

· 标准与规范 ·

穿透性颅脑损伤专家共识

中国人民解放军神经外科专业委员会

通信作者：白红民，南部战区总医院神经外科，广州 510010, Email: baihmfmumu@vip.163.com; 屈延，空军军医大学第二附属医院神经外科，西安 710038, Email: yanqu0123@fmmu.edu.cn; 张剑宁，中国人民解放军总医院第一医学中心神经外科医学部，北京 100853, Email: jnzhang2018@163.com; 余新光，中国人民解放军总医院海南医院神经外科，三亚 572013, Email: xinguang_yu@263.net

【摘要】 穿透性颅脑损伤可对中枢神经系统造成毁灭性打击，具有极高的病死率和致残率，幸存者还可能遭受严重影响生活质量的长期并发症。因此，本写作组参考了国内外相关指南、共识，总结近年来临床研究进展，并通过改良德尔菲法向全军神经外科专业委员会 50 位专家征集意见，其中 46 位专家回复意见，在穿透性颅脑损伤的分类、早期识别、诊断、急诊处置、高级监护、手术方式、并发症处理以及预后预测等方面形成了 52 条推荐意见，旨在为穿透性颅脑损伤患者的规范化诊治和科学管理提供参考。

【关键词】 颅脑损伤； 穿透性； 共识

Expert consensus on the penetrating brain injury

Neurosurgery Professional Committee of the PLA

Corresponding authors: Bai Hongmin, Department of Neurosurgery, General Hospital of Southern Theater Command, Guangzhou 510010, China, Email: baihmfmumu@vip.163.com; Qu Yan, Department of Neurosurgery, the Second Affiliated Hospital of Air Force Medical University, Xi'an 710038, China, Email: yanqu0123@fmmu.edu.cn; Zhang Jianning, Department of Neurosurgery, the First Medical Center of PLA General Hospital, Beijing 100853, China, Email: jnzhang2018@163.com; Yu Xinguang, Department of Neurosurgery, Hainan Hospital of PLA General Hospital, Sanya 572013, China, Email: xinguang_yu@263.net

【Abstract】 Penetrating brain injury can be devastating to the central nervous system, with extremely high mortality and disability rates. Survivors may also suffer long-term complications that severely affect their quality of life. Therefore, this writing group referred to the relevant guidelines and consensus at home and abroad and summarized the progress of clinical research in recent years. The modified Delphi method was used to solicit opinions from 50 experts of the Neurosurgery Professional Committee of the PLA, and 46 experts responded to the opinions, forming 52 recommendations in the areas of classification, early recognition, diagnosis, emergency treatment, advanced monitoring, surgical methods, management of complications, and prognosis prediction of penetrating brain injury. These recommendations were formed to provide reference for the standardized diagnosis, treatment and scientific management of patients with penetrating brain injury.

【Key words】 Head injuries; Penetrating; Consensus

穿透性颅脑损伤 (penetrating brain injury, PBI) 是一种严重的创伤性脑损伤 (traumatic brain

injury, TBI), 其致伤因素多样, 病理生理复杂, 临床表现危重, 病情进展快, 并发症多, 临床预后差, 具

DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20231104-01009

收稿日期 2023-11-04 本文编辑 朱瑶

引用本文: 中国人民解放军神经外科专业委员会. 穿透性颅脑损伤专家共识[J]. 中华医学杂志, 2024, 104(13): 996-1020. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20231104-01009.



中华医学杂志社
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



有极高的病死率和致残率,85%~90%的患者在院前就会死亡,幸存者还可能遭受影响其功能结局的长期并发症,如脑脊液漏、癫痫发作、颅内感染和脓肿形成、软脑膜囊肿形成、颅神经损伤、创伤后综合征、皮质性失明、外伤性偏头痛、脑积水、外伤性动脉瘤和动静脉畸形以及认知功能障碍等。但针对PBI的诊疗,尚未开展广泛研究,主要参考文献为病例报道或病例系列。目前临床上对于PBI的诊疗及管理主要参考TBI,但两者在致伤机制、病理生理及处理原则上具有较大不同。因此,国内外研究者一直在积极探寻针对PBI规范有效的诊疗方案。为此,本写作组参考了国内外相关指南、共识,总结了近年来国内外的临床研究进展,形成了本共识,并通过改良德尔菲法向全军神经外科专业委员会50位专家征集意见,其中46位专家回复意见,并对共识所有内容进行投票,专家意见赞成人数在70%以上者被认为达成共识,形成共识推荐意见,旨在为成年人PBI的规范化诊治和科学管理提供参考。推荐意见的证据级别采用GRADE方法进行分级,证据级别从高到低可分为高(A)、中(B)、低(C)和极低(D)四个等级(表1)^[1]。

表1 GRADE证据分级与定义

证据等级	详细说明
高(A)	对估计值非常有信心:真实值接近于估计值
中(B)	对估计值有中等信心:真实值可能接近估计值,但仍有可能差别较大
低(C)	对估计值信心有限:真实值可能与估计值有较大差别
极低(D)	对估计值几乎没有信心:真实值与估计值可能有极大差别

注:GRADE为证据等级的评估、制定与评价

本共识检索文献数据库为 Pubmed、Web of Science、Uptodate、Cochrane Library、Incopat、Proquest、中国生物医学文献数据库(Sinomed)、中国知网数据库、中华医学会博库数据库、大医搜索平台;检索文献年限2000—2022年;检索文献类型包括期刊论文、专著、会议论文、学位论文、专利文献、科技报告,并获取全文或摘要,由通信作者进行二次筛选(如排除动物实验研究等),对最终筛选出的文献进行汇总并分析,交由撰写组成员进行精读及撰写。检索关键词:(1)中文主题词:头部创伤,穿透性;颅脑损伤 AND 创伤,贯通性;中文关键词:(穿通 OR 穿透 OR 贯通 OR 开放 OR 盲管 OR 火器 OR 枪 OR 子弹 OR 锐器 OR 刀 OR 刺) AND

(脑 OR 颅 OR 头)AND 伤。(2)英文主题词:head injuries, penetrating (Wounds, penetrating and craniocerebral trauma);英文关键词:“penetrat* head injury”OR “penetrat* brain injury”OR “open head injury”OR “penetrat* TBI”OR “severe traumatic brain injury”OR “Severe TBI”OR (perforat* or open or missile or gun* or bullet or sharp object or cut* or stab* or puncture*) and (brain or head or craniocerebral or cerebral or cranial or intracranial) and (trauma* or injur*)。

一、概念和分类

(一)概念

PBI是指由尖锐物、钝器或火器等同时穿透头皮、颅骨、硬脑膜和脑组织,并产生伤道的颅脑损伤^[2],约占TBI的10%^[3-4]。但因火药、炸药或生活中大能量投射物(如枪弹弹丸、各种碎片)等所致的颅脑损伤,包括头皮伤、颅骨损伤、硬脑膜破裂和脑损伤的复合性损伤,约占45岁以下颅脑损伤死亡的35%。各种高能穿透物在进入颅脑后,在密闭颅腔内释放的能量不仅损伤弹道周围颅脑组织,同时破坏非弹道区的重要脑组织,是颅脑损伤中最致命的类型,造成约2/3患者死于受伤现场,并成为90%以上患者最直接死亡的原因。PBI在战时常集中发生,在我国因枪支管理严格,平时较为少见,偶见于气枪伤;但在美国,每10万人中分别有3.6和6.3人死于枪杀和枪支自杀,在这些枪伤死亡的人员中,PBI为主要致死原因^[5]。此外,部分锐器伤、钝器伤、自伤、意外受伤等亦可导致PBI。

推荐意见1:PBI的定义:是由火器或非火器同时穿透头皮、颅骨、脑膜和脑组织进而形成伤道,引起的开放性颅脑损伤。(共识度:100%)(B级证据)

(二)分类

PBI属头皮、颅骨和硬脑膜均被穿破的开放性颅脑损伤,穿透物直接作用于整个头颅(包括头皮、颅骨、脑组织等),导致脑组织粉碎、撕裂和拉伸,其引发的冲击能量也可将脑挤向颅骨、硬脑膜和其他坚硬的结构而造成损伤,这些原发性和继发性的共同破坏作用,可造成颅内压陡增,致使伤情复杂。PBI常采用穿透物种类、穿透物速度、穿透部位类型、对脑组织损毁严重程度以及穿透形式等相结合的方法进行分类,为PBI后期治疗及预后提供依据。

1. 根据穿通物分为^[6-7]:(1)子弹PBI:穿透物为金属(黄铜、钢、铅等)子弹、非金属子弹(橡皮弹头



等)。一般情况下,枪支根据形状、产生动能大小、损伤范围及程度可分为手枪、步枪和猎枪、霰弹枪等,分别发射相对应种类及口径的子弹。(2)非子弹火器 PBI:穿透物为非子弹火器,包括所有非子弹可产生金属穿透物的火器,如各型、不同口径的炮弹、导弹、地雷、简易爆炸装置、霰弹枪中的钉子及其他填充物。(3)非子弹非火器低速 PBI:包括金属物体,如匕首、弩弹、弓箭、生活中的金属物(如钢筋、气动钉枪、螺丝刀、捕鱼的鱼叉等)等。非金属物体,如骨性物质、石头、圆珠笔、非金属 BB 弹、竹木异物等。

2. 根据发病机制分为:(1)低速 PBI (low-velocity penetrating brain injury, LVPBI) ($V < 300$ m/s):LVPBI 是指低速物体穿透造成的颅脑损伤,常发生在日常生活中,也可见于战时手枪枪伤,预后往往优于高速 PBI。根据文献报道可以分为跨颅底型和跨颅盖型,大多数穿透物为金属或非金属类的(木材或塑料等)杆状物(如焊条、钉子、眼镜框、玩具零件、眼镜腿等)。跨颅底 LVPBI 的主要特征是从下方穿透大脑,通常通过颅底的薄骨区和解剖孔。跨颅盖型则是直接从上方或侧面通过厚的颅盖穿透大脑。LVPBI 的神经外科临床研究仍处于探索阶段,尚无广泛实践,主要以案例研究的形式呈现^[6, 8-9]。(2)中速 PBI (meium-velocity penetrating brain injury, MVPBI) ($V = 300 \sim 600$ m/s):常见于战时,主要见于轻型自动步枪子弹伤,损伤程度主要与穿透物的动能有关。(3)高速 PBI (high-velocity penetrating brain injury, HVPBI) ($V > 600$ m/s):主要见于战场武器致伤,如 AK-47、加利尔突击步枪、绝大部分炮弹弹片等。而炮弹爆炸后的弹片速度明显高于子弹射速,有学者对炮弹弹片速度进行了实际测量,76 mm 炮弹爆炸破片的最大初速度为 1 404 m/s,130 mm 炮弹爆炸破片击穿两层厚度为 4 mm 的钢板并在空中飞行 3 400 mm 后速度仍高达 1 020 m/s。根据动能公式,投射物的动能与速度的平方成正比,因此射速是影响动能的主要因素。当射速低于 300 m/s 时,对脑组织的损伤效应主要是单纯的挤压效应;射速超过 700 m/s 时,对颅骨和脑组织的损伤明显增加,空腔效应也更明显,枪弹出颅的破口大于入口,速度越高,出颅的破口越大。

3. 穿透部位类型:不论是在平时或战时,PBI 都可以根据穿透头部的部位分为端脑 PBI、间脑

PBI、脑干 PBI、小脑 PBI、动脉系统 PBI、静脉系统 PBI 等。也有研究根据脑叶分为额部伤、颞部伤、顶部伤、后颅窝伤等。位置的不同,影响手术方式和入路的选择,甚至对后期的检查、治疗、护理和康复都有影响,但是这些仅为个案报道,难以形成规范的共识分型。

4. 伤情严重程度^[10]:TBI 在战时和平时都较常见,PBI 在平时较少见,主要在战时多见,现代战争火器伤威力和破坏性均巨大,但患者数据均是各国的保密信息,所以结合有限的文献,根据伤情的轻重程度认为可分为轻型、中型和重型。(1)轻型:格拉斯哥昏迷评分(Glasgow coma scale, GCS) 13~15 分,脑组织损伤程度较轻,多无明显意识障碍或存在短暂意识障碍,经救治后可迅速恢复。(2)中型:GCS 评分 9~12 分,伤情较重,存在一定范围脑挫裂伤或颅内血肿,伤后出现明显意识障碍,经救治后仍可能遗留较严重的并发症,但有一定生活自理能力。(3)重型:GCS 评分 3~8 分,伤情严重,颅内存在广泛脑挫裂伤、脑干损伤或颅内血肿、重要动脉和静脉或静脉窦损伤,意识多呈持续昏迷状态,常危及生命,经抢救治疗后严重致残,无生活能力。

5. 穿透形式:根据穿透物作用于头部的方式和穿过组织的不同分为:深切线伤、盲管伤和贯通伤^[8, 11-13]。(1)深切线伤,又称沟槽伤(gutter wound):异物以切线方向冲击头部,造成头皮、颅骨、脑膜和脑组织呈沟槽状损伤,脑组织中可有骨折片存留。(2)盲管伤:穿透物存留在颅腔内,位于伤道远端,仅有入口,没有出口。盲管伤异物可残留在初始弹道的末端,也可触及颅内容物,如颅骨或大脑镰、小脑幕等后出现反跳,尤其是触及颅骨后反跳的盲管伤,虽然没有出口,但是穿透物可在颅内继续运动,导致更严重的伤情。(3)贯通伤:穿透物贯穿颅腔,颅脑损伤广泛,整个伤道可见头皮损伤、颅骨骨折及脑组织挫裂伤,颅部有射入口和穿出口,穿出口伤情较射入口更为严重,枪弹已飞失,多见于枪伤。

推荐意见 2:根据穿透物的种类可以分为子弹 PBI、非子弹火器 PBI、非子弹非火器 PBI。(共识度:95.65%)(B 级证据)

推荐意见 3:根据穿透物的速度分类,可分为低速、中速和高速 PBI。(共识度:100%)(B 级证据)

推荐意见 4:根据穿透部位不同,可分为端脑 PBI、间脑 PBI、脑干 PBI、小脑 PBI 等。(共识度:93.48%)(B 级证据)

推荐意见 5:根据 GCS 评分可分为轻型、中型



和重型 PBI。(共识度:93.48%)(B 级证据)

推荐意见 6: 根据穿透形式的不同,可分为深切线伤、盲管伤和贯通伤。(共识度:91.30%)(B 级证据)

二、PBI 的病理生理机制

PBI 的严重程度很大程度上取决于穿透物的能量大小。根据动能方程,穿透物的速度比质量的能量权重更大。在低速穿透伤中,损伤主要是通过穿透物挤压或切割沿途的组织造成的,导致头皮撕裂、凹陷性颅骨骨折和沿物体移动路径的局部脑组织及血管损伤。具有锋利边缘的低速穿透物,如刀具和玻璃,通过切割机制穿透;而无锐边的低速弹丸,则通过动能机制穿透,造成沿途组织的粉碎或损伤。在这两种情况下,伤口通道的大小通常是穿透物体的尺寸。因此,神经功能损伤取决于穿透物路径直接涉及的脑内区域。由于只有一小部分脑区受到影响,神经功能缺陷可能是有限的。然而,如果涉及到特别关键的脑区,如中脑,即使是非常小的异物也可能导致不可逆转的昏迷或死亡,损伤重要的动脉和静脉也会造成广泛的损伤。如果有凹陷性颅骨骨折而无异物穿透,仍可能发生骨片脱落进入大脑,存在硬膜外、硬膜下或蛛网膜下腔出血的风险。而蛛网膜下腔出血可能导致基底池积血,或可能发生脑膜纤维化和粘连,阻断蛛网膜下腔中的脑脊液流动和吸收,并导致交通性脑积水及脑室扩大。

相比之下,具有高动能的穿透物不仅对轨迹周围的组织造成直接损伤,还通过空化效应,对邻近脑组织造成更加严重的损伤。高速穿透伤的特点是动能高,并伴随着冲击波导致三个不同的组织损伤区域:(1)组织撕裂和挤压的伤口通道;(2)因剪切和拉伸而导致的邻近受损组织区域;(3)小血管缺乏充盈和血液外渗的周围区域。

脑实质的水分含量很高,并且相对缺乏弹性,因此特别容易受到 HVPBI 造成的组织损伤。弹头穿过脑组织之前和过程中,可造成瞬时空腔。弹头周围的组织突然向外(放射状)运动,造成周边组织的拉伸、撕裂和切割。从最初的快速扩张到坍塌,这个真空腔只持续几毫秒。在最初的扩散力量散去后,组织空腔经历一系列重复的扩张和收缩,变得越来越小,直到逐渐消失。此外,瞬时空腔的快速扩张会产生负压力梯度,这个负压力将空气和各种碎片吸入空腔内,碎片主要包括弹头命中造成的头皮、骨头、衣服和污垢等物的碎片。穿透伤后的

