

•综述•

脱细胞基质材料在整形外科中的应用

李静¹ 综述, 陈华² 审校

(1. 内蒙古医科大学 内蒙古 呼和浩特 010059; 2. 内蒙古医科大学附属医院整形美容烧伤科 内蒙古 呼和浩特 010000)

[摘要] 现今, 脱细胞胞外基质 (Decellularized extracellular matrix, dECM) 可以在体内调节细胞功能, 发现其在整形美容外科领域, 包括皮肤、面部、颌骨以及乳房等方面均可以得到广泛应用。由此衍生的脱细胞基质材料不仅具有胶原网架结构, 还可以作为一种内置的物理支架, 从而诱导细胞生长、迁移和修复。它是根据内源性诱导再生的作用原理而实现的, 因此, 具有一定的抗感染性, 并且还发现在一定程度上具有组织特异性的特点。另外, 脱细胞基质材料因其易塑形的本质, 适用于填充体内不规则组织坏死形成的囊肿、修复大面积皮肤缺损、先天畸形等, 作为植入物可用于乳房重建、隆鼻等方面。

[关键词] 脱细胞基质材料; 脱细胞胞外基质; 整形外科; 临床应用; 生物材料

[中图分类号] R622 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-6455 (2025) 06-0183-04

Application of Decellularized Matrix Material in Orthopedics

LI Jing¹, CHEN Hua²

(1. Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059, Inner Mongolia, China; 2. Department of Plastic Surgery, Beauty and Burn, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, Inner Mongolia, China)

Abstract: Nowadays, Decellularized Extracellular Matrix (dECM) can regulate cellular function in vivo, and it has been found to be widely used in the field of plastic and aesthetic surgery, including skin, face, jaw and breast. The resulting acellular matrix material not only has a collagen grid structure, but also acts as a built-in physical scaffold to induce cell growth, migration, and repair. It is achieved according to the principle of action of endogenous induction of regeneration, so it also has a certain resistance to infection, and it is also found to have tissue-specific characteristics to a certain extent. Due to its easily shapeable nature, decellularized matrix materials are suitable for filling the cyst cavity formed by irregular tissue necrosis in the body, repairing large skin defects and congenital malformations. and as an implant for breast reconstruction, rhinoplasty, etc.

Key words: decellularized matrix material; decellularized extracellular matrix; plastic surgery; clinical practice; biomaterial

整形外科手术原本是以手术方法进行自体的组织移植、注射填充, 也可以使用异体、异种组织或组织替代品填充来达到改善外貌、修复缺损或畸形组织的目的。早期用于整形外科的生物材料, 包括自体材料 (骨、软骨、真皮以及脂肪组织等) 和异体材料 (异种组织、天然生物材料、人工高分子材料, 例如硅胶假体、聚四氟乙烯膨体、胶原蛋白、透明质酸等) [1-3]。学者们一直致力于寻求一种“理想”的生物材料, 首先, 满足安全性的要求, 既要有组织相容性, 还要不存在毒性、变态反应性、炎症反应性、致癌性等; 同时要具有稳定的物理、化学性, 耐腐蚀等要求。其次, 理想的生物材料在填充后还要具备良好的手感, 质地柔软, 不移位、易塑形等特点 [2-3]。在此之前, 传统生物材料在填充后存在创伤大, 形态与周围组织相差较大, 手感不佳, 价格昂贵, 需反复注射的缺点。

随着医用植入材料的发展, 由传统的不可吸收材料转向可降解的、主动诱导组织再生的新型材料发展, 已有来源于动物的真皮、心包、小肠等组织的脱细胞基质材料用于临床, 而细胞外基质 (Extracellular matrix, ECM) 本身就

是去细胞化的主要产物, 它不仅可以作为细胞内置的物理支架, 而且还能够调节许多细胞过程, 包括生长、迁移、分化、稳态和形态发生 [4], 同时术中对于术者易取材, 操作简便, 对于患者伤口小, 出血少, 痛感低, 术后满意度高 [5-6]。因此, 脱细胞基质材料是一种潜在的, 理想上的可完美应用于整形外科的生物材料。本文就脱细胞基质作为新型生物材料在整形外科领域中的应用进行综述。

