

·综述·

水凝胶保护腹腔开放创面的研究进展

陈灿文 陈康 李泽 蒋运罡 瞿桂文 刘野 李思澄 黄金健 吴秀文 任建安
东部战区总医院普通外科 全军普通外科研究所 南京大学医学院附属金陵医院,
南京 210002

通信作者:任建安,Email:jiananr@nju.edu.cn

【摘要】 腹腔开放创面的保护是创伤外科的重要课题。早期如何促进肠管间肉芽组织填充,减少肠壁磨损,从而避免肠空气瘘的发生,成为腹腔开放后创面保护的关键性技术难题。水凝胶是一种含水量高,具有优异生物相容性的仿细胞外基质材料,被广泛应用于医疗卫生领域。本文综述了天然水凝胶生物材料在腹腔开放创面保护中的应用进展,为后续腹腔开放创面早期保护材料的研制提供参考。

【关键词】 腹腔开放; 创面保护; 肠空气瘘; 仿生腹膜; 水凝胶

基金项目:国家自然科学基金(82270595);江苏省重点研发计划(BE2022823);江苏省医学创新中心(CXZX202217)

Advances of hydrogel in early protection of exposed intra-abdominal organs after open abdomen

Chen Canwen, Chen Kang, Li Ze, Jiang Yungang, Qu Guiwen, Liu Ye, Li Sicheng, Huang Jinjian, Wu Xiuwen, Ren Jian'an

Research Institute of General Surgery, Affiliated Jinling Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210002, China

Corresponding author: Ren Jian'an, Email: jiananr@nju.edu.cn

【Abstract】 The protection of open abdomen (OA) wound is a significant subject in the field of trauma surgery. The key technical challenge in the early stage of OA wound management involves promoting granulation tissue filling between intestinal segments, reducing intestinal wall abrasion, and preventing the development of enteroatmospheric fistulas (EAF). Hydrogels, characterized by their high water content and exceptional biocompatibility, serve as extracellular matrix-mimicking materials, and are extensively employed in various medical and healthcare applications. In this review, we discuss the application of hydrogel developed by natural biomaterials in OA wounds protection, taking into consideration the unique pathophysiological characteristics of the OA wounds. This review aims to provide valuable insights for the development of hydrogel materials for early-stage OA wound protection in future research.

【Key words】 Open abdomen; Wound protection; Enteroatmospheric fistula; Biomimetic peritoneal material; Hydrogel

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (82270595), Key Research and Development Program of Jiangsu Province (BE2022823); Jiangsu Provincial Medical Innovation Center (CXZX202217)

腹腔开放疗法是救治严重腹腔感染、腹部创伤以及腹腔高压的有效手段,是损伤控制外科的突破性进展^[1]。但

是目前,各种因素导致腹部切口裂开,从而造成被动腹腔开放的患者更为多见。无论是被动或主动腹腔开放,裸露的

DOI: 10.3760/cma.j.cn441530-441530-20230613-00202

收稿日期 2023-06-13 本文编辑 万晓梅

引用本文:陈灿文,陈康,李泽,等.水凝胶保护腹腔开放创面的研究进展[J].中华胃肠外科杂志,2023,26(9):898-902. DOI: 10.3760/cma.j.cn441530-441530-20230613-00202.



内脏器官缺乏保护可能导致创面出血、感染和肠痿,亟需开展针对腹腔开放创面保护的理论与技术研究。

仿生腹膜治疗理念,即以新型生物材料对裸露的腹腔脏器提供类腹膜保护,是腹腔开放创面保护理论的核心思想^[2]。本文就仿生腹膜系列水凝胶的应用进展做一综述,为下一代腹腔开放创面早期保护材料的研发提供参考。

亲水性聚合物网络形成的水凝胶是动物身体的主要成分,构成了动物的大部分细胞、细胞外基质、组织和器官^[3]。基于水凝胶的组织修复策略不断涌现,但从临床应用的角度来看,水凝胶需要具有相应的功能才能实现保护和修复缺损组织的目标。这些目标功能可以通过水凝胶自身特性或改良水凝胶结构来实现。而与人工合成材料相比,天然材料来源广泛,成本低,生物相容性佳,避免了复杂且耗时的化学合成过程和恶劣合成环境的涉及。因此,本文从水凝胶功能设计和水凝胶结构设计两个方面进行阐述,并主要围绕基于天然材料的水凝胶制备及其在腹腔开放创面的应用展开。

