技术方法 DOI:10.13406/j.cnki.cyxb.000834

静电纺丝制备聚维酮碘纳米纤维作为新型创面敷料的性能研究

王 庆[1],李沉纹[2],李紫薇[2],盛芳芳[2],俞秀恒[1],管海燕[2],卢来春[2],黄 华[1]
(1. 重庆医科大学药学院药剂学教研室,重庆 400016;2. 第三军医大学大坪医院野战外科研究所药剂科,重庆 400042)

【摘 要】**目的**:制备聚维酮碘(polyvinylpyrrolidone iodine,PVP-I_2)静电纺丝纳米纤维并对其作为新型创面敷料的性能进行研究。**方法**:以 I_2 为模型药物,PVP 为载体材料制备电纺纳米纤维。以溶液可纺性、喷丝速率、电纺丝形态等为指标,筛选最优处方及工艺条件并用扫描电镜和红外光谱进行表征。用紫外分光光度仪测定纳米纤维含量;考察纳米纤维的透气性及其对金葡菌、大肠杆菌、绿脓杆菌和肺炎链球菌的抑菌效果;建立大鼠皮肤创面模型,考察纳米纤维对创面的促愈作用。**结果**:PVP-I_2 纳米纤维最优处方和工艺条件为 40% PVP,30% I_2,纺丝电压 15 kV,流速 0.3 ml/h,接收距离 15 cm;所得纳米纤维结构均匀,表面光滑;具备良好的抑菌作用;透气性优于无纺布(P=0.005);对创面的愈合有促进作用。**结论**:制备的 PVP-I_2 纳米纤维载药均匀,抑菌作用强,透气性好,促愈作用优良,具有被开发为新型创面敷料的潜力。

【关键词】静电纺丝;聚维酮;碘;抑菌性;创面敷料
【中图分类号】R944.9 【文献标志码】A 【收稿日期】2015-08-28

Properties of polyvinylpyrrolidone iodine electrostatic spinning nanofiber as new wound dressing

Wang Qing[1], Li Chenwen[2], Li Ziwei[2], Sheng Fangfang[2], Yu Xiuheng[1], Guan Haiyan[2], Lu Laichun[2], Huang Hua[1]
(1. Teaching and Research Section of Pharmacy, Chongqing Medical University; 2. Department of Pharmacy, Institute of Surgery Research, Daping Hospital, Third Military Medical University)

【Abstract】***Objective***: To prepare polyvinylpyrrolidone iodine(PVP-I_2) electrostatic spinning nanofiber and to evaluate its properties as new-type wound dressing. ***Methods***: Electrostatic spinning nanofiber was prepared using PVP as carrier and I_2 as model drug. The optimal formulation and technological conditions were screened using spinnability of solution, spinning nanofiber speed and morphology as index. The morphology and formation of the nanofiber was investigated by scanning electron microscopy and Fourier infrared spectrometer. The model drug loading amount was investigated by UV spectrophotometer. The antibacterial effects on staphylococcus aureus, escherichia coli, pseudomonas aeruginosa, streptococcus pneumonia, the permeability property and the animal wound dressing capabilities of PVP-I_2 electrostatic spinning nanofiber were also investigated. ***Results***: The optimal formulation was as follows: spinning solution was 40% PVP and 30% I_2, the electrostatic spinning voltage was 15 kV, the flow velocity was 0.3 ml/h, the receive distance was 15 cm. The prepared electrostatic spinning nanofiber had smooth surface and uniform structure. The nanofiber exhibited significantly antibacterial effect of staphylococcus aureus, escherichia coli, pseudomonas aeruginosa, streptococcus pneumonia. The permeability property of the nanofiber was better than that of non-woven cloth(P=0.005). The nanofiber accelerated the rate of wound dressing compared with other groups. ***Conclusion***: Prepared PVP-I_2 electrostatic spinning nanofiber loads drug uniformly and has good antibacterial action and permeability. The results suggest that the PVP-I_2 electrostatic spinning nanofiber might be a potential new type of wound dressing in clinics.

