

· 专家共识 ·

急性脊髓损伤高压氧治疗专家共识

刘璐¹ 梁芳² 康南¹ 杨晶² 中华医学会高压氧医学分会¹首都医科大学附属朝阳医院骨科, 北京 100020; ²首都医科大学附属朝阳医院高压氧科, 北京 100020

通信作者: 康南, Email: kangnan166@163.com; 杨晶, Email: YANG2postgraduate@yeah.net

【摘要】 急性脊髓损伤(ASCI)是常见于外伤、感染、手术等突发因素导致的脊髓损伤(SCI)平面以下多种神经功能障碍,减轻继发性损伤是提高疗效的关键。高压氧(HBO)治疗近年来广泛应用于中枢神经系统创伤的修复,对减轻 ASCI 的继发性损伤具有重要作用。本文介绍了 ASCI 的流行病学、诊断、治疗方法、HBO 对 ASCI 的临床应用经验、治疗机制、治疗时机与方案和 HBO 对于 ASCI 后并发症的治疗作用,提出相应推荐意见。

【关键词】 脊髓损伤; 高压氧; 专家共识

DOI:10.3760/cma.j.cn311847-20240423-00108

急性脊髓损伤(acute spinal cord injury, ASCI)是常见于外伤、感染、手术或等突发诱因导致脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)平面以下的多种神经功能障碍。高压氧(hyperbaric oxygen, HBO)作为一种有效的修复神经功能的治疗手段,近年来在临床应用上受到越来越多关注。HBO 治疗通过在高压环境下吸入纯氧或高浓度氧,能够增加患者受损区域的氧供,减轻炎症反应,促进组织修复,目前 HBO 治疗 ASCI 的治疗方案等问题尚无相应的指南或共识。中华医学会高压氧医学分会相关专家围绕 HBO 在 ASCI 中的临床应用、HBO 治疗 ASCI 的时机与方案、HBO 治疗对于 ASCI 后并发症的治疗提出相应推荐意见,旨在为临床医生提供 ASCI 的 HBO 治疗建议与参考。

一、流行病学

ASCI 是一种严重威胁人类健康的常见创伤,呈逐年增高趋势,其致病原因多为交通意外、高处坠落伤和运动损伤等,男性约占 85%,近 60% 的患者年龄为 16~30 岁,具有致残率高、致残程度重、多见于青壮年的特点。ASCI 包括原发性损伤和继发性损伤。原发性损伤是指外力直接或间接作用引起的不可控脊髓或脊髓周围组织损伤;继发性损伤多发生在原发性损伤后数分钟至数小时,出现组织水肿、局部缺血缺氧、炎症反应、氧化应激、钙离子超载等一系列“瀑布”式生物化学反应,并通过炎症级联效应导致神经细胞坏死凋亡。ASCI 的预后取决于损伤的部位及程度,减轻继发性损伤是提高疗效的关键。临

床观察和基础研究均提示,HBO 对于减轻 ASCI 继发性损伤具有重要作用。

二、ASCI 的诊断

(一)临床表现

1. 感觉功能障碍:损伤平面以下深、浅感觉消失或减退。颈髓损伤表现为四肢麻木、疼痛,以及感觉丧失;腰髓损伤往往引起单侧性的肢体感觉麻痹、感觉迟钝,下肢多伴有疼痛。

2. 运动功能障碍:损伤平面以下随意运动消失或肌力下降。脊髓休克期表现为完全性迟缓性瘫痪,之后则可表现为痉挛性瘫痪,休克期后患者运动功能可有部分恢复。受损节段出现的下运动神经元损伤体征(如肌肉萎缩、关节挛缩、腱反射消失等)有助于定位诊断。颈髓损伤会表现为四肢肌力的下降甚至丧失,因具体位置和程度而异,从轻度无力到完全瘫痪不等,常伴有二便功能障碍;而腰髓损伤往往引起下肢运动功能障碍,在不完全损伤的情况下导致单侧性肌无力。

3. 肠道功能障碍:由于肠道失去神经调节以及躯体大范围肌力衰减等因素的相互影响,患者往往会并发神经源性肠道功能障碍,表现为肠道感觉及运动功能衰退,可出现便秘及大便失禁等临床症状。