感染往往是由有机材料而不是无机的金属弹片造成的^[14]。

瞬时空腔的大小取决于弹头的大小、速度、翻滚及偏航角及所遇到组织的性质。由于瞬时空腔具有声波特性,因此弹头的口径越大,速度越快,造成的伤口大小和直径就越大。组织损伤程度同目标组织弹性是成反比的。在大脑等弹性较小的组织中,低速的弹头都可能引发瞬时空腔。当弹头有最大偏航角并造成最多的动能转移时,由其造成的瞬时空腔直径最大。弹头变形也可以增加瞬时空腔的体积。因此,尽管中空弹头的穿透深度不及同等非扩张型弹头的 1/2,但它造成的创腔要更大^[6]。

弹丸最终留下的创道被称为永久空腔。永久空腔体现了两种组织创伤的结合,一种是由瞬时空腔形成时的放射状拉伸和切割力量造成的永久创伤,另一种是由弹丸直接作用于组织时造成的永久创伤。永久弹痕通常都是射入口大,但射出口更大甚至中间更大的情况也有。创伤呈锥形,且锥底在射入口处是最常见的外观形态。

除了永久性和临时性空洞所表现出来的直接组织损伤外,还有一个重要的额外的病理生理结果,例如,高速子弹伤害后形成的一个大的临时空腔将导致大范围的脑水肿。这种水肿导致颅内压升高,脑组织会出现颞叶钩回疝,甚至枕骨大孔疝,导致呼吸和循环功能衰竭,甚至死亡。

一般高速穿透物击中颅骨后,穿透物的颅内运行轨迹初始不会偏离原来的轨道,但是弹头可能会从颅骨内板或大脑镰、小脑幕回弹,形成两个或两个以上不同角度的弹道,最后停止在一个非初始弹道的位置(图 1)。此外,穿透物穿破颅骨或穿透物破碎成片也可能产生额外的伤害。另外,随着时间的推移,尤其是在蛛网膜下腔的穿透物仍可能再发生位置变化^[8]。

PBI 后,无论是弹丸的直接接触力,还是颅腔内震动导致的间接剪切力,都可能导致动脉壁部分破裂或完全横断,这种损伤可能导致蛛网膜下腔出血和(或)脑内和脑室内血肿,对动脉壁的损伤可能导致创伤性动脉瘤。尽管已经报道了动脉壁部分损伤的罕见病例(真性动脉瘤),但 PBI 引起的创伤性颅内动脉瘤主要是假性动脉瘤,即由新鲜或部分凝固的血凝块形成的囊壁。因此,创伤性动脉瘤很容易发生再次破裂和迟发性脑内血肿或蛛网膜下腔出血,或两者兼有,一旦出现,将显著增加病死率和病残率。其他常见的血管损伤类型还包括:动脉



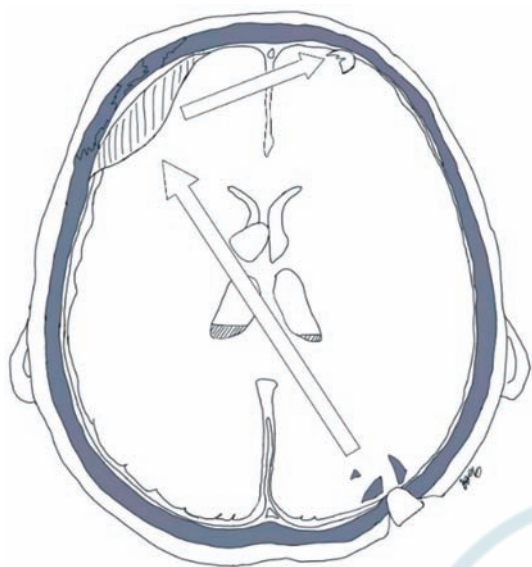


图1 弹片在颅内反弹的示意图 箭头为弹片穿行路径,可见弹片穿入处颅骨骨折,骨折碎片突入脑实质,路径中有脑实质损伤及脑室积血;当弹片穿过脑实质而再次接触颅骨时,弹片出现反弹而改变运行轨迹,而在颅内反弹处出现硬膜外血肿

夹层、动脉完全闭塞、动-静脉瘘、颈动脉-海绵窦瘘、脑静脉窦损伤等^[15]。

推荐意见 7: PBI 的严重程度很大程度上取决于颅脑受到穿透物的能量大小。低速损伤主要通过穿透物挤压或切割沿途的组织所造成。高动能穿透物不仅对轨迹周围的组织造成直接损伤,还通过空化效应,对脑组织造成更加严重的损伤。与低速穿透物相比,高速变形穿透物形成的永久空腔可因空化效应通常比穿透物直径大若干倍。此外,穿透物的翻滚和偏航也会造成永久性的空腔增大。(共识度:97.83%)(B 级证据)

推荐意见 8: PBI 后的感染往往是由有机材料而不是无机的穿透物造成。(共识度:73.91%)(C 级证据)

推荐意见 9: 穿透物的颅内运行轨迹可能会因颅骨内板或颅内容物产生回弹,形成两个或两个以上不同角度的弹道,最后停止在一个非初始弹道的位置。(共识度:95.65%)(C 级证据)

推荐意见 10: 急性创伤性脑血管损伤是 PBI 的常见并发症,可累及动脉、静脉和静脉窦系统。(共识度:95.65%)(B 级证据)

三、颅脑火器伤的临床表现

PBI 的临床表现与一般颅脑损伤有相似性,但也有其特殊性,相似性临床表现主要为意识障碍和神经功能障碍。PBI 特殊临床表现主要为头颅的

伤口特征以及由于失血或凝血病造成的低血压等临床表现。

(一)意识障碍

高速爆炸物穿通颅脑时,将动能传递给脑组织,造成脑组织的广泛性损伤,或者穿透物伤及脑干等重要结构,伤后即刻出现意识障碍的发生率高,爆炸物速度越快,造成的脑组织损伤越严重,意识障碍程度越深、时间越长。此外由于继发性颅内血肿、脑血管损伤、脑水肿、严重颅内高压或脑疝等,也可逐渐出现意识障碍。目前急性损伤后意识障碍最常用和便捷的评估方法是 GCS 评分,其中轻型为 13~15 分,中型为 9~12 分,重型为 3~8 分^[16]。

推荐意见 11: PBI 后意识障碍的发生率高,应进行 GCS 评分。(共识度:100%)(A 级证据)

(二)生命体征改变

当 PBI 合并全身损伤、创伤性凝血病、大量失血、颅内高压,或损伤涉及下丘脑或脑干时,患者会出现生命体征的改变。救治时需尽早发现生命体征和神经系统阳性体征的变化。

1. 血压:低血压是颅脑损伤后预后不良的重要因素,救治时需要维持收缩压(systolic blood pressure, SBP) >110 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。对于持续出血的多发性创伤患者,应使用一切可用手段积极控制出血,头皮出血可能成为失血的重要来源,应引起特别重视。头皮裂伤应尽快缝合或钉合。同时还需寻找低血压的其他原因,如持续出血或张力性气胸,并通过使用血液制品快速恢复循环血容量。维持 SBP>90 mmHg 是维持颅脑损伤患者血压的基本目标。最近的文献表明,当 TBI 患者的 SBP 维持在 110 mmHg 以上时,可能会有更好的预后^[17]。

2. 低氧血症和高碳酸血症:在重型颅脑损伤的患者中,约有 1/3 的患者在抢救前存在低氧血症,在伤后早期,即使短暂的低氧血症也会增加病死率和病残率。PBI 患者应常规监测经皮动脉血氧饱和度(SpO₂),必要时进行血气分析。低氧血症管理的常见策略是维持动脉血氧饱和度(SaO₂)>90%和动脉血氧分压(PaO₂)>60 mmHg。然而在战场上,鉴于频繁的交接设备或医务人员的救治经验技术不同等问题,SaO₂和 PaO₂的管理目标可分别为>93%~95%和>80 mmHg。如果 GCS≤8 分或面部创伤造成气道受损,最好要有确切的气道保护措施。人工气道(环甲膜切开、气管插管和气管切开)建立后,都需要监测呼吸末二氧化碳分压(EtCO₂)。控制

EtCO₂对于严重TBI患者至关重要,监测EtCO₂并调整通气量以达到目标范围:35~40 mmHg^[18]。除非怀疑即将发生脑疝的极端情况,尽量避免过度换气(EtCO₂<35 mmHg),因为过度通气会加重脑缺血。同时应避免通气不足(EtCO₂>45 mmHg)而导致的颅内压升高^[14]。

库欣三联征[即SBP升高和(或)脉压增宽,心动过缓和呼吸不规则]是一种颅内压升高后延髓受压时的生理反应。这是重型颅脑损伤脑干受压的晚期表现。库欣三联征应被视为脑疝的征兆,一旦出现应立即处理。

推荐意见 12: PBI后生命体征改变发生率高,尤其是血压和呼吸。需要对血压、SaO₂进行常规监测,必要时进行血气PaO₂检测。人工气道建立后还需要监测EtCO₂。(共识度:100%)(B级证据)

(三)局部伤口

致伤物为钝器的LVPBI,头皮挫裂伤创缘不整,颅骨呈粉碎性骨折伴凹陷,硬脑膜常被骨折片刺破,脑组织挫裂伤面积较大,可伴有颅内血肿及一定程度的对冲性脑损伤,常有异物、毛发、泥沙等污染创面,感染发生率高。如果是锐器伤,所致的头皮损伤创缘整齐,颅骨呈槽形裂开或陷入,硬脑膜及脑组织也有裂伤及出血,对冲性颅脑损伤少见。通常锐器伤污染较轻,颅内异物亦少见,感染发生率较低。高速火器性PBI,大部分弹道伤都会穿透颅骨、脑膜和脑组织,引起穿透性损伤,导致头皮、颅骨和脑组织的损伤以及弹片等异物在颅内存留。头皮软组织和头发往往会嵌入脑组织中。如果穿透物速度很高,则有可能从头骨的另一边穿出,造成贯通伤。这样的贯通伤只在颅内留下一个创道,可以通过破损头骨斜切面的方向判断射入点和射出点:射入点的颅骨内板缺损呈斜面,表现为颅骨内板上的圆形、穿凿样骨折,带有小的、漏斗状的斜切面缺损,而射出点的颅骨外板斜切面更大,且射出点比射入点更大。弹丸以切线击中颅骨表面会引发锁孔状骨折,包括圆形的射入口缺损和三角形射出口缺损(图2)。伤口外部表现同时具备射入型创伤和射出型创伤的特点,会对创口检查造成误导。环状隆起骨折是高速火器性PBI特有的骨折类型。这种类型的骨折表现为从射入孔和射出孔辐射而出的多个由弧连接的线性骨折。这种骨折只有在颅内有足够的瞬时空腔力量和颅内压升高时才会发生,环状隆起骨折看上去像是头骨粉碎或爆炸,出口的线性骨折线不会穿过环状隆起骨

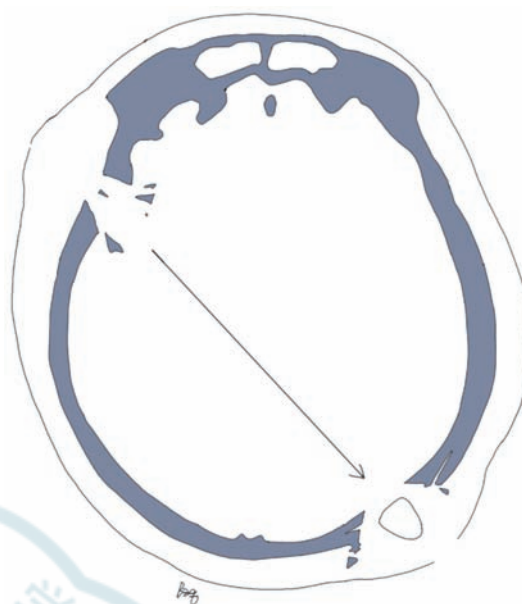


图2 弹片导致颅脑贯通伤示意图 箭头为弹片穿行路径,弹片穿入颅骨的入口小,存在骨折片次生损伤,内板呈斜面;而弹片穿出颅骨的出口较大,外板呈斜面

折线(图3)。

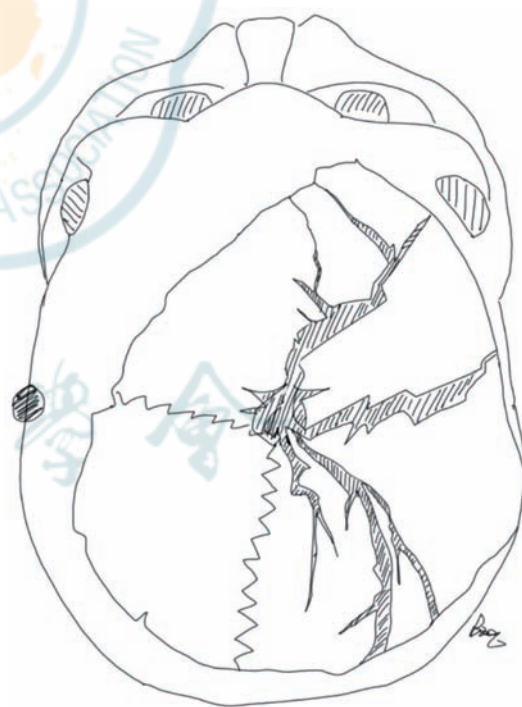


图3 穿透性颅脑损伤后环状隆起骨折示意图

推荐意见 13: 高速火器型PBI头皮软组织和毛发往往会嵌入颅内,射入点的颅骨内板缺损呈斜面,表现为颅骨内板上的圆形、穿凿样骨折,带有小的、漏斗状的斜切面缺损;如果存在射出点,则颅骨外板斜切面更大,且射出点比射入点大。弹丸以切线击中颅骨表面会引发槽状骨折,环状隆起骨折也

是高速火器性 PBI 特有的骨折类型。(共识度: 95.65%)(C 级证据)

(四)瞳孔及其他神经功能损伤

神经系统检查对于确定 PBI 患者的病情恶化至关重要,发现任何神经系统功能受损或恶化的检查结果时,均可能提示需立即治疗的颅内压升高。伤后患者的瞳孔变化及眼球运动情况,对判断伤情变化极为重要。当 PBI 累及脑组织后,会引起相应的颅神经、运动、感觉障碍,累及中央前回运动区或者神经传导束时,则出现一侧肢体运动障碍、偏瘫,同时该侧肢体肌张力增高、腱反射亢进、病理反射阳性;偏身感觉障碍一般多见对侧中央后回即感觉中枢损伤;强迫头位、颈项强直、脑膜刺激征阳性,常为创伤性蛛网膜下腔出血、穿透伤后脑膜炎或环枕交界区的损伤所致。在任何直接危及生命的损伤稳定后,还需进行神经系统查体,紧急情况下难以进行详细的神经系统查体,但一些重要的神经系统查体仍需开展。

1. 意识状态:(1)意识水平:注意患者是否:警觉/反应灵敏;不警觉,但言语刺激可唤醒;不警觉,但对痛苦的刺激有反应;无反应。(2)定向:评估患者是否可以回答正确:姓名;当前位置;当前日期;当前情况(例如,询问患者发生了什么)。(3)语言:注意患者对问题的回答是否流畅和恰当。注意患者在评估其他功能(例如微笑,握手,摆动脚趾)时遵循指令的能力。让患者说出一个简单的物体(例如拇指、手套、手表)。(4)讲话:观察是否有口齿不清的迹象。

2. 颅神经:所有患者都要评估瞳孔对光反应;评估眼睛的位置并注意任何运动(例如,中线,向左或向右凝视,眼球震颤,眼睛协调运动不协调/运动)。非昏迷患者,还可以测试面部两侧的轻触觉;让患者微笑并扬起眉毛,观察是否对称;要求患者说“啊”,直接观察腭部抬高是否对称。昏迷患者,则检查角膜反射;刺激应该会触发眼睑闭合;观察疼痛刺激下的面部表情;注意面部对称和力量;直接刺激喉咙后部,观察是否有呕吐、流泪和(或)咳嗽。

3. 运动:(1)肌张力:注意静息肌张力是增高(即痉挛或僵硬)、正常还是减低(松弛)。(2)肌力:观察四肢的自发运动,并注意运动的任何不对称性(如一侧移动多于对侧)。抬起手臂和腿,注意四肢是否立即掉落、漂移或保持不受重力影响。推拉上肢和下肢,注意是否能抵抗阻力。注意左侧和右侧

之间抵抗阻力的差异。PBI 患者通常很难进行正式的肌力测试。除非患者清醒且合作,否则很难进行可靠的肌力测试。(3)非自主运动:注意任何涉及面部、手臂、腿部或躯干的非自主运动(例如抽搐、震颤、肌阵挛)。

4. 感觉:如果患者对声音没有反应,则测试中心性疼痛和周围性疼痛。(1)中心性疼痛:压胸骨或压眶,并记录反应(例如,异常伸直姿势,屈曲姿势,定位)。(2)周围性疼痛:压指甲床或手指挤压肌肉,或压缩并旋转手腕(不要挤压皮肤)。建议选择在腋窝区域和大腿内侧的肌肉进行。对所有四肢施加类似的刺激,并注意反应(例如,异常伸直姿势,屈曲姿势,逃避,定位)。在清醒和合作的患者中,建议测试轻触。没有必要对清醒和合作的患者施加痛苦的刺激。