【Key words】electrostatic spinning; polyvinylpyrrolidone; iodine; antibacterial effects; wound dressing

作者介绍:王 庆,Email:wqercq@163.com,
研究方向:药物新剂型。
通信作者:黄 华,Email:huangh6001@163.com。
基金项目:重庆市应用开发计划资助项目(编号:CSTC2014yykfA 110022)。
优先出版:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1046.r.20160109.1734.012.html (2016-01-09)

创面敷料在创伤护理中占据着重要地位，理想的创面敷料除了具备止血、预防感染等基本性质之外，还应具有良好的生物相容性、可降解性、透气性以及吸收伤口渗出液的能力[1]。静电纺丝技术利用高压静电将聚合物溶液拉伸而获得纳米纤维，和传统敷料纱布、脱脂棉等相比，静电纺丝纳米纤维具有孔隙率高、比表面积大、通透性好等特性，在药物控释、创面敷料、组织工程等领域有着广阔的应用前景[2-3]。因此，静电纺丝作为有着巨大潜力的纳米载药系统，成为研究者们广泛关注的热点[4]。聚维酮（polyvinylpyrrolidone，PVP）作为一种具有良好生物相容性的亲水性高分子聚合物，成膜性好，无毒无刺激性，是国际倡导的重要医药中间体[5]。碘（iodine，I_2）是应用极其广泛的消毒药物。PVP 和 I_2 可形成无定型络合物 PVP-I_2，它广谱抗菌、无致敏性和耐药性，在医药行业中被制成各种制剂如软膏、凝胶等，但鲜有用静电纺丝技术将其制备成抗菌敷料的研究[6]。本研究以 I_2 为模型药物，通过静电纺丝技术制备 PVP-I_2 纳米纤维并对其性能进行初步研究，探索其成为新型创面敷料的可行性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

高压静电纺丝机（TL-Pro-BM，深圳市通力微纳科技有限公司），生化培养箱（SP-02，黄石市恒丰医疗器械有限公司），紫外可见分光光度仪（TU-1810，北京普析通用仪器有限责任公司），倒置显微镜（CKX41，OLYMPUS 公司），红外光谱仪（Frontier，PerkinElmer 公司），扫描电镜（S-3000N，Hitachi 公司），垂直层流洁净工作台（CA-920-2，上海上净净化设备有限公司）。

PVP K30（优级纯，国药集团化学试剂有限公司，批号：20140805），I_2（分析纯，Aladdin，批号：F1426011），无水乙醇（分析纯，重庆川东化工（集团）有限公司，批号：20140701），碘伏（四川蓉康世圣药业有限责任公司，批号：150319），MH 培养基（生化试剂，Solarbio，批号：20140708），变色硅胶（青岛市基亿达硅胶试剂厂，批号：20150122），市售创可贴（云南白药集团无锡药业有限公司，批号：PEE1580）。

1.2 实验方法

1.2.1 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维的制备 称取一定质量比的 PVP 和 I_2，加入适量无水乙醇磁力搅拌 12 h，得 PVP-I_2 纺丝液。用注射器吸取纺丝液 4 ml 固定于计量泵上，将输出端与 8 号平口金属针头相连。设置计量泵的推进流速，调整针头与金属平板接收器的距离。将高压电源调至所需电压，纺丝开始（图 1）。纳米纤维将在平板接收器上形成无纺布，纺丝完毕后将其小心剥离，置于 PVC 袋中密封保存。

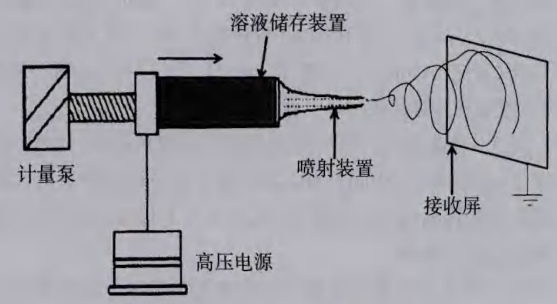


图 1 静电纺丝制备示意图

Fig.1 Illustration of preparation of electrospining

1.2.2 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维处方筛选 用载玻片接取不同处方制备的纳米纤维，于光镜下观察其形貌特征，对不同条件下纺丝液的可纺性、喷丝速率、电纺丝形态等进行考察。

1.2.2.1 PVP 浓度考察 称取适量 PVP，加入适量无水乙醇充分搅拌以制备 PVP 浓度分别为 10%、20%、30%、40%、50% 的溶液。将上述溶液在 15 kV，0.3 ml/h，接收距离为 15 cm 的条件下进行电纺。

1.2.2.2 I_2 与 PVP 质量比例考察 根据 PVP 浓度考察结果，称取适量 PVP 和 I_2，以无水乙醇为溶剂，配制 I_2 与 PVP 质量百分比分别为 10%、20%、30%、40% 的纺丝液，搅拌 12 h 后考察其电纺情况。

1.2.3 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维工艺条件优化 以处方 40% PVP 和 30% I_2 制备静电纺丝纳米纤维，固定其他条件，对静电纺丝的电压（10、15、20 kV）、计量泵流速（0.1、0.3、0.5、0.7 ml/h）、接收距离（8、12、15、18 cm）进行工艺条件优化研究。