4. 膀胱功能障碍:脊髓休克期常表现为无张力性神经源性膀胱,休克期后表现为反射性神经源性膀胱。骶髓以上损伤,因骶髓低位中枢反射相对亢进,可表现为痉挛性膀胱;骶髓损伤时因膀胱失去神



经支配,表现为迟缓性膀胱。ASCI 患者往往需要置尿管。

5. 特定综合征:包括脊髓中央损伤综合征、前脊髓损伤综合征、圆锥综合征、马尾综合征、急性 Dejerine 洋葱皮样综合征、Bell 交叉麻痹综合征等。

(二) 辅助检查

1. 实验室检查:包括血常规、生化、凝血四项等常规血液检查。

2. 影像学检查:(1)常规全脊柱及胸部 X 线检查通过正位、侧位或者斜位图像明确损伤部位与脏器损伤情况。(2)CT 检查以观察骨质的结构变化。如创伤部位明确,行脊柱骨折部位及胸腹部脏器 CT 检查可明确具体损伤情况;如存在头部创伤及昏迷、意识障碍等,应行头部 CT 检查,必要时行全脊柱 CT 检查。(3)脊髓 MRI 检查不仅能显示椎体、附件,还有骨质的结构和韧带的撕裂,椎间盘的损伤等,更重要的是其能清晰显示损伤程度,判断预后。但应在不延误患者生命复苏及手术治疗的情况下进行检查。

(三) 病情评估

1. 残损分级及神经功能评估:根据美国 SCI 协会制定的损伤分级标准^[1]进行评估。A 为完全性损伤,无运动及感觉功能存留;B 为不完全性损伤,丧失运动功能,有感觉功能存留;C 为不完全性损伤,损伤平面以下运动功能留存,肌力 <3 级;D 为不完全性损伤,损伤平面以下运动功能留存,肌力 ≥3 级;E 为正常,运动及感觉功能均未受损。

2. 神经电生理评估:临床上普遍使用肌电图结合诱发电位仪检测患者胫神经(踝关节内侧)及腓总神经(膝盖外侧靠近腓骨颈部)功能,对 ASCI 患者进行评估。通过记录脊髓体感诱发电位(SSEP)的波幅和潜伏期评估脊髓传导通路的完整性,ASCI 患者的 SSEP 波幅显著降低,且潜伏期延长。末端运动神经潜伏期延长超过正常参考值高限 20%,复合肌肉动作电位波幅低于正常参考值低限,感觉神经动作电位波幅低于正常参考值低限,感觉神经传导速度低于正常参考值低限 20% 以及未引出波形均视为异常。神经电生理评估为 ASCI 患者神经功能受损情况提供了额外的客观证据,尤其是在患者因意识状态、药物或其他因素影响无法配合临床检查时更为有用^[2-4]。

3. 影像学评估:主要以相关节段的脊柱 MRI 检查为主。(1)观察患者脊髓是否受压;(2)观察患者椎管是否狭窄,按照 Wolter 评分法分别以 0~3 分予以

评分;(3)根据 MRI 检查横断面 T2WI 上脊髓灰质(gray matter, GM)和白质(white matter, WM)的受累情况,通过三级 GM-WM 受累分级评分法评估病变范围。(4)根据每位患者不同序列的 MRI 图像,观察其信号强度范围,评估是否存在 MRI 信号改变。

三、ASCI 的治疗方法

(一) 一般支持治疗

1. 生命抢救:医务人员在事故现场对患者进行评估并行基础生命抢救,完成建立气道、通气及液体复苏等措施,确保生命体征平稳后,将患者转移至有重症抢救及 HBO 舱设备等的医疗机构进行进一步救治。

2. 脊柱制动:ASCI 患者在急救现场应给予脊柱制动。下颈段脊柱 ASCI 患者的躯干固定于带有衬垫的硬床上以有效限制颈部活动;胸腰段脊柱 ASCI 患者应运用平移、轴向翻转等方式迅速完成搬运、转送。对于神清、无颈痛及颈部压痛、无感觉和运动功能障碍患者,不推荐脊柱制动。

