

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.02.012

静电纺丝制备聚己内酯载药纤维工艺参数研究

陈艳,施晓松,徐超,高扬,李潭

(西安科技大学机械工程学院,西安 710054)

摘要: 选用聚己内酯作为载体材料、5-氟尿嘧啶作为承载药物,研究了静电纺丝过程中纺丝液浓度、纺丝电压及收集距离对纤维直径的影响,对制备的聚己内酯载药纤维膜进行元素检测分析及力学性能测试,通过体外药物释放实验,验证了聚己内酯载药纤维膜药物控释的效果。结果表明,随着纺丝液的浓度和收集距离增加,纤维的平均直径增大;随着纺丝电压增加,纤维的平均直径减小。通过元素检测,验证了聚己内酯纤维膜内5-氟尿嘧啶的存在。在纺丝液浓度0.4 g/mL、纺丝电压10 kV、收集距离20 cm、载药量0.8 g的情况下,聚己内酯载药纤维膜纤维平均直径最小,达到13.92 μm ,对应的拉伸强度为2.88 MPa。使用磷酸缓冲盐溶液模拟体液,在温度 $(37 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 下进行了体外释药实验,结果表明,该纤维膜在1000 h内,可以实现药物的控制释放。为确定静电纺丝法制备聚己内酯载药纤维膜工艺参数提供了有益借鉴,并为下一步优化工艺参数奠定了基础。

关键词: 聚己内酯; 静电纺丝; 药物控释; 工艺参数

中图分类号: TB324.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)02-0067-07

Study on Process Parameters of Polycaprolactone Drug-loaded Fiber Prepared by Electrospinning

Chen Yan, Shi Xiaosong, Xu Chao, Gao Yang, Li Tan

(College of Mechanical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Polycaprolactone was used as the carrier material and 5-fluorouracil as the drug-loaded, and the influences of spinning solution concentration, voltage and collection distance on fiber diameter were studied in the electrospinning process. The elements detection analysis and the mechanical performance test of the prepared polycaprolactone drug-loaded fiber membrane were done. The drug release effect of polycaprolactone drug-loaded fiber membrane was verified by drug release experiment in vitro. The results show that the increase of the concentration and the collection distance of the spinning solution can increase the average fiber diameter, the increase of spinning voltage can decrease the average fiber diameter. Through element detection, the presence of 5-fluorouracil in the polycaprolactone fiber membrane is verified. When the spinning solution concentration is 0.4 g/mL, the voltage is 10 kV, the collection distance is 20 cm, and the drug loading is 0.8 g, the minimum average fiber diameter of the polycaprolactone drug-loaded fiber membrane is 13.92 μm , and the corresponding tensile strength is 2.88 MPa. Using the phosphate buffer solution to simulate body fluids, in vitro drug release experiments were carried out at $(37 \pm 0.5)^\circ\text{C}$. The results show that the fiber membrane can achieve controlled drug release within 1000 h. The useful references are provides for determining the process parameters of preparing polycaprolactone drug-loaded fiber membranes by electrospinning, and the foundation is laid for the next step to optimize process parameters.

Keywords: polycaprolactone; electrospinning; drug controlled release; process parameter

传统的药物治疗中,患者通过周期性口服或注射药物实现对疾病的控制。但是在此过程中,体内的药物浓度处于波动状态,会影响药物的利用率;

并且药物在全身循环过程中,会对机体健康产生副作用。对于慢性疾病患者而言,长期周期性的给药会影响治疗顺应性,影响治疗效果。因此,设计开发

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51605379),陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2019JQ-804)

通信作者: 高扬,工学博士,讲师,主要从事结构设计及快速成型方向的研究工作, E-mail: gaoyangyang@xust.edu.cn

收稿日期: 2020-11-12

引用格式: 陈艳,施晓松,徐超,等. 静电纺丝制备聚己内酯载药纤维工艺参数研究[J]. 工程塑料应用,2021,49(2): 67-73.

Chen Yan, Shi Xiaosong, Xu Chao, et al. Study on process parameters of polycaprolactone drug-loaded fiber prepared by electrospinning[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(2): 67-73.