一、水凝胶的功能设计

1. 抗菌:水凝胶应具备强大的抑菌杀菌能力,可有效控制细菌感染。壳聚糖(Chitosan, CS)由于其高密度带正电荷的氨基而被广泛用作天然抗菌聚合物来制备水凝胶。水凝胶的抗菌性能可通过增加 CS 浓度,提高比表面积,或提高电荷密度而增强^[4]。Liang 等^[5]通过季铵化改性提高壳聚糖分子电荷密度,制备了抗耐甲氧西林金黄色葡萄球菌的水凝胶。CS 的抗菌活性也可通过接枝疏水烷基来提升^[6]。此外,缺乏天然抗菌性能的天然多糖,如海藻酸盐、黄原胶和纤维素等,也可通过搭载抗菌剂银纳米颗粒、金纳米颗粒或抗菌肽来发挥对细菌的杀伤作用^[7-11]。值得一提的是,上述水凝胶具有广谱抗菌活性且不易产生耐药性,对减少抗生素用量具有重要价值。

2. 止血:生理止血与伤口愈合密切相关,控制出血有利于组织再生。水凝胶能及时止血,预防腹腔开放创面出血。天然止血聚合物,如壳聚糖、纤维素和阴离子多糖常用于止血凝胶的研发^[12]。壳聚糖是唯一具有阳离子形式的天然多糖,在与组织接触时,其氨基被质子化形成-NH³⁺基团。该基团的静电相互作用可增加血小板粘附,促进红细胞在受损部位的粘附和聚集,加速血栓的形成。另外,壳聚糖的止血性能可通过季铵盐改性增加带正电基团的数量,巯基改性增加基团与红细胞的相互作用或十二烷基改性增加基团的疏水性而提升^[6]。纤维素中羧基官能化的糖单元可以与血液中的 Fe³⁺结合,并通过其表面的羧基激活凝血因子 XII,进一步促进血小板聚集,加速止血^[13]。此外,阴离子多糖,如海藻酸盐和透明质酸,可通过表面的负电荷与凝血因子 XII 链上带正电荷的氨基酸相互作用,激活内源性凝血途径,从而加速凝血级联反应^[14]。

3. 抗消化:腹腔开放创面发生肠痿的风险很高,且一旦发生肠痿,消化液的腐蚀会导致水凝胶失去保护作用。抗消化是水凝胶保护腹腔开放创面的关键性能。天然材料

中,不可溶性膳食纤维无法被人体吸收且不易被肠道菌群发酵,主要包括木质素、纤维素、半纤维素和淀粉等。基于此,Huan 等^[15]通过甲基丙烯酸缩水甘油酯改性黄原胶研制了一种可注射抗消化水凝胶。进一步,Huang 等^[16]基于多巴胺偶联黄原胶制备了一种抗消化组织黏合剂,并阐明黄原胶分子诱导巨噬细胞 II 型极化,促进创面修复的分子机制。虽然关于木质素、纤维素的水凝胶也有不少报道,但這些水凝胶的抗消化性能几乎都没被关注。例如,木质素常被用来开发具有自修复和组织粘附特性的水凝胶,纤维素常被用来开发高强度、高韧性水凝胶,纤维素纳米晶也常被用作填充物来改善水凝胶的力学性能^[17-19]。可见抗消化水凝胶的研发及其生物医学应用面临很大的机遇和挑战。

4. 可注射:水凝胶在应用过程中不可避免地承受机械载荷和生物化学降解,丧失结构完整性,最终导致功能被弱化甚至损害。通过非共价相互作用(静电吸引力、配体-金属配位、氢键)、动态共价键(Diels-Alder 反应、希弗碱反应、硫醇-二硫键交换反应)或两者组合构建可逆的分子交联,研发自愈合可注射水凝胶可解决该问题^[20]。基于氨基糖苷类抗生素与阴离子多糖之间的静电相互作用可制备自愈合可喷雾水凝胶^[21]。另外,海藻酸盐、纤维素、透明质酸或黄原胶等可被氧化获得醛基,从而与明胶、壳聚糖及其衍生物等富含胺基结构的多糖在室温下通过希弗碱反应形成动态可逆的酰胺键,构建自愈合可注射水凝胶^[6,20,22]。尽管关于自愈合可注射水凝胶有很多报道,但除静电作用与希弗碱反应,其他方式要么涉及复杂的化学合成或非天然聚合物的参与,要么无法兼具可注射和自愈合性能^[23-24]。基于纯天然材料的可注射自修复凝胶仍有待开发。

