

# Development of ultrasound in diagnosis of bone fractures

ZHOU Teng<sup>1</sup>, LUO Wen<sup>2\*</sup>

(1. Cadet Brigade, Air Force Military Medical University, Xian 710032, China;

2. Department of Ultrasound, Xijing Hospital, Air Force Military

Medical University, Xian 710032, China)

**[Abstract]** Ultrasound can supply information of the position, size, displacement of fracture end and edema or hematoma of surrounding tissue through multi-directional scanning, which has been used in diagnosis of bone fractures, especially in some occult fractures in ribs, metacarpals, cartilages, nasal bones and so on. The application and development of ultrasound in diagnosis of bone fractures were reviewed in this article.

**[Keywords]** fractures, bone; ultrasonography; diagnosis

**DOI:**10.13929/j.issn.1003-3289.2020.06.000

## 超声诊断骨折进展

周 腾<sup>1</sup>, 罗 文<sup>2\*</sup>

(1. 空军军医大学学员旅, 陕西 西安 710032; 2. 中国人民解放军空军军医大学西京医院超声科, 陕西 西安 710032)

**[摘 要]** 超声可通过多方位扫查观察骨折部位、大小、断端移位及周围组织水肿或血肿, 已用于诊断肋骨、掌骨、软骨、鼻骨等部位骨折, 为临床诊断骨折、尤其隐匿性骨折提供重要依据。本文对超声成像技术在骨折诊断中的应用和发展进行综述。

**[关键词]** 骨折; 超声检查; 诊断

**[中图分类号]** R683; R445.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2020)06-0000-00

目前超声在很多疾病、包括骨相关疾病的诊断和治疗决策过程中发挥重要作用<sup>[1]</sup>。超声可为诊断骨折提供有价值的信息<sup>[1-2]</sup>。高分辨率超声可根据骨皮质断裂情况判断骨折形态、移位情况及有无碎片, 同时评估周围脏器有无损伤, 指导临床选择治疗方案, 尤其适用于对于孕妇、儿童等特殊人群。

### 1 骨折及愈合过程

骨折可分为创伤性骨折和病理性骨折, 多引起周围软组织或血管损伤; 其愈合过程分为血肿机化期、骨痂形成期和骨痂塑型期。血肿机化期是骨折愈合初期, 骨折部位周围组织形成血肿, 伤后 6~8 h 骨折所致坏死组织激活体内炎症反应, 形成肉芽组织, 一般为 2 周。随后进入骨痂形成期, 骨内化骨使得内外骨痂

出现, 并逐渐转变为软骨组织经钙化成骨, 持续 12~24 周<sup>[3]</sup>。最后为骨痂塑型期, 新生骨小梁增粗, 排序规则、致密, 破骨和成骨细胞侵入骨折处坏死骨, 完成死骨清除和新骨形成<sup>[4]</sup>。

### 2 高频超声诊断骨折

超声声束进入人体内遇骨骼致密界面时产生强烈反射, 使声束无法探及深层组织, 在屏幕上形成线样强回声。高频超声的分辨率和穿透力均有显著提升, 超声显示骨皮质更加清晰, 使超声诊断骨折成为可能。

通常采用频率为 8~12 MHz 的高频探头, 先于疼痛或肿胀部位观察骨皮质连续性是否完整, 发现连续性中断时, 以之为中心进行多角度全方位扫查, 存在骨折时可见断端错位呈现“阶梯状”或散在碎片状隆起,

**[第一作者]** 周腾(1997—), 男, 海南海口人, 本科, 医师。研究方向: 肌肉骨骼超声。E-mail: 448699810@qq.com

**[通信作者]** 罗文, 中国人民解放军空军军医大学西京医院超声科, 710032。E-mail: 503883752@qq.com

**[收稿日期]** 2019-12-13 **[修回日期]** 2020-05-14

周围组织水肿充血或骨膜增厚<sup>[4]</sup>。骨痂形成期骨折部位可见拱桥样回声,伴后方声影,但骨折线不清晰;至骨痂塑形期,拱桥样回声缩小直到消失,骨折线也逐渐消失,骨皮质回声完整<sup>[5]</sup>。

