

不同浓度的 Na_2CO_3 碱性水溶液对创面修复的影响

王金昌¹, 孙 新², 王天斌³, 赵 敏¹, 孙 宇¹, 楚稼滨¹, 吴艳菲⁴, 吴殿秀⁵, 盖秀英^{6*}

¹吉林市人民医院手足显微外科, 吉林 吉林

²吉林医药学院药学院, 吉林 吉林

³北华大学附属医院手足显微外科, 吉林 吉林

⁴吉林市人民医院手术室, 吉林 吉林

⁵北华大学基础医学院, 吉林 吉林

⁶吉林市人民医院医务科, 吉林 吉林

收稿日期: 2025年10月4日; 录用日期: 2025年10月28日; 发布日期: 2025年11月5日

摘 要

目的: 探讨不同浓度的碳酸钠(Na_2CO_3)碱性水溶液外用对创面修复的影响。方法: 制备0.1%~10%的碳酸钠水溶液, 选取PH值相近的3种不同浓度的碳酸钠水溶液作为实验试剂。选用体重200~250 g的雄性SD鼠, 按数字表分组法分为空白组及实验组共4组(A、B、C为实验组; K为空白组), 并构建创面模型。使用选取的0.5%、1%、3%的碳酸钠水溶液分别对应A、B、C组并对实验组创面湿敷。于湿敷后第7、14、21天分别测量创面的PH值、面积并计算创面愈合率, 随机切取每组中的2只大鼠创面整体标本, 进行病理切片观察; 进行对比及统计学分析。结果: 0.5%、1%、3%的碳酸钠水溶液PH值分别为 11.3 ± 0.2 、 11.4 ± 0.3 、 11.6 ± 0.2 相互接近作为实验试剂并分别与实验组A、B、C对应; A、B、C组溶液湿敷后第7、14、21天测量创面的PH值均在7.0~8.1; 创面第21天K、A、B、C组愈合率分别为93.27%、97.23%、99.83%、92.10%; 病理观察: 第7天各组皮肤坏死及创面炎症改变较重、纤维增生及新生血管等变化无明显差异; 第14天A、B、K组纤维增生、新生血管较C组增多; 第21天A、B表皮新生构建(角质细胞、成纤维细胞、新生血管)明显高于K、C组、且B组高于C组。结论: 创面修复是变化的复杂的过程。不同浓度碳酸钠的碱性水溶液作用于创面虽可产生促进创面修复弱碱性环境(PH7.0~8.6)。但0.5%、1%的碳酸钠碱性水溶液可以促进创面的愈合, 而3%的碳酸钠碱性水溶液影响、阻碍创面修复。创面碱性溶液的浓度可能也是影响创面愈合的一个因素。

关键词

创面, 碱性溶液, 浓度

Impact of Varying Concentrations of Sodium Carbonate Alkaline Aqueous Solutions on Wound Repair

*通讯作者。

文章引用: 王金昌, 孙新, 王天斌, 赵敏, 孙宇, 楚稼滨, 吴艳菲, 吴殿秀, 盖秀英. 不同浓度的 Na_2CO_3 碱性水溶液对创面修复的影响[J]. 临床医学进展, 2025, 15(11): 399-407. DOI: 10.12677/acm.2025.15113111

Jinchang Wang¹, Xin Sun², Tianbin Wang³, Min Zhao¹, Yu Sun¹, Jiabin Chu¹, Yanfei Wu⁴, Dianxiu Wu⁵, Xiuying Gai^{6*}

¹Hand and Foot Microsurgery Department, Jilin City People's Hospital, Jilin Jilin

²School of Pharmacy, Jilin Medical University, Jilin Jilin

³Hand and Foot Microsurgery Department, Affiliated Hospital of Beihua University, Jilin Jilin

⁴Operating Room, Jilin City People's Hospital, Jilin Jilin

⁵School of Basic Medical Sciences, Beihua University, Jilin Jilin

⁶Medical Administration Department, Jilin City People's Hospital, Jilin Jilin

Received: October 4, 2025; accepted: October 28, 2025; published: November 5, 2025