1 脱细胞基质材料的作用原理

1.1 脱细胞基质材料的结构和作用: 脱细胞基质材料有一种叫胶原网架的结构, 它的三股螺旋结构决定了它的稳定性, 为细胞的新生、迁移、长入提供了空间与适宜环境, 其修复组织、促进再生的原理是“内源性诱导再生” [7-9]。其中, 脱细胞真皮基质由完整的胶原纤维、蛋白质、完整的弹性蛋白、透明质酸、纤维连接蛋白、纤维化胶原蛋白、VI型胶原蛋白、血管通道和蛋白聚糖组成。它作为一种载体, 允许组织再生随着血管重建和成纤维细胞生长而发生 [10]。ADM被纳入周围组织, 并逐渐被宿主的

胶原蛋白取代,从而促进和支持愈合过程,并尽可能减少瘢痕组织的形成。

脱细胞基质材料是在细胞外基质成分与机构的基础上,通过脱细胞工艺去除细胞而保留其生物活性成分的基质材料,它含有多种信号分子构成高度协调统一体,能够诱导并促进细胞的黏附、增殖、分化及组织形成,是机体组织修复的基础^[11-12]。

1.1.1 脱细胞基质材料的分类:根据ECM的起源,dECM支架分为三类,包括自体dECM、同种异基因dECM和异基因dECM。由于自体dECM支架面临组织限制和手术并发症的情况,大多数dECM支架来自异基因或异基因供体组织^[13];然而,同源性/异基因dECM中可能存在供体部位发病率、结构和质量组成差异,以及由不完全去细胞化引起的免疫原性问题^[14]。

1.1.2 脱细胞基质材料的制备及形态:这里主要介绍异基因dECM。如今最常见的是小肠黏膜下脱细胞基质材料(SIS-dECM),其制备主要采用猪的空肠为原料。通过机械法去除黏膜下层以外的其他组织。再采用化学试剂去除黏膜下层剩余的DNA、RNA和细胞。整个过程耗时较长,严格按照完整的脱细胞程序,需要进行反复的试剂处理以及浸泡去离子水。最后再进行相应的DNA残留检测,以确保只剩所需的基质成分。经此处理所获得的SIS-dECM具有一定的多孔微结构,有利于维持细胞活力和增殖所必需的营养运输和氧气扩散。经过进一步制造加工,可制备成SIS-dECM膜片、SIS-dECM冻干颗粒(粉)、SIS-dECM水凝胶、SIS-dECM多孔海绵状支架、SIS-dECM消化浓缩液、SIS-dECM管状支架、SIS-dECM消化冻干剂、SIS-dECM复合材料等^[15]。

1.2 不同来源脱细胞基质材料的比较

1.2.1 真皮来源——脱细胞真皮基质(Acellular dermal matrix, ADM):利用伤口愈合级联融入患者的组织,同时这个过程可以协调炎症浸润和血管的生成。脱细胞真皮基质的存在通过增加适当细胞成分的入侵,来增强和调节伤口愈合进程,以达到促进快速愈合和加速血管生成的目的。

1.2.2 小肠来源——小肠黏膜下(Small intestine submucosa, SIS)脱细胞基质材料(SIS-dECM):是从猪空肠黏膜下层分离出来的细胞外基质,通过胰酶消化等方法去除表皮细胞成分后的脱细胞组织补片,同源性较高的同时,变态反应降低,具有良好的组织力学性能和再生活性^[16]。

1.2.3 脂肪来源——脱细胞脂肪基质:有学者探讨组织来源对脱细胞基质成脂能力的影响^[17-18],在研究中以脂肪干细胞(ADSCs)对DAM和ADM的体外反应以增殖和分化为特征,通过组织学、蛋白质表达和转录组分析,在免疫受损小鼠的皮下注射模型中评估体内重塑反应。结果,DAM和ADM均表现出良好的脱细胞效果和细胞相容性。在无外源刺激的情况下,与ADM相比,DAM可诱导ADSCs成脂分化^[19-20]。在动物模型中,与ADM组相比,DAM组PDGF、VEGF和ACRP30水平升高,并观察到更多新生血管和广泛的脂肪组织重塑。DAM在脱细胞清理后可以保留良好的组织特异性特征,在体外

和体内具有独特的成脂作用,可充分用于软组织再生和修复。RNA测序分析表明,DAM移植体在早期通过调节Lat1/2表达和Hippo信号通路来调节组织重塑^[21-22]。由此得出,组织来源会影响脱细胞基质的生物学反应。

