

三维结构和氧化度对 C6 位氧化再生纤维素止血材料性能影响

黄 伟,徐小慧,郭利萍

(杭州协合医疗用品有限公司,杭州 310000)

摘要:C6 位氧化再生纤维素作为可吸收止血材料,其止血性能受材料理化性质的影响。通过比较氧化再生纤维素的吸水率、凝胶化速率、溶解速率、降解速率、抗老化性能和止血效果,研究三维结构和氧化度对氧化再生纤维素性能影响。结果发现,氧化度增高,氧化再生纤维素吸水率增强,凝胶化速率加快,溶解速率和降解速率变快,抗老化性能变差,产品有效期变短。纤丝松散网状多孔结构比纱布致密结构更有利于提高吸水率,加快凝胶化速率和溶解速率;同时降低氧化剂用量,提高抗老化性能。同一氧化度条件下,纤丝止血速率优于纱布,止血效果更好。

关键词:氧化再生纤维素;氧化度;止血材料;选择性氧化

引言

在各种外科手术中减少出血量,缩短手术时间,对患者术后康复有重要影响,能够更好保存患者体力,降低手术感染风险,减少粘连发生^[1]。因此,各种止血性能良好、生物相容性优异的可吸收止血材料成为学术界和商界研究的热点^[2,3]。目前研究较多的可吸收止血材料主要有壳聚糖及其衍生物、海藻酸盐、明胶、胶原蛋白、透明质酸、淀粉、 α -氰基丙烯酸酯、氧化再生纤维素^[4~6],根据它们的特性和临床使用情况被制成不同的三维结构,以便最大发挥它们的止血效果。壳聚糖脱乙酰化后制成多孔结构的 HemCon 止血绷带,吸水性较强,在治疗出血量较大的伤口时效果突出^[7];海藻酸盐制成的多孔海绵状敷料有止血和强的吸水性效果,适合用于湿润的创面^[8];医用止血明胶海绵和“倍菱”胶原海绵多孔结构可吸收比自身重 45 倍的血液,破坏血小板,促进凝血形成^[9];透明质酸分子改性制成膜状大清水生物纸,吸收后的大清生物纸转变成不溶性凝胶,且黏合性好,压迫创面止血^[10];美国 Medfor 公司生产的 Arista 止血粉和我们公司生产的 MPH 止血粉是以马铃薯为原料制成的淀粉止血微球,喷洒在出血处,能够快速糊化止血^[11]; α -氰基丙烯酸酯能够和组织内的阴离子($-\text{OH}$ 、 $-\text{NH}_2$)瞬间聚合,用 α -氰基丙烯酸酯制成反应型黏合剂止血材料,喷涂在出血组织表面,能够迅速聚合止血^[12];美国强生公司生产的速即纱(Surgicel)和我们公司正在研制的纤丝、纱布止血产品都是氧化再生纤维素止血材料,有海绵状、纱布状两种结构^[13]。

再生纤维素的氧化有非选择性性氧化和选择性性氧化两种氧化形式,选择性性氧化主要是选择纤维素 C6 位羟基氧化,将 C6 位羟基氧化成醛基或羧基,不破坏纤维素主链结构,保持纤维素主体性能和强度不发生大的改变。选择性氧化体系有次氯酸盐氧化体系、TEMPO 氧化体系、二氧化氮氧化体系等^[14],选择不同氧化体系和氧化参数条件能够制得不同氧化度的 C6 选择性氧化再生纤维素^[15,16]。

同一种材料制成不同三维结构的止血材料,临床使用适用症和止血效果可能不同。作者选择 C6 位氧化再生纤维素制成海绵状和纱布状两种三维结构,研究两种形态对止血材料性能的影响,同时控制反应条件制备不同氧化度的氧化再生纤维素,比较不同氧化度的氧化再生纤维素性能。建立动物模型,在同一氧化度条件下,比较纱布和纤丝止血速率。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2017.09.010

收稿:2016-11-09;修回:2017-05-13;

作者简介:黄伟(1976—),男,高级工程师,本科,从事可吸收生物材料的研究;

* 通讯联系人,E-mail:lzgjdx@163.com.