新型药物控释系统,实现药物在病灶附近长期且稳定的控制释放成为研究的热点之一^[1-5]。

研究者们研制了微泵^[6]、微胶囊^[7]、微针^[8]等形式的药物载体埋植在病灶附近进行药物释放。其中生物相容性良好的高分子聚合物是重要的一类载药基体材料。药物常通过混合或承载的形式制备成聚合物给药系统,通过药物扩散和载体材料降解实现药物的控制释放^[9]。常见的药物控释载体材料有聚乳酸^[10]、聚己内酯^[11]和壳聚糖^[12]等。聚己内酯具有良好的生物相容性和降解性,可作为载体材料以微球^[13]、纳米粒子^[14]、支架^[15]等多种形式承载药物,广泛应用于药物控释中。

使用聚己内酯作为载体材料制备的药物控释系统常见的成型方式有3D打印^[16]、热压熔融和静电纺丝^[17]等。3D打印制造时间短,但定制化成本较高;热压熔融成型易混入杂质,影响药物释放效果,并且以上述两种加工方式成型后植入人体内存在异物感^[18]。静电纺丝方法具有设备简单、操作容易、成本低廉并且能够连续制备且植入人体内不存在异物感等优点^[19]。静电纺丝在以聚乳酸^[20]和壳聚糖^[21]及聚己内酯与其他聚合物共混^[22]制备载药纤维膜上有一定的研究,使用聚己内酯单一材料制备的载药纤维膜大多是作为构建支架的材料^[23],对于用作植入人体病灶部位治疗疾病的聚己内酯载药纤维膜,目前尚未见相关报道。并且聚己内酯载药纤维膜成型过程中影响因素众多,尚未形成较成熟的制备工艺。

笔者以可生物降解的聚己内酯作为载体材料,选择临床常用药物5-氟尿嘧啶作为释放药物,使用静电纺丝制备聚己内酯载药纤维膜。研究了纺丝液浓度、纺丝电压以及收集距离对纤维直径的影响,测试了载药纤维膜的拉伸性能和体外释药效果,为确定静电纺丝法制备聚己内酯载药纤维膜工艺参数提供了有益借鉴,并为下一步优化工艺参数奠定了基础。

1 实验部分

1.1 主要原材料

聚己内酯;PCL300C,相对分子量为30 000,深圳光华伟业股份有限公司;

5-氟尿嘧啶:纯度为99.9%,上海神峰生物科技有限公司;

二氯甲烷:纯度为99.5%,天津市富宇精细化工有限公司。

1.2 主要仪器与设备

磁力搅拌器:85-2型,江苏金坛荣华仪器制造有限公司;

电子分析天平:SQP型,称量精度为0.000 1 g,赛多利斯科学仪器有限公司;

静电纺丝设备:SS-3556H型,北京新锐佰纳科技有限公司;

紫外分光光度计:UV759型,上海佑科仪器仪表有限公司;

电子万能试验机:WDW-50型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):SIGMA 300型,德国卡尔蔡司公司;

能量色散X射线光谱(EDX)仪:DX1880BS型,津工仪器科技(苏州)有限公司。

1.3 聚己内酯载药纤维膜的制备

将一定量的聚己内酯和5-氟尿嘧啶放入锥形瓶中,在锥形瓶中加入有机溶剂二氯甲烷,在室温条件下,置于磁力搅拌器上搅拌20~30 min,充分溶解混合均匀后,形成纺丝液。使用一次性无菌注射器吸取5 mL纺丝液,安装型号为20G的纺丝针,夹持在注射泵上,设定纺丝液推注速度为1.9 mm/min,给定纺丝液浓度、纺丝电压及收集距离,进行静电纺丝制成聚己内酯载药纤维膜。

1.4 性能测试

(1) 聚己内酯载药纤维膜元素检测。

将纤维膜进行干燥处理,使用EDX仪对纤维膜进行面扫描检测,借助于分析试样发出的元素特征X射线波长和强度实现检测,根据波长的不同测定所含的元素,对比不同测定试样中元素的相对含量。

(2) 力学性能检测。

参照ASTM D-638-2014,将实验得到的载药纤维膜切割成尺寸为3 cm×10 cm的矩形,通过万能试验机进行拉伸测试,得到纤维膜的载荷位移曲线及应力-应变曲线,最终获得聚己内酯载药纤维膜的拉伸强度及屈服强度。

(3) 释药性能检测。

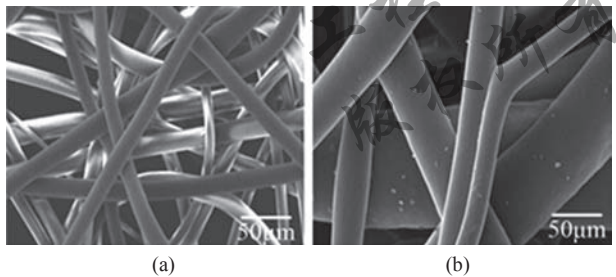
在温度(37±0.5)℃下,采用紫外分光光度计,在5-氟尿嘧啶的特征吸收峰266 nm波长处测定5-氟尿嘧啶/磷酸盐缓冲溶液的吸光度,绘制药物标准曲线,得到药物标准曲线方程。测量不同时间点载药纤维膜在磷酸缓冲盐溶液中的吸光度,并根