1.2.4 扫描电镜表征 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维 取制得的 30% PVP-I_2 纳米纤维，表面喷金后用扫描电镜观测形貌。用 Image J 软件随机选择 50 根纤维测量直径并计算平均值。

1.2.5 红外光谱法表征 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维 分别取空白 PVP 纳米纤维、10% PVP-I_2 纳米纤维、20% PVP-I_2 纳米纤维、30% PVP-I_2 纳米纤维，用红外光谱仪进行分析。

1.2.6 紫外分光光度法测定 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维含量

1.2.6.1 测定波长及专属性 分别取 PVP-I_2 纳米纤维，PVP 溶液和市售碘伏，用适量三蒸水溶解后制成样品溶液、空白基质溶液和对照溶液，紫外分光光度仪进行吸收光谱扫描。

1.2.6.2 标准曲线制备 分别移取市售碘伏（含量 4.95 mg/ml）至 10 ml 容量瓶中，以三蒸水配制成浓度分别为 17.33、18.32、19.80、20.79、23.27、24.75、27.23 μg/ml 的 PVP-I_2 溶液，测定其吸收值，绘制标准曲线。

1.2.6.3 精密度 分别移取适量市售碘伏，以三蒸水配制低、中、高浓度分别为 17.33、20.79、27.23 μg/ml 的 PVP-I_2 溶液，用紫外分光光度仪于 1 d 内不同时间点重复测定 5 次，计算日内精密度。取上述 3 种溶液，连续 5 d 进行测定，计算日间精密度。

1.2.6.4 回收率 分别移取浓度为 4.95 mg/ml 的市售碘伏 55、45、35 μl 各 3 份于 10 ml 容量瓶中，用三蒸水配制浓度为高(27.23 μg/ml)、中(22.28 μg/ml)、低(17.33 μg/ml)的溶液，测定并计算回收率。

1.2.6.5 样品测定 取 3 批 30%PVP-I_2 纳米纤维，分别各剪取 5 mg 溶解于 10 ml 三蒸水中，紫外分光光度仪进行含量测定并计算载药率。(载药率=[实际加入 I_2 量(g)/加药纺丝膜重量(g)]×100%)

1.2.7 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维透气性考察 以药物量分别为 10%、20%、30%的 PVP-I_2 纳米纤维(厚度 0.2 mm)为实验组，口罩无纺布(厚度 0.2 mm)为对照组。将各组绷紧于装有足量变色硅胶的称量瓶口(规格 40 mm×25 mm)，放入玻璃干燥器的有孔隔板上，下层为饱和氯化钠溶液，当温度为 37 ℃时，其相对湿度为 75%左右[7]。将干燥器放入 37 ℃培养箱中，24 h 后称重并计算水蒸气透过率[8][g/(h·cm²·mmHg)]：RWVP=W/(A·Δp)。W 为单位时间水蒸气透过纳米纤维的重量(g/h)，A 为水蒸气透过纳米纤维的面积(以瓶口面积计)，Δp 为纳米纤维两侧蒸汽压差(mmHg)。瓶内有足量变色硅胶时，可认为膜内蒸汽压为 0，膜两侧蒸汽压差为 23.8 mmHg。进一步计算透气性 P=RWVP·d，d 为纳米纤维厚度(cm)。

1.2.8 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维抑菌性能考察 用棉签分别蘸取适量金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、绿脓杆菌、肺炎链球菌菌液(浓度 10^6 CFU/ml)，均匀涂布于固体培养基表面，将 4 片直径为 0.45 cm 的滤纸片置于培养基表面，分别取 10 μl 生理盐水、10%、20%、30%PVP-I_2 纳米纤维溶液(分别剪取紫外灭菌的对应纳米纤维 30 mg，生理盐水溶解)滴于纸片上，将培养基倒置于 37 ℃培养箱中，24 h 后取出观察抑菌圈[9]。

1.2.9 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维药效学考察

1.2.9.1 创面模型的建立 取 SD 雄鼠 12 只，体质量约 200 g，购于第三军医大学第三附属医院实验动物中心(许可证号：SCXK(渝)2012-0005)。10%水合氯醛腹腔注射麻醉大鼠后，将其背部皮肤脱毛并消毒，在脊柱两侧对称性标记 4 个边长为 1 cm 的方形皮肤，用消毒剪刀剪去标记皮肤，深至真皮但不损伤皮下血管，建立 4 个创面模型。

1.2.9.2 伤口愈合情况观察 SD 大鼠左前侧敷贴 PVP 纳米纤维作为阴性对照组，右前敷贴 30% PVP-I_2 纳米纤维作为试验组，左后敷贴无菌纱布作为空白对照组，右后敷贴市售创可贴。每天换药，分别于造模后第 0、1、3、5、7、10、15、19 d，观察各伤口愈合情况，拍照并计算愈合率[10](愈合率(%)=愈合残留面积/原始面积×100)。同时，于造模后第 5、19 天取 SD 大鼠皮肤创面及周围正常组织进行 HE 染色，观察组织显微结构。