3. 固定及牵引治疗:下颈段脊柱 ASCI 患者采用颈托固定,颈部穿刺伤患者除外。对于神清的下颈椎骨折脱位患者,推荐采用颅骨牵引闭合复位以恢复颈椎的解剖力线。

(二) 药物治疗

1. 糖皮质激素:糖皮质激素可抑制炎症、抑制过氧化与自由基形成及增强神经元兴奋性。2017 年国际脊柱学会在 ASCI 激素使用的临床实践指南中推荐,对于无明确禁忌、伤后 8 h 内的 ASCI 患者行甲基强的松龙 24 h 静脉冲击疗法^[5]。具体推荐方案:30 mg/kg 静脉推注,15 min 内完成,此后 5.4 mg·kg⁻¹·h⁻¹连续输注 23 h^[6]。

2. 神经营养药物:神经节苷脂、鼠神经生长因子、腺苷钴胺等神经营养药物有助于神经功能修复。近期研究显示,褪黑素及雌激素也有保护神经功能的作用^[7-9]。

3. 对症治疗:如无过敏、上消化道出血、呼吸抑制等禁忌证时可给予镇痛药物缓解疼痛。

(三) 手术治疗

1. 开放性损伤患者应尽早完成清创与伤口闭合;闭合性损伤伴症状进行性加重患者应行椎板切除,椎管探查及减压,椎管内碎骨片应及时手术取出;蛛网膜下腔阻塞患者应手术干预解除阻塞。

2. 手术时机与术式:ASCI 后应尽早行手术完成脊髓神经减压并维护脊柱结构的稳定性。在条件允



许的情况下,ASCI 患者的最佳手术时机为伤后 24 h 内,无 ASCI 的胸腰椎骨折患者应尽可能在 72 h 内行手术治疗。合并脏器损伤或休克者应处理内脏伤或纠正休克^[10]。根据患者损伤程度与位置不同,可选择脊柱前路、后路、前后路联合等不同术式。

(四)低温治疗

分为损伤部位的局部低温治疗与全身低温治疗,可通过减轻破坏性的继发级联反应发挥神经保护作用。

(五)并发症

1. 呼吸功能障碍: C1~4 损伤可导致患者自主呼吸功能障碍,多由于神经功能障碍引起肋间肌瘫痪所致。对于存在高位四肢瘫痪的脊髓休克患者应予以预防性气管插管,同时严密监测血氧含量,必要时及早行气管切开,予以气道支持。

2. 应激性溃疡: ASCI 患者可发生应激性溃疡,应早期预防性静脉予以质子泵抑制剂,建议静脉滴注泮托拉唑,常规剂量 80 mg,1 次/d,同时维持胃分泌负压引流,每 4 h 动态监测胃液 pH 值。

3. 尿潴留: ASCI 患者如无法自主排尿,予以导尿。

4. 排便障碍: 损伤早期和脊髓休克期的 ASCI 患者常出现排便困难、腹胀、腹痛等,可通过灌肠、口服泻药或人工取便等方法排空肠道后再行肠道排便功能康复训练。

5. 感染: 颈椎 ASCI 患者肺部感染出现早、感染严重,应根据痰培养结果,及时给予有效抗菌素。

6. 压疮: ASCI 患者入院 2 周内易发生压疮。可予以气垫床或胶垫,每 2 h 协助患者翻身 1 次,并保持患者皮肤清洁干燥。

四、HBO 在 ASCI 中的临床应用

1965 年, Maeda 等实验性使用 HBO 治疗 ASCI, 取得良好的临床效果。1978 年, 国内研究发现 HBO 对于 ASCI 患者的治疗效果与 ASCI 程度及时间有关^[11]。1983 年, Sukoff^[12]采用 HBO 治疗 15 例 ASCI 患者, 其中损伤 6 h 内进行治疗的 7 例患者症状改善明显, 证实了治疗时间窗的重要性。国内一项有关继发性 SCI 适宜干预时间窗选择的基础研究^[13]表明, 大量神经元和神经胶质细胞在损伤后 8 h 出现凋亡, 24~48 h 达到高峰, 持续 21 d。鉴于神经凋亡的达峰时间, 继发性 SCI 的黄金干预时间为伤后 8 h 至 7 d。2018 年一项回顾性研究提出 ASCI 术后第 1~3 天的时间范围为 HBO 最佳治疗时期^[14], 所有患者在 8 h 内接受激素治疗, 3 d 内给予神经节苷脂治疗,

