

# 颅脑创伤高压氧治疗的专家共识

中国康复医学会高压氧康复专业委员会 解放军总医院第六医学中心

高压氧在颅脑创伤的临床应用始于 1964 年,半个多世纪以来,高压氧对颅脑创伤的治疗价值得到越来越多的关注和肯定<sup>[1]</sup>。但是在具体使用中,高压氧在颅脑创伤康复治疗中的地位、作用,颅脑创伤高压氧治疗的安全性,颅脑创伤高压氧治疗压力、疗程等问题仍未形成一致性意见。为了促进高压氧在颅脑创伤临床治疗中的合理化、规范化应用,中国康复医学会高压氧康复专业委员会组织国内神经科学、康复医学和高压氧领域的专家,在充分了解国际颅脑创伤高压氧治疗研究进展以及我国颅脑创伤高压氧临床治疗现状的基础上,制订了《颅脑创伤高压氧治疗的专家共识》(简称共识)。共识给出了颅脑创伤的高压氧干预要点,拟作为推荐方案,供临床相关学科及高压氧科医师参考借鉴。

## 一、高压氧在颅脑创伤治疗中的地位

颅脑创伤的高压氧治疗与经颅电刺激、磁刺激、音乐治疗等治疗方法一样,都是常用的辅助治疗方法。大量临床研究证实,高压氧与强化支持和康复治疗结合使用,在降低颅脑外伤患者死亡率、改善意识状态和认知水平、提高认知能力和生活能力等方面均具有积极意义<sup>[1]</sup>。2014 年美国安泰保险公司发布的《高压氧临床策略》,回顾 2012 年前发表的高压氧用于颅脑创伤的研究论文共计 946 篇,其中随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)研究 7 篇,结果显示,对于颅脑创伤患者来说,在标准治疗的基础上,附加高压氧治疗可以减少死亡率,提高最终的格拉斯哥昏迷评分(Glasgow coma scale, GCS)。虽然安泰公司在最终结论中认定,使用系统性的高压氧治疗与传统疗法相比对于重症颅脑创伤患者并

不具有更显著的疗效,但是上述结论是在综合考虑了美国高压氧治疗的高额费用以及担心幸存者长期依赖生命支持而增加整体医疗费用的基础上得出的<sup>[2-3]</sup>。2017 年欧洲高压医学学会在循证医学的基础上,将颅脑创伤列入高压氧治疗的适应证(3 级),并进一步指出:对颅脑创伤患者选择性使用高压氧治疗是有理论依据的,特别是在颅脑创伤的早期;在颅脑创伤晚期有脑代谢障碍者也能从高压氧治疗中获益<sup>[4]</sup>。由于现已发表的颅脑创伤的临床研究数量仍较少,为了能更科学地评价高压氧在颅脑创伤治疗中的作用,2017 年欧洲高压医学学会推荐在颅脑创伤的临床研究中积极应用高压氧治疗<sup>[4]</sup>。2018 年中华医学会高压氧医学分会推荐的高压氧治疗适应证中,颅脑创伤为 I 类适应证<sup>[5]</sup>。2016 年瑞典医学中心脑健康和治疗基金会主要回顾 2012 年后发表的 7 篇 RCT 研究,结果显示,附加高压氧治疗对于轻度颅脑创伤和持续性脑震荡后综合征是有效的,为 B 级证据<sup>[6]</sup>。2015 年中华医学会神经外科学分会颅脑创伤专业组发布的《颅脑创伤长期昏迷诊治中国专家共识》指出,针对严重颅脑创伤后长期昏迷者的促醒治疗,高压氧治疗是可选手段,高压氧治疗期间应结合其他治疗方式以提高治疗效果<sup>[7]</sup>。2017 年《中国重度颅脑创伤早期康复管理专家共识》在康复措施中建议重度颅脑创伤后意识障碍患者行高压氧治疗<sup>[8]</sup>。2018 年《神经重症康复中国专家共识》在意识障碍的康复技术中也提到高压氧治疗<sup>[9]</sup>。2018 年 Hsieh 等<sup>[10]</sup>报道脑挫伤后视神经病变患者在接受总共 61 次高压氧治疗后视力、视野和色觉得到改善,提示高压氧在外伤性颅神经损伤治疗中的积极作用。