1.3 统计学分析

所有数据均采用 SPSS 13.0 统计软件分析，结果以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示，各组之间采用单因素方差分析进行比较；愈合率采用重复测定方差分析进行比较，检验水准 α=0.05。

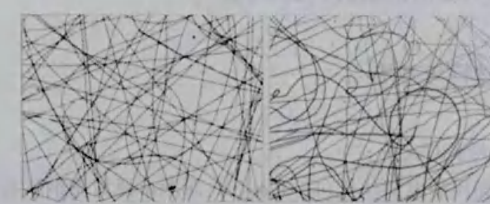
2 结 果

2.1 处方筛选

2.1.1 PVP 浓度选择 由各浓度 PVP 溶液光镜图(图 2)知，10%、20% PVP 溶液喷出细小液滴，溶液不可纺；30% PVP 溶液出现液滴和细丝共存的现象；40%、50% PVP 均能成丝，但 50% PVP 溶液黏度较大，易堵塞针头，纺丝不均匀，表面不光滑。因此选择 40% PVP 作为纺丝液。



A. 10% PVP 溶液　B. 20% PVP 溶液　C. 30% PVP 溶液



D. 40% PVP 溶液　E. 50% PVP 溶液

图 2 不同浓度 PVP 电纺光镜图(400×)

Fig.2 Micrographic images of different concentrations of PVP electrospun nanofibers(400×)

2.1.2 I_2 与 PVP 质量比例考察 随着 I_2 比例的增加，溶液黏度呈上升趋势，10%、20%、30% PVP-I_2 溶液均能顺利纺丝，形成均匀的淡黄色纤维，光镜下观察纤维光滑平整，分布均匀；40% PVP-I_2 溶液黏度过大，易堵塞针头。从可纺性和载药量方面考虑，将最佳比例选为 30%。

2.2 工艺条件优化

2.2.1 电压选择 在固定其他电纺条件(流速 0.3 ml/h，接收距离 15 cm)的情况下，不同电压纺丝情况如表 1 所示。

表 1 不同电压纺丝情况

Tab.1 Electrospinning information of different voltages

组别	电压(kV)	可纺性	喷丝情况	光镜下观察
1	10	基本可纺	针头处有液滴滴落	液滴和串珠状纤维并存
2	15	可纺	针头处液滴稳定	纤维变细且表面光滑
3	20	可纺	喷丝速率较快，针尖与接收屏间出现较多蓬松团状纤维	纤维变细且呈聚集状分布

综合考虑各电压纺丝情况及安全起见，选择 15 kV 为纺丝电压。

2.2.2 流速选择 在固定其他电纺条件（电压 15 kV，接收距离 15 cm）的情况下，不同流速纺丝情况如表 2 所示。为保证静电纺丝正常运行及提高纺丝效率，选择 0.3 ml/h作为电纺流速。

2.2.3 接收距离选择 在固定其他电纺条件（电压 15 kV，流速 0.3 ml/h）的情况下，不同接收距离纺丝情况如表 3 所示。由结果可知，12~15 cm 为适宜纺丝接收的距离，择优选择 15 cm。

2.3 扫描电镜表征 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维

图 3A 为 30% PVP-I_2 纳米纤维扫描电镜结果，纤维呈紧密网状结构，表面光滑且均匀，无串珠结构。图 3B 为直径分布图，纤维直径为（498.78 ± 66.34）nm。

2.4 红外光谱法表征 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维

图 4 为红外光谱结果图。特征谱带如下：1 652 cm^{-1}（吡咯烷酮环 C=O 伸缩振动），1 284 cm^{-1}（吡咯烷酮环 C-N 群伸缩振动），1 430 cm^{-1}（CH-CH2 平面变形振动）。与空白 PVP 纳米纤维相比，随着 PVP-I_2 纳米纤维中 I_2 质量比的增加，C=O 吸收峰逐渐向高波数方向位移：10% PVP-I_2 为 1 654 cm^{-1}，20% PVP-I_2 为 1 656 cm^{-1}，30% PVP-I_2 为 1 664 cm^{-1}。上述峰位变化提示 I_2 和 PVP 的羰基发生了配位，且 I_2 质量比的增加使波数位移更为明显，说明随着 I_2 的增多，与 PVP 的络合反应程度也更高，因此对峰位的影响变大[12]。

