

肢体高压电烧伤软组织及血管损伤的影像学判断及临床意义

李利根 柴家科

解放军总医院第四医学中心全军烧伤研究所,北京 100048

通信作者:柴家科,Email:cjk304@126.com



【摘要】 肢体高压电烧伤致伤机制特殊而复杂,软组织、血管损伤严重且隐蔽,术前不容易判断其损伤程度和范围,影响诊断和治疗效果,是烧伤界的一个难题。几十年来国内外学者进行了系列临床研究,用多种影像学方法对软组织、血管损伤进行判断,各有优势与不足。按照准确、精细、安全、易行的原则,对肢体高压电烧伤软组织、血管损伤的影像学判断,一般选择行磁共振成像的同时行磁共振血管造影,需要对血管损伤做精细判断时再行 B 型超声。

【关键词】 烧伤,电; 磁共振成像; 磁共振血管造影术; CT 血管造影; B 型超声

DOI:10.3760/cma.j.cn501120-20190904-00371

Imaging judgment of soft tissue and vascular injuries in limbs with high-voltage electric burn and its clinical significance

Li Ligen, Chai Jiako

Institute of Burns, the Fourth Medical Center, PLA General Hospital, Beijing 100048, China

Corresponding author: Chai Jiako, Email: cjk304@126.com

【Abstract】 The injury mechanism of high-voltage electric burn in limbs is complex and special. The soft tissue and vascular injuries caused by high-voltage electric burn are serious and concealed. It is difficult to judge the severity and extent of injury before surgery, which affects the diagnosis and treatment effects and remains a major problem in burn field. In recent decades, a series of clinical studies have been conducted by scholars at home and abroad, using various imaging methods for the judgment of soft tissue and vascular injuries, which have their own advantages and disadvantages. According to the principle of accuracy, precision, safety, and easy operation, magnetic resonance imaging and magnetic resonance angiography are required at the same time in general for the imaging judgment of soft tissue and vascular injuries in limbs with high-voltage electric burn. The B-mode ultrasonography shall be performed if a precise judgment of vascular injury is needed.

【Key words】 Burns, electric; Magnetic resonance imaging; Magnetic resonance angiography; CT angiography; B-mode ultrasonography

DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20190904-00371

电烧伤是一种特殊原因的烧伤,是由于机体接触电流所造成的局部组织甚至全身脏器在结构和功

能上的损伤,通常较严重^[1-2],其发病率在不同时期不同国家报道不同。近 10 年国内电烧伤住院患者占同期烧伤住院患者的 9.1%~14.7%^[3-4],而国外为 1.1%~24.4%^[5-6]。电烧伤的损伤部位以上肢最为多见,占 63.2%~88.3%^[3,7],截肢率为 3.8%~18.0%^[3-4]。烧伤学术界一般把 1 000 V 以上电压造成的烧伤称为高压电烧伤。高压电烧伤致伤因素和机制更加特殊、复杂,局部软组织(如肌肉)、血管损伤严重,截肢率更高^[4,7]。其软组织血管损伤的特点不仅是损伤严重,且坏死组织隐蔽,组织损伤不仅局限于皮肤,还往往有深部组织损伤,如肌肉“夹心样”坏死、“跳跃式”坏死、“套袖样”坏死等,血管损伤,血栓形成,术前不容易判断损伤程度及范围,这是烧伤学术界多年来的一个难题。应用精确可靠、安全易行的方法,精确判断高压电烧伤软组织、血管损伤的程度和范围,是提高电烧伤治疗水平不可缺少的一部分。

1 高压电烧伤软组织和血管损伤的判断

1.1 软组织损伤的判断

国内外学者先后用^{99m}锝-焦磷酸盐扫描(^{99m}锝-PYP)核素显像、正电子发射断层显像(positron emission tomography, PET)、磁共振成像(MRI)等影像学方法判断高压电烧伤软组织损伤的程度和范围,但每种方法都有其优势和不足。

1.1.1 核素显像 1994 年,Hammond 最早使用^{99m}锝-PYP 判断高压电烧伤软组织损伤,其敏感度为 75%、特异度为 100%^[8]。核素显像的强弱程度可较直观反映深部软组织血供的改变及组织受损情况,且核素的显像强弱程度与血流灌注量呈正相关。核素缺失的区域提示软组织变性甚至坏死,这些情况可通过术中探查及组织病理学检查得到进一步证实。解放军总医院第四医学中心也曾应用^{99m}锝-PYP 判断高压电烧伤软组织损伤,该方法通过显示坏死组织部位血流灌注情况来判断软组织损伤情