## 共识意见:

(1) 高压氧可用于颅脑创伤的辅助治疗,推荐在颅脑创伤标准治疗的基础上附加高压氧治疗。

(2) 脑外伤高压氧治疗的适用范围:①轻度脑外伤的高压氧治疗,目前国内外尚未形成统一意见,结合我国国情及现有研究成果,可考虑使用高压氧

DOI:10.3760/cma.j.cn311847-20190521-00123

作者单位:100048 北京,中国康复医学会高压氧康复专业委员会,解放军总医院第六医学中心

【引用本文】 中国康复医学会高压氧康复专业委员会,解放军总医院第六医学中心. 颅脑创伤高压氧治疗的专家共识[J]. 中华航海医学与高压医学杂志,2021,28(3):271-275. DOI:10.3760/cma.j.cn311847-20190521-00123.

治疗;②中、重度颅脑损伤的急性期,强烈推荐高压氧治疗;③脑外伤慢性康复期,建议行高压氧治疗;④外伤后慢性意识障碍患者(持续植物状态、最小意识状态),高压氧治疗可作为重要促醒手段之一;⑤颅脑损伤并发神经损伤和/或后遗症(躯体后遗症、认知障碍),均推荐高压氧治疗;⑥外伤造成的特殊神经损伤(视神经损伤、动眼神经损伤、舌咽神经损伤等),建议行高压氧治疗。

(3)为了更好地评估高压氧在颅脑创伤辅助治疗中的作用,推荐在颅脑创伤的临床研究中积极应用高压氧治疗。

## 二、高压氧对颅脑创伤的干预时机

由于颅脑创伤涉及原发性损害和继发性损害,病情复杂,受多种因素影响,因此对于不同类型的颅脑创伤,高压氧干预的时机应有所不同。

目前多项研究证实,对于重度创伤性颅脑损伤患者,在颅脑创伤后急性期(如创伤后数小时至数天内)行高压氧治疗可以得到积极的临床疗效<sup>[11]</sup>;而在颅脑创伤后 60 d 才开始高压氧治疗则没有急性期干预的改善效果好<sup>[12]</sup>。重度创伤性颅脑损伤早期行高压氧治疗的效果明显好于晚期开始高压氧治疗者<sup>[4,12]</sup>。

对于持续性脑震荡后综合征,由于其自身疾病的特点,高压氧的干预时间大多较晚。有 RCT 研究显示,对于持续性脑震荡后综合征患者,在颅脑创伤后 1~5 年给予高压氧治疗,在改善患者认知、提高患者生活能力等方面仍具有积极意义<sup>[13]</sup>。但也有 RCT 研究对高压氧干预持续性脑震荡后综合征,特别是创伤后应激障碍的疗效提出了争议<sup>[14]</sup>。

2017 年欧洲高压医学学会发布共识,认为在如下情况下使用高压氧是有理论依据的:(1)中、重度颅脑创伤急性期;(2)颅脑创伤慢性期,需要证实存在脑代谢异常的依据;(3)3 级推荐 B 级证据(循证医学证据分级)<sup>[4]</sup>。2017 年《中国重度颅脑创伤早期康复管理专家共识》提出重度颅脑创伤后意识障碍患者应早期进行高压氧治疗<sup>[8]</sup>。

