

# 平面波超敏感血流显像与能量多普勒超声在评估强直性脊柱炎外周附着点炎中的应用价值

白照健

滨州医学院医学影像学院, 山东 烟台

收稿日期: 2025年5月5日; 录用日期: 2025年5月28日; 发布日期: 2025年6月5日

## 摘要

目的: 比较平面波超敏感血流显像技术(AP)与能量多普勒超声(CPI)显示强直性脊柱炎(AS)患者外周附着点血流的丰富程度及显示率的差异, 探讨AP对于在不同疾病分期的AS患者外周附着点炎诊断中的应用价值。方法: 分别应用AP和CPI两种超声模式检查46例活动期AS患者和66例非活动期AS患者左右两侧共8处外周附着点, 比较两种超声模式下的外周附着点血流丰富程度及血流显示率的差异性。结果: 对于活动期AS患者增厚的肌腱端, AP模式和CPI模式下的血流显示率分别为71.2%和57.7%, 对于非活动期AS患者增厚的肌腱端, AP模式和CPI模式下的血流显示率分别为55.6%和38.9%, AP对于外周附着点内低速血流的敏感性高于CPI, 同时AP和CPI对活动期和非活动期外周附着点血流的分级结果一致性较好, 分别为 $Kappa = 0.72$ ,  $P < 0.001$ 和 $Kappa = 0.63$ ,  $P < 0.001$ , 但AP较CPI能够提高外周附着点的低速血流信号的血流分级。结论: 应用AP和CPI检查血流丰富程度均能够为诊断AS患者外周附着点炎及评估其活动性提供重要参考依据, 但AP相较CPI更具优势, 能够发现细微血流, 而且AP能够提高外周附着点的实际血流显示率, 上调血流级别, 血流显示更加清晰, 有助于更好地评估各期AS患者外周附着点炎的活动性, 尤其对于非活动期AS患者, 其诊断价值更高。

## 关键词

平面波超敏感血流显像, 能量多普勒超声, 强直性脊柱炎, 外周附着点炎, 血流

## The Application Value of Angio plus Planwave Ultrasensitive Imaging and Color Power Imaging in the Evaluation of Peripheral Enthesopathy of Ankylosing Spondylitis

## Zhaojian Bai

School of Medical Imaging, Binzhou Medical University, Yantai Shandong

Received: May 5<sup>th</sup>, 2025; accepted: May 28<sup>th</sup>, 2025; published: Jun. 5<sup>th</sup>, 2025

### Abstract

**Objective:** To compare the differences in the richness and display rate of peripheral enthesopathy blood flow between Angio plus planwave ultrasensitive imaging (AP) and Color Power Imaging (CPI) in patients with ankylosing spondylitis (AS), and explore the application value of AP in the diagnosis of peripheral enthesopathy in AS patients at different disease stages. **Methods:** Two ultrasound modes, AP and CPI, were used to examine the peripheral attachment points on both sides of 46 active AS patients and 66 non-active AS patients, with 8 peripheral enthesopathy on both side. The differences in blood flow richness and display rate at the peripheral enthesopathy under the two ultrasound modes were compared. **Results:** For the thickened tendon ends of active AS patients, the blood flow display rates under AP mode and CPI mode were 71.2% and 57.7%, respectively. For the thickened tendon ends of non-active AS patients, the blood flow display rates under AP mode and CPI mode were 55.6% and 38.9%, respectively. AP showed higher sensitivity to low-speed blood flow at peripheral enthesopathy compared to CPI. Additionally, AP and CPI had good consistency in grading peripheral enthesopathy blood flow during both active and non-active phases, with Kappa values of 0.72 and 0.63,  $P < 0.001$  and  $P < 0.001$ , respectively. However, AP could improve the grading of low-speed blood flow signals at peripheral enthesopathy more effectively than CPI. **Conclusion:** Both AP and CPI can provide important reference for diagnosing peripheral enthesopathy in AS patients and assessing its activity. However, AP has more advantages over CPI, as it can detect subtle blood flow. Moreover, AP can increase the actual blood flow display rate of the peripheral enthesopathy, elevate the blood flow grade, and make the blood flow display clearer. This helps better assess the activity of peripheral enthesopathy in AS patients at different stages, especially for non-active AS patients, where its diagnostic value is even higher.

