临床论著

CT灰度直方图特征在布鲁氏菌脊柱炎和化脓性脊柱炎鉴别诊断中的价值

排尔哈提·亚生[1],木拉德·买尔旦[2],盛伟斌[1],买尔旦·买买提[1]

(1 新疆医科大学第一附属医院脊柱外科 830054 乌鲁木齐市;2 上海交通大学新华医院脊柱外科 200092 上海市)

【摘要】目的:评估矢状位 CT 灰度直方图特征在布鲁氏菌脊柱炎(brucella spondylitis,BS)与化脓性脊柱炎(pyogenic spondylitis,PS)鉴别诊断中的价值。**方法:**收集 2018 年 1 月~2022 年 12 月在我院行脊柱 CT 检查并经病理和/或病原学证实的 40 例 BS 患者[男 25 例,女 15 例;年龄 51.6±13.0 岁,体重指数(body mass index,BMI)23(20,28)kg/m^2),BS 组]和 33 例 PS 患者[男 13 例,女 20 例;年龄 50.8±16.7 岁,BMI 23(20,26)kg/m^2),PS 组] 的资料。分别在两组患者矢状位 CT 图像上的每一层面用 3D Slicer 软件平台勾画感兴趣区 (region of interests,ROI)并进行灰度全域直方图分析。采用卡方检验、独立样本 *t* 检验及 Mann-Whitney U 检验等比较两组患者的临床资料;依次采用单因素分析、相关性分析及多因素分析等,找出两种病灶之间有显著性差异的直方图特征(包括 10%百分位值、1%百分位值、25%百分位值、5%百分位值、中位数、最小值、偏度和方差等);使用 Logistic 回归联合筛选的特征建模,并绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve,AUC),比较各直方图特征的鉴别能力。**结果:**两组患者的年龄、性别和 BMI 均无统计学差异(P>0.05)。两组 CT 全域灰度直方图分析参数中,10%百分位值、1%百分位值、25%百分位值、5%百分位值、中位数、最小值、偏度和方差等 8 个特征的差异均有统计学意义(P<0.05),10%百分位值的诊断效能最佳,其 AUC 值为 0.824、特异度为 0.893。联合模型 AUC 值为 0.860、特异度为 0.946。**结论:**基于 CT 灰度直方图 10%百分位值及联合模型能有效鉴别 PS 和 BS,可为临床鉴别两种疾病提供依据。

【关键词】布鲁氏菌脊柱炎;化脓性脊柱炎;CT;影像组学;直方图分析

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2023.11.04

中图分类号:R604,R814 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-406X(2023)-11-0986-08

Value of CT grayscale histogram features in the differential diagnosis of brucella spondylitis and pyogenic spondylitis/PARHAT Yasin, MURADIL Mardan, SHENG Weibin, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2023, 33(11): 986-993

【Abstract】 Objectives: To evaluate the values of sagittal CT image histogram features in the differential diagnosis of brucella spondylitis(BS) and pyogenic spondylitis(PS). **Methods:** The data of 40 BS patients[25 males, 15 females; age: 51.6±13.0 years old; body mass index(BMI): 23(20, 28)kg/m^2, the BS group] and 33 PS patients[13 males, 20 females; age: 50.8±16.7 years old; BMI: 23(20, 26)kg/m^2, the PS group] who underwent CT examination of the spine in our hospital and were confirmed through pathology and/or etiology were collected. The region of interest(ROI) was delineated on each level of the sagittal CT images of the two groups of patients by using the 3D Slicer platform and grayscale global histogram analysis was performed. The clinical data were compared using chi square test, independent sample *t*-test, and Mann Whitney *U* test between the two groups of patients; Univariate analysis, correlation analysis, and multivariate analysis were used in sequence to identify the histogram features with significant differences between the two groups (including 10% percentile, 1% percentile, 25% percentile, 5% percentile, median, minimum, skewness, and variance); Logistic regression and the screened features were combined for modeling, and receiver operating

基金项目:新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2016803047-3)

第一作者简介:男(1997-),硕士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(0991)4365316 E-mail:parhatpiko@zju.edu.cn

通讯作者:买尔旦·买买提 E-mail:mardanmmtmx@163.com

characteristic (ROC) curves were drawn and areas under the curve (AUC) were calculated to compare the discriminative ability of each histogram feature. **Results:** There was no statistically significant difference in age, gender, and BMI between the two groups of patients(P>0.05). Among the histogram parameters, 10% percentile value, 1% percentile value, 25% percentile value, 5% percentile value, median, minimum value, skewness, and variance were statistically different between the two groups(P<0.05). The 10% percentile value displayed the best diagnostic performance, with an AUC value of 0.824 and a specificity of 0.893. The combined model had an AUC value of 0.860 and a specificity of 0.946. **Conclusions:** Based on 10% percentile value of CT grayscale histogram and joint model, PS and BS can be distinguished effectively, providing a basis for accurately distinguishing the two diseases in clinical practice.