**2.1 长骨骨折** 长骨骨折是最常见的创伤性骨折之一。目前传统 X 线摄影仍是诊断骨折和监测愈合过程的最常用方法,超声则因其便携、无创、无辐射、可重复等优势成为为另一种选择。

长骨骨折分类通常取决于其形态和方向,如横向、斜型、螺旋、粉碎、压缩和青枝骨折等,常见于肱骨、桡骨、尺骨、股骨、胫骨及腓骨等。扫查时在纵向平面上采用高频直线探头,于患处厚覆超声凝胶,沿长轴方向调整深度和增益,以优化图像。屏幕中最深的高回声水平线代表骨皮质<sup>[6]</sup>,其后为声影,存在骨折时,可见骨皮质线连续性中断(图 1)<sup>[7]</sup>。远端骨折移位和成角声像图表现为向内明显凹陷,并形成皮质分离角度<sup>[8]</sup>。

NERI 等<sup>[9]</sup>发现高频超声可检出尺桡骨约 1 mm 微小骨折。王玲等<sup>[10]</sup>以声像图中尺桡骨远端骨回声连续性中断、错位来判断骨折;LEI 等<sup>[11]</sup>以超声诊断前臂骨折,敏感度达 97%,准确率 100%;HERREN 等<sup>[12]</sup>以超声诊断尺桡骨远端骨折,敏感度和准确度均达 99.5%,且显示软组织水肿、充血及骨膜增厚亦佳;但对于靠近关节处的骨折,应选择其他诊断方式。

**2.2 肋骨骨折** 体检和放射学检查是诊断肋骨骨折的主要方式。超声检查时,应使高频线性超声垂直于肋骨长轴并沿其走行方向在最大压痛点周围 10 cm 范围内扫查,通过肋骨后的阴影区分胸膜线和肋骨皮质<sup>[13]</sup>。超声能发现肋骨回声连续性中断、边缘不光整、错位等问题,减少因骨重叠所致漏诊。石文意等<sup>[14]</sup>认为超声可显示断端错位 0.5 mm 以上的肋骨骨折。PISHBIN 等<sup>[15]</sup>观察一组 61 例肋骨骨折,超声和 X 线均能检出 38 例 59

处肋骨骨折。张雷等<sup>[16]</sup>则发现超声诊断肋骨骨折比 X 线更为敏感。另外,超声可诊断肋骨病理性骨折(图 2)<sup>[17]</sup>。

SIRMALI 等<sup>[18]</sup>通过超声观察发现 1/3 肋骨骨折患者出现胸部钝挫伤,可造成急性并发症如气胸、血胸、肺挫伤及连枷胸等,提示超声对于判断肋骨骨折并发症如血气胸及软组织血肿等同样具有较高价值。

**2.3 掌骨骨折** 手掌解剖学结构特殊,超声无法如四肢骨一样进行清晰扫描并成像,如对第 3 和第 4 掌骨,受第 1 和第 5 掌骨影响,仅能从掌面和背面扫查,无法进行侧面扫描<sup>[19]</sup>。应在手掌肿胀、畸形、活动度异常部位尽可能贴近掌骨扫描,并与健侧掌骨进行对比,观察骨质连续性,进而判断是否存在骨折。王雷等<sup>[20]</sup>以超声诊断闭合性掌骨骨折,可显示掌骨骨折处骨皮质连续性中断及周围组织血肿和渗出(图 3),敏感度和准确率分别达 94.59% 和 92.31%,与 X 线具有很好的一致性。