1 实验

1.1 实验材料和仪器

再生纤维素:保定天鹅股份有限公司,DP 在 280~320 之间;环己烷:分析纯,广州光华科技股份有限公司;二氧化氮:浙江德清华科气体有限公司;无水乙醇:分析纯,广州光华科技股份有限公司;磷酸二氢钠:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;95%酒精:宁波万隆食用酒精有限公司;氢氧化钠,分析纯,广州光华科技股份有限公司;SD 大鼠:SPF 级、雌雄各半、体重 220~240g,北京维通利华实验动物技术有限公司。

高效液相色谱(HPLC)分析仪器:岛津 LC-20A, RID-10 示差折光检测器,色谱柱:Phenomenex (Luna) OOG-4378-EO 氨基柱,柱温:45℃,流动相:乙腈:水=2:1。

紫外(UV):上海光谱 SP-754PC 紫外可见分光光度计,光学系统:单光束,自准式光栅单色器,1200 条/毫米光栅光谱带宽:4nm,波长范围:190~1100nm,光度准确度:±0.5%T。分析软件:Win-Spec 应用软件 SP-5.0。

红外(FTIR):傅里叶变换红外光谱仪为 Thermo Fisher Scientific 公司的 Nicolet™ iS™ 5 型号。收集红外光谱的分辨率为 4cm^{-1} ,光谱范围为 $4000\text{cm}^{-1}\sim 400\text{cm}^{-1}$,每张光谱累加扫描 16 次。红外光谱分析软件为 ThermoFisher 公司的 OMNIC Specta™。

1.2 实验方法

1.2.1 不同形态和不同氧化度的 C6 位氧化再生纤维素纱布和纤丝制备 氧化再生纤维素纱布制备:将再生纤维素用编织机编制成纱布,然后浸泡在环己烷中,通入二氧化氮氧化 120h。然后取出纱布用 95%清洗 3 次,最后用无水乙醇脱水 1 次。最后在真空干燥箱中 50℃干燥 4h。14%、17%、20%、23%氧化度纱布对应二氧化氮浓度分别为 5.1%、7.0%、8.5%、10.0%。

氧化再生纤维素纤丝制备:将再生纤维素用弹花机弹织成海绵状结构,然后浸泡在环己烷中,通入二氧化氮氧化 120h。然后取出纱布用 95%清洗 3 次,最后用无水乙醇脱水 1 次。最后在真空干燥箱中 50℃干燥 4h。14%、17%、20%、23%氧化度纤丝对应二氧化氮浓度分别为 2.0%、2.5%、2.8%、3.4%。

1.2.2 吸水率性能测定 分别取不同氧化度的纱布和纤丝 0.6g 放入多孔布袋中,然后浸泡在 30mL PBS(pH=7.4)溶液中,置于 37℃恒温箱。在 5s、30s、60s、2min、5min、10min、30min、2h 称量样品吸水率:

$$W = [(A - A_0) / A_0] \times 100\%$$

式中,A 表示吸水后样品重量, A_0 表示前样品重量。

1.2.3 凝胶化速率性能测定 取不同氧化度的纱布和纤丝分别为 0.3g 放入玻璃瓶,然后加入 5mL PBS(pH=7.4)溶液,置于 37℃水浴。前 1min 每隔 5s 观察一次,1min 后每隔 10s 观察一次。记录不同氧化度的纱布和纤丝完全形成凝胶状形态的时间。

1.2.4 溶解性能测定 将不同氧化度的纱布和纤丝分别取 0.1g 加入试管,再加 40mL PBS(pH=7.4)溶液,然后放入 37℃恒温箱。每隔 12h 观察一次,直至溶液澄清。记录各样品完全溶解所需时间。

1.2.5 降解产物测定 葡萄糖测定法:取葡萄糖标准适量,用水:流动相(1:1)的溶剂稀释成 1mg/mL 的溶液,作为标准品溶液;取受试品纱布和纤丝 7 天后降解液适量,流动相 1:1 稀释后用 $0.45\mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后作为供试品溶液;取供试品和标准品 $20\mu\text{L}$ 注入液相色谱仪,记录色谱图,按外标法以峰面积计算葡萄糖含量。