据药物标准曲线方程计算出对应的药物浓度,绘制5-氟尿嘧啶体外释放曲线。

2 结果与讨论

2.1 元素检测分析

在纺丝液浓度为0.6 g/mL、纺丝电压为10 kV和收集距离为20 cm条件下,制备聚己内酯纤维膜,在5-氟尿嘧啶为0.8 g、纺丝液浓度为0.6 g/mL、纺丝电压为10 kV和收集距离为20 cm条件下,制备聚己内酯载药纤维膜。首先使用SEM观察两种纤维膜形貌,聚己内酯纤维膜和聚己内酯载药纤维膜的SEM照片如图1所示。由图1可以看出,聚己内酯纤维膜纤维表面光滑,而聚己内酯载药纤维膜表面有5-氟尿嘧啶的颗粒存在。分别对聚己内酯纤维膜和聚己内酯载药纤维膜进行元素检测分析,结果列于表1和表2。由表1可以看出,聚己内酯纤维膜中检测出C、O两种元素,其中C的质量分数为75.45%、O为24.55%。由表2可以看出,聚己内酯载药纤维膜中检测出C、O、N、F四种元素,其中N的质量分数为1.47%,F为2.52%,N、F是药物5-氟尿嘧啶含有的特有元素,从而证明聚己内酯载药纤维膜含有药物5-氟尿嘧啶。



a—聚己内酯纤维膜;b—聚己内酯载药纤维膜
图1 聚己内酯纤维膜和聚己内酯载药纤维膜的SEM照片

表1 聚己内酯纤维膜元素检测结果

项目	元素	
	C	O
质量分数/%	75.45	24.55

表2 聚己内酯载药纤维膜元素检测结果

项目	元素			
	C	O	N	F
质量分数/%	58.70	37.42	1.37	2.52

2.2 工艺参数对载药纤维膜直径影响

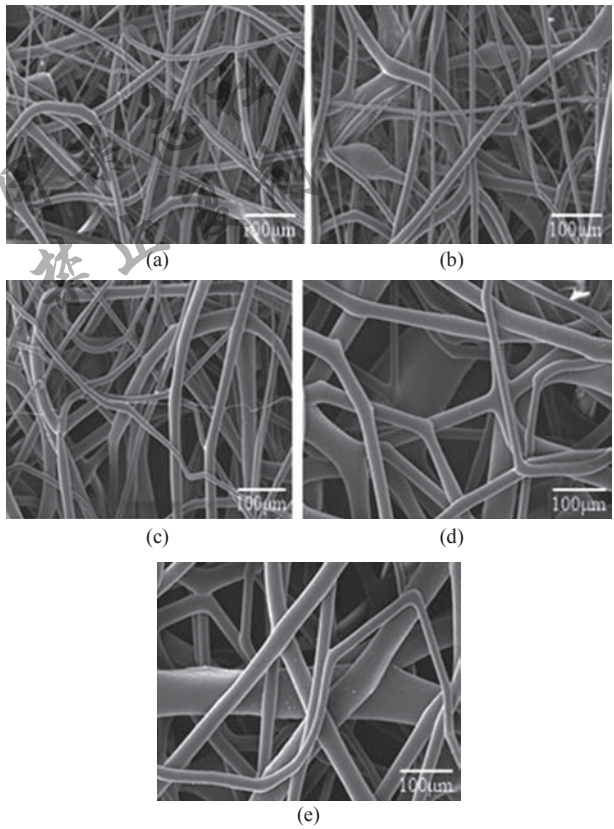
根据药物溶出特性,纤维直径越小,比表面积越大,越有利于药物的溶出^[24]。为了尽可能地得到直径较小的纤维,通过改变工艺参数进行实验。前期大量基础性实验结果表明,纺丝液浓度、电压以及收集距离均会对纤维直径产生影响,因此通过改变纺丝液浓度、电压以及收集距离,对静电纺丝制备聚

己内酯载药纤维膜进行单因素工艺实验研究。

(1) 纺丝液浓度对载药纤维直径的影响。

实验研究发现,当纺丝液浓度小于0.4 g/mL时,纺丝液的黏度较低,分子链的缠结不充分,在外加电场的作用下,分子链之间相互分离,使其不能拉伸成纤维;当纺丝液黏度大于0.8 g/mL时,纺丝液的黏度过大,纺丝液在喷口处由于溶剂量少而易凝结,造成不可纺。因此在纺丝液浓度为0.4~0.8 g/mL的范围内,研究了不同纺丝液浓度对载药纤维直径的影响。

当5-氟尿嘧啶为0.8 g、纺丝电压为10 kV和收集距离为20 cm时,不同纺丝液浓度下聚己内酯载药纤维膜的SEM照片如图2所示。



纺丝液浓度:a—0.4 g/mL;b—0.5 g/mL;c—0.6 g/mL;
d—0.7 g/mL;e—0.8 g/mL

图2 不同浓度纺丝液下聚己内酯载药纤维膜的SEM照片

从图2可以看出,纺丝液的浓度越大,纤维的直径越大。为了量化纺丝液浓度对纤维直径的影响,从SEM照片中随机选出30根纤维进行测量,计算出平均直径,纤维平均直径随纺丝液浓度变化的曲线如图3所示。从图3可以看出,在纺丝液浓度为0.4~0.8 g/mL范围内,随着纺丝液浓度的增加,载药纤维的平均直径增大。这是因为随着纺丝液浓