**2.4 软骨骨折** X 线片通常无法显示软骨骨折,超声

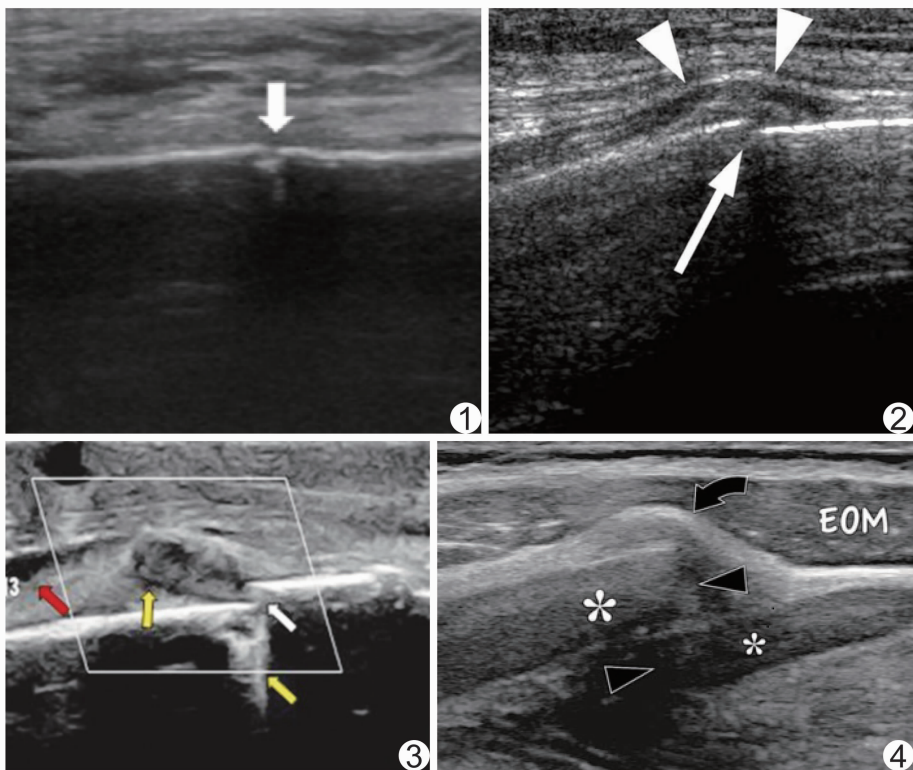


图 1 患者男,33 岁,左侧腓骨骨折,超声图像显示腓骨线性骨折<sup>[12]</sup>

图 2 患者男,43 岁,肋骨骨折,超声显示肋骨骨皮质破裂(箭)和血肿形成<sup>[17]</sup>

图 3 患者男,35 岁,左侧第 3 掌骨干骨折,超声纵轴扫查见骨皮质连续性中断(白箭),骨膜增厚,回声增强(红箭),骨折周围血肿与渗出(黄箭)<sup>[20]</sup>

图 4 患者男,22 岁,肋软骨骨折,超声声像图显示软骨完全移位骨折<sup>[23]</sup> 箭头指向两个片段重叠,后段(大星号)大于前段(小星号),邻近软组织肿胀(弧形箭头) EOM:外斜肌

对此具有独特优势。软骨具有较好的传导声波特性, 软骨骨折时, 超声声像图可见回声低落、边界模糊不清等表现<sup>[21]</sup>。常洪波等<sup>[22]</sup>认为软骨骨折与肋骨骨折不同, 超声声像图多表现为骨错位, 不出现骨皮质连续性中断, 而是一端软骨膜连接另一端软骨, 并可清晰显示断端分离呈高回声, 两端连接线多呈弧状, 周围软组织血肿呈低回声。BORTOLOTTI 等<sup>[23]</sup>发现 1 例软骨骨折超声图像表现为断端移位、周围软组织肿胀, 而骨皮质连续性仍然完好(图 4)。

**2.5 隐匿性骨折** 隐匿性骨折是指骨的完整性和连续性中断, 但 X 线片中无明显骨折迹象。高频超声可检出 0.5 cm 的细微骨折<sup>[14]</sup>。早期高频超声根据骨折处骨皮质回声带断裂或恢复期出现骨痂诊断隐匿性骨折。PAVI 等<sup>[24]</sup>发现超声诊断隐匿性骨折的敏感度高, 皮质不连续可作为直接诊断证据, 剥离畸形、微小撕脱骨碎片、皮质边缘双线外观和骨表面不规则为其间接征象。

