

MRI 测量参数评估外踝扭伤后发生慢性踝关节不稳的临床价值

张雨涛 李春丽 杨磊 黄益龙 马寄耀 何波*

昆明医科大学第一附属医院医学影像科 云南昆明 650032

摘要：目的：探究基于MRI测量参数评估外侧踝关节扭伤后发生慢性踝关节不稳（CAI）的临床价值。方法：回顾性分析2018年1月至2023年6月因初次外踝扭伤一周内至昆明医科大学第一附属医院行踝关节MRI检查患者的图像，纳入CAI组患者57例和正常对照组68例。分别测量腓踝角（FMA）、轴向踝指数（AMI）、踝间指数（IMI）、踝距指数（MTI）、腓骨外旋角（FER）、ATFL-PTFL角；结果：两组间年龄、身高均具有统计学差异，年龄越小、身高越高越容易发生CAI。CAI组FER小于对照组，ATFL-PTFL角大于对照组，且差异有统计学差异（ $P < 0.05$ ）。FER、ATFL-PTFL角是CAI的独立预测因子，ROC曲线分析结果显示ATFL-PTFL角预测效能较高，AUC：0.701，FER的AUC：0.632。结论：年龄、身高、FER和ATFL-PTFL角有助于提示CAI的风险增加。

关键词：慢性踝关节不稳；外踝关节扭伤；影像学测量

踝关节外侧扭伤（lateral ankle sprain, LAS）是参与运动及体育活动过程中经常发生的损伤之一，据估计，首次经历LAS的人中，多达40%的患者会发展为慢性踝关节不稳（chronic ankle instability, CAI）。CAI的特征是患者从最初的LAS中脱离超过12个月，并表现出复发性踝关节扭伤的倾向，频繁发作或感觉到踝关节屈服感，以及持续的症状，如疼痛、肿胀、活动受限、虚弱和自我报告功能下降^[1]。

急性外侧踝关节扭伤的长期预后较差，较高比例的患者报告持续的“让位”发作和损伤复发，最终发展为CAI^[2]。与CAI相关的持续残余症状可导致体力活动减少，生活质量下降，并增加损伤后踝关节骨性关节炎发生的风险。LAS和CAI都与软骨健康状况下降和创伤后骨关节炎有关，占终末期踝关节骨性关节炎病例的78%^[3]。因此，在初次外侧踝关节扭伤后，防止其进展为CAI至关重要。先前的研究表明，CAI的机械和功能因素与足踝部形态的结合是复发性扭伤的重要因素^[4]。此外，踝关节的一些解剖因素与踝关节不稳的发生具有一定相关性^[5]。由此，我们提出是否能够通过外侧踝关节扭伤后基于MRI测量参数来提示CAI风险增加的可行性，从而帮助临床尽早做出干预。

1. 材料与方法

1.1 研究对象

回顾性收集2018年1月至2023年6月首次外踝扭伤后一周内于昆明医科大学第一附属医院接受踝关节MRI检查

的患者，并通过病历系统和电话获取年龄、性别、身高、体重、病史、MRI图像等信息，随访时间为扭伤后至少一年。依据2014年国际踝关节联合会标准，选定CAI组和对照组^[6]。CAI组纳入标准：（1）年龄16-40岁；（2）初次外踝扭伤一周内进行MRI检查；（3）扭伤后炎症反应（比如疼痛、肿胀等症状），且至少一天不能行患侧踝关节负重的活动；（4）有两次及以上外踝扭伤史，或扭伤后一年以上存在持续性的踝关节肿胀、疼痛及主观不稳感。对照组包括无踝关节不稳的检查患者和健康受试者。排除标准：（1）踝关节骨折或脱位史；（2）同侧下肢手术史；（3）足踝部肿瘤、感染、外伤等；（4）马蹄内翻足、跟骨距骨桥、扁平足等发育畸形；（5）图像质量不佳、扫描基线不正。研究共纳入CAI组57例，正常对照组68例，均获得知情同意。