度增加,纺丝液黏度也随之增大,纺丝液表面张力变大,流体在静电场中分化能力大大减弱;另一方面纺丝液浓度越大,纺丝液中所含的溶剂就越少,溶剂完全挥发掉所需要的时间少,纤维受拉伸的时间少,纤维直径就越大。

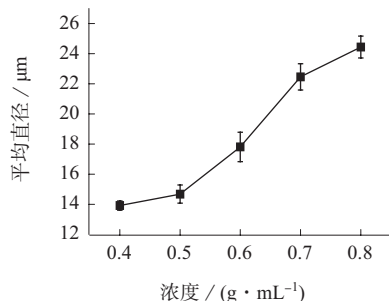


图3 不同浓度纺丝液下聚己内酯载药纤维膜纤维的平均直径

(2) 纺丝电压对载药纤维直径的影响。

在聚己内酯载药纤维膜制备过程中,当纺丝电压低于 10 kV 时,由于电场强度不够,纺丝液从喷嘴形成射流时所带电荷较少,无法形成泰勒锥进而成丝;当纺丝电压高于 18 kV 时,流体所带电荷过多,分化后斥力太大,液体分散飞溅,无法成丝。因此,在电压为 10~18 kV 的范围内,研究了不同电压对载药纤维直径的影响。

当 5-氟尿嘧啶为 0.8 g、纺丝液浓度为 0.6 g/mL、收集距离为 20 cm 时,不同纺丝电压下聚己内酯载药纤维膜的 SEM 照片如图 4 所示。从图 4 可以看出,电压增大,纤维直径减小。为了量化纺丝电压对纤维直径的影响,从 SEM 照片中随机选出 30 根纤维进行测量,计算出载药纤维的平均直径。纤维平均直径随电压变化的曲线,如图 5 所示。从图 5 可以看出,在纺丝电压为 10~18 kV 范围内,随着纺丝电压的增加,纤维平均直径减小。原因在于,随着纺丝电压的增加,电场强度增大,静电斥力增加,聚合物表面液滴有着更大的表面电荷密度,加大了对纺丝液射流的劈裂拉伸作用,有利于纤维更大程度地分裂,从而形成的纤维直径变细。但过大的纺丝电压会造成射流的不稳定,从而导致纤维直径分布不均匀,如图 4e 所示,载药纤维的平均直径相对减小,但纤维直径分布不均匀。

(3) 收集距离对载药纤维直径的影响。

实验研究发现,当收集距离小于 10 cm 时,注射器针头至收集器的距离过短,导致溶剂不能充分挥发,造成不可纺;当收集距离大于 30 cm 时,电场强度不够,导致无法形成泰勒锥,从而无法成丝。因此,在收集距离为 10~30 cm 的范围内,研究了收