HBO 组患者均在术后 3 d 内接受 HBO 治疗。结果显示, HBO 组患者的神经运动和感觉功能较对照组明显提高, 影像学检查显示 HBO 可明显减轻脊髓水肿, 考虑与早期 HBO 治疗可明显减少神经细胞凋亡和坏死有关。近期国内多项随机对照临床试验研究在证实 HBO 治疗 ASCI 有效性的同时, 也进一步阐明了 HBO 减轻炎症损伤、促进神经修复的治疗机制^[15-17]。

推荐意见:

1. HBO 是 ASCI 的治疗方法之一, 继发性损伤是后者的关键治疗阶段, 治疗有效率与治疗介入时间、疗程密切相关。建议条件允许的情况下损伤 8 h 或术后 72 h 内行 HBO 治疗(Ⅱ级推荐, B 级证据)。

2. 下颈椎脊柱 ASCI 的患者, 多伴血压、心率等血流动力学的改变, 应在给予心电、呼吸功能监测和高级生命支持等临床条件下行 HBO 治疗; 胸腰段脊柱 ASCI 患者治疗过程中应保证制动及移动患者时的安全性(Ⅱ级推荐, C 级证据)。

3. 疗效评估方法。(1)神经功能评分: 推荐美国 SCI 协会制定的损伤分级标准(Ⅱ级推荐, B 级证据)。(2)神经电生理评估: 患者进行 HBO 治疗过程中推荐使用肌电图诱发电位仪测量患者的脊神经、腓神经、胫神经的感觉神经传导速度、运动神经传导速度、体感诱发电位、运动诱发电位(Ⅲ级推荐, C 级证据)。(3)影像学评估: MRI 检查具有较高的灵敏度与特异性, 合并脊柱骨折患者应注意检查时的移动安全(Ⅱ级推荐, B 级证据)。

五、HBO 治疗机制

(一)减轻继发性损伤

HBO 治疗主要通过增加机体血氧含量, 增强脊髓组织损伤病灶的有氧代谢, 改善缺血缺氧状态, 减轻炎症反应, 从而减轻 ASCI 的继发性损伤。

1. 抗氧自由基: 氧自由基积聚对 ASCI 后炎症反应有促进作用, 加重组织水肿与坏死, HBO 治疗可提高氧分压, 促进血液循环, 清除积聚的氧自由基^[18-20]。

2. 抑制炎症因子表达: 实验研究发现, HBO 可降低肿瘤坏死因子、一氧化氮(nitric oxide, NO)、白细胞介素(interleukin, IL)-6、IL-8 在血浆及组织中的表达^[21-23]。近年来分子机制研究显示, HBO 治疗可通过转变巨噬细胞 M1 表型为 M2 表型, 减轻 ASCI 后的炎症反应, 且这一作用机制有可能进一步促进轴突延伸和功能恢复^[24]。



(二)抑制细胞凋亡

SCI 后 6 h 即可发生细胞凋亡,并可持续超过 3 周。大量的基础实验表明,HBO 治疗可降低 Caspase-3 mRNA 的表达,抑制 ASCI 后的细胞凋亡,明显降低继发损伤,对神经细胞起到保护作用^[25-26]。

(三)促进神经修复

1. 促进神经生长因子表达:多项基础研究证实,HBO 治疗能够诱导神经生长相关蛋白大量表达,进而加速受损脊髓神经元轴突生长,促进脊髓神经生长修复^[27-28]。HBO 治疗还可以促进 ASCI 小鼠基因及蛋白水平上的血管内皮生长因子表达,从而促进 ASCI 后血管与组织的再生与修复。

2. 诱导内源性干细胞增殖分化:HBO 可以通过提高血氧浓度,增加组织氧含量,促进干细胞分化;还可以通过纠正酸中毒,改善神经干细胞分化环境间接促进干细胞分化^[29-30]。

六、ASCI 的 HBO 治疗时机

临床研究证实,HBO 治疗开始时间越早预后越好,损伤 6 个月以后的 HBO 治疗效果并不理想^[31]。SCI 后 4~24 h 内行手术治疗,术后 1~3 d 为最佳 HBO 治疗时机^[32]。ASCI 后 8 h 内进行 HBO 治疗,既可以减轻原发性损伤,又能截断继发性损伤带来的炎性级联反应。伤后 24 h 至 1 周内介入 HBO 治疗,可以减轻相比凋亡,促进血管再生,而伤后 1 周治疗的有效率则明显下降^[33]。根据中华医学会高压氧分会推荐的 HBO 治疗适应证分类,ASCI 为 HBO 治疗的 II 类适应证,建议在具备 HBO 舱及相关医务人员的情况下尽早对 ASCI 患者行 HBO 治疗。