葡萄糖醛酸测定法:精密量取降解液 1mL 置 100mL 容量瓶中,加水稀释至刻度,摇匀;精密取该稀释液 0.5mL 于具塞试管中,在冰浴中预冷后逐滴加入 0.125mol/L 四硼酸钠硫酸溶液 1.5mL。振摇混合,在沸水浴中煮沸 5min。以冰浴冷却至室温,分别加入 0.15%间羟联苯的 0.5%氢氧化钠溶液

0.25mL。摇匀后用紫外在 520nm 处测定吸收度(A),代入标准曲线计算即得。

1.2.6 抗老化性能测定 将样品放入 80℃ 恒温箱中,记录不同氧化度纱布和纤丝变黄时间。同时,取 20%氧化度纱布和纤丝样品做红外分析,观察分子链官能团在氧化和老化后的变化。

1.2.7 止血时间和流血量测定 本实验选用氧化度为 20%的氧化再生纤维素纱布和纤丝作为止血材料。成年 SD 大鼠作为实验动物,建立大鼠右侧髂外动脉出血模型。每组有效样本数 20 只 SD 大鼠。

动物麻醉后,开腹,用无菌针头刺破右侧髂外动脉出血后,分别用实验组 1 的吸收性氧化再生纤维素纱布和实验组 2 的吸收性氧化再生纤维素纤丝贴于出血位置,模型组使用无菌纱布贴于出血位置,贴敷后流出的血液用称重的纱布吸,称重计算止血后流出的总血液量。记录各组止血时间,直到不能吸收血液为止。

数据输入 Excel 并进行统计,列出各组统计数据以 Mean±SD 表示,按性别进行 T-test 检验。

2 结果与讨论

2.1 吸水率

将不同氧化度的氧化再生纤维素纱布和纤丝分别浸泡在 PBS(pH=7.4)溶液中,待氧化再生纤维素样品吸收饱和,观察氧化度和三维结构对样品饱和和吸收率的影响。结果如图 1 所示,氧化度在 14%时,纤丝和纱布饱和吸水率在 650%~700%,随着氧化度的增加,纤丝和纱布饱和吸水率不断增加,当氧化度在 23%时,纤丝和纱布饱和吸水率增大到 850%~950%。这主要是因为氧化度增加,羧基含量提高,样品亲水性增强,吸水保水性能增加,所以饱和吸水率升高。

同时从图 1 可以发现,在相同氧化度条件下,纤丝饱和吸水率比纱布要高出 50%~130%,这是因为纤丝是松散的网状多孔结构,有利于与 PBS 溶液更加充分接触,所以吸水性更好,同时网状多孔结构能锁住更多水分^[17]。纱布由线编织而成,线较粗,同时缺乏多孔结构,不利于 PBS 溶液充分接触且难以锁住水分。所以同一氧化度条件下,纤丝饱和吸水率比纱布更高。

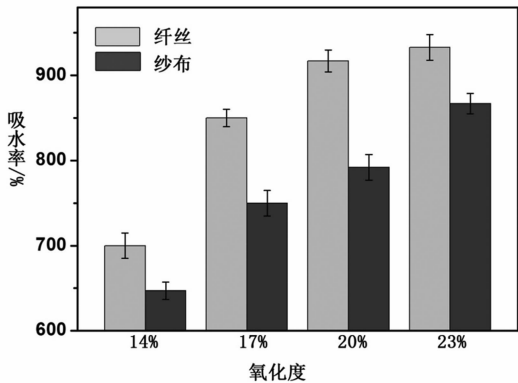


图 1 不同三维结构和氧化度氧化再生纤维素的吸水率

Figure 1 The water absorptions of oxidized regenerated cellulose of different three-dimensional structures and oxidation degrees