Abstract

Objective: To investigate the effects of topical application of sodium carbonate (Na_2CO_3) alkaline aqueous solutions of different concentrations on wound healing. **Methods:** Sodium carbonate solutions (0.1%~10%) were prepared, and three concentrations with similar pH values were selected as experimental reagents. Male Sprague-Dawley rats (200~250 g) were randomly assigned into four groups (blank group K and experimental groups A, B, and C). A wound model was established, and wounds in groups A, B, and C were treated with 0.5%, 1%, and 3% Na_2CO_3 solutions, respectively, via wet dressing. On days 7, 14, and 21 post-treatment, wound pH, wound area, and healing rate were measured. Two rats from each group were randomly selected for histopathological analysis of wound specimens. Comparative and statistical analyses were performed. **Results:** The pH values of 0.5%, 1%, and 3% Na_2CO_3 solutions were 11.3 ± 0.2 , 11.4 ± 0.3 , and 11.6 ± 0.2 , respectively, and were used as experimental reagents for groups A, B, and C. After wet dressing, wound surface pH in groups A~C remained between 7.0 and 8.1. On day 21, wound healing rates were 93.27% (K), 97.23% (A), 99.83% (B), and 92.10% (C). Histological analysis showed severe necrosis and inflammation across all groups on day 7, with no significant differences in fibroplasia and neovascularization. On day 14, groups A, B, and K exhibited more fibroplasia and neovascularization compared with group C. On day 21, epidermal regeneration (keratinocytes, fibroblasts, neovascularization) was more prominent in groups A and B than in groups K and C, with group B superior to group C. **Conclusion:** Wound repair is a dynamic and complex process. Although Na_2CO_3 alkaline solutions can provide a mild alkaline environment (pH 7.0~8.6) conducive to wound healing, only 0.5% and 1% solutions promoted wound closure, whereas the 3% solution impaired healing. The concentration of alkaline solution may therefore be a critical factor influencing wound repair.

Keywords

Wound, Alkaline Solution, Concentration

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

创面修复一直是医学领域的难题。以往人们曾采用各种方法进行治疗，其中应用自行配制的“面碱水”（碳酸钠水溶液）浸泡或湿敷创面进行治疗，虽然起到了一定的治疗作用，但效果不尽相同[1]。近年来，随着对创面愈合机制的不断深入研究，提出创面微环境的概念及理论，人们更加认识到创面微环境

的变化在创面愈合中起着重要的作用，其中创面的酸碱度即创面的 pH 值，它可以影响细胞内巨噬细胞、淋巴细胞、成纤维细胞及各种酶、因子的活跃性及数量的改变，促进或影响创面的愈合[1]。回顾以往我们常采用粗略的自行配制的 1%~5% “面碱水” 碱性溶液外用治疗创面，虽取得了一定的临床效果，但效果参差不齐[2]。我们采用以往常用的应用碳酸钠(强减弱酸盐)的碱性水溶液作为实验试剂，探讨碱性溶液除 pH 值以外，是否还存在碱性溶液的浓度等因素对创面有影响作用。故我们设计了在 PH 值稳定区域内观察不同浓度的碳酸钠水溶的作用效果是否一致。

2. 材料与方法

2.1. 设计

测量 0.1%~10%不同浓度的碳酸钠水溶液，观察其 pH 值的变化，选取 pH 值变化较小的一组不同浓度碳酸钠水溶液作为实验试剂。同时，选用大白鼠分为空白组及不同碳酸钠水溶液的实验组，构建创面模型，观测创面的愈合速度及创面病理变化等项目。并进行多组间的比较及统计学分析。