2.5 紫外分光光度法测定 PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维含量

紫外扫描确定样品最大吸收波长为 288 nm，PVP 溶液在 288 nm 处未见吸收，说明其不干扰碘含量测定，专属性好（图 5）。PVP-I_2 在 17.33~27.23 μg/ml 范围内线性良好，标准

表 2 不同流速纺丝情况考察

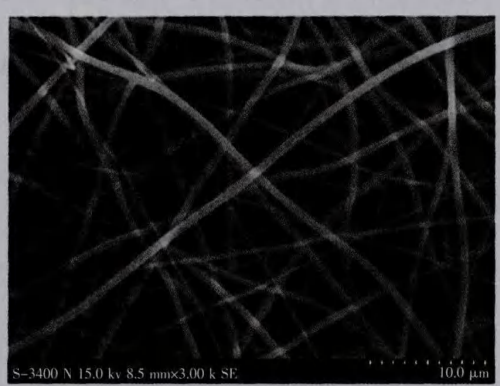
Tab.2 Electrospinning information of different flow rate

组别	流速（ml/h）	可纺性	喷丝情况	光镜下观察
1	0.1	可纺	喷丝较慢	纤维较粗，表面光滑
2	0.3	可纺	喷丝速率适中	纤维变细，分布均匀且光滑
3	0.5	可纺	针头处偶有液滴悬挂	纤维有少量串珠状结构
4	0.7	基本可纺	针头处液滴悬挂增多，喷丝较快，偶有蓬松团状纤维	纤维分布不均匀，串珠状结构增多，纤维粘连

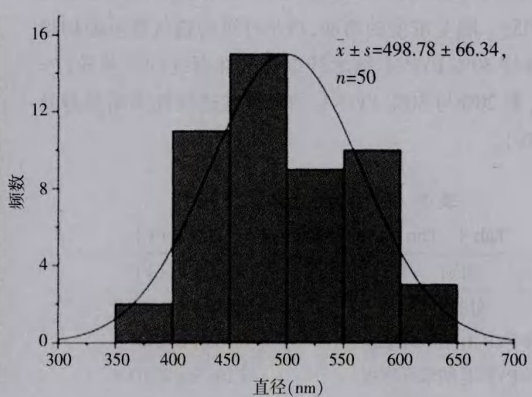
表 3 不同接收距离纺丝情况考察

Tab.3 Electrospinning information of different receive distances

组别	接收距离（cm）	可纺性	喷丝情况	光镜下观察
1	8	可纺	喷丝快，纤维易在接收屏上堆积	纤维较粗且粘连
2	12	可纺	喷丝稍快	纤维变细，粘连减弱
3	15	可纺	喷丝稳定	纤维分布均匀且光滑
4	18	可纺	喷丝变慢，针头与接受屏之间偶有纺丝固化	纤维变粗



A. 30% PVP-I_2 静电纺丝膜扫描电镜图



B. 30% PVP-I_2 静电纺丝膜直径分布图（$\bar{x} \pm s$，n）

图 3 30% PVP-I_2 静电纺丝膜扫描电镜及直径分布图

Fig.3 SEM and diameter distribution images of 30% PVP-I_2 nanofiber

曲线方程：y=0.036 4x−0.306 7，R^2=0.998 9。低中高 3 种浓度的日内精密度分别为 0.65%、0.76%、0.83%，日间精密度分别为 1.26%、1.34%、1.14%，平均回收率分别为(103.76 ± 1.94)%、(99.92 ± 1.63)%、(100.61 ± 1.22)%，准确度高。测得纳米纤维碘含量为(246.99 ± 23.64) μg，载药率为(58.51 ± 5.95)%。