为了研究三维结构和氧化度对氧化再生纤维素吸水速度的影响,我们选择不同时刻进行吸水率观察,结果见图 2。研究发现,所有样品随着时间增加,吸水率增加,吸水速率总体变慢。纤丝 10min 基本达到饱和吸水率,而纱布需要 30min 才能达到饱和和吸水率。同时纤丝在 5s 内吸水率达到 500%左右,超过饱和吸水率一半;而纱布在 5s 内吸水率只有 250%左右,占饱和吸水率的 30%。这在临床使用过程中,纤丝止血速度可能会比纱布更快。同时氧化度越高,前期吸水速度越快。

2.2 凝胶化速率

凝胶形成的快慢影响临床使用中的止血速度和止血效果^[18],因此,作者研究了不同氧化度的氧化再

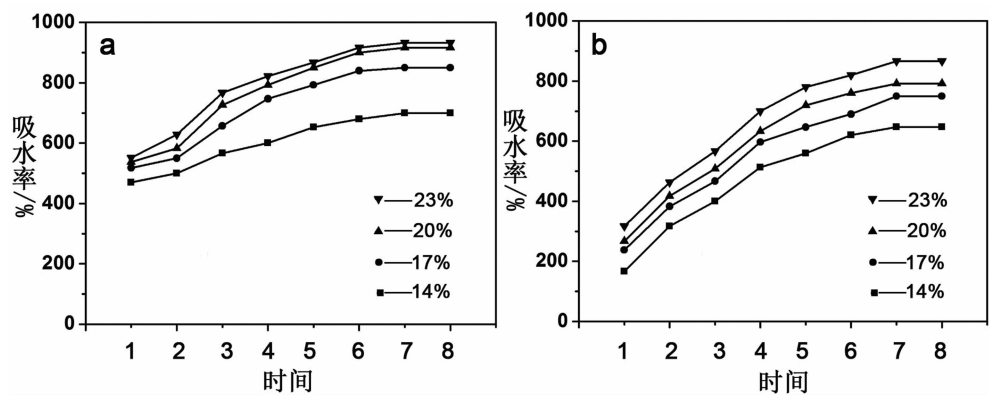


图 2 不同氧化度氧化再生纤维素纤丝和纱布在不同时间的吸水率
a—氧化再生纤维素纤丝;b—氧化再生纤维素纱布;1—5s; 2—30s; 3—60s; 4—2min; 5—5min; 6—10min; 7—30min; 8—2h。
Figure 2 The water absorptions of oxidized regenerated cellulose fiber and gauze with different oxidation degrees in different time
a—oxidized regenerated cellulose fiber; b—oxidized regenerated cellulose gauze; 1—5s; 2—30s; 3—60s; 4—2min; 5—5min; 6—10min; 7—30min; 8—2h.

生纤维素纱布和纤丝在 PBS(pH=7.4) 溶液中发生凝胶化的速度,并观察氧化度和三维结构是否对氧化再生纤维素形成凝胶的速度有影响。结果如图 3 所示,氧化度为 23% 时,纤丝和纱布在 30s 内就形成凝胶状固体。氧化度为 14% 时,纤丝需要 200s、纱布需要 400s 才能形成凝胶状固体,样品形成凝胶状固体速率随氧化度增加而加快。这是因为氧化度增大,羧基含量增加,样品与水作用力增强,所以形成凝胶状固体速率加快。

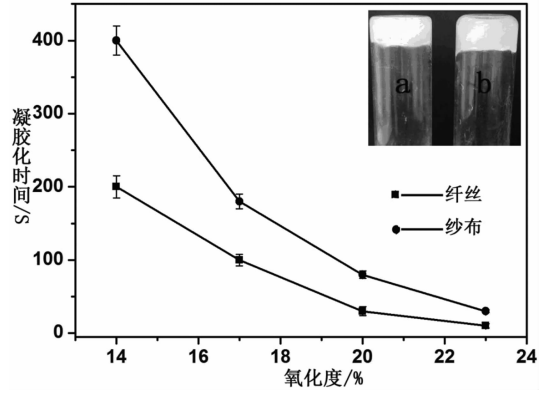


图 3 在 37℃PBS(pH=7.4) 溶液中,不同氧化度氧化再生纤维素纤丝和纱布的凝胶化时间
a—氧化度 20% 的氧化再生纤维素纤丝形成的凝胶;b—氧化度 20% 的氧化再生纤维素纱布形成的凝胶。
Figure 3 The gelation time of oxidized regenerated cellulose fiber and gauze with different oxidation degrees in PBS(pH=7.4) solution on 37℃
a—the gelation formed from oxidized regenerated cellulose fiber with 20% oxidation degree; b—the gelation formed from oxidized regenerated cellulose gauze with 20% oxidation degree.