5. 可剥离:水凝胶的使用在保护裸露创面,促进肉芽组织再生方面有重大贡献,但在换药时直接剥离对组织带来的二次损伤往往被忽略。因此,研究更加温和的水凝胶剥离策略意义重大。Gao 等^[25]介绍了一种通用性的光引发水凝胶剥离策略。通过紫外线(Ultraviolet, UV)调节水凝胶网络中 Fe³⁺的氧化还原状态,破坏水凝胶内聚网络从而触发剥离。Zhou 等^[26]基于 UV 诱导的可逆固液相转变对水凝胶网络进行可逆的重塑和破坏,实现按需应用及剥离。水凝胶网络的实时调节还可通过改变局部温度而触发。正常体温下,水凝胶与组织形成良好接触。当温度低于临界值时,内聚网络崩塌使水凝胶机械强度急剧下降,或者内聚网络增强使网络中分子与组织表面接触不良,从而实现无创分离^[27-29]。另外,还可通过添加溶液裂解水凝胶与组织表面形成的键合,实现水凝胶的快速无创剥离^[30]。与 UV 照射和改变温度相比,添加外源性溶液的剥离方式对组织的刺激更小。

二、水凝胶的结构设计

1. 各向异性结构:传统均质性水凝胶结构在促进组织修复时不可避免地引起腹腔内器官的粘连。异质性水凝胶是指水凝胶两侧存在截然不同的物理或化学性质,也称为各向异性或 Janus 水凝胶,为解决上述问题带来了希望。

Cui 等^[31]通过将含羧基水凝胶与阳离子寡糖进行梯度静电络合,形成了具有不对称黏附性能的 Janus 水凝胶。Liang 等^[32]受腹膜结构启发,基于溶剂交换策略制备了 Janus 多孔聚乙烯醇水凝胶。上述 Janus 水凝胶可在保护腹部创面的同时防止粘连,为研发治疗腹壁缺损和腹腔开放创面的水凝胶材料提供了重要的方向指引。另外,Janus 水凝胶也为腹腔开放创面的引流方式带来了新的思路。通过对同一基底表面亲疏水改性,使两侧具有不同的润湿性,从而使渗液从疏水侧往亲水侧进行单向液体传输,为腹腔内渗液或渗血的有效管理提供了可行的解决方案^[33-34]。

2. 静电纺丝水凝胶结构:腹腔开放创面会对水凝胶产生巨大的压力或机械应力,传统的水凝胶结构往往缺乏足够的力学强度。将静电纺丝与水凝胶制备技术相结合,可从结构上提高水凝胶材料的力学强度^[35]。例如,Cui 等^[36]通过气喷静电纺丝技术制备了核壳纳米纤维,外层纤维蛋白原可在凝血酶和 Ca^{2+} 的激活下形成纤维蛋白胶。内层纤维提供了足够的力学支撑,外层纤维蛋白胶提供促进成纤维细胞迁移和增殖的生物活性表面,使该静电纺丝水凝胶可为腹腔开放创面提供有效保护。另外,光控交联的 GelMA 凝胶, γ -聚谷氨酸/人参皂苷 Rg3 水凝胶等都可显著改善静电纺丝支架与组织之间的相互作用,促进损伤组织的再生^[37-39]。总体而言,水凝胶与静电纺丝的结合可实现各自结构和功能上的互补。