2.2. 材料

2.2.1. 实验试剂的配制及选用

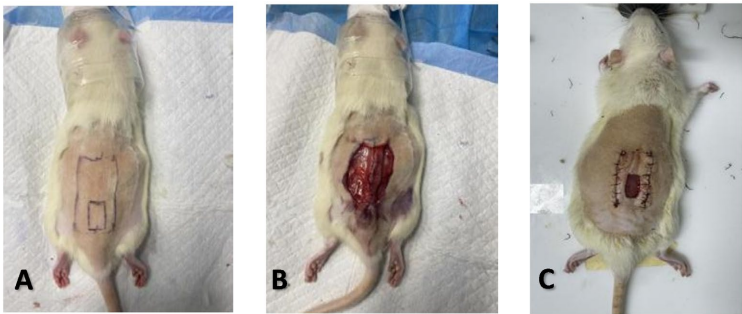
用称量纸在天平上精确称量 0.05 g 碳酸钠固体，倒入烧杯中；同时，用量筒量取 99.95 mL 蒸馏水倒入烧杯；用玻璃棒搅拌至固体完全溶解，即得 0.05%溶液。依次类推，配不同浓度的溶液，同时测量其 pH 值(如表 1)。并恒温 $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中，保存在无菌的容器中。其中，0.5%、1%、3%三种浓度的碳酸钠水溶液 pH 值接近一致。采用此三种碱性溶液作为实验试剂进行试验，比较不同浓度的碱性溶液对创面的影响是否有差异。

Table 1. Measurement of pH values of alkaline aqueous solutions of sodium carbonate within the concentration range of 0.1%~10%

表 1. 0.1%~10%碳酸钠碱性水溶液 pH 值测定

碳酸钠溶液浓度	0.1%	0.5%	1%	3%	5%	10%
pH	11.0 ± 0.3	11.3 ± 0.2	11.4 ± 0.3	11.6 ± 0.2	11.8 ± 0.1	12.1 ± 0.1

2.2.2. 动物模型的建立



A. 术野局部备皮后，标记创口大小及位置；B. 全层切开皮肤，止血后对侧翻转相互缝合，形成皮管样结构；C. 在原皮管皮肤的下端 2/3 处，标记拟做创面的切口 $1 \times 2\text{ cm}$ 大小，切除皮肤组织并保留皮下筋膜形成创面。

Figure 1. Preparation and establishment of the experimental animal model

图 1. 动物模型的制备

将麻醉机与氧气相连，并注入 1.5%异氟烷。将大鼠完全麻醉后，调整氧气的流量和异氟烷浓度，维

持麻醉状态。剔除鼠背部长毛。以脊柱为中心轴在背部的中下部画线标记两条纵向切口，两切口相距 2.5 cm，各长 5.0 cm，碘伏消毒，全层切开皮肤，止血后对侧翻转相互缝合，形成皮管样结构。24 小时后，再次对动物麻醉，拆除缝合线并将原缝合的管样皮肤缝回原处，在原皮管处的皮肤制作创面。在原皮管皮肤的下端 2/3 处，标记拟做创面的切口 1 × 2 cm 大小，切除皮肤组织并保留皮下筋膜形成创面[3] (图 1)。同时，在创面上缝合自制的脱脂棉球的存液包，用于吸附碱性实验试剂。分组后，每只大鼠单箱饲养，放置 3 天后按分组进行相对应的碳酸钠水溶湿敷。

2.2.3. 实验仪器及制剂

动物饲养箱、气体麻醉机、手术器械、游标卡尺、数码相机、imageJ 软件、电子天平、固体碳酸钠、蒸馏水、量筒、无菌容器、pH 测量仪、注射器、病理切片制作设备、显微镜等。

2.2.4. 实验分组及处理

将实验大鼠按照随机数字表法分为 4 组，空白组及 3 组实验组，每组 12 只。每只大鼠单笼饲养。在术后第 3 天，空白组创面不进行药物干预，其他三组分别使用相对应的 A、B、C 溶液对大鼠背部的辅料包进行滴注，每日早、晚 6 时滴注两次，以不流淌为宜。

