌های پیوندی یا سلول‌های شخص بیمار استفاده می‌شود. مواد زیستی به‌عنوان اسکلت‌های سه‌بعدی برای رشد سلول‌ها و ساخت بافت‌ها عمل می‌کنند. این مواد می‌توانند شامل پلیمرهای زیست‌سازگار، کلاژن یا دیگر ترکیبات پروتئینی باشند. برای رشد سلول‌ها و تولید بافت، به یک محیط کشت مناسب با شرایط فیزیولوژیکی بدن انسان نیاز است [۱۰]. این محیط می‌تواند شامل مواد مغذی، فاکتورهای رشد و دیگر ترکیبات باشد که به سلول‌ها کمک می‌کنند تا به‌طور طبیعی تقسیم و متمایز شوند.

پس از تهیه سلول‌ها و مواد زیستی، مراحل رشد و تمایز سلول‌ها در محیط کشت به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که بافت‌هایی مشابه بافت طبیعی در ارگان‌های بدن تولید شود. هدف اصلی مهندسی بافت ایجاد ساختارهایی است که بتوانند به‌طور مؤثر عملکردهای مختلف بدن را انجام دهند، از جمله این موارد می‌توان به ترمیم یا بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده، تولید بافت‌های مصنوعی برای آزمایش داروها، پیوند اعضا و بافت‌ها به‌جای استفاده از اهداکنندگان انسانی و تولید و مهندسی بافت‌هایی برای درمان بیماری‌های خاص اشاره کرد [۱۱].

مهندسی بافت سه جزء اصلی دارد که در کنار هم برای ساخت بافت‌های جدید و بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده عمل می‌کنند. سلول‌ها اساس تمام فرایندهای بازسازی بافت هستند. این سلول‌ها معمولاً از بدن خود بیمار استخراج می‌شوند و به آن‌ها این امکان داده می‌شود که در محیط آزمایشگاهی رشد کنند و تمایز یابند. سلول‌های بنیادی می‌توانند به انواع مختلف سلول‌ها تمایز پیدا کنند و به همین دلیل، در مهندسی بافت نقش مهمی دارند. این سلول‌ها معمولاً از منابعی مانند مغز استخوان، خون، یا حتی سلول‌های جنینی گرفته می‌شوند. یکی از عوامل دیگر در مهندسی بافت داربست است [۱۲]. داربست‌ها ساختارهایی سه‌بعدی هستند که به سلول‌ها امکان می‌دهند در آن‌ها رشد کنند، تمایز یابند و بافت جدید ایجاد کنند. داربست‌ها معمولاً از مواد طبیعی یا مصنوعی ساخته می‌شوند و نقش پشتیبانی و هدایت سلول‌ها را در فرایند رشد ایفا می‌کنند [۱۳].

یکی دیگر از عامل‌های مهم در مهندسی بافت، فاکتورهای رشد است. عوامل رشد پروتئین‌هایی هستند که برای تحریک رشد و تکثیر سلول‌ها به کار می‌روند. این عوامل معمولاً به‌طور مصنوعی به محیط کشت اضافه می‌شوند تا به سلول‌ها کمک کنند در مسیرهای خاصی تمایز یابند و ویژگی‌های مورد نیاز را برای تشکیل بافت جدید پیدا کنند. برخی از معروف‌ترین عوامل رشد شامل فاکتور رشد فیبروبلاستی (FGF) و فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) هستند که به‌ترتیب در رشد فیبروبلاست‌ها و تشکیل

استفاده از سلول‌های بنیادی یا دیگر سلول‌های خود فرد و ایجاد ساختارهای زیستی جدید، عملکرد طبیعی این ارگان‌ها را بازسازی کند. همچنین، در مواردی که به بازسازی بافت‌های آلت تناسلی مردانه یا ترمیم نارسایی‌های نعوظ نیاز است، روش‌های مبتنی بر مهندسی بافت می‌توانند به بازگشت عملکرد طبیعی این بخش‌ها کمک کنند [۴].

استفاده از مواد زیستی مانند کلاژن، پلیمرها و ماتریس‌های زیست‌سازگار برای ایجاد ساختارهای سه‌بعدی، به‌همراه سلول‌های بیمار، می‌تواند به ترمیم بافت‌های ادراری و بازگرداندن عملکرد طبیعی ارگان‌ها کمک کند. علاوه بر این، درمان تنگی مجاری ادراری، که اغلب ناشی از جراحات یا عفونت‌هاست، با استفاده از مهندسی بافت امکان‌پذیر می‌شود [۵]. با وجود این قابلیت‌های امیدوارکننده، مهندسی بافت در اورولوژی با چالش‌هایی مواجه است که باید برطرف شوند. یکی از مهم‌ترین مشکلات، پذیرش بافت‌های مصنوعی توسط بدن و خطرهای رد پیوند است. سیستم ایمنی بدن ممکن است به بافت‌های جدید واکنش نشان دهد و به آسیب یا عدم کارایی آن‌ها منجر شود. علاوه بر این، هزینه‌های زیاد تولید بافت‌های مصنوعی و پیچیدگی فرایندهای بیولوژیکی که در تولید بافت‌های اورولوژیک نقش دارند، از جمله موانعی هستند که مسیر توسعه این فناوری‌ها را دشوار می‌کنند. همچنین، تولید بافت‌هایی با ویژگی‌های ساختاری و عملکردی مشابه بافت طبیعی، به‌ویژه در ارگان‌هایی مانند کلیه یا مثانه، نیازمند تحقیقات بیشتر و پیشرفت‌های علمی است. سلول‌ها و داربست‌های استفاده‌شده در مهندسی بافت، با توجه به ویژگی‌هایی که دارند، توانایی تحریک و تمایز سلول‌های اطراف و ترمیم ناحیه آسیب‌دیده را فراهم می‌کنند [۶، ۷].

مهندسی بافت در اورولوژی، به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی، می‌تواند در آینده‌ای نه‌چندان دور، تحولی عظیم در درمان اختلالات سیستم ادراری و تناسلی به وجود آورد. پیشرفت‌های روزافزون در زمینه‌های سلول‌های بنیادی، مواد زیستی و فناوری‌های نوین، می‌تواند راه‌حل‌های نوآورانه‌تری را برای بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده و بهبود درمان بیماران فراهم آورد [۸]. با تحقیقات بیشتر و رفع چالش‌های موجود، مهندسی بافت می‌تواند به یکی از ارکان اصلی درمان بیماری‌های اورولوژیک در آینده تبدیل شود. در این مطالعه مروری ضمن آشنایی با مهندسی بافت، سعی شد که نقش مهندسی بافت در ترمیم و درمان نقص‌های مرتبط با اورولوژی روشن شود.

اصول و اجزای مهندسی بافت

مهندسی بافت (Tissue Engineering) حوزه‌ای بین‌رشته‌ای از علم است که به‌منظور درمان آسیب‌ها، بیماری‌ها یا نقایص بافتی، به ترکیب اصول زیستی، شیمیایی، فیزیکی و مهندسی برای ساخت و بازسازی بافت‌های انسانی یا حیوانی می‌پردازد. این حوزه به‌دنبال ایجاد ساختارهایی است که بتوانند عملکرد طبیعی بافت‌ها را در

رود. این شامل ترمیم بافت‌های مختلف بدن مانند پوست، غضروف، استخوان، عضلات، عروق خونی و حتی بافت‌های عصبی است [۱۹]. یک از بزرگ‌ترین چالش‌های علم پزشکی در تولید اعضای مصنوعی، کمبود اعضای پیوندی است. مهندسی بافت به‌طور فعال در تلاش است تا اعضای مصنوعی مانند کبد، ریه، قلب و کلیه را در آزمایشگاه رشد دهد تا این مشکلات را حل کند. به‌صورت کلی، مهندسی بافت می‌تواند در درمان بیماری‌های مزمن مانند دیابت، بیماری‌های قلبی، نارسایی کلیه و بیماری‌های عصبی کاربرد داشته باشد. برای مثال، با تولید سلول‌های جزایر لانگرهانس (که هورمون انسولین تولید می‌کنند) در آزمایشگاه، امکان درمان دیابت نوع ۱ وجود دارد. بافت‌های مهندسی شده می‌توانند به‌عنوان مدل‌های آزمایشی برای مطالعه بیماری‌ها و بررسی اثر داروهای جدید استفاده شوند. باوجود پیشرفت‌های زیاد در این زمینه، هنوز چالش‌هایی وجود دارد که باید بر آن‌ها غلبه کرد [۲۰-۲۲].

یکی از این چالش‌ها تنظیمات عروقی (Angiogenesis) است. این عامل برای رشد بافت‌های جدید در بدن ضروری است؛ زیرا بافت‌ها برای ترمیم باید به یک شبکه عروقی متصل شوند تا خون و مواد مغذی لازم را دریافت کنند. همچنین، بافت‌های پیچیده مانند قلب، مغز یا کبد ساختارهای بسیار پیچیده دارند و شبیه‌سازی دقیق این ساختارها در آزمایشگاه هنوز دشوار است [۲۳]. برخی از فرایندهای مهندسی بافت، به‌ویژه استفاده از سلول‌های بنیادی انسانی، نگرانی‌های اخلاقی و اجتماعی به وجود آورده‌اند (شکل ۲). بنابراین، مهندسی بافت، به‌عنوان یکی از شاخه‌های نوین و پرمخاطب علوم زیستی، ظرفیت عظیمی برای درمان بیماری‌ها، بازسازی بافت‌ها و حتی ساخت اعضای مصنوعی دارد [۲۴].