【Key words】 Brucella spondylitis; Pyogenic spondylitis; Computed tomography; Radiomics; Histogram analysis

【Author's address】 Department of Spine Surgery, the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi, 830054, China

脊柱感染性疾病是一类由特定病原微生物感染引起的疾病群，其发生率占所有肌肉骨骼感染的 2%~7%，且有逐年增加的趋势[1,2]。目前，脊柱感染性疾病的诊断主要依靠临床表现（病史、症状、体征及体格检查）、实验室检查、影像学检查和病理检查等综合手段。布鲁氏菌脊柱炎亦称为布鲁杆菌性脊柱炎（brucella spondylitis，BS），是布鲁氏菌病在骨骼和关节中最常见、最为严重的表现之一。化脓性脊柱炎（pyogenic spondylitis，PS）是一种相对少见的非特异性脊柱感染。据统计，PS 的发病率约为（0.5~2.4）/10 万，男性和老年人的发病率更高[3~5]。BS 的临床和影像学表现与 PS 相似，尽管血培养、组织培养和病理组织学检查被认为是金标准，但阳性率较低，对硬件设施和操作者的要求高，目前诊断和鉴别诊断仍存在困难[5~7]。由于其延迟出现的影像学表现、血培养耗时长以及血清学诊断的复杂性等原因，及时准确地鉴别诊断 BS 与 PS 仍具有挑战性。

影像组学可将图像转换为高维数据，并利用这些数据来改进决策支持。它能提供高通量的成像生物标记物，可用于检测诊断疾病、评估预后、预测治疗反应以及监测疾病状态[8,9]。直方图分析（即一阶放射组学特征分析）使用图像数据量化病灶特征，是一种评估感兴趣区（region of interest，ROI）内灰度强度变化的数学方法，可用于评估病变内的异质性。本研究旨在探讨 CT 灰度直方图特征在鉴别 BS 与 PS 中的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象

收集新疆医科大学第一附属医院 2018 年 1 月~2022 年 12 月脊柱外科诊治且经手术病理证实的 BS 或 PS 患者的临床及影像资料。病例纳入标准：（1）经病理和/或病原学证实为 BS 或 PS；（2）术前未使用抗菌药物治疗；（3）影像、临床资料完整。排除标准：（1）图像质量欠佳，有运动伪影；（2）伴有结核、肿瘤、严重的器官衰竭等。

1.2 仪器与检查方法

所有患者均在首次就诊时使用 GE VCT 16 或 128 探测器的多探测器 CT 扫描脊柱，每个扫描仪都有 16 个通道（Discovery，General Electric）。管电压设置为 120kV，管电流 250mA，层厚 5mm，旋转速度 0.6s。

1.3 CT 图像分析

所有 CT 图像以 DICOM 格式从医院 PACS 工作站导出，并由 2 名具有 5 年以上影像诊断经验的放射科医师采用双盲法进行处理。将图像导入到 3D Slicer 软件中，在常规矢状面序列上对每例患者的病灶边缘手动绘制 ROI（图 1）。勾画的 ROI 经高年资骨科脊柱组放射科医师（工作经验 15 年）审核，审核无误后使用 Python 编程语言提取其中的特征，获得一阶特征 1%百分位值、5%百分位值、10%百分位值和 25%百分位值等在内的多个直方图特征，同时获取直方图。

1.4 统计学方法

使用 R 语言（Rversion 4.2.0）进行统计学分析。计数资料用例数（百分比%）表示，采用 Pearson χ^2 检验或 Fisher 确切概率检验。对于服从正态分布的数据以均值±标准差表示，采用独立样本 t 检验；不服从正态分布的数据以中位数（上、下四分位数）表示，采用 Mann-Whitney U 检验，正态性检验采用 Shapiro-Wilk 检验。P<0.05 为差