2.2.5. 观察指标及检测方法

A、B、C 组在每日第一次滴注前测量各溶液的 pH 值，以确保溶液的酸碱度稳定。

在开始滴注溶液后的第 7、14、21 天。① 更换 A、B、C 实验组大鼠背部的敷料包，并测量创面的 pH 值。同时，同步测量 K 组创面的 pH 值。② 应用游标卡尺测量创面的最大长度与最大宽度，并用数码相机对创面进行拍照，将数据输入到 imageJ 软件中，计算创面的面积，并通过公式“创面愈合率 = (初始创面面积 - 剩余创面面积) / 初始创面面积 × 100%”计算创面的愈合率。③ 每组随机选取 2 只大白鼠将创面及其周围 5 mm 范围的皮肤组织一同切除，用 10% 福尔马林固定，常规脱水、石蜡包埋、切片、苏木精 - 伊红(HE)染色。观察中性粒细胞、成纤维细胞、新生毛细血管、角质细胞等的变化。

2.2.6. 比较及统计学分析

对创面的愈合率采用 SPSS26 软件进行统计学分析。依据组织病理学分级依次分为：1 级(轻微)、2 级(轻度)、3 级(中度)、4 级(重度)、5 级(严重)，观察、比较创面的中性粒细胞、成纤维细胞、角质细胞以及新生毛细血管的变化程度。

3. 结果

3.1. 创面 pH 的变化

A、B、C 组在使用相对应的不同浓度溶液持续湿敷创面后的第 7、14、21 天创面，及 K 组创面的 pH 值，即创面微环境的酸碱度。如表 2 溶液湿敷前及第 7、14、21 天创面的 pH 值。

3.2. 创面愈合率的测定

随着创面愈合时间的增加，在 7、14、21 天，观察创面的性状由原来的规则形状逐渐变为不规则的形状，甚至部分创面愈合(如表 3)。应用 imageJ 软件，将用数码相机拍摄的创面图形及测量的最大长度及宽度数值输入到软件中，计算出创面的面积，应用创面愈合率公式计算出各组大鼠的创面愈合率(如表 4)。

创面愈合率统计结果：术后 7 天时，A 组同 K 组对比 $p < 0.05$ ，A 组优于 K 组；C 组同 K 组对比， $p < 0.05$ ，K 组优于 3% 组；A 组同 B 组对比 $p > 0.05$ ，A 组和 B 组无明显差别。

术后 14 天时，A 组同 K 组对比 $p < 0.05$ ，A 组优于 K 组；A 组同 B 组对比 $p < 0.05$ ，B 组优于 C 组。

术后 21 天时, A 组同 K 组对比 $t=9.4$, $t>t_{0.05}(2.145)$, $p<0.05$, A 组优于 K 组; C 组同 K 组对比 $p<0.05$, K 组优于 C 组。A 组同 B 组对比 $p<0.05$, B 组优于 A 组。最终的愈合结果: B 组优于 A 组优于 K 组优于 C 组。

Table 2. pH values of the wound surface prior to solution dressing and at 7, 14, and 21 days post-treatment
表 2. 溶液湿敷前及第 7、14、21 天创面的 pH 值

	K 组	A 组	B 组	C 组
湿敷前	6.9 ± 0.3	6.9 ± 0.2	6.8 ± 0.1	6.9 ± 0.5
7D	7.0 ± 0.2	7.0 ± 0.2	7.8 ± 0.1	7.9 ± 0.3
14D	6.9 ± 0.3	7.3 ± 0.1	7.5 ± 0.1	8.1 ± 0.2
21D	6.6 ± 0.1	6.9 ± 0.1	7.0 ± 0.2	7.5 ± 0.4

Table 3. Morphological characteristics of the wound prior to solution dressing and at 7, 14, and 21 days post-treatment
表 3. 溶液湿敷前及第 7、14、21 天的创面形状