2 脱细胞基质材料在整形外科各分科中的应用

2.1 脱细胞基质水凝胶在组织再生方面的应用:脱细胞基质(ECM)水凝胶作为构建工程化组织以及修复组织缺损的新型生物活性材料,广泛应用在细胞命运的调控、缺损组织的修复和再生医学领域的研究中,具有广阔的应用前景。这种生物活性材料是源组织通过物理或化学酶解等手段去除细胞及其相关物质,只保留了其骨架结构和细胞外基质等成分,以及大量的ECM相关蛋白,包括纤维蛋白、层黏连蛋白、胶原蛋白,从而实现诱导细胞迁移、黏附、增殖以及分化,并为细胞生长创造了良好的微环境^[23]。该类水凝胶在低温环境下(4℃)呈现液态,本身具备温敏特性,所以适用于体内填充不规则组织坏死形成的囊腔^[24]。由此看来,脱细胞基质材料在组织再生方面的应用在不断加深。

2.2 脱细胞真皮基质在修复大型皮肤缺损方面的应用:一直以来,人体对伤害和损伤的适应,使得在优化长期治疗结果、伤口形成的美观方面,以及疾病发病率的统计方面等相关能力得到了增强。而了解这些过程在重建手术中至关重要。众所周知,大型皮肤缺陷通常需要重建方法来关闭伤口,而我们正缺少易于应用的生物材料。许多研究表明,ECM源性脱细胞基质支架能够在体外增殖和促进多种细胞种群的生长和分化,并在人类移植后诱导结构组织重塑过程^[25]。因此,使用来自组织的3D ECM网格是重建手术、再生医学和生物工程中日益使用的方法^[26]。因此,脱细胞真皮基质(ADM)的引入和成功使用在整形和其他重建手术领域取得了巨大进步^[27]。人们迫切需要生物敷料来覆盖大型皮肤缺陷的伤口,例如治疗烧伤。其中许多包括羊膜,在手术中被广泛使用^[28]。

人体表面积最大的器官是皮肤,无疑,皮肤的存在对我们来说是至关重要的。那么,严重烧伤后重建皮肤连续性就是第一要事。严重烧伤后的重建还涉及皮肤自然弹性、质地和轮廓的愈合等问题。而完全破坏了的皮肤就需要使用皮肤替代物。传统自体/异体皮瓣移植仍存在各种问题,直到发明了脱细胞真皮移植,把它用于治疗全层烧伤(Ⅲ度烧伤)得到了可观的效果。尤其是当供体皮肤不可用时,严重烧伤患者的管理就会很复杂。当ADM应用于具有非常薄的分裂皮肤移植的全层皮肤缺损时,可以观察到细胞从皮肤移植以及底层组织和外周皮肤边缘迁移和生长到ADM的情况。这种材料提供黏附的层粘连素和上皮化所需的IV型胶原蛋白,促进修复的同时其下面的血管通道也得以保存。在最佳条件下,宿主在1周内重新填充血管通道,内皮也可以重建。同时ADM的使用还减少了在皮肤移植中看到的供体部位的瘢痕。

2.3 脱细胞真皮基质在乳房重建中的应用:在乳房手术中,

ADM的使用始于对可见植入物波纹和交错的矫正手术^[29-30]。后来,它还被用于用植入物立即重建乳房^[31]。Baxter RA等^[32]将ADM应用于广泛的乳房切除术后乳房重建。结果表明,这种方法的并发症率极低,并产生了良好的美容效果。此外,对组织样本的组织学分析证实,ADM融入周围的结缔组织,没有任何明显的免疫反应^[33-34]。ADM主要用于在肌肉下放置覆盖植入物的下部,从而为乳房的下极提供支撑。它还有助于预防囊缩。ADM在全球范围内用于60%以上的乳房重建,因此,在很大程度上已经取代了使用植入物的更“传统”重建技术,能达到植入物部分或完全覆盖了肌肉的程度^[35-36]。在最近的一项研究中,Gwak H等^[37]展示了使用人类ADM作为乳房保护手术填充物的改善美学结果。