异有统计学意义。对单因素分析有统计学意义的变量进行相关性分析,过滤强线性相关指标;对选出的变量进行多因素逻辑回归分析,并联合所有特征进行建模;最后绘制受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve,ROC),计算曲线下面积(area under the curve,AUC),确定其诊断效能及诊断临界值。所有的建模过程中,将PS 标为 1,BS 标为 0,即 PS 患者定义为结局。

2 结果

2.1 两组临床资料比较

本研究共纳入 73 例患者,其中 BS 患者 40 例,男 25 例,女 15 例,年龄 51.6±13.0 岁,体重指数(body mass index,BMI)23(20,28)kg/m^2;PS 患者 33 例,男 13 例,女 20 例,年龄 50.8±16.7 岁,BMI 23(20,26)kg/m^2。两组年龄、性别比、BMI 均无统计学差异(P>0.05)。

2.2 两组灰度直方图特征比较

两组灰度直方图特征单因素分析结果见表 1,两组一阶特征 10%百分位值、1%百分位值、25%百分位值、5%百分位值、中位数、最小值、偏度、方差有均统计学差异(P<0.05),且 BS 组的 10%百分位值、25%百分位值、5%百分位值、中位数大于 PS 组。将单因素分析有意义的特征纳入后续线性相关分析,过滤高度相关的特征后进行比较,结果见图 2、3,纳入的 8 个特征相关系数均小于 0.90。随后对筛选出的特征进行多因素逻辑回归建立模型,结果见表 2,所有特征 P 值均大于 0.05。