### 共识意见:

(1)中、重度颅脑创伤急性期应在病情允许的情况下尽早实施高压氧治疗。

(2)颅脑创伤慢性康复期可应用高压氧治疗。

(3)颅脑创伤后应激障碍的高压氧治疗仍有待进一步研究证实。

## 三、高压氧治疗颅脑创伤干预方案

2017 年《欧洲高压医学学会共识》和 2017 年

《中国重度颅脑创伤早期康复管理专家共识》,均未提及颅脑创伤高压氧治疗的具体压力及治疗方案<sup>[4,8]</sup>。

目前美国及欧洲临床研究文献中涉及的高压氧治疗压力从 0.15~0.25 MPa(1.5~2.5 ATA)均有,每次高压氧治疗时间 60~140 min 不等,高压氧干预次数 20~120 次,每天 1 次或多次<sup>[14-16]</sup>。2016 年瑞典医学中心脑健康和基金会通过计算患者血浆中氧溶解量,分析高压氧治疗压力与患者临床改善之间的关系,结果显示,较低的压力[≤0.20 MPa(2.0 ATA)]比较高的压力更有利于轻度颅脑创伤和持续性脑震荡后综合征患者临床症状的恢复<sup>[6]</sup>。德国 Holbach 等<sup>[17]</sup>的颅脑创伤临床研究显示,0.15 MPa 高压氧治疗在改善脑代谢方面具有较好作用,而过高压力的高压氧治疗反而对脑代谢产生不利影响。由于缺乏颅脑创伤高压氧干预压力的高质量 RCT 研究,目前颅脑创伤高压氧治疗的最佳干预压力仍无定论<sup>[15-18]</sup>。

关于高压氧疗程,Golden 等<sup>[19]</sup>通过 ECT 及 MRI 等影像学评估的研究显示,对重度创伤性颅脑损伤患者高压氧治疗 40~200 次,受损脑组织均有恢复的可能。秦国强等<sup>[20]</sup>对重度颅脑创伤高压氧治疗时机和疗程进行临床研究,结果显示,发病 15 d 内行高压氧治疗者显效率最高,高压氧长疗程(3 个疗程,30 次高压氧)者较短疗程者(1 或 2 个疗程)显效率高。同时也有报道,颅脑创伤患者高压氧治疗 3 个疗程无效者在 6 个疗程高压氧治疗后出现意识状态的恢复<sup>[21]</sup>。

### 共识意见:

(1)脑外伤的高压氧治疗方案目前尚无一致标准,可选择的方案为:0.15~0.25 MPa,每天 1 次,连续 5~10 次为 1 个疗程,依据患者伤情及个体情况决定疗程间是否休息,共治疗 30~60 次。压力和方案的选择可以根据患者的年龄、病情等具体情况决定。对老人、儿童、营养不良、基础病多、并发症较重的患者,建议高压氧治疗的压力以较低压力为宜,疗程与疗程间期的休息依据患者的具体情况决定。

(2)对于轻度脑外伤的高压氧治疗压力以较低压力为主,可选择 0.15~0.20 MPa;中、重度颅脑损伤的急性期治疗压力可选择 0.15~0.20 MPa;脑外伤慢性康复期治疗压力可选择 0.15~0.20 MPa。

## 四、颅脑创伤高压氧治疗禁忌和应注意的问题

颅脑创伤的高压氧治疗应首先排除高压氧治疗

一般禁忌证。2014 年美国安泰保险公司发布的《高压氧临床策略》<sup>[2]</sup> 和我国 2018 年中华医学会高压氧医学分会发布的《高压氧治疗适应证和禁忌证》<sup>[5]</sup> 这 2 个指南性文件中均明确了高压氧治疗应遵循的禁忌证。

2017 年《中国重度颅脑损伤早期康复管理专家共识》专门指出: 在开始高压氧治疗前, 需要满足生命体征稳定, 颅内无活动性出血, 无未处理的脑疝, 无持续脑室外引流, 无严重肺损伤及脑脊液漏等条件<sup>[8]</sup>。

此外, 需要特别说明的是, 不同高压氧治疗机构因设备、人力等原因, 其生命支持的能力及程度不同, 对于生命体征平稳的判定可能存在差异。如, 在有舱内呼吸机、舱内监护设备及监护室医护人员陪舱的情况下, 呼吸衰竭的颅脑创伤患者亦可开展高压氧治疗, 但是在无配套设备和人员的情况下, 需要呼吸机辅助呼吸的患者不适宜进舱。

由于重度颅脑损伤的患者常伴发意识障碍, 高压氧治疗过程中不能配合完成中耳调压动作, 一些研究者提出对于重度颅脑创伤患者行高压氧治疗前先进行鼓膜穿刺, 然而 Rockswold 等<sup>[22]</sup> 在高压氧治疗颅脑创伤不良反应的研究中未发现较高的中耳气压伤发生率。目前, 对于颅脑创伤的患者行高压氧治疗是否需要鼓膜穿刺术, 尚未形成统一认识。