3. 双层水凝胶结构:腹腔开放后肠空气瘘的发生为患者的治疗带来重大挑战。封堵肠空气瘘,重建消化道的连续性,减少肠液的丢失,避免肠液对创面的污染,促进肠内营养和肠道稳态的恢复是治疗的重点。与单层水凝胶相比,双层水凝胶因模块化设计在结构上具有更丰富的可调性,在研发适配肠管扭曲形态的水凝胶中有独特优势。Xu 等^[40]在国际上率先利用 3D 打印热塑性聚氨酯“肠瘘支架”封肠空气瘘,显著减少患者肠道内容物的流出,促进患者康复。进一步,Qu 等^[41]通过预编程设计模拟肠道的扭曲形态,再诱导水凝胶的差异体积变化改变曲率,以实现缺损部位的自适应性封堵,为封堵肠空气瘘提供了新的策略。此外,还可通过设计图案化水凝胶,或者通过添加温敏凝胶组分,实现不同方式下对水凝胶结构的调节^[42-43]。但大部分双层结构水凝胶都缺乏生物医学应用的探索,结合工程技术解决临床问题的医工交叉前沿技术还有待开发^[44-45]。

4. 水凝胶或网片复合结构:聚丙烯(Polypropylene, PP)等网片具有坚固的机械性能,可限制腹腔脏器的膨出,但其高刚度的粗糙表面同时会磨损肠管,导致肠管表面发生炎症、出血甚至破裂。为了改善网片的组织相容性,Faulk 等^[46]采用预沉积的方法将异种(猪)脱细胞真皮基质水凝胶涂布于 PP 网片表面以减轻磨损。Deng 等^[47]将壳聚糖或透明质酸水凝胶涂布于 PP 表面,可显著改善 PP 对腹腔开放的疗效。该研究也拓展了水凝胶或网片复合材料(hydrogel mesh composites, HMC)的应用。另外,Serafim 等^[48]将携带

高浓度生长因子的 PRP 作为水凝胶涂层的预处理,以刺激细胞相互作用,促进组织愈合。Qiao 等^[49]利用水凝胶为 PP 提供抗菌、抗氧化功能的表面。最近,Gao 等^[50]指出,水凝胶与网片之间通过拓扑纠缠的方式进行组合,可使 HMC 保留外科补片属性的同时吸收了水凝胶的属性。在此理论基础上,通过集成不同功能的水凝胶,可以制备出满足各种外科需求的 HMC,例如抗菌、止血、抗溶胀、组织黏附等,在腹腔开放创面修复中有很大的应用前景和临床转化价值。

三、结语

研制高性能水凝胶是实现腹腔开放创面的早期保护的主要研究方向。基于腹腔开放创面极易并发的出血、感染和瘘,水凝胶需满足一定的设计标准,如具备控制创面出血和细菌感染的基础性能,对抗消化液腐蚀的自我保护性能,可注射、可剥离的微创应用性能。在水凝胶分子网络设计时应尽可能地实现多功能。另外,也可通过对水凝胶结构的改良优化水凝胶易粘连、强度低、引流不足和空间自适应性差的问题。

尽管水凝胶的研发技术在不断突破,但目前关注于腹腔开放创面保护的研究报道仍较少。我们认为,相较于普通体表伤口的处理,腹腔开放创面的保护与治疗更具有复杂性,相关临床患者的救治策略和手段亟需突破。希望在研究者们共同努力下,仿生腹膜治疗理念能够发扬光大,仿生腹膜研究能够不断取得新进展。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 中华医学会外科学分会外科感染与重症医学学组 中国医师协会外科医师分会肠瘘专业委员会. 腹腔开放疗法中国专家共识(2023 版)[J]. 中华胃肠外科杂志, 2023, 23(6): 207-214. DOI:10.3760/cma.j.cn441530-20221220-00532.
- [2] 任建安. 腹腔开放创面的早期保护[J]. 医学研究生学报, 2018, 31(7): 688-691. DOI: 10.16571/j. cnki. 1008-8199. 2018.07.004.
- [3] Choi SW, Guan W, Chung K. Basic principles of hydrogel-based tissue transformation technologies and their applications[J]. Cell, 2021, 184(16): 4115-4136. DOI: 10.1016/j.cell.2021.07.009.
- [4] Chen C, Liu Y, Wang H, et al. Multifunctional chitosan inverse opal particles for wound healing[J]. ACS Nano, 2018, 12(10): 10493-10500. DOI: 10.1021/acsnano. 8b06237.
- [5] Liang Y, Li Z, Huang Y, et al. Dual-dynamic-bond cross-linked antibacterial adhesive hydrogel sealants with on-demand removability for post-wound-closure and infected wound healing[J]. ACS Nano, 2021, 15(4): 7078-7093. DOI: 10.1021/acsnano.1c00204.
- [6] Chen G, Yu Y, Wu X, et al. Bioinspired multifunctional hybrid hydrogel promotes wound healing[J]. Adv Funct Mater, 2018, 28(33): 1801386. DOI: 10.1002/adfm.201801386.
- [7] Huang J, Ren J, Chen G, et al. Evaluation of the xanthan-based film incorporated with silver nanoparticles for potential application in the nonhealing infectious