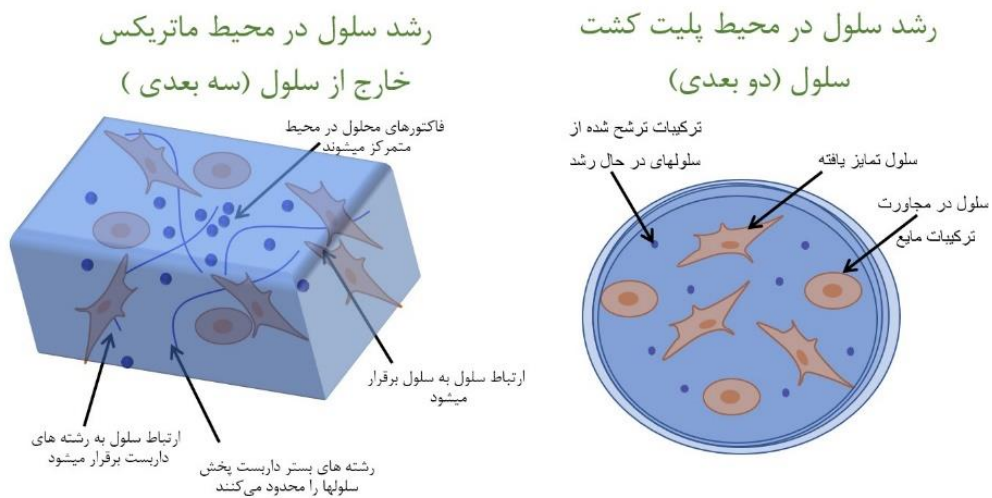
عروق خونی نقش دارند [۱۴].

در مهندسی بافت، محیط کشت مواد مغذی است که به سلول‌ها امکان می‌دهد در محیط آزمایشگاهی رشد کنند. این محیط معمولاً شامل ترکیب‌هایی از مواد مغذی، ویتامین‌ها، پروتئین‌ها، و نمک‌هاست که به‌طور خاص برای هر نوع سلول طراحی می‌شود. مهندسی بافت شامل چندین مرحله کلیدی است که از استخراج سلول‌ها تا کشت و پیوند بافت‌های جدید در بدن بیمار انجام می‌شود [۱۶، ۱۵]. در این مراحل، سلول‌های مورد نیاز برای بازسازی بافت از بدن بیمار یا منبع دیگر استخراج می‌شوند. این سلول‌ها می‌توانند سلول‌های بنیادی یا سلول‌های بالغ باشند. سلول‌ها در محیط آزمایشگاهی کشت داده می‌شوند. در این محیط، سلول‌ها با استفاده از عوامل رشد، تغذیه و داربست‌ها رشد می‌کنند و به تدریج به بافت جدید تبدیل می‌شوند [۱۷].

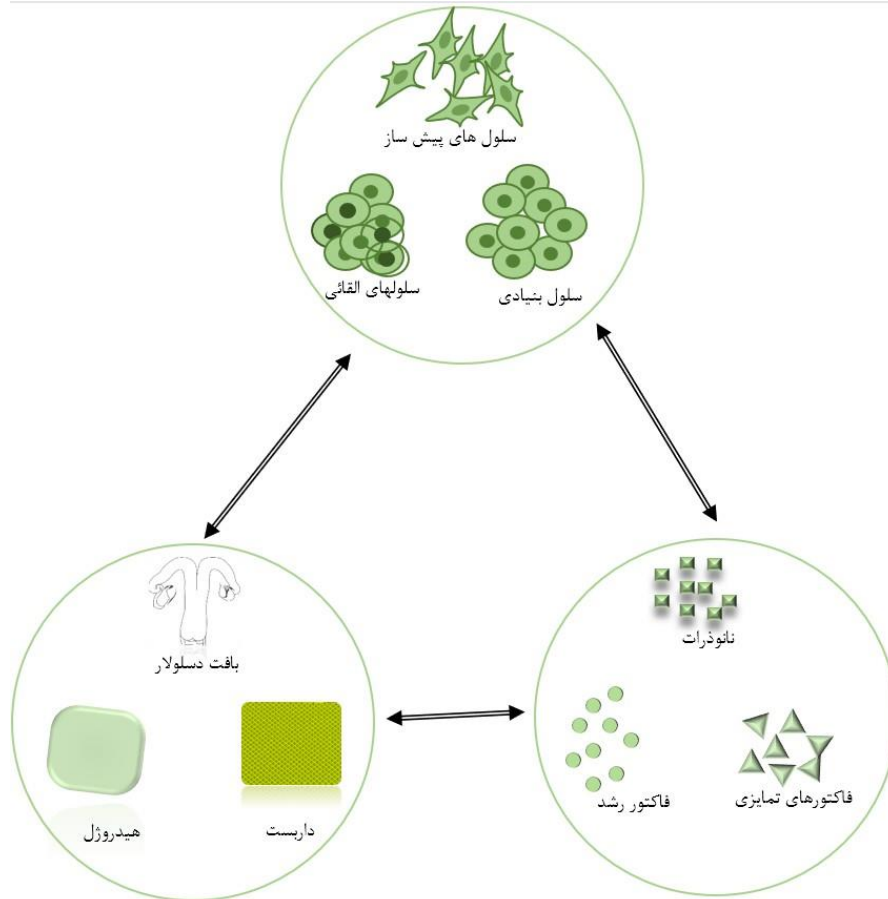
سلول‌ها به‌طور مصنوعی در محیط آزمایشگاهی تحت شرایط خاص قرار می‌گیرند تا به نوع خاصی از سلول‌ها (مانند سلول‌های عضلانی، غضروفی یا استخوانی) تمایز یابند. در این مرحله، داربست‌ها نیز به سلول‌ها کمک می‌کنند تا در ساختارهای پیچیده‌تری سازمان‌دهی شوند (شکل ۱). پس از ساخت بافت‌های جدید، این بافت‌ها به بدن بیمار پیوند می‌شوند. در این مرحله، فرایندهای مختلفی از جمله تکثیر، تمایز و تشکیل سیستم عروقی برای تأمین خون‌رسانی به بافت‌های جدید آغاز می‌شود [۱۸].

در حال حاضر، مهندسی بافت در بسیاری از زمینه‌های پزشکی و درمانی کاربرد دارد. از جمله مهم‌ترین کاربردها می‌توان به بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده و تولید اعضای مصنوعی اشاره کرد. مهندسی بافت می‌تواند در بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده یا از بین رفته به کار

مقایسه رشد سلول در محیط دو بعدی و سه بعدی



شکل ۱. تکثیر و تمایز سلولی روی یک داربست برای ترمیم بافت آسیب‌دیده



شکل ۲. سلول های بنیادی با قابلیت تمایز سلولی و بازسازی بافت های مختلف از جمله مثانه

کاربردهای مهندسی بافت در اورولوژی

مهندسی بافت حوزه های بین رشته ای، متشکل از زیست شناسی سلولی، علم مواد، مهندسی پزشکی و پزشکی بالینی، است که با هدف ترمیم، جایگزینی یا بازسازی بافت های آسیب دیده توسعه یافته است. در اورولوژی، به دلیل ساختار پیچیده و عملکرد حیاتی اندام های دستگاه ادراری - تناسلی، این فناوری نقش بسیار مهمی پیدا کرده است [۲].

بازسازی مثانه

بازسازی مثانه به کمک مهندسی بافت، فرایندی است که در آن با استفاده از سلول های زنده، مواد زیستی و محیط های کشت مناسب، بافت های آسیب دیده یا از دست رفته مثانه بازسازی می شوند [۲۵]. هدف از این فرایند، تولید بافت هایی است که عملکرد مشابه به بافت طبیعی مثانه داشته باشند. این فرایند به ویژه برای بیمارانی که از مشکلات مزمن مثانه رنج می برند و جراحی های معمول مانند پیوند مثانه برایشان ممکن یا مؤثر نیست، می تواند گزینه ای مناسب باشد [۲۶]. در این روش، ابتدا سلول های بیمار یا سلول های بنیادی از بدن خود فرد جمع آوری می شوند. سپس این سلول ها در محیط های کشت ویژه رشد داده می شوند و به شکل و ساختار مناسب برای جایگزینی بافت آسیب دیده مثانه درمی آیند. این

بافت های جدید می توانند به بدن بیمار پیوند زده شوند تا عملکرد طبیعی مثانه بازگردد [۲۷].

