



CHINESE TRANSLATION

EFSUMB 教科书，第二版

编辑： Christoph F. Dietrich

骨折超声

Ole Ackermann¹, Kolja Eckert²

中文翻译与校对： 贾滢莘³, 刘琳⁴, 梁萍⁵

¹Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum; ²Marienhospital Gelsenkirchen, Virchowstr. 122, 45886 Gelsenkirchen; ³四川大学华西四院超声科, 成都, 中国; ⁴郑州大学第一附属医院超声科, 郑州, 中国; ⁵中国人民解放军总医院介入超声科, 北京, 中国

通讯作者：

Ole Ackermann, 教授, Ph.D

Ruhr-Universität Bochum

Universitätsstraße 150

44801 Bochum

电子邮件: dr.med.ackermann@gmx.de

简介

1975 年以来出现了关于骨折超声成像的研究（1）。大量研究着眼于超声诊断骨折的可行性，结果表明超声具有一定的潜力（2, 3），但并没有将其的灵敏度和特异度与放射检查进行比较。因此，该方法的临床应用一直仅限于专业程度很高的检查者。

直到 2006 年，一项与 X 线检查进行的对比研究才明确了骨折超声的适应证、安全性，并制定了适用于临床的应用标准（4）。德国科学医学协会（Association of scientific Medical associations，AWMF）于 2023 年 2 月发布了骨折超声的检查指南。

骨折超声技术和适应证

技术

超声检查技术

骨折超声检查常规使用 4-12 MHz 的线阵探头，设备无特殊要求。如果配备有自动角度测量更好，但不强求设备具备此项功能。

由于骨骼和软组织之间的声阻抗差很大，超声波会在骨皮质表面发生全反射，从而很好的显示骨皮质表面，但无法观察到深层次的骨松质。

骨的超声图像

超声可以很好地显示骨表面的改变。与 X 线相比，超声检查的优点是可以进行多角度、多平面的观察，而且没有重叠成像的问题。同时，超声还能对周围的软组织进行断面检查，显示关节腔积液、水肿和局部血管等。但是，超声的局限是，难以很好显示深部结构和关节内骨折。

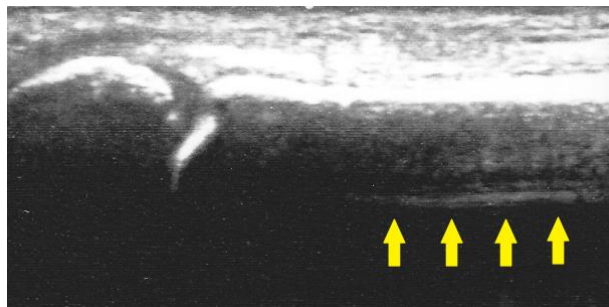
超声对软骨的显示有限，对肌肉、脂肪和血管等软组织的显示很好，但这一特性对骨折的诊断没有特别的影响，因为任何合并严重软组织损伤的骨折都应该进行 X 线检查。

超声对骨骼畸形的测量精度在 2° 左右 (4, 5)。严重的畸形虽然很难准确衡量, 但这些畸形的临床表现都非常明显, 且必须进行外科矫治 (6)。

由于超声的应用, X 线作为诊断骨折的金标准地位正在发生改变 (7)。一些研究表明, 超声能够显示 X 线无法显示的微小骨折 (5, 8)。X 线对骨折的诊断通常要基于两个方位的图像, 而这两个投射方位未见得是正好合适的 (9)。但是超声可以进行任意的多方位扫查, 以达到对骨折的最佳显示 (9)。

多数线阵探头的图像宽度在 4 至 6 厘米, 对于更宽的结构, 需要进行分段连续检查。对于弓形骨折或骨干骨折, 通常要进行分段连续扫查以了解骨折全貌。由于声波的全反射, 骨组织表现为锐利的线状强回声, 骨皮质后方的回声则为伪像[图 1]。

图 1 (*) 骨皮质高回声后方的组织是无法显示的, 箭头所指的线状回声是伪像。



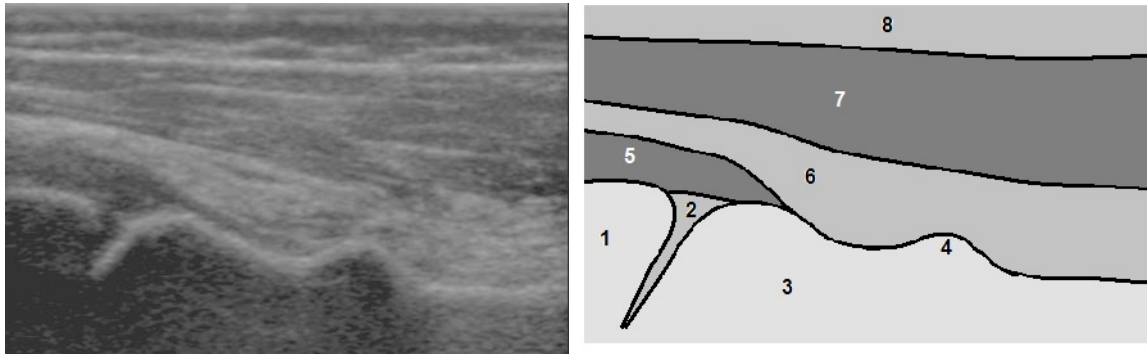
骨周围的肌肉、脂肪组织和神经: 超声表现与其他部位类似, 彼此之间的分辨都是较为清晰的, 水肿、肌肉撕裂等异常可以通过超声明确诊断。