1.2 踝关节MRI检查

设备为GE Discovery 750W 3.0T、Philips Achieva 3.0T磁共振扫描仪，16通道踝关节线圈，仰卧位，足先进，采用快速自旋回波，扫描序列及参数：T2WI压脂轴位：TR:3884.0ms,TE:68.0ms,层厚:3.6mm,层间距:0.5mm,层数:26; PDWI冠状位:TR:3252.0ms,TE:48.0ms,层厚:3.5mm,层间距:0.3mm,层数:22。

1.3 踝关节MRI测量参数

根据先前研究和可能与CAI相关的解剖测量参数，一位经验丰富的肌骨影像诊断主治医师在PACS系统（东软，

5.5V, 中国) 上测量相应的解剖学测量参数, 包括轴向踝指数(axial malleolar index,AMI)^[7]、踝间指数(inter malleolar index,IMI)^[8]、踝距指数(malleolar talus index,MTI)^[9]、腓踝角(fibular malleolus angle,FMA)、ATFL-PTFL角(The angle of anterior talofibular ligament and posterior talofibular ligament)^[10]、腓骨外旋角(fibular externally rotated angle, FER)。测量方法如图1-图6所示:

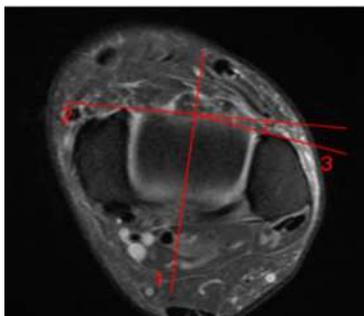


图1 轴向踝指数(AMI)测量方法

注: 轴向踝指数(AMI): 确定距骨顶关节面的轴位平面, 做3条直线: 距骨的矢状中分线为直线1; 直线2通过内踝前缘并垂直于直线1, 做出直线2; 通过直线1和2的交点并与外踝前缘相切作为直线3; 直线2与直线3形成的夹角即为AMI。外踝在直线2的后方则AMI为正值, 外踝在直线2的前方则AMI为负值。

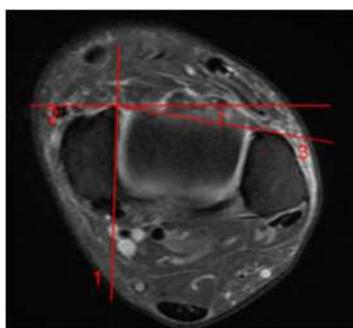


图2 踝间指数(IMI)测量方法

注: 踝间指数(IMI) 同样确定距骨顶关节面的轴位平面, 做3条直线: 通过内踝关节面的切线作为直线1, 做直线1的垂线并与内踝前缘相切作为直线2; 通过直线1与直线2的交点并与外踝前缘相切作为直线3; 直线2与直线3形成的夹角即为IMI。外踝在直线2的后方IMI为正值, 外踝在直线2的前方IMI为负值。

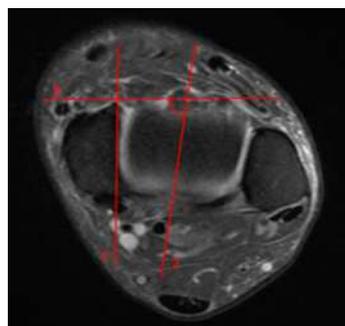


图3 踝距指数(MTI)测量方法

注: 踝距指数(MTI): 在距骨顶的关节层面作3条直线: 通过内踝关节面的切线为直线1, 距骨的矢状中分线为直线2; 直线3通过内踝前缘并与直线1垂直; 直线2与直线3形成的夹角即为MTI。MTI值的升高代表距骨内旋角度增大。



图4 腓踝角(FMA)测量方法

注: 腓踝角(FMA): 为了评估踝关节不稳患者是否与外踝腓骨关节面解剖倾斜度的差异有关, 采用腓踝角来进行测量, 测量方法为在轴位上确定中位冠状位图像, 做腓骨关节面和距骨上关节面的切线, 测量二者之间形成的夹角即为FMA。