2.3 诊断效能

对一阶特征 10%百分位值、1%百分位值、25%百分位值、5%百分位值、中位数、最小值、偏

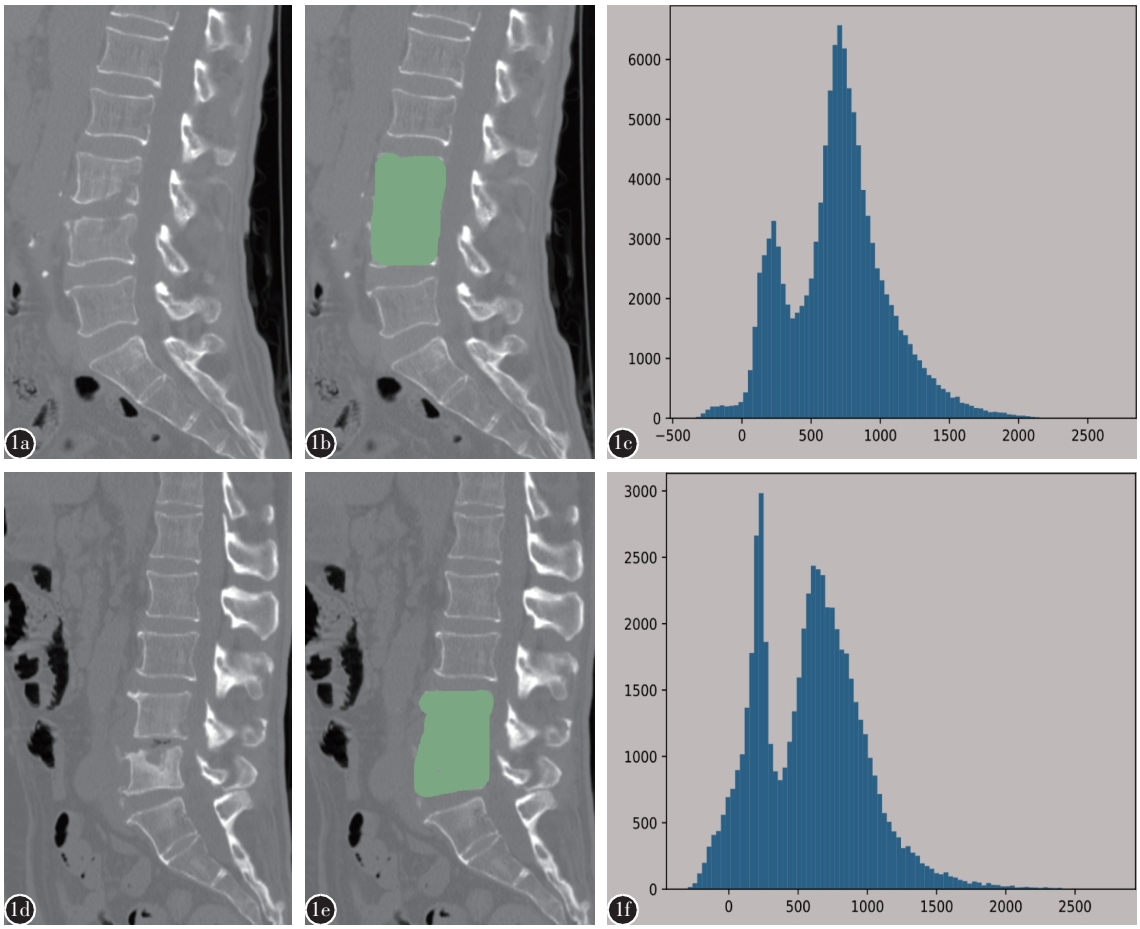

图 1 病变部位勾画感兴趣区(region of interest,ROI) **a~c** 布鲁氏杆菌脊柱炎(BS)患者 ROI 勾画及对应的直方图 **d~f** 化脓性脊柱炎(PS)患者 ROI 勾画及对应的直方图。

Figure 1 Depicting region of interest (ROI) of lesion **a–c** ROI and corresponding histogram for the case of brucella spondylitis **d–f** ROI and corresponding histogram for the case of pyogenic spondylitis.

度、方差及联合模型进行 ROC 分析，并计算其 AUC,对应的效能评价指标见图 4 和表 3。单个特征当中,10%百分位值的诊断效能最佳，其次为 5%百分位值。联合所有特征建立的模型鉴别效能 AUC 值、灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值和阴性预测值均进一步提高。

3　讨论

脊柱感染性疾病可按照特定病原微生物如结核分枝杆菌、布鲁氏菌、梅毒螺旋体和真菌等引起的特异性感染分类;可根据病因学分为化脓性、肉芽肿性(结核性、布鲁氏菌性、真菌性)和寄生虫性；亦可按感染部位分为感染性脊柱炎和椎间盘炎[10]。这些疾病常常表现出相似的临床症状和影像学表现,加之抗生素的滥用等,使得它们之间的鉴别诊断较为困难。及时准确鉴别诊断感染性脊柱炎对临床医生而言是一个挑战。脊柱感染原始病灶的变化可以在 CT 图像上详细观察到[11]。本研

表 1　PS 与 BS 相关直方图特征单因素分析结果

Table 1　Univariate analysis results of histogram features related to PS and BS

特征 Features	布鲁氏菌脊柱炎(n=40) BS	化脓性脊柱炎(n=33) PS	统计量 Statistics	P值 P value
10%百分位值 Perc.10%	1.08±0.32	0.64±0.38	5.559	<0.001
1%百分位值 Perc.1%	−0.11(−0.45,0.08)	−0.54(−0.93,−0.09)	1371.5	0.001
25%百分位值 Perc.25%	1.04±0.34	0.77±0.28	4.102	<0.001
5%百分位值 Perc.5%	1.01±0.43	0.35±0.73	4.811	<0.001
中位数 Median	1.03±0.12	0.87±0.31	2.787	0.008
最小值 Minimum	−0.4(−0.48,−0.27)	−0.85(−1.99,−0.36)	1430.5	<0.001
偏度 Skewness	0.65(0.39, 0.87)	0.82(0.52,1.07)	726	0.039
方差 Variance	0.66(0.51, 0.94)	0.85(0.59,1.1)	738	0.049