颅脑创伤患者常面临去骨瓣减压术后的情况, 临床工作中有医生对于颅脑创伤去骨瓣减压患者, 特别是伴有去骨瓣处膨隆或凹陷患者是否适宜行高压氧治疗存在疑虑。理论上来说, 高压氧治疗是将患者整体置于高压环境中, 因此高压氧治疗不会对去骨瓣减压部位形成压力差, 即去骨瓣减压非高压氧治疗禁忌。薛勇等<sup>[23]</sup>、江永嘉<sup>[24]</sup> 的研究发现, 去骨瓣减压的颅脑创伤患者实施高压氧治疗, 未见明显的不良反应。外伤性硬膜下积液是脑外伤常见的并发症。对于外伤性硬膜下积液的患者是否适合高压氧治疗, 目前仍无定论。罗安志等<sup>[25]</sup> 研究发现, 对脑外伤硬膜下积液患者行高压氧治疗 30 次, 未见明显不良反应。

#### 共识意见:

(1) 脑外伤的高压氧治疗应首先排除高压氧治疗一般禁忌。

(2) 颅脑创伤患者行高压氧治疗需要满足生命体征稳定, 颅内无活动性出血, 无未处理的脑疝, 无持续脑室外引流, 无严重肺损伤及脑脊液漏的条件。

其中, 对于患者生命体征状况需要依据高压氧科室的实际情况综合评估。

#### 五、颅脑创伤高压氧治疗安全性(不良反应和不良作用)评估

不同于高压氧在临床其他疾病中的应用, 颅脑创伤的高压氧治疗在排除了上述禁忌后, 其安全性也一直是一个存在争议的问题。

由于颅脑创伤后有发生继发性癫痫的可能, 一些临床医生担心高压氧会增加颅脑创伤癫痫发生的风险。2016 年 Hadanny 等<sup>[26]</sup> 回顾了 2 334 例接受高压氧治疗的患者, 高压氧治疗期间癫痫发作的总发生率为 0.011%, 只有 1 例患者明确是高压氧导致的氧中毒诱导的癫痫发作<sup>[26]</sup>。氧中毒诱发的癫痫发作是自限性的, 停止吸氧即可中止, 不会造成永久性损伤。Rockswold 等<sup>[27]</sup> 报告, 84 例重度闭合性颅脑损伤患者进行高压氧治疗期间, 有 2 例出现癫痫症状, 然而, 癫痫的发生率在高压氧治疗组与对照组差异无统计学意义。Isakov 等<sup>[28]</sup> 对 92 例颅内血肿患者行高压氧治疗, 结果提示, 颅内血肿清除术后且无癫痫发作史的患者, 高压氧治疗无诱发癫痫的作用。可见, 对无癫痫发作史的颅脑创伤患者行高压氧治疗是安全的。

高压氧刺激对脑组织本身可能存在负面影响。目前高压氧造成的血管收缩对颅脑创伤的具体影响仍未阐明, 但有研究显示, 对于受损脑组织, 高压氧可能并非有害<sup>[29]</sup>。同时, 一些学者担心高压氧产生的自由基对脑组织有损伤作用。有研究专门指出, 高压氧治疗不应因其对脑组织的负面影响而叫停, 合适的高压氧治疗压力及疗程是避免高压氧不良反应的关键<sup>[6,30]</sup>。

一些学者指出, 高压氧在减轻颅脑创伤患者脑水肿和降低其颅内压的同时, 也存在使颅内压和脑水肿反跳的风险。Hayakawa 等<sup>[31]</sup> 通过测定颅内压发现, 对于绝大多数颅脑创伤患者, 高压氧治疗后颅内压持续下降, 但是个别患者在颅内压减压时存在反跳, 高压氧治疗后的颅内压反而高于治疗前; 笔者认为这可能与减压时脑水肿反跳相关。可见, 针对重度颅脑损伤急性期脑水肿加重期的患者行高压氧治疗, 在减压过程中需要警惕脑水肿反跳及颅内压升高的情况。