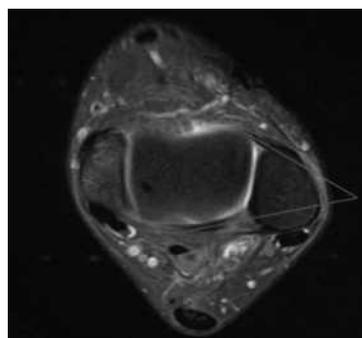


图5 ATFL-PTFL角测量方法

注: ATFL-PTFL角: 在横断面上找到ATFL与PTFL同

时出现并显示最好的层面，并分别沿 ATFL 和 PTFL 走行方向分别做一条与两条韧带尽量重合的直线，这两条直线所形成的夹角即为 ATFL-PTFL 夹角。

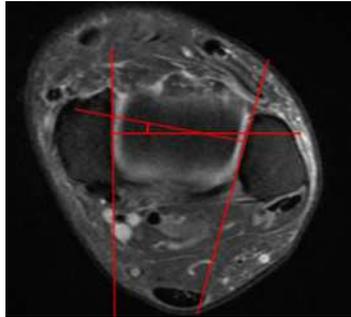


图6 腓骨外旋角 (FER) 测量方法

注:腓骨外旋角 (FER): 于距骨顶部关节面的轴位层面, 做内外踝关节面切线, 两者所形成的角即为腓骨外旋角, 两条切线的垂线所形成的夹角等于腓骨外旋角。角度减小时外旋程度减低, 角度增大时, 提示腓骨外旋程度增大。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 27.0 软件对数据进行统计学分析。正态分布的数据表示为平均值 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$), 非正态分布的数据表示为 $M(Q25, Q75)$ 。使用独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验比较组间各个 MRI 测量参数的差异性。对差异有统计学意义的测量参数构建二元 logistics 回归模型, 采用受试者操作特征曲线 (Receiver Operating Characteristic Curve, ROC) 及曲线下面积 (Area Under Curve, AUC) 评价预测效能。 $P < 0.05$ 时具有统计学意义。

2. 结果

2.1 一般资料

研究纳入 57 名 CAI 患者 (男 37, 女 20) 和 68 名正常对照 (男 35, 女 33)。两组间年龄、身高均具有统计学差异 ($P < 0.05$), CAI 组年龄小于对照组, 身高高于对照组。两组间性别、体重及 BMI 无显著差异 ($P > 0.05$), 见表 1。

表 1 CAI 组和对照组临床特征比较

组别	CAI 组	对照组	P 值
人数 (男, 女)	57(37,20)	68(35,33)	0.129
年龄 (岁)	27(21-32)	29(24-39)	0.017*
身高 (cm)	171(165-178)	165(160-175)	0.007*
体重 (kg)	67.70 \pm 11.29	64.99 \pm 17.05	0.307
BMI (kg/m^2)	22.68(20.86-24.87)	22.81(19.85-26.34)	0.903

注: * 表示 $P < 0.05$ 。正态分布数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 非正态分布数据用 $M(Q25, Q75)$ 表示。

2.2 CAI 组和对照组测量参数比较

两组间 FER 和 ATFL-PTFL 角存在显著差异 ($P < 0.05$), CAI 组的 FER 较小, ATFL-PTFL 角较大。而 FMA、AMI、IMI、MTI 未见显著差异 ($P > 0.05$), 见表 2。

表 2 CAI 组和对照组测量参数比较

测量参数	CAI 组	对照组	统计值	P 值
AMI ($^{\circ}$)	9(5,13)	7.5(-2.75,12)	1.576b	0.115
IMI ($^{\circ}$)	7(5,11)	7.5(4,12)	0.027b	0.978
MTI ($^{\circ}$)	88(85.5,90)	89(84,94)	-1.372b	0.170
FMA ($^{\circ}$)	79(76,81)	80(76,85)	-1.730b	0.084
FER ($^{\circ}$)	10(7.5,15)	12(10,15)	-2.544b	0.011*
ATFL-PTFL 角 ($^{\circ}$)	83.74 \pm 10.58	75.88 \pm 9.30	-4.417a	<0.001***