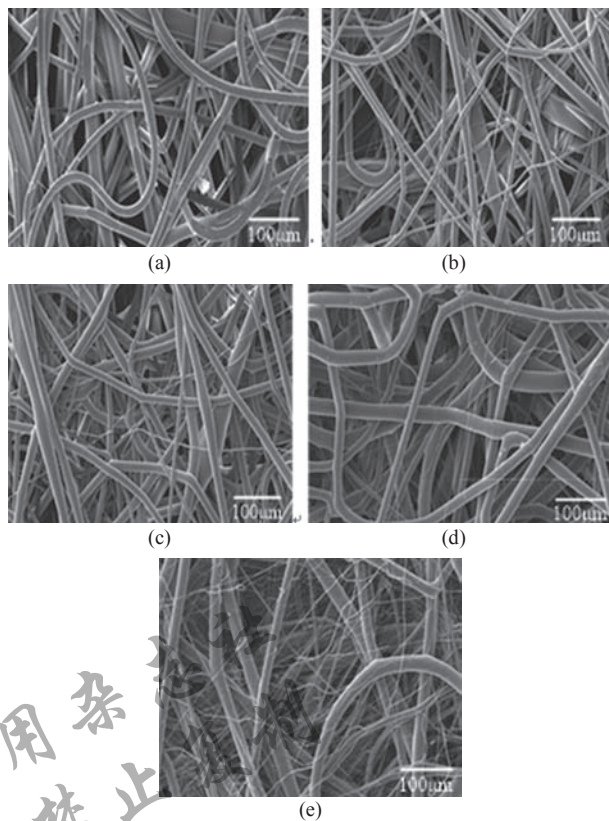


图4 不同纺丝电压下聚己内酯载药纤维膜的 SEM 照片

纤维电压: a—10 kV; b—12 kV; c—14 kV; d—16 kV; e—18 kV

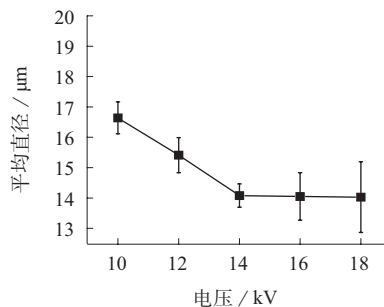
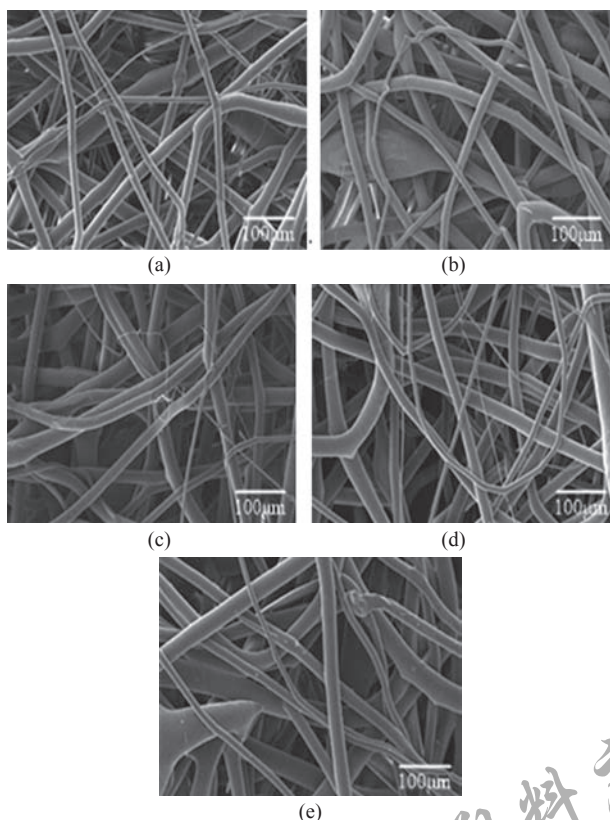


图5 不同纺丝电压下己内酯载药纤维膜纤维的平均直径

集距离对载药纤维直径的影响。

当 5-氟尿嘧啶为 0.8 g、纺丝液浓度为 0.6 g/mL、纺丝电压为 10 kV 时,不同收集距离下聚己内酯载药纤维膜的 SEM 照片如图 6 所示。从图 6 可以看出,收集距离增加,纤维直径增大。为了量化收集距离对纤维直径的影响,从 SEM 照片中随机选出 30 根纤维进行测量,计算出平均直径,并绘制纤维平均直径随收集距离变化的曲线,如图 7 所示。从图 7 可以看出,在收集距离为 10~30 cm 范围内,随着收集距离的增加,载药纤维的平均直径增大。原因在于,随着收集距离的增加,电场强度减小,静电斥力减小,对纺丝液射流的劈裂拉伸作用减小,造成纤维的分化能力减小,从而导致纤维的直径增大。



收集距离: a—10 cm; b—15 cm; c—20 cm; d—25 cm; e—30 cm

图6 不同收集距离下载药纤维膜的SEM照片

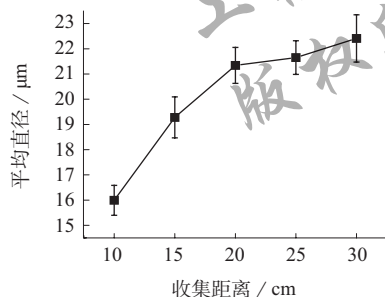


图7 不同收集距离下载药纤维膜纤维的平均直径

在上述单因素实验研究过程中,载药纤维的平均直径最小为 $13.92 \mu\text{m}$,其工艺参数为纺丝液浓度 0.4 g/mL 、纺丝电压 10 kV 、收集距离 20 cm 。

2.3 力学性能分析

过小的直径会造成纤维膜的拉伸强度较低,导致纤维膜容易断裂,影响纤维膜植入人体后的释药过程。使用万能试验机对得到的最小直径纤维膜进行了拉伸性能测试。在拉伸过程中,纤维膜会出现一定程度的颈缩现象,这是因为虽然拉力作用于整个纤维膜上,但微观上,每根纳米纤维都受到了同样的拉伸作用力,导致纤维膜受力不均匀,变形不均匀,从而造成了一定程度的颈缩现象。但加载力逐渐加大后,各纤维会逐渐断裂。载药纤维膜断裂后,