腕关节囊: 表现为一条锐利的细线, 覆盖在黑色的关节腔表面。

骺板: 本身没有回声, 但可以通过骨骺和干骺端的位置来进行评估。

软骨: 本身没有回声, 图像上无法直接显示[图 2]。

图 2 骨和软组织的回声清晰可见, 软骨和骺板为无回声结构。1-骨骺, 2-骺板, 3-干骺端, 4 隆起的骨折处, 5-关节囊, 6-深层脂肪, 7-肌肉, 8-皮肤和皮下脂肪 (*)。



骨折超声的临床应用

患者年龄

超声诊断骨折适用于 0-12 岁的患者。这一年龄段的患者很少发生关节内骨折，而几乎所有发生的骨折都伴随有骨皮质的改变。此外，低龄患者的肢体软组织较薄也有利于声波的穿透。

生长期机体组织对辐射的敏感性较高，因此无辐射的超声检查对低龄患者更加适宜。此外，低龄骨折患者矫正复位的可能性很大，超声引导下进行治疗则更为安全。

骨折定位

超声并不能无差异地应用于所有骨折。对于不同的骨折病例，必须进行全面而有重点的扫查。超声检查只在以下情况下具有绝对优势：1) 需要避免电离辐射；2) 可以提高骨折的诊断质量。

多项研究已经明确了可以进行骨折超声检查的部位（10-13）。生长期患者的三个主要适应证如下：

1. 腕部骨折：该部位的诊断和治疗完全依赖于超声检查。X 线检查仅限于一些特殊情况。腕部骨折发生率很高，应用超声检查可以明显减少此类患者接受的辐照。

2. 肘部骨折：超声检查可以作为肘部骨折的筛查手段，排除关节内病变。如果超声怀疑有骨折（可能性约 30%），则必须拍摄两个体位的 X 光片，如果超声可以排除骨折，则无需再行 X 线检查。

3. 肱骨近端骨折：超声检查可以排除骨折，并避免电离辐射。如果确实发生了骨折，相较于 X 线检查，超声能更好地观察骨折畸形。

除上述三个适应证外，超声检查对以下类型骨折也是有价值的独立或辅助诊断手段：

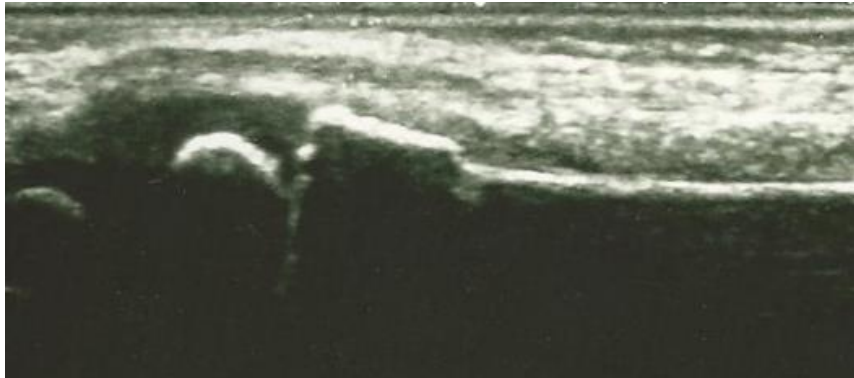
- 颅骨骨折（儿童）
- 锁骨骨折（儿童）
- 肩锁关节脱位（所有年龄段）
- 胸锁关节脱位（所有年龄段）
- 肩胛骨骨折（成人）
- 腕三角骨骨折（成人）
- 掌骨头下骨折（所有年龄段）
- 掌骨板撕脱（所有年龄段）
- 肋骨骨折（成人）
- 胸骨骨折（成人）
- 股骨环面骨折（儿童）
- 小腿骨折/幼儿骨折（儿童）
- 足中部骨折（所有年龄段）
- 应力性骨折（所有年龄段）
- 胼胝显像（所有年龄段）
- 假关节（成人）

超声记录原则

由于打印出来的超声图像无法显示骨折的具体位置和形态，因此对留存的图像质量要求很高。除了要有患者身份信息，还要记录骨骼名称、切面和侧别。使用下面提到的诊断标准程序可以简化这一流程。

骨折的超声检查基本只使用长轴切面（与骨长轴平行），短轴切面对诊断少有益处。对于骨骺的应当从左到右将骨骺和骨干的超声图像完整留存下来[图 3]。

图 3 骨骺的标准超声存图，从左到右以长轴方向显示骨的图像（*）。



腕部骨折

基础知识/解剖学

桡骨和尺骨的远端骨骺对臂前长度增长的贡献率达 80%，因此具有巨大的自我矫正恢复潜能。前臂远端骨折是儿童时期最常见的骨折，90% 的病例都可采取保守治疗。

超声可以显示腕关节及周围的骨骺、骺板、干骺端和骨干，以及皮肤、皮下组织、肌肉、深部脂肪和血管等软组织。

骨折的诊断和处理可以完全依赖于超声检查。超声对骨折的显示非常清楚，而关节内骨折则极为罕见。

患者准备

暴露肢体后，以放松的仰卧或坐姿（如坐在父母身边）接受检查。由于探头可以环绕腕部进行检查，因此对体位的要求不用太高，可以让父母帮助患儿维持一个放松的体位即可 [图 4]。