2.4 脱细胞基质移植在隆鼻手术中的应用:我们通常在增强和重建性隆鼻手术中使用自体组织移植或合成移植来修复鼻部缺陷从而到达美学重建的目的,而dECM被证实可以保留更多的结构成分和更好的力学,又有出色的生物相容性和生物安全性,这种对无论是自体还是异源性来源的组织进行脱细胞化,只保留基质成分所制备的优化移植为鼻整形假体的发展提供新的思路^[38]。

在此基础上,通过脱细胞化生产的3D软骨组织作为隆鼻移植的首选。这种3D软骨组织的设计原料是采用的脱细胞化猪鼻软骨(dPNCG),因为dPNCG是一种优秀的基质支架,可以为软骨细胞产生3D型软骨提供合适的环境,并且使用这种原料作为底物从而培养的软骨细胞更有助于II型胶原蛋白与细胞外基质的合成,最终形成一种具有生物活性的3D组织型结构^[39]。这种结构中的软骨颗粒由细胞外基质和蛋白聚糖相互结合而成,共同构成一种三维结构。显而易见,3D软骨组织结构在隆鼻软骨工程中更有前途。

2.5 脱细胞胞外基质在先天畸形修复中的应用:先天性畸形,以唇腭裂为例,这种大型组织缺损很难靠简单的手术闭合来恢复到完整、美观且自然的状态,或许将dECM与3D打印技术相结合,dECM生物印花加载结构的方法为唇腭裂的修复提供了新的思路。这种3D支架可以模仿ECM,并最终通过提供结构支持和促进附着、增殖和分化来形成功能性组织或器官。dECM对细胞分化本身就存在影响^[40],在此基础上,诱导干细胞分化,再利用3D打印技术,按需制备。在这里要引用组织工程与脚手架的原理来说明:组织工程就是脚手架、种子细胞和细胞因子的组合(利用3D打印技术制备脚手架,再通过dECM诱导干细胞分化形成所需种子细胞和细胞因子),旨在通过将组织工程脚手架移植到原本缺陷区域,并用新的组织替换脚手架材料来修复组织^[41]。这种用于组织工程的3D打印脚手架可能是改善先天性畸形,甚至其他因损伤或病变导致的器官缺陷和功能障碍患者生活质量的关键。

3 小结和展望

细胞外基质源性脱细胞基质材料相比较传统生物材料

(医用聚合物材料、软组织相容性材料、血液相容性材料等)有很多优势,并且更具有高相容性、高活性、良好的生物降解性,难以被人工合成材料所模仿,同时与传统惰性组织源材料相比也有一定的优势,例如低免疫原性,可以达到预期的生物相容性,甚至完全可以降解吸收,可与宿主有效结合,主动诱导细胞迁入,促进增殖分化,从而达到功能恢复的效果。而如今小肠黏膜是已经用于临床的细胞外基质源细胞基质材料,在普外科、精神外科、胸外科、骨科等领域广泛应用,并逐渐应用于整形外科中。

在使用脱细胞基质材料的过程中,仍存在某些弊端,这类材料在制备过程中存在异种细胞以及免疫原的残留,还有脱细胞工艺试剂残留所至的变态反应、免疫反应等风险,严重者可能导致钙化、纤维包裹等一系列问题,难以实现真正理想上的组织再生和重建。物理去细胞化方法可能足够苛刻,可以改变ECM蛋白结构(如胶原蛋白)和机械性能。化学方法可能会打破DNA和蛋白质之间的联系,破坏超微结构和生长因子,并使ECM蛋白质变性。胶原蛋白酶、脂肪酶、胰蛋白酶、dispase、热解素和核酸酶^[42]可以去除具有高特异性的细胞残留物或不良ECM成分。然而,酶治疗的一个局限性是细胞切除不完整和再细胞化受损^[43]。酶处理不足以单独去除细胞,因此,它们通常与化学洗涤剂相结合。但未来可期的是,我国已经初步建立相关风险评价技术、方法和标准,从而辅助脱细胞基质材料更进一步应用于临床。