5. 步态:如果患者能够行走,请观察随意步态,并注意任何不稳定、漂移、摇摆等动作。

推荐意见 14: PBI 需要密切观察瞳孔及变化。在直接危及生命的损伤稳定后,需进行必要的神经系统查体。(共识度: 93.48%)(B 级证据)

四、影像学检查

神经影像学检查对于判断 PBI 类型、严重程度、射入点及穿出点、手术决策、异物取出路径,以及选择非手术治疗的决定都至关重要,并有助于预测并发症及总体预后。

(一)X 线平片

颅骨 X 线平片在确定骨结构损伤、穿透性头部伤口、弹头和骨碎片的位置及颅内积气方面依然是一种有用的技术。随着计算机断层扫描(CT)开始变得越来越普遍,X 线平片的作用已经显著降低。但全身 X 线平片可快速识别损伤程度和进一步确定 CT 检查的具体部位,因经济、便携,可术中透视使用,在部分情况下仍可用于 PBI 的诊断及治疗。X 线平片在 PBI 中主要适用于:(1)评估穿透轨迹;(2)识别是否有子弹、弹片、爆炸物碎片或其他金属物残留及大致的位置;(3)初步评估弹片的类型,如铅弹通常会变形,钢珠通常不会变形,全金属包被弹遇到骨质会出现破碎,残留金属碎片^[19-20]。

推荐意见 15: 颅骨 X 线平片不作为 PBI 首选检查,在缺乏 CT 检查设备或需术中透视辅助定位时可考虑 X 线平片检查。(共识度: 93.48%)(B 级证据)

(二)CT

严重 PBI 最关键的救治策略之一,是对可治愈



的患者进行快速检查,CT扫描简单、经济、快速、有效,是PBI首选的影像学检查方法。在急性期,CT检查以及三维重建能迅速发现和定位颅内出血、水肿、脑挫伤和挤压伤的病灶、异物、颅骨骨折碎片及所致次生损伤,识别和区分子弹等穿透物的入口和出口(颅骨内板在入口和颅骨外板在出口均呈斜面),指出子弹在颅内的穿行路线,确定脑室系统损伤形态及骨折类型,并且检查时不影响其他生命维持设备的使用。由于金属碎片的伪影,在CT扫描前进行前后位和侧位的定位扫描,有助于帮助鉴别金属碎片的位置,评估伤口轨迹,确定弹头类型(表2)^[21]。

表2 穿透性颅脑损伤头颅CT的关注点

阅片顺序	关注重点
定位片	定位片:弹片的数量,每个弹片的准确位置 创伤的类型是切线型?盲管型或贯通型? 贯通伤的入口和出口分别在什么位置? 弹丸是完整的还是破裂,有无变形? 是否存在碎片(骨折片,玻璃,其他碎片)?
脑实质	伤道涉及单侧还是双侧?是否波及多个脑叶,是否经过脑室,是否经过关键核心脑区? 基底池是否消失?中线是否偏移?是否存在脑肿胀?脑水肿?皮质和髓质的界限是否消失? 是否存在硬膜外、硬膜下和蛛网膜下腔出血?
骨窗	射入点和射出点是否存在骨折,包括颅底骨折和面骨骨折? 骨折的类型:线性?粉碎性?凹陷性?锁孔?环状隆起骨折? 骨折是否穿过颈动脉管或静脉窦? 随访过程中是否存在弹片或骨折片的移位? 弹道是否通过鼻窦或乳突气房?
三维重建	是否存在假性动脉瘤? 弹头的轨迹:前后、左右、上下

损伤后72 h内,建议反复进行CT检查,以及时发现迟发性颅内血肿、缺血性疾病和脑肿胀。应在轴位、冠状位和矢状位上行三维重建CT图像,三维CT可以更好地显示骨碎片和金属碎片的位置和路径,颅骨表面的三维重建还可以了解骨折的类型,以提供更详细的伤情信息。此外,双能CT是一种新的CT技术,有两个X线管和数据采集系统,速度快,辐射量低,且能减少金属伪影,双能CT的三维重建更加自动化、准确和快速,在较低的辐射剂量下能改善CT血管造影(CTA)和CT引导下灌注扫描(CTP)的效果。对于颅面损伤和疑似脑脊液漏的患者,可行CT脑池造影判断脑脊液漏的位置。

相较于盲管伤,切线伤的弹头虽然可能没有造

成颅骨骨折,也没有存留体内,但由于弹头能量较大,仍可能造成脑组织损伤和颅内出血,也需行头颅CT检查。

盲管伤的弹片和子弹等穿透物射入颅内但未射出,颅骨受到冲击,可能呈粉碎性骨折,造成次生弹丸。由于瞬时空腔效应,永久空腔比弹道直径大很多。此外,弹丸可能发生变形、偏转,造成损伤范围在中间比入口大。但由于入口附近和骨质吸收了大量的动能,因此永久空腔较大,形成底部在入口的锥形损伤创道。部分盲管伤的弹头会从颅骨内板弹回,在颅内受到小脑幕、大脑镰等阻挡,可能终止的位置比设想得更为复杂。另外弹丸的位置可能随时间推移也会改变。

贯通伤常存在入口和出口,通常可以通过损伤颅骨的斜面来判断,入口的颅骨内板呈斜面,而出口的外板斜面更大,通常出口比入口大。同盲管伤一样,弹道可见混杂到一起的完整或变形的弹丸及颅骨碎片。此外,弹丸会发生弹跳,约1/4穿透伤患者的弹丸存在弹跳。弹丸最后停留的位置不一定在主伤道附近,但都可能从颅骨的内面转向,沿颅骨内板移动(行程中会出现硬膜外血肿)或反跳回脑实质内,弹头甚至可能在颅骨内板进行一次或多次反弹,造成两个或以上角度不同的弹道。此外,弹跳不局限于颅骨表面,也可能遇到大脑镰或小脑幕等结构发生弹跳。除了弹跳,弹片还可以发生移位,因此在CT图像中需记录弹片是否存在,大小和形状,还要记录所有弹头的准确位置。位于脑室系统或坏死液化及脓肿区的弹丸更容易发生移位。

非子弹非火器LVPBI没有空腔效应,因此损伤程度主要与损伤的部位、深度以及是否存在血管损伤相关。通常异物会留在伤处,首选头颅CT检查,CTA排除潜在的血管损伤,创面的血管可能发生血管痉挛,也可行CTP了解脑组织的缺血情况。此外,这种PBI除了从颅盖表面刺入颅内,还常从颅底的骨孔或颅颈交接区进入颅内。CT三维重建有助于了解异物的整体位置^[19-20]。

PBI骨折也有一定的特点,除了上述入口和出口的特征外,还有一些特殊的颅骨骨折类型。环状隆起骨折,具体表现为入口和出口辐射出多个弧线连接的环状线性骨折,通常是由于瞬间空腔力量和严重颅内压增高,造成颅骨的一部分被掀起,类似隆起,故称环状隆起骨折。切线伤还可造成锁孔样骨折,典型的锁孔骨折为射入点圆形缺损,射出点三角形缺损,如锁孔,称为锁孔状骨折,也称钩状骨



折,伤口外部表现为同时具有入口和出口的特征,锁孔骨折也同样可以产生巨大的剪切力,也可引起骨折碎片,产生次生弹丸,造成严重颅内损伤。此外,由于空腔效应在颅内转移巨大的能量,可能会导致相对薄弱的颅底,如眶顶发生骨折。

CT对弥漫性轴索损伤、邻近颅底和颅顶骨结构的局部病变、急性缺血性和缺氧疾病以及亚急性和慢性期脑出血的诊断敏感度较低。

推荐意见 16:CT扫描是PBI首选的影像学检查方法,急性期建议尽早行CT、CT三维重建检查,此后按病情需要及时复查头颅CT。(共识度:100%)(A级证据)

(三)CTA

PBI中血管损伤的发生率介于38%~50%之间。与PBI相关的血管损伤中,创伤性颅内动脉瘤是最常见的(39%),其次是动脉夹层(29%)、动脉闭塞(21%)和动静脉瘘(11%)。约96%的损伤局限于前循环。CTA检测动脉损伤的灵敏度有限(72.7%)^[22],但检测创伤性颅内动脉瘤是准确的(灵敏度、特异度、阳性预测值和阴性预测值均为100%)^[15, 20]。

PBI后CTA检查时机:(1)伤道靠近或穿过大脑侧裂、床突上段、海绵窦或矢状窦、横窦等静脉窦区域,需要CTA检查;(2)出现脑实质或原因不明的蛛网膜下腔出血或迟发性颅内出血,需要复查脑血管造影,排除假性动脉瘤的发展和破裂;(3)多发伤涉及颈部,虽然颈动脉未直接损伤,但如果存在动脉周围积气,周边脂肪减少或弹丸距离血管<5 mm,需要常规CTA检查;(4)检查的时机,怀疑血管损伤时,一般要求病情稳定后尽早进行,通常伤后数天到1周内最好,通常在1个月内再次复查,以了解迟发创伤性假性动脉瘤。

有研究报道,CT静脉造影(CTV)是评估脑静脉结构的可靠方法,且比MR静脉成像更不易受患者运动的影响,可用于PBI术前检查^[23]。

推荐意见 17:PBI患者有血管损伤风险时,需及早行CTA检查,必要时行CTV检查,通常在1个月内再次复查。(共识度:93.48%)(B级证据)

(四)MRI

由于MRI检查时间过长,且存在许多限制和禁忌证,MRI在PBI急性期患者中应用并不广泛。更为重要的是,PBI患者体内残留的金属异物可能对患者自身造成二次伤害。然而,MRI在诊断颅底结构损伤、弥漫性脑损伤和微出血、脑脓肿和非出血

性病变时,灵敏度高于CT。MRI在检测急性缺氧和缺血性脑损伤、亚急性和慢性出血以及鉴别各种类型脑肿胀方面也更为灵敏。如PBI患者无金属异物、生命体征平稳、无癫痫发作等禁忌时,可考虑行MRI检查^[19-20]。

推荐意见 18:不推荐MRI用于PBI急救检查;排除颅内磁性金属异物等禁忌,且病情允许,可考虑行MRI检查。(共识度:97.83%)(C级证据)

(五)数字减影血管造影(DSA)

与平时颅脑损伤相比,PBI的神经血管损伤更多,由于残留弹片及骨折片的伪影遮挡,血管损伤可能发生在小血管,因此DSA在检测整体动脉损伤方面仍优于CTA,CTA在PBI中检测动脉损伤的总体敏感性有限。对于以下血管损伤风险高的PBI患者,建议进行DSA检查,包括:(1)损伤经翼点/眶额区;(2)初诊时发现已知脑血管损伤伴或不伴假性动脉瘤;(3)爆炸伤伴GCS评分<8分;(4)经颅多普勒(TCD)发现有血管痉挛证据;(5)自发的、无法解释的脑氧分压下降;(6)迟发性蛛网膜下腔出血,或脑实质出血,或有动静脉瘘的临床体征。但在紧急情况下,DSA在PBI患者中的临床应用仍不明确^[15]。

推荐意见 19:对有血管损伤风险的PBI患者,尤其是CTA未发现血管损伤的高危患者,推荐行DSA检查。(共识度:93.48%)(C级证据)

五、院前及急诊处置

因为PBI患者伤情危重,现场死亡的比例高达71%,入院前死亡的比例为66%~90%。随着现代医学水平的提高,患者受伤后的早期复苏得到重视和加强,包括患者气道管理、血氧饱和度监测、通气、循环的维持,必要时评估患者是否存在凝血障碍,防止出现影响后期神经外科专科救治的不利因素,这些方面也越来越被重视。

60%的严重头部损伤伴有其他部位创伤。可根据MARCH/PAWS(大出血、气道、呼吸、循环、头部损伤、体温过低、止痛、抗生素、伤口、固定)流程进行初步评估。如果时间和现场环境允许,应进行详细检查和二次评估。最常见的是按照从头至脚的顺序,以确保检查无遗漏。包括头部、颈部、胸部、腹部、骨盆、腹股沟、会阴、下肢、上肢、后胸、腰部和臀部。如果发现任何轻伤,需进行适当处理并记录。

(一)检查头部伤口和包扎

包扎所有伤口,防止感染性物质进一步进入创



面或伤道。考虑到环境和条件,尽可能保持伤口和患者的卫生。对于穿透性头部伤口,使用表面敷料并尽可能密封敷料。应注意伤口位置大小、有无颅骨碎片、有无脑碎屑溢出、局部出血情况或有无脑脊液流出。不要加压包扎或冲洗头部的开放性伤口。如果出血,缝合或钉合皮肤或头皮夹临时止血。如果需要控制出血,可以放置压力敷料。不要将任何人工材料放入伤口内。不要试图冲洗伤口^[18, 24]。

推荐意见 20:对于穿透性头部伤口,使用表面敷料并尽可能密封敷料,不要加压包扎或冲洗头部的开放性伤口,如果出血,缝合或钉合皮肤或头皮夹临时止血。(共识度:89.13%)(C级证据)

(二)控制出血

控制所有外出血,利用现有条件尽可能治疗内出血。凝血功能障碍在PBI后很常见,并且与出血性挫伤扩大和病死率增加有关。平时PBI中凝血功能障碍的发生率为44%~52%,是预后不良的独立预测因素。虽然纠正凝血功能障碍是否能改善预后尚无明确结论,但由于凝血病对预后的影响,应尽快于伤后3 h内缓慢静脉注射氨甲环酸,减少内出血和颅内血肿扩大。避免使用可能会降低血压的药物。建立静脉通路,通过外科和液体复苏控制血压,颅脑损伤患者的传统血压控制目标是SBP>90 mmHg。最新的文献表明,当TBI患者的SBP维持在110 mmHg以上时,可能会出现更好的预后。在液体选择上,如果需要胶体,首选血液制品,次选白蛋白或羟乙基淀粉。对于不需要大量输血或其他血液制品的患者,生理盐水是首选的晶体溶液,避免使用低渗液体(包括乳酸林格氏液),否则会加剧脑肿胀^[17-18, 25]。

推荐意见 21:急诊需要终止所有外出血,避免使用可能会降低血压的药物,建立输液通道,维持SBP在110 mmHg以上。(共识度:100%)(B级证据)

(三)气道管理

低氧血症也会增加颅脑损伤病死率和致残率。因此PBI急救时要保持气道通畅,避免缺氧、低碳酸血症或高碳酸血症,以降低继发性脑损伤的风险。早期气道管理包括开放气道、清除异物、处理舌后坠,如果枪弹伤涉及胸部,还需要积极处理张力性气胸等。如果GCS评分≤8分或面部创伤造成气道受损,最好要有切开的气道。医务人员应根据培训技能和实践经验,留置最可靠的开放气道类型(气管插管、气管切开和环甲膜穿刺)。人工气道建

立后,持续镇静并维持气道通畅,补充氧气,目标:SpO₂>95%和EtCO₂:35~40 mmHg。如果检验能力允许,插管后30 min内,检测动脉血气,测EtCO₂。应常规使用5 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa)的呼气末正压(PEEP)^[18]。如果需要改善SpO₂,PEEP可以安全地增加到15 cmH₂O,但要警惕胸内压升高(血压降低或颅内压升高)引起的问题。气道建立过程中可能导致短暂缺氧。应尽一切努力在第一次尝试插管前预给氧,选择最有经验的操作者及其最熟悉的技术,以优化气道建立的过程。另外,对昏迷患者进行胃减压可以降低昏迷患者的误吸风险^[26]。

推荐意见 22:PBI后需早期气道开放,如果GCS评分≤8分或面部创伤造成气道受损,最好确保人工气道通畅。人工气道建立后,监测并维持SpO₂>95%和EtCO₂:35~40 mmHg。(共识度:100%)(C级证据)

(四)镇痛和镇静

PBI后即使无意识的患者也可能会出现疼痛和焦虑,表现为高血压和(或)躁动。焦虑和激动会增加颅内压。通过Richmond激动和镇静评分确保足够的镇静和镇痛(-1至-2分),可选择的药物包括:氯胺酮、氢吗啡酮和芬太尼类药物,除止痛药外,还应考虑服用快速起效的短效抗焦虑药,如咪达唑仑,用于躁动或焦虑患者^[18, 27]。

推荐意见 23:PBI后即使是无意识的患者也可能出现疼痛和焦虑,可根据评分进行镇静及镇痛。(共识度:100%)(B级证据)

(五)癫痫预防与处理

颅脑创伤是获得性癫痫的重要病因之一,其中,重度闭合性颅脑创伤后癫痫(post traumatic epilepsy, PTE)发病率为17%~27%,而PBI患者PTE发病率可超过50%。两伊战争中PBI幸存者随访15年后,近50%患者出现癫痫。PTE危险因素包括:脑损伤程度、损伤邻近中央前回、感染、血肿等并发症、金属碎片脑内残留等。这些PTE中,57%首次癫痫发作是在伤后第1年内;癫痫发作潜伏期在5~10年的占18%;伤后10~15年首次癫痫发作占7%。颅脑创伤后预防性抗癫痫药物治疗有争议,一项随机双盲前瞻性临床研究发现,苯妥英钠与安慰剂相比,可显著降低颅脑创伤后早期癫痫样发作。因此,伤后7 d内应预防使用抗癫痫药物,以避免引起癫痫发作相关的血流动力学变化和脑代谢活动增加,可选择的药物包括左乙拉西坦、卡马西平或丙戊酸钠。有研究观察到平时PBI患者中有