开放性骨折、严重的软组织损伤和骨折畸形是超声检查的禁忌证。如果临床检查有明确的手术指征，应跳过超声检查，改用 X 线检查。

图 4 患者可采取放松的坐/卧体位，腕部放松，探头可以环绕腕关节进行扫查（*）。

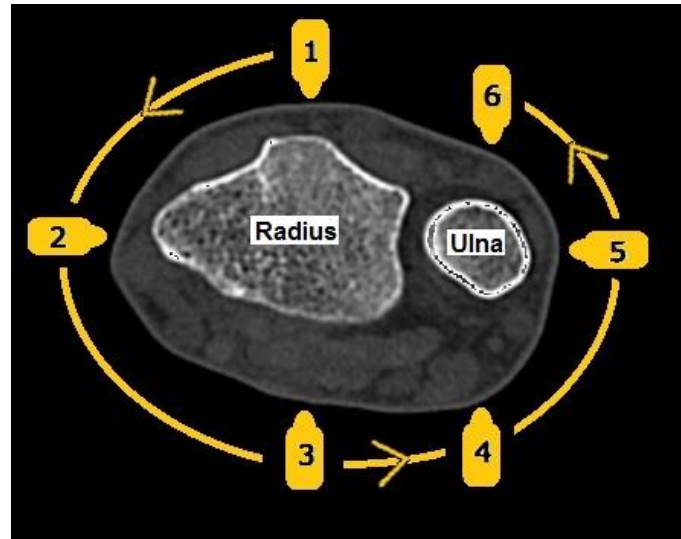


扫查方法及切面

第一步是进行伤情分析和临床评估。即使是幼儿，这一步在大多数情况下也能帮助我们区分前臂远端或腕骨损伤。这一点非常重要，因为腕骨骨折既不适合超声检查，也不适合 X 线检查。如果怀疑是腕骨的问题，则需要进行磁共振检查。

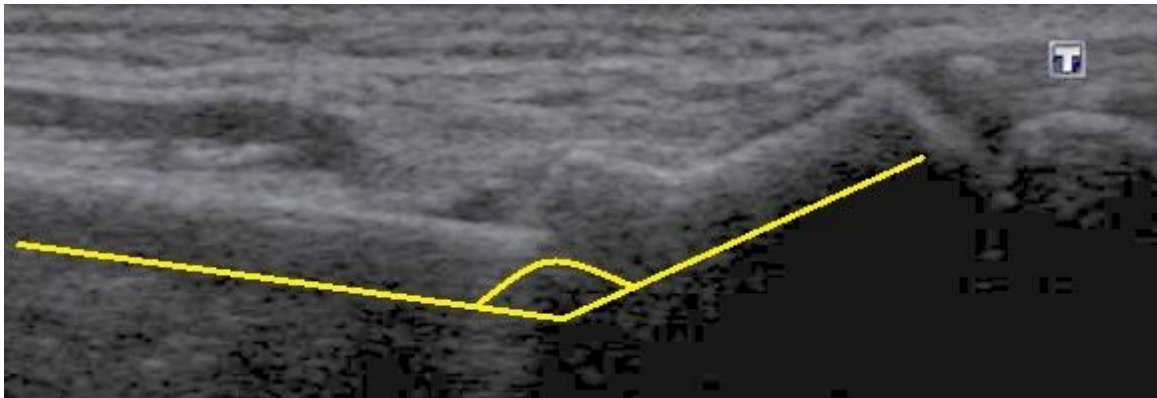
前臂远端要进行 6 个方位的扫查[图 5]。由于腕部通常呈前倾姿态，因此检查从桡骨背侧开始，绕行一圈完整观察桡骨和尺骨。如有必要，可增加 45° 切面。