图 3 中 a、b 代表 20% 氧化度的氧化再生纤维素纤丝和纱布样品形成凝胶的形状,外观形态结构一致。从图中还可以发现,纤丝形成凝胶状固体速率比纱布要快。这是因为纤丝结构更松散,吸水速度快,样品能快速分散形成凝胶状固体。同时还发现,氧化度越低,纤丝和纱布凝胶化速率差距越大。

2.3 溶解速率及降解速率

氧化再生纤维素止血材料能够被人体吸收,吸收过程为溶解、降解、最后排出体外^[19]。对此,作者研究了氧化再生纤维素在 PBS(pH=7.4)溶液中的溶解速率以及降解速率受氧化度和三维结构的影响。结果如图 4a 所示,氧化度越高,溶解速率越快,23%氧化度的纤丝和纱布在 2~3 天完全溶解,溶液澄清;氧化度为 14%的纤丝和纱布在 2 周内也完全溶解。纤丝溶解速率比纱布稍微快点,氧化度在 17%以上差别并不明显。

氧化再生纤维素降解的最终产物可能为葡萄糖或葡萄糖醛酸,利用高效液相色谱对降解溶液中葡萄糖含量进行测定,结果发现,不同氧化度的纤丝和纱布样品葡萄糖降解产物中都没有葡萄糖。

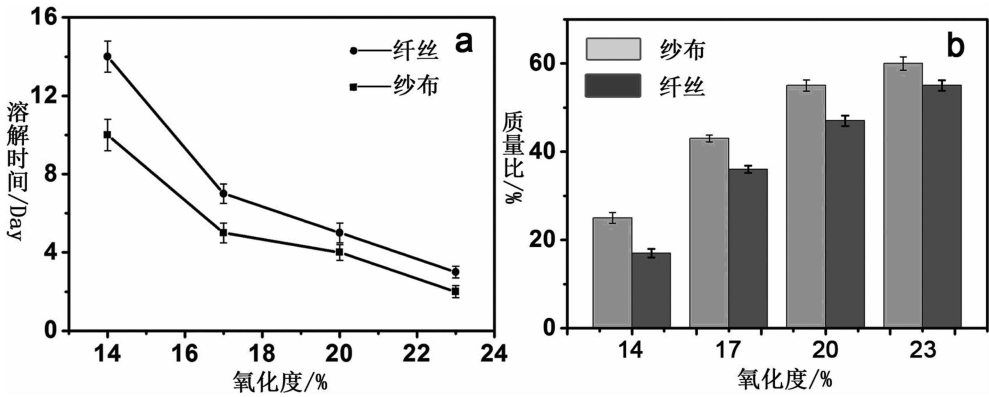


图 4 不同氧化度氧化再生纤维素纤丝和纱布的溶解速率和降解产物含量

a—在 37℃ PBS(pH=7.4)溶液中,不同氧化度氧化再生纤维素纤丝和纱布的溶解时间;b—

在 37℃ PBS(pH=7.4)溶液中,不同氧化度氧化再生纤维素纤丝和纱布的降解产物葡萄糖醛酸含量质量比。

Figure 4 The dissolution rates and degradation product contents of oxidized regene rated cellulose fiber and gauze with different oxidation degrees

a—the dissolved time of oxidized regenerated cellulose fiber and gauze with different oxidation degrees in PBS(pH=7.4) solution on 37℃; b—the glucuronic acid content ratios of the degradation product about oxidized regenerated oxidized regenerated cellulose fiber and gauze with different oxidation degrees in PBS(pH=7.4) solution on 37℃.