- wound[J]. *J Nanomater*, 2017: 6802397. DOI: 10.1155/2017/6802397.
- [8] Saravanan R, Holdbrook DA, Petrlova J, et al. Structural basis for endotoxin neutralisation and anti-inflammatory activity of thrombin-derived C-terminal peptides[J]. *Nat Commun*, 2018, 9(1): 2762. DOI: 10.1038/s41467-018-05242-0.
 - [9] Puthia M, Butrym M, Petrlova J, et al. A dual-action peptide-containing hydrogel targets wound infection and inflammation[J]. *Sci Transl Med*, 2020, 12(524). DOI: 10.1126/scitranslmed.aax6601.
 - [10] Wei S, Xu P, Yao Z, et al. A composite hydrogel with co-delivery of antimicrobial peptides and platelet-rich plasma to enhance healing of infected wounds in diabetes [J]. *Acta Biomater*, 2021, 124: 205-218. DOI: 10.1016/j.actbio.2021.01.046.
 - [11] Wu S, Yang Y, Wang S, et al. Dextran and peptide-based pH-sensitive hydrogel boosts healing process in multi-drug-resistant bacteria-infected wounds[J]. *Carbohydr Polym*, 2022, 278: 118994. DOI: 10.1016/j.carbpol.2021.118994.
 - [12] Guo B, Dong R, Liang Y, et al. Haemostatic materials for wound healing applications[J]. *Nat Rev Chem*, 2021, 5(11): 773-791. DOI: 10.1038/s41570-021-00323-z.
 - [13] Wang C, Niu H, Ma X, et al. Bioinspired, injectable, quaternized hydroxyethyl cellulose composite hydrogel coordinated by mesocellular silica foam for rapid, noncompressible hemostasis and wound healing[J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2019, 11(38): 34595-34608. DOI: 10.1021/acsami.9b08799.
 - [15] Huang J, Li Z, Hu Q, et al. Bioinspired anti-digestive hydrogels selected by a simulated gut microfluidic chip for closing gastrointestinal fistula[J]. *iScience*, 2018, 8: 40-48. DOI: 10.1016/j.isci.2018.09.011.
 - [16] Huang J, Jiang Y, Liu Y, et al. Marine-inspired molecular mimicry generates a drug-free, but immunogenic hydrogel adhesive protecting surgical anastomosis[J]. *BioactMater*, 2021, 6(3): 770-782. DOI: 10.1016/j.bioactmat.2020.09.010.
 - [17] Afewerki S, Wang X, Ruiz-Esparza GU, et al. Combined catalysis for engineering bioinspired, lignin-based, long-lasting, adhesive, self-mending, antimicrobial hydrogels[J]. *ACS Nano*, 2020, 14(12): 17004-17017. DOI: 10.1021/acs-nano.0c06346.
 - [18] Guan QF, Han ZM, Zhu Y, et al. Bio-inspired lotus-fiber-like spiral hydrogel bacterial cellulose fibers[J]. *Nano Lett*, 2021, 21(2): 952-958. DOI: 10.1021/acs.nanolett.0c03707.
 - [19] Chen C, Wang Y, Zhang D, et al. Natural polysaccharide based complex drug delivery system from microfluidic electrospray for wound healing[J]. *Appl Mater Today*, 2021, 23: 101000. DOI: 10.1016/j.apmt.2021.101000.
 - [20] Bertsch P, Diba M, Mooney DJ, et al. Self-healing injectable hydrogels for tissue regeneration[J]. *Chem Rev*, 2023, 123(2): 834-873. DOI: 10.1021/acs.chemrev.2c00179.
 - [21] Li L, Cheng X, Huang Q, et al. Sprayable antibacterial hydrogels by simply mixing of aminoglycoside antibiotics and cellulose nanocrystals for the treatment of infected wounds[J]. *Adv Healthc Mater*, 2022, 11(20): e2201286. DOI: 10.1002/adhm.202201286.
 - [22] Khare E, Holten-Andersen N, Buehler MJ. Transition-metal coordinate bonds for bioinspired macromolecules with tunable mechanical properties[J]. *Nat Rev Mater*, 2021, 6(5): 421-436. DOI: 10.1038/s41578-020-00270-z.