图 5 对腕部进行 6 个方位的扫查，每个骨骼 3 个切面（*）。



所有骨折畸形都必须在 3 个切面上进行测量，以避免低估病情[图 6]。

图 6 必须在 3 个平面上对骨折畸形进行评估，否则可能低估伤情（*）。



记录

六个切面都要保存电子或打印的图像。如果发现有骨折，应将骨折顶点放在图像中央，以利于测量。在长轴方向，成角畸形的显示应当与实际的骨折相对应。

异常表现

骨折主要有四种特征性表现，可以单独或合并出现：

1. 隆起 [图 7]。
2. 成角 [图 8]。
3. 错位 [图 9]。
4. 骨折间隙 [图 10]。

图 7 干骺端骨折，骨皮质出现局部隆起 (*)。



图 8 骨皮质成角，局部形成角顶点 (*)。

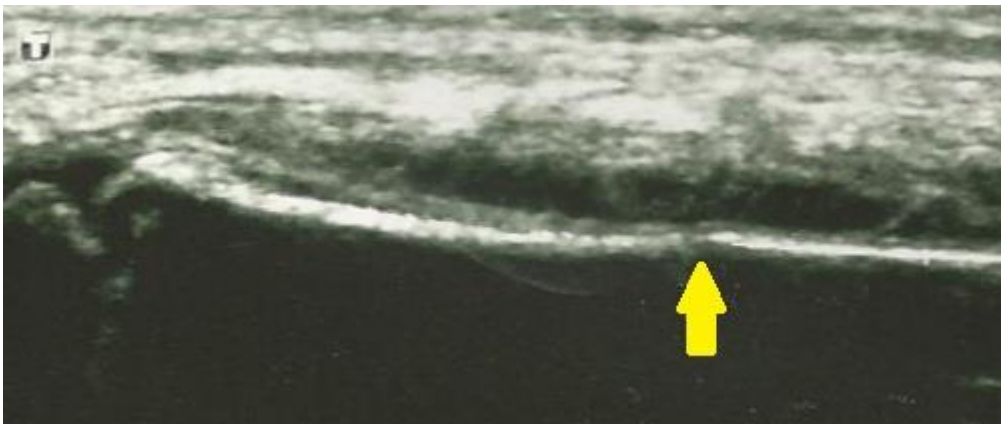


图 9 皮质骨错位 (*)。

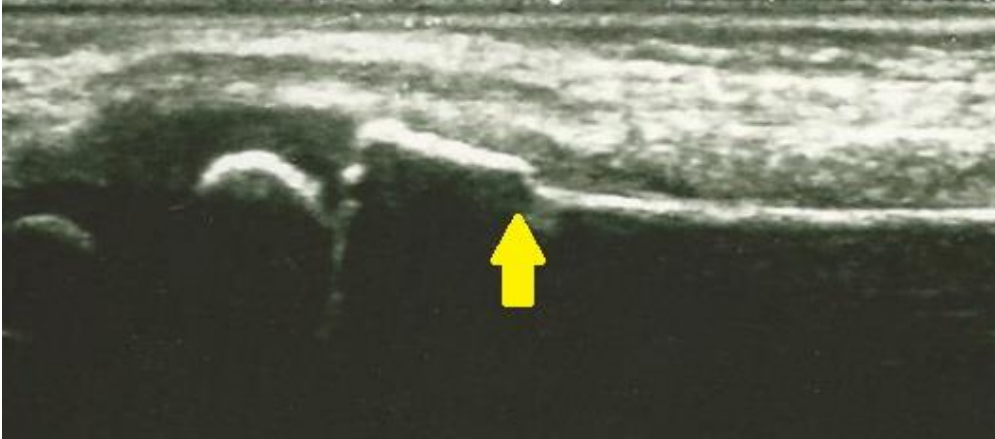
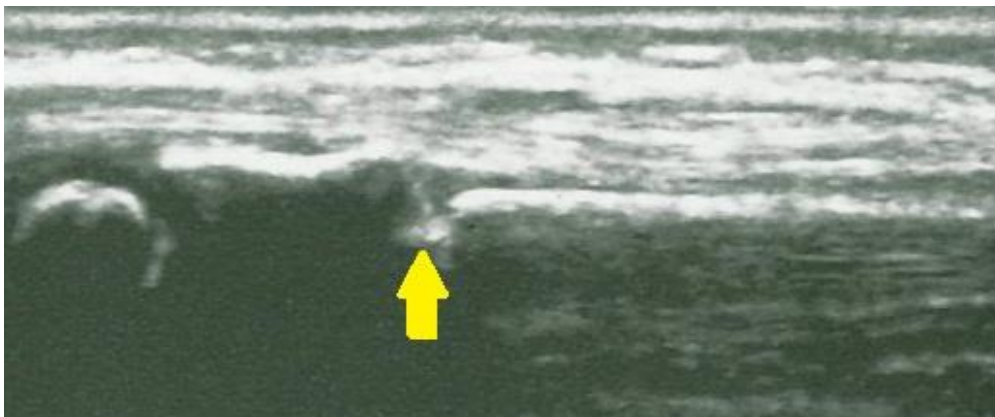


图 10 因骨折出现一个间隙，局部骨皮质回声失落 (*)。



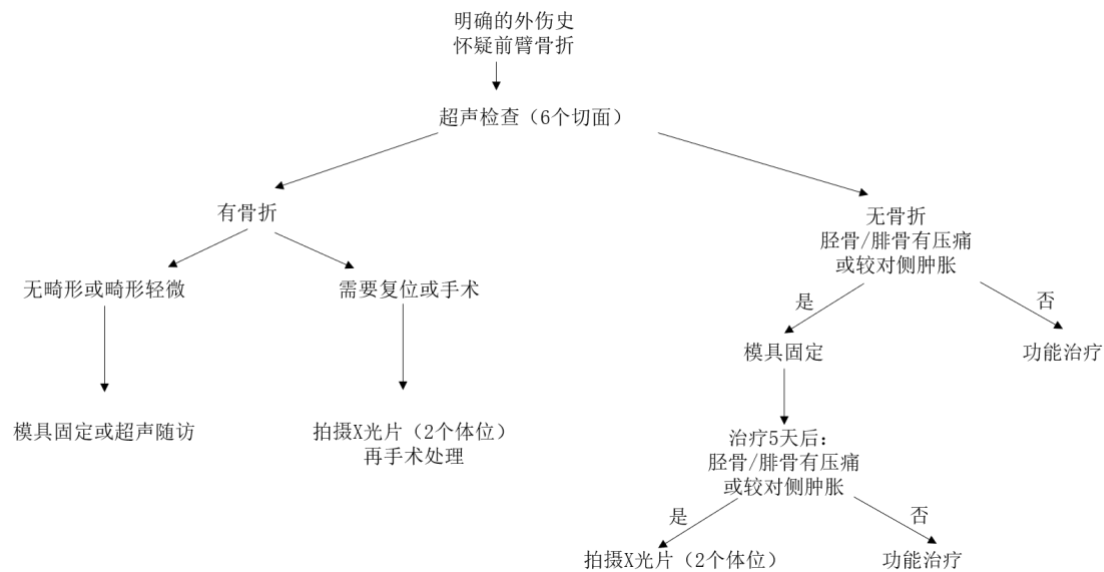
治疗建议

如果确诊为骨折，则要对骨折畸形进行评估，并根据儿童创伤指南进行治疗。如果未发现骨折，在疼痛剧烈的情况下可能需要使用模具进行固定制动。如果疼痛在 5 天后仍未缓解，或者有其他疑问的情况下，应进行两个体位的 X 光摄片 (10)。

腕部 SAFE (不知道 SAFE 是什么缩写?)