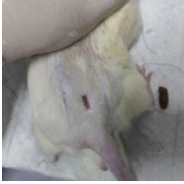
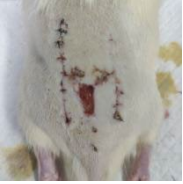
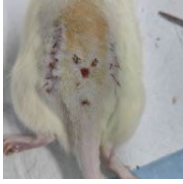
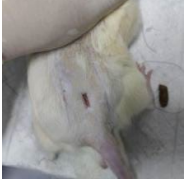
	K 组	A 组	B 组	C 组
湿敷前				
7D				
14D				
21D				

Table 4. Wound healing rate prior to solution dressing and at 7, 14, and 21 days post-treatment
表 4. 溶液湿敷前及第 7、14、21 天的创面愈合率

	K 组	A 组	B 组	C 组
7D	$20.34\% \pm 0.15\%$	$47.67\% \pm 0.11\%$	$48.54\% \pm 0.22\%$	$17.35\% \pm 0.21\%$
14D	$82.17\% \pm 0.21\%$	$83.11\% \pm 0.32\%$	$84.19\% \pm 0.01\%$	$82.49\% \pm 0.14\%$
21D	$93.27\% \pm 0.19\%$	$97.23\% \pm 0.04\%$	$99.83\% \pm 0.02\%$	$92.10\% \pm 0.07\%$

3.3. 创面组织病理观察

在病理切片上观察反映创面化脓性炎症的中性粒细胞、反映肉芽肿性炎症的巨噬细胞、表达纤维细胞增生的成纤维细胞，表皮增生的角质细胞。在病理切片观察时，第一周，K 及 A、B、C 组炎症改变较重，皮肤坏死的区域和严重程度较重，纤维增生程度较轻，各组间组织病理学改变相似，无较大差异。第二周，皮肤坏死区域及严重程度较一周时有所减轻，纤维增生程度增加，A 组动物较空白组、B 组、C 创口恢复相对较好。第三周时，B 组皮肤坏死的发生率降低，表皮重新构建，炎症反应减退更加良好(如表 5、表 6)。

Table 5. Histopathological evaluation of the wound following solution dressing at 7, 14, and 21 days

表 5. 溶液湿敷后第 7、14、21 天的创面病理切片

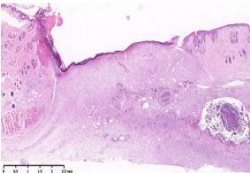
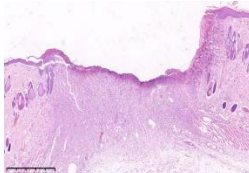
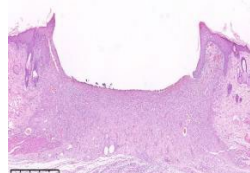
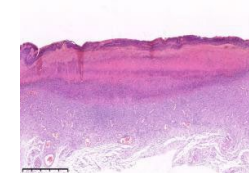
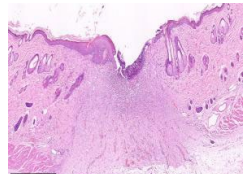
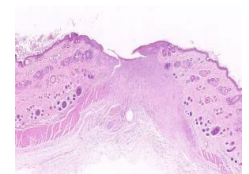
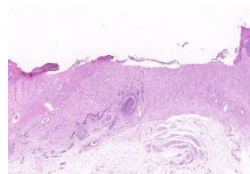
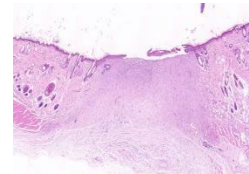
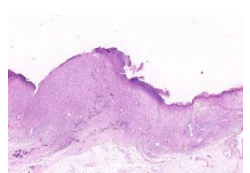
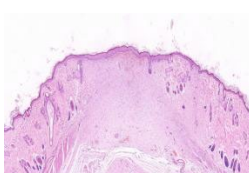
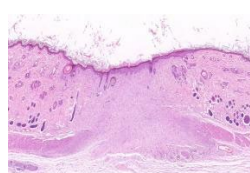
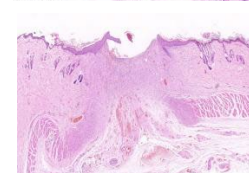
	K 组	A 组	B 组	C 组
7D				
14D				
21D				