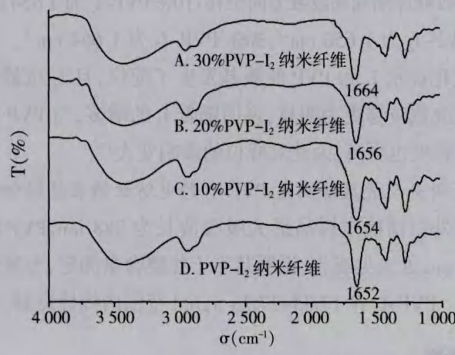


图 4　静电纺丝纳米纤维红外光谱图

Fig.4　Fourier transform infrared spectra of nanofibers

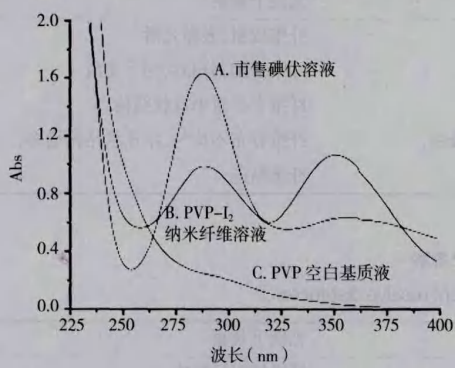


图 5　紫外扫描图

Fig.5　Ultraviolet-visible spectra for the solutions

2.6　PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维透气性考察

如表 4，PVP-I_2 纳米纤维的透气性均优于无纺布对照组，且 30% PVP-I_2 纳米纤维与无纺布组相比有统计学意义（P=0.005）。随 I_2 浓度的增加，纳米纤维的透气性呈增加趋势，10%与 30% PVP-I_2 纳米纤维透气性有统计学差异（P=0.023），但 20%与 30% PVP-I_2 纳米纤维透气性无明显差异（P=0.070）。

表 4　透气性能试验结果（$\bar{x} \pm s$）

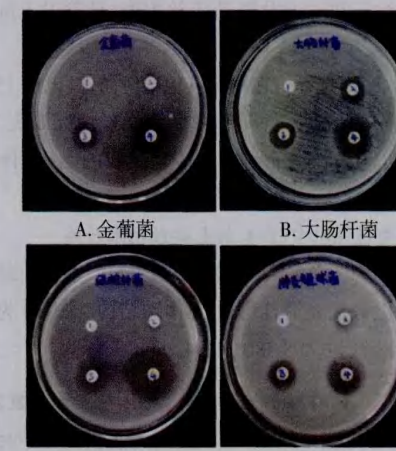
Tab.4　The permeability test results（$\bar{x} \pm s$）

组别	透气性（$\times 10^{-6}$）
对照组	6.673 9 ± 0.366 8[a]
10% PVP-I_2 纳米纤维组	6.985 1 ± 0.431 8[a]
20% PVP-I_2 纳米纤维组	7.193 9 ± 0.403 5
30% PVP-I_2 纳米纤维组	7.808 1 ± 0.180 9
F 值	5.328
P 值	0.026

注：a，与 30% PVP-I_2 纳米纤维组比较有统计学差异（P<0.05）

2.7　PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维抑菌性能考察

如图 6，PVP-I_2 纳米纤维对金葡菌、大肠杆菌、绿脓杆菌、肺炎链球菌均有较好的抑菌作用，且随着碘浓度的增加，抑菌效果也随之增强。



编号 1～4 分别代表生理盐水、10%、20%、30%PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维

图 6　抑菌试验照片

Fig.6　Images of antibacterial test

2.8　PVP-I_2 静电纺丝纳米纤维药效学考察

2.8.1　创面愈合情况及愈合率　图 7、表 5 分别为造模后不同时间创面愈合情况以及伤口愈合率。从图 7 可以看出造模后第 5天，实验组开始形成鲜红色肉芽组织，市售创可贴组和空白对照组炎症反应明显，阴性对照组炎性渗出物较少。造模后第 10 天，实验组创面收缩最明显，并开始结痂；空白对照组伤口感染，创面红肿化脓。造模后 15 d，各创面均呈收缩趋势，其中实验组创面愈合程度明显高于其他组。造模后第 19 天，空白对照组脓肿消退，但愈合速度较慢，而其余 3 组创面几乎痊愈。表 5 进一步证实创面愈合前期，实验组的创面愈合速度明显高于其余各组（P=0.000），空白对照组愈合速度最为缓慢（P=0.000），市售创可贴组和阴性对照组愈合速度差别不大（P=0.263）。各组间愈合率差异随时间推移而减小。