**2.6 鼻骨骨折** 鼻骨突出于人体面部, 结构脆弱易受损, 骨折严重时可出现鼻塞、鼻充血、睡眠障碍及呼吸困难等症状。在体检之外, X 线片最常用于检查鼻骨骨折, 但对其可靠性仍存在争议。鼻部超声近年来发展迅速。LOU 等<sup>[25]</sup>将充满水的外科手术手放置于探头及鼻部皮肤之间, 使水囊与鼻表面完全接触, 探头紧贴水囊, 以获取清晰图像, 发现鼻骨皮质断裂、偏曲、中断或皮下异位空气均提示鼻骨骨折。

### 3 超声的优势及局限性

高频超声成像可发现 0.1 cm 左右骨折线<sup>[20]</sup>, X 线则需要骨折线达到 0.3 cm 以上方可检出。对于隐匿性骨折, 超声能显示轻微骨折、观察软组织水肿充血及局部骨膜增厚, 而 X 线难以观察骨折所致细小重叠和错位。KHU 等<sup>[26]</sup>观察 1 例双膝疼痛患者, 彩色多普勒超声显示胫骨平台有明显血管信号, 结合临床诊断疲劳性骨折, 后经 MRI 证实。相比 X 线, 高频超声可多方位、多角度操作, 避免辐射危害, 对于青少年、儿童及孕妇更为安全。

CT 能显示骨关节内骨折, MRI 能更好地发现骨折伴随软组织损伤等, 但在条件受限环境中难以应用<sup>[27]</sup>。超声设备便捷、可移动, 在战场和重大灾害现场可迅速投入使用, 快速检出骨折, 防止病情恶化。DALLAUDIÈRE 等<sup>[28]</sup>在条件受限环境中以超声诊断 83 例骨折, 准确率达 99%。

超声检查骨折受超声波物理性质的影响, 无法观察骨质内部, 且观测深度有一定局限性。另外, 超声具

有主观性, 对检查技术依赖性强。有学者<sup>[2,20]</sup>认为超声检测部分骨折较 X 线更具价值, 但在真正投入临床普遍应用之前, 需要进行大样本研究, 以建立诊断金标准。

### 4 相关研究进展

近年来出现了一系列超声技术用于高效诊断骨折。HANS 等<sup>[29]</sup>发现定量超声可替代双功能 X 射线用于测量骨密度; 临床可考虑以定量超声测量骨密度, 由此预测发生骨折风险。图像采集、重建算法以及容积绘制构建高分辨率三维图像成为新的成像方式<sup>[30]</sup>。三维骨骼超声可便捷、无创地展现类似三维螺旋 CT 的骨骼图像, 用于诊断骨折前景广阔。HWANG 等<sup>[31]</sup>行产前二维超声发现胎儿股骨短于预期长度, 但未见骨折或畸形, 后经三维骨骼超声成像诊断宫内胎儿股骨骨折。

CHEN 等<sup>[32]</sup>以 50 MHz 高频超声观察小鼠骨折模型骨折后 2 周的炎症反应, 发现超声所示高回声与炎症反应正相关, 提示超声能以非侵入性方式监测骨折愈合进展。MOLL 等<sup>[33]</sup>采用一种固定于骨表面的压电换能器检测骨折愈合过程, 该设备以电阻抗谱模拟骨折, 并将收集到的数据传输到位于皮肤表面的接收器上, 从而可使患者在很大程度上避免 X 线复查所带来的辐射。GHAVAMI 等<sup>[34]</sup>发现超声辐射力激发不同骨骼产生的波速具有显著差异, 在完整骨骼和骨折部位差异最为明显; 通过识别骨折部位在愈合期的波速变化并与对应的完整骨骼比较, 可准确监测骨折愈合进展。