采用紫外分光光度计对葡萄糖醛酸含量进行了测定,结果如图 4b 所示。葡萄糖醛酸含量随氧化度增加而增加,这可能是因为氧化度高,纤维素分子链氧化过程中副反应高,主链稳定性差,降解速率更快。

纱布降解产物中葡萄糖醛酸含量高于纤丝,这可能是因为同一氧化度条件下,纱布所用氧化剂量高于纤丝,纱布氧化过程中副反应高于纤丝,纤维素主链稳定性差,所以降解速度快。

同时,从图 4b 还可以发现,纤丝和纱布在第 7 天观察降解成葡萄糖醛酸含量最高只占总样品量的 50%~60%。其它物质可能是降解成为多糖衍生物,最终降解完全和中间降解产物还要进一步观察研究。

2.4 抗老化性

一个产品最终能否进入市场,它的有效期十分重要,有效期越长,商家面对的风险和承担的成本越低。氧化再生纤维素的稳定性决定了产品的有效期。针对这一点,作者研究了氧化度和三维结构对样品抗老化性的影响,结果如图 5 所示。图 5 中 a、c 分别为 20%氧化度纱布样品加速前和加速后的外观形态,b、d 分别为 20%氧化度纤丝样品加速前和加速后的外观形态,高温加速后纱布和纤丝明显变黄,变脆。随着氧化度增加,纤丝和纱布样品抗老化性能变差,氧化度为 14%时,在 80℃条件下需 95~120 天氧化再生纤维素才变黄,强度下降,成粉末。氧化度为 23%时,在 80℃条件下只需 20~45 天氧化再生纤维素才变黄,强度下降,成粉末。这是因为氧化度增加,分子链稳定性差,降解速度加快。

从图 5 中还可以观察到纱布抗老化性能比纤丝差,变黄,强度下降,成粉末速度更快。这是因为同一

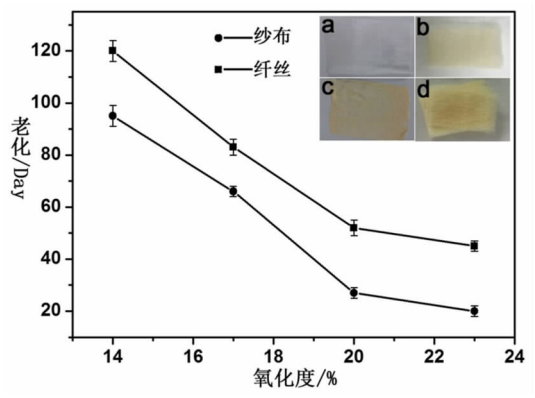


图 5 在 80℃ 条件下,不同氧化度氧化再生纤维素纤丝和纱布的老化时间
a、b、c、d 分别表示加速老化前氧化再生纤维素纱布、加速老化前氧化再生纤维素纤丝、80℃ 加速老化后氧化再生纤维素纱布、80℃ 加速老化后氧化再生纤维素纤丝。

Figure 5 The ageing times of oxidized regenerated cellulose fiber and gauze with different oxidation degrees on 80℃
a, b, c, d describing the morphologies respectively of oxidized regenerated cellulose gauze before the ageing, oxidized regenerated cellulose fiber before the ageing, the aged oxidized regenerated cellulose gauze on 80℃, the aged oxidized regenerated cellulose fiber on 80℃.

氧化度条件下,纱布所用氧化剂量高于纤丝,纱布氧化过程中副反应高于纤丝,主链稳定性差,所以降解速度快。

为了进一步研究氧化再生纤维素分子结构中官能团的变化,作者选择氧化度为 20% 的纤丝和纱布样品进行红外分析,结果如图 6 所示。再生纤维素在 3465cm⁻¹ 处出现—OH 基伸缩振动特征吸收峰,氧化后纤丝和纱布在 1727cm⁻¹ 处出现—C=O 基伸缩振动特征吸收峰,这是因为再生纤维素 C6 位羟基被氧化成羧基^[20]。纤丝在 80℃ 加速老化 120 天,纱布在 80℃ 加速老化 95 天,取老化变黄后纤丝和纱布样品进行红外分析。从图 6c、6e 可以看到,没有出现新的官能团吸收峰,羧基吸收峰强度增加,可能是在高温下氧化再生纤维素被进一步氧化造成的,但具体在哪个碳原子位置氧化,需要做进一步深入研究。