Table 6. Wound histopathological alterations prior to solution dressing and at 7, 14, and 21 days post-treatment

表 6. 溶液湿敷前及第 7、14、21 天的创面的病理变化

	K 组	A 组	B 组	C 组
7D	轻微表皮增生 轻度表皮浆液性细胞痂皮 中度皮肤坏死 中度肉芽肿性炎症 中度纤维增生 中度新生血管形成	轻微表皮增生 轻度表皮浆液性细胞痂皮 中度皮肤坏死 中度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 中度新生血管形成	轻微表皮增生 中度表皮浆液性细胞痂皮 中度皮肤坏死 轻度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 中度新生血管形成	轻度表皮增生 轻度表皮浆液性细胞痂皮 中度皮肤坏死 轻度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 轻度新生血管形成
14D	轻度表皮增生 轻微表皮浆液性细胞痂皮 轻微皮肤坏死 轻度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 中度新生血管形成	轻微表皮增生 轻度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 轻微新生血管形成	轻微表皮增生 轻微皮肤坏死 轻度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 轻度新生血管形成	轻微表皮增生 轻度表皮浆液性细胞痂皮 中度皮肤坏死 中度化脓性炎症 轻度纤维增生 轻度新生血管形成
21D	轻微表皮增生 中度皮肤坏死 中度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 轻度新生血管形成	轻度表皮增生 轻微皮肤坏死 轻度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 重度新生血管形成	轻度表皮增生 轻微混合性细胞浸润 中度纤维增生 轻度新生血管形成	轻微表皮增生 中度表皮浆液性细胞痂皮 严重皮肤坏死 中度肉芽肿性炎症 轻度纤维增生 中度新生血管形成

4. 讨论

皮肤是人体的最大器官,皮肤完整性对机体的深层组织起着重要保护作用。正常创面的修复过程分为:炎症期、增生期(肉芽期)、成熟期(重构期)。各阶段无明显时间节点,相互重叠、交错发生[4][5]。在无任何干预的情况下,创口内形成血栓及临时细胞外基质(由纤维蛋白和纤维结合蛋白构成),吸引炎症细胞,通过吞噬作用和自溶性清创将伤口清理干净,减少炎症的发生;基质金属蛋白酶促进自溶性清创缓解炎症,成纤维细胞转化为细胞外基质合成的主要细胞(肌成纤维细胞),促进基质重构,形成肉芽组织,进一步出现新生血管,角质细胞分化,上皮细胞从伤口边缘开始迁移;随后胶原蛋白网架变得致密和伤口收缩,并在伤口处出现瘢痕。肌成纤维下降,成纤维细胞增多,增加对机械力的抵抗。

自2015年,Kruse等提出创面微环境的概念,创面的pH值变化成为影响创面愈合一个重要因素[6]。弱碱性(pH 7.0~8.6)的微环境下可以增高中性粒细胞释放的酶类(如溶菌酶)、促进创面组织中巨噬细胞M1型向M2型转换,抑制创面组织中的氧化与炎症应激,上调创面组织中增殖细胞核抗原、和血管内皮生长因子的表达,下调创面组织中的细胞凋亡率,促进创面的愈合与肉芽再生[4][7]、促进成纤维细胞的增殖,降低创面的炎症反应,并加速创面的愈合。

本组实验采用以往临床中常用自行配制的“面碱水”,即碳酸钠的碱性水溶液作为实验试剂。在配制不同浓度的溶液中发现,虽然溶液的浓度不同但pH值均相近,为11左右,高于pH 7.0~8.6的可以促进创面修复的弱碱性环境。但用于创面后,测得创面的pH值均在7.0~8.6范围内。考虑碱性溶液与创面渗液、渗血相互作用的结果,具体机理及相互的影响不明。