况,虽然对损伤范围有一定的诊断作用,但仍有局限性,一是空间分辨率低,只能显示大范围的肌肉坏死;二是平面重叠,不能在三维空间准确标定组织坏死的部位和大小。

1.1.2 PET 采用 PET 技术判断软组织损伤,虽然可以三维定位,从矢状面、冠状面、横断面 3 个方位确定损伤软组织部位,但其空间分辨率低,仍不能较精细地显示小面积软组织损伤等,对精准清创手术帮助不大。

1.1.3 MRI 随着科学技术的发展,MRI 技术被用于临床。1996 年 Nettelblad 等^[9]采用 MRI 技术,根据 T1 加权像、T2 加权像信号变化判断高压电烧伤组织损伤情况,证实 MRI 可以明确深部肌肉坏死的程度和范围。我国学者也探索了 MRI 在判断高压电烧伤软组织损伤中的作用,证实了 MRI 技术是判断高压电烧伤软组织损伤的理想方法^[10]。根据 MRI 表现判定的高压电烧伤四肢骨骼肌完全坏死区、损伤区基本和术中探查的坏死组织、间生态组织分布一致,并与病理检查结果相符^[11]。

肢体高压电烧伤后软组织损伤有其独特的 MRI 影像学特征及变化规律,这对判断其损伤程度和范围至关重要^[12]。在 MRI 判断中,T1 加权像平行扫描等信号能显示肢体肌肉等软组织的大体形态,但不能区别损伤组织与正常组织。注入增强剂钆喷酸葡胺注射液行增强扫描后,病变部位肌肉等软组织 T1 加权像信号的变化有 2 种形式,一是高信号,扫描图像灰白不均,与周围正常组织界线清楚,但边界参差不齐,提示肌肉等软组织坏死或炎性水肿;当血管完全栓塞,血流中断时,肌肉坏死部位(如截肢肢体)T1 加权像信号不高而是等信号,与平行扫描时信号强弱相当。增强扫描时,T2 加权像信号在正常软组织呈均匀一致信号,可见肌束大体形态;在软组织坏死部位呈高信号,其信号强度高于 T1 加权像,但强弱不均,图像呈“云絮状”,与 T1 加权像表现不同的是其信号变化无明显界线,而是逐渐移行淡化,这些特征在冠状面、矢状面尤为突出。

术中 T1 加权像、T2 加权像高信号部位进行探查,可观察到该部位肌肉坏死或水肿。手术中观察到肌肉坏死有 2 种情况,一是肌肉部分坏死,呈间生态样,存在部分活力;二是肌肉苍白坏死,基本无活力。T2 加权像信号变化比 T1 加权像更敏感、更明显,高信号部位肌肉坏死或充血水肿,信号越强提示肌肉坏死越严重。术中探查血管完全闭塞,截除的肢体肌肉完全坏死,而 T1 加权像、T2 加权像表现

等信号,这与血管完全栓塞,肢体无血流通过有关。

临床研究结果表明,MRI 技术是目前判断高压电烧伤软组织损伤最理想的方法,具有以下优点:(1)定位准确。MRI 技术可以从矢状面、冠状面和横断面 3 个方位显示软组织损伤部位,且术中探查到的软组织损伤部位与 MRI 探查结果一致。(2)分辨率高。显示清晰、层次分明,在目前判断软组织损伤的方法中,MRI 是最能清晰显示软组织损伤部位和范围的方法,可显示肌群的轮廓和软组织损伤的形态、大小,甚至可显示 1 cm × 1 cm × 1 cm 的坏死灶。(3)灵敏度高。软组织损伤部位均出现异常信号,显示有组织损伤。(4)相对安全无创。MRI 无 X 线辐射,不需要动脉穿刺,只需静脉注入增强剂,且用量少,减少了造影剂过敏的风险和肾毒性^[9]。(5)在进行 MRI 检查时还可进行磁共振血管造影(MRA)检查血管损伤情况,这也是其他影像学检查所不具备的优势。