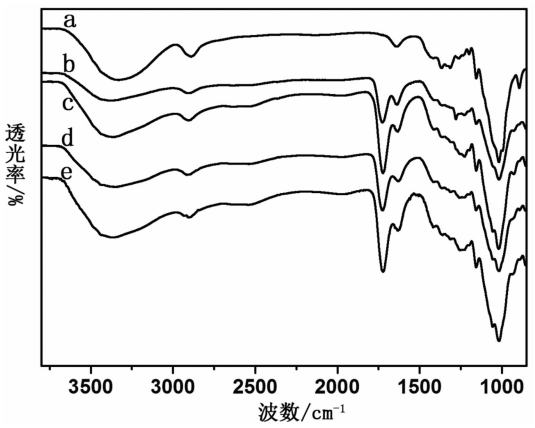


图 6 样品红外谱图
a—再生纤维素;b—氧化再生纤维素纤丝;c—80℃ 加速老化 120 天的氧化再生纤维素纤丝;
d—氧化再生纤维素纱布;e—80℃ 加速老化 95 天的氧化再生纤维素纱布。

Figure 6 The FTIR spectra of the samples
a—regenerated cellulose; b—oxidized regenerated cellulose fiber; c—the aged oxidized regenerated cellulose fiber on 80℃ for 120 days; d—oxidized regenerated cellulose gauze; e—the aged oxidized regenerated cellulose gauze on 80℃ for 95 days.

2.5 止血速率

实验组 2 雄性大鼠止血时间和血重分别为 $80.7\pm16.7\text{s}$ 和 $2.67\pm1.08\text{g}$,止血时间和出血量显著少于模型组($P<0.01$),略少于实验组 1。实验组 2 雌大鼠止血时间和出血量分别为 $69.3\pm8.2\text{s}$ 和 $2.32\pm0.83\text{g}$,止血时间和出血量明显少于模型组($P<0.01$),略少于实验组 1。详见表 1。结果表明氧化再生纤维素氧化度为 20%的条件下,纤丝止血速率优于纱布,纤丝止血效果更好。这可能是因为纤丝松散网状多孔结构,吸收血液中水分速率及凝胶化速率更快,致使凝血速率更快。

表 1 氧化再生纤维素纱布和纤丝的止血速率
Table 1 Hemostasis speed of oxidized regenerated cellulose gauze and fiber

组别	性别	止血时间/s	血重/g
模型组	雄	92.1 ± 22.4	3.77 ± 1.09
实验组 1	雄	87.8 ± 12.7	$3.05\pm1.00^*$
实验组 2	雄	$80.7\pm16.7^{**}$	$2.67\pm1.08^{**}$
模型组	雌	88.3 ± 12.4	3.46 ± 0.81
实验组 1	雌	$79.7\pm12.4^*$	$2.34\pm0.70^{**}$
实验组 2	雌	$69.3\pm8.2^{**}$	$2.32\pm0.83^{**}$

实验组与模型组相比,* : $P<0.05$;** : $P<0.01$,T-test。

3 结论

通过研究氧化度和三围结构对氧化再生纤维素性能的影响,我们发现,氧化度增高,氧化再生纤维素吸水率增强,凝胶化速率加快,溶解速率和降解速率变快,抗老化性能变差,产品有效期变短。比较纤丝和纱布两种三围结构对产品性能的影响,纤丝松散网状多孔结构有利于提高吸水率,加快凝胶化速率和溶解速率;降低氧化剂用量,提高抗老化性能。同一氧化度条件下,纤丝止血速率优于纱布,止血效果更好。

氧化度和三维结构对氧化再生纤维素性能影响显著,所以在产品设计过程中要结合临床使用过程,合理选择氧化度区间和产品三维结构,以达到最佳使用效果,降低患者手术风险。

参考文献：

[1] Kim H, Gallo J. JAMA Facial Plastic Surgery, 2014, 17(2):97~102.