推荐意见:

1. 无手术指征者:条件允许的情况下伤后 8 h 内行 HBO 治疗。(II 级推荐,B 级证据)

2. 有手术指征者:应以手术为先。条件允许的情况下术后 72 h 内行 HBO 治疗。(II 级推荐,B 级证据)

3. 随访:在术前,术后 1、3、6 个月,1 年这 5 个时间点行影像学监测、神经电生理检查和脊髓功能评分,评估疗效和预后。(III 级推荐,C 级证据)

七、ASCI 的 HBO 治疗方案

HBO 治疗压力一般为 0.18 MPa(1.80 ATA),每次吸氧时间为 60 min,1 次/d,10 d 可见明显疗效,尽早、多疗程 HBO 治疗对改善 ASCI 患者的神经功能及生活质量最佳。关于 HBO 疗程的回顾性研究发现接受 3~4 个疗程 HBO 治疗的 ASCI 患者功能改善

最为显著,并且改善程度与 5~6 个 HBO 疗程比较差异无统计学意义^[34-35]。

推荐意见:

治疗压力 0.18~0.20 MPa,升压 30 min,减压 25 min,稳压吸氧 60 min。1 次/d,连续 10 次为 1 个疗程,疗程间隔 5~7 d,共治疗 3~4 个疗程。可以根据患者的年龄、损伤程度、发病及术后时间、并发症情况确定治疗方案。(II 级推荐,C 级证据)

八、HBO 对于 ASCI 后并发症的治疗作用

(一)肠道功能障碍

HBO 治疗可以通过修复创伤后脊髓组织提高自主神经功能,加速受损胃肠分泌细胞的增殖与修复,从而改善胃肠功能^[36-37]。HBO 治疗可能通过抑制 Rho/ROCK 信号通路,促进紧密连接蛋白的表达,从而保护 ASCI 大鼠的肠道屏障功能,改善肠功能^[38]。

(二)膀胱功能障碍

临床研究表明,HBO 治疗可促进神经细胞的再生与修复,结合理疗可使患者恢复正常排尿反射,是针对 ASCI 后膀胱功能障碍的有效治疗方式^[39-40]。国内曾有报道,HBO 联合电针治疗,可使 ASCI 后大鼠膀胱逼尿肌及膀胱颈平滑肌中一氧化氮合酶表达增加,通过 NO-cGMP 信号途径舒张下尿路平滑肌,降低正常排尿时的尿道压,维持正常的膀胱功能^[41]。

(三)情绪与精神障碍

ASCI 作为一种创伤事件,可引起患者一系列焦虑抑郁等心理应激反应。相关的回顾性研究表明,HBO 治疗通过改善神经功能,恢复 ASCI 患者运动能力的同时,也能够提高其社会适应能力,从而缓解患者的情绪心理问题,有效打破心理因素与功能损害之间的恶性循环^[42-43]。

推荐意见:

1. HBO 治疗肠道功能障碍及膀胱功能障碍,应结合药物和理疗,并加强护理力度。(III 级推荐,C 级证据)

2. HBO 治疗焦虑抑郁,应与心理疏导及抗焦虑抑郁药物相结合。(III 级推荐,C 级证据)

根据英国牛津循证医学中心的证据水平进行分级,分为 5 个级别。推荐等级采用美国物理治疗协会使用的推荐等级标准。见表 1。

执笔组:刘璐、梁芳、康南、杨晶

审核专家:龙颖、李金声(深圳市人民医院),海涌(首都医科大学附属北京朝阳医院)