### Keywords

Angio Plus Planewave Ultrasensitive Imaging, Color Power Imaging, Ankylosing Spondylitis, Peripheral Enthesopathy, Blood Flow

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)是一种系统性、慢性、进展性自身免疫性疾病,主要表现为累及中轴关节和外周关节的慢性炎症[1]。其基本病理改变为附着点炎,又称为肌腱端炎,包括肌腱、韧带等骨附着的区域[2]。在我国 AS 的发病率为 0.09%~0.44%,该病晚期会致残,进而对患者工作生活质量产生严重不良影响[3]。AS 的病程表现为活动期和非活动期交替存在,活动期发生持续性炎性骨破坏,并引起肌腱端的肿胀及关节功能障碍。因此早期有效评估 AS 外周附着点炎活动性情况,进而获得临床及时干预治疗显得尤为重要。

外周附着点炎是判断 AS 病情活动性指标之一[4]。研究表明[5],通过观察附着点血流信号,可以发

现附着点炎的存在。这种评估附着点炎活动性的方法具有很好的应用价值。能量多普勒超声(Color Power Imaging, CPI)和平面波超敏感血流显像技术(Angio plus planewave ultrasensitive imaging, AP)均可以用于检测外周附着点血流信号。本研究主要探讨 AP 在发现 AS 外周附着点血流的能力, 以及监测 AS 外周附着点炎活动性中的应用价值。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 一般资料

选取 2020 年 1 月至 2023 年 12 月在滨州医学院附属烟台山医院风湿免疫科确诊的 AS 患者 112 例作为观察对象。根据 Bath 强直性脊柱炎疾病活动性指数(Bath Ankylosing Spondylitis Disease Activity Index, BASDAI), BASDAI < 4 分为非活动期, ≥4 分为活动期, 以此将其分为 66 例非活动期和 46 例活动期。非活动期收纳女性 18 例, 男性 48 例, 年龄 22~59 岁( $38.5 \pm 10.7$ )。活动组收纳女性 10 例, 男性 36 例; 年龄 20~55 岁( $37.3 \pm 11.5$ )。两组间性别、年龄比较, 差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。本研究中所有检查均在知情同意下进行。

### 2.2. 纳入与排除标准

#### 2.2.1. 纳入标准

所有患者均符合美国风湿病学会 1984 年修订的纽约 AS 诊断标准[6], 同时患者具有外周症状。入组患者配合检查。

#### 2.2.2. 排除标准

3 个月内行相关糖皮质激素、免疫抑制剂治疗者, 有下肢关节外伤史, 有其它严重风湿免疫性疾病导致的关节病变。

### 2.3. 仪器和方法

#### 2.3.1. 仪器设备

采用法国声科公司的 AixPlover 型超声诊断仪, 采用 SL15-4 浅表线阵探头, 探头频率 4~15 MHz, 同时配有 CPI 和 AP 功能。

#### 2.3.2. 检查部位

检查部位参照临床常见的外周附着点炎部位选取双侧股四头肌腱止点、双侧髌腱起点、双侧髌腱止点、双侧跟腱止点。

#### 2.3.3. 检查方法

嘱患者取平卧位, 将膝关节屈曲膝近 30°后进行探查双侧股四头肌腱止点和双侧髌腱起点、双侧髌腱止点。嘱患者取俯卧位, 在检查台边缘屈曲足部 90°后进行探查双侧跟腱止点。对患者上述每个外周附着点先行二维灰阶超声检查, 然后切换至 CPI 和 AP 模式分别检查其血流情况。先启动 CPI 模式观察外周附着点的血流情况, 探头轻放在受检查部位, 与受检查肌腱长轴平行, 不施加任何压力, 调整血流速度标尺、取样框大小和彩色增益等使其血流信号显示最佳。将探头固定在 CPI 模式显示最丰富的血流切面, 保持上述各项参数不变, 切换到 AP 模式检查同一位置血流情况, 记录血流情况。