注: 正态分布数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 两组比较用 t 值, 用 b 表示。非正态分布数据用 $M(Q25, Q75)$ 表示, 两组比较用 Z 值, 用 a 表示。* 表示 $P < 0.05$, *** 表示 $P < 0.001$ 。

2.3 构建预测模型与效能评估

CAI 组和对照组间有显著差异的测量参数纳入二元 logistic 回归分析。结果示 FER (OR 值为 0.916, 95%CI 为 0.840-0.998, $P = 0.045$)、ATFL-PTFL 角 (OR 值为 1.080, 95%CI 为 1.036-1.126, $P < 0.001$) 是 CAI 的独立预测因子, 见表 3。ROC 曲线分析表明, ATFL-PTFL 角 AUC 值为 0.701, 敏感度为 0.60, 特异度为 0.74, 预测效能最高, FER 的 AUC 值为 0.632, 敏感度为 0.61, 特异度为 0.65, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 4 和图 7。曲线坐标计算显示 FER 为 11.5° 敏感度和特异度较高, 分别为 0.614 和 0.647; ATFL-PTFL 角为 80.5° 时, 敏感度和特异度也较高, 分别为 0.596 和 0.735。

表 3 测量参数二元 logistic 回归分析结果

测量参数	回归系数	优势比 (95%CI)	P 值
FER (°)	-0.088	0.916(0.840-0.998)	0.045*
ATFL-PTFL 角 (°)	0.081	1.080(1.036-1.126)	<0.001***

注：* 表示 P<0.05,*** 表示 P<0.001。

表 4 ROC 曲线分析结果

测量参数	AUC (95%CI)	灵敏度	特异度	P 值	截断值	约登指数
FER (°)	0.632(0.531-0.733)	0.61	0.65	0.011*	11.5	0.261
ATFL-PTFL 角 (°)	0.701(0.609-0.792)	0.60	0.74	<0.001***	80.5	0.331

注：* 表示 P<0.05,*** 表示 P<0.001。

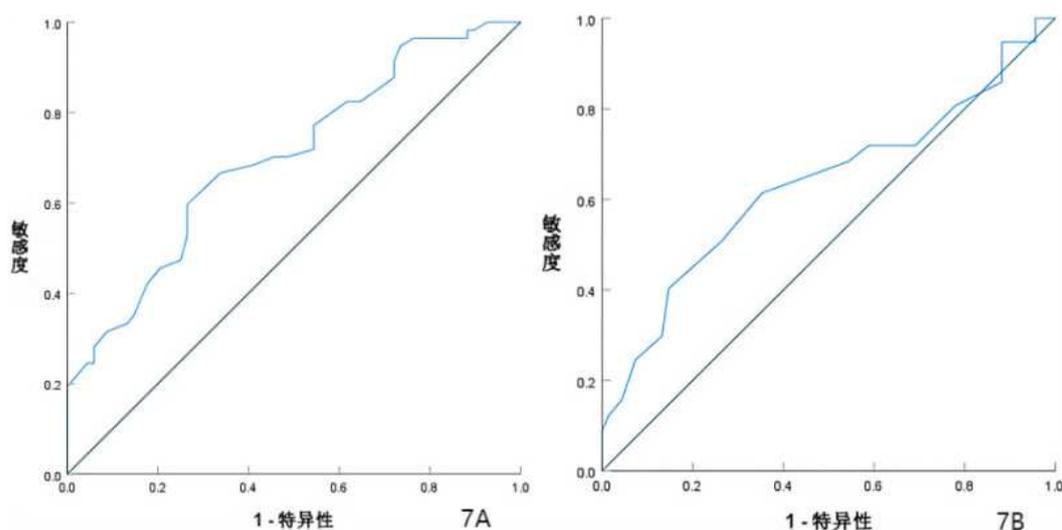


图 7 预测 CAI 相关测量参数的 ROC 曲线

7A 为 ATFL-PTFL 角的 ROC 曲线，7B 为 FER 的 ROC 曲线，ATFL-PTFL 角的预测效能最高，曲线下面积为 0.701，灵敏度为 0.60，特异度为 0.74；FER 的曲线下面积为 0.632，灵敏度为 0.61，特异度为 0.65。