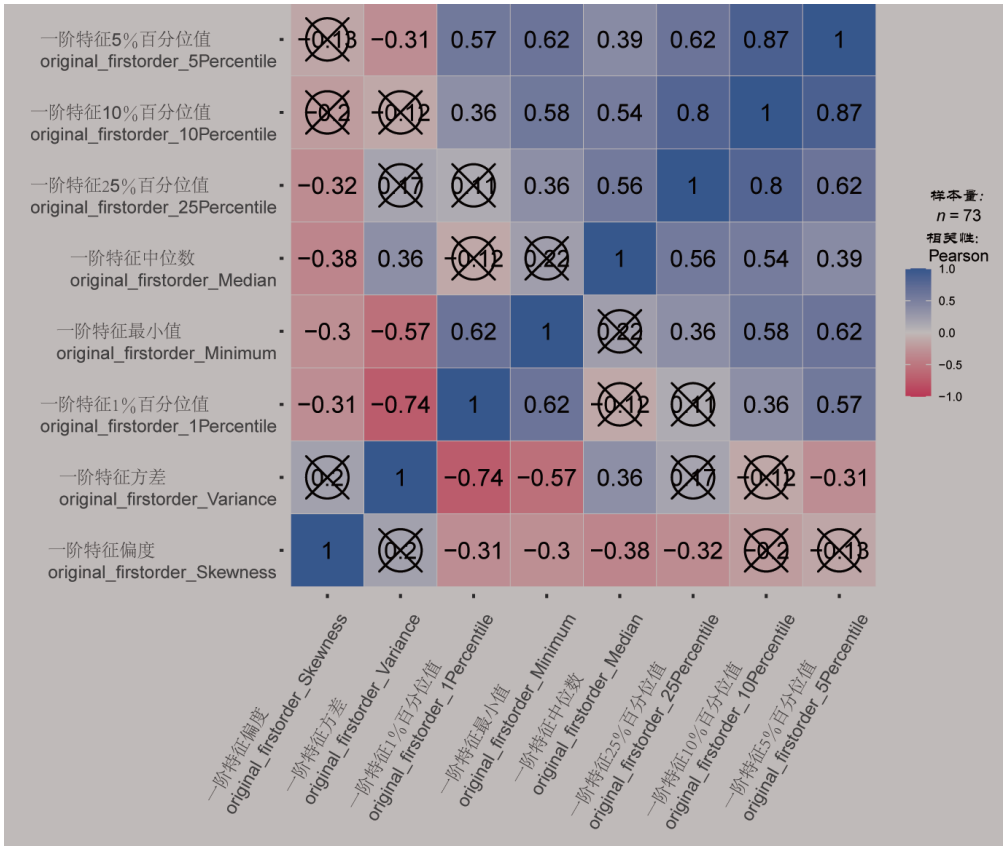

图 2　相关性分析的结果(热图):所有特征之间的相关系数均小于 0.90；⊗为 P>0.05。

Figure 2　Results of correlation analysis (heat map): all the correlation coefficients between the features were less than 0.90; ⊗, P>0.05.

究利用 CT 灰度直方图对感染病灶进行定量分析,发现一阶特征在鉴别 BS 与 PS 上表现出较好的效能,联合模型 AUC 为 0.86。

布鲁氏菌是一种革兰氏阴性和兼性的细胞内细菌[12],由布鲁氏菌感染引起的布鲁氏菌病是一种人畜共患疾病,是全球公共卫生问题,每年报告超过 50 万新病例,对我国畜牧业占主导地位的偏远地区而言,是一个巨大的负担[13,14]。布鲁氏菌是导致脊柱炎的病因微生物之一,其主要症状包括发热、疲劳、关节疼痛和肌肉疼痛、出汗、食欲不振、体重下降、背部和腰部疼痛。布鲁氏菌感染引起的脊柱病变包括椎体、椎间盘和邻近结构[15]。BS 感染通常从终板的前缘开始,随后累及椎间盘;受感染的椎间盘进一步累及下一节椎骨的终板,并导致终板的局灶性破坏[16]。农民、兽医、牧民、乳制品行业从业人员、实验室工作人员和动物饲养员等为 BS 的高危人群[17]。BS 好发于腰椎,尤其是下腰椎,其次是骶椎和胸椎,颈椎受累少见。早期 BS 常从血运丰富的终板开始破坏,类似于终板炎表现。CT 主要表现为相邻两个椎体骨质破坏,局限性骨质破坏为多见;以虫蚀状骨质破坏伴骨质增生硬化最常见,甚至出现椎体压缩及脊柱后凸畸形;骨质破坏及修复取决于机体免疫反应与细菌毒力和数量之间的相对平衡状态[18]。

近年来 PS 的发病率因慢性消耗性疾病患者的预期寿命提高而增加,其中最常见的合并基础疾病是糖尿病,大约 30%的患者有糖尿病,其次是恶性肿瘤[5,19]。与此同时,先进的影像学检查手段的推广,大大提高了 PS 早期筛出率[20]。PS 通常由单一病原菌感染致病,其微生物病原学在不同的研究中有所不同,但最常报告的病原菌种为金黄色葡萄球菌,约为 30%~80%,革兰氏阴性菌感染约为 25%[2,5]。PS 主要发生于腰椎,其次是胸椎和颈椎。椎间隙变窄、终板及终板下有虫蚀状或波浪状骨质破坏,病灶边缘有骨质硬化,部分患者出现沙粒状死骨形成。相比 BS,PS 骨质破坏较轻而椎间隙破坏更严重,此外 PS 周围肉芽肿形成多见[21]。尽管有研究尝试总结 BS 和 PS 的影像学特异性表现,但多数情况下仍然很难单靠传统的影像学检查明确诊断[22,23]。