#### 2.3.4. 血流评价

参照陈仕宇等标准对 CPI 和 AP 观察到的血流信号进行半定量分级[7]: 0 级, 未见血流信号; I 级, 可见 1~2 处点状血流信号; II 级, 可见 1 条穿支血管或 2~3 条小血管; III 级, 可见 4 条以上血管, 或血

管交织呈网状。将 0~1 级归为少血流, 2~3 级归为多血流。各外周附着点超声检查及指标评价均由两名有丰富经验的超声医师共同完成。

## 2.4. 统计学处理

本研究应用 SPSS 22.0 统计软件, 计数资料以例数或百分比表示, 并采用卡方检验。对于 AP 和 CPI 两种血流模式的一致性分析行 Kappa 检验。以上检验均以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 3. 结果

1) 活动期的 46 例 AS 患者中, 被检测的外周附着点共计 368 个, 其中增厚肌腱端 104 个, 在 CPI 血流模式下有 60 个增厚的肌腱端检测到血流信号, 血流显示率为 57.7%, 在 AP 血流模式下有 74 个增厚的肌腱端检测到血流信号, 血流显示率为 71.2%, 二者差异有统计学意义  $P < 0.05$ 。多血流(2 级或 3 级)的外周附着点在 CPI 模式下占 38.5% (40 个), 在 AP 模式下占 46.1% (48 个), AP 模式下获得的多血流外周附着点更多(见表 1)。

**Table 1.** Comparison of blood flow display rate and richness during the active phase under CPI and AP mode

**表 1.** 活动期 CPI 和 AP 模式下血流显示率及丰富程度比较

不同模式	增厚肌腱端(个)	血流显示率	血流分级(个)				P 值
			0 级	1 级	2 级	3 级	
CPI	104	57.7%	44	20	24	16	0.043
AP	104	71.2%	30	26	28	20	

2) 非活动期的 66 例 AS 患者中, 被检测的外周附着点共计 528 个, 其中增厚肌腱端 72 个, 在 CPI 血流模式下有 28 个增厚的肌腱端检测到血流信号, 血流显示率为 38.9%, 在 AP 血流模式下有 40 个增厚的肌腱端检测到血流信号, 血流显示率为 55.6%, 二者差异有统计学意义  $P < 0.05$ 。多血流(2 级或 3 级)的外周附着点在 CPI 血流模式下占 18% (13 个), 在 AP 血流模式下占 29.2% (21 个), AP 模式下获得的多血流外周附着点更多(见表 2)。

**Table 2.** Comparison of blood flow display rate and richness during the non-active phase under CPI and AP mode

**表 2.** 非活动期 CPI 和 AP 模式下血流显示率及丰富程度比较

不同模式	增厚肌腱端(个)	血流显示率	血流分级(个)				P 值
			0 级	1 级	2 级	3 级	
CPI	72	38.9%	44	15	9	4	0.045
AP	72	55.6%	32	19	13	8	

3) 活动期患者中在 CPI 模式下为 0 级血流的 10 个外周附着点在 AP 模式下为 1 级血流, 4 个外周附着点为 2 级血流; 1 级的 3 个外周附着点在 AP 模式下为 2 级, 1 个外周附着点为 3 级; 2 级的 3 个外周附着点在 AP 血流模式下为 3 级(见表 3)。