9% 出现迟发癫痫发作, PBI 患者在 2 年内因癫痫发作再次住院的概率是非穿透性 TBI 患者的 3 倍, 但使用抗癫痫药物预防迟发癫痫尚无确切证据^[28]。

对于确定的惊厥性癫痫发作, 将患者侧卧, 并清除周围任何潜在有害的物体。如果可能, 吸除口腔内容物, 但不要试图将任何物体放入癫痫患者的口腔内。任何确定或疑似癫痫发作, 均可使用速效苯二氮䓬类药物, 咪达唑仑是首选药物, 因为它是一种短效药物, 咪达唑仑控制癫痫发作的效率很高, 可以迅速终止癫痫发作。控制癫痫发作后应放置人工气道。并非所有的癫痫发作都很容易被发现。有时, 全身性抽搐可能很明显, 也可能不明显(例如面部肌肉、手指持续抽搐)。惊厥性癫痫发作停止后, 非惊厥性癫痫持续状态(NCS)可能继续存在, 并有较高的发病率和病死率。NCS 最常见的症状是昏迷、谵妄、躁动、失语[出现语言障碍影响说话、阅读和(或)写作]和(或)失神。

推荐意见 24: PBI 伤后 7 d 内应预防性使用抗癫痫药物, 可选择的药物包括左乙拉西坦、卡马西平、丙戊酸钠、苯妥英钠等。发作期可使用速效苯二氮䓬类药物, 咪达唑仑是首选药物。(共识度: 91.30%)(B 级证据)

(六) 抗生素使用

虽然在救治 PBI 时, 普遍采用预防性抗生素策略, 但迄今为止, 尚无可靠的数据支持在 PBI 中预防性使用抗生素的使用类型或持续时间^[29]。鉴于 PBI 患者颅内感染的高发生率, 颅内感染后伴有高病死率和致残率, 联合创伤系统临床实践指南(JTS-CPG)建议 PBI 后应使用抗生素, 优先选用中枢神经系统(CNS)渗透性强的抗生素, 可使用头孢曲松。对于受有机碎片(如污垢、碎片、衣物)严重污染的伤口, 还需要加用甲硝唑^[18]。

(七) 早期颈椎固定

虽然 TBI 中脑和脊髓同时损伤的发生率在 25% 至 60% 之间, 但一项回顾性观察性研究调查了平时 PBI 患者颈椎损伤的发生率, 颈椎损伤的发生率为 3/613(0.49%), 存在脊柱损伤的患者, 均发生于子弹弹道经过脊柱而造成的直接损伤, 因此颈椎无弹道经过的 PBI 患者伴发颈椎损伤的发生率很低, 如果确定没有颈部枪伤或可见的脊柱损伤, 不需要常规作颈椎固定。此外, 应确保颈围不会压迫颈部的颈静脉, 因为这可能会加重颅内压^[30-32]。

推荐意见 25: PBI 患者伴发颈椎损伤发生率

常规颈椎固定。(共识度: 91.30%)(B 级证据)

(八) 创伤后凝血病

颅脑创伤后凝血功能障碍发生率高, 凝血功能障碍伴血小板数量减少、凝血酶产生不受调节、止血级联功能障碍和纤维蛋白溶解紊乱等病理生理改变在 PBI 后更常见, 并且与脑挫裂伤出血扩大和死亡率增加相关。欧洲神经创伤合作研究(the Collaborative European Neuro-Trauma Effectiveness Research in Traumatic Brain Injury, CENTER-TBI)对 598 例孤立性 TBI 患者进行研究, 发现约 20% 患者出现凝血异常^[33]。一项单中心回顾性研究显示, 枪击所致的 TBI 患者, 伤后国际标准化比值(international normalized ratio, INR)逐渐增加与预后不良有关^[34]。而另一项关于非战场环境下急性 PBI 后生存评分(surviving penetrating injury to the brain, SPIN)多中心验证的研究表明, 完整的 SPIN 评分可以很好地预测患者 PBI 后生存率, 而入院 INR 可以显著增加 SPIN 评分的区分度^[35]。

但是临床上 TBI 后凝血功能障碍的诊断标准尚无统一共识, 目前暂无 PBI 凝血功能障碍的诊断标准, 多个研究也是借鉴单一凝血功能的异常来诊断。大多数研究将凝血酶原时间(PT)、INR、活化部分凝血活酶时间(APTT)和血小板计数至少有 1 个指标出现异常时即可诊断为凝血功能障碍, 通常 INR>1.2, APTT>40 s, PLT<100×10⁹/L 或纤维蛋白原<150 g/L, 其中满足一项即可诊断为凝血功能障碍^[36]。

推荐意见 26: PBI 后创伤后凝血病发生率高, 应监测凝血功能, 通常 INR>1.2, APTT>40 s, PLT<100×10⁹/L 或纤维蛋白原<150 g/L, 其中满足一项即可诊断为凝血功能障碍。(共识度: 100%)(C 级证据)

针对创伤引起的凝血功能障碍, 及时止血、纠正凝血功能障碍对 TBI 患者的生存预后具有重要意义。其中, 多个创伤后出血管理指南都强调了早期初步复苏和预防进一步出血的重要性。严重的凝血功能障碍可能导致弥散性血管内凝血, 从而增加病死率。弥散性血管内凝血可能发生在 TBI 后的 6 h 内, 其特征是凝血系统、纤溶系统的相继激活, 导致纤维沉积、广泛微血栓形成以及潜在创伤后脑梗死的发生^[37], 同时增加了凝血因子和血小板的消耗, 导致血小板枯竭^[38]。早期纠正 TBI 凝血障碍与预后明确相关, 建议在入院时立即监测并纠正凝血障碍。目前, 国内外尚无专门针对 TBI 后凝血



功能障碍的救治指南,最常用的方法是补充血液成分,包括悬浮红细胞、新鲜冰冻血浆血小板浓缩物等。标准的成分输血治疗方案是以 1:1:1 的比例输注浓缩红细胞、新鲜冷冻血浆以及浓缩血小板。然而,血液制品的最佳实践仍在不断发展,参考系统性创伤出血的指南,目前针对创伤性大出血的管理策略是使用常规凝血试验或黏弹性止血试验的目标导向策略为指导,而非经验性给药。关于氨甲环酸在 PBI 中的作用尚未得到证实,在 TBI 的研究中,CRASH-2 试验氨甲环酸总体获益仅限于受伤 3 h 内给药的患者,3 h 后给药则可能因脑出血导致患者病死率增加^[39]。CRASH-3 试验显示氨甲环酸至少对特定 TBI 亚组有改善,轻至中型 TBI 患者在受伤后 3 h 内给予氨甲环酸可显著降低脑损伤相关死亡风险,但重型 TBI 患者则无效^[25]。

推荐意见 27: PBI 凝血功能障碍的治疗原则是以全凝血试验结合传统凝血指标为目标导向的凝血管理及成分输血策略。对于 PBI 伴出血患者,受伤后 3 h 内可给予氨甲环酸。(共识度:97.83%)(A 级证据)

六、高级监护方法

由于 PBI 的病死率高、并发症多、对生命体征影响较大,因此,推荐 PBI 患者早期均应接受神经重症监护治疗,合并其他损伤的患者应在综合神经重症监护病房接受治疗。在神经重症监护病房内,包括生命体征、GCS 评分、瞳孔变化等常规监护内容均应进行密切的观察和记录,以实时反映患者的病情变化^[14]。

推荐意见 28: 所有 PBI 患者在伤后早期均应在重症监护病房进行密切观察和监护治疗。(共识度:100%)(A 级证据)

颅内压监护和颅内压目标值指导下的重症管理是目前中、重型颅脑损伤患者救治的基石,颅内压监护及依据颅内压的个体化治疗能够减少重型 TBI 患者入院后的早期病死率,因此推荐所有重型颅脑损伤患者早期接受颅内压监护治疗。但是,之前许多研究中都将 PBI 患者排除在外,因此颅内压监护在 PBI 患者中尚缺乏强有力的证据支撑。最近有一项多中心的回顾性研究,分析了颅内压监护在 PBI 患者中的重要性,结果显示,颅内压监护能够将重型 PBI 患者的总体病死率从 40.8% 降低至 30.9%^[40-41]。因此,包括颅内压监护在内的更积极的监护治疗能够降低 PBI 患者的死亡率,然而这一结果仍需要进一步的前瞻性队列研究加以验证。

推荐意见 29: 重型 PBI 患者应进行有创颅内压监护,并依据颅内压进行目标值引导的个体化治疗。(共识度:97.83%)(B 级证据)

目前的观点认为,基于颅内压监护的目标值治疗主要是将脑灌注压(CPP)保持在 60~70 mmHg 以上,然而也有部分学者认为基于颅内压和平均动脉压持续监测计算出脉搏反应指数(PR_x, PR_x=颅内压/平均动脉压),进而能够计算出患者的最佳 CPP(CPP_{opt}, 即 optimal CPP, PR_x 最小值时的 CPP),从而能够更精确地指导 TBI 患者的个体化治疗^[42],避免由于患者个体化的血管情况导致低灌注或高灌注情况的发生,改善患者的临床预后^[43]。当然,PR_x 在 PBI 患者中的应用效果目前尚罕见研究,但是由于 PBI 患者多合并颅内血管损伤,其血管自动调节能力可能受损,因此 PR_x 在 PBI 中可能会有更高的应用价值。

推荐意见 30: PBI 患者可进行连续颅内压及平均动脉压监测,通过实时计算得出 PR_x 并以 CPP_{opt} 为治疗目标。(共识度:97.83%)(C 级证据)

在 PBI 患者的超早期救治阶段(院前阶段),目前尚无有效的颅内压评估手段。经超声视神经鞘直径(ONSD)测量是一种快速、安全且易于执行的床旁检查,所需设备简便,当没有更精确的监测设备时,可能有助于识别颅内压升高。正常的 ONSD 与年龄、性别、人种、体质指数(BMI)均相关,我国健康成年人的 ONSD 为 2.65~5.40 mm。由于 ONSD 正常值的个体化差异,目前用于诊断颅内压增高的 ONSD 临界值尚有争议,部分学者认为 5.0 mm 准确度和灵敏度较高,而部分学者认为 6.0 mm 是更合理的临界值(基于 CT 成像测量),但是针对同 1 例患者的持续 ONSD 测量中发现有进行性增加,则提示该患者可能存在颅内压的进行性增高,这一点可作为临床治疗的依据^[44]。但是, PBI 患者有其特殊之处,如合并前颅底损伤,局部静脉回流障碍、球后组织甚至眼球或视神经损伤可能影响 ONSD 的测量和诊断准确性,因此 PBI 患者中 ONSD 的临床应用价值仍需进一步的临床试验加以验证。

经 TCD 对大脑中动脉血流动力学的评估,被认为是评估颅内压增高的另一种无创手段,但是后续的研究认为单纯的基于 TCD 的血流动力学参数受到血管慢性疾病等其他因素的影响较大,其与颅内压之间的相关性有待商榷,因此专家们提出了一种基于 TCD 技术测量大脑中动脉直径和流速并结合实时平均动脉压计算出 CPP,进而计算出目前的颅



内压水平(ICP_{tcd})^[45],此种方式所得出的ICP_{tcd}具有较高的阴性预测值,并且与有创颅内压监护呈线性相关,因此在无条件进行有创颅内压监护时可采取上述手段进行颅内压及CPP的监测^[46]。此外,最新的研究发现基于TCD的颅内血管参数测量能够模拟PR_x的变化,但是其准确性及临床应用仍需要进一步的研究^[47]。

推荐意见 31:在缺少条件进行有创颅内压监测时,可通过ONSD测量或TCD测量间接反映颅内压变化。(共识度:95.65%)(B级证据)

除此之外,还有一些无创反映颅内损伤程度的神经生理学指标,包括瞳孔光反射综合指数(neurological pupil index, NPi)、眼底自发性静脉搏动等。NPi是通过特殊仪器对患者瞳孔对光反射进行录像采集及分析,获取瞳孔及其对光反射的多种参数(包括直径、速率、收缩比等)通过算法得到的标准化数值[0~(5±0.1)],从而反映实时神经功能。瞳孔收缩速度的变化与颅内高压(颅内压>20 mmHg)、意识障碍等密切相关,因此床旁的瞳孔参数测量具有快速、准确等优势,能够及时发现患者病情的变化并指导医师进行积极地救治^[48]。然而由于PBI患者常常合并颅底及颅神经损伤,第Ⅱ~Ⅳ及Ⅵ对颅神经的损伤可能影响NPi数值对PBI患者病情反应的影响,因此其在PBI中的诊断价值还需要进一步验证。眼底自发性静脉搏动(SVPs)是通过眼底镜在床旁直接观察的临床指标,有研究发现,颅内压正常的受试者仅有1%不存在SVPs(基于红外线的影像监测),因此相关研究者认为SVPs在排除颅内压增高方面具有较大的临床意义,并且具有较高的阳性预测值,但是仍有部分高颅内压患者可以观察到SVPs,因此SVPs存在作为反映颅内压增高的指标,其灵敏度及特异度仍需进一步临床验证。

其他还有一些有创的监测手段在近年来TBI患者的研究中被认为具有应用价值。有创脑组织氧分压监测(brain tissue oxygen tension, PbtO₂)联合颅内压监测及其指导下的治疗也被证实可以降低患者病死率并且使患者获得更好的预后,但仍需更高级别的临床证据支撑^[49]。脑组织微透析(cerebral microdialysis, CMD)是通过有创萃取脑组织细胞外液并进行脑代谢分析(包括脑组织的糖、乳酸、丙酮酸等代谢物)从而反映脑组织的代谢情况,其代谢产物水平与患者临床预后相关,但针对性治疗对于患者临床结局的改善仍需进一步研究

验证^[50-51]。

推荐意见 32:NPi可以实时反映患者的病情变化,尤其是瞳孔变化速率与颅内压水平呈负相关,但需根据患者视神经、动眼神经完好的前提下评估后方可应用。(共识度:100%)(B级证据)

推荐意见 33:有条件的情况下可进行PbtO₂和CMD监测。(共识度:97.83%)(C级证据)

七、PBI的外科手术治疗

(一)火器性PBI急性期的手术治疗

颅脑火器性PBI是同时伤及头皮、颅骨、硬膜和脑实质的污染、开放性创伤。失活的脑组织、残留的骨碎片是局部细菌生长的介质,破损的硬膜、头皮、脑脊液漏与继发颅内感染关系密切。颅脑枪击伤患者有弥漫性脑损伤、颅内压增高,适合颅内压监测或去骨瓣减压手术。

1. 清醒状态,病情简单、创口小的颅脑火器性PBI:送达急救医院的火器伤患者,有些意识状态清醒,仅有<2.0 cm的头皮创口,尽管有碎片突破硬脑膜进入脑内,但没有明显的占位效应(中线结构移位<5 mm,无基底池受压征象,无创伤性颅内动脉瘤风险),这类患者可以仅做局部创口缝合的简单手术处理。Alvis-Miranda等^[52]报告30例上述患者随访3.5年,发现仅有1例脑深部感染并发脓肿。此类情形在平民火器性PBI患者中并不常见,因为多数是自杀或近距离他杀。如确实有子弹存留,则需仔细复查复诊,同时需短期使用抗生素3~5 d。

推荐意见 34:头皮无大面积失活、无明显颅内占位表现的脑内局部小弹道伤,推荐创口区域简单清创缝合的外科手术治疗。(共识度:93.48%)(C级证据)

2. 创口较大,头皮、颅骨、硬膜及脑组织损伤广泛的火器性PBI:创口内致伤物在无手术条件下,应临时保留固定,在凝血紊乱纠正后具备手术条件时,尽快行清创术,建议采用具有最小清创范围的颅骨大骨瓣减压术和严密的脑膜减张修补成形手术,必要时再进行彻底的清创术。操作时,需要仔细彻底清创,控制活动性出血、清除血肿、失活或坏死组织,清除可及的骨碎片、异物,严密(水密封)缝合硬脑膜、头皮,可用自体的骨膜、腱膜或筋膜修补缺损的硬脑膜,转移皮瓣闭合头皮创口。将“开放性”损伤变为“闭合性”^[3]。

尽管之前已广泛实行了大范围清创术,但研究表明,现代神经影像学可以识别症状性骨/子弹碎片,小范围清创与大范围清创效果一致,特别是在



民用枪击伤处理中,推荐去除可以清除的骨折片,使用标准抗生素方案直到清创术完成。不建议常规探查并摘除脑内的单个异物(例如子弹、金属碎片、骨骼),是否探查应由神经外科医师自行决定。去除运动感觉或语言区皮质的异物碎片,可能会降低 PTE 的风险^[52]。