综上所述, 超声对于筛查及诊断长骨、肋骨等部位的骨折, 尤其是隐匿型骨折及软骨骨折具有一定价值, 可有效提高诊断准确率; 但对于关节腔内骨折及深部骨折, 需结合 CT、X 线及 MRI 等。作为一种可移动设备, 未来超声有可能广泛用于床旁诊断, 更加便捷、迅速地诊断骨折<sup>[35]</sup>。

### [参考文献]

- [1] 康秋华, 朱淑娥. 高频超声诊断肋骨骨折的应用价值研究[J]. 影像研究与医学应用, 2019, 3(7): 62-63.
- [2] 赵丽, 赵胜军, 徐洪. 高频超声在急诊创伤骨折中诊断价值研究[J]. 临床军医杂志, 2018, 46(7): 759-762, 766.
- [3] 杨楠, 陈跃平, 章晓云. 分子信号通路及细胞层面的骨折愈合机制[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(20): 3188-3194.
- [4] 刘振东. 经典骨愈合原理与牵拉成骨机制//中国康协肢残康复专业委员会第 22 届中国康协肢残康复学术年会暨生物治疗研讨会

- 论文汇编[C]. 泰安:《中国矫形外科杂志》社, 2015:75-98.
- [5] 王晓玲, 牛晓泉. 彩色多普勒超声对骨折的诊断方法及价值评估[J]. 临床军医杂志, 2013, 41(11):1176-1177.
  - [6] CHARTIER L B, BOSCO L, LAPOINTE-SHAW L, et al. Use of point-of-care ultrasound in long bone fractures: A systematic review and meta-analysis[J]. CJEM, 2017, 19(2):131-142.
  - [7] AVCI M, KOZACI N, TULUBAS G, et al. Comparison of point-of-care ultrasonography and radiography in the diagnosis of long-bone fractures[J]. Medicina (Kaunas), 2019, 55(7):1648-9144.
  - [8] MAJEED M, MUKHERJEE A, PAW R. Ultrasound-guided hematoma block and fracture reduction: A new way to go forward[J]. Crit Care, 2010, 14(1):269.
  - [9] NERI E, BARBI E, RABACH I, et al. Diagnostic accuracy of ultrasonography for hand bony fracture in paediatric patients[J]. Arch Dis Child, 2014, 99(12):1087-1090.
  - [10] 王玲, 王梦书, 周奇. 超声诊断尺桡骨远端骨折价值的系统评价[J]. 中国循证医学杂志, 2017, 17(2):213-220.
  - [11] CHEN L, KIM Y, MOORE C L. Diagnosis and guided reduction of forearm fractures in children using bedside ultrasound[J]. Pediatr Emerg Care, 2007, 23(8):528-531.
  - [12] HERREN C, SOBOTTKE R, RINGE M J, et al. Ultrasound-guided diagnosis of fractures of the distal forearm in children[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2015, 101(4):501-505.
  - [13] LALANDE É, GUIMONT C, ÉMOND M, et al. Feasibility of emergency department point-of-care ultrasound for rib fracture diagnosis in minor thoracic injury[J]. CJEM, 2017, 19(3):213-219.
  - [14] 石文意. 高频彩色超声多普勒在隐匿性肋骨骨折诊断及预后的临床价值[J]. 实用医学影像杂志, 2017, 18(3):249-250.
  - [15] PISHBIN E, AHMADI K, FOOGARDI M, et al. Comparison of ultrasonography and radiography in diagnosis of rib fractures[J]. Chin J Traumatol, 2017, 20(4):226-228.
  - [16] 张雷, 臧海军, 庞国庆, 等. 高频超声与 X 线和 CT 三维成像在肋骨骨折诊断中的比较研究[J]. 河北医药, 2018, 40(3):437-439.
  - [17] PAIK S H, CHUNG M J, PARK J S, et al. High-resolution sonography of the rib: Can fracture and metastasis be differentiated? [J]. AJR Am J Roentgenol, 2005, 183(3):969-974.
  - [18] SIRMALI M, TURUT H, TOPCU S, et al. A comprehensive analysis of traumatic rib fractures: Morbidity, mortality and management[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2003, 24(1):133-138.