表 1 证据水平分级和推荐等级标准

级别	证据水平	证据	推荐等级
I 级	随机对照试验的系统评价或 Meta 分析,高质量的前瞻性研究、随机对照试验	A 强证据	I 级研究占优势,和/或 II 级研究支持建议。至少包括 1 项 I 级研究。
II 级	队列研究的系统评价或 Meta 分析,高质量的前瞻性研究、低质量随机对照试验(例如,随机选择不当,不设盲法,随访率<80%)	B 中等证据	1 项高质量的随机对照试验,或者多项 II 级研究支持建议。
III 级	病例对照研究或回顾性研究	C 弱证据	1 项 II 级研究或优势 III 级和 IV 级研究(包括内容专家的共识声明)支持建议。
IV 级	单个病例系列研究	D 相互矛盾的证据	针对该主题有不同结论的高质量的研究,建议基于这些矛盾的研究
V 级	专家观点	E 理论/基础证据 F 专家意见	多项动物或尸体研究,概念模型/原理或基础科学研究证据支持该结论 基于共识专家团队的临床实践经验总结得到的最佳意见

讨论专家:杨晶(首都医科大学附属北京朝阳医院)、康南(首都医科大学附属北京朝阳医院)、梁芳(首都医科大学附属北京朝阳医院)、鲁世保(首都医科大学宣武医院)、姜炜(天津市第一中心医院)、兰海波(黑龙江省医院)、万金娥(青岛大学附属医院)、周宏图(江苏大学附属医院镇江市江滨医院)、刘传军(沈阳二四五医院)、李雁(福建省立医院)、曾宪容(四川省医学科学院四川省人民医院)、孙世龙(郑州市第二人民医院)、刘勇(大连医科大学附属第一医院)

利益冲突声明 所有作者均声明不存在利益冲突说明。
作者贡献声明 刘璐:论文撰写、文献查阅;梁芳:数据整理、论文撰写;康南:研究指导、论文修改;杨晶:论文指导、审核专家建议汇总。

参 考 文 献

[1] Mulcahey MJ, Gaughan J, Betz RR, et al. The international standards for neurological classification of spinal cord injury: reliability of data when applied to children and youths[J]. Spinal Cord, 2007, 45(6): 452-459. DOI: 10.1038/sj.sc.3101987.

[2] Iseli E, Cavigelli A, Dietz V, et al. Prognosis and recovery in ischaemic and traumatic spinal cord injury: clinical and electrophysiological evaluation [J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 1999, 67(5): 567-571. DOI: 10.1136/jnnp.67.5.567.

[3] 王国玺,王国乾,张树泉. 高压氧联合许旺细胞移植脊髓损伤大鼠电生理及后肢功能的变化[J]. 中国组织工程研究, 2015, (14): 2205-2210. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2015.14.013.

[4] 谭杰文,胡辉军,张芳,等. 磁共振及神经电生理在高压氧治疗急性脊髓损伤疗效评估中的应用[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2016, 23(3): 197-203. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-6906.2016.03.008.

[5] Fehlings MG, Wilson JR, Tetreault LA, et al. A clinical practice guideline for the management of patients with acute spinal cord injury: recommendations on the use of methylprednisolone sodium succinate [J]. Global Spine J, 2017, 7(3 Suppl): 203S-211S. DOI: 10.1177/2192568217703085.

[6] 国际神经修复学会暨中国神经修复学会. 脊髓损伤神经修复临床治疗指南(IANR/CANR2019年版)[J]. 西部医学, 2020, (6): 790-802. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3511.2020.06.003.

[7] Richard Denis A, chatta R. Patterns and predictors of functional recovery from the subacute to the chronic phase following a traumatic spinal cord injury: a prospective study [J]. Spinal Cord, 2020, 58(1): 43-52. DOI: 10.1038/s41393-019-0341-x.

[8] Torelli AG, Cristante AF, de Barros-Filho T, et al. Effects of ganglioside GM1 and erythropoietin on spinal cord injury in mice: functional and immunohistochemical assessments [J]. Clinics (Sao Paulo), 2022, 77: 100006. DOI: 10.1016/j.clinsp.2022.100006.

[9] Guan B, Fan Y, Zheng R, et al. A critical appraisal of clinical practice guidelines on pharmacological treatments for spinal cord injury [J]. Spine J, 2023, 23(3): 392-402. DOI: 10.1016/j.spinee.2022.09.009.

[10] La Rosa G, Conti A, Cardali S, et al. Does early decompression improve neurological outcome of spinal cord injured patients? Appraisal of the literature using a meta-analytical approach [J]. Spinal Cord, 2004, 42(9): 503-512. DOI: 10.1038/sj.sc.3101627.