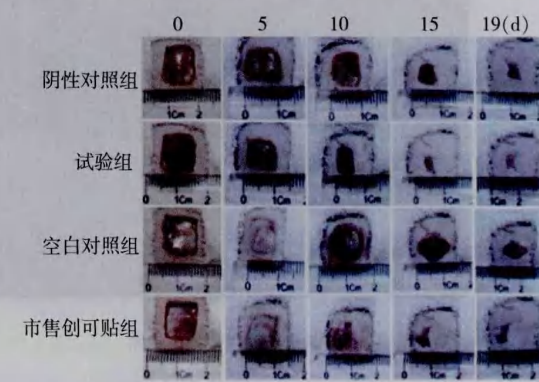


图 7　造模后不同时间点创面愈合情况

Fig.7　Wound healing after wounding at different time points

表 5 造模后不同时间点创面愈合率（$\bar{x} \pm s$）

Tab.5 Wound healing after wounding at different time points（$\bar{x} \pm s$）

造模后给药时间（d）	阴性对照组（%）	试验组（%）	空白对照组（%）	市售创可贴组（%）
1	90.97 ± 3.99	88.22 ± 4.05[a]	103.41 ± 12.31[b]	95.59 ± 6.70[a]
3	80.09 ± 6.38	69.52 ± 9.22[ab]	91.87 ± 14.52[b]	78.61 ± 6.43[a]
5	69.63 ± 6.05	54.03 ± 5.72[ab]	84.83 ± 11.48[b]	73.49 ± 5.43[a]
7	62.02 ± 5.96	42.29 ± 4.72[ab]	75.23 ± 8.30[b]	56.00 ± 1.84[ab]
10	49.30 ± 5.27	33.61 ± 5.97[ab]	62.17 ± 9.05[b]	43.25 ± 6.37[a]
13	34.03 ± 4.85	26.96 ± 4.41[ab]	47.88 ± 8.95[b]	31.58 ± 4.27[a]
15	24.83 ± 6.34	18.84 ± 1.82[ab]	34.92 ± 4.69[b]	26.21 ± 3.34[a]
19	15.49 ± 2.47	11.34 ± 3.28[ab]	22.40 ± 4.83	17.32 ± 1.68

注：$F_{组别} = 34.470$，$P_{组别} = 0.000$；$F_{时间} = 7.760$，$P_{时间} = 0.000$；$F_{交互} = 6.310$；$P_{交互} = 0.000$；a：与对应天数空白对照组比较有统计学差异；b：与对应天数阴性对照组比较有统计学差异（$P<0.05$）

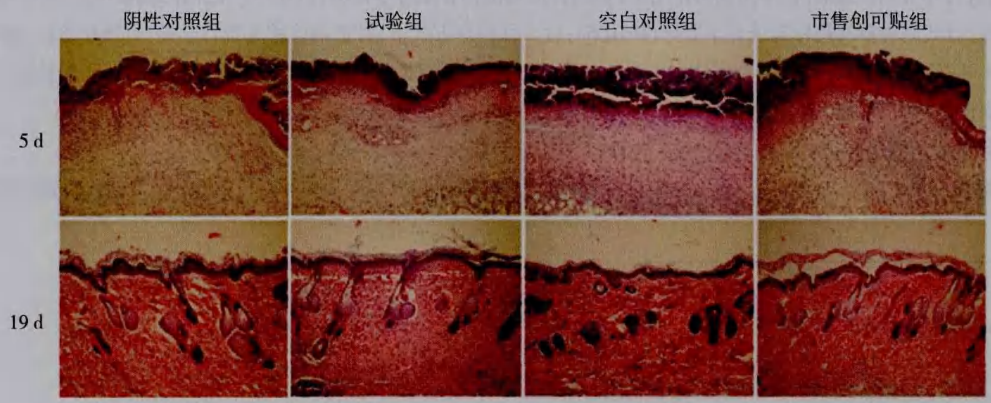


图 8 造模后不同时间点创面 HE 染色（100×）

Fig.8 Histological examination after wounding at different time points（100×）

2.8.2 HE 染色 造模后第 5、19 天伤口皮肤 HE 染色见图 8。造模后第 5 天，空白对照组和市售创可贴组均有大量炎细胞浸润，试验组和阴性对照组炎细胞浸润不明显，大量成纤维细胞生成，新生血管开始形成。造模后第 19 天，试验组创面新生毛囊排列整齐，胶原纤维分布均匀；市售创可贴组和阴性对照组毛囊与皮脂腺等也基本形成，而空白对照组毛囊等形成较为缓慢。

3 讨 论

理想的创面敷料需具备良好的生物相容性、透气性以及抗感染的特性。本研究通过静电纺丝技术，以具有优良的吸湿性、成膜性和安全性的 PVP 为载体材料，配以高效杀菌药物 I_2 制成静电纺丝纳米纤维并对其性能进行研究，探讨其成为新型创面敷料的可行性。

静电纺丝的原理为外加电场增至临界值时，电场力克服液体表面张力，使溶液迅速喷出形成纳米纤维，本实验处方筛选及工艺优化过程中考察了各因素对纤维形貌的影响。低浓度纺丝液不能在针头处形成稳定液滴，而高浓度纺丝液使液体在针尖处堆积，电场力难以将其拉伸；电压过低不能克服溶液表面张力，而过高则使溶液过度拉伸，溶剂迅速挥发造成纤维在空中固化。综合各因素，选用 30% I_2，40% PVP，电压 15 kV，流速 0.3 ml/h，接收距离 15 cm 的条件制备 PVP-I_2 纳米纤维。扫描电镜结果显示所得纤维为纳米尺度，光滑且均匀；红外结果显示 PVP 与 I_2 在所得产物中以络合方式存在，增强了 I_2 的稳定性。良好的透气性使其有利于创面与外界进行气体交换，同时，抑菌试验显示其对金葡菌、大肠杆菌、绿脓杆菌及肺炎链球菌均有较好的抑菌效果。药效学试验进一步证明所得 PVP-I_2 纳米纤维对创面具有较好的促愈作用，尤其在创面愈合的前期效果显著。