  - [19] KOZACI N, AY M O, AKCIMEN M, et al. The effectiveness of bedside point-of-care ultrasonography in the diagnosis and management of metacarpal fractures[J]. Am J Emerg Med, 2015, 33(10):1468-1472.
  - [20] 王雷, 王孝辉, 李无阴, 等. 超声对成人闭合性掌骨骨折的诊断价值[J]. 中医正骨, 2017, 29(9):28-30.
  - [21] 李飞. 16 层螺旋 CT 与超声在肋软骨骨折诊断中的对比分析[J]. 医学影像, 2017, 17(65):144.
  - [22] 常洪波. 软骨骨折的超声诊断[J]. 中华医学超声杂志, 2008, 5(1):80-86.
  - [23] BORTOLOTTI C, FEDERICI E, DRAGHI F, et al. Sonographic diagnosis of a radiographically occult displaced fracture of a costal cartilage[J]. J Clin Ultrasound, 2017, 45(9):605-607.
  - [24] PAVIĆ R, MARGETIĆ P, HNATEŠEN D. Diagnosis of occult radial head and neck fracture in adults[J]. Injury, 2015, 46(6):119-124.
  - [25] LOU Y T, LIN H L, LEE S S, et al. Conductor-assisted nasal sonography: An innovative technique for rapid and accurate detection of nasal bone fracture[J]. J Trauma Acute Care Surg, 2012, 72(1):306-311.
  - [26] KHY V, WYSSA B, BIANCHI S. Bilateral stress fracture of the tibia diagnosed by ultrasound. A case report [J]. J Ultrasound, 2012, 15(2):130-134.
  - [27] ARENDT E A, GRIFFITHS H J. The use of MR imaging in the assessment and clinical management of stress reactions of bone in high-performance athletes[J]. Clin Sports Med, 1997, 16(2):291-306.
  - [28] DALLAUDIÈRE B, LARBI A, LEFERE M, et al. Musculoskeletal injuries in a resource constrained environment: Comparing diagnostic accuracy of on-the-spot ultrasonography and conventional radiography for bone fracture screening during the Paris-Dakar rally raid[J]. Acta Radiol, 2015, 4(5):1-7.
  - [29] HANS D, BAIM S. Quantitative Ultrasound (QUS) in the management of osteoporosis and assessment of fracture risk[J]. J Clin Densitom, 2017, 20(3):322-333.
  - [30] HUANG Q, ZENG Z. A review on real-time 3D ultrasound imaging technology[J]. Biomed Res Int, 2017:6027029.
  - [31] HWANG J Y, LEE J Y, LEE D H. Diagnosis of fetal femoral fracture by midtrimester three-dimensional ultrasound[J]. Int J Gynaecol Obstet, 2009, 104(1):69-70.
  - [32] CHEN Y C, LIN Y H, WANG S H, et al. Monitoring tissue inflammation and responses to drug treatments in early stages of mice bone fracture using 50 MHz ultrasound[J]. Ultrasonics, 2014, 54(1):177-186.
  - [33] MOLL J, KEXEL C, MILANCHIAN H, et al. Ultrasound bone fracture sensing and data communication: Experimental results in a pig limb sample[J]. Ultrasound Med Biol, 2019, 45(2):605-611.
  - [34] GHAVAMI S, GREGORY A, WEBB J, et al. Ultrasound radiation force for the assessment of bone fracture healing in children: An in vivo pilot study[J]. Sensors (Basel), 2019, 19(4):955.
  - [35] GOLIKHATIR I, BOZORGI F, PASHAEI S M. Role of bedside ultrasound in detection of bone fractures in pediatrics and adults[J]. J Ayub Med Coll Abbottabad, 2018, 30(1):115-118.