[2] Fei W X, Dan Z X, University J, Zhen S, Province S. J Clin Rehab Tissue Eng Res, 2010, 14(21):3973~3976.

[3] Zhang C H, Song X M, He Y L, Han F, Wang L, Xu J B, Chen C Q, Cai S R, Zhan W H. Am J Surgery, 2012, 203(4):e5~e8.

[4] 李学军, 孙园园. 中国组织工程研究, 2011, 15(51):9671~9674.

[5] Fei W X, Dan Z X, University J, Zhen S, Province S. J Clin Rehab Tissue Eng Res, 2010, 14(21):3973~3976.

[6] Achneck H E, Silesi B, Jamiolkowski R M, Albala D M, Shapiro M L, Lawson J H. Ann Surgery, 2010, 251(2):217~228.

[7] Gordy S D, Rhee P, Schreiber M A. Expert Rev Med Devices, 2011, 8(1):41~47.

[8] Gao J, Liu L, Ling-Zhi L I. J Log Univ Pap, 2016:234~237.

[9] Schonauer C, Tessitore E, Barbagallo G, Albanese V, Moraci A. Eur Spine J, 2004, 13 Suppl 1(S01):S89~S96.

[10] 王春仁, 张清, 奚延斐. 中国生物医学工程学报, 2007, 26(4):610~611.

[11] Murat F J, Le C Q, Ereth M H, Piedra M P, Dong Y, Gettman M T. JSLs, 2006, 10(3):302~306.

[12] 张少锋, 洪加源. 中国组织工程研究, 2012, 16(21):3941~3944.

[13] Hutchinson R W, George K, Johns D, Craven L, Zhang G, Shnoda P. Cellulose, 2013, 20(1):537~545.

[14] 耿存珍, 夏延致, 全凤玉. 功能材料, 2012, 43(15):1976~1980.

[15] Isogai A, Kato Y. Cellulose, 1998, 5(3):153~164.

[16] Wu Y D, He J M, Huang Y D, Wang F W, Tang F. Fibers Polym, 2012, 13(5):576~581.

- [17] Hou B S, Zheng Y D, Yue L, Wang C, Qiao K, Cui L Y, Yang B W. *Acta Polym Sinica*, 2015(6):657~666.
- [18] Nie W, Yuan X, Zhao J, Zhou Y, Bao H. *Carbohydr Polym*, 2013, 96(1):342~348.
- [19] Dimitrijevič S D, Tatarko M, Gracy R W, Wise G E, Oakford L X, Linsky C B, Kamp L. *Carbohydr Res*, 1990, 198(2):331~341.
- [20] Wu Y D, He J M, Huang Y D, Tang F, Wang F W. *Fibers Polym*, 2012, 13(5):582~586.

The Effect of Three-Dimensional Structures and Oxidation Degree on the Properties of C6-Oxidized Regenerated Cellulose Hemostatic Material

HUANG Wei, XU Xiao-hui, GUO Li-ping

(*Hangzhou Singclean Medical Products Co., Ltd., Hangzhou 310000, China*)

Abstract: C6-oxidized regenerated cellulose, as a hemostatic material, its physic-chemical properties affect the hemostatic performance. To research the properties of oxidized regenerated cellulose with different three-dimensional structures and oxidation degree, we compared their water absorption, gelation rate, dissolution rate, degradation rate, ageing resistance, hemostasis effect. It was found that, with the increase of oxidation degree, oxidized regenerated cellulose has stronger water absorption, faster gelation rate, dissolution rate and degradation rate, but weaker ageing resistance, shorter lifetime. The mesh and porous structure of the fiber, compared with the compact structure of the gauze, is more advantageous to increase water absorption, speed up gelation rate and dissolution rate, meanwhile reduce the usage amount of the oxidizing agent and improve the ageing resistance. Fiber has faster hemostasis speed and better hemostasis effect than gauze in the same condition of oxidation degree.

Key words: Oxidized regenerated cellulose; Oxidation degree; Hemostatic material; Specific oxidation