导出载荷-位移曲线,对所得数据进行处理后,得到载药纤维膜的应力-应变曲线,如图8所示。由图8可知,载药纤维膜的拉伸强度为 2.88 MPa ,屈服拉伸强度为 2.29 MPa 。其拉伸强度大于用于伤口敷料的静电纺海藻酸钠纳米纤维膜的拉伸强度 $1.7 \text{ MPa}^{[25]}$ 。

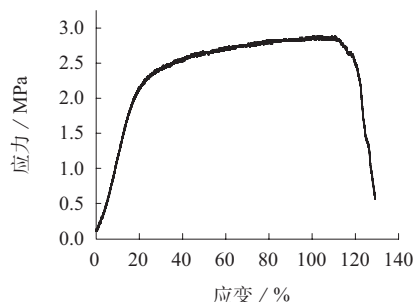


图8 载药纤维膜纤维应力-应变曲线

2.4 体外释药分析

使用磷酸盐缓冲溶液模拟体液,在温度 $(37 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 下,模拟人体内释药过程。每隔 4 d ,使用紫外分光光度计测定磷酸盐缓冲溶液中5-氟尿嘧啶的含量。每次测定完毕后,更换磷酸盐缓冲溶液。纤维平均直径分别为 $13.92, 15.41, 21.55 \mu\text{m}$ 的载药纤维膜的溶出曲线如图9所示。从图9可以看出,该纤维膜在 1000 h 内,可以实现药物的控制释放。纤维直径越小,药物溶出度越高,药物溶出速率越快。这是因为纤维直径越小,纤维膜的比表面积越大,越有利于药物的溶出。

