

穿透性颅脑损伤专家共识

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）。

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

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,约占 TBI 的 10%。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。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：（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、竹木质异物等。

2. 根据发病机制分为：（1）低速 PBI（low-velocity penetrating brain injury, LVPBI）（ $V < 300 \text{ m/s}$ ）：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。（2）中速 PBI（medium-velocity penetrating brain injury, MVPBI）（ $V = 300 \sim 600 \text{ m/s}$ ）：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）（ $V > 600 \text{ m/s}$ ）：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 $1\,404 \text{ m/s}$ ，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 $1\,020 \text{ m/s}$ 。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位罝分为端脑 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。位罝的不同, 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: TBI 在战时和平时都比较常见, 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。(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。

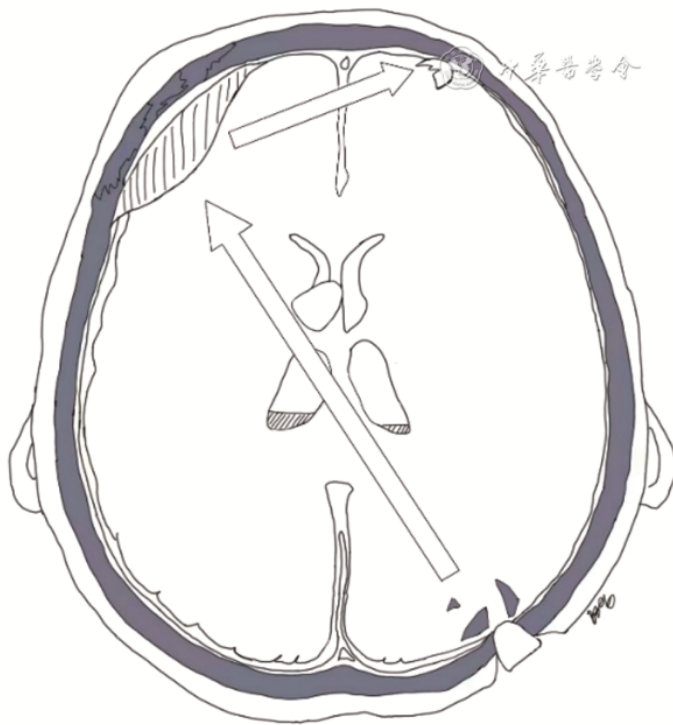
脑实质的水分含量很高，并且相对缺乏弹性，因此特别容易受到HVPBI造成的组织损伤。弹头穿过脑组织之前和过程中，可造成瞬时空腔。弹头周围的组织突然向外（放射状）运动，造成周边组织的拉伸、撕裂和切割。从最初的快速扩张到坍塌，这个真空腔只持续几毫秒。在最初的扩散力量散去后，组织空腔经历一系列重复的扩张和收缩，变得越来越小，直到逐渐消失。此外，瞬时空腔的快速扩张会产生负压力梯度，这个负压力将空气和各种碎片吸入空腔内，碎片主要包括弹头命中造成的头皮、骨头、衣服和污垢等物的碎片。穿透伤后的感染往往是由有机材料而不是无机的金属弹片造成的。

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。

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。



▲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

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。

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。

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。

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。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。

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。

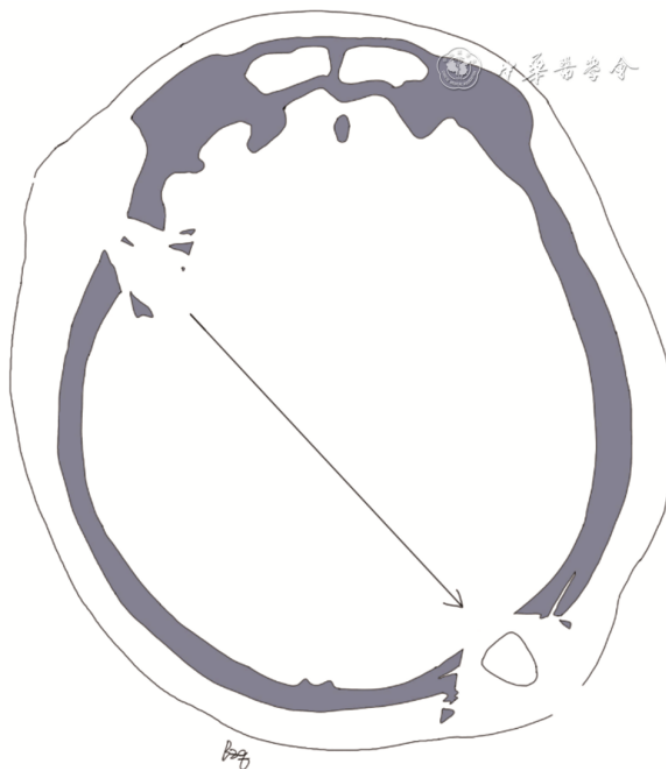
推荐意见 12: PBI 后生命体征改变发生率高,尤其是血压和呼吸。需要对血压、SaO₂ 进行常规监测,必要时进行血气 PaO₂ 检测。人工气道建立后还需要监测 EtCO₂。（共识度：100%）（B 级证据）