创面的愈合率,在第7天时,A、B组愈合率高于K组,提示弱碱性可以促进创面的修复。但C组低于K组的愈合率,虽然考虑是否pH过高对软组织产生化学烧伤、但B、C组创面的pH值分别为 7.8 ± 0.1 、 7.9 ± 0.3 存在较小的差异,有待于进一步探讨其原因。在第14天时,A、B创面的pH值分别为 7.3 ± 0.1 ~ 7.5 ± 0.1 ,但统计分析后B组愈合率高于A组。在第21天时,A、B创面的pH值分别为 6.9 ± 0.1 、 7.0 ± 0.2 ,创面的愈合率统计学分析B组愈合率分别高于A、K、C组。在有效创面pH值(7.0~8.6)的情况下,不同浓度的碳酸钠碱性水溶液对创面修复会产生不同的结果。

组织学病理观察,中性粒细胞对应的是化脓性炎症巨噬细胞对应的是肉芽肿性炎症成纤维细胞对应的就是纤维细胞增生角质细胞对应的是表皮增生。K、A、B、C在第7天各组皮肤坏死及创面炎症改变较重、均为轻微或轻度表皮增生,轻度纤维增生,轻度或重度新生血管增生,纤维增生,但A组和B组新生血管中度增生,皮肤全层创口形成后,局部组织因血管断裂陷入缺血缺氧状态,而创口愈合的核心进程(如炎症细胞浸润、成纤维细胞增殖、角质形成细胞迁移)均依赖充足的氧气、营养物质(葡萄糖、氨基酸)及信号分子(生长因子、细胞因子)。早期(7天)的血管增生(即“血管新生”,由原有血管内皮细胞增殖、迁移形成新血管网络)的核心功能,是快速重建创口局部的血液灌注,结束缺血缺氧状态,这是早期愈合启动的“先决条件”。研究表明,创口局部氧分压从缺血时的1%~5%提升至血管新生后的10%~15%,可显著激活成纤维细胞的代谢活性(如胶原合成速率提升2~3倍),同时为角质形成细胞迁移提供能量(ATP生成增加),直接加速创口再上皮化与肉芽组织填充,这也是7天左右愈合面积差异的关键物质基础[4]。

14天时创面的炎症反应A、B组优于K、C组,而肉芽肿性炎症K、C高于A、B组,K组的新生血管形成优于A、B、C组。在第21天时各组均为轻度纤维增生,但C组但新生血管形成优于其他组,而其的创面愈合率却低于其他组。在大鼠皮肤全层创口愈合进程中,肉芽组织增生与血管形成是早期(7天)推动修复的核心环节,但进入后期(21天,对应“组织重塑期”),二者需通过精准调控实现“适度消退”,以完成瘢痕成熟与组织功能恢复。正常重塑期(21天)的核心是“胶原重构”,若此时出现过度肉芽组织

增生(即“肉芽组织过度增生”，表现为肉芽组织隆起、质地坚韧)及异常血管形成(如血管密度过高、结构紊乱)，紊乱的胶原结构无法形成有效机械支撑，易出现反复破损；同时，过度胶原沉积会挤压真皮层附属结构(如毛囊、汗腺)，导致创口处皮肤失去排汗、毛发再生功能[8][9]。创面愈合后期的关键目标是实现表皮与真皮的“功能性连接”：表皮基底层细胞需通过分泌基底膜成分(如层粘连蛋白、IV型胶原)，与真皮胶原纤维形成锚定结构，避免表皮脱落[10]。但过度增生的肉芽组织与血管会形成“物理屏障”则会从“修复促进者”转变为“愈合阻碍者”，通过干扰组织重塑、破坏结构功能、引发慢性炎症等机制，延缓愈合进程并导致不良愈合[11]-[13]。本实验过程中观察到的过度增生的肉芽组织与血管可能也是 C 组愈合率明显低于其它组的主要原因。

综上所述：创面修复的过程，是一个在不同阶段、时期接受不同的内在与外在因素干扰，而是随时变化的复杂的过程。

通过本次使用碳酸钠的碱性水溶液作为实验试剂，证实虽然溶液的浓度不同，但其作用于创面均可以产生促进创面修复弱碱性环境。同时发现虽然创面均在弱碱性环境(pH 7.0~8.6)。但不同浓度碳酸钠碱性水溶液对创面修复的结果不同。本组实验中 0.5%、1%的碳酸钠碱性水溶液可以促进创面的愈合，而 3%的碳酸钠碱性水溶液影响、阻碍创面修复。

伦理说明

本研究获得北华大学伦理委员会批准(审批号：20251001)。

基金项目

吉林省卫生厅项目(2021LC119)。

参考文献

- [1] 李炳万. 实用手外科学[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1990.
- [2] 刘振, 邱立洁, 赵杰, 等. 糖尿病足溃疡患者清创术后创面弱碱性溶液浸泡的治疗效果[J]. 中华全科医师杂志, 2024, 23(6): 661-664.
- [3] 中国人民解放军第四军医大学. 一种慢性创面动物实验模型的构建方法[P]. 中国专利, CN201310556830.8. 2014-02-19.
- [4] 李振超, 杜喜玲, 韩志新, 等. 外源性碱性成纤维细胞生长因子促进大鼠创面愈合的机制[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(11): 2243-2251.
- [5] 韦积华, 罗富强, 谢康麒, 等. 舒洛地特对糖尿病足溃疡大鼠 HIF-1 α /GPER/VEGF 通路及创面愈合的影响[J]. 中国老年学杂志, 2023, 43(5): 1151-1155.
- [6] Schreml, S., Szeimies, R., Karrer, S., Heinlin, J., Landthaler, M. and Babilas, P. (2010) The Impact of the pH Value on Skin Integrity and Cutaneous Wound Healing. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, **24**, 373-378. <https://doi.org/10.1111/j.1468-3083.2009.03413.x>
- [7] Tricou, L.P., Al-Hawat, M.L., Cherifi, K., Manrique, G., Freedman, B.R. and Matoori, S. (2024) Wound pH-Modulating Strategies for Diabetic Wound Healing. *Advances in Wound Care*, **13**, 446-462. <https://doi.org/10.1089/wound.2023.0129>
- [8] 莫晓群, 孙宇, 赵亮, 等. 富血小板血浆对大鼠皮肤缺损创面愈合过程中肉芽组织内生长因子含量的影响及其意义[J]. 中国美容医学, 2025, 34(9): 20-24.
- [9] 张博. 创面愈合后期表皮-真皮连接重建的分子机制及影响因素[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(12): 1925-1932.
- [10] 张晨, 许智, 李想, 等. 具有光热抗菌活性的聚多巴胺修饰藻蓝蛋白纳米颗粒促进小鼠伤口皮肤愈合[J]. 南方医科大学学报, 2025, 45(9): 1959-1966.
- [11] Zhu, S., Zhao, B., Li, M., Wang, H., Zhu, J., Li, Q., et al. (2023) Microenvironment Responsive Nanocomposite Hydrogel with NIR Photothermal Therapy, Vascularization and Anti-Inflammation for Diabetic Infected Wound Healing. *Bioactive Materials*, **26**, 306-320. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2023.03.005>

-
- [12] Kuan, C.H., Chang, L., Ho, C.Y., Tsai, C.H., *et al.* (2025) Immunomodulatory Hydrogel Orchestrates Pro-Regenerative Response of Macrophages and Angiogenesis for Chronic Wound Healing. *Biomaterials*, **314**, Article 122848. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2024.122848>
 - [13] Otake, H., Mano, Y., Deguchi, S., Ogata, F., Kawasaki, N. and Nagai, N. (2023) Effect of Ointment Base on the Skin Wound-Healing Deficits in Streptozotocin-Induced Diabetic Rat. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, **46**, 707-712. <https://doi.org/10.1248/bpb.b22-00871>