4) 非活动期患者中在 CPI 模式下为 0 级血流的 8 个外周附着点在 AP 模式下为 1 级血流, 4 个外周附着点为 2 级血流; 1 级的 1 个外周附着点在 AP 模式下为 2 级, 3 个外周附着点为 3 级; 2 级的 1 个外周附着点在 AP 模式下为 3 级(见表 4)。

**Table 3.** Comparison of blood flow grading results during the active phase under CPI and AP mode  
**表 3.** 活动期 CPI 和 AP 模式下血流分级结果比较

CPI 分级	AP 分级				合计
	0	1	2	3	
0	30	10	4	0	44
1	0	16	3	1	20
2	0	0	21	3	24
3	0	0	0	16	16
合计	30	26	28	20	104

(Kappa = 0.726,  $P < 0.001$ ).

**Table 4.** Comparison of blood flow grading results during the non-active phase under CPI and AP mode  
**表 4.** 非活动期 CPI 和 AP 模式下血流分级结果比较

CPI 分级	AP 分级				合计
	0	1	2	3	
0	32	8	4	0	44
1	0	11	1	3	15
2	0	0	8	1	9
3	0	0	0	4	4
合计	32	19	13	8	72

(Kappa = 0.634,  $P < 0.001$ ).

5) 两组外周附着点的血流分级结果中, AP 的血流分级高于 CPI; AP 和 CPI 的血流检测结果具有较好的一致性(Kappa = 0.72,  $P < 0.001$  和 Kappa = 0.63,  $P < 0.001$ ).

#### 4. 讨论

外周附着点通常指肌腱附着点, 是一种独特的解剖结构, 是肌腱或韧带插入骨表面的部位, 通常位于关节外, 而肌腱附着点的结构除了肌腱端及邻近的滑囊, 也包括与之连接的骨面。附着点炎是强直性脊柱炎(AS)的主要病理特征, 与疾病活动程度及躯体功能密切相关[8]。研究表明, 在原发性 AS 中, 外周附着点炎的发生率为 25%~58%, 有附着点炎的 AS 患者, 疾病活动度更高, 患者结局的报告更差[9]。

而 AS 是一种活动期和缓解期交替存在的风湿免疫性疾病。在疾病活动期, 患者可以因为腰背痛、晨僵等常见临床表现主动就诊, 但部分患者外周关节症状不明显, 可能错过前期外周附着点检查。在疾病缓解期, 部分患者虽然临床症状得到极大缓解, 但体内的异常免疫反应并未完全根除, 依然可能存在低活动性炎症, 即亚临床附着点炎, 但亚临床附着点炎并不易被发现。因此我们需要一种方法能够方便准确、实施动态的评估 AS 不同时期外周附着点炎的活动性, 尤其对于达到临床缓解期的亚临床外周附着点炎。在影像学检查中, 超声能够发现 AS 患者外周肌腱厚度、钙化、骨侵蚀、新骨形成、滑囊炎以及血流信号等在外的肌腱附着点炎的细微表现。其中对外周附着点血流的评估是诊断早期外周症状不典型患者及监测 AS 疾病活动性的重要依据。

研究发现, CPI 能够用于检测 AS 患者外周附着点炎[10] [11], 但其易受组织运动的干扰, 产生一定的伪象, 且对微小血管的显示较差[12], 因此对于少血流性外周附着点炎及亚临床外周附着点炎等显示受

限。

平面波超敏感血流显像(AP)是一种利用三维壁滤波和平面波可提供细微血管低速血流的成像技术,能从时间、空间及振幅方面分析组织运动,更有效灵敏分辨血流和组织信息,弥补了常规血流显像技术对低速血流不敏感的缺陷[13]。该技术可以清晰显示更低速的血流信息,减少运动伪象,降低假阴性率。当前 AP 已经被应用于乳腺、甲状腺、慢性肾病以及颈动脉斑块等多个领域。通过 AP 的检测,一些与血管生成密切相关的疾病可以在相对较早的阶段被诊断出来。有研究证明 AP 可以用于检测乳腺肿瘤的微血管特征,为乳腺肿瘤的良恶性鉴别提供依据[14]。另有一项研究显示,AP 可通过检测甲状腺结节内部微小血管,从而判断结节的性质[15]。通过 AP 技术,我们可以更准确地观察到细微血流信号的变化,以评估外周附着点炎症的活动度。