（三）局部伤口

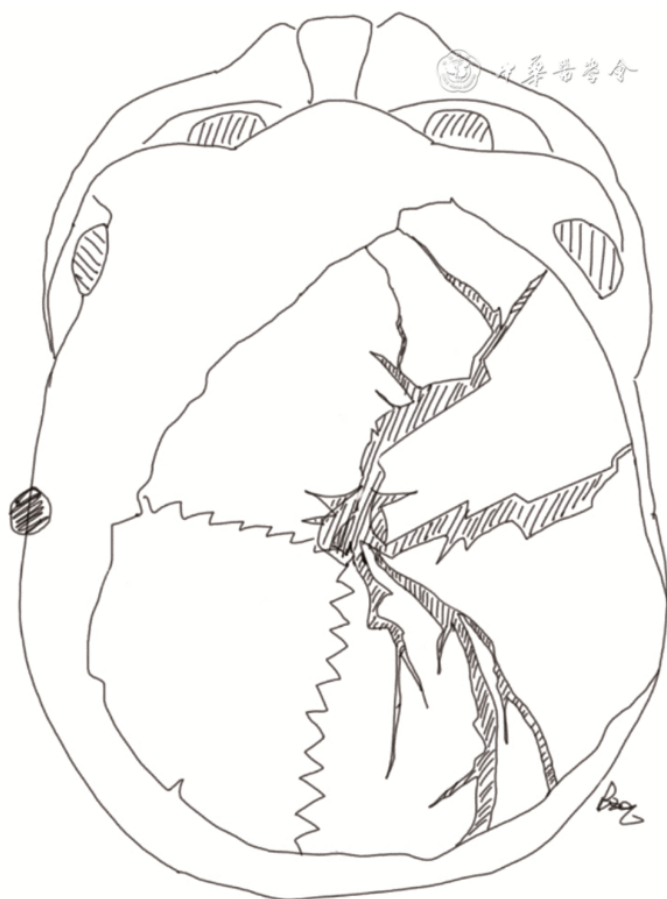
致伤物为钝器的 LVPBI，头皮挫裂伤创缘不整，颅骨呈粉碎性骨折伴凹陷，硬脑膜常被骨折片刺破，脑组织挫裂伤面积较大，可伴有颅内血肿及一定程度的对冲性脑损伤，常有异物、毛发、泥沙等污染创面，感染发生率高。如果是锐器伤，所致的头皮损伤创缘整齐，颅骨呈槽形裂开或陷入，硬脑膜及脑组织也有裂伤及出血，对冲性颅脑损伤少见。通常锐器伤污染较轻，颅内异物亦少见，感染发生率较低。高速火器性 PBI，大部分弹道伤都会穿透颅骨、脑膜和脑组织，引起穿透性损伤，导致头皮、颅骨和脑组织的损伤以及弹片等异物在颅内存留。头皮软组织和头发往往会嵌入脑组织中。如果穿透物速度很高，则有可能从头骨的另一边穿出，造成贯通伤。这样的贯通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折线（图 3）。



▲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



▲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、腿部或躯干的不自主运动（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。

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）。

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

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。

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%），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%）。

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。

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。

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。

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、腰椎和臀部。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。

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。

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）。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。

推荐意见 22：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/015104203214011230>