[11] 王丽茹. 在神经外科疾病中应用高压氧治疗的临床应用[J]. 中国保健营养, 2021, 31(21): 71.

[12] Sukoff MH. Immobilization and reduction of the fractured spine [J]. Neurosurgery, 1983, 13(4): 472-473. DOI: 10.1097/00006123-198310000-00023.

[13] 易成腊,陈安民,徐卫国,等. 大鼠脊髓损伤后半胱氨酸天冬氨酸蛋白酶3的表达及意义继发性脊髓损伤适宜干预时间窗的选择[J]. 中国临床康复, 2005, 9(38): 155-158. DOI: 10.3321/j.issn:1673-8225.2005.38.050.

[14] Tan JW, Zhang F, Liu HJ, et al. Hyperbaric oxygen ameliorated the lesion scope and nerve function in acute spinal cord injury patients: A retrospective study [J]. Clin Biochem, 2018, 53: 1-7. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2017.12.001.

[15] 陆晚,黄宗国,廖胜,等. 高压氧治疗胸段脊髓损伤的临床分析[J]. 医学信息, 2018, 31(10): 84-86. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1959.2018.10.025.

[16] Feng JJ, Li YH. Effects of hyperbaric oxygen therapy on depression and anxiety in the patients with incomplete spinal cord injury (a STROBE-compliant article) [J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96(29): e7334. DOI: 10.1097/MD.00000000000007334.