3. 讨论

本研究比较了初次外踝扭伤后发展为慢性踝关节不稳 (CAI) 的患者与无症状个体的 MRI 测量参数差异，旨在识别与 CAI 相关的测量参数。研究发现，两组在年龄和身高上存在显著差异 (P<0.05)，年轻和身高较高的个体更易发展为 CAI。身高越高使得体育运动过程中身体重心偏高，可能使得外踝更易扭伤。张杰元等人^[11]研究也证实年轻人在初次踝关节扭伤后更易发展为 CAI。这可能与年轻人更频繁和多样化的运动习惯有关。此外，研究发现，ATFL-PTFL 角和 FER 是独立的 CAI 预测指标。CAI 患者的 ATFL-PTFL

角通常大于对照组，这可能与韧带损伤后变得迂曲、松弛以及关节腔内积液，滑膜水肿增厚，导致角度的增加有关。于立志等人^[10]的结果显示 ATFL-PTFL 角大于 79° 时，慢性 ATFL 损伤的可能性增加，在本研究中，当 ATFL-PTFL 角大 80.5° 时，提示 CAI 的风险可能会增加。但并非所有 CAI 患者都表现出 ATFL-PTFL 角的增大，因此该角度的增加可作为辅助判断的指标，其确切的临界值还需要进一步的研究来确定。

CAI 患者腓骨的踝穴位置变化仍具争议。本研究评估了腓骨外旋程度，发现 CAI 组 FER 值低于对照组，并有显著差异 (P < 0.05)。FER 小于 11.5° 时，腓骨外旋程度小，CAI 风险增加。此外，也可能与踝关节扭伤后腓骨前移有关，导致 FER 减小。Hubbard、Kavanagh 及 Mavi 等人^[12-14]的研究发现在踝关节不稳患者中，腓骨位置会出现前移。

Kavanagh 假设指出^[13]，脚踝扭伤后若出现腓骨错位，可能导致腓骨远端活动范围增加。研究显示，约三分之一的急性踝关节扭伤患者腓骨远端移动较大，但其样本量较少，很难概括这些结果。然而，Hubbard 等人^[12]在较大样本研究中发现，CAI 患者的受影响脚踝与对侧脚踝及健康对照组相比，胫腓骨前缘间距显著缩短，支持了腓骨前移的理论。Mavi 等人^[14]通过 MRI 测量了腓骨前缘与胫骨前缘之间的距离，以客观评估腓骨与胫骨的关系。研究发现受伤组的腓骨位置显著比对照组更靠前。也有研究报告 CAI 患者腓骨可能后移。Scranton 等人^[7]的研究发现 CAI 患者 AMI 增大，提示腓骨后位，他们认为腓骨后位是一种解剖学变异，可能使患者更易发生 CAI。LeBrun 等人^[8]同样研究了 AMI，发现腓骨后移，但以内踝为参照物测量 IMI 无显著差异。周汝寿等人^[9]基于前人研究提出 MTI，发现以内踝为参照物 CAI 患者距骨内旋明显。Takumi Kobayashi 等人^[15]研究指出，与健康踝关节相比，CAI 踝关节距骨前移和内旋显著。综上所述，距骨内旋的现象可能会导致 AMI 在 CAI 患者的测量数据偏高，间接得出腓骨向后移位的错误结论。LeBrun 等人^[8]认为，在 CAI 患者中，内踝的位置相对于距骨来说更为稳定，以内踝作为参照物，所测量得出的结果会更为可靠。尽管外踝位置变化存在争议，但 CAI 与腓骨位置异常有关。这种异常可能限制踝关节正常运动，增加损伤风险^[16]。因此，本研究中以内踝为参照物，腓骨外旋角的减小，可能与踝关节的稳定性存在关联。

本研究中存在一些局限性，第一，本研究为回顾性横断面研究，无法证实踝关节测量参数的改变与 CAI 的因果关系。第二，由于患者多数因合并下肢骨折被排除在外，测量样本量较小。最后，本研究仅关注了相关影像解剖角度的参数测量，但尚未对肌肉及韧带功能、患者自我报告等进行评估，将来的研究可联合临床、相关功能指标、患者自我报告量表等来进一步提高评估 CAI 发生的临床价值。