PBI 清创术的时间亦遵守上述原则,即坚持早期清创,在使用抗生素情况下,PBI 清创术时间可延长到伤后 48 h 或 72 h。

经额窦、筛窦或乳突穿透伤的手术目的是预防感染及防止脑脊液漏。清创手术中需注意探查并修补硬脑膜破损,防止脑脊液漏继而导致颅内感染。

推荐意见 35:有大面积头皮失活、颅骨甚至硬脑膜破损的重型颅脑损伤,建议采用具有最小清创范围的颅骨大骨瓣减压术和严密的脑膜减张修补手术,必要时再进行彻底的清创术,推荐去除可以清除的骨折片,不建议常规寻找并摘除脑深部内的单个异物。破损开放的硬脑膜需一期“水密”缝合,可使用自身骨膜、腱膜或筋膜修补缺损。严重凝血障碍纠正后建议尽早清创,在使用抗生素情况下,PBI 清创术时间可延长到伤后 48 h 或 72 h。经过鼻窦的 PBI,清创手术中需注意探查并修补破损硬脑膜,防止脑脊液漏继而导致颅内感染。(共识度:93.48%)(C 级证据)

3.有明显占位效应的 PBI:颅内有明显占位效应的患者,即 CT 上中线结构移位 >5 mm,或大范围脑坏死/脑内血肿伴基底池受压征象,需要彻底清创、清除血肿或坏死组织,甚至需要去骨瓣减压以挽救患者生命。颅内压监测十分必要,可选择脑室内探头植入,同时脑室置管外引流。

颅内占位效应的血肿和挫裂伤的治疗原则遵循常规颅脑损伤的规范。(1)硬膜外血肿:无论患者的 GCS 评分多少,所有 >30 ml 的硬膜外血肿都应手术清除。硬膜外血肿体积 <30 ml,厚度 <15 mm,中线偏移 <5 mm,GCS 评分 >8 分,无局灶性缺陷,可在 ICU 病房适当监测下,行非手术治疗。(2)硬膜下血肿:厚度 >10 mm 或中线移位 >5 mm 的急性硬膜下血肿,无论患者的 GCS 评分情况,均应行开颅手术清除血肿。血肿厚度 <10 mm 且中线移位 <5 mm 的急性硬膜下血肿,如果 GCS 评分下降 2 分或更多,瞳孔检查恶化和(或)颅内压 >20 mmHg,可行开颅手术清除血肿。(3)脑挫裂伤:GCS 评分为 6~8 分,额叶或颞叶挫伤体积 >20 ml,或 CT 上中线移

位至少 5 mm 和(或)脑池受压的患者,应行开颅清除血肿和(或)失活脑组织^[53]。(4)后颅窝病变:对 CT 平扫有占位效应或与病变有关的神经功能障碍或恶化的情况,应尽快进行手术干预^[52]。

推荐意见 36:有明显占位效应的患者,硬膜外血肿、硬膜下血肿,脑挫裂伤和脑内血肿的手术,应遵循颅脑损伤的常规规范。(共识度:100%)(C 级证据)

4.去骨瓣减压手术:战场中的 PBI 患者,强烈建议早期行手术减压或去骨瓣减压术。战场创伤的损伤动力学与平民环境大大不同。军用步枪的速度远高于民用手枪,损伤后会造成长空腔和周围组织失活。此外,爆炸可以对颅脑和其他系统器官造成不同类型的损伤,需要在战场内外对患者进行航空医疗后送。在运输过程中,颅内高压的治疗手段有限,可考虑运输前行减压手术和安装途中监测装置(颅内压监护仪)。颅骨去骨瓣术有助于重症监护空运团队早期将患者运送出战区。

手术探查中如发现颅内高压或恶性脑肿胀,去骨瓣减压是挽救患者生命的重要措施。JTS-CPG 建议在战场环境下,针对火器性高速 PBI,首选半侧颅骨切除的超大骨瓣减压术,以保护严重脑水肿患者航空转运至可实施确定性手术的医疗中心。去骨瓣减压也可用于平民 PBI,适用于一般治疗无效、广泛半球性脑水肿的患者,对控制颅压或解除脑干受压非常有益^[54]。

PBI 或重型闭合性颅脑损伤后脑水肿患者,初次手术时应认真进行自体硬脑膜缝合或硬脑膜扩大成形术,硬脑膜可以用自体的颞肌筋膜或阔筋膜重建。

颅骨保存:PBI 的患者不要保存或运输颅骨,这些患者的颅骨缺损术后可用人工材料进行修补。

推荐意见 37:高速性 PBI,脑内损害严重,推荐早期做去大骨瓣减压手术,不建议保存去除的颅骨。(共识度:95.65%)(C 级证据)

5.颅内血管损伤的手术:鉴于目前还没有关于 PBI 血管并发症的管理指南,关于手术或者血管内治疗动脉瘤或者动静脉瘘的建议,均是基于多年以前的经验。但在紧急情况下,通常会推迟上述血管损伤的治疗,以等待患者病情稳定及颅内高压得到暂时控制。因此,治疗的时机和治疗的选择必须高度个体化,以平衡干预措施的潜在风险和益处。例如,对 PBI 合并静脉窦血栓的患者进行抗凝治疗可能导致颅内出血。同样的问题也适用于关于是否



开始使用抗凝或抗血小板药物治疗动脉夹层的患者。

因此,动脉和静脉窦损伤的治疗必须是基于多学科、多方法的,治疗团队需包括神经重症外科医师、神经外科医师和神经介入医师。治疗措施包括观察、抗血栓药物治疗、开放手术和血管内治疗。弹道/伤道或异物穿过颅底或颅中线,可能伤及静脉窦、动脉血管,或脑内血肿形成,需尽快行 CTA/DSA 检查明确伤情,必要时行开颅手术清创,取出致伤异物时,需妥善处置损伤血管。手术的目的是止血和恢复静脉窦血流通畅,处理的方法主要是悬吊,修补静脉窦,避免单纯的缝扎。CT 证实的 PBI 合并蛛网膜下腔出血,多需行头颅 CTA 检查确认是否存在动脉性血管损伤,部分患者因损伤较轻,仅需要完善脑血管成像明确伤情。对 CTA 及 DSA 检查发现的外伤性动脉瘤或动脉夹层,应依据动脉瘤或动脉夹层治疗原则进行处理。血管内介入是主流的处置方法,配备 DSA、CT/MR 的杂交手术室更适合处理复杂的伤及颅内大血管的 PBI 手术。实际上,大多数血管损伤因为难治性颅内高压、血流动力学不稳定等因素,不适合介入治疗,或者存在抗栓治疗的禁忌,最终采取了保守治疗的方式^[15]。

推荐意见 38: PBI 后动脉和静脉窦损伤的治疗必须是基于多个亚学科,治疗团队包括神经重症医师、神经外科医师和神经介入医师。外伤性动脉瘤或动脉夹层,应依据相应治疗原则处理。血管内介入治疗是主流的手术方式。静脉窦损伤处理的原则是止血和恢复静脉窦的通畅,避免单纯缝扎静脉窦。(共识度:100%)(C 级证据)

(二) 颅脑刀砍、刺伤急性期的手术处理

刀、箭、钉、矛及其他尖锐物体所致的 PBI 不常见,因为美国 PBI 更多为枪击伤,而我国情况相反,时有因意外或因工程事故致 PBI 的案例报告。这些损伤可造成混合性凹陷骨折并伴有神经功能缺失。

颅脑刺伤的外科处理原则与枪弹伤枪击伤一样。因为是 LVPBI,脑内组织损伤多局限于伤道,重要的是尽快明确是否伤及颅内血管。需要遵从的重要原则是:在没有外科手术控制致伤异物邻近的血管前,不要移动致伤异物。一端刺入颅脑内的直条形异物,一般按入颅的原通道退出,尖端有倒刺的除外^[55-56]。多数儿童的颅脑刺伤是由尖锐物体刺穿眼眶所致,这些损伤起初表现轻微,如果异

物已拔出,伤情更容易被忽视,患儿可能表现为迟发性感染,包括前额叶脓肿。穿透伤道涉及眼、耳鼻喉或颌面损伤的患者,需要多学科协作联合手术处置。

推荐意见 39: LVPBI,术前常规 CTA/DSA 检查排除颅内血管情况,在外科手术未控制损伤异物邻近的血管前,不要移动致伤物。滞留异物(除非有“倒刺”)一般按异物进入通道原路退出。(共识度:97.83%)(C 级证据)

(三) PBI 后期并发症的手术处理

1. 颅内残留弹片的手术:近期的证据显示,良好的初次清创手术后,深部颅内感染的风险明显下降,这种情形下无必要再次手术取出弹片。但当弹片引起局部感染、脓肿形成时,需手术取出,通常在抗生素使用 3 周后,脓肿壁形成后再手术。此外,在遇到以下几种情况时,也需要手术取出弹片:(1)表浅的大弹片;(2)有毒性的重金属;(3)脑室内或蛛网膜下腔脑池的大弹片;(4)大血管周围的弹片或大的异物;(5)移动的弹片或引起间断性脑积水的弹片。在取出弹片时可以采用立体定向、内镜等微创技术,减少手术对脑的再损伤。

推荐意见 40: 相对固定(非移动性)、远离创口的骨碎片或弹片,不推荐常规手术去除。表浅的大弹片、含有毒重金属的弹头或弹片(铅、铜等),位于脑室、脑池或血管周围的弹片或颅内移动异物或引起间断性脑积水的弹片,推荐手术取出。可以采用立体定向、神经内镜等微创技术,减轻手术对脑的损害。PBI 因颅内异物存留造成颅内感染、脑脓肿形成,经足量足疗程抗生素治疗后,推荐手术切除脓肿并取出异物。(共识度:97.83%)(C 级证据)

2. 脑脊液漏手术:PBI 患者的脑脊液漏发病率为 4.87%~10.2%^[57-58]。脑脊液漏在经脑室损伤和颅底损伤中更为常见。尽管脑脊液漏的发病与预后之间没有直接关系,但其与颅内感染尤其是脑膜炎的发展存在显著相关。脑脊液漏患者的颅内感染率约为无脑脊液漏患者的 15 倍。在战伤所致颅脑损伤中,约 50% 的脑脊液漏患者发生颅内感染,感染的致死率约为 1.1%。

伤后急性或迟发性脑脊液漏,是继发颅内感染最主要的危险因素。“越战头部创伤研究(VHIS)”报告^[59],1 133 例患者中有脑脊液漏的 101 例;只有 50% 的漏口位于伤侧,其他的可能为投射物冲击所造成骨折和硬脑膜撕裂;44% 病例的漏口可以自愈;72% 病例的脑脊液漏发生在伤后 2 周之内;有



脑脊液漏的患者病死率为 22.8%,没有脑脊液漏的病死率是 5.1%。该研究中,有脑脊液漏的 101 例患者中颅内感染 49.5%,而另 1 032 例无脑脊液漏的患者感染率为 4.6%。因此,一旦发现脑脊液漏的情况,均需积极治疗。强调在清创手术中需“水密封”式地严密缝合硬膜创口(必要时可以用移植物修补)和分层缝合头皮。弹道穿通脑室,发生脑脊液漏的风险高,这类患者应行脑室外引流。需要警惕漏口与创口不相关联的脑脊液漏,比如鼻漏或耳漏,这些漏口一样需要处理、封闭。

清创时关闭脑脊液漏口的硬膜修补材料,自体材料是最佳选择,尤其是阔筋膜。部分漏口位于前颅窝底的患者,可以选择经鼻内镜下封堵手术。如何选择漏口封闭手术方式和硬脑膜修补材料,由手术医师决定。对于 PBI 后迟发脑脊液漏,可先通过脑室或腰大池进行引流治疗。若为难治性病例,建议早期手术闭合,以防止脑脊液瘘形成和 CNS 感染。水密缝合硬脑膜、彻底清创、清除所有异物(尤其是骨碎片),以及强化治疗措施,可显著降低并发症发生率,并对预后产生有利影响^[52, 60]。

推荐意见 41: 颅盖部和颅底部位脑脊液漏,开颅手术直接修补硬脑膜,推荐自体材料如骨膜或筋膜修补。前颅底脑脊液鼻漏,可考虑神经内镜下经鼻手术修补。(共识度:97.83%)(C 级证据)

3. 颅骨修补手术:清创、减压术后颅骨缺损的修补,不仅仅是美容的需求,颅骨缺损后脑皮质进一步损伤的风险增加,而且常需佩戴笨重的防护头盔。临床证据表明,脑皮质功能障碍常伴有环钻综合征,而颅骨成形术往往能改善这种脑功能障碍。虽然颅骨成形术的时机很重要,但既往文献对颅骨成形术的最佳时机的研究结果却是矛盾的。VHIS 报告了^[61]491 例颅骨成形手术研究结果,发现并发症率和病死率分别为 5.5% 和 0.2%。该研究中手术严格遵循“延迟颅骨成形手术”的方案,即伤后最少 1 年后再实施手术。VHIS 的多中心研究发现,创伤早期有并发症(如颅内感染或脑脊液漏)的患者,颅骨成形术后并发症明显升高(56%),而且,这些患者于伤后 1 年之内手术的并发症(20%)明显高于 1 年之后的并发症(4%)。

现代非战争颅脑创伤、去骨瓣减压后颅骨成形手术时机,仍然存在“早期”(<3 个月)还是“晚期”(>6 个月)的争议^[62]。当前专家的主流共识是,在没有颅内感染的情况下,推荐早期实施颅骨修补手术,有益于患者早期康复^[63]。自体颅骨虽然是最佳

修补材料,但存在无菌保存技术要求高、可能出现骨质吸收而骨瓣塌陷的不利因素。PBI 后颅骨缺损采用人工材料较多,如钛或 PEEK,无确定资料显示哪一种修补材料有绝对优势。颅骨缺损同时存在创伤后脑积水,若先分流手术再颅骨成形手术,术后出血等并发症的发病率明显增高。故推荐应先行颅骨成形手术,然后再行脑积水分流术,可暂行腰穿或腰大池引流缓解脑积水脑脊液^[64-65]。

推荐意见 42: PBI 后颅骨缺损患者,需要进行颅骨修补,创伤后早期没有感染、脑脊液漏等并发症的患者,推荐早期颅骨修补。PBI 后采用自体骨修补颅骨较少,多用定制的人工材料进行修补。(共识度:97.83%)(C 级证据)

4. PBI 后难治性癫痫的手术:晚期确诊为 PTE 的患者,应规范抗癫痫药物治疗。临床常用抗癫痫药物包括:苯妥英钠、丙戊酸钠、苯巴比妥、拉莫三嗪、左乙拉西坦、奥卡西平、托吡酯和卡马西平等。根据癫痫类型,选择单一药物或多种药物联合治疗。必要时多学科评估进行手术治疗。

部分难治性癫痫(病程 2 年以上、经过两种抗癫痫药物正规治疗无效、每月 1 次以上发作),经多学科专家评估确认后,可考虑外科手术治疗。切除性手术需要准确定位局灶致痫脑区,立体定向脑电图(SEEG)技术有定位优势,迷走神经刺激手术(VNS)适合双侧或难以确定致痫区的患者^[66]。

推荐意见 43: 创伤后药物难治性癫痫,可考虑外科手术治疗,推荐术前多学科评估,可采用致痫灶切除术或 VNS。(共识度:93.48%)(C 级证据)

八、PBI 后并发症处理

(一)PBI 后感染的抗生素治疗

第二次世界大战期间,颅脑创伤感染率为 58.8%,这一结果促使后期救治 PBI 患者时普遍采用预防性抗生素。迄今为止,尚无可靠的数据支持 PBI 预防性抗生素的使用、类型或持续时间。与钝性损伤相比,PBI 可能会因残留的金属碎片而导致伤情更加复杂,这些金属碎片可能会污染皮肤和骨骼,导致严重感染,如脑膜炎、骨髓炎和脓肿形成^[67]。对于适宜手术的患者,应在受伤后 1 h 内开始干预。超过 12 h 的手术与感染风险增加相关。受伤后 1 周感染风险增加。据报道,PBI 后感染的发生率,在军人患者中是 25%;平民患者为 8%~23%;大多数引起感染的微生物来自皮肤菌群,包括金黄色葡萄球菌和革兰阴性杆菌。PBI 后,感染的危险因素包括脑脊液漏、累及气窦或脑室、脓肿



形成。Jimenez 及其同事对 160 例平民枪击伤患者进行了评估,确定了 3 个与创伤后颅内感染密切相关的风险因素,包括术后实质骨或金属碎片的持续存在、弹道经过有细菌污染的自然空腔和住院时间的延长^[68]。军队患者中,大约 11% 的开放性患者和 PBI 患者发生了 CNS 感染^[69],其中发生脑脊液漏及副鼻窦受累会增加 CNS 感染的风险。

推荐意见 44: 对于适宜手术的 PBI 患者,应在受伤后 1 h 内开始手术,手术时间超过 12 h,感染风险会明显增加。(共识度:93.48%)(C 级证据)