放射组学作为一种新兴技术,利用数学算法从医学成像中提取数据,进行高级图像分析。其基本概念是医学成像包含定量信息,这些信息人眼无法识别,并可能反映组织的潜在病理生理学[24]。

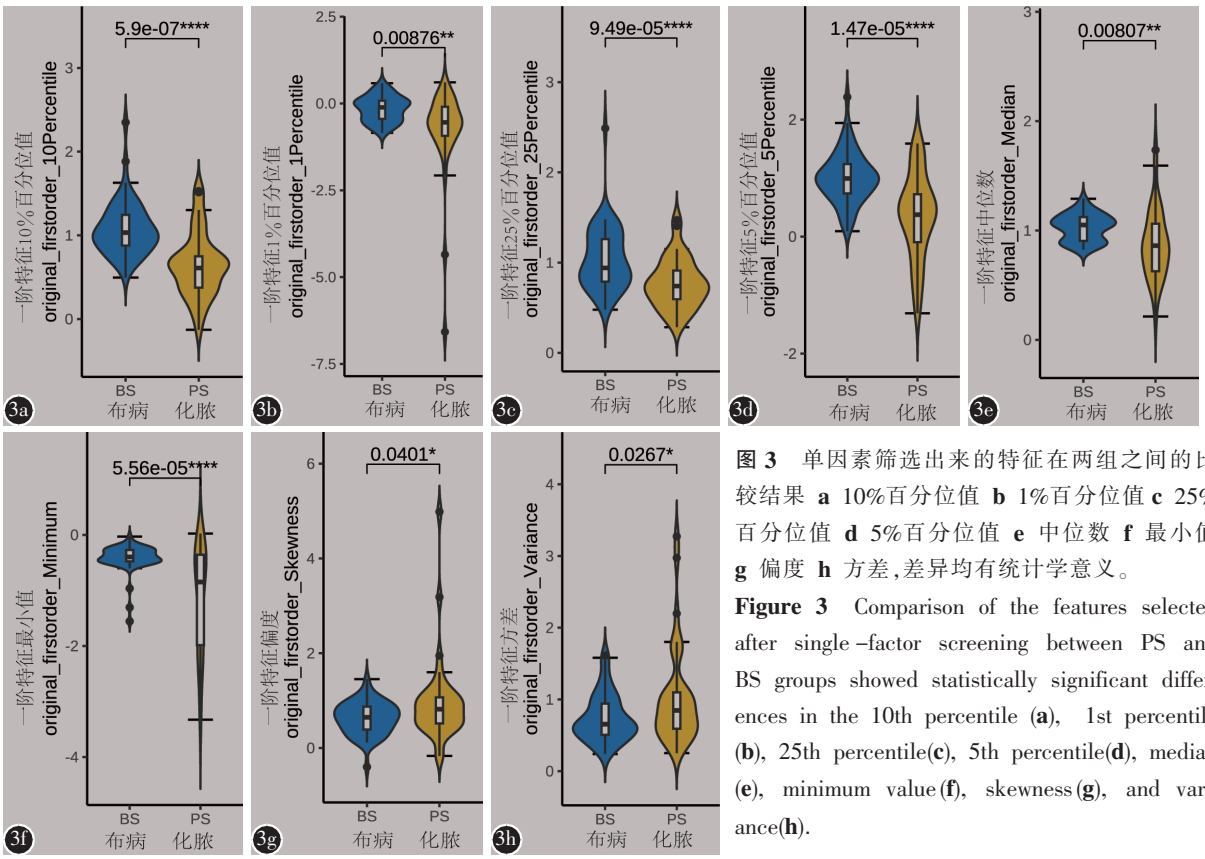

图 3 单因素筛选出来的特征在两组之间的比较结果 **a** 10%百分位值 **b** 1%百分位值 **c** 25%百分位值 **d** 5%百分位值 **e** 中位数 **f** 最小值 **g** 偏度 **h** 方差,差异均有统计学意义。

Figure 3 Comparison of the features selected after single-factor screening between PS and BS groups showed statistically significant differences in the 10th percentile (**a**), 1st percentile (**b**), 25th percentile(**c**), 5th percentile(**d**), median (**e**), minimum value(**f**), skewness(**g**), and variance(**h**).