本研究结果显示,AP 对 AS 患者外周附着点血流的显示率高于 CPI,在活动期和非活动期分别为 71.2%、57.7%和 55.6%、38.9%,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。这与魏小雨等[16]研究结果一致,进一步说明与 CPI 相比,AP 更能够检测到低速微小血管。另外,付晓萌等的研究证实,微血流成像超声相比 CPI 在 AS 中轴附着点的血流成像上有明显优势[17]。

本研究还发现,当 AP 和 CPI 采用相同的血流分级标准时,AP 和 CPI 对于 AS 增厚肌腱端的血流检测结果具有较好的一致性(活动期  $Kappa = 0.72$ ,  $P < 0.001$  和非活动期  $Kappa = 0.63$ ,  $P < 0.001$ )。但 AP 较 CPI 上调了血流分级:其中活动期在 CPI 模式下为 0 级血流的 10 个外周附着点在 AP 模式下为 1 级血流,4 个外周附着点为 2 级血流;1 级的 3 个外周附着点在 AP 模式下为 2 级,1 个外周附着点为 3 级;2 级的 3 个外周附着点在 AP 模式下为 3 级;而在非活动期中在 CPI 模式下为 0 级血流的 8 个外周附着点在 AP 模式下为 1 级血流,4 个外周附着点为 2 级血流;1 级的 1 个外周附着点在 AP 模式下为 2 级,3 个外周附着点为 3 级;2 级的 1 个外周附着点在 AP 模式下为 3 级。这是由于活动期 AS 患者发生炎症的外周附着点在大量炎性因子的作用下,肌腱端内发生了新生的血管内皮细胞分裂、生长,导致病变肌腱端内实际血流明显增加,此时 AP 能够更敏感地发现这一病理改变。而在非活动期,AS 患者体内炎性因子水平减低,病变处肌腱内血管内皮细胞分裂减缓,血流量减低,这时 AP 在低速血流方面的优势充分显示出来。上述情况表明 AP 相比 CPI 在检测低速血流上具有更高的分辨率和灵敏度,能够检测出 CPI 无法检测出的轻度炎症。同时由于临床上常用外周附着点血流信号来指示炎症的活动性,因此上述结果对于 AS 外周附着点炎活动性评估具有重要的临床意义。而崔若玫的研究结果中也证实了外周附着点丰富的血流信号可以反映 AS 疾病的活动性[18]。

本研究尚存在不足之处:1) 研究样本量偏少,可能存在一定偏差;2) 研究未引入核磁共振等其它影像学检查进行对照;3) 未能更全面收集 AS 各个外周附着点血流情况进行研究。

## 5. 结论

综上所述,AP 可以无创、方便、准确、高效地评估 AS 外周附着点内的血流情况,反映外周附着点炎的活动性,尤其对于低速血流信号的高敏感性,能够较 CPI 更敏感地发现非活动期 AS 患者是否存在亚临床附着点炎,是否达到真正的病情缓解。

## 声明

本研究已获得病人的知情同意。

## 参考文献

- [1] Zhu, W., He, X., Cheng, K., Zhang, L., Chen, D., Wang, X., *et al.* (2019) Ankylosing Spondylitis: Etiology, Pathogenesis,