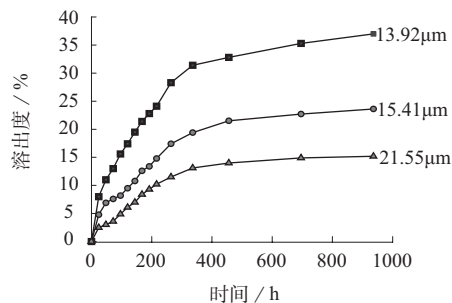


图9 不同直径纤维的载药纤维膜药物溶出曲线

3 结论

采用静电纺丝法制备聚己内酯载药纤维膜,研究了纺丝液浓度、纺丝电压及收集距离对纤维直径的影响、聚己内酯载药纤维膜力学性能及体外释药行为,得到以下结论。

(1) 纤维直径随着纺丝液浓度和收集距离的增加而增大,随着纺丝电压的增加而减小。

(2) 在纺丝液浓度为 0.4 g/mL 、纺丝电压为 10 kV 及收集距离为 20 cm 条件下,得到纤维直

径最小为 13.92 μm 的载药纤维膜,其拉伸强度为 2.88 MPa。大于用于伤口敷料的静电纺海藻酸钠纳米纤维膜的拉伸强度 1.7 MPa。

(3) 体外释药实验证明,载药纤维膜纤维直径越小,药物溶出度越高,并且可以实现药物控制释放。

(4) 为确定静电纺丝法制备聚己内酯载药纤维膜工艺参数提供了有益借鉴,并为下一步优化工艺参数奠定了基础。

参考文献

- [1] 徐双杰,郭明,邵燕,等. 智能药物控释材料的合成及其体外释药规律研究[J]. 高分子通报,2019(6):51-59.
Xu Shuangjie, Guo Ming, Shao Yan, et al. Synthesis of a intelligent drug release controlled material and the study of the drug release in vitro[J]. Chinese Polymer Bulletin, 2019(6):51-59.
- [2] 陈智捷,陈燕芳,郑军,等. 壳聚糖水凝胶的制备及其在药物释放中的应用[J]. 材料导报,2018,32(S1):169-175.
Chen Zhijie, Chen Yanfang, Zheng Jun, et al. Preparation and application of chitosan hydrogel in drug controlled release system[J]. Materials Reports, 2018, 32(S1):169-175.
- [3] Kang Ji-Hye, Hwang Ji-Young, Seo Jae-Won, et al. Small intestine- and colon-specific smart oral drug delivery system with controlled release characteristic[J]. Materials Science and Engineering, 2018, 91:247-254.
- [4] 郑鑫,查刘生. 超快温度响应性纳米纤维水凝胶的制备及其用于药物的可控释放[J]. 材料研究学报,2020,34(6):452-458.
Zheng Xie, Zha Liusheng. Preparation of ultra-fast temperature responsive nanofibrous hydrogel and application in controllable drug release[J]. Chinese Journal of Materials Research, 2020, 34(6):452-458.
- [5] Major I, Lastakchi S, Dalton M, et al. Implantable drug delivery systems[M]//Engineering Drug Delivery Systems. Cambridge: Woodhead Publishing, 2020:111-146.
- [6] Longo G A, Mancin S, Righetti G, et al. Flow dynamic and energetic assessment of a commercial micro-pump for a portable/wearable artificial kidney:Peristaltic vs.diaphragm pumps[J]. Thermal Science and Engineering Progress, 2017, 3:31-36.
- [7] Ress J, Diaz U M, Bosch J, et al. pH-triggered release of NaNO_2 corrosion inhibitors from novel colophony microcapsules in simulated concrete pore solution[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2020, 12.doi:10.1021/acsami.0c13497.
- [8] Singh P, Carrier A J, Chen Y, et al. Polymeric microneedles for controlled transdermal drug delivery[J]. Journal of Controlled Release, 2019, 315:97-113.
- [9] Saghazadeh S, Rinoldi C, Schot M, et al. Drug delivery systems and materials for wound healing applications[J]. Advanced Drug Delivery Reviews, 2018, 127:138-166.
- [10] 巩栋,马永海,杨新乐,等. 3D 打印 β -磷酸三钙负载聚乳酸-羟基乙酸共聚物抗结核药物缓释微球细胞毒性及对 BMSCs 成骨分化影响的研究[J]. 中国修复重建外科杂志,2018, 32(9):1 131-1 136.
Gong Dong, Ma Yongmei, Yang Xinle, et al. Study on the cytotoxicity of d-printed β -tricalcium phosphate loaded polylactic acid-glycolic acid copolymer anti-tuberculosis drug sustained release microspheres and their effects on osteogenic differentiation of bmscs[J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2018, 32(9):1 131-1 136.
- [11] 刘淑琼,刘瑞来,饶瑞晔. 阿司匹林对聚己内酯载体材料的结构和缓释性能的影响[J]. 材料研究学报,2018,32(12):913-920.
Liu Shuqiong, Liu Ruilai, Rao Ruiye. Effect of aspirin on structure of polycaprolactone carried materials and controlled-release performance[J]. Chinese Journal of Materials Research, 2018, 32(12):913-920.
- [12] 候冰娜,李进,倪凯,等. 光交联聚甲基壳聚糖水凝胶的制备及药物缓释性能研究[J]. 材料工程,2020,48(11):76-84.
Hou Bingna, Li Jin, Ni Kai, et al. Preparation of photo-crosslinking carboxymethyl chitosan hydrogel for sustained drug release[J]. Journal of Materials Engineering, 2020, 48(11):76-84.
- [13] 胡运玖,左奕,郭均,等. 聚己内酯载药微球的制备及释药性能研究[J]. 材料导报,2017,29(2):29-32,56.
Hu Yunjiu, Zuo Yi, Wu Jun, et al. Preparation and release study of drug loaded poly(ϵ -caprolactone) microspheres[J]. Materials Reports, 2017, 29(2):29-32,56.
- [14] Dikici B A, Reilly G C, Claeysens F. Boosting the osteogenic and angiogenic performance of multiscale porous polycaprolactone scaffolds by in vitro generated extracellular matrix decoration[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2020, 12, 12 510-12 524.
- [15] Guilherme M R, Mauricio M R, Tenório-Neto E T, et al. Polycaprolactone nanoparticles containing encapsulated progesterone prepared using a scCO_2 emulsion drying technique[J]. Mater Lett, 2016, 124:197-200.
- [16] 张闪闪. 3D 打印制备 ICA/ β -TCP/PCL 组织工程支架及其性能研究[D]. 泉州:华侨大学,2019.
Zhang Shanshan. Preparation of ICA/ β -TCP/PCL tissue engineering scaffold by 3D printing and its performance study[D]. Quanzhou:Huaqiao University, 2019.
- [17] 叶佩雯,Wei Su-Ying,魏凤环. 静电纺丝载药纤维及其在经皮递药系统中的研究进展[J]. 中国药理学杂志,2019, 54(24):2 034-2 042.
Ye Peiwen, Wei Su-Ying, Wei Fenghuan. Progress of electrospinning drug-loaded fibers and application in transdermal drug delivery system[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2019, 54(24):2 034-2 042.
- [18] Song Myung-Hee, Pham Thi Phuong Thuy, Yun Yeoung-Sang. Ionic liquid-assisted cellulose coating of chitosan hydrogel beads