 - [23] Li L, Yan B, Yang J, et al. Injectable self-healing hydrogel with antimicrobial and antifouling properties[J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2017, 9(11): 9221-9225. DOI: 10.1021/acsami.6b16192.
 - [24] Huang J, Deng Y, Ren J, et al. Novel in situ forming hydrogel based on xanthan and chitosan re-gelifying in liquids for local drug delivery[J]. *Carbohydr Polym*, 2018, 186: 54-63. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.01.025.
 - [25] Gao Y, Wu K, Suo Z. Photodetachable adhesion[J]. *Adv Mater*, 2019, 31(6): e1806948. DOI: 10.1002/adma.201806948.
 - [26] Zhou Y, Chen M, Ban Q, et al. Light-switchable polymer adhesive based on photoinduced reversible solid-to-liquid transitions[J]. *ACS Macro Lett*, 2019, 8(8): 968-972. DOI: 10.1021/acsmacrolett.9b00459.
 - [27] Chen X, Yuk H, Wu J, et al. Instant tough bioadhesive with triggerable benign detachment[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2020, 117(27): 15497-15503. DOI: 10.1073/pnas.2006389117.
 - [28] Zhao Y, Wu Y, Wang L, et al. Bio-inspired reversible underwater adhesive[J]. *Nat Commun*, 2017, 8(1): 2218. DOI: 10.1038/s41467-017-02387-2.
 - [29] Shi X, Wu P. A smart patch with on-demand detachable adhesion for bioelectronics[J]. *Small*, 2021, 17(26): e2101220. DOI: 10.1002/sml.202101220.
 - [30] Jiang Y, Zhang X, Zhang W, et al. Infant skin friendly adhesive hydrogel patch activated at body temperature for bioelectronics securing and diabetic wound healing[J]. *ACS Nano*, 2022, 16(6): 8662-8676. DOI: 10.1021/acsnano.2c00662.
 - [31] Cui C, Wu T, Chen X, et al. A janus hydrogel wet adhesive for internal tissue repair and anti-postoperative adhesion [J]. *Adv Funct Mater*, 2020, 30(49): 2005689. DOI: 10.1002/adfm.202005689.
 - [32] Liang W, He W, Huang R, et al. Peritoneum-inspired janus porous hydrogel with anti-deformation, anti-adhesion, and pro-healing characteristics for abdominal wall defect treatment[J]. *Adv Mater*, 2022, 34(15): e2108992. DOI: 10.1002/adma.202108992.
 - [33] Xu B, Li A, Wang R, et al. Elastic janus film for wound dressings: unidirectional biofluid transport and effectively promoting wound healing[J]. *Adv Funct Mater*, 2021, 31(41): 2105265. DOI: 10.1002/adfm.202105265.
 - [34] Zhang H, Chen C, Zhang H, et al. Janus medical sponge dressings with anisotropic wettability for wound healing [J]. *Appl Mater Today*, 2021, 23: 101068. DOI: 10.1016/j.apmt.2021.101068.
 - [35] Li Y, Wang J, Wang Y, et al. Advanced electrospun hydrogel fibers for wound healing[J]. *Compos B Eng*, 2021, 223: 109101. DOI: 10.1016/j.compositesb.2021.109101.
 - [36] Cui T, Yu J, Li Q, et al. Large-scale fabrication of robust artificial skins from a biodegradable sealant-loaded nanofiber scaffold to skin tissue via microfluidic blow-spinning[J]. *Adv Mater*, 2020, 32(32): e2000982. DOI: 10.1002/adma.202000982.
 - [37] Sun X, Lang Q, Zhang H, et al. Electrospun photocrosslinkable hydrogel fibrous scaffolds for rapid in vivo vascularized skin flap regeneration[J]. *Adv Funct Mater*, 2017, 27(2): 1604617. DOI: 10.1002/adfm.201604617.