- [17] Li HX, Cui J, Fan JS, et al. An observation of the clinical efficacy of combining Riluzole with mannitol and hyperbaric oxygen in treating acute spinal cord injury[J]. Pak J Med Sci, 2021, 37(2): 320-324. DOI: 10.12669/pjms.37.2.3418.
- [18] Kudchodkar BJ, Wilson J, Lacko A, et al. Hyperbaric oxygen reduces the progression and accelerates the regression of atherosclerosis in rabbits[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2000, 20(6): 1637-1643. DOI: 10.1161/01.atv.20.6.1637.
- [19] Topuz K, Colak A, Cemil B, et al. Combined hyperbaric oxygen and hypothermia treatment on oxidative stress parameters after spinal cord injury: an experimental study[J]. Arch Med Res, 2010, 41(7): 506-512. DOI: 10.1016/j.arcmed.2010.10.004.
- [20] Smuder AJ, Turner SM, Schuster CM, et al. Hyperbaric oxygen treatment following mid-cervical spinal cord injury preserves diaphragm muscle function[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21(19): 7219. DOI: 10.3390/ijms21197219.
- [21] Ohgami Y, Elstad CA, Chung E, et al. Effect of hyperbaric oxygen on the anticancer effect of artemisinin on molt-4 human leukemia cells[J]. Anticancer Res, 2010, 30(11): 4467-4470.
- [22] Ahmadi F, Zargari M, Nasiry D, et al. Synergistic neuroprotective effects of hyperbaric oxygen and methylprednisolone following contusive spinal cord injury in rat[J]. J Spinal Cord Med, 2022, 45(6): 930-939. DOI: 10.1080/10790268.2021.1896275.
- [23] Sunshine MD, Bindi VE, Nguyen BL, et al. Oxygen therapy attenuates neuroinflammation after spinal cord injury[J]. J Neuroinflammation, 2023, 20(1): 303. DOI: 10.1186/s12974-023-02985-6.
- [24] Geng CK, Cao HH, Ying X, et al. The effects of hyperbaric oxygen on macrophage polarization after rat spinal cord injury[J]. Brain Res, 2015, 1606: 68-76. DOI: 10.1016/j.brainres.2015.01.029.
- [25] Zhou Y, Su P, Pan Z, et al. Combination therapy with hyperbaric oxygen and erythropoietin inhibits neuronal apoptosis and improves recovery in rats with spinal cord injury[J]. Phys Ther, 2019, 99(12): 1679-1689. DOI: 10.1093/ptj/pzz125.
- [26] Yao R, Liu M, Liang F, et al. Hyperbaric oxygen therapy inhibits neuronal ferroptosis after spinal cord injury in mice[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2023, 48(22): 1553-1560. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004820.
- [27] Brkic P, Stojiljkovic M, Jovanovic T, et al. Hyperbaric oxygenation improves locomotor ability by enhancing neuroplastic responses after cortical ablation in rats[J]. Brain Inj, 2012, 26(10): 1273-1284. DOI: 10.3109/02699052.2012.667593.
- [28] Liu X, Zhou Y, Wang Z, et al. Effect of VEGF and CX43 on the promotion of neurological recovery by hyperbaric oxygen treatment in spinal cord-injured rats[J]. Spine J, 2014, 14(1): 119-127. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.06.084.
- [29] 石瑞成,冯士军,王志刚. 高压氧联合神经干细胞移植治疗大鼠脊髓损伤[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(19): 3507-3512. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8225.2011.19.020.
- [30] Geng CK, Cao HH, Ying X, et al. Effect of mesenchymal stem cells transplantation combining with hyperbaric oxygen therapy on rehabilitation of rat spinal cord injury[J]. Asian Pac J Trop Med, 2015, 8(6): 468-473. DOI: 10.1016/j.apjtm.2015.05.001.
- [31] Yeo JD. The use of hyperbaric oxygen to modify the effects of recent contusion injury to the spinal cord[J]. Cent Nerv Syst Trauma, 1984, 1(2): 161-165. DOI: 10.1089/ens.1984.1.161.
- [32] Nekhlopochny OS, Voronov IV, Verbov VV. Hyperbaric oxygenation therapy in treatment of traumatic spinal cord injury: a pilot study[J]. Ukrainian Neurosurg J, 2021, 27: N4. DOI: 10.25305/unj.240362.
- [33] 黄怀,陈辉强,古菁,等. 不同时间窗高压氧治疗对脊髓损伤患者疗效的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2010, 32(6): 435-438. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2010.06.009.
- [34] Siglioccolo A, Gammaldi R, Vicinanza V, et al. Advance in hyperbaric oxygen therapy in spinal cord injury[J]. Chin J Traumatol, 2023: S1008-1275(23)00044-00045. DOI: 10.1016/j.cjtee.2023.05.002.
- [36] 沈丹彤,古菁,叶水林,等. 不同疗程高压氧治疗脊髓损伤的临床观察[J]. 实用医学杂志, 2018, 34(9): 1472-1475, 1494. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2018.09.016.
- [37] 张梦也,毛雅君,薛宇豪,等. 高压氧治疗脊髓损伤神经源性肠道功能障碍的疗效观察[J]. 中国现代医生, 2023, 61(23): 21-24. DOI: 10.3969/j.issn.1673-9701.2023.23.006.
- [38] 孙洁,宋应明,李书娜,等. 高压氧辅助治疗对胃癌根治术后患者胃肠激素及免疫因子的影响[J]. 中华航海医学与高压医学杂志, 2021, 28(1): 43-46. DOI: 10.3760/cma.j.cn311847-20200825-00331.
- [39] Liu X, Liang F, Zhang J, et al. Hyperbaric oxygen treatment improves intestinal barrier function after spinal cord injury in rats[J]. Front Neurol, 2020, 11: 563281. DOI: 10.3389/fneur.2020.563281.
- [40] 孙燕,钟亮,陶林花,等. 高压氧联合电针八髎穴对脊髓损伤神经源性膀胱患者尿动力学的影响[J]. 中国康复, 2023, 38(7): 422-425. DOI: 10.3870/zgkf.2023.07.008.
- [41] 祝波,卢凤丽,袁玲,等. 温针夹脊穴结合高压氧治疗脊髓不全损伤后尿失禁临床观察[J]. 湖北医药学院学报, 2019, 38(5): 479-482. DOI: 10.13819/j.issn.2096-708X.2019.05.014.
- [42] 王晓红,邵彬,黄礼群. 高压氧结合电针治疗对脊髓损伤后大鼠膀胱功能的影响[J]. 重庆医学, 2012, 41(25): 2577-2580, 封2. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2012.25.004.
- [43] 肖利华,翁其彪,廖晃怡. 高压氧治疗对不完全性脊髓损伤患者抑郁和焦虑的影响[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2018, 39(22): 2633-2634. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1256.2018.22.008.
- [44] Huang L, Zhang Q, Fu C, et al. Effects of hyperbaric oxygen therapy on patients with spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. J Back Musculoskelet Rehabil, 2021, 34(6): 905-913. DOI: 10.3233/BMR-200157.

(收稿日期:2024-04-23)

(本文编辑:姚健)