以 X 线检查为参照，超声诊断 12 岁以下儿童腕部骨折的灵敏度为 94%-96%，准确度为 97%-99% (4、5、14)。

图 11 腕部 SAFE。



存在的问题

前臂远端骨折自愈的可能性很高，所以相应的诊断和治疗风险都不大。

腕骨的骨折往往无法在影像学上得到充分显示，但可以通过临床表现来排除。如果怀疑有腕骨骨折，则有必要进行磁共振检查，因为 X 线检查对生长发育期的软骨组织是不安全的。

超声和 X 线检查都可能漏诊干骺端骨折，因此，与健侧对比检查或者进行磁共振检查非常必要。这种情况下，X 线检查的诊断效能并不比超声更高。

肘部骨折

肘部骨折有多种类型（肱骨髁上骨折、肱骨髁骨折、鹰嘴骨折、桡骨头骨折），这些骨折都会导致肘关节积液。因此，肘关节积液是预测肘部骨折的敏感指标，敏感度为 97.3%，特异度为 90.5% (15-17)。

由于肘部相关骨折的自愈能力有限，因此必须进行准确的诊断。而临床上 70% 的骨折疑似患者最终被诊断为挫伤，使用超声进行筛查可以使患者免于辐射。

对肘部骨折进行骨折超声检查的逻辑是探查是否有关节积液。SOFA 征（超声脂肪垫征，**Sonographic Fat-pad sign**）是重要超声征象。超声探查到脂肪垫为 SOFA 征阳性，未探查到脂肪垫为 SOFA 征阴性。超声检查的灵敏度为 100%，特异度为 93.5%（15、18、19）。如果是 SOFA 征阳性，则必须进行双平面的 X 线拍片，以准确评估骨折畸形和骨折的类型。

患者准备

肢体暴露后，患者以放松的坐姿（如坐在父母身边）接受检查。体位不用做特殊要求，只需保持放松的姿势即可[图 12]。

开放性骨折、严重软组织损伤和骨折畸形是超声检查的禁忌证。如果临床检查发现有手术指征，则应跳过超声检查，改用 X 线检查。

图 12 患者取放松的坐姿(*)。



扫查方法及切面

肘关节屈曲 70-90°，探头放在在肘关节背面，长轴切面可以显示鹰嘴窝，以探查 SOFA 征。如有疑问，可检查健侧以做对比。

为了观察骨折和畸形，可以对肱骨远端进行多达 8 个切面、鹰嘴 3 个切面和 桡骨头 2 个切面的检查（20, 21）。但到目前为止，只有 SOFA 征的作用被证明是明确的，其他图像特征的作用尚待进一步研究。

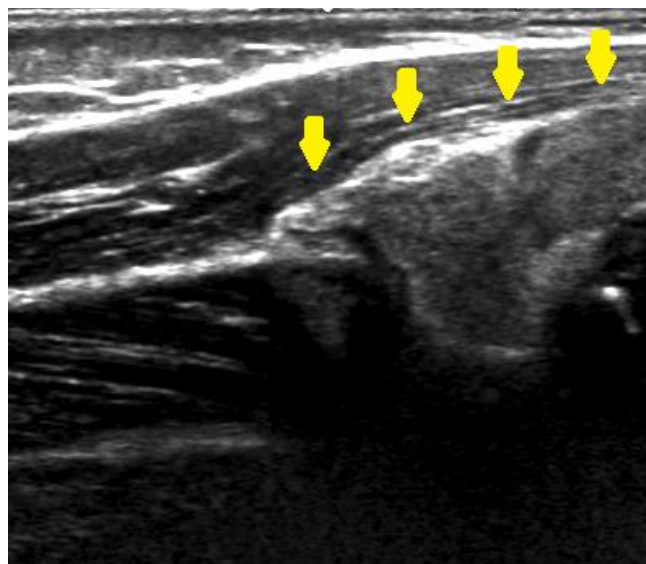
图像记录

图像应包括背侧纵向切面图，必要时还应包括对侧肢体的图像。

异常表现

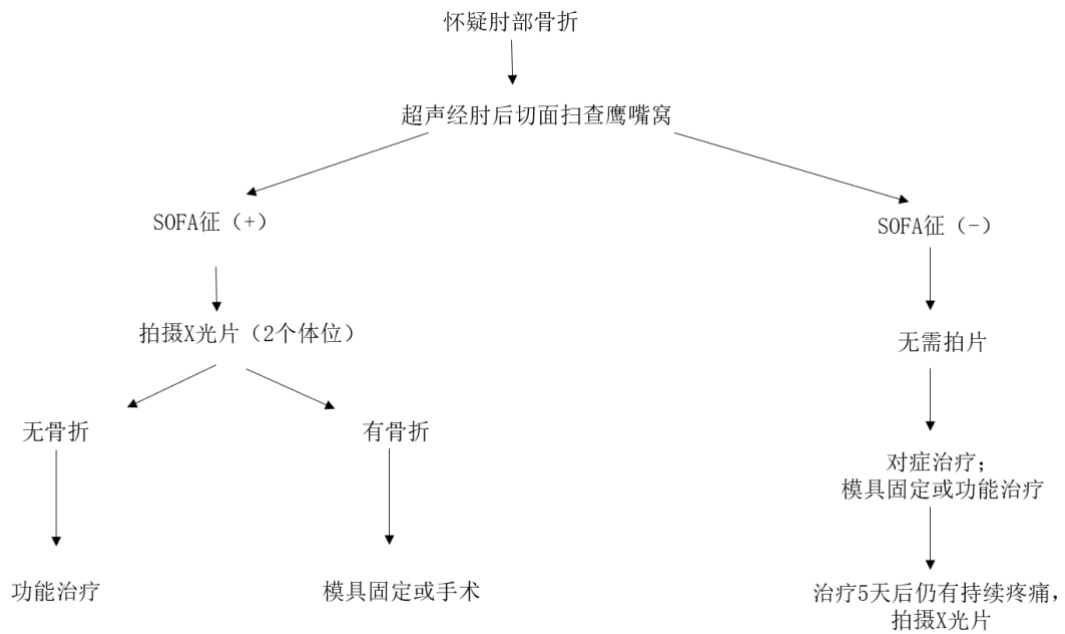
背侧关节囊呈锐角覆盖在肱骨远端。背侧的 SOFA 征表现为关节囊与骨呈钝角相交和有回声的关节积液。[图 13]