- [38] Chen C, Tang J, Gu Y, et al. Bioinspired hydrogel electrospun fibers for spinal cord regeneration[J]. *Adv Funct Mater*, 2019, 29(4): 1806899. DOI: 10.1002/adfm.201806899.
- [39] Xu T, Yang R, Ma X, et al. Bionic poly(γ -glutamic acid) electrospun fibrous scaffolds for preventing hypertrophic scars[J]. *Adv Healthc Mater*, 2019, 8(13): e1900123. DOI: 10.1002/adhm.201900123.
- [40] Xu ZY, Ren HJ, Huang JJ, et al. Application of a 3D-printed "fistula stent" in plugging enteroatmospheric fistula with open abdomen: a case report[J]. *World J Gastroenterol*, 2019, 25(14): 1775-1782. DOI: 10.3748/wjg.v25.i14.1775.
- [41] Qu G, Huang J, Li Z, et al. 4D-printed bilayer hydrogel with adjustable bending degree for enteroatmospheric fistula closure[J]. *Mater Today Bio*, 2022, 16: 100363. DOI: 10.1016/j.mtbio.2022.100363.
- [42] Kim SH, Seo YB, Yeon Y K, et al. 4D-bioprinted silk hydrogels for tissue engineering[J]. *Biomaterials*, 2020, 260: 120281. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2020.120281.
- [43] Zhang Z, Chen Z, Wang Y, et al. Bioinspired bilayer structural color hydrogel actuator with multienvironment responsiveness and survivability[J]. *Small Methods*, 2019, 3(12): 1900519. DOI: 10.1002/smt.201900519.
- [44] Deng H, Zhang C, Sattari K, et al. 4D printing elastic composites for strain-tailored multistable shape morphing[J]. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2021, 13(11): 12719-12725. DOI: 10.1021/acsami.0c17618.
- [45] Wu CY, Chen JR, Su CK. 4D-printed pH sensing claw[J]. *Anal Chim Acta*, 2022, 1204: 339733. DOI: 10.1016/j.aca.2022.339733.
- [46] Faulk DM, Londono R, Wolf MT, et al. ECM hydrogel coating mitigates the chronic inflammatory response to polypropylene mesh[J]. *Biomaterials*, 2014, 35(30): 8585-8595. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2014.06.057.
- [47] Deng Y, Ren J, Chen G, et al. Injectable in situ cross-linking chitosan-hyaluronic acid based hydrogels for abdominal tissue regeneration[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 2699. DOI: 10.1038/s41598-017-02962-z.
- [48] Serafim A, Cecoltan S, Olăreț E, et al. Bioinspired hydrogel coating based on methacryloyl gelatin bioactivates polypropylene meshes for abdominal wall repair [J]. *Polymers (Basel)*, 2020, 12(8). DOI: 10.3390/polym12081677.
- [49] Qiao Y, Zhang Q, Wang Q, et al. Filament-anchored hydrogel layer on polypropylene hernia mesh with robust anti-inflammatory effects[J]. *Acta Biomater*, 2021, 128: 277-290. DOI: 10.1016/j.actbio.2021.04.013.
- [50] Gao Y, Han X, Chen J, et al. Hydrogel-mesh composite for wound closure[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2021, 118(28). DOI: 10.1073/pnas.2103457118.

·读者·作者·编者·

本刊“胃肠新视野”栏目征稿启事

“胃肠新视野”栏目为本刊特设的视频栏目。视频内容通过“e-Surgery 伊索云®/医路有伴®平台”为我刊设置的“专区”呈现,大家可通过手机进行观看。同时,视频内容的相关文字内容(包括手术方式的介绍、新技术的创新背景、病例介绍、手术相关并发症的处理要点等)会在相应的杂志上刊登并附二维码。诚挚欢迎各位同道积极投稿,具体投稿要求如下。

1. 内容:主要为手术视频,侧重展示胃肠新技术、新术式以及术中并发症的处理等;并附相应的文字介绍(1000字左右)。

2. 视频:视频时长不超过9 min,视频附带解说,大小<350 MB,格式:MPEG、MOV、MP4、AVI或WMV。请注明解剖部位;无背景音乐,避免“花俏”转场。已发行的具有著作权的视频资料DVD不宜。

3. 本栏目的视频及文字内容请以“胃肠新视野栏目投稿”为主题,发至我刊Email:china_gisj@vip.163.com。