4. 结论

初次外侧踝关节扭伤后 MRI 测量参数对于评估 CAI 的发生具有一定的临床价值，即 ATFL-PTFL 角的增大 ($> 80.5^\circ$)、FER 的减小 ($< 11.5^\circ$) 提示发生 CAI 的风险增加，能够帮助临床早期识别并尽早干预。此外，年龄越小、身越高越容易发生 CAI。

参考文献：

- [1] Hertel J, Corbett RO. An Updated Model of Chronic Ankle Instability [J]. *Journal of athletic training*, 2019, 54(6): 572–588.
- [2] Anandacoomarasamy A, Barnsley L. Long term outcomes of inversion ankle injuries [J]. *British journal of sports medicine*, 2005, 39(3): e14–e14.
- [3] Tajdini H, Mantashloo Z, Thomas AC, et al. Inter-limb asymmetry of kinetic and electromyographic during walking in patients with chronic ankle instability [J]. *Scientific reports*, 2022, 12(1): 1–10.
- [4] Palomo-Fernández I, Martín-Casado L, Marcos-Tejedor F, et al. Lateral wedge insoles and their use in ankle instability [J]. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 2023, 33(9): 1716–1725.
- [5] Zhang L, Sun X, Jiang L, et al. The morphology of osseous structure in subtalar joint with chronic ankle instability [J]. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*, 2024, 30(1): 74–78.
- [6] Gribbl PA, Delahunt E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the International Ankle Consortium [J]. *Journal of athletic training*, 2014, 49(1): 121–127.
- [7] Scranton PE, Jr, McDermott JE, Rogers JV. The relationship between chronic ankle instability and variations in mortise anatomy and impingement spurs [J]. *Foot & ankle international*, 2000, 21(8): 657–664.
- [8] LeBrun CT, Krause JO. Variations in mortise anatomy [J]. *The American journal of sports medicine*, 2005, 33(6): 852–855.
- [9] 周汝寿, 李宏云, 李宏, 等. MRI 评估慢性踝关节不稳患者距骨和腓骨位置 [J]. *中国运动医学杂志*, 2016, 35(11): 997–1001.
- [10] 于立志, 李宏云, 李宏, 等. 距腓前韧带和距腓后韧带夹角对诊断慢性距腓前韧带损伤的作用 [J]. *中国运动医学杂志*, 2017, 36(09): 756–759.
- [11] Zhang J, Yang K, Wang C, et al. Risk factors for chronic ankle instability after first episode of lateral ankle sprain: A retrospective analysis of 362 cases [J]. *Journal of sport and health science*, 2023, 12(5): 606–612.
- [12] Hubbard TJ, Hertel J, Sherbondy P. Fibular position in

individuals with self-reported chronic ankle instability [J]. The Journal of orthopaedic and sports physical therapy, 2006, 36(1): 3-9.

[13]Kavanagh J. Is there a positional fault at the inferior tibiofibular joint in patients with acute or chronic ankle sprains compared to normals? [J]. Manual therapy, 1999, 4(1): 19-24.

[14]Mavi A, Yildirim H, Gunes H, et al. The fibular incisura of the tibia with recurrent sprained ankle on magnetic resonance imaging [J]. Saudi medical journal, 2002, 23(7): 845-849.

[15]Kobayashi T, Koshino Y, Miki T. Abnormalities of foot and ankle alignment in individuals with chronic ankle instability:

a systematic review [J]. BMC musculoskeletal disorders, 2021, 22(1): 1-8.

[16]施晓剑,韩甲,刘宇,等.慢性踝关节不稳的病理机制和评估诊断研究进展[J].中国运动医学杂志,2019,38(09):816-824.

作者简介:

张雨涛,(1994-07),男,云南德宏人,汉族,在职硕士研究生,昆明医科大学第一附属医院,主治医师,研究方向:骨骼肌肉系统影像学诊断。

通讯作者*:何波,昆明医科大学第一附属医院医学影像科。