因此，放射组学的一个重要目标是根据从医学图像中获得的潜在特征构建预测模型，以支持精准医疗。直方图分析技术作为一种新兴研究方法，在临床研究中应用越来越广泛。Li 等[25]为评估克罗恩病患者肠道纤维化的情况，使用基于计算机断层扫描肠造影的放射组学模型，准确区分了不同结局的患者，对克罗恩病研究提供了新的思路。不仅如此，放射组学还被应用到区分不同时期的炎症反应[26]。Ding 等[27]使用基于 MRI 的放射组学模型评估了克罗恩病活动期炎症严重性，并表明模型具备良好的鉴别能力。在肿瘤成像中，定量放射组学特征可表征肿瘤表型，具有预测治疗反应的潜力。因此，有学者使用机器学习方法结合放射组学来判断肿瘤辅助化疗的疗效[28~30]。

本研究利用 CT 图像一阶特征对感染病灶进行定量分析，将单因素有意义的变量进行相关性分析，过滤强线性相关指标；随后对选出的变量进行多因素逻辑回归分析，并联合所有特征进行建模，发现 10%百分位值、1%百分位值、25%百分位值、5%百分位值、中位数、最小值、偏度及方差在鉴别 BS 与 PS 上表现出较好的诊断效能。单个特征当中，10%百分位值的诊断效能最好，AUC 为 0.824，灵敏度为 0.714，特异度为 0.893，准确度为 0.824，PPV 为 0.833，NPV 为 0.806。Zhang 等[31]在基于血管超声的纹理分析识别易损颈动脉斑块的研究中，基于最小绝对收缩和选择算子（least absolute shrinkage and selection operator，LASSO）

表 2 直方图特征多因素 Logistic 回归分析结果

Table 2 Results of multivariate logistic regression analysis of histogram features

特征 Features	优势比 Odds ratio(OR)	95%置信区间 95% confidence interval(CI)	*P*值 *P* value
10%百分位值 Perc.10%	0.07	0.00，3.67	0.2
1%百分位值 Perc.1%	1.06	0.18，4.19	>0.9
25%百分位值 Perc.25%	1.23	0.02，83.5	>0.9
5%百分位值 Perc.5%	0.86	0.07，12.3	>0.9
中位数 Median	0.12	0.00，12.3	0.4
最小值 Minimum	0.39	0.05，1.75	0.3
偏度 Skewness	1.44	0.27，6.75	0.6
方差 Variance	2.23	0.27，17.9	0.4

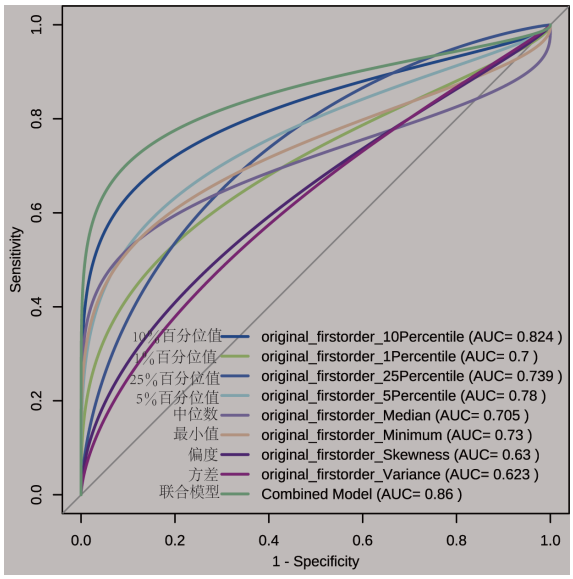

图 4 直方图特征及联合模型的受试者工作特征曲线（ROC 曲线）；联合模型：综合筛选出来的特征建立的 Logistics 回归模型。

Figure 4 Receiver operating characteristic curve(ROC) of histogram features and combined model; Combined model referred to a logistic regression model combining all screened features.