1.2 血管损伤的判断

以往对高压电烧伤血管损伤的形态学判断主要依靠术中探查或病理组织检查结果,缺乏客观、精确的影像学资料。自 20 世纪 90 年代以来,国内外先后应用动脉造影、数字减影血管造影(DSA)、CT 血管造影(CTA)、MRA、B 型超声和彩色多普勒血流成像(color Doppler flow imaging, CDFI)技术进行血管损伤判断,这些技术有各自的影像学特征以及优势和不足。

1.2.1 动脉造影 20 世纪 90 年代,对高压电烧伤血管损伤的判断多采用动脉造影,其形态学变化有动脉管腔狭窄、闭塞,分支减少或消失,动脉造影对严重血管损伤的诊断起了一定作用,是当时血管损伤诊断的“金标准”,但操作复杂,需要动脉穿刺,有 X 线辐射,造影剂用量大,存在加重血管损伤及肾损伤的风险。

1.2.2 DSA 随着科技进步,动脉造影被 DSA 技术所取代。DSA 是电子计算机与常规血管造影相结合的检查方法,通过图像的数字化处理,清除造影以外的骨骼、软组织与血管重叠部分的造影图像,使血管造影图像更清晰,对血管损伤的诊断更加方便^[13]。DSA 所显示的血管损伤病理变化主要有血管走行迂曲、管腔狭窄、扩张形成串珠样改变、肌支减少、血流缓慢等;组织损伤严重部位肌支减少,血管栓塞,术中探查见肌肉大部分坏死^[13]。DSA 的不足是仍需动脉插管,X 线辐射量大,含碘对比剂用量大,存在肾损伤风险,临床应用受到一定限制。

1.2.3 CTA CTA 是目前常用的微创血管检查技术, 仅需经静脉注射对比剂, 且应用后处理软件可以清楚显示血管病变的精细位置、范围和血栓形成情况, 具有强大的后处理功能^[14]。与 DSA 相比, CTA 的优势有以下几点: (1) 不需要动脉穿刺, 损伤小。(2) 造影剂经静脉注射, 剂量小, 并发症少, 相对安全。(3) 表现的影像学特征与 DSA 相似, 但密度分辨率高, 还可行血管重建, 有多种成像方法, 能 360° 旋转观察血管, 从多方位检查血管形态, 能更好地判断血管损伤情况。不过 CTA 也存在 X 线辐射、造影剂对肾脏有损伤的风险等不足, 图像需专业人员用软件进行处理。

1.2.4 MRA MRA 也是目前常用的判断血管损伤的方法^[12], 检查阳性率达 100%, 显示的主要病理变化为动脉血管“走行迂曲”, 血管增粗、血管扩张或狭窄、管腔信号不均匀。动脉变细或栓塞, 远端血流中断, 这些情况通过术中探查均可得到证实。其血管“走行迂曲”现象与 DSA 检查结果相似^[12]。与 DSA、CTA 相比, MRA 的优势在于如下几点: (1) 不需要动脉穿刺, 可通过静脉注入造影剂, 继发损伤相对小。(2) 造影剂剂量小, 肾毒性小。(3) 不存在 X 线辐射, 相对安全。(4) 在行 MRI 时可同时行 MRA, 这是一个突出的优点。MRA 的不足之处为受线圈宽度的限制, 对整个肢体(如下肢)的检查要分段进行。

1.2.5 B 型超声和 CDFI 以上 4 种血管损伤的判断方法, 都能从整体上判断肢体血管的走行、有无狭窄、有无血栓形成及血管闭塞, 但都有一个共同的不足, 即不能精细显示血管损伤形态, 比如血管内膜形态、血管壁厚度、管径大小、血流速度、血流量的变化^[13]。B 型超声和 CDFI 正好弥补了这些不足, 能够精细显示血管内膜形态、管壁厚度、管腔大小等的变化。电烧伤血管损伤常见的影像学特征有血管内膜粗糙不平、水肿或脱落, 管壁增厚, 管腔狭窄或扩张, 呈“瓶颈样”狭窄或串珠样改变, 血流量减少, 重者管壁坏死, 血栓形成等^[15]。B 型超声对血管损伤的判断结果在手术探查和组织病理学检查中得到了证实, 说明 B 型超声对血管损伤判断的准确性, 但是 B 型超声探头窄, 一次性探测范围有限, 对血管损伤的形态判断缺乏整体性和连续性。