- and Treatments. *Bone Research*, **7**, Article No. 22. <https://doi.org/10.1038/s41413-019-0057-8>
- [2] El Maghraoui, A. (2011) Extra-Articular Manifestations of Ankylosing Spondylitis: Prevalence, Characteristics and Therapeutic Implications. *European Journal of Internal Medicine*, **22**, 554-560. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2011.06.006>
- [3] 邱君澜, 张华勇, 张炜炜, 等. 外周肌腱附着点超声检查在强直性脊柱炎诊断中的价值[J]. 江苏医药, 2015, 41(9): 1011-1014, 前插 1.
- [4] 林馥纯, 袁胜超, 林家东, 等. 高频彩超评估活动期强直性脊柱炎患者肌腱端病变的价值[J]. 临床医学研究与实践, 2021, 6(33): 121-123.
- [5] 马力, 周苏晋, 郭云怀, 等. 肌腱附着点超声在强直性脊柱炎早期诊断中的临床价值[J]. 医学影像学杂志, 2017, 27(3): 575-577.
- [6] Vander, L.S., Valkenburg, H.A. and Cats, A. (1984) Evaluation of Diagnostic Criteria for Ankylosing Spondylitis: A Proposal for Modification of the New York Criteria. *Arthritis & Rheumatology*, **27**, 361-368. <https://doi.org/10.1002/art.1780270401>
- [7] 陈仕宇, 臧国礼, 许伟莹, 等. 高频超声对类风湿性跟腱病的诊断价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 25(9): 702-706.
- [8] 刘扬, 沈逸, 朱琦, 等. 强直性脊柱炎寒热证型超声下外周附着点炎表现的差异研究[J]. 现代中西医结合杂志, 2022, 31(9): 1175-1181, 1314.
- [9] 李玲, 申英灏, 杨洁, 等. 高频超声对强直性脊柱炎亚临床附着点炎的筛查评估价值[J]. 分子影像学杂志, 2024, 47(2): 196-200.
- [10] Molina, C.J., Maciavilla, C., Plasencia, C., et al. (2021) Doppler Enthesitis: A Potential Useful Outcome in the Assessment of Axial Spondyloarthritis and Psoriatic Arthritis. *Clinical Rheumatology*, **40**, 2013-2020. <https://doi.org/10.1007/s10067-020-05450-4>
- [11] Rossisemerano, L., Ravagnani, V., Collado, P., et al. (2023) Validity of Ultrasonography in Detecting Enthesitis in Children: A Systematic Literature Review. *Joint Bone Spine*, **90**, Article ID: 105538. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2023.105538>
- [12] 李丽, 叶玉泉, 张捷思, 等. 微血流成像技术在类风湿关节炎患者手腕关节中的应用价值[J]. 中国超声医学杂志, 2016, 32(11): 1004-1006.
- [13] 俞成杰, 徐芳, 瞿岳. 应用超声新技术对肱骨外上髁炎患者的伸肌总腱多模态观察[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(11): 85-89.
- [14] 罗季平, 李渝, 陈亚萍, 等. 平面波超敏感血流显像联合实时剪切波弹性成像对乳腺良恶性结节的鉴别诊断价值[J]. 临床超声医学杂志, 2022, 24(12): 900-905.
- [15] 王理萍, 陈晓波. 平面波超微细敏感血流显像鉴别诊断甲状腺皱缩结节与甲状腺乳头状癌的临床价值[J]. 临床超声医学杂志, 2024, 5(26): 414-419.
- [16] 魏小雨, 朱家安, 陈征, 等. 微血流成像技术在类风湿关节炎中的应用价值[J]. 中国超声医学杂志, 2015, 31(9): 818-820.
- [17] 付晓萌, 高晓丽, 刘立盟, 等. 微血流成像与能量多普勒超声在显示活动性强直性脊柱炎骶髂关节血流中的对比研究[J]. 临床超声医学杂志, 2019, 21(2): 103-106.
- [18] 崔若玫, 李锦春, 赵悦吟, 等. 超声对强直性脊柱炎外周附着点病变的早期诊断价值[J]. 中国医药科学, 2016(1): 13-15.