除了上述高压氧安全性的考虑, Wolf 等<sup>[32]</sup> 专门针对高压氧治疗脑外伤不良作用的临床研究显示, 在 30 次 0.24 MPa(2.4 ATA) 的高压氧治疗过程中,

患者中耳气压伤发生率最高为 5.91%，鼻窦炎和幽闭恐惧症均为 0.27%，其他不适症状包括：头痛(0.54%)、恶心(0.27%)、麻木(0.13%)、胃灼热(0.07%)、肌肉骨骼胸痛(0.13%)、面罩乳胶过敏(0.07%)、血压升高(0.07%)<sup>[32]</sup>。可见，颅脑创伤患者行高压氧治疗其不良反应都是轻微的，高压氧可视为一种安全的辅助治疗手段。

#### 共识意见：

(1) 对于颅脑创伤患者，高压氧是一种较安全的治疗方法，不良反应和不良作用小。

(2) 无癫痫发作史的颅脑创伤患者行高压氧治疗不会增加癫痫发作的风险。

(3) 合适的高压氧治疗压力及疗程选择可以有效地避免不良反应的发生。

起草单位：解放军总医院第六医学中心

起草人：潘树义、李航

共识专家组名单(按姓氏汉语拼音排序)：崔高宇(陆军军医大学第一附属医院)，丁建章(北京市海淀区医院)，韩立虎(南京悦群医院)，黄炜(甘肃省第三人民医院)，黄丽娟(贵州省铜仁市人民医院)，黄蔚喆(河南省郑州市第九人民医院)，蒋功达(宁波海曙康复医院)，解光艾(中国科学技术大学附属第一医院)，匡爱华(宁夏医科大学总医院)，兰海波(黑龙江省医院)，李航(解放军总医院第六医学中心)，李宁(陆军军医大学第二附属医院)，李文(广西壮族自治区江滨医院)，李璋(昆明医科大学第二附属医院)，李冬梅(天津市第四中心医院)，李加斌(江苏省盐城市第一人民医院)，李志才(解放军第 71 集团军医院)，林建强(浙江大学明州医院)，刘芳(福建医科大学附属第一医院)，刘青乐(海军军医大学附属长海医院)，刘引莲(山西大医院)，陆敏(华中科技大学同济医学院附属同济医院)，陆高平(南方医科大学珠江医院)，麦用军(广西壮族自治区柳州市工人医院)，宁荣霞(内蒙古医科大学附属第一医院)，潘树义(解放军总医院第六医学中心)，彭争荣(中南大学湘雅医院)，齐玲(新疆医科大学第六附属医院)，时光(内蒙古自治区兴安盟人民医院)，宋学林(河北省承德市中心医院)，孙明莉(吉林大学白求恩第一医院)，唐晓平(川北医学院附属医院)，滕进忠(南昌大学附属三三四医院)，汪学琴(新疆生产建设兵团总医院)，王翠(辽宁省大连市中心医院)，王娟(北京大学医学部)，王有存(解放

军第九六〇医院)，文立(海南省人民医院)，冼莹(广西壮族自治区贵港市人民医院)，肖柏春(黑龙江省伊春市中心医院)，谢波(海南医学院第二附属医院)，谢智慧(遵义医学院附属医院)，许爱梅(大同煤矿集团有限公司总医院)，许国春(湖北民族学院附属民大医院)，杨丽丽(北大医疗康复医院)，叶彩霞(兰州大学第一医院)，于彩红(胜利油田中心医院)，喻道元(湖北省荆州市中心医院)，张松(成都中医药大学附属医院)，张瑛(延安大学附属医院)，赵津京(解放军第三〇五医院)

指导专家(按姓氏汉语拼音排序)：李红玲(河北医科大学第二医院)，张皓(北京博爱医院)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参 考 文 献