图 13 关节积液表现为鹰嘴窝内有回声的隆起。



肘关节 SAFE（不知道 SAFE 是什么缩写？）

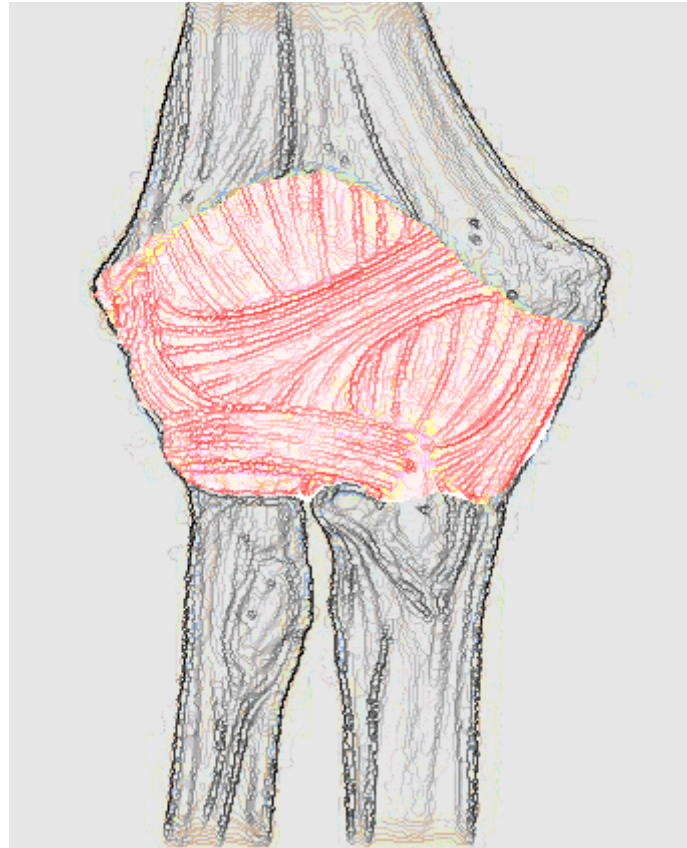
肘关节 SAFE 对肘部骨折的敏感性为 97.9%，特异性为 95% (13)[图 14]。

图 14 肘关节 SAFE。

存在的问题

某些尺骨或肱骨内上髁骨折可能是关节外骨折[图 15]，并不会引起关节积液，以本方法判断可能会漏诊。如果临床检查发现内上髁有压痛，建议进行双平面的 X 光拍片。

图 15 肘关节的关节囊(*)。



肱骨近端骨折

肱骨近端骨折由于骨骺生长潜力大，自我矫正的可能性非常高。

肱骨近端超声检查可排除骨折。如果发现皮质有病变，则要对骨折畸形进行评估和记录。由于骨折可能是由肿瘤或囊肿等潜在病变引起，而这些病变又无法被充分观察到，因此对每处骨折都要拍摄一个体位的单张 X 光片（22）。

患者准备

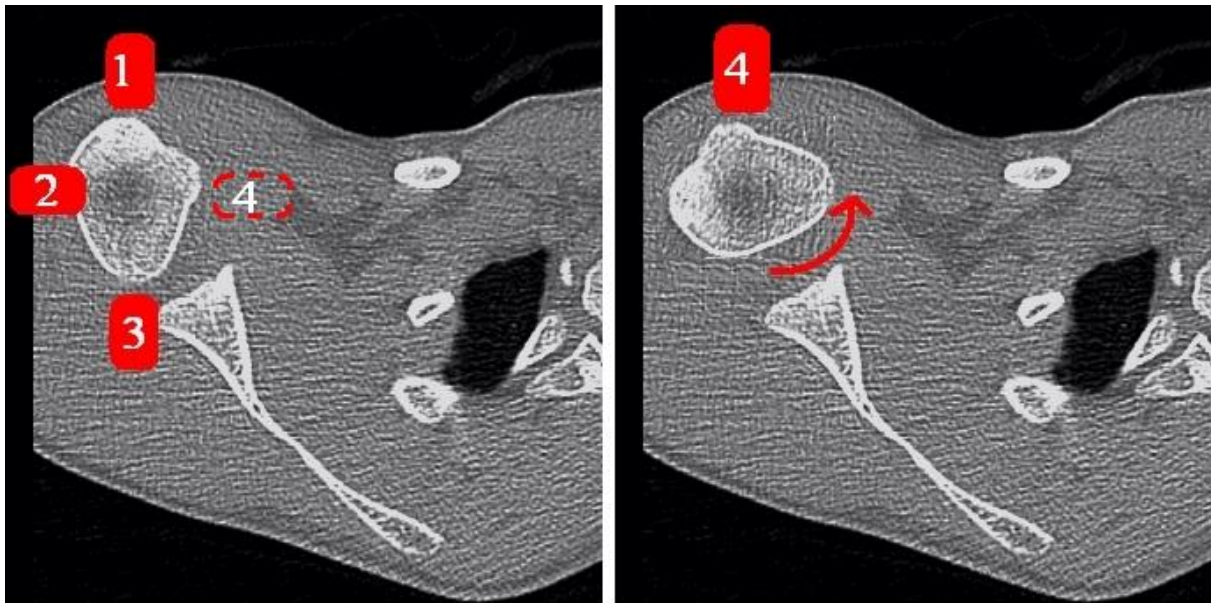
暴露肢体后，以放松的坐姿（如坐在父母身边）接受检查。由于探头可以环绕肱骨近端进行扫查，因此无需对体位进行过高要求，只需患者维持放松姿态即可。