【参考文献】

- [1]杨美蓉,潘博,赵博.整形外科的脱细胞基质材料:研究进展和临床应用的有机结合[J].中国组织工程研究,2018,22(26):4259-4264.
- [2]吴振,梅忠振,陈焜成,等.脱细胞基质补片填充鼻唇沟[J].中国医疗美容,2022,12(6):4.
- [3]穆钰峰,陈亮,魏利娜,等.动物源性脱细胞基质类材料的免疫原性:风险分析与评估[J].药物分析杂志,2023,43(2):177-185.
- [4]Isaeva E V, Beketov E E, Arguchinskaya N V. Decellularized extracellular matrix for tissue engineering (review)[J]. Sovrem Tekhnologii Med, 2022,14(3):57-68.
- [5]Hussey G S, Dziki J L, Badyrak S F. Extracellular matrix-based materials for regenerative medicine[J]. Nat Rev Mater, 2018,3(7):159.
- [6]Safdari M, Bibak B, Soltani H, et al. Recent advancement in decellularized matrix technology for bone tissue engineering[J]. Differentiation, 2021,121(2):25.
- [7]Ru J J, Zhang Q, Zhu S W, et al. Delivery of adipose-derived growth factors from heparinized adipose acellular matrix accelerates wound healing[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2023,11:3.
- [8]Tang W Y, Qi J, Wang Q, et al. Investigating the Adipogenic Effects of Different Tissue-Derived Decellularized Matrices[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2022,10:872897-872897.
- [9]蒋永生,李锐,韩春婵,等.脱细胞基质水凝胶促组织再生的研究进展[N].中国生物医学工程学报,2021-10-40(05).
- [10]Tong Z R, Jin L L, Oliveira J M, et al. Adaptable hydrogel with reversible linkages for regenerative medicine:Dynamic mechanical