针对 PBI 患者预防使用抗生素后并发感染的研究,结论并不一致。多数研究表明,预防性抗生素并没有降低 PBI 感染率。虽然这些结论不支持对 PBI 使用预防性抗生素,但当患者存在感染风险因素时,可以考虑短期使用抗生素。预防性使用抗生素在平民 PBI 中比较常见。值得注意的是,术前给予预防性抗生素与减少 CNS 感染无关。Harmon 等^[29]调查了 2006 至 2016 年间,763 例平民 PBI 患者预防使用抗生素对感染的影响,7%($n=51$)的患者出现感染,66% 的感染患者接受了预防性抗生素治疗,62% 的患者接受了一剂或更大剂量的预防性抗生素治疗,50% 的患者接受了延长的抗生素治疗。无论是否预防性使用抗生素,穿过鼻窦或口腔的射弹轨迹、CT 扫描中骨或金属碎片的持续存在以及住院时间的延长,都与感染无明确关系。但颅内压监测(12% 比 4%; $P<0.001$)和手术干预的患者(10% 比 3%; $P<0.001$)感染率更高。

目前没有可靠的数据支持预防性抗生素在平民 PBI 中的使用、类型或持续时间。军队患者预防使用抗生素的人数有所增加。72.7% 的 PBI 患者使用了预防性抗生素。关于 PBI 的预防性抗菌药物的选择,在 Tunkel 等^[70]的一项调查中,使用抗生素的类型存在较大的差异,受访神经外科医师中,87% 使用头孢菌素,24% 使用氯霉素,16% 使用青霉素,12% 氨基糖苷类和 6% 万古霉素,不太常用的药物是红霉素、咪康唑和四环素类药物。

Marut 等^[71]回顾了 2015 年 12 月至 2018 年 7 月期间通过该机构创伤中心登记处确定的 PBI 患者,包括 33 例患者,其中男性 82%,平均年龄 32 岁。最常见的受伤机制是枪伤(94%)。在 33 例患者中,24 例(73%)至少接受了一次预防性抗生素的剂量。抗生素给药的时间为 52.8(18, 120)min,而预防的持续时间为 24(7, 84)h。最常见的抗生素治疗方案是单剂量头孢唑林,另一常见方案为头孢曲松联

合甲硝唑。该组病例中没有患者发生 CNS 感染,提示预防使用抗生素的时间可以缩短为 24 h。不同的接诊科室在使用抗生素和疗程方面也存在差异,急诊科使用单剂量头孢唑林是为了覆盖金黄色葡萄球菌,而神经外科的常用预防性抗生素方案为头孢曲松联合甲硝唑,使用时间为 5 d,用以预防术后异物碎片残留引起的并发症^[18]。该研究关于术后持续 5 d 预防性使用抗生素的结论也与 Bayston 等^[67]的研究一致。

鉴于 PBI 患者较高的颅内感染发生率,颅内感染后伴有高病死率和致残率,美军 JTS-CPG 建议,所有开放性颅脑损伤或 PBI 患者,均需预防使用抗生素,并使用 CNS 渗透性强的抗生素。建议使用头孢曲松静脉注射。对于有机碎片(如污垢、碎片、衣物)严重污染的伤口,每 8 小时静脉注射 500 mg 甲硝唑。在无法获得其他可以穿透 CNS 的抗生素时,可以使用厄他培南(每 24 小时 1 g),但没有明确具体使用的持续时间。英国抗菌化学治疗学会工作组建议,上述情况下可以持续 5 d 使用预防性抗生素,但也承认没有足够的证据支持这项建议。因此,平民 PBI 患者可预防性使用第一代头孢菌素,预防时间为 24 h。战场 PBI 或存在感染危险因素时,预防性用药应首选广谱抗生素,建议使用 CNS 渗透性强的抗生素,如头孢曲松,对于受有机碎片严重污染的伤口,可加用甲硝唑,预防使用抗生素可持续 5 d^[18]。

推荐意见 45: 平民 PBI 患者可预防性使用第一代头孢菌素,预防使用时间为 24 h。战场 PBI 或存在感染危险因素时,感染预防性用药应首选广谱抗生素,建议使用 CNS 渗透性强的抗生素,如头孢曲松,对于受有机碎片严重污染的伤口,可加用甲硝唑,预防使用抗生素可持续 5 d。(共识度:86.96%)(C 级证据)

PBI 中颅内感染的风险很高,这是由于投射物路径中存在异物、骨碎片、受污染的皮肤和毛发。脑脓肿是 PBI 后的常见并发症,尤其战时 PBI 后出现脑脓肿非常常见,穿透碎片增加了脑脓肿发生的风险,但少见颅内骨碎片移位的报道。Jefferson 于 1918 年报道了第 1 例颅内弹片移位, Martin 和 Campbell^[72]于 1946 年报道了 426 例颅内滞留弹片中 5 例发生弹片移位。虽然弹片移位并不常见,但其意义较大。其中一个原因是,大多数颅内碎片迁移与脑脓肿的发生发展有关。为了避免脑内的骨碎片移位,通常使用静脉抗生素治疗,并在 3 周左



右诱导脑脓肿壁形成,此时能够很容易地切除伴有骨碎片的脑脓肿。万古霉素+广谱 β -内酰胺(如头孢菌素或碳青霉烯)类抗生素已被推荐为PBI后确诊脑膜炎、脑脓肿患者的指南性抗生素治疗用药。

PBI后颅内感染的微生物种类往往较复杂,部分患者采用经验性用药疗效不佳。宏基因组测序(mNGS)检测技术可提高神经外科术后颅内感染病原菌的检出率,是一种有前景的病原菌检测辅助诊断工具^[73]。根据mNGS结果来针对性地使用抗生素可显著提高PBI后颅内感染的治疗效果。

除抗生素应用外,一些必要的外科处理对控制PBI后颅内感染至关重要。首次手术清创不彻底的PBI后颅内感染患者,存在抗生素无法控制的感染时再次清创是必要的。PBI患者存在脑脊液漏时颅内感染率明显升高,因此对于持续脑脊液漏的患者行脑脊液漏修补术是非常必要的^[74]。对于一些已形成脑脓肿的颅内感染,行穿刺引流术或脑脓肿切除术同样是非常重要的外科手段。

推荐意见 46: PBI存在异物后出现颅内感染,通常需要静脉使用抗生素3周,可选择万古霉素+广谱 β -内酰胺类抗生素,有条件下应根据细菌培养结果调整抗感染方案。(共识度:95.65%)(C级证据)

(二)PBI后神经内分泌障碍

1. 危险因素和发病时间:神经内分泌功能障碍(neuroendocrine dysfunction, NED)是PBI常见并发症,主要是下丘脑-垂体轴的损伤所致,包括脑水肿或血肿导致的颅内压升高、垂体及其供血动脉的损伤、垂体柄的创伤性横断扰乱了下丘脑信号和(或)PBI后间接的垂体损害。其中低GCS、头部简易伤害评分较高、影像上存在脑水肿的患者更易出现NED。

NED在PBI后早期即可出现,可分为垂体前叶功能障碍和垂体后叶功能障碍。垂体前叶功能障碍主要影响下丘脑-垂体-甲状腺轴(HPT)和下丘脑-垂体-肾上腺轴(HPA),其次是下丘脑-垂体-性腺轴(HPG),可通过检测血清激素水平来进行评估诊断。垂体激素出现缺乏的时间并不确定,一般在PBI后第1天开始出现,在第3天达到最低,严重的激素紊乱可以持续到伤后7 d。迟发性NED可能与脑水肿和颅内高压的进展有关。一些患者在伤后数月仍存在垂体激素水平低下。PBI后垂体后叶功能障碍主要表现为中枢性尿崩,发生率高达41%,一般在受伤后第1~3天出现,主要临床表现为多饮多尿,并有高钠血症和血清渗透压升高^[75]。

因此,即使影像学上未发现垂体和垂体柄损伤,PBI患者仍需早期评估垂体轴,监测垂体激素和尿量。NED的高危患者建议进行早期筛查,包括低GCS评分、头部简易伤害评分较高,影像学上存在脑水肿表现或显示垂体和垂体柄损伤的患者。在没有使用高渗药物的情况下出现多尿和高钠血症时,应及时评估是否发生中枢性尿崩。对于不明原因的低血压或电解质紊乱的患者,应尽快对HPA进行评估^[76]。

推荐意见 47: 即使影像学上未发现垂体和垂体柄损伤,PBI患者仍需早期评估垂体轴,监测垂体激素和尿量。(共识度:97.83%)(C级证据)

2. PBI后NED的治疗:对垂体前叶功能紊乱者统一采用激素替代治疗。HPT功能不全,可使用左旋甲状腺素治疗。HPA功能不全,可使用氢化可的松治疗^[77]。HPG功能不全,可在急性期给予相应激素补充,对于无临床症状者可选择临床观察^[78]。垂体后叶功能障碍出现中枢性尿崩时,常采用去氨加压素和垂体后叶素进行治疗,但快速纠正高钠血症会导致脑水肿,并可能对预后不利。因此,在PBI后发生中枢性尿崩的患者,应谨慎地使用激素替代疗法。

PBI后NED持续时间尚不确定,大多数患者在受伤后几个月仍有持续性的垂体功能低下。有患者的中枢性尿崩症状在伤后1周便消失,但垂体前叶功能低下症状可持续至伤后6周;另有患者在伤后3个月仍有持续性的垂体前、后叶功能障碍,需要激素补充。因此建议PBI后监测患者垂体激素水平和尿量至少持续至伤后3个月,之后根据监测结果评估是否需要延长监测时间^[78]。PBI后出现严重的肾上腺皮质功能减退和中枢性尿崩症与较高的病死率相关,因此PBI后皮质醇减少症和中枢性尿崩需要早期及时治疗。

推荐意见 48: 对PBI后出现严重的肾上腺皮质功能减退和中枢性尿崩症的患者,需要在早期进行激素替代和抗利尿治疗。涉及其他轴的NED,特别是临床上无症状的病例,可予以临床观察。(共识度:100%)(C级证据)

推荐意见 49: 对PBI后发生NED的患者,监测激素水平的时间至少持续到伤后3个月,根据监测结果评估是否需要延长监测时间。(共识度:100%)(C级证据)

(三)精神心理和认知症状

目前缺少针对PBI后精神心理和认知功能的



研究。注意力和记忆力减退是 TBI 后最常见的认知障碍,此外还有一些精神疾病在 TBI 后也会有较高的发生率,包括重度抑郁症(14%~77%)、广泛性焦虑症(3%~28%)、物质滥用(包括酒精滥用)(5%~28%)、创伤后应激障碍(post-traumatic stress disorder, PTSD)(3%~27%)、双相情感障碍(2%~17%)等。这些精神心理和认知症状严重影响了患者康复和回归社会,甚至引发暴力事件。在康复过程中,要密切观察并及时诊断和治疗^[79-80]。

推荐意见 50:目前缺少专门针对 PBI 后精神心理和认知功能的研究。但脑损伤后伴发的精神和认知症状会影响患者康复,甚至引发暴力事件。在 PBI 后康复过程中,要密切观察并及时诊断和治疗精神心理和认知功能障碍。(共识度:100%)(B 级证据)

九、PBI 后预后评分

平时和战时 PBI 病死率在 44%~100% 之间。颅脑枪伤死亡最常发生在受伤现场或伤后 3 h 内,因此对 PBI 患者伤情评估及处理十分重要。很多研究通过对患者年龄、性别、GCS 评分、瞳孔反射、转运时间、CT 影像学表现、手术干预等因素进行回归分析,以明确预测 PBI 患者预后的因素,便于患者分组并进行不同的治疗和管理。

1. 年龄、性别和职业:Skarupa 等^[4]报道>50 岁的 PBI 患者比其他年龄组的患者病死率高。Regasa 等^[81]报道 45~64 岁之间的 PBI 患者比其他年龄组的患者病死率高。尽管有研究表明,年龄是影响 TBI 的独立预后指标,但需排除因年龄增长导致其他疾病对患者预后的影响。研究表明男性较女性 PBI 患者病死率更高,原因是男性由于职业或活动,无论在成人或儿童 PBI 中都占绝大多数。普遍认为平民 PBI 的治疗结局明显差于军人,原因与自杀、射击距离近、入院时已无呼吸等因素相关。当火器直接接触或在 5 m 以内射击,PBI 病死率显著增高。各军兵种 PBI 患者病死率也存在差异,海岸警卫队 PBI 患者 100% 存活,而海军舰艇兵存活率只有 36%^[81]。

2. 院前情况:入院 GCS 评分和瞳孔反射是大多数研究中对 PBI 最强和最显著的预测因素。Rosenfeld^[82]报道,GCS 评分 3~5 分的 PBI 患者 97% 死亡,GCS 评分 6~8 分的患者 48% 死亡,而 GCS 评分 9~12 分的 PBI 患者生存率为 92%,GCS 评分 13~15 分的患者生存率为 100%。多数研究表明,入院时 GCS 评分<8 分的平民枪伤 PBI 患者预后较差,而

无论平时或战时入院时 GCS 评分 3~5 分患者病死率超过 90%。低 GCS 评分患者可能由于血肿或水肿压迫间脑和脑干等重要结构导致意识障碍,并导致高病死率。Larkin 等^[83]认为由于持续的镇静或战场人员对 GCS 评分的判定不准,战伤报告的入院 GCS 评分可能低于实际 GCS 评分,回顾结果表明战伤 PBI 入院 GCS 评分≤5 分的患者预后较差。瞳孔直径正常和存在对光反射的 PBI 患者预后好于瞳孔散大、对光反射消失的患者。Polin 等^[84]报道,双侧瞳孔散大固定的 PBI 患者中只有 21% 存活,单侧瞳孔功能障碍患者的生存率为 50%,而双侧瞳孔直径正常、对光反射存在的患者的生存率为 95%。Levi 等^[85]对 116 例 PBI 患者的回顾性研究表明低血压患者病死率为 67%,比血压正常的患者病死率高。Kaufman 等^[86]同样报道低血压的 PBI 患者病死率为 62%,认为 PBI 患者低血压与病死率之间相关性具有统计学意义。研究表明院前由于呼吸微弱或呼吸停止插管的 PBI 患者与较高的死亡率相关。

3. CT 检查的伤道部位:CT 扫描是枪伤导致 PBI 首选的影像学检查方式,它提供了快速和无创的方法来评估患者脑损伤的程度,CT 影像能显示弹道轨迹、血肿和异物碎片的位置,同时可有助于制定手术计划,并预测结果和术后随访。CT 扫描所呈现的双侧半球受损、多脑叶损伤、脑室受损、蛛网膜下腔出血、基底池消失等与 PBI 患者预后相关。Stone 等^[87]报道 PBI 手术患者中蛛网膜下腔出血、硬膜外血肿或硬膜下血肿并不是影响其预后的独立风险因素。但 Levy^[88]认为蛛网膜下腔出血是预测 PBI 预后的独立风险因素,原因是蛛网膜下腔出血常可引起血管痉挛,56% 没有血管痉挛的 PBI 患者获得了良好的预后,而有血管痉挛的 PBI 患者只有 36% 获得了良好的预后。脑室损伤、双侧脑叶受伤的 PBI 患者,即使手术,预后也较单脑叶受伤患者差。脑室受损伤出血与病死率有显著相关性,84%~90% 的脑室损伤 PBI 患者死亡。原因可能子弹的能量在脑脊液中的传播速度高于在脑组织中的传播速度,子弹能量可通过脑室的脑脊液传播到邻近的深部重要结构及更广泛的脑组织。双脑叶或多脑叶损伤与 PBI 患者预后差和高病死率相关,约 33.3% 的双脑叶或多脑叶损伤的 PBI 患者最终死亡。伤道穿过深部结构(基底节、丘脑、后颅窝和脑干)的 PBI 预后更差。应尽快插管并人工通气,以避免通气不足和随后出现颅内压升高而导致的不良后果。Fathalla 等^[89]通过对 102 例 PBI 战伤患者



的回顾性分析,绘制了容易导致死亡的解剖学危险区域,具体边界为上至扣带回,下至 C2 节段,两侧为屏状核以内,包括下丘脑和后颅窝等区域。

PBI 患者颅内残留金属和(或)骨碎片会增加患者的感染率和病死率。当颅骨碎片带有头发或头皮时,感染率可增加 10 倍。Bolat kale 和 Acara^[90]报道骨碎片>2 片的 PBI 患者预后较差,可能是与感染或局部炎症相关。有研究显示骨碎片比金属碎片更有可能引起迟发性感染,也有研究表明残留异物对于 PBI 患者感染和癫痫发生率差异无统计学意义。

4.凝血功能:有研究显示凝血功能障碍与 PBI 预后不良相关。Polin 等^[84]的研究表明第 1 天 APTT 时间异常的 PBI 患者仅 20% 存活。Kaufman 等^[91]报道,死亡的 PBI 患者凝血状态异常的发生率高于存活者(分别为 94% 和 71%)。

5.手术:有研究表明及时手术是降低 PBI 病死率的因素,也有研究表明手术组的患者病死率高于保守治疗组,部分原因可能是需要手术的患者伤情更重。手术干预率在中度 PBI 患者中最高,而在重度 TBI 患者中最低。Levy^[88]的研究表明在入院 GCS 评分为 6~8 分的患者中,手术干预与生存之间存在显著关系。