开放性骨折、严重软组织损伤和高度骨折畸形是超声检查的禁忌证。如果临床检查发现有手术指征，则应跳过超声检查，改用 X 线检查。

扫查方法及切面

在初步的临床检查中，对骨折的定位必须与更常见的锁骨骨折、肩胛骨骨折和肱骨干骨折区分开来。对肱骨近端进行 4 个切面的扫查，其中 3 个切面可以在放松姿势下进行，然后在中立位旋转手臂以显示第四个切面[图 16]。

图 16 在放松姿势下获得 3 个切面，然后在中立位轻轻旋转手臂以显示第 4 个平面。



记录

留存 4 个平面的图像。如果发现畸形，应记录最明显的骨折畸形。一旦明确有骨折，应对肩部拍摄一张 X 光片。

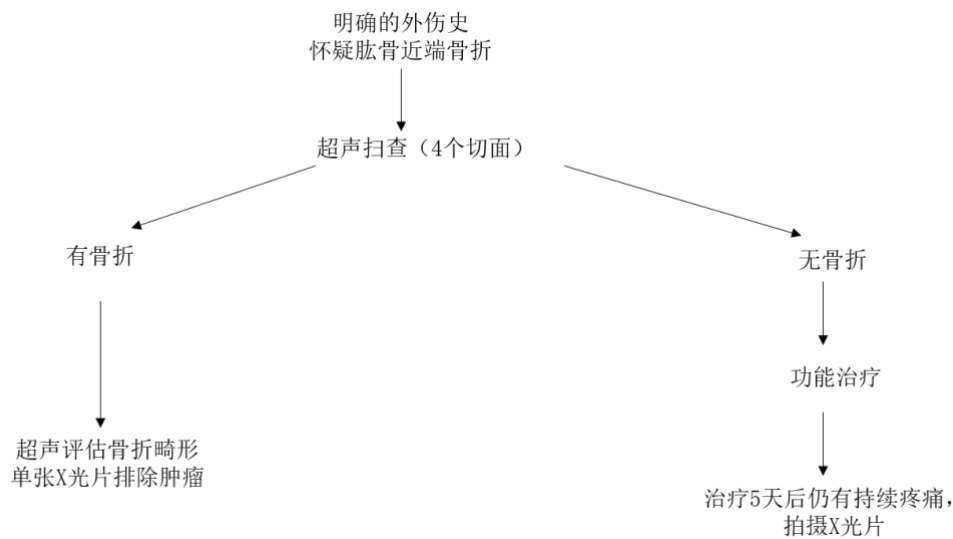
异常表现

骨折征象与腕部相似。皮质内病变必须通过 X 线或磁共振检查进行诊断。

肩部 SAFE（不知道是什么缩写？）

超声对肱骨近端骨折畸形的评估比 X 线检查更为精确，其敏感度为 94%，特异度 100%（22）[图 17]。

图 17 肩部 SAFE。



存在的问题

仓促的临床检查可能会漏诊肱骨干、锁骨或肩胛骨骨折。但是肱骨近端骨折有很高的自愈率，因此相关的诊断和治疗风险并不高。

Detailed information about the other mentioned indications can be obtained in the AWMF-guidelines (AWMF Leitlinie Fraktursonografie: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/085-003>) and in the monography *Fracture sonography*, Springer-Verlag, ISBN 978-3030638412

有关上述其他适应证的详细信息，请参阅 AWMF 指南（AWMF Leitlinie Fraktursonografie: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/085-003>）和专著《骨折超声检查》（Springer-Verlag, ISBN 978-3030638412）

多选题

1. 骨折超声检查适用于

- ① 仅适用于儿童患者
- ② 仅适用于成人患者
- ③ 仅作为 X 射线诊断的补充
- ④ 取决于儿科和/或成人患者的适应证
- ⑤ 均不适用

2. 用于骨折超声检查的设备

- ① 必须是高端设备
- ② 要具备脉冲多普勒功能
- ③ 要配备线阵探头
- ④ 要有针对骨的专门检查条件
- ⑤ 是一种特殊的骨扫描系统

3. 进行骨折超声检查的医生

- ① 必须熟悉骨折的治疗
- ② 必须接受过骨折超声培训
- ③ 必须了解超声设备的功能
- ④ 必须了解适应证和禁忌证
- ⑤ 以上全部

4. 骨折超声检查可显示

- ① 整个骨骼
- ② 多段长骨
- ③ 仅外层骨皮质
- ④ 骨内囊肿
- ⑤ 骨髓炎

5. 骨折超声检查的适应证有

- ① 脊柱骨折
- ② 跗骨骨折
- ③ 各年龄段患者的前臂远端骨折
- ④ 儿童患者的前臂远端骨折
- ⑤ 成人颅骨骨折

6. 骨折超声检查的禁忌证有

- ① 开放性骨折
- ② 怀疑多段骨折
- ③ 成人前臂远端骨折
- ④ 关节内骨折
- ⑤ 以上皆是

7. 不属于儿童患者的适应证是

- ① 肱骨头下骨折
- ② 肘部骨折
- ③ 锁骨骨折
- ④ 肋骨骨折
- ⑤ 前臂骨折

8. 哪一项是正确的诊断流程?