2 高压电烧伤软组织和血管损伤判断方法的选择原则及方案

对于高压电烧伤软组织、血管损伤的影像学判

断方法的选择, 主要从以下 4 个方面综合考虑, 首先要考虑到判断的准确性, 即定位要准, 影像的分辨率、灵敏度要高, 确实能判断坏死组织的程度和范围; 其次是可显示微细结构的病理变化, 如 B 型超声检查可显示血管内膜、血管壁、管腔的微细变化; 再者是安全性, 就是要尽量避免影像学检查给患者带来的风险, 选择微创或无创、造影剂用量小、对肾脏损害轻或无损伤的检查; 最后是易行性, 即检查要尽量简便、快速, 尽量减少检查次数, 能一次完成的尽量一次完成。按照这样的原则, 目前判断高压电烧伤软组织、血管损伤比较理想的方案是: 做 MRI 的同时行 MRA, 需要对血管损伤做精细判断(如血管内膜损伤、管腔大小等)以及需要检测血流速度、血流量时可进一步行 B 型超声和 CDFI。MRI 可准确判断高压电烧伤软组织损伤的程度和范围, MRA 可显示血管损伤的大体形态, B 型超声可显示血管的微细变化, 这 3 种检查方法可对肢体高压电烧伤软组织及血管损伤进行准确精细判断, 且安全易行。

3 影像学方法判断高压电烧伤软组织、血管损伤的临床意义

影像学检查丰富了高压电烧伤软组织、血管损伤的影像学资料, 使临床医师对软组织、血管损伤的影像特征及变化规律有了比较系统的了解, 加深了对高压电烧伤软组织、血管损伤的认识, 对提高电烧伤的诊治水平起积极作用。

在无 MRI 检测之前, 临床医师很难精确判断高压电烧伤所造成的软组织损伤程度和范围, 在术前评估损伤程度、制订手术方案、评估预后等方面都有很多困难和不确定因素。有的高压电烧伤表面上看皮肤烧伤不深、面积不大, 而实际手术探查后可见深部肌肉大面积坏死; 有的表面看面积很大, 损伤很重, 但术中探查烧伤深度不深, 单纯行皮片移植即可。由于术前判断不精确, 在术中可能会出现一些问题, 一是手术探查有一定的盲目性, 二是清创可能不够彻底, 容易遗漏坏死组织。而在术前用 MRI 检查后, 不仅仅是依靠临床经验判断, 而是以影像学检查为客观依据, 明确显示坏死组织的部位和范围, 充分掌握病情, 评估预后, 制订合理的手术方案, 术中做到有的放矢, 既不会因盲目探查造成继发损伤, 也不会因清创不彻底遗留坏死组织。

以往临床医师主要根据临床特征来决定电烧伤后截肢情况以及截肢高度, 缺乏一种客观的影像学依据, MRI 可以显示肢体完全坏死的范围, MRA 显

示动脉栓塞高度,为截肢提供了可靠的影像学依据^[12]。

B 型超声能够显示血管内膜、管壁、管腔等微细病理形态变化,CDFI 可显示血流速度、血流量,这是其他影像学检查所不具备的优势。血管损伤由轻到重的病理变化可分成 3 部分:最轻微是内膜粗糙,其次是内膜水肿或脱落、管壁增厚、管腔狭窄、血流量低,最重的是管腔闭塞、血栓形成、管壁坏死、血流中断等。创面段病变最明显,通常距创缘 5 cm 以上血管内膜才接近正常,这将为血管吻合提供参考依据。