6. SPIN 评分:SPIN 评分是一种基于 logistic 回归的临床风险分层量表,常用于评估 PBI 后的生存率^[92]。SPIN 评分(表 3)包括运动 GCS 量表(mGCS)、瞳孔反应、自杀、从其他医院转移时状态、性别、损伤严重程度评分(injury severity score, ISS)和 INR 等指标。ISS 评分≥26 分与 PBI 患者预后较差显著相关。

应用 SPIN 评分模型判断预后,其中 mGCS、瞳孔反应性和 INR 是预测病死率的独立相关因素。SPIN 评分>35 分的 PBI 患者 98% 存活,评分<20 分的患者仅 3% 存活^[92]。多中心 PBI 研究证实,SPIN 评分可以预测平民 PBI 术后的生存率,具有良好的预测能力,其中入院 INR 显著增加了模型的预测能力^[34-35, 92]。

推荐意见 51:PBI 患者的预后评估是一个综合因素,SPIN 评分可准确判断预后。(共识度:95.65%)(B 级证据)

十、PBI 的生物标志物

PBI 的生物标志物基于 TBI,对于 TBI 生物标志物的研究仍是神经外科的研究热点之一。因为整合生物标志物、临床检查和成像技术可以明显提高对颅脑伤情严重程度的评估、预后预测和对 TBI 后

表 3 穿透性颅脑损伤幸存者预后评分

评分内容	分值
运动 GCS 评分(分)	
1~5	0
6	9
瞳孔	
双侧无反应	0
不等大	4
眼球破裂/视力丧失	6
双侧等大,对光反应灵敏	9
自杀	
是	0
否	4
从其他中心转运	
否	0
是	4
性别	
男	0
女	4
ISS 评分(分)	
≥56	0
41~55	1
25~40	5
≤24	10
INR	
≥2.1	0
1.4~2.0	6
≤1.3	12
SPIN 总分(分)	4~52

注:GCS 为格拉斯哥昏迷评分;ISS 为损伤严重程度评分;INR 为国际标准化比值;SPIN 为穿透性颅脑损伤幸存者评分

临床管理反应的评估。但目前绝大部分脑损伤的生物标志物研究都仅基于 TBI,尤其偏重轻型 TBI。目前关于 TBI 生物标志物研究涉及的分子主要包括:神经元特异性烯醇化酶(neuron-specific enolase, NSE);泛素 c 末端水解酶 11(ubiquitin carboxyl-terminal hydrolase isoenzyme L1, UCH-L1), S100B 蛋白;胶质纤维酸性蛋白(glial fibrillary acidic protein, GFAP);神经丝蛋白(NF):包括轻链、重链;Tau 蛋白;miR-92a、miR-93。

检测血浆生物标志物是诊断军事和民用 TBI 的一种新方法,目前尚未开发出用于 TBI 血浆生物标志物的规范流程。TBI 血浆生物标志物的诊断作用在平民闭合性创伤患者中得到了验证。2021 年 1 月,美国食品和药物管理局批准了一种用于诊断 TBI 的血浆生物标志物,这种半定量方法检测血浆中 GFAP 和 UCH-L1 的水平。GFAP 和



UCH-L1 存在于 CNS 的细胞中,并在神经元损伤时释放。测定水平越高,神经元损伤程度越严重。因此脑外伤后可以进行 TBI 血浆生物标志物测试。该检验中“未升高”对于确定 CT 成像头部无急性创伤性颅内病变的阴性预测值接近 100%。许多 TBI 血浆生物标志物结果阳性(或升高)的患者在头部 CT 上没有脑损伤或颅内出血的证据,但在 MRI 上会有明显的脑损伤。然而,TBI 血浆生物标志物“升高”的结果未被美国食品和药物管理局批准用于轻型 TBI 的诊断。目前,尚不清楚 TBI 血浆生物标志物阳性(升高)但头部 CT 上无损伤证据的患者是否应与 TBI 血浆生物标志物阴性(非升高)的患者区别对待^[93]。

推荐意见 52: PBI 后病情允许的情况可进行血浆生物标志物检测,主要包括 GFAP 和 UCH-L1。(共识度:93.48%)(C 级证据)

十一、结语

PBI 因其损伤具有高能量、常伴有异物残留、大面积脑组织损伤和动能转移导致的热烧伤等特征,可对 CNS 造成毁灭性打击,具有极高的死亡率和致残率。通过对国内外相关指南、共识及近年来临床研究进展进行全面回顾,专家组对 PBI 的分类、早期识别、诊断、急诊处置、高级监护、手术方式、并发症处理和预后预测等方面达成一致共识,旨在为 PBI 的规范化诊治和科学管理提供指导。但在 PBI 临床实践过程中仍有许多问题亟待解决,期待未来随着更多高质量的临床研究的开展,更多的证据能够将共识不断完善,最终改善 PBI 患者预后。本共识不具备法律效力,仅供临床医师作为参考。

共识委员会名单(按姓名笔画排序): 马晓东(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);王飞(火箭军特色医学中心神经外科);王玉海(联勤保障部队第 904 医院神经外科);王本瀚(联勤保障部队第 988 医院神经外科);王伟民(南部战区总医院神经外科);王守森(联勤保障部队第 900 医院神经外科);王国良(广东三九脑科医院神经外科);王晓峰(联勤保障部队第 987 医院神经外科);尹忠民(北部战区空军医院神经外科);卢亦成(海军军医大学第二附属医院神经外科);卢明(联勤保障部队第 921 医院神经外科);卢培刚(联勤保障部队第 960 医院神经外科);田增民(解放军总医院第六医学中心神经外科医学部);冯华(陆军军医大学第一附属医院神经外科);匡永勤(西部战区总医院神经外科);朱伟杰(联勤保障部队第 960 医院神经外科);刘玉河(泰安 88 医院神经外科);刘亚楠(空军 464 医院神经外科);刘洪泉(陆军第 81 医院神经外科);许民辉

(陆军特色医学中心神经外科);孙正辉(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);孙君昭(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);杨辉(陆军军医大学第二附属医院神经外科);杨普(空军军医大学西京医院 986 医院神经外科);吴勤奋(新疆医科大学第二附属医院神经外科);余新光(解放军总医院海南医院神经外科);应奇(海军军医大学第三附属医院神经外科);张军(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);张志文(同济大学附属上海市第四人民医院神经外科);张剑宁(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);陈菊祥(海军军医大学第一附属医院神经外科);金文明(天津康复疗养中心脑外心胸外科);周杰(联勤保障部队第 940 医院神经外科);屈延(空军军医大学第二附属医院神经外科);封亚平(联勤保障部队第 920 医院神经外科);赵亚群(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);荔志云(甘肃省中心医院神经外科);段炼(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);费舟(空军军医大学第一附属医院神经外科);姚国杰(中部战区总医院神经外科);徐如祥(电子科技大学附属医院四川省人民医院神经外科);徐国政(中部战区总医院神经外科);高国栋(空军军医大学第二附属医院神经外科);葛顺楠(空军军医大学第二附属医院神经外科);蒋晓帆(空军军医大学第一附属医院神经外科);程钢戈(空军特色医学中心神经外科)

共同执笔专家(按姓名笔画排序): 马杰(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);公方和(南部战区总医院神经外科);白红民(南部战区总医院神经外科);刘晓燕(南部战区总医院神经外科);江澈(南部战区总医院神经外科);杜程钢(南部战区总医院卫勤部);李天栋(南部战区总医院神经外科);杨瑞鑫(南部战区总医院神经外科);余新光(解放军总医院海南医院神经外科);邹宇辉(南部战区总医院神经外科);邹海强(南部战区总医院神经外科);张建波(南部战区总医院神经外科);张剑宁(解放军总医院第一医学中心神经外科医学部);陈状(南部战区总医院神经外科);林健(南部战区总医院神经外科);屈延(空军军医大学第二附属医院神经外科);赵振宇(南部战区总医院神经外科);施学智(南部战区总医院重症医学科);童华生(南部战区总医院重症医学科);薛盖茨(南部战区总医院神经外科)

文献检索者(按姓名笔画排序): 文思琪(南部战区总医院医学信息数据室);白朝晖(南部战区总医院医学信息数据室);严枫(南部战区总医院医学信息数据室);郭玉慧(南部战区总医院医学信息数据室)

工作秘书: 薛盖茨(南部战区总医院神经外科)

制图: 白子茜(华南理工大学生物医学科学与工程学院)

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Balsheim H, Helfand M, Schünemann HJ, et al. GRADE



- guidelines: 3. Rating the quality of evidence[J]. *J Clin Epidemiol*, 2011, 64(4): 401-406. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2010.07.015.
- [2] Santiago LA, Oh BC, Dash PK, et al. A clinical comparison of penetrating and blunt traumatic brain injuries[J]. *Brain Inj*, 2012, 26(2):107-125. DOI: 10.3109/02699052.2011.635363.
 - [3] Aarabi B, Alden TD, Chesnut R, et al. Part 1: Guidelines for the management of penetrating brain injury. Introduction and methodology[J]. *J Trauma*, 2001, 51(2 suppl):S3-S6.
 - [4] Skarupa DJ, Khan M, Hsu A, et al. Trends in civilian penetrating brain injury: a review of 26, 871 patients[J]. *Am J Surg*, 2019, 218(2): 255-260. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2018.11.034.
 - [5] Grinshteyn E, Hemenway D. Violent Death Rates: the US compared with other high-income OECD Countries, 2010[J]. *Am J Med*, 2016, 129(3):266-273. DOI: 10.1016/j.amjmed.2015.10.025.
 - [6] Young L, Rule GT, Bocchieri RT, et al. When physics meets biology: low and high-velocity penetration, blunt impact, and blast injuries to the brain[J]. *Front Neurol*, 2015, 6: 89. DOI: 10.3389/fneur.2015.00089.
 - [7] Mikhael M, Frost E, Cristancho M. Perioperative care for pediatric patients with penetrating brain injury: a review [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2018, 30(4): 290-298. DOI: 10.1097/ANA.0000000000000441.
 - [8] Vakil MT, Singh AK. A review of penetrating brain trauma: epidemiology, pathophysiology, imaging assessment, complications, and treatment[J]. *Emerg Radiol*, 2017, 24(3):301-309. DOI: 10.1007/s10140-016-1477-z.
 - [9] Wu Y, Chen TG, Chen SM, et al. Trans-base and trans-vault low-velocity penetrating brain injury: a retrospective comparative study of characteristics, treatment, and outcomes[J]. *Chin J Traumatol*, 2021, 24(5):273-279. DOI: 10.1016/j.cjte.2021.04.008.
 - [10] Lange RT, Lippa SM, French LM, et al. Long-term neurobehavioural symptom reporting following mild, moderate, severe, and penetrating traumatic brain injury in U. S. military service members[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2020, 30(9): 1762-1785. DOI: 10.1080/09602011.2019.1604385.
 - [11] Jacobs GB, Berg RA. Tangential wounds of the head[J]. *J Neurosurg*, 1970, 32(6): 642-646. DOI: 10.3171/jns.1970.32.6.0642.
 - [12] Farhat HI, Hood B, Bullock MR. A tangential gunshot wound to the head: case report and review of the literature[J]. *J Emerg Med*, 2012, 43(2):e111-e114. DOI: 10.1016/j.jemermed.2009.10.015.
 - [13] Alvis-Miranda HR, Adie Villafañe R, Rojas A, et al. Management of craniocerebral gunshot injuries: a review [J]. *Korean J Neurotrauma*, 2015, 11(2): 35-43. DOI: 10.13004/kjnt.2015.11.2.35.
 - [14] Takahashi CE, Virmani D, Chung DY, et al. Blunt and penetrating severe traumatic brain injury[J]. *Neurol Clin*, 2021, 39(2):443-469. DOI: 10.1016/j.ncl.2021.02.009.
 - [15] Mansour A, Loggini A, El Ammar F, et al. Cerebrovascular complications in early survivors of civilian penetrating brain injury[J]. *Neurocrit Care*, 2021, 34(3):918-926. DOI: 10.1007/s12028-020-01106-y.
 - [16] Karras CL, Texakalidis P, Nie JZ, et al. Outcomes following penetrating brain injuries in military settings: a systematic review and meta-analysis[J]. *World Neurosurg*, 2022, 166: 39-48. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.07.062.
 - [17] Carney N, Totten AM, O'Reilly C, et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury, fourth edition[J]. *Neurosurgery*, 2017, 80(1):6-15. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001432.
 - [18] van Wyck D, Loos PE, Friedline N, et al. Traumatic brain injury management in prolonged field care[J]. *J Spec Oper Med*, 2017, 17(3):130-140. DOI: 10.55460/7R6W-1M9 U.
 - [19] Gervaise A, Foscolo S, Rivierre A, et al. Imaging of cranial gunshot traumas[J]. *J Radiol*, 2010, 91(11 Pt 1): 1113-1120. DOI: 10.1016/s0221-0363(10)70156-6.
 - [20] Temple N, Donald C, Skora A, et al. Neuroimaging in adult penetrating brain injury: a guide for radiographers[J]. *J Med Radiat Sci*, 2015, 62(2): 122-131. DOI: 10.1002/jmrs.101.
 - [21] Rosenfeld JV, Bell RS, Armonda R. Current concepts in penetrating and blast injury to the central nervous system [J]. *World J Surg*, 2015, 39(6):1352-1362. DOI: 10.1007/s00268-014-2874-7.
 - [22] Bodanapally UK, Shanmuganathan K, Boscak AR, et al. Vascular complications of penetrating brain injury: comparison of helical CT angiography and conventional angiography[J]. *J Neurosurg*, 2014, 121(5): 1275-1283. DOI: 10.3171/2014.7.JNS132688.
 - [23] Tumialán LM, Lin FJ, Fountain J, et al. CT venography used for preoperative planning of foreign body extraction in penetrating craniocerebral trauma: technical case report [J]. *J Trauma*, 2009, 66(2): 567-569. DOI: 10.1097/01.ta.0000232012.17702.1b.
 - [24] Stefanopoulos PK, Mikros G, Pinalidis DE, et al. Wound ballistics of military rifle bullets: an update on controversial issues and associated misconceptions[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019, 87(3): 690-698. DOI: 10.1097/TA.0000000000002290.
 - [25] CRASH-3 trial collaborators. Effects of tranexamic acid on death, disability, vascular occlusive events and other morbidities in patients with acute traumatic brain injury (CRASH-3): a randomised, placebo-controlled trial[J]. *Lancet*, 2019, 394(10210): 1713-1723. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32233-0.
 - [26] Acosta P, Santisbon E, Varon J. The use of positive end-expiratory pressure in mechanical ventilation[J]. *Crit Care Clin*, 2007, 23(2): 251-261. x. DOI: 10.1016/j.ccc.2006.12.012.
 - [27] Pamplin JC, Fisher AD, Penny A, et al. Analgesia and sedation management during prolonged field care[J]. *J Spec Oper Med*, 2017, 17(1): 106-120. DOI: 10.55460/KNC7-FF9M.
 - [28] Szaflarski JP, Sangha KS, Lindsell CJ, et al. Prospective, randomized, single-blinded comparative trial of intravenous levetiracetam versus phenytoin for seizure prophylaxis[J]. *Neurocrit Care*, 2010, 12(2):165-172. DOI: 10.1007/s12028-009-9304-y.
 - [29] Harmon LA, Haase DJ, Kufera JA, et al. Infection after penetrating brain injury-An Eastern Association for the Surgery of Trauma multicenter study oral presentation at the 32nd annual meeting of the Eastern Association for the Surgery of Trauma, January 15-19, 2019, in Austin, Texas[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2019, 87(1): 61-67. DOI: 10.1097/TA.0000000000002327.
 - [30] Lanoix R, Gupta R, Leak L, et al. C-spine injury associated