- ① 超声—X光—夹板
- ② 病史—查体—超声—治疗—有疑问：X光片
- ③ 查体—X光—超声—治疗
- ④ 病史—查体—X光—超声—治疗
- ⑤ 超声—查体—夹板

9. 在哪些情况应进行 X 线检查?

- ① 诊断有疑问
- ② 严重脱位的骨折

- ③ 多段骨折
- ④ 怀疑有骨内病变（如肿瘤、骨髓炎）
- ⑤ 上述所有情况

10. 骨折超声检查与 X 线检查相比

- ① 更快捷
- ② 痛苦较小
- ③ 无电离辐射
- ④ 施加的压力较小
- ⑤ 以上所有

参考文献

1. Gerlanc M, Haddad D, Hyatt GW, Langloh JT, Hilaire P. Ultrasonic study of normal and fractured bone. Clin. Orthop. Rel. Res. 1975;111:175-180.
2. Moritz JD, Berthold LD, Soenksen SF, Alzen GF. Ultrasound in Diagnosis of Fractures in Children: Unnecessary Harassment or useful Addition to X-ray. Ultraschall in der Medizin 2008;29:267-274.
3. Rathfelder FJ, Paar O. Ultrasound as an alternative diagnostic measure for fractures during the growth phase. Unfallchirurg 1995;98:645-649.
4. Ackermann O, Liedgens P, Eckert K, Chelangattucherry E, Husain B, Ruchholtz S. Sonographische Diagnostik von metaphysären Wulstbrüchen. Der Unfallchirurg 2009;112:706-711.
5. Eckert K, Ackermann O, Schweiger B, Radeloff E, Liedgens P. Sonographic diagnosis of metaphyseal forearm fractures in children: A safe and applicable alternative to standard X-rays. Pediatr Emerg Care;28:851-854.
6. Ackermann O, Eckert K, Rüländer C, Endres S, Schulze-Pellengahr C. Ultraschallbasierte Therapiesteuerung bei subcapitalen Humerusfrakturen im Wachstumsalter. Z Orthop Unfall;151:48-51.
7. Joshi N, Lira A, Mehta N, Paladino L, Sinert R. Diagnostic Accuracy of History, Physical Examination, and Bedside Ultrasound for Diagnosis of Extremity Fractures in the Emergency Department: A Systematic Review. Academic Emergency Medicine;20:1-15.
8. Simanovsky N, Landman R, Hiller NSN. Sonographic detection of radiographically occult. 2009;J Pe:29-.
9. Ackermann O, Levine M, Eckert K, Rüländer C, Stanjek M, Schulze-Pellengahr C. Unsicherheit bei der radiologischen Achsbestimmung proximaler Humerusfrakturen. Z Orthop Unfall;151:74-79.
10. Ackermann O, Eckert K: Sonographische Frakturdiagnostik im Kindesalter. In: Pädiatrische Ultraschalldiagnostik. 31. EL ed. Landsberg: Ecomed; -.
11. Ackermann O, Liedgens P, Eckert K, Chelangattucherry E, Ruelander C, Emmanouilidis I, Ruchholtz S. Ultrasound diagnosis of juvenile forearm fractures. Journal of Medical Ultrasonics;37:123-127.

12. Eckert K, Ackermann O, Janssen N, Schweiger B, Radeloff E, Liedgens P. Ultrasound diagnosis of supracondylar fractures in children. *Eur J Trauma Emerg Surg*;7:-.
13. Eckert K, Ackermann O, Schweiger B, Radeloff E, Liedgens P. Ultrasound evaluation of elbow fractures in children. *J Med Ultrasonics*;40:443-451.
14. Eckert K, Ackermann O, Schweiger B, Radeloff E, Liedgens P. Die Sonographie als sichere Alternative zur konventionellen Röntgendiagnostik bei distalen Unterarmfrakturen im Kindesalter. *Z Orthop Unfall*;150:409-414.
15. Eckert K, Ackermann O, Janssen N, Schweiger B, Radeloff E, Liedgens P. Accuracy of the sonographic fat pad sign for primary screening of pediatric elbow fractures: a preliminary study. *Journal of Medical Ultrasonics*;41:473-480.
16. Rabiner JE, Khine H, Avner JR, et al. Accuracy of point-of-care ultrasonography for diagnosis of elbow fractures in children. *Ann Emerg Med*;61:9-17.
17. Major NM CS. Elbow effusions in trauma in adults and children: is there an occult fracture? *Am J Roentgenol* 2002;178:413-418.
18. De Maesener M JJ, Jaovisidha S et al. Elbow effusions: distribution of joint fluid with flexion and extension and imaging implications. *Invest Radiol* 1998;33:117-125.
19. Miles KA LA. Ultrasonic demonstration of the elbow fat pads. *Clin Radiol* 1989;40:602-604.
20. Davidson RS MR, Dormans J et al. Ultrasonographic evaluation of the elbow in infants and young children after suspected trauma. *J Bone Joint Surg Am* 1994;76:1804-1813.
21. Pistor G GH. Sonographic diagnosis of supracondylar fractures of the humerus- retrospective and prospective studies in children. *Ultraschall in der Medizin* 2003;24:331-339.
22. Ackermann O, Sesia S, Berberich T, Liedgens P, Eckert K, Großer K, Roessler M, et al. Sonographische Diagnostik der subcapitalen Humerusfraktur im Wachstumsalter. *Der Unfallchirurg*;113:839-844.