- [1] Hu Q, Manaenko A, Xu T, et al. Hyperbaric oxygen therapy for traumatic brain injury: bench-to-bedside [J]. *Med Gas Res*, 2016, 6(2): 102-110. DOI:10.4103/2045-9912.184720.
- [2] Clinical Policy Bulletin: Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) [EB/OL]. (2014-04-15). [http://www.aetna.com/cpb/medical/data/100\\_199/0172.html](http://www.aetna.com/cpb/medical/data/100_199/0172.html).
- [3] Bennett MH, Trytko B, Jonker B. Hyperbaric oxygen therapy for the adjunctive treatment of traumatic brain injury [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2012, 12(12): CD004609. DOI: 10.1002/14651858.CD004609.
- [4] Mathieu D, Marroni A, Kot J. Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment [J]. *Diving Hyperb Med*, 2017, 47(1): 24-32.
- [5] 中华医学会高压氧医学分会. 关于“高压氧治疗适应证和禁忌证”(2018 版) [J]. *中华航海医学与高压医学杂志*, 2019, 26(1): 1-5. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-6906.2019.01.001.
- [6] Figueroa XA, Wright JK. Hyperbaric oxygen: B-level evidence in mild traumatic brain injury clinical trials [J]. *Neurology*, 2016, 87(13): 1400-1406. DOI: 10.1212/WNL.0000000000003146.
- [7] 中华医学会神经外科学分会颅脑创伤专业组, 中华医学会创伤学分会神经损伤专业组. 颅脑创伤长期昏迷诊治中国专家共识 [J]. *中华神经外科杂志*, 2015, 31(8): 757-760. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2015.08.001.
- [8] 中华医学会神经外科学分会, 中国神经外科重症管理协作组. 中国重型颅脑创伤早期康复管理专家共识(2017) [J]. *中华医学杂志*, 2017, 97(21): 1615-1623. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2017.21.006.
- [9] 倪莹莹, 王首红, 宋为群, 等. 神经重症康复中国专家共识(中) [J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(2): 130-136.