- and their application as drug carriers[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1).doi:10.1038/s41598-020-70900-7.
- [19] 陈乐乐, 丁玲, 王铖博, 等. 具有抗菌性能的载药复合微纳米纤维的制备及其结构和性能表征 [J]. 高分子通报, 2020(4):37-43. Chen Lele, Ding Ling, Wang Chengbo, et al. Preparation, structure and characterization of drug-loaded composite micro / nano fibers with antibacterial properties[J]. Chinese Polymer Bulletin, 2020(4):37-43.
- [20] 王淦, 刘亚男, 孔祥平, 等. L-PLA / S-PLA 纤维的制备及其药物缓释性能研究 [J]. 化工新型材料, 2017, 45(9):133-135. Wang Song, Liu Yanan, Kong Xiangping, et al. Preparation of electrospun L-PLA / S-PLA fiber membrane and its application in drug release system[J]. New Chemical Materials, 2017, 45(9):133-135.
- [21] 高阳, 曹文强, 刘雨晴, 等. CS / PA66 复合纳米纤维的静电纺丝制备与药物缓释性能研究 [J]. 化工新型材料, 2017, 45(1):118-120. Gao Yang, Cao Wenqiang, Liu Yuqing, et al. Preparation and drug release behavior of CS / PA66 composite nano-fiber by electrospinning[J]. New Chemical Materials, 2017, 45(1):118-120.
- [22] 战鹤楠. 静电纺丝制备聚己内酯 / γ -聚谷氨酸共混纤维膜及载药性能研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2016. Zhan Henan. Preparation of polycaprolactone / γ -polyglutamic acid blend fiber membrane by electrospinning and study on drug loading performance[D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [23] 赵丙蛟, 许瑶, 刘月华. 辛伐他汀 / 聚己内酯纤维膜的缓释性能研究 [J]. 上海口腔医学, 2016, 25(6):673-677. Zhao Bingjiao, Xu Yao, Liu Yuehua. Drug release from electrospun simvastatin / polycaprolactone fibrous membranes[J]. Shanghai Journal of Stomatology, 2016, 25(6):673-677.
- [24] 曹宽. 静电纺丝制备载药纤维及其药物释放性能研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2018. Cao Kuan. Study on preparation of drug-loaded fiber by electrospinning and its drug release performance[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2018.
- [25] 王舵. 静电纺海藻酸盐纳米纤维膜的制备和作为伤口敷料的应用研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2020. Wang Duo. Preparation of alginate nanofiber mats and evaluation of their properties as wound dressings[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2020.

科技引领变革——CHINAPLAS 2021“科技讲台”

多元化产品科技发布, 解密创新橡塑科技

「CHINAPLAS 2021 国际橡塑展」将于 2021 年 4 月 13 ~ 16 日在深圳国际会展中心举办。本届展会以“新时代·新动力·永续创新”为主题, 启用 350 000 m² 的展场面积, 携 3 600+ 全球优质橡塑供应商, 以海量的创新材料及机械科技隆重呈献, 倾力打造一个高科技展示和交流的国际化平台。

“科技讲台”, 作为 CHINAPLAS 的多元化创新科技发布平台, 将于 4 月 13 ~ 16 日在展会现场 10 号馆展位 10R61 举行。活动将以开放论坛的形式呈现, 汇聚年度最新、最热、最具突破的橡塑科技, 突出实用性, 是专业买家快速了解行业动态的平台。

2020 年向我们展示了世界的瞬息万变, 橡塑行业也经历了市场需求的急速转变, 以及由此产生的对企业业务的巨大影响。企业比在任何时候都更需要创新且落地的橡塑解决方案, 各行业制造商也都因为全球社会经济的结构性转变而急需革新。因此, 本次“科技讲台”以“科技引领变革”为主题, 精选创新橡塑科技报告, 不但可以使观众开阔视野, 更能激发制造业潜力, 从而为改革生产过程做准备。

“科技讲台”涉及多种塑料及橡胶机械和原材料的创新

产品科技, 在四天的活动中将有超过 40 项科技发布, 包含 6 大主题: 橡塑 +5G、汽车环保科技、生物及复合材料成型工艺、创新材料、智能包装方案和自动化精密制造。

5G 引领未来 10 年各产业的营运模式, “橡塑 +5G”可谓相当吸睛, 这一主题将重点探讨与 5G 相关的原材料及其成型工艺, 尤其是塑料在 5G 基础设施及终端产品中的应用: 低介电、耐高温、易散热。汽车环保科技主题分享在汽车中应用的复合材料、低 VOC 材料及轻量化解决方案等。智能包装主题带来具有指示、显示、保鲜、抗菌、用户互动等功能的包装方案。有关应用于新能源、航空航天、包装、汽车、电子电器、医疗等领域的高性能树脂、功能性膜材料、光刻胶及锂离子电池用特种化学品等囊括在创新材料主题中。而备受热议的生物及复合材料成型工艺主题, 将解锁生物塑料、可降解塑料、树脂基纤维增强复合材料成型工艺。在产业升级转型的过程中, 生产商需要利用更多自动化及精密制造的技术以满足产品需求, 自动化精密制造主题聚焦制作精密度高的零部件所使用的精密挤出注塑及模具。

为方便专业人士详细了解“科技讲台”所发布的科技产品, 主办方还特别开放下载演示文稿的通道, 只需在活动官网登记报名 www.chinaplasonline.com/CPS21/techtalk, 即可在“科技讲台”活动现场获得下载密码。 (雅式)