اولین قدم در بازسازی مثانه، انتخاب و جمع آوری سلول های مناسب است. این سلول ها معمولاً از سلول های خود بیمار (سلول های بنیادی یا سلول های مثانه) یا از منابع دیگر مانند سلول های بنیادی جنینی یا بزرگسالان گرفته می شوند. سلول های بنیادی به دلیل قابلیت تمایز به انواع مختلف سلول ها و توانایی بازسازی بافت های مختلف، برای این کار بسیار مناسب هستند [۲۸]. پس از جمع آوری سلول ها، آن ها در محیط های کشت مخصوص قرار می گیرند تا به تعداد کافی رشد و تکثیر یابند. در این مرحله، سلول ها در شرایط کنترل شده به گونه ای رشد می کنند که بتوانند ویژگی های مثانه طبیعی را بازسازی کنند. مواد مغذی، فاکتورهای رشد و محیط فیزیکی مناسب برای تکثیر و تمایز سلول ها در نظر گرفته می شود [۲۹]. در این مرحله، سلول های کشت شده باید به بافت های خاص مثانه (مانند اپیتلیوم مثانه، عضله صاف و بافت های دیگر) تمایز یابند. این فرایند معمولاً با استفاده از فاکتورهای رشد و شرایط محیطی خاص برای تحریک تمایز سلول ها به سمت سلول های مثانه انجام می شود [۳۰، ۳۱].

همچنین، بافت های تولیدی باید بتوانند عملکرد اصلی مثانه را به درستی بازسازی کنند، یعنی ذخیره ادرار و دفع آن به طور مناسب

کشت سلولی برای تولید بافت‌های کلیوی جدید و بازیابی عملکرد طبیعی کلیه‌هاست.

در این مقاله، به بررسی درمان نارسایی کلیه از طریق مهندسی بافت، رویکردها، چالش‌ها و چشم‌اندازهای این فناوری پرداخته خواهد شد. یکی از اصلی‌ترین کاربردهای مهندسی بافت در نارسایی کلیه، تولید کلیه‌های مصنوعی است [۳۷]. در این روش، محققان تلاش می‌کنند تا با استفاده از سلول‌های بنیادی یا سلول‌های خود بیمار، نفرون‌ها و ساختارهای عروقی لازم برای عملکرد کلیه را بازسازی کنند. این کلیه‌های مصنوعی می‌توانند به‌عنوان گزینه‌ای برای پیوند کلیه عمل کنند، یا حتی در مواقعی که پیوند کلیه امکان‌پذیر نباشد، به‌عنوان درمان جایگزین استفاده شوند [۳۸]. مهندسی بافت می‌تواند به درمان نارسایی‌های کلیوی محدودتر (که در آن کلیه‌ها هنوز کاملاً از کار نیفتاده‌اند) کمک کند. در این موارد، با استفاده از مواد زیستی و سلول‌های خاص، می‌توان بخش‌هایی از کلیه را بازسازی کرد که آسیب دیده‌اند. این روش به بهبود عملکرد کلیه و کاهش نیاز به پیوند کمک می‌کند.

یکی دیگر از کاربردهای مهندسی بافت در نارسایی کلیه، تولید فیلترهای کلیوی مصنوعی است. این فیلترها عملکرد نفرون‌ها را در کلیه‌هایی که آسیب دیده‌اند، بهبود می‌دهند. این فیلترها از مواد زیستی و سلول‌های مصنوعی ساخته می‌شوند و قادر به فیلتر کردن خون و دفع سموم از بدن هستند [۳۹]. درحالی‌که مهندسی بافت در درمان نارسایی کلیه امیدوارکننده به نظر می‌رسد، هنوز چالش‌ها و محدودیت‌هایی وجود دارد که مانع از استفاده گسترده از این فناوری در درمان‌های بالینی می‌شود. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در بازسازی کلیه با استفاده از مهندسی بافت، تولید بافت‌های عملکردی است. کلیه ارگانی پیچیده با ساختارهای تخصصی مانند نفرون‌ها، لوله‌های جمع‌کننده و عروق است. تولید کلیه مصنوعی که قادر به انجام همه این وظایف باشد، نیازمند استفاده از فناوری‌های پیشرفته و محیط‌های کشت پیچیده است.

همانند دیگر روش‌های پیوند بافت، یکی از چالش‌های بزرگ در مهندسی بافت، پذیرش بافت‌های جدید توسط سیستم ایمنی بدن است [۴۰]. ممکن است بدن به بافت‌های مصنوعی واکنش نشان دهد و باعث رد پیوند یا آسیب به بافت‌های جدید شود. استفاده از سلول‌های خود بیمار می‌تواند این مشکل را کاهش دهد، اما هنوز به‌طور کامل حل نشده است. فرایندهای مهندسی بافت، به‌ویژه در تولید کلیه‌های مصنوعی، بسیار پیچیده و پرهزینه هستند. تولید بافت‌های کلیوی با کیفیت خوب، نیازمند تجهیزات پیشرفته، مواد زیستی خاص و تیم‌های متخصص است که هزینه‌های زیادی را به‌دنبال دارد. این مسئله می‌تواند دسترسی به این درمان‌ها را برای بسیاری از بیماران محدود کند.

یکی از چالش‌های مهم در تولید کلیه‌های مصنوعی، مسئله خون‌رسانی به بافت‌ها و اتصال عروقی است [۴۱]. بافت‌های کلیه برای عملکرد صحیح به تأمین خون نیاز دارند و ایجاد شبکه عروقی کارآمد در بافت‌های مصنوعی هنوز چالش بزرگی در

از ایجاد بافت‌های طبیعی مثانه در آزمایشگاه، این بافت‌ها به بدن بیمار پیوند زده می‌شوند. این مرحله نیازمند دقت زیاد است تا بافت جدید به‌طور کامل در بدن بیمار پذیرفته و به‌درستی به دیگر اجزای سیستم ادراری متصل شود. در برخی موارد، بافت‌های مهندسی شده ممکن است به درمان‌های مکمل، مانند تحریک‌های الکتریکی یا داروهای خاص، نیاز داشته باشند تا به عملکرد طبیعی برسند [۳۱]. یکی از کاربردهای مهم مهندسی بافت در بازسازی مثانه، درمان بیماری‌های مثانه نوروژنیک است. این بیماری‌ها به‌علت آسیب به اعصاب کنترل‌کننده مثانه ایجاد می‌شوند و می‌توانند به از دست‌دادن عملکرد مثانه و نیاز به درمان‌های جایگزین منجر شوند. مهندسی بافت می‌تواند به بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده مثانه در این بیماران کمک و عملکرد مثانه را بازیابی کند [۳۲].

جراحی‌های قبلی یا آسیب‌های جسمی به مثانه می‌توانند به از دست‌دادن بخش‌هایی از بافت‌های مثانه منجر شوند. در چنین شرایطی، بازسازی بافت با استفاده از مهندسی بافت می‌تواند به ترمیم و بازسازی مثانه کمک کند و عملکرد آن را بهبود بخشد. همچنین مهندسی بافت در بیمارانی که به سرطان مثانه مبتلا هستند و به برداشتن مثانه نیاز دارند، می‌تواند به‌عنوان راه‌حل جایگزین برای تولید مثانه‌ای جدید و بازیابی عملکرد طبیعی مثانه عمل کند. این روش می‌تواند به جایگزینی مثانه برداشته‌شده و بهبود کیفیت زندگی بیماران کمک کند. بازسازی مثانه با مهندسی بافت نوعی نوآوری بزرگ در درمان اختلالات و بیماری‌های مثانه است [۳۳]. این روش با استفاده از سلول‌های زنده و مواد زیستی می‌تواند به بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده کمک و عملکرد طبیعی مثانه را بازیابی کند. هرچند این فناوری هنوز با چالش‌هایی مانند پذیرش بافت‌های پیوندی و تولید بافت‌های عملکردی روبه‌رو است، با پیشرفت‌های علمی و فناوری‌های نوین، امید به استفاده گسترده‌تر از این روش در درمان بیماری‌ها و آسیب‌های مثانه وجود دارد [۳۴، ۵].

درمان نارسایی‌های کلیه

نارسایی کلیه یکی از اختلالات شایع و جدی در دستگاه ادراری است که می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی مانند بیماری‌های مزمن کلیوی (CKD)، دیابت، فشار خون بالا، عفونت‌های مزمن یا آسیب‌های فیزیکی باشد. این اختلال، که در نهایت ممکن است به از دست‌دادن عملکرد کلیه‌ها منجر شود، یکی از علل اصلی نیاز به پیوند کلیه در بیماران است [۳۵]. درحال حاضر، پیوند کلیه بهترین درمان برای بیماران مبتلا به نارسایی کلیه است، اما مشکلاتی همچون کمبود اهداکنندگان، رد پیوند و عوارض جانبی داروهای ضد رد پیوند باعث می‌شود که روش‌های درمانی جایگزین همچنان مورد نیاز باشند. مهندسی بافت، که نوعی فناوری نوین و میان‌رشته‌ای است، به‌عنوان راهی برای بازسازی و جایگزینی بافت‌های آسیب‌دیده کلیه مطرح شده است [۳۶]. این روش شامل استفاده از سلول‌های زنده، مواد زیستی و فناوری‌های پیشرفته

بافت‌های عملکردی، پذیرش بافت‌های پیوندی و هزینه‌های زیاد روبه‌رو است، پیشرفت‌های علمی و تحقیقاتی در این زمینه می‌تواند به توسعه درمان‌های مؤثرتر و در دسترس‌تر برای بیماران مبتلا به نارسایی کلیه کمک کند (جدول ۱).

مهندسی بافت است. مهندسی بافت به‌عنوان فناوری‌ای نوین در درمان نارسایی کلیه، ظرفیت‌های فراوانی دارد و می‌تواند در آینده‌ای نه‌چندان دور، جایگزین یا مکمل پیوند کلیه باشد [۴۲]. اگرچه این فناوری با چالش‌هایی مانند پیچیدگی در تولید

جدول ۱. کاربردهای مهندسی بافت در اورولوژی و مثال‌های مرتبط

عنوان	شرح	کاربرد در اورولوژی
بازسازی بافت مثانه	استفاده از مواد بیولوژیکی و مصنوعی برای بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده مثانه	درمان بیماری‌های مثانه مانند آسیب‌های ناشی از جراحی یا بیماری‌های التهابی [۲۱]
پیوند مثانه	استفاده از مهندسی بافت برای ایجاد یک مثانه مصنوعی یا پیوند آن	برای بیماران با نقص مثانه به‌دلیل مختلف مانند آسیب‌های شدید یا سرطان [۲۲]
پروتزها و ایمپلنت‌های اورولوژی	تولید پروتزها برای جایگزینی قسمت‌هایی از سیستم اورولوژیکی که آسیب دیده‌اند	ایمپلنت‌های مثانه، پروتزهای ادراری، ایمپلنت‌های دستگاه تناسلی [۲۷]
بازسازی پیشاب‌راه	مهندسی بافت برای ترمیم پیشاب‌راه آسیب‌دیده به‌منظور بهبود عملکرد ادرار	درمان اختلالات پیشاب‌راهی مانند تنگی یا آسیب‌های ناشی از جراحی [۲۹]
کشت سلول‌های اورولوژی	استفاده از سلول‌های بنیادی برای بازسازی و ترمیم بافت‌های اورولوژیک	استفاده در درمان آسیب‌های سلولی یا بیماری‌های اورولوژی مانند سرطان [۳۳]
مهندسی بافت کلیه	ترمیم یا جایگزینی بافت‌های آسیب‌دیده کلیه از طریق مهندسی بافت	درمان نارسایی کلیوی و آسیب‌های کلیه ناشی از بیماری‌های مختلف [۳۴]
کشت و پیوند بافت‌های پروستات	استفاده از مهندسی بافت برای پیوند بافت‌های پروستات در صورت آسیب	درمان سرطان پروستات یا بیماری‌های مرتبط دیگر [۳۵]
میکرو ایمپلنت‌ها و نانو مواد	استفاده از نانو تکنولوژی برای بهبود دارورسانی و ترمیم بافت‌ها	استفاده در درمان سرطان‌ها و بیماری‌های التهابی دستگاه ادراری [۳۸]

کنند. در این فرایند، سلول‌های بیمار یا سلول‌های بنیادی به‌صورت آزمایشگاهی تکثیر می‌شوند و تمایز می‌یابند و سپس به محل آسیب‌دیده پیوند داده می‌شوند تا بازسازی و ترمیم انجام شود [۴۵]. اولین قدم در فرایند درمان تنگی مجاری ادراری، جمع‌آوری سلول‌های مناسب برای بازسازی بافت است. این سلول‌ها معمولاً از خود بیمار (سلول‌های بنیادی یا سلول‌های موجود در بافت مجاری ادراری) یا از منابع دیگر مانند سلول‌های بنیادی جنینی یا بزرگ‌سالان به دست می‌آیند [۴۶]. سلول‌های بنیادی به‌دلیل توانایی تمایز به انواع مختلف سلول‌های بافتی و قابلیت تکثیر بی‌پایان، انتخاب مناسبی برای این منظور هستند. پس از جمع‌آوری سلول‌ها، این سلول‌ها در محیط‌های کشت مناسب قرار می‌گیرند تا تکثیر یابند و به‌طور مؤثری رشد کنند. در این مرحله، مواد مغذی و فاکتورهای رشد مناسب برای تمایز سلول‌ها به سلول‌های بافت مجاری ادراری فراهم می‌شود. این سلول‌ها معمولاً به سلول‌های اپیتلیالی و فیبروبلاست‌های مجاری ادراری تمایز می‌یابند.

پس از تکثیر سلول‌ها، آن‌ها در ساختاری سه‌بعدی قرار داده می‌شوند که به‌عنوان اسکلت عمل می‌کند [۸]. این اسکلت معمولاً از مواد زیستی قابل جذب مانند کلاژن، پلیمرهای زیست‌سازگار یا ماتریس‌های مصنوعی ساخته می‌شود. این ساختار باید به‌گونه‌ای

درمان تنگی مجاری ادراری

تنگی مجاری ادراری (Urethral Stricture) یکی از مشکلات شایع در دستگاه ادراری است که به‌دلیل عواملی مانند آسیب‌های فیزیکی، عفونت‌ها، بیماری‌های التهابی، یا جراحی‌های قبلی، به تنگ شدن یا انسداد مجرای ادرار منجر می‌شود [۴۳]. این اختلال می‌تواند مشکلاتی مانند اختلال در جریان ادرار، درد، عفونت‌های مکرر ادراری و مشکلات جنسی ایجاد کند و در موارد شدیدتر، ممکن است به نارسایی کلیوی و نیاز به درمان‌های پیچیده‌تر منجر شود. درمان تنگی مجاری ادراری معمولاً شامل جراحی‌هایی مانند استنت‌گذاری، ترمیم جراحی و کاتترگذاری است، اما این روش‌ها ممکن است دائماً مؤثر نباشند و احتمال عوارض جانبی مانند عفونت، آسیب به بافت‌های مجاری ادراری و بازگشت تنگی وجود دارد [۴۴].

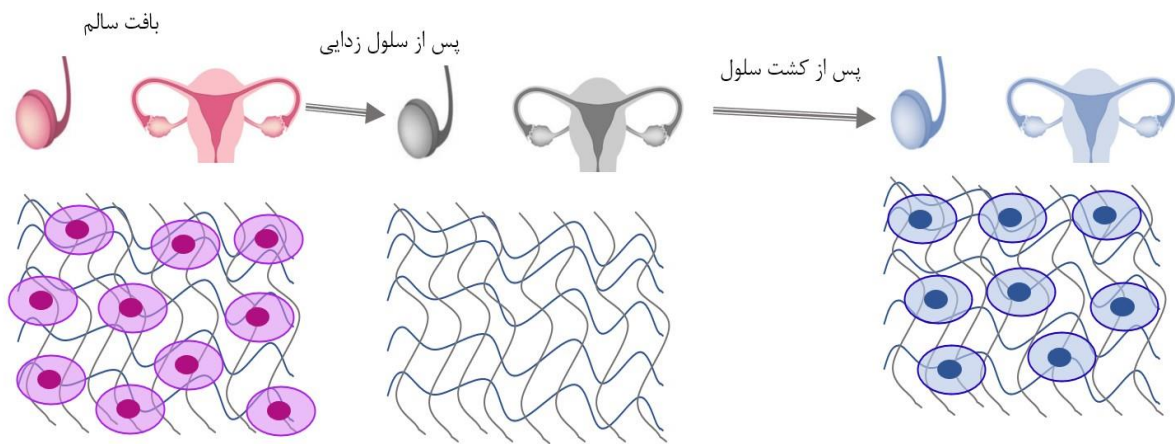
در این میان، مهندسی بافت به‌عنوان روش نوین و پیشرفته در بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده، می‌تواند به‌طور مؤثری در درمان تنگی مجاری ادراری به کار گرفته شود. مهندسی بافت در درمان تنگی مجاری ادراری به معنای استفاده از سلول‌های زنده، مواد زیستی و روش‌های پیشرفته برای بازسازی و ترمیم مجاری ادراری آسیب‌دیده است. هدف اصلی این روش‌ها ایجاد بافت‌هایی است که عملکرد طبیعی مجاری ادراری را بازسازی و از بروز مجدد تنگی جلوگیری

و موجب تنگی می‌شوند. استفاده از مهندسی بافت می‌تواند به جلوگیری از این عود کمک کند؛ زیرا بافت‌های بازسازی‌شده معمولاً به بافت طبیعی و انعطاف‌پذیر نزدیک‌تر هستند [۴۸].

جایگزینی بافت‌های آلت تناسلی

جایگزینی آلت تناسلی با استفاده از مهندسی بافت، حوزه پیشرفته و نوآورانه‌ای در علم پزشکی است که به‌طور خاص، به درمان مشکلات عملکردی یا ساختاری آلت تناسلی مانند نقص‌های مادرزادی، آسیب‌های تروماتیک یا بیماری‌هایی نظیر سرطان می‌پردازد. این روش تلاش دارد تا با استفاده از روش‌های مهندسی بافت، بافت‌های طبیعی بدن را در آزمایشگاه بسازد و سپس آن‌ها را به بدن پیوند دهد. در این فرایند، از سلول‌ها، ماتریس‌های خارج‌سلولی و دیگر فناوری‌های زیستی برای ایجاد بافت‌های شبیه به آلت تناسلی استفاده می‌شود (شکل ۳). سلول‌های موجود از بدن بیمار (یا حتی از افراد اهداکننده) برای ساخت بافت‌های جدید استفاده می‌شود. این سلول‌ها ممکن است از بافت‌های پوست، عضله یا حتی سلول‌های بنیادی گرفته شوند [۳۷، ۴۹].

طراحی شود که شرایط مناسب را برای رشد و تمایز سلول‌ها فراهم و درعین‌حال، عملکرد طبیعی مجاری ادراری را بازسازی کند. در این مرحله، سلول‌های کشت‌شده به سلول‌های اپیتلیالی و عضلانی مجاری ادراری تمایز می‌یابند. این بافت‌های تولیدشده باید قادر باشند وظایف طبیعی مجاری ادراری، مانند انتقال ادرار و مقاومت در برابر فشارهای مکانیکی و شیمیایی را انجام دهند [۱۳]. در بسیاری از موارد، تنگی مجاری ادراری به‌دلیل آسیب‌های فیزیکی یا جراحی‌های قبلی مانند جراحی پروستات، تروماهای لگنی یا عفونت‌های شدید رخ می‌دهد. مهندسی بافت می‌تواند در بازسازی و ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده مجاری ادراری کمک کند و به جلوگیری از بروز مشکلات پس از جراحی کمک کند. درمان تنگی مجاری ادراری در بیماران مبتلا به بیماری‌های التهابی لگن بیماری‌هایی مانند سیستیت بینابینی یا بیماری التهابی لگن می‌تواند به تنگی و اسکار در مجاری ادراری منجر شوند [۴۷]. مهندسی بافت می‌تواند با استفاده از مواد زیستی و سلول‌های مخصوص، بافت‌های آسیب‌دیده را بازسازی و عملکرد مجاری ادراری را بازیابی کند. یکی از مشکلات رایج در درمان تنگی مجاری ادراری با روش‌های جراحی، عود مجدد تنگی است. در بسیاری از موارد، پس از جراحی‌های ترمیمی، بافت‌های اسکار مجدد تشکیل



شکل ۳. ترمیم بافت آسیب‌دیده در اندام‌های تولیدمثلی با کشت‌های دو و سه‌بعدی (کشت‌های سلولی روی داربست و قراردادن آن در محل ضایعه راه‌حل مناسبی در درمان آسیب‌های اندام تناسلی است).

مناسب رسیدند، می‌توان آن‌ها را به بدن پیوند داد [۴۰]. این مرحله به‌ویژه چالش‌برانگیز است؛ زیرا باید به‌گونه‌ای انجام شود که بدن آن را پس‌نزد و عملکرد طبیعی خود را برقرار کند. یکی از بزرگترین چالش‌ها در مهندسی بافت آلت تناسلی، ایجاد شبکه‌های عروقی است که خون‌رسانی به بافت جدید را تأمین کند. بدون خون‌رسانی مناسب، بافت‌ها قادر به زنده‌ماندن نخواهند بود. آلت تناسلی به‌عنوان یک عضو حساس، به تناسب دقیق با آناتومی بدن نیاز دارد. ساخت بافت‌هایی که هم از نظر ظاهری و هم از نظر عملکردی مشابه بافت طبیعی باشند، هنوز

مهندسان بافت معمولاً برای نگهداشتن سلول‌ها و رشد آن‌ها از اسکلت‌های زیستی استفاده می‌کنند. این اسکلت‌ها ممکن است از مواد زیستی قابل جذب یا مصنوعی باشند و وظیفه آن‌ها فراهم‌آوردن محیط مناسب برای رشد سلول‌ها و شکل‌گیری بافت‌های جدید است. سلول‌ها روی اسکلت‌ها قرار می‌گیرند و در شرایط ویژه‌ای از نظر دما، رطوبت و تغذیه رشد می‌کنند [۵۰]. در این فرایند، سلول‌ها به‌تدریج شروع به تشکیل بافت‌های عضلانی، عروقی، یا دیگر بافت‌های مورد نیاز برای عملکرد آلت تناسلی می‌کنند. پس از اینکه بافت‌های جدید به اندازه و ویژگی‌های

چشم‌انداز

چشم‌انداز مهندسی بافت در اورولوژی در سال‌های اخیر به سرعت در حال تحول است و به‌عنوان یکی از شاخه‌های نوظهور در علم پزشکی و فناوری شناخته می‌شود. این حوزه تلاش می‌کند تا با استفاده از روش‌های نوآورانه در مهندسی بافت، مشکلات اورولوژیک را از طریق درمان‌های دقیق‌تر، شخصی‌سازی شده و مؤثرتر برطرف کند. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در اورولوژی، آسیب‌های دائمی به بافت‌های دستگاه ادراری است که می‌تواند ناشی از بیماری‌ها، تصادفات یا جراحی‌ها باشد. مهندسی بافت می‌تواند به بازسازی این بافت‌ها کمک کند. یکی از کاربردهای اصلی مهندسی بافت در اورولوژی، بازسازی مثانه‌های آسیب‌دیده است [۵۶]. مثانه‌های آسیب‌دیده به دلیل سرطان یا بیماری‌های مزمن، می‌توانند با استفاده از سلول‌های بنیادی و ساختارهای بافتی مصنوعی بازسازی شوند. مهندسی بافت می‌تواند برای ساخت مدل‌های مصنوعی یا جایگزین‌های کلیه در درمان نارسایی کلیه و پیوند کلیه به کار رود. این روش‌ها در درمان بیماری‌های کلیوی پیشرفته می‌توانند مفید باشند [۵۷].

مهندسی بافت به تولید بافت‌های طبیعی یا مصنوعی برای پیوند در بیماران مبتلا به اختلالات اورولوژیک می‌پردازد. این فرایند شامل استفاده از سلول‌های بنیادی، scaffolds و عوامل رشد برای تولید بافت‌هایی است که می‌توانند عملکرد طبیعی دستگاه ادراری را بازسازی کنند و به‌ویژه در درمان آسیب‌های نخاعی، که ممکن است به از دست دادن کنترل مثانه منجر شوند، اهمیت دارد. سلول‌های بنیادی یکی از ارکان اصلی مهندسی بافت هستند و می‌توانند برای ترمیم و بازسازی بافت‌های آسیب‌دیده در اورولوژی به کار روند [۵۸]. از طریق استفاده از سلول‌های بنیادی مزانشیمی، می‌توان بافت‌های جدید برای پیوند به قسمت‌های آسیب‌دیده تولید کرد. این سلول‌ها می‌توانند به بافت‌های ادراری یا تناسلی تبدیل شوند و از آنجاکه خود بدن آن‌ها را می‌پذیرد، خطر رد پیوند کاهش می‌یابد.

مهندسی بافت می‌تواند مدل‌های دقیقی از بافت‌های اورولوژیک ایجاد کند که می‌توانند برای آزمایش داروها و درمان‌های مختلف استفاده شوند [۵۹]. این مدل‌ها به‌ویژه در تحقیقات سرطان اورولوژی، بیماری‌های مثانه و سرطان پروستات کمک‌کننده هستند. پیوند بافت‌های مصنوعی یا مهندسی شده یکی از داغ‌ترین موضوعات در تحقیقات مهندسی بافت است. با پیشرفت در نانو تکنولوژی، بیومتریال‌ها و چاپ سه‌بعدی، امکان تولید بافت‌های مصنوعی و حتی اندام‌های کوچک برای جایگزینی بافت‌های آسیب‌دیده افزایش یافته است [۶۰]. مهندسی بافت می‌تواند به‌عنوان راه‌حلی برای پیوندهای مصنوعی در آینده، به‌ویژه برای اندام‌هایی چون مثانه یا مجاری ادراری استفاده شود. مهندسی بافت در اورولوژی می‌تواند به‌طور هم‌زمان

هم چالش است. سیستم ایمنی بدن ممکن است بافت‌های پیوندی را پس بزند، به‌ویژه اگر از منابعی غیر از بدن بیمار استفاده شده باشد [۴۱]. فرایندهای مهندسی بافت پیچیده و زمان‌بر هستند و هزینه‌های زیادی دارند. با پیشرفت‌های فناوری در زمینه مهندسی بافت، از جمله استفاده از سلول‌های بنیادی، پرینت سه‌بعدی بافت‌های زیستی و بهبود روش‌های پیوند عروقی، امید به درمان‌های موفق‌تر در این حوزه بیشتر شده است. این تحقیقاتی در حال انجام است که می‌تواند به توسعه درمان‌های مؤثرتر برای بیماران مبتلا به نقص‌های آلت تناسلی یا آسیب‌های جدی به این ناحیه منجر شود [۵۱، ۲۱].

چالش‌ها و محدودیت‌ها

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در مهندسی بافت، تأمین خون‌رسانی مناسب به بافت‌های جدید است. بدون شبکه عروقی کارآمد، بافت‌ها قادر به زنده ماندن و انجام وظایف خود نخواهند بود. تشکیل عروق در بافت‌های مهندسی شده در آزمایشگاه هنوز هم یکی از مشکلات اساسی در این زمینه است. اندام‌های ادراری و تناسلی انسان پیچیدگی‌های ساختاری و عملکردی زیادی دارند. بازسازی کامل این اندام‌ها، به‌ویژه آلت تناسلی و مثانه، به دقت زیادی نیاز دارند [۵۲]. ایجاد بافت‌هایی که نه تنها از نظر ظاهری شبیه به بافت طبیعی باشند، بلکه از نظر عملکردی نیز مشابه آن عمل کنند، چالش بزرگی است. یکی از چالش‌های رایج در پیوند بافت‌های مهندسی شده به بدن، رد شدن آن‌ها توسط سیستم ایمنی است. حتی در صورت استفاده از سلول‌های بیمار خود بیمار، گاهی سیستم ایمنی به این بافت‌ها واکنش منفی نشان می‌دهد و باعث می‌شود آن‌ها پس زده شوند.

استفاده از سلول‌های بنیادی در مهندسی بافت، به‌ویژه در اورولوژی، هنوز با مشکلاتی همراه است [۵۳]. توانایی این سلول‌ها برای تمایز به انواع بافت‌های مورد نیاز (مانند بافت‌های عضلانی یا عروقی) محدود است و فرایندهای تکثیر و تمایز آن‌ها هنوز به‌طور کامل تحت کنترل قرار نگرفته‌اند. فرایندهای مهندسی بافت پیچیده و زمان‌بر هستند. علاوه بر اینکه هزینه تولید بافت‌های مهندسی شده زیاد است، طول زمان لازم برای رشد و شکل‌گیری بافت‌های جدید نیز یکی از موانع بزرگ برای استفاده از این فناوری به‌صورت گسترده در درمان‌های اورولوژیک است. حتی در صورتی که بافت‌های مهندسی شده با موفقیت در آزمایشگاه تولید شوند، تطبیق کامل آن‌ها با بافت‌های طبیعی بدن ممکن است دشوار باشد [۵۴]. در برخی موارد، بافت‌های جدید ممکن است دچار تغییراتی شوند که باعث کاهش عملکرد یا ایجاد عوارض جانبی می‌شود. بنابراین، در صورتی که مهندسی بافت بتواند در درمان مشکلات و بیماری‌های اورولوژی موفق باشد، همراه با برخی محدودیت‌هاست که محققان در تلاش برای کم کردن خطر این روش هستند [۵۵].

به راه‌حل‌های پایدار و مؤثری برای مشکلاتی تبدیل شود که در حال حاضر، نیازمند پیوند یا درمان‌های پیچیده هستند. با این حال، این فناوری‌ها هنوز با چالش‌هایی همچون پیچیدگی‌های زیستی، مسائل اخلاقی و قانونی و نیاز به تحقیق بیشتر مواجه هستند. با پیشرفت‌های بیشتر در این زمینه و حل مشکلات فعلی، می‌توان انتظار داشت که مهندسی بافت در اورولوژی در آینده به یکی از ارکان مهم در درمان‌های پزشکی تبدیل شود و مشکلات بسیاری را حل کند. به‌طور کلی، مهندسی بافت در اورولوژی امید واقعی برای بهبود درمان‌ها و کیفیت زندگی بیماران مبتلا به بیماری‌های اورولوژیک است، اما همچنان به تحقیق و توسعه نیاز دارد تا این فناوری‌ها به‌طور کامل به بالین بیمار وارد شوند.

تشکر و قدردانی

از تمامی افرادی که در روند این پژوهش همکاری داشتند، سپاسگزاری می‌کنیم.

تضاد منافع

میان نویسندگان تعارض منافع وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

با توجه به این که مقاله مروری است، ملاحظات اخلاقی ندارد.

سهم نویسندگان

مازیار ملک‌زاده کبریا: نگارش مقاله؛
مرتضی علی‌زاده: ویرایش، طراحی شکل؛
اسماعیل شریفی: نگارش مقاله، ویرایش.

حمایت مالی

این مطالعه مروری حامی مالی ندارد.

از دستاوردهای جدید در زمینه اصلاح ژنتیکی بهره‌بردار. به‌ویژه در درمان بیماری‌های ارثی اورولوژیک مانند نارسایی کلیه‌های ارثی، استفاده از فناوری CRISPR و دیگر ابزارهای ویرایش ژن، می‌تواند به بهبود پاسخ‌های درمانی کمک کند [۶۱]. این فناوری‌ها می‌توانند به درمان‌های شخصی‌سازی شده برای بیماران مبتلا به مشکلات اورولوژیک کمک کنند.

بیماری‌های سرطان در دستگاه اورولوژیک، مانند سرطان مثانه، پروستات و کلیه، از چالش‌های عمده در درمان اورولوژی هستند. مهندسی بافت می‌تواند با تولید مدل‌های دقیق سرطان و سلول‌های سرطانی اورولوژیک، روش‌های درمانی جدیدی برای این بیماری‌ها ارائه دهد. همچنین، ترمیم بافتی پس از درمان‌های شیمیایی یا جراحی سرطان، یکی از مهم‌ترین زمینه‌های مهندسی بافت است [۶۲]. یکی از چشم‌اندازهای کلیدی در مهندسی بافت اورولوژیک، استفاده از نانوتکنولوژی و بیومتریال‌های نوین برای درمان‌های دقیق‌تر است. این مواد می‌توانند به مهندسی بافت کمک کنند تا با سازگاری بهتر با محیط بدن، از بازسازی بافت‌های اورولوژیک و درمان دقیق‌تر بیماری‌ها حمایت کنند. در نهایت، مهندسی بافت می‌تواند در بهبود کیفیت زندگی بیماران مبتلا به بیماری‌های مزمن اورولوژیک نقش حیاتی ایفا کند. برای مثال، بازسازی بافت‌های مثانه یا کلیه پس از پیوند یا درمان سرطان، یا تولید اندام‌های مصنوعی، می‌تواند به کاهش عوارض جانبی، مانند نیاز به دیالیز یا پیوندهای پیچیده، کمک کند [۶۳].

نتیجه‌گیری

مهندسی بافت در اورولوژی حوزه‌ای نوین و پرطرفیت است که می‌تواند به‌طور چشمگیری در بهبود درمان بیماری‌های اورولوژیک، مانند نارسایی کلیه، مشکلات مثانه، سرطان پروستات و اختلالات دیگر دستگاه ادراری تأثیرگذار باشد. استفاده از سلول‌های بنیادی، بیومواد، داربست‌های زیستی و پرینت سه‌بعدی به بازسازی و جایگزینی بافت‌های آسیب‌دیده کمک می‌کند و ممکن است روزی

REFERENCES

- Atala A. Tissue engineering in urology. *Curr Urol Rep.* 2001;2(1):83-92. PMID: 12084300 DOI: 10.1007/s11934-001-0030-z
- Casarin M, Morlacco A, Dal Moro F. Tissue engineering and regenerative medicine in pediatric urology: urethral and urinary bladder reconstruction. *Int J Mol Sci.* 2022;23(12):6360. PMID: 35742803 DOI: 10.3390/ijms23126360
- Chowdhury SR, Keshavan N, Basu B. Urinary bladder and urethral tissue engineering, and 3D bioprinting approaches for urological reconstruction. *J Mater Res.* 2021;36(6):3781-3820. DOI:10.1557/s43578-021-00255-w
- Huseyn E. Developmental status and perspectives for tissue engineering in urology. *ArXiv.* 2021. DOI:10.48550/arXiv.2111.09414
- Duan L, Wang Z, Fan S, Wang C, Zhang Y. Research progress of biomaterials and innovative technologies in urinary tissue engineering. *Front Bioeng Biotechnol.* 2023;11:1258666. PMID: 37645598 DOI: 10.3389/fbioe.2023.1258666
- Pastorek D, Culenova M, Csobonyeiova M, Skuciova V, Danisovic L, Ziaran S. Tissue engineering of the urethra: from bench to bedside. *Biomedicines.* 2021;9(12):1917. DOI:10.3390/biomedicines9121917
- Amoupour M, Kebria MM, Hivechi A, Peyravian N, Ghasemian M, Mehrabi A. Molecular mediators of vasculogenesis and angiogenesis. In: *Biomaterials for vasculogenesis and angiogenesis.* Woodhead Publishing Series in Biomaterials; 2022. p. 13-37. DOI: 10.1016/B978-0-12-821867-9.00020-2
- Zhao Y, Liu Y, Dai Y, Yang L, Chen G. Application of 3d bioprinting in urology. *Micromachines.* 2022;13(7):1073. PMID: 35888890 DOI: 10.3390/mi13071073
- Topoliiova K, Harsanyi S, Danisovic L, Ziaran S. Tissue engineering and stem cell therapy in neurogenic bladder dysfunction: current and future perspectives. *Medicina.* 2023;59(8):1416. PMID: 37629705 DOI: 10.3390/medicina59081416
- Orlova NV, Muraviov AN, Gorelova AA, Remezova AN,

- Gorbunov AI, Vinogradova T, et al. Experimental replacement of various bladder volumes with allogeneic tissue-engineered constructions. *Mol Med*. 2023;**21**(6):54-9. DOI: [10.29296/24999490-2023-06-08](https://doi.org/10.29296/24999490-2023-06-08)
11. García-Perdomo HA, Jurado-Penagos A. Application of regenerative medicine and 3d bioprinting in urology. *Actas Urológ Española*. 2022;**46**(6):323-28. DOI: [10.1016/j.acuroe.2022.03.006](https://doi.org/10.1016/j.acuroe.2022.03.006)
 12. Abbas TO, Elawad A, Pullattayil S AK, Pennisi CP. Quality of reporting in preclinical urethral tissue engineering studies: A systematic review to assess adherence to the ARRIVE guidelines. *Animals*. 2021;**11**(8):2456. PMID: [34438913](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34438913/) DOI: [10.3390/ani11082456](https://doi.org/10.3390/ani11082456)
 13. Sharma S, Rajani S, Hui J, Chen A, Bivalacqua T, Singh A. Development of enzymatic-resistant and compliant decellularized extracellular matrixes via aliphatic chain modification for bladder tissue engineering. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2022;**14**(33):37301-15. PMID: [35948054](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35948054/) DOI: [10.1021/acsmi.2c06865](https://doi.org/10.1021/acsmi.2c06865)
 14. Kuniakova M, Klein M, Galfiova P, Csobonyeiova M, Feitscherova C, Polak S, et al. Decellularization of the human urethra for tissue engineering applications. *Exp Biol Med*. 2023;**248**(12):1034-42. PMID: [37073134](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37073134/) DOI: [10.1177/15353702231162092](https://doi.org/10.1177/15353702231162092)
 15. Saad S, Osman NI, Chapple CR. Tissue engineering: recent advances and review of clinical outcome for urethral strictures. *Curr Opin Urol*. 2021;**31**(5):498-503. PMID: [34397507](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34397507/) DOI: [10.1097/MOU.0000000000000921](https://doi.org/10.1097/MOU.0000000000000921)
 16. Mehrabi A, Jalise SZ, Hivechi A, Habibi S, Kebria MM, Haramshahi MA, et al. Evaluation of inherent properties of the carboxymethyl cellulose (CMC) for potential application in tissue engineering focusing on bone regeneration. *Poly Adv Tech*. 2024;**35**(1):e6258. DOI: [10.1002/pat.6258](https://doi.org/10.1002/pat.6258)
 17. Berte N, Mazeaud C, Eschwege P, Gillet P, Pinzano AW, Lemelle JL, et al. Cells in urothelium tissue engineering. *Stem Cells and Regenerative Medicine*;2021: p. 110-121. [Link](#)
 18. Davis NF, Callanan A. Production and preparation of porcine urinary bladder matrix (UBM) for urinary bladder tissue-engineering purposes. *Adv Exp Med Biol*. 2021;**1345**:119-28. PMID: [34582018](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34582018/) DOI: [10.1007/978-3-030-82735-9_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82735-9_10)
 19. Gholami K, Solhjo S, Aghamir SMK. Application of tissue-specific extracellular matrix in tissue engineering: focus on male fertility preservation. *Reprod Sci*. 2022;**29**(11):3091-9. PMID: [35028926](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35028926/) DOI: [10.1007/s43032-021-00823-9](https://doi.org/10.1007/s43032-021-00823-9)
 20. Huang YZ, He T, Cui J, Jiang YL, Zeng JF, Zhang WQ, et al. Urine-derived stem cells for regenerative medicine: basic biology, applications, and challenges. *Tissue Eng Part B Rev*. 2022;**28**(5):978-94. PMID: [35049395](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35049395/) DOI: [10.1089/ten.teb.2021.0142](https://doi.org/10.1089/ten.teb.2021.0142)
 21. Wu R, Wang J, Li D, Tuo Z, Miyamoto A, Yoo KH, et al. Three-dimensional printing creates new trends of the technological revolution in urologic surgery. *ACS Mater Lett*. 2024;**6**(8):3414-35. DOI: [10.1021/acsmaterialslett.4c00548](https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.4c00548)
 22. Martinez-Vidal L, Murdica V, Venegoni C, Pederzoli F, Bandini M, Necchi A, et al. Causal contributors to tissue stiffness and clinical relevance in urology. *Commun Biol*. 2021;**4**(1):1011. PMID: [34446834](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34446834/) DOI: [10.1038/s42003-021-02539-7](https://doi.org/10.1038/s42003-021-02539-7)
 23. Liu K, Hu N, Yu Zh, Zhang X, Ma H, Qu H. 3D printing and bioprinting in urology. *Int J Bioprint*. 2023;**9**(6):0969. DOI: [10.36922/ijb.0969](https://doi.org/10.36922/ijb.0969)
 24. Elia E, Brownell D, Chabaud S, Bolduc S. Tissue engineering for gastrointestinal and genitourinary tracts. *Int J Mol Sci*. 2022;**24**(1):9. PMID: [36613452](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36613452/) DOI: [10.3390/ijms24010009](https://doi.org/10.3390/ijms24010009)
 25. Jundziłł A, Kwieciński P, Balcerczyk D, Kloskowski T, Grzanka D, Antosik P, et al. A tissue-engineered urinary conduit in a porcine urinary diversion model. *Sci Rep*. 2021;**11**(1):16754. PMID: [34408168](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34408168/) DOI: [10.1038/s41598-021-94613-7](https://doi.org/10.1038/s41598-021-94613-7)
 26. Agung NP, Nadhif MH, Irdam GA, Mochtar CA. The role of 3D-printed phantoms and devices for organ-specified appliances in urology. *Int J Bioprint*. 2021;**7**(2):333. PMID: [33997433](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33997433/) DOI: [10.18063/ijb.v7i2.333](https://doi.org/10.18063/ijb.v7i2.333)
 27. Salemi S, Prange JA, Baumgartner V, Mohr-Haralampieva D, Eberli D. Adult stem cell sources for skeletal and smooth muscle tissue engineering. *Stem Cell Res Ther*. 2022;**13**(1):156. PMID: [35410452](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35410452/) DOI: [10.1186/s13287-022-02835-x](https://doi.org/10.1186/s13287-022-02835-x)
 28. Gu X, Xu Y, Li S, Wang Z, Meng Q, Yu J. Preparation of a photocured biocompatible hydrogel for urethral tissue engineering. *ACS Appl Polym Mater*. 2021;**3**(7):3519-27. DOI: [10.1021/acscapm.1c00427](https://doi.org/10.1021/acscapm.1c00427)
 29. Ławkowska K, Rosenbaum C, Petrasz P, Kluth L, Koper K, Drewa T, et al. Tissue engineering in reconstructive urology—The current status and critical insights to set future directions-critical review. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;**10**:1040987. PMID: [36950181](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36950181/) DOI: [10.3389/fbioe.2022.1040987](https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1040987)
 30. Tsachouridis G, Abbas T, de Kort LMO, de Graaf P. Tissue engineering and regenerative medicine in hypospadias management. in: *Hypospadiology: Current challenges and future perspectives*. Springer, Singapore; 2023. p. 127-36. DOI: [10.1007/978-981-19-7666-7_9](https://doi.org/10.1007/978-981-19-7666-7_9)
 31. Casarin M, Morlacco A, Dal Moro F. Bladder substitution: the role of tissue engineering and biomaterials. *Processes*. 2021;**9**(9):1643. DOI: [10.3390/pr9091643](https://doi.org/10.3390/pr9091643)
 32. Sharma S, Basu B. Biomaterials assisted reconstructive urology: The pursuit of an implantable bioengineered neourinary bladder. *Biomaterials*. 2022;**281**:121331. PMID: [35016066](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35016066/) DOI: [10.1016/j.biomaterials.2021.121331](https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2021.121331)
 33. Doelman AW, Streijger F, Majerus SJA, Damaser MS, Kwon BK. Assessing neurogenic lower urinary tract dysfunction after spinal cord injury: animal models in preclinical neuro-urology research. *Biomedicines*. 2023;**11**(6):1539. PMID: [37371634](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37371634/) DOI: [10.3390/biomedicines11061539](https://doi.org/10.3390/biomedicines11061539)
 34. Liao L. Tissue-engineering bladder augmentation. In: Liao L, Madersbacher H (eds). *Handbook of neurourology*. Springer, Singapore; 2023. p. 493–506. DOI: [10.1007/978-94-017-7509-0_45](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7509-0_45)
 35. Tian WJ, Jeon SH, Zhu GQ, Kwon EB, Kim GE, Bae WJ, et al. Effect of high-BDNF microenvironment stem cells therapy on neurogenic bladder model in rats. *Transl Androl Urol*. 2021;**10**(1):345-55. PMID: [33532323](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33532323/) DOI: [10.21037/tau-20-1072](https://doi.org/10.21037/tau-20-1072)
 36. Liao L, Madersbacher H. Future direction for treatment of neurogenic lower urinary tract dysfunction. In: *Handbook of Neurourology: Theory and Practice*. Springer; 2023. p. 1-13. DOI: [10.1007/978-981-16-7939-1_83-1](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7939-1_83-1)
 37. Chhetri AP, Mohajerani K, Soon C, Saidin S, Saeinasab M, Sefat F, et al. Tissue engineering applications for erectile dysfunction. In: *Regenerative Medicine in the Genitourinary System*. Elsevier; 2024. p. 157-78. DOI: [10.1016/B978-0-443-15834-6.00009-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15834-6.00009-1)
 38. Erol B, Danacioglu YO, Peters KM. Current advances in neuromodulation techniques in urology practices: a review of literature. *Turk J Urol*. 2022;**47**(5):375-85. PMID: [35118977](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35118977/) DOI: [10.5152/tud.2021.21152](https://doi.org/10.5152/tud.2021.21152)
 39. Ou YC, Huang CC, Kao YL, Ho PC, Tsai KJ. Stem cell therapy in spinal cord injury-induced neurogenic lower urinary tract dysfunction. *Stem Cell Rev Rep*. 2023;**19**(6):1691-1708. PMID: [37115409](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37115409/) DOI: [10.1007/s12015-023-10547-9](https://doi.org/10.1007/s12015-023-10547-9)
 40. Elia E, Caneparo C, McMartin C, Chabaud S, Bolduc S. Tissue engineering for penile reconstruction. *Bioengineering*. 2024;**11**(3):230. PMID: [38534504](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38534504/) DOI: [10.3390/bioengineering11030230](https://doi.org/10.3390/bioengineering11030230)
 41. Juul N, Amoushahi M, Willacy O, Ji M, Villa C, Ajalloueiian F, Chamorro C, et al. Autologous micrografting improves regeneration of tissue-engineered urinary conduits in vivo. *Sci Rep*. 2024;**14**(1):22028. PMID: [39322716](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39322716/) DOI: [10.1038/s41598-024-72876-0](https://doi.org/10.1038/s41598-024-72876-0)
 42. Barski D, Tsaur I, Boros M, Brune J, Otto T. Functional recovery after the application of amniotic tissues and methylene blue during radical prostatectomy—a pilot study. *Biomedicines*. 2023;**11**(8):2260. PMID: [37626756](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37626756/) DOI: [10.3390/biomedicines11082260](https://doi.org/10.3390/biomedicines11082260)

43. Chung E. Regenerative technology to restore and preserve erectile function in men following prostate cancer treatment: evidence for penile rehabilitation in the context of prostate cancer survivorship. *Ther Adv Urol*. 2021;**13**:17562872211026421. PMID: [34434257](#) DOI: [10.1177/17562872211026421](#)
44. Hanczar M, Moazen M, Day R. The significance of biomechanics and scaffold structure for bladder tissue engineering. *Int J Mol Sci*. 2021;**22**(23):12657. PMID: [34884464](#) DOI: [10.3390/ijms222312657](#)
45. Doelman AW. Assessment of neurogenic lower urinary tract dysfunction after traumatic spinal cord injury using wireless catheter-free pressure sensors. PhD Dissertation. University of British Columbia; 2024. [Link](#)
46. Botter SM, Kessler TM. Neuro-urology and biobanking: an integrated approach for advancing research and improving patient care. *Int J Mol Sci*. 2023;**24**(18):14281. PMID: [37762582](#) DOI: [10.3390/ijms241814281](#)
47. Ramakrishnan VM, Thaker H, Ocampo GL, Adam RM, Estrada Jr CR. Pediatric bladder tissue engineering: Where have we been and where do we go next?, *J Pediatr Urol*. 2025;**21**(3):550-7. DOI: [10.1016/j.jpuro.2025.01.001](#)
48. Liang H, Zhou B, Li P, Zhang X, Zhang S, Zhang Y, et al. Stemness regulation in prostate cancer: prostate cancer stem cells and targeted therapy. *Ann Med*. 2025;**57**(1):2442067. PMID: [39711287](#) DOI: [10.1080/07853890.2024.2442067](#)
49. Tayyab M, Haroon A, Mohajerani K, Soon CF, Saidin S, Saeinasab M, et al. The progress in tissue engineering of bladder. In: *Regenerative Medicine in the Genitourinary System*. Elsevier; 2024. p. 51-69. DOI: [10.1016/B978-0-443-15834-6.00003-0](#)
50. Islam H, Saeinasab M, Sefat F. Genitourinary tissue engineering: promises, advances, and challenges. In: *Regenerative Medicine in the Genitourinary System*. Elsevier; 2024. p. 3-24. DOI: [10.1016/B978-0-443-15834-6.00001-7](#)
51. Zhou Z, Liu J, Xiong T, Liu Y, Tuan RS, Li ZA. Engineering innervated musculoskeletal tissues for regenerative orthopedics and disease modeling. *Small*. 2024;**20**(23):e2310614. PMID: [38200684](#) DOI: [10.1002/smll.202310614](#)
52. Huang Y, Yin GN, Liu FY, Fridayana FR, Niloofar L, Vo MN, et al. Argonaute 2 restored erectile function and corpus cavernosum mitochondrial function by reducing apoptosis in a mouse model of cavernous nerve injury. *Investig Clin Urol*. 2024;**65**(4):400-10. PMID: [38978220](#) DOI: [10.4111/icu.20240077](#)
53. Abolghasemi R, Davoudi-Monfared E, Allahyari F, Farzanegan G. Systematic review of cell therapy efficacy in human chronic spinal cord injury. *Tissue Eng Part B Rev*. 2024;**30**(2):254-69. PMID: [37917104](#) DOI: [10.1089/ten.TEB.2023.0130](#)
54. Majerus S, Nguyen C, Brose S, Nemunaitis G, Damaser M, Bourbeau DJ. Automated closed-loop stimulation to inhibit neurogenic bladder overactivity. *Proc Inst Mech Eng H*. 2024;**238**(6):619-27. PMID: [37132028](#) DOI: [10.1177/09544119231172272](#)
55. Sharma TT, Edassery SL, Rajinikanth N, Karra V, Bury MI, Sharma AK. Proteomic profiling of regenerated urinary bladder tissue in a non-human primate augmentation model. *BioRxiv*. 2024;**14**(1):15757. PMID: [37693577](#) DOI: [10.1101/2023.08.29.554824](#)
56. Patel R, Desai C, Acharya R, Raveshia D, Shah S, Panesar H, et al. Five historical innovations that have shaped modern urological surgery. *J Perioper Pract*. 2024;**34**(5):154-63. PMID: [38149615](#) DOI: [10.1177/17504589231214388](#)
57. Lin CC, Yang JM, Hsu TH, Lee HL. Intravesical instillation of hyaluronic acid with epidermal growth factor for restoring urothelial denudation and alleviating oxidative stress in lipopolysaccharide-induced interstitial cystitis of rats. *Int Neurourol J*. 2024;**28**(2):106-14. PMID: [38956770](#) DOI: [10.5213/inj.2448028.014](#)
58. Lachkar S, Boualaoui I, Ibrahim A, El Sayegh H, Nouini Y. Emphysematous pyelonephritis and emphysematous cystitis in a patient with neurogenic bladder: A case report. *Heliyon*. 2024;**10**(9):e30893. PMID: [38774088](#) DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e30893](#)
59. Alotaibi BS, Ibrahim NA, Azhar S, Shah A, Omar H, Ijaz M. Advanced diagnostic and therapeutic approaches for effective management of bladder malignancies. *J Pharm Pharmacother*. 2024;**16**(3):249-63. DOI: [10.1177/0976500X241303616](#)
60. He J, Qian L, Li Z, Wang Y, Liu K, Wei H. A tissue bandage for pelvic ganglia injury. *Nat Commun*. 2024;**15**(1):8972. PMID: [39419980](#) DOI: [10.1038/s41467-024-53302-5](#)
61. Peyravian N, Malekzadeh Kebria M, Kiani J, Brouki Milan P, Mozafari M. CRISPR-associated (CAS) effectors delivery via microfluidic cell-deformation chip. *Materials*. 2021;**14**(12):3164. PMID: [34207502](#) DOI: [10.3390/ma14123164](#)
62. Pourebrahimi A, Khalili A, Behzadi S, Eftekhari B, Reyhani H, Larijani A. Platelet-rich plasma for treatment of female stress urinary incontinence. *Int Urol Nephrol*. 2025;**57**(2):313-21. PMID: [39390198](#) DOI: [10.1007/s11255-024-04229-9](#)
63. Hashemi Gheinani A, Kim J, You S, Adam RM. Bioinformatics in urology—molecular characterization of pathophysiology and response to treatment. *Nat Rev Urol*. 2024;**21**(4):214-42. PMID: [37604982](#) DOI: [10.1038/s41585-023-00805-3](#)