- microenvironment for cells[J]. *Bioact Mater*, 2021,6(5):1375-1387.
- [11] Yi S, Ding F, Gong L L, et al. Extracellular matrix scaffolds for tissue engineering and regenerative medicine[J]. *Curr Stem Cell Res Ther*, 2017,12(3):233-246.
- [12] Saldin L T, Cramer M C, Velankar S S, et al. Extracellular matrix hydrogels from decellularized tissues: structure and function[J]. *Acta Biomater*, 2017,49:1-15.
- [13] Zhang X, Chen X, Hong H, et al. Decellularized extracellular matrix scaffolds: Recent trends and emerging strategies in tissue engineering[J]. *Bioact Mater*, 2021,10:15-31.
- [14] Porzionato A, Stocco E, Barbon S, et al. Tissue-engineered grafts from human decellularized extracellular matrices: a systematic review and future perspectives[J]. *Int J Mol Sci*, 2018,19(12):4117.
- [15] Badylak S F, Freytes D O, Gilbert T W. Reprint of: extracellular matrix as a biological scaffold material: structure and function[J]. *Acta Biomater*, 2015,23:17-26.
- [16] Zhao P, Li X, Fang Q, et al. Surface modification of small intestine submucosa in tissue engineering[J]. *Regen Biomater*, 2020,7(4):339-348.
- [17] Brown B N, Freund J M, Han L, et al. Comparison of three methods for the derivation of a biologic scaffold composed of adipose tissue extracellular matrix[J]. *Tissue Eng Part C Methods*, 2011,17:411.
- [18] Brown B N, Badylak S B. Extracellular matrix as an inductive scaffold for functional tissue reconstruction[J]. *Transl Res*, 2014,163:268.
- [19] Łabuś W, Kawecki M, Glik J, et al. Own experience from the use of a substitute of an allogeneic acellular dermal matrix revitalized with in vitro cultured skin cells in clinical practice[J]. *Pol Przegląd Chir*, 2015,10:929.
- [20] Vorotnikova E, McIntosh D, Dewilde A, et al. Extracellular matrix derived products modulate endothelial and progenitor cell migration and proliferation in vitro and stimulate regenerative healing in vivo[J]. *Matrix Biol*, 2010,29:690-700.
- [21] Barkan D, Green J E, Chambers A F. Extracellular matrix: A gatekeeper in the transition from dormancy to metastatic growth[J]. *Eur J Cancer*, 2010,46:1181-1188.
- [22] Łabuś W, Kawecki M, Nowak M. The role of tissue engineering in the treatment of burn wounds[J]. *Pol Przegląd Chir*, 2012,3:167-171.
- [23] Carson A E, Barker T H. Emerging concepts in engineering extracellular matrix variants for directing cell phenotype[J]. *Regen Med*, 2009,4:593-600.
- [24] Ott H C, Matthiesen T S, Goh S K, et al. Perfusion decellularized matrix: Using nature's platform to engineer a bioartificial heart[J]. *Nat Med*, 2008,14:213-221.
- [25] Uygun B E, Soto-Gutierrez A, Yagi H, et al. Organ reengineering through development of a transplantable recellularized liver graft using decellularized liver matrix[J]. *Nat Med*, 2010,16:814-820.
- [26] Livesey S A, Herndon D N, Hollyoak M A, et al. Transplanted acellular allograft dermal matrix Potential as a template for the reconstruction of viable dermis[J]. *Transplantation*, 1995,60:1-9.
- [27] Clark J M, Safford S H, Israel J M. Decellularized dermal grafting in cleft palate repair[J]. *Arch Facial Plast Surg*, 2003,5:40-44.
- [28] Wainwright D, Madden M, Luterman A. Clinical evaluation of an acellular allograft dermal matrix in full-thickness burns[J]. *Burn Care Rehabil*, 1996,17:124-136.
- [29] Schwannholt C, Greenhalgh D G, Warden G D. A comparison of full-thickness versus split-thickness autografts for the coverage of deep palm burns in the very young pediatric patient[J]. *Burn Care Rehabil*, 1993,14:29-33.
- [30] Pérez M L, Castells-Sala C, López-Chicón P, et al. Fast protocol for the processing of split-thickness skin into decellularized human dermal matrix[J]. *Tissue Cell*, 2021,72:101572.
- [31] Duncan D I. Correction of implant rippling using allograft dermis[J]. *Aesthet Surg J*, 2001,21:81-84.
- [32] Baxter R A. Intracapsular allogenic dermal grafts for breast implant-related problems[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2003,112:1692-6.
- [33] Breuing K H, Warren S M. Immediate bilateral breast reconstruction with implants and inferolateral AlloDerm slings[J]. *Ann Plast Surg*, 2005,55:232-9.
- [34] Bindingavele V, Gaon M, Ota K S, et al. Use of acellular cadaveric dermis and tissue expansion in postmastectomy breast reconstruction[J]. *Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2007,60:1214-1218.
- [35] Bohac M, Varga I, Polak S, et al. Delayed post mastectomy breast reconstructions with allogeneic acellular dermal matrix prepared by a new decellularization method[J]. *Cell Tissue Bank*, 2018,19:61-68.
- [36] Jazayeri L, Gurtner G C. Technology innovation in plastic surgery[J]. *Neligan Principles*, 2018,1:638-648.
- [37] Gwak H, Jeon Y W, Lim S T, et al. Volume replacement with diced acellular dermal matrix in oncoplastic breast-conserving surgery: a prospective single-center experience[J]. *World J Surg Oncol*, 2020,18:60.
- [38] Lin S, He Y J, Tao M H, et al. Fabrication and evaluation of an optimized xenogenic decellularized costal cartilage graft: preclinical studies of a novel biocompatible prosthesis for rhinoplasty[J]. *Regen Biomater*, 2021,8(6):rbab052.
- [39] Lee S S, Wu Y C, Huang S H, et al. A novel 3D histotypic cartilage construct engineered by supercritical carbon dioxide decellularized porcine nasal cartilage graft and chondrocytes exhibited chondrogenic capability in vitro[J]. *Int J Med Sci*, 2021,18(10):2217-2227.
- [40] Lsaeva E V, Beketov E E, Arguchinskaya N V, et al. Decellularized extracellular matrix for tissue engineering (review)[J]. *Sovrem Tekhnologii Med*, 2022,14(3):57-68.
- [41] Su X, Wang T, Guo S. Applications of 3D printed bone tissue engineering scaffolds in the stem cell field[J]. *Regenerative Therapy*, 2021,16:63-67.
- [42] Parmaksiz M, Elçin A E, Elçin Y M. Decellularized cell culture ECMs act as cell differentiation inducers[J]. *Stem Cell Rev Rep*, 2020,16(3):569-584.
- [43] Liu C, Pei M, Li C, et al. Decellularized extracellular matrix mediates tissue construction and regeneration[J]. *Front Med*, 2022,16(1):56-82.

[收稿日期]2023-11-23

本文引用格式: 李静, 陈华. 脱细胞基质材料在整形外科中的应用[J]. 中国美容医学, 2025,34(6):183-186.