4 高压电烧伤软组织、血管损伤影像学判断存在的问题及展望

MRI 的应用在很大程度上解决了高压电烧伤坏死组织隐蔽,不容易判断的难题,但仍存在一些问题需要解决。在应用 MRI 判断软组织损伤时,肌肉坏死程度以及与炎性水肿的区别还不十分准确,需要探讨更精细的方法去区分。血管影像学检查对二级分支以下血管显示不是很清晰,这也需要进一步探讨。虽然通过影像学检查有些现象得到了解释,如管腔的狭窄是由于管壁、内膜增厚造成的,但观察到的一些新现象的机制还不清楚,如为什么肢体高压电烧伤后动脉血管呈“迂曲走行”,特别是上肢尺、桡动脉“迂曲走行”明显,这对血管损伤、肌肉坏死有什么影响,“迂曲走行”的尺、桡动脉是否还能恢复正常形态等需要进一步观察。目前对软组织、血管损伤判断的影像学检查还缺乏动态监测以及对组织活性做定量检测的方法,但这些对软组织、血管损伤的判断也是很有必要的,需要进一步探索。事物的发展是无止境的,人们对事物的认识也是无穷的,新的检查方法会不断用于临床,以进一步提高电烧伤的诊断治疗水平。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 柴家科. 实用烧伤外科学[M]. 北京:人民军医出版社, 2014.
- [2] Chai JK, Li LG, Gao QW, et al. Establishment of soft-tissue-injury model of high-voltage electrical burn and observation of its pathological changes[J]. Burns, 2009, 35(8): 1158-1164. DOI:10.1016/j.burns.2009.02.010.
- [3] 蒋梅君,李泽,谢卫国. 2133 例电烧伤住院患者流行病学调查[J]. 中华烧伤杂志, 2017, 33(12): 732-737. DOI: 10.3760/cma.j.issn.10092587.2017.12.003.
- [4] Li H, Tan J, Zhou J, Yuan Z, et al. Wound management and outcome of 595 electrical burns in a major burn center[J]. J Surg Res, 2017, 214:182-189. DOI: 10.1016/j.jss.2017.02.032.
- [5] Lipový B, Kaloudová Y, Ríhová H, et al. High voltage electrical injury: an 11-year single center epidemiological study[J]. Ann Burns Fire Disasters, 2014, 27(2): 82-86.
- [6] Srivastava S, Kumari H, Singh A. Electrical burn injury: a comparison of outcomes of high voltage versus low voltage injury in an Indian scenario[J]. Ann Burns Fire Disasters, 2018, 31(3): 174-177.
- [7] 文一臻,张丕红,任利成,等. 136 例上肢电烧伤患者的临床特征及修复效果[J]. 中华烧伤杂志, 2019, 35(11): 784-789. DOI:10.3760/cma.j.issn.1009.2587.2019.11.004.
- [8] Hammond J, Ward CG. The use of Technetium-99 pyrophosphate scanning in management of high voltage electrical injuries[J]. Am Surg, 1994, 60(11): 886-888.
- [9] Nettelblad H, Thuomas KA, Sjöberg F. Magnetic resonance imaging: a new diagnostic aid in the care of high voltage electrical burns[J]. Burns, 1996, 22(2): 117-119. DOI:10.1016/0305-4179(95)00104-2.
- [10] 李利根,柴家科,杨红明,等. 核磁共振成像(MRI)技术在判断高压电烧伤软组织损伤中的临床应用[C]. //中华医学会烧伤外科学分会. 第八届全国烧伤外科学年会论文汇编, 广州, 2007.
- [11] 黎淑娟,王正磊,朱维平,等. 四肢高压电烧伤早期磁共振成像特点的临床研究[J]. 中华烧伤杂志, 2017, 33(12): 750-756. DOI:10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2017.12.006.
- [12] Ligen L, Hongming Y, Feng L, et al. Magnetic resonance imaging features of soft tissue and vascular injuries after high-voltage electrical burns and their clinical application[J]. Injury, 2012, 43(9): 1445-1450. DOI: 10.1016/j.injury.2011.06.416.
- [13] Li L, Chai J, Sheng ZC, et al. A comparative study on the predictive value of digital subtraction angiography and B-mode ultrasonography in evaluating arterial injury in high-voltage electrical burn of the forearm[J]. J Burn Care Res, 2006, 27(4): 502-507. DOI: 10.1097/01.BCR.0000226057.29918.1B.
- [14] 吴有森,鲍海华,孙艳秋,等. CT 血管成像在四肢高压电击伤中的应用[J]. 实用放射学杂志, 2012, 28(10): 1595-1596. DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2012.10.028.
- [15] 柴家科,李利根,陈越秀,等. 超声检测技术在判断腕部电烧伤血管损伤中的应用[J]. 中华外科杂志, 2003, 41(12): 932-934. DOI:10.3760/j.issn:0529-5815.2003.12.014.

(收稿日期:2019-09-04)

本文引用格式

李利根,柴家科. 肢体高压电烧伤软组织及血管损伤的影像学判断及临床意义[J]. 中华烧伤杂志, 2020, 36(11): 1009-1012. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20190904-00371.
Li LG, Chai JK. Imaging judgment of soft tissue and vascular injuries in limbs with high-voltage electric burn and its clinical significance[J]. Chin J Burns, 2020, 36(11): 1009-1012. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20190904-00371.