表 3 直方图特征及联合模型诊断效能分析结果

Table 3 Results of diagnosis efficiency using histogram features and combined model

特征 Characteristics	曲线下面积 Area under the curve (AUC)	灵敏度 Sensitivity	特异度 Specificity	准确度 Accuracy	阳性预测值 Positive predictive (PPV)	阴性预测值 Negative predictive value(NPV)
10%百分位值 Perc.10%	0.824	0.714	0.893	0.824	0.833	0.806
1%百分位值 Perc.1%	0.7	0.714	0.625	0.659	0.778	0.543
25%百分位 Perc.25%	0.739	0.743	0.661	0.692	0.804	0.578
5%百分位值 Perc.5%	0.78	0.714	0.786	0.758	0.815	0.676
中位数 Median	0.705	0.714	0.661	0.681	0.787	0.568
最小值 Minimum	0.73	0.6	0.768	0.703	0.754	0.618
偏度 Skewness	0.63	0.657	0.411	0.505	0.657	0.411
方差 Variance	0.623	0.629	0.571	0.593	0.711	0.478
联合模型 Combined model	0.86	0.714	0.946	0.857	0.841	0.893

方法筛选出的 7 个特征里,10%百分位值的系数最高,在易损斑块组与稳定组之间的差异显著,与本研究结果一致。其次为 5%百分位值诊断效能最较好,AUC 为 0.780,灵敏度主 0.714,特异度为 0.786, 准确度为 0.758,PPV 为 0.815,NPV 为 0.676。Lee 等[32]在早期区分短暂性和持续性实体磨玻璃样结节的研究中, 使用胸部 CT 图像提取纹理特征, 发现两组在 5%、10%和 25%百分位特征存在显著性差异, 诊断效能分析显示 AUC 为 0.831,可见纹理特征在多个系统疾病的鉴别都具有较好的预测效能。

本研究结果显示,PS 和 BS 患者基本临床特征在统计学上没有显著性差异。影像组学直方图特征上,BS 组 10%百分位值、25%百分位值、5%百分位值和中位数大于 PS 组,1%百分位值、最小值、偏度和方差小于 PS 组,这可能是由于两者不同的微生物及感染病理生理机制造成的。利用以上 8 个特征为自变量进行多因素二元 Logistic 回归分析,从结果中未能发现独立危险因素,可能是因为样本量小、不同医师勾画的 ROI 部位及面积存在不可避免的差异。本研究结果发现偏度及方差特征的诊断效能偏小,AUC 分别为 0.630 和 0.623,前者度量了数据分布的不对称性,即数据在平均值两侧的分布是否相对平衡, 其绝对值越大,偏移越大。PS 与 BS 两者偏度均大于 0,即为右偏, 且两者偏度的差异有统计学意义 (P=0.039)。与本研究结果不同的是,Fusco 等[33]在对比增强乳腺 X 线摄片和动态对比 MRI 提取的纹理指标检测乳腺恶性病变的研究结果显示, 偏度特征在恶变组较高,其效能 AUC 为 0.71。可见使用不同影像学图像获得的特征对不同疾病的诊断效能不同。为了提高模型的诊断效能,我们将所有特征作为自变量利用 Logistic 回归建立联合模型,其效能得到了显著提升, AUC 为 0.860。孙胜君等[34]联合峰度、90%百分位值及熵等三种特征构建模型,在 MRI 图像上能较好地鉴别乳腺良恶性病变,其诊断效能 AUC 为 0.89。可以发现,联合多个特征可以明显提高模型鉴别性能。

4 结论

灰度直方图一阶特征在 PS 与 BS 患者的 CT 图像上存在显著性差异。基于 CT 灰度直方图 10%百分位值及联合模型能较好区分 PS 与 BS,为提高临床诊断率并尽早制定相应的治疗方案提供参考与依据。但本研究为回顾性研究,样本量有限、单中心研究;手工绘制病灶轮廓可能会影响直方图特征;未分析二阶纹理参数,需要在今后的研究中进一步完善。未来可以采用更复杂的机器学习和深度学习算法,探索影像特征的诊断价值。

5 参考文献

1. Stuer C, Stoffel M, Hecker J, et al. A staged treatment algorithm for spinal infections[J]. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg, 2013, 74(2): 87–95.
2. Lener S, Hartmann S, Barbagallo GMV, et al. Management of spinal infection: a review of the literature[J]. Acta Neurochir (Wien), 2018, 160(3): 487–496.
3. Zimmerli W. Clinical practice: vertebral osteomyