

# 氧疗在伤口愈合中的研究进展

陈玲玲<sup>1</sup>, 程海霞<sup>1</sup>, 顾清昕<sup>1</sup>, 鲍丽超<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>湖州师范学院医学院护理学院, 浙江 湖州

<sup>2</sup>湖州师范学院附属第一医院肛肠外科, 浙江 湖州

收稿日期: 2023年10月29日; 录用日期: 2023年12月4日; 发布日期: 2023年12月14日

## 摘要

本文对氧气疗法的机制、输送氧气的方法以及在不同伤口中的应用等进行综述, 以为不同类型伤口进行氧气疗法相关研究提供参考。

## 关键词

氧气疗法, 伤口, 愈合, 综述

# Research Progress of Oxygen Therapy in Wound Healing

Lingling Chen<sup>1</sup>, Haixia Cheng<sup>1</sup>, Qingxin Gu<sup>1</sup>, Lichao Bao<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Medicine & Nursing, Huzhou University, Huzhou Zhejiang

<sup>2</sup>Department of Anus and Intestine Surgery, The First Affiliated Hospital of Huzhou University, Huzhou Zhejiang

Received: Oct. 29<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 4<sup>th</sup>, 2023; published: Dec. 14<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

This article reviews the mechanism of oxygen therapy, the methods of oxygen delivery and its application in different wounds, in order to provide reference for the related research of oxygen therapy in different types of wounds.

## Keywords

Oxygen Therapy, Wound, Healing, Review

\*通讯作者。

Copyright © 2023 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

伤口愈合是机体对损伤做出反应,对受损组织进行修复的自然过程[1]。它涉及一系列复杂的事件,包括炎症、增殖和重塑,共同作用来关闭伤口和恢复组织功能。在炎症阶段,身体会向损伤部位输送专门的细胞,以清除碎片和细菌,并启动愈合过程。在增殖期,新组织形成,血管生成,胶原蛋白合成来帮助加强伤口。最后,在重塑阶段,新合成的组织被重组和加强,伤口完全闭合。伤口愈合可能受到多种因素的影响,包括损伤的类型和严重程度、患者的整体健康状况以及用于促进愈合的治疗方法[2]。其最重要的功能之一是预防感染。皮肤是抵御有害病原体的屏障,当皮肤破裂时,它会为细菌和其他细菌进入身体创造一个缺口。因此,伤口愈合得越快,感染的可能性就越小[3]。伤口愈合通过重建受损组织和修复受损器官来帮助恢复组织完整性。这一过程确保身体能够正常运作,并有助于防止进一步的并发症,可以有效减轻与受伤有关的疼痛。正确的伤口愈合可以确保组织正确地结合在一起,从而减少疼痛,促进更快的恢复。适当的伤口愈合可以恢复活动能力,减轻疼痛,提高整体生活质量[4]。促进和维持适当的伤口愈合对于预防感染、恢复组织完整性、减轻疼痛、提高慢性或急性伤口患者的生活质量以及降低医疗成本至关重要。

## 2. 氧气疗法的概述

氧气疗法是一种非侵入性医疗干预,涉及向患者提供补充氧气[5]。长期以来,它一直用于各种医疗场所,以支持呼吸困难患者的呼吸功能,例如呼吸衰竭或一氧化碳中毒的患者[6]。近年来,氧气疗法也成为促进伤口愈合的一种有前途的治疗方式[7]。在伤口愈合中使用氧气治疗的理论基础在于氧气在细胞代谢和组织修复中的核心作用。氧气是参与组织再生的几个细胞过程的重要组成部分,包括细胞增殖、分化和迁移。缺氧(缺氧)会损害这些过程,并导致伤口愈合延迟或受损[8]。

氧气疗法旨在通过不同方法将氧气直接输送到伤口部位来提高组织氧合水平。局部氧气治疗涉及使用专用设备将氧气涂抹到伤口表面,而高压氧气治疗涉及患者在加压室中呼吸 100%的氧气[9][10]。这两种方法都被证明可以提高组织氧气水平,并促进各种类型伤口的愈合。几项研究调查了氧气疗法在伤口愈合中的疗效,并取得了有希望的结果。氧气疗法已被证明可以促进血管生成(新血管的形成),减少炎症,增强细菌清除,并加速急性和慢性伤口的再上皮化(皮肤再生过程)[11][12]。还有证据表明,将氧气疗法与其他治疗方法(如抗生素或生长因子)相结合,可能会进一步提高其治疗效果[13][14]。

## 3. 伤口愈合中氧气疗法

### 3.1. 主要机制

#### 3.1.1. 氧依赖酶类

氧是参与细胞代谢和能量产生的几种酶类(包括线粒体呼吸链)的关键底物[15]。通过增加氧的可用性,氧疗可以增强这些酶的活性,支持细胞功能和组织修复。

#### 3.1.2. 血管生成

氧是血管生成或新生血管生长的重要调节因子。缺氧(低氧水平)可通过缺氧诱导因子(Hypoxia-Inducible

Factors)的活性, 促进促血管生成基因的表达, 刺激缺血组织中新生血管的形成。大剂量氧疗可能通过抑制 hif、稳定现有血管、促进正常组织血管再生来逆转这一过程[16]。

### 3.1.3. 免疫调节

氧疗可通过改变免疫细胞(如巨噬细胞、中性粒细胞和自然杀伤细胞)的产生和功能来调节免疫系统。还可减少促炎细胞因子的产生, 而促炎细胞因子在多种炎症性疾病的发病机制中起关键作用。

### 3.1.4. 抗菌活性

高浓度的氧可以通过改变细菌的细胞成分, 如膜、蛋白质和 DNA, 产生直接的抗菌作用。氧疗通过提高组织氧合水平, 降低感染风险, 支持宿主免疫应答, 从而促进创面愈合。

## 4. 伤口输送氧气的方法

### 4.1. 局部氧疗

该方法包括通过专门的设备或敷料将氧气直接输送到伤口表面。一些常见的应用技术和设备包括: 允许氧气扩散到伤口床的透氧敷料或膜; 持续气道正压通气装置[17], 通过鼻塞或面罩向伤口部位持续输送氧气; 便携式负压伤口治疗设备[18], 使局部输送氧气。

#### 4.1.1. 氧气喷雾

氧气喷雾是一种直接向伤口床输送氧气的方法[19]。这种喷雾含有高浓度的氧气溶液, 均匀地分散在伤口表面。然后氧气扩散到创面床, 提高了参与创面愈合的细胞的氧浓度水平和代谢。

#### 4.1.2. 氧凝胶

氧凝胶是一种局部伤口疗法, 可将氧气输送到伤口床[20]。该凝胶直接应用于伤口, 形成保护屏障, 同时向伤口组织输送浓缩氧气溶液。氧凝胶可以为参与组织修复的细胞提供富氧环境, 从而有助于促进伤口愈合。

#### 4.1.3. 释氧材料

释氧材料是一种向伤口组织输送氧气的新方法[21]。这些材料含有产氧化合物, 当它们与伤口液体接触时释放, 为伤口床提供持续的氧气供应。释氧材料已被证明通过增加氧气水平和提高用于治疗感染的抗生素的疗效来促进伤口愈合。

局部氧疗已被证明能有效促进伤口愈合, 尤其是在传统治疗失败的情况下。它可以加速组织再生、减轻炎症、促进血管生成, 并增强伤口部位微生物的清除。然而, 局部氧疗并非适用于所有类型的创面, 其疗效取决于创面的严重程度和持续时间、患者特征以及合并治疗等多种因素。

### 4.2. 高压氧治疗(Hyperbaric Oxygen Therapy, HBOT)

HBOT 是一种将纯氧以高于正常大气压(通常是环境气压的 2~2.5 倍)的压力输送到人体的医疗疗法[9]。在 HBOT 过程中, 患者在大气压力增加的情况下呼吸纯氧, 这增加了他们血液和组织中的溶解氧量[22]。HBOT 已被证明通过多种机制促进伤口愈合, 包括促进新生血管形成和胶原合成, 增强抗菌活性和减轻炎症[23]。关于 HBOT 的一些考虑包括: 高压氧治疗通常包括多个疗程, 每次持续 60~120 分钟, 取决于伤口的性质和患者对治疗的个人反应。治疗必须由训练有素的专业人员按照严格的方案实施, 以确保患者安全[24]。然而, HBOT 的有效性仍存在争议, 部分研究发现了中低质量的证据。有研究表明[25], 高压氧可与其他伤口疗法联合使用, 如抗生素或外科清创, 以增强其治疗效果。

## 5. 氧气疗法在不同伤口中的应用

### 5.1. 慢性伤口

#### 5.1.1. 糖尿病和氧气疗法

糖尿病是一种以血流量减少和神经损伤为特征的疾病，可导致伤口愈合延迟和慢性伤口。氧气在糖尿病创面的管理中起着至关重要的作用，因为高血糖和缺氧会减少伤口组织的氧供应，导致不良愈合结局。研究表明[26]，氧疗可以改善糖尿病溃疡的伤口愈合，因为它可以促进成功组织修复所需的血管生成、成纤维细胞活性和细胞代谢。

#### 5.1.2. 静脉淤滞性溃疡和氧气疗法

静脉淤滞性溃疡的发生是由于静脉功能不全，导致血液在小腿和脚踝积聚。这种病况导致向组织的氧输送减少，并可导致慢性伤口的形成。氧疗已被证明通过增加组织氧分压、促进血管生成和减少细菌生长来促进静脉淤滞性溃疡的伤口愈合[27]。

#### 5.1.3. 压疮和氧气疗法

压疮是由于长时间的压力而发生的，导致组织损伤和慢性伤口的发展。氧疗已被证明通过增加创面床的氧浓度、促进细胞代谢和减少炎症来改善压疮的愈合[28]。同时也可以增强机体的自然愈合机制，从而改善创面愈合结局。

在各种情况下(如糖尿病、静脉淤滞性溃疡和压疮)，对慢性伤口应用氧气是促进伤口愈合的关键。氧疗可改善组织氧张力，促进细胞代谢、血管生成和成纤维细胞活性。

### 5.2. 氧气疗法与急性创伤

#### 5.2.1. 烧伤和氧气疗法

烧伤是一种急性伤口，其特征是由热、化学物质、电或辐射引起的组织损伤。氧疗被用作烧伤的标准治疗，因为它能促进伤口愈合，减轻疼痛，并防止组织坏死[29]。使用高浓度氧气可通过促进血管生成、减轻炎症、增加细胞氧合来促进烧伤患者创面愈合[30]。氧疗还有助于预防感染，这是与烧伤相关的一种常见并发症。

#### 5.2.2. 创伤和氧气疗法

创伤性伤口是由割伤、撕裂伤和穿刺等损伤引起的。创伤创面使用氧疗可通过增强组织氧合、增加胶原合成和促进血管生成来帮助促进愈合[31]。氧疗还可以帮助减轻炎症、疼痛，并改善整体愈合过程。

氧疗是促进烧伤和创伤性损伤等急性创面愈合的有效治疗策略。其使用可增强组织氧合、减轻炎症、促进血管生成和胶原合成，这些都是成功修复创面的关键因素。

## 6. 氧疗的注意事项和局限性

### 6.1. 一般注意事项

氧疗应谨慎进行，因为它是强氧化剂，可导致氧中毒。接受氧疗的患者可能会出现呼吸系统问题，如呼吸窘迫、咳嗽和呼吸短促，以及皮肤刺激和耳朵疼痛。

### 6.2. HBOT 期间的注意事项

HBOT 需要特别的注意事项，因为它涉及到高压氧的使用。HBOT 可导致气压伤、氧中毒、减压病等并发症，需密切监测。患有某些疾病(如充血性心力衰竭和慢性阻塞性肺疾病)的患者可能不适合接受 HBOT [32]。

### 6.3. 临床实践中的局限性

氧疗的成本和可及性可能是其广泛使用的障碍，特别是在低资源环境中。然而，有证据提示，在某些患者人群(如传统疗法无效的糖尿病足溃疡或慢性伤口患者)中，氧疗具有成本效益。寻找方法改善氧疗的可及性，同时保持可负担性将是未来研究的一个重要挑战。目前在不同医疗环境下氧疗方案缺乏标准化，这可能导致治疗结果不一致和护理不理想。制定伤口愈合中氧疗的标准化方案和指南将有助于确保不同医疗机构的一致性和护理质量。

## 7. 结论及展望

在伤口愈合中使用氧疗，通过提高组织氧合水平和支持一系列参与组织修复的生物过程，显示出作为一种治疗干预的前景。目前的研究表明，局部氧疗和高压氧治疗是某些慢性或难愈性创面患者的有效辅助治疗方法，但未来需要进一步研究不同类型创面的最佳氧疗剂量和持续时间。虽然有证据表明氧疗可以通过各种机制促进伤口愈合，但关于其最佳用途和有效性仍有很多需要了解。未来的研究和创新可以集中在开发新的氧输送方法、探索与其他模式的联合治疗以及阐明氧疗影响创面愈合的潜在生物学机制。此外，研究还可以探索使用联合疗法，如氧疗与光疗或伤口敷料，以进一步增强氧疗在伤口愈合中的疗效。

## 参考文献

- [1] Sun, X., Joost, S. and Kasper, M. (2022) Plasticity of Epithelial Cells during Skin Wound Healing. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, **15**, a041232. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a041232>
- [2] Huang, C., Yuan, W., Chen, J., et al. (2023) Construction of Smart Biomaterials for Promoting Diabetic Wound Healing. *Molecules*, **28**, Article 1110. <https://doi.org/10.3390/molecules28031110>
- [3] 胡爱玲, 陈琳, 周青, 等. 慢性伤口管理模式的研究进展[J]. 中国护理管理, 2023, 23(4): 496-500.
- [4] 邱雨欢, 符秋燕, 史舒婷, 等. 慢性伤口患者特异性健康相关生活质量量表的系统评价[J]. 护士进修杂志, 2023, 38(16): 1484-1489.
- [5] 蒋琪霞, 朱玉玲, 范丽华, 等. 局部氧疗治疗用于创伤性伤口的有效性和安全性研究[J]. 创伤外科杂志, 2023, 25(10): 755-761.
- [6] 周佳妍, 斯日特, 赵峻峰, 等. 经鼻高流量氧疗治疗急性心力衰竭合并低氧血症的生理机制与临床应用[J]. 心肺血管病杂志, 2023, 42(9): 965-969.
- [7] 周昕, 彭青, 蒋琪霞. 氧疗在慢性伤口护理中的研究进展[J]. 实用临床医药杂志, 2012, 16(2): 103-104.
- [8] 刘子文, 王文波. 缺氧培养调控间充质干细胞的生理活性[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(13): 2127-2132.
- [9] Klakeel, M. and Kowalske, K. (2022) The Role of Hyperbaric Oxygen Therapy for the Treatment of Wounds. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, **33**, 823-832. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2022.06.008>
- [10] Sethi, A., Khambhayta, Y. and Vas, P. (2022) Topical Oxygen Therapy for Healing Diabetic Foot Ulcers: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Control Trials. *Health Sciences Review*, **3**, Article ID: 100028. <https://doi.org/10.1016/j.hsr.2022.100028>
- [11] 董珊, 蒋琪霞, 汤雨佳, 等. 给氧负压伤口治疗改善伤口微环境对组织增殖活性及血管化的影响[J]. 医学研究生学报, 2020, 33(4): 408-412.
- [12] 周璇, 金琳博, 张一鸣. 氧微环境对急慢性创面愈合影响的研究进展[J]. 临床外科杂志, 2022, 30(12): 1112-1114.
- [13] Wang, S., Pan, L.-F., Gao, L., et al. (2021) Randomized Research on the Mechanism of Local Oxygen Therapy Promoting Wound Healing of Diabetic Foot Based on RNA-seq Technology. *Annals of Palliative Medicine*, **10**, 973-983. <https://doi.org/10.21037/apm-20-295>
- [14] Nie, K., Li, P., Zeng, X., et al. (2010) Clinical Observation of Basic Fibroblast Growth Factor Combined with Topical Oxygen Therapy in Enhancing Burn Wound Healing. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **24**, 643-646.
- [15] 苏小明, 郑炎, 田美媛, 等. 缺氧对不同组织线粒体功能影响的研究进展[J]. 安徽医药, 2022, 26(7): 1273-1276.



- [16] 叶永鑫, 陈丽, 周忠志, 等. 低氧诱导因子 1 对糖尿病患者血管新生影响的研究进展[J]. 中国医药, 2021, 16(9): 1431-1435.
- [17] Anonymous (2017) AHI Determined by Continuous Positive Airway Pressure (CPAP) Device Algorithm Underestimates Hypopneas at Lower Pressures. *Journal of Sleep Research*, **26**, 64-64. [https://doi.org/10.1111/jsr.84\\_12619](https://doi.org/10.1111/jsr.84_12619)
- [18] Setty, A., Mehta, K., Jenkins, P., *et al.* (2021) M-VAC Portable Negative Pressure Wound Therapy (NPWT) for Low Resource Settings. *Journal of the American College of Surgeons*, **233**, e161. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2021.08.434>
- [19] Tickle, J. (2015) A Topical Haemoglobin Spray for Oxygenating Pressure Ulcers: A Pilot Study. *British Journal of Community Nursing*, **20**, S12-S18. <https://doi.org/10.12968/bjcn.2015.20.Sup3.S12>
- [20] Dryden, M. (2021) The Potential Use of Reactive Oxygen Gel in Surgical Prophylaxis. *Surgery (Oxford)*, **39**, 736-741. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2021.09.011>
- [21] Agarwal, T., Kazemi, S., Costantini, M., *et al.* (2021) Oxygen Releasing Materials: Towards Addressing the Hypoxia-Related Issues in Tissue Engineering. *Materials Science and Engineering: C*, **122**, Article ID: 111896. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.111896>
- [22] 肖圣香, 姜宏宇, 邢宝鹏, 等. 高压氧疗法——一种治疗冠心病心绞痛的有效措施[J]. 中国老年学杂志, 2011, 31(1): 156-158.
- [23] 黄瑶, 王莹. 高压氧在溃疡性结肠炎治疗中的研究进展[J]. 胃肠病学, 2018, 23(3): 188-190.
- [24] Lindenmann, J., Kamolz, L., Graier, W., *et al.* (2022) Hyperbaric Oxygen Therapy and Tissue Regeneration: A Literature Survey. *Biomedicines*, **10**, 3145. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10123145>
- [25] 杨英祥, 白宏伟, 夏念信, 等. 高压氧治疗手术切口部位感染 139 例疗效分析[J]. 感染、炎症、修复, 2014, 15(4): 238-239.
- [26] Blackman, E., Moore, C., Hyatt, J., *et al.* (2010) Topical Wound Oxygen Therapy in the Treatment of Severe Diabetic Foot Ulcers: A Prospective Controlled Study. *Ostomy/Wound Management*, **56**, 24-31.
- [27] Bai, Z., Wang, H., Sun, H., *et al.* (2023) Effect of Hyperbaric Oxygen Therapy on the Patients with Venous Leg Ulcer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Asian Journal of Surgery*, **46**, 4131-4137. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2023.01.068>
- [28] 燕群美, 赵炎, 邬珊. 不同浓度给氧治疗压疮的实验研究[J]. 护理研究, 2009, 23(19): 1708-1711.
- [29] 黄立锋, 贾赤字. 氧疗在烧伤治疗中的应用[J]. 中国临床康复, 2004(32): 7262-7264.
- [30] 贺丽. 局部微氧治疗烧伤难愈创面的临床疗效观察[J]. 中华灾害救援医学, 2021, 9(6): 1046-1049.
- [31] 王仙园, 周娟, 董燕, 等. 高原创伤失血性休克氧疗的实验研究[J]. 护理研究, 2004(9): 756-758.
- [32] 赵辉, 李恩丽, 赵学玲, 等. 脑梗死患者应用高压氧治疗机理及注意事项[J]. 中国伤残医学, 2010, 18(4): 117-118.