- [10] Hsieh YH, Liang CM, Tai MC, et al. Benefit of hyperbaric oxygen therapy treatment in direct traumatic optic neuropathy: case report [J]. *Undersea Hyperb Med*, 2018, 45 (4): 463-471. DOI:10.22462/07.08.2018.12.
- [11] Algattas H, Huang JH. Traumatic brain injury pathophysiology and treatments: early, intermediate, and late phases post-injury [J]. *Int J Mol Sci*, 2013, 15 (1): 309-341. DOI: 10.3390/ijms15010309.
- [12] Wolf G, Cifu D, Baugh L, et al. The effect of hyperbaric oxygen on symptoms after mild traumatic brain injury [J]. *J Neurotrauma*, 2012, 29 (17): 2606-2612. DOI: 10.1089/neu.2012.2549.
- [13] Boussi GR, Golan H, Fishlev G, et al. Hyperbaric oxygen therapy can improve post-concussion syndrome years after mild traumatic brain injury-randomized prospective trial [J]. *PLoS One*, 2013, 8 (11): e79995. DOI: 10.1371/journal.pone.0079995.
- [14] Eve DJ, Steele MR, Sanberg PR, et al. Hyperbaric oxygen therapy as a potential treatment for post-traumatic stress disorder associated with traumatic brain injury [J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2016, 12: 2689-2705. DOI: 10.2147/NDT.S110126.
- [15] Miller RS, Weaver LK, Bahraini N, et al. Effects of hyperbaric oxygen on symptoms and quality of life among service members with persistent postconcussion symptoms: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Intern Med*, 2015, 175 (1): 43-52. DOI: 10.1001/jamainternmed.2014.5479.
- [16] Cifu DX, Walker WC, West SL, et al. Hyperbaric oxygen for blast-related postconcussion syndrome: three month outcomes [J]. *Ann Neurol*, 2014, 75 (2): 277-286. DOI: 10.1002/ana.24067.
- [17] Holbach KH, Caroli A, Wassmann H. Cerebral energy metabolism in patients with brain lesions of normal and hyperbaric oxygen pressures [J]. *J Neurol*, 1977, 217 (1): 17-30. DOI: 10.1007/BF00316313.
- [18] Daly S, Thorpe M, Rockswold S, et al. Hyperbaric oxygen therapy in the treatment of acute severe traumatic brain injury: a systematic review [J]. *J Neurotrauma*, 2018, 35 (4): 623-629. DOI: 10.1089/neu.2017.5225.
- [19] Golden ZL, Neubauer R, Golden CJ, et al. Improvement in cerebral metabolism in chronic brain injury after hyperbaric oxygen therapy [J]. *Int J Neurosci*, 2002, 112 (2): 119-131. DOI: 10.1080/00207450212027.
- [20] 秦国强, 王淳良. 高压氧在不同治疗时机和疗程中治疗重型颅脑外伤的疗效 [J]. *南昌大学学报 (医学版)*, 2010, 50 (11): 34-39.
- [21] 刘金玲, 隋文乐, 崔毅, 等. 高压氧治疗颅脑外伤疗效及影响因素分析 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2004, 26 (2): 88-89. DOI: 10.3760/j.issn:0254-1424.2004.02.007.
- [22] Rockswold SB, Rockswold GL, Zaun DA, et al. A prospective, randomized phase II clinical trial to evaluate the effect of combined hyperbaric and normobaric hyperoxia on cerebral metabolism, intracranial pressure, oxygen toxicity, and clinical outcome in severe traumatic brain injury [J]. *J Neurosurg*, 2013, 118 (6): 1317-1328. DOI: 10.3171/2013.2.JNS121468.
- [23] 薛勇, 张蓬川, 杨金庆, 等. 脑外伤去骨瓣减压病人用高压氧治疗的教训 [J]. *临床误诊误治*, 1995, 8 (3): 140-141.
- [24] 江永嘉. 高压氧联合标准外伤大骨瓣减压手术治疗重型颅脑损伤的临床疗效 [J]. *中国实用医药*, 2015, 10 (12): 133-134. DOI: 10.14163/j.cnki.11-5547/r.2015.12.087.
- [25] 罗安志, 龙洪川, 刘洒军, 等. 高压氧治疗脑外伤硬膜下积液 92 例分析 [J]. *中国实用医药*, 2010, 5 (28): 6-7. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7555.2010.28.003.
- [26] Hadanny A, Meir O, Bechor Y, et al. The safety of hyperbaric oxygen treatment—retrospective analysis in 2 334 patients [J]. *Undersea Hyperb Med*, 2016, 43 (2): 113-122.
- [27] Rockswold GL, Ford SE, Anderson DC, et al. Results of a prospective randomized trial for treatment of severely brain-injured patients with hyperbaric oxygen [J]. *J Neurosurg*, 1992, 76 (6): 929-934. DOI: 10.3171/jns.1992.76.6.0929.
- [28] Isakov IV, Anan'ev GV, Aide KB, et al. Use of hyperbaric oxygenation in various complications of craniocerebral injury in the acute period [J]. *Zhurnal Vopr Neurokhir Imeni N N Burdenko*, 1981, 4: 15-18.
- [29] Cardenas DP, Muir ER, Duong TQ. MRI of cerebral blood flow under hyperbaric conditions in rats [J]. *NMR Biomed*, 2016, 29 (7): 961-968. DOI: 10.1002/nbm.3555.
- [30] Zhou Q, Huang G, Yu X, et al. A novel approach to estimate ROS origination by hyperbaric oxygen exposure, targeted probes and specific inhibitors [J]. *Cell Physiol Biochem*, 2018, 47 (5): 1800-1808. DOI: 10.1159/000491061.
- [31] Hayakawa T, Kanai N, Kuroda R, et al. Response of cerebrospinal fluid pressure to hyperbaric oxygenation [J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* [J]. 1971, 34 (5): 580-586. DOI: 10.1136/jnnp.34.5.580.
- [32] Wolf EG, Prye J, Michaelson R, et al. Hyperbaric side effects in a traumatic brain injury randomized clinical trial [J]. *Undersea Hyperb Med* [J]. 2012, 39 (6): 1075-1082. DOI: 10.1038/mtna.2012.47.

(收稿日期: 2019-05-21)

(本文编辑: 彭润松)