综上所述，本研究所制备的 PVP-I_2 纳米纤维

技术方法 DOI:10.13406/j.cnki.cyxb.000820

基于有限元方法的 Vancouver B2 型假体周围骨折治疗方法的比较

董 巍[1],贾俊玲[1],李 真[1],徐秀霞[2],陈胜乐[1],樊国峰[1]
（中国石油天然气集团公司中心医院 1. 骨科;2. 介入科,河北廊坊 065000）

【摘 要】**目的**:用有限元分析方法对 Vancouver B2 型假体周围骨折不同治疗方法进行比较。**方法**:采集 30 位中老年健康志愿者左侧股骨数据,并采集 M/L Taper 假体,Wagner SL 假体及锁定板外形数据。将所采集的数据导入有限元分析软件进行建模,模拟 Vancouver B2 型假体周围骨折的不同治疗方式。模拟不同负重情况下的载荷,采集各种治疗方式在不同载荷下的骨折端位移并进行统计学分析。**结果**:在不同载荷作用下,各组骨折端位移有统计学差异($P<0.05$)。经两两比较可知,第 1 种治疗方式与后 3 种治疗方式间骨折端位移有统计学差异($P<0.05$);后 3 种治疗方式下,骨折端位移无统计学差异($P>0.05$)。**结论**:Wagner SL 翻修假体可以用于 Vancouver B2 型假体周围骨折的治疗。在选择假体长度时,应尽量选择骨折线远端匹配长度大于股骨直径 2 倍的假体,若因其他原因无法使用理想长度的假体,则可在应用较短假体的基础上,配合使用锁定板内固定。

【关键词】股骨;假体周围骨折;Vancouver 分型;内固定;有限元分析
【中图分类号】R683.42 【文献标志码】A 【收稿日期】2015-06-29

作者介绍:董 巍,Email:dongwei716@163.com,
研究方向:创伤及关节外科。
通信作者:樊国峰,Email:80981455@qq.com。
优先出版:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1046.r.20151215.1647.002.html
(2015-12-15)

有着良好的抗菌作用及透气性能,对早期创面愈合有着较好的促进作用,在新型创面敷料领域中有着很好的开发潜力,值得进行更深入的研究。

参 考 文 献

[1] Zahedi P,Rezaeian I,Ranaei-Siadat SO,et al. A review on wound dressings with an emphasis on electrospun nanofibrous polymeric bandages[J]. Polym Advan Technol,2009,21(2):77-95.

[2] Boateng JS,Matthews KH,Stevens HN,et al. Wound healing dressings and drug delivery systems:a review[J]. J Pharm Sci,2008,97(8):2892-2923.

[3] 李沉纹,谢 红,李卓恒,等. 静电纺丝技术及其作为药物载体的应用研究进展[J]. 中国医院药学杂志,2013,33(17):1428-1431.

[4] Rieger KA,Birch NP,Schiffman JD. Designing electrospun nanofiber mats to promote wound healing-a review[J]. J Mater Chem B,2013,1(36):4531-4541.

[5] Sebe I,Szabó B,Nagy ZK,et al. Polymer structure and antimicrobial activity of polyvinylpyrrolidone-based iodine nanofibers prepared with high-speed rotary spinning technique[J]. Int J Pharm,2013,458(1):99-103.

[6] 巴剑波,刘玉明,殷 明,等. 聚维酮碘特性及其制剂研究进展[J]. 中国消毒学杂志,2010,27(1):67-69.

[7] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(二部)[S]. 北京:中国医药科技出版社,2010:附录 199.

[8] Vargas EA. Hyperbranched polyglycerol electrospun nanofibers for wound dressing applications[J]. Acta Biomater,2010,6(3):1069-1078.

[9] Li C,Fu R,Yu C,et al. A novel electrospun membrane based on moxifloxacin hydrochloride/poly (vinyl alcohol)/sodium alginate for antibacterial wound dressings in practical application[J]. Drug Deliv,2015:1-12.

[10] Charernsriwilaiwat N,Opanasopit P,Rojanarata T,et al. Lysozyme-loaded,electrospun chitosan-based nanofiber mats for wound healing[J]. Int J Pharmaceut,2012,427(2):379-384.

[11] Khandwekar AP,Doble M. Physicochemical characterisation and biological evaluation of polyvinylpyrrolidone-iodine engineered polyurethane[J]. J Mater Sci,2011,22(5):1231-1246.

（责任编辑:冉明会）