- with gunshot wounds to the head: retrospective study and literature review[J]. *J Trauma*, 2000, 49(5):860-863. DOI: 10.1097/00005373-200011000-00011.
- [31] Kong VY, Weale RD, Sartorius B, et al. Routine cervical spine immobilisation is unnecessary in patients with isolated cerebral gunshot wounds: a South African experience[J]. *Emerg Med Australas*, 2018, 30(6):773-776. DOI: 10.1111/1742-6723.12985.
- [32] Loggini A, Vasenina VI, Mansour A, et al. Management of civilians with penetrating brain injury: a systematic review[J]. *J Crit Care*, 2020, 56:159-166. DOI: 10.1016/j.jcrc.2019.12.026.
- [33] Böhm JK, Güting H, Thorn S, et al. Global characterisation of coagulopathy in isolated traumatic brain injury (iTBI): a CENTER-TBI analysis[J]. *Neurocrit Care*, 2021, 35(1):184-196. DOI: 10.1007/s12028-020-01151-7.
- [34] Mukerji S, Darwin S, Suchdev K, et al. Persistent coagulopathy after gunshot traumatic brain injury: the importance of INR and the SPIN score[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2022, 48(6):4813-4822. DOI: 10.1007/s00068-022-02009-7.
- [35] Mikati AG, Flahive J, Khan MW, et al. Multicenter validation of the survival after acute civilian penetrating brain injuries (SPIN) score[J]. *Neurosurgery*, 2019, 85(5):E872-E879. DOI: 10.1093/neuros/nyz127.
- [36] Lazaridis C, Mansour A, Alvarado-Dyer R, et al. Civilian firearm-inflicted brain injury: coagulopathy, vascular injuries, and triage[J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2021, 21(9):47. DOI: 10.1007/s11910-021-01131-0.
- [37] Pahatouridis D, Alexiou GA, Zigouris A, et al. Coagulopathy in moderate head injury. The role of early administration of low molecular weight heparin[J]. *Brain Inj*, 2010, 24(10):1189-1192. DOI: 10.3109/02699052.2010.490510.
- [38] Pathak A, Dutta S, Marwaha N, et al. Change in tissue thromboplastin content of brain following trauma[J]. *Neurol India*, 2005, 53(2):178-182. DOI: 10.4103/0028-3886.16404.
- [39] Williams-Johnson JA, McDonald AH, Strachan GG, et al. Effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2) A randomised, placebo-controlled trial[J]. *West Indian Med J*, 2010, 59(6):612-624.
- [40] Mansour A, Rowell S, Powla PP, et al. Comparative effectiveness of intracranial pressure monitoring vs no monitoring in severe penetrating brain injury management[J]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6(3):e231077. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.1077.
- [41] Pan J, Bonow RH. Intracranial pressure monitors in patients with penetrating brain injury[J]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6(3):e236754. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.6754.
- [42] Khellaf A, Khan DZ, Helmy A. Recent advances in traumatic brain injury[J]. *J Neurol*, 2019, 266(11):2878-2889. DOI: 10.1007/s00415-019-09541-4.
- [43] Depreitere B, Güiza F, Van den Berghe G, et al. Pressure autoregulation monitoring and cerebral perfusion pressure target recommendation in patients with severe traumatic brain injury based on minute-by-minute monitoring data[J]. *J Neurosurg*, 2014, 120(6):1451-1457. DOI: 10.3171/2014.3.JNS131500.
- [44] Wang LJ, Chen LM, Chen Y, et al. Ultrasonography assessments of optic nerve sheath diameter as a noninvasive and dynamic method of detecting changes in intracranial pressure[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2018, 136(3):250-256. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2017.6560.
- [45] Rasulo FA, Bertuetti R, Robba C, et al. The accuracy of transcranial Doppler in excluding intracranial hypertension following acute brain injury: a multicenter prospective pilot study[J]. *Crit Care*, 2017, 21(1):44. DOI: 10.1186/s13054-017-1632-2.
- [46] Rasulo FA, Calza S, Robba C, et al. Transcranial Doppler as a screening test to exclude intracranial hypertension in brain-injured patients: the IMPRESSIT-2 prospective multicenter international study[J]. *Crit Care*, 2022, 26(1):110. DOI: 10.1186/s13054-022-03978-2.
- [47] Zeiler FA, Smielewski P, Stevens A, et al. Non-invasive pressure reactivity index using Doppler systolic flow parameters: a pilot analysis[J]. *J Neurotrauma*, 2019, 36(5):713-720. DOI: 10.1089/neu.2018.5987.
- [48] Traylor JL, El Ahmadi TY, Bedros NM, et al. Quantitative pupillometry in patients with traumatic brain injury and loss of consciousness: a prospective pilot study[J]. *J Clin Neurosci*, 2021, 91:88-92. DOI: 10.1016/j.jocn.2021.06.044.
- [49] Okonkwo DO, Shutter LA, Moore C, et al. Brainoxygen optimization in severe traumatic brain injury phase-II: a phase II randomized trial[J]. *Crit Care Med*, 2017, 45(11):1907-1914. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002619.
- [50] Timofeev I, Carpenter KL, Nortje J, et al. Cerebral extracellular chemistry and outcome following traumatic brain injury: a microdialysis study of 223 patients[J]. *Brain*, 2011, 134(Pt 2):484-494. DOI: 10.1093/brain/awq353.
- [51] Stein NR, McArthur DL, Etchepare M, et al. Early cerebral metabolic crisis after TBI influences outcome despite adequate hemodynamic resuscitation[J]. *Neurocrit Care*, 2012, 17(1):49-57. DOI: 10.1007/s12028-012-9708-y.
- [52] Alvis-Miranda HR, M Rubiano A, Agrawal A, et al. Craniocerebral gunshot injuries; a review of the current literature[J]. *Bull Emerg Trauma*, 2016, 4(2):65-74.
- [53] McCafferty R, Neal C, Marshall S, et al. Neurosurgery and severe head injury (CPG ID:30), in Joint Trauma System Clinical Practice Guidelines[DB/OL]. Arlington, VA: Department of Defense Center of Excellence for Trauma, 2017 (2017-03-02) [2023-09-06]. <https://jts.health.mil/>.
- [54] Hutchinson PJ, Kolias AG, Tajsic T, et al. Consensus statement from the International Consensus Meeting on the role of decompressive craniectomy in the management of traumatic brain injury: consensus statement[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2019, 161(7):1261-1274. DOI: 10.1007/s00701-019-03936-y.
- [55] Moussa WM, Abbas M. Management and outcome of low velocity penetrating head injury caused by impacted foreign bodies[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158(5):895-904; discussion 904. DOI: 10.1007/s00701-016-2764-x.
- [56] Zyck S, Toshkezi G, Krishnamurthy S, et al. Treatment of penetrating nonmissile traumatic brain injury. Case series and review of the literature[J]. *World Neurosurg*, 2016, 91:297-307. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.04.012.
- [57] Weisbrod AB, Rodriguez C, Bell R, et al. Long-term outcomes of combat casualties sustaining penetrating traumatic brain injury[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012,



- 73(6):1525-1530. DOI: 10.1097/TA.0b013e318270e179.
- [58] Eisinger RS, Sorrentino ZA, Cutler C, et al. Clinical risk factors associated with cerebrospinal fluid leak in facial trauma: a retrospective analysis[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2022, 217: 107276. DOI: 10.1016/j.clineuro.2022.107276.
- [59] Meironsky AM, Caveness WF, Dillon JD, et al. Cerebrospinal fluid fistulas complicating missile wounds of the brain[J]. *J Neurosurg*, 1981, 54(1): 44-48. DOI: 10.3171/jns.1981.54.1.0044.
- [60] Ghadersohi S, Ference EH, Detwiler K, et al. Presentation, workup, and management of penetrating transorbital and transnasal injuries: a case report and systematic review [J]. *Am J Rhinol Allergy*, 2017, 31(2):29-34. DOI: 10.2500/ajra.2017.31.4421.
- [61] Rish BL, Dillon JD, Meironsky AM, et al. Cranioplasty: a review of 1 030 cases of penetrating head injury[J]. *Neurosurgery*, 1979, 4(5): 381-385. DOI: 10.1227/00006123-197905000-00002.
- [62] De Cola MC, Corallo F, Pria D, et al. Timing for cranioplasty to improve neurological outcome: a systematic review[J]. *Brain Behav*, 2018, 8(11): e01106. DOI: 10.1002/brb3.1106.
- [63] Piazza M, Grady MS. Cranioplasty[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2017, 28(2):257-265. DOI: 10.1016/j.nec.2016.11.008.
- [64] Iaccarino C, Kolias A, Adelson PD, et al. Consensus statement from the international consensus meeting on post-traumatic cranioplasty[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2021, 163(2): 423-440. DOI: 10.1007/s00701-020-04663-5.
- [65] 中华神经外科学会神经创伤专业组, 中华创伤学会神经损伤专业组, 中国神经外科医师协会神经创伤专业委员会. 创伤性颅骨缺损成形术中国专家共识[J]. *中华神经外科杂志*, 2016, 32(8): 767-770. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2016.08.002.
- [66] Englot DJ, Rolston JD, Wang DD, et al. Efficacy of vagus nerve stimulation in posttraumatic versus nontraumatic epilepsy[J]. *J Neurosurg*, 2012, 117(5): 970-977. DOI: 10.3171/2012.8.JNS122.
- [67] Bayston R, de Louvois J, Brown EM, et al. Use of antibiotics in penetrating craniocerebral injuries. "Infection in Neurosurgery" Working Party of British Society for Antimicrobial Chemotherapy[J]. *Lancet*, 2000, 355(9217): 1813-1817. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)02275-3.
- [68] Jimenez CM, Polo J, España JA. Risk factors for intracranial infection secondary to penetrating craniocerebral gunshot wounds in civilian practice[J]. *World Neurosurg*, 2013, 79(5-6):749-755. DOI: 10.1016/j.wneu.2012.06.025.
- [69] Aarabi B, Taghipour M, Alibai E, et al. Central nervous system infections after military missile head wounds[J]. *Neurosurgery*, 1998, 42(3):500-507; discussion 507-509. DOI: 10.1097/00006123-199803000-00014.
- [70] Tunkel AR, Hartman BJ, Kaplan SL, et al. Practice guidelines for the management of bacterial meningitis[J]. *Clin Infect Dis*, 2004, 39(9): 1267-1284. DOI: 10.1086/425368.
- [71] Marut D, Shammassian B, McKenzie C, et al. Evaluation of prophylactic antibiotics in penetrating brain injuries at an academic level 1 trauma center[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2020, 193:105777. DOI: 10.1016/j.clineuro.2020.105777.
- [72] Martin J, Campbell EH Jr. Early complications following penetrating wounds of the skull[J]. *J Neurosurg*, 1946, 3: 58-73. DOI: 10.3171/jns.1946.3.1.0058.
- [73] 吴蕾, 张少兰, 黄华玮, 等. 宏基因组二代测序对神外术后颅内细菌感染病原菌的诊断效能[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(29): 2272-2277. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20211128-02659.
- [74] Gönül E, Baysefer A, Kahraman S, et al. Causes of infections and management results in penetrating craniocerebral injuries[J]. *Neurosurg Rev*, 1997, 20(3): 177-181. DOI: 10.1007/BF01105561.
- [75] Hadjizacharia P, Beale EO, Inaba K, et al. Acute diabetes insipidus in severe head injury: a prospective study[J]. *J Am Coll Surg*, 2008, 207(4): 477-484. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2008.04.017.
- [76] Itshayek E, Gomori JM, Spektor S, et al. Stiletto stabbing: penetrating injury to the hypothalamus with hyperacute diabetes insipidus[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2010, 112(10):924-926. DOI: 10.1016/j.clineuro.2010.07.017.
- [77] Kusanagi H, Kogure K, Teramoto A. Pituitary insufficiency after penetrating injury to the sella turcica[J]. *J Nippon Med Sch*, 2000, 67(2): 130-133. DOI: 10.1272/jnms.67.130.
- [78] Upreti V, Kotwal N. Hypopituitarism following rifle cleaning accident[J]. *Indian J Med Res*, 2016, 144(2): 302-303. DOI: 10.4103/0971-5916.195060.
- [79] Ahmed S, Venigalla H, Mekala HM, et al. Traumatic brain injury and neuropsychiatric complications[J]. *Indian J Psychol Med*, 2017, 39(2): 114-121. DOI: 10.4103/0253-7176.203129.
- [80] Hanafy S, Xiong C, Chan V, et al. Comorbidity in traumatic brain injury and functional outcomes: a systematic review [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2021, 57(4): 535-550. DOI: 10.23736/S1973-9087.21.06491-1.
- [81] Regasa LE, Kaplan DA, Moy Martin EM, et al. Mortality following hospital admission for US active duty service members diagnosed with penetrating traumatic brain injury, 2004-2014[J]. *J Head Trauma Rehabil*, 2018, 33(2): 123-132. DOI: 10.1097/HTR.0000000000000380.
- [82] Rosenfeld JV. Gunshot injury to the head and spine[J]. *J Clin Neurosci*, 2002, 9(1): 9-16. DOI: 10.1054/jocn.2001.0949.
- [83] Larkin MB, Graves E, Boulter JH, et al. Two-year mortality and functional outcomes in combat-related penetrating brain injury: battlefield through rehabilitation[J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 45(6):E4. DOI: 10.3171/2018.9.FOCUS18359.
- [84] Polin RS, Shaffrey ME, Phillips CD, et al. Multivariate analysis and prediction of outcome following penetrating head injury[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 1995, 6(4):689-699.
- [85] Levi L, Borovich B, Guilburd JN, et al. Wartime neurosurgical experience in Lebanon, 1982-1985. I: penetrating craniocerebral injuries[J]. *Isr J Med Sci*, 1990, 26(10):548-554.
- [86] Kaufman HH, Levy ML, Stone JL, et al. Patients with Glasgow Coma Scale scores 3, 4, 5 after gunshot wounds to the brain[J]. *Neurosurg Clin N Am*, 1995, 6(4):701-714. DOI: 10.1016/S1042-3680(18)30426-1.
- [87] Stone JL, Lichtor T, Fitzgerald LE. Gunshot wounds to the head in civilian practice[J]. *Neurosurgery*, 1995, 37(6): 1104-1110; discussion 1110-1112. DOI: 10.1227/00006123-199512000-00010.



- [88] Levy ML. Outcome prediction following penetrating craniocerebral injury in a civilian population: aggressive surgical management in patients with admission Glasgow Coma Scale scores of 6 to 15[J]. Neurosurg Focus, 2000, 8(1):e2. DOI: 10.3171/foc.2000.8.1.153.
- [89] Fathalla H, Ashry A, El-Fiki A. Managing military penetrating brain injuries in the war zone: lessons learned[J]. Neurosurg Focus, 2018, 45(6): E6. DOI: 10.3171/2018.8.FOCUS18371.
- [90] Bolatkale M, Acara AC. The intracranial number of foreign bodies as a predictor of mortality after penetrating brain injury[J]. Am J Emerg Med, 2019, 37(3): 433-438. DOI: 10.1016/j.ajem.2018.06.005.
- [91] Kaufman HH, Makela ME, Lee KF, et al. Gunshot wounds to the head: a perspective[J]. Neurosurgery, 1986, 18(6): 689-695. DOI: 10.1227/00006123-198606000-00002.
- [92] Muehlschlegel S, Ayturk D, Ahlawat A, et al. Predicting survival after acute civilian penetrating brain injuries: The SPIN score[J]. Neurology, 2016, 87(21): 2244-2253. DOI: 10.1212/WNL.0000000000003355.
- [93] Bazarian JJ, Biberthaler P, Welch RD, et al. Serum GFAP and UCH-L1 for prediction of absence of intracranial injuries on head CT (ALERT-TBI): a multicentre observational study[J]. Lancet Neurol, 2018, 17(9): 782-789. DOI: 10.1016/S1474-4422(18)30231-X.

· 文献速览 ·

无法手术的胰腺恶性肿瘤患者胰腺外分泌功能不全的患病率、评估和治疗的前瞻性观察性研究

Carnie LE, Shah D, Vaughan K, et al. Prospective observational study of prevalence, assessment and treatment of pancreatic exocrine insufficiency in patients with inoperable pancreatic malignancy (PANcreatic Cancer Dietary Assessment-PanDA) [J]. Cancers (Basel), 2023, 15(8): 2277. DOI: 10.3390/cancers15082277.

大部分晚期胰腺癌(aPC)患者均有胰腺外分泌功能不全(PEI),对患者的营养状况、生活质量产生一定的影响,并降低生存率,但目前最佳的筛查方法尚未达成共识。本研究提出了一个有效的PEI筛查方案,以早期识别和干预PEI,旨在改善患者生活质量并延长存活时间,为晚期胰腺癌患者的综合管理提供依据。

本研究采用前瞻性队列设计,分为3个独立队列:人口统计学、诊断和随访队列,共招募了112例确诊为aPC且接受姑息治疗的患者。人口统计学和诊断队列进行了症状和全面营养评估[包括体重、体质指数(BMI)、中上臂围(MUAC)、握力和爬楼梯测试)、血液学检查(包括脂溶性维生素)、粪便弹性蛋白酶-1(FE-1)];而诊断队列进行¹³C-混合甘油三酯呼气试验(¹³C-MTBT)。营养师采用人口统计学队列对PEI患病率进行前瞻性评估,用诊断队列设计出最适合aPC患者的PEI筛查工具,并进一步利用随访队列进行验证。采用logistic回归模型和Cox回归分析进行统计分析。

研究结果表明,在2018年7月1日至2020年10月30日期间,人口统计学队列、诊断队列和随访队列分别有50、25和37例。人口统计学队列的PEI患病率为66.0%,与诊断队列的PEI患病率相似(64%)。根据FE-1和MUAC的评分(总分3分),区分患者属于PEI的“高危”组(2~3分)和“中低危”组(0~1分)。结合FE-1和MUAC的筛查方案能有效地识别出“高危”PEI患者,其总体生存时间(OS)短于“中低危”患者[多变量风险比(*mHR*)=1.86,95%CI:1.03~3.36,*P*=0.040]。随访队列进一步验证该PEI筛查工具,78.4%的患者被识别为“高危”,其中89.6%确诊为PEI。

研究显示,大多数aPC患者存在PEI。结合FE-1和MUAC的筛查方案在临床实践中是可行的,且接受度高。早期的饮食和胰酶干预能为PEI患者提供全面的营养支持。

[编译:陈光彬、王克 华东师范大学附属芜湖医院
(芜湖市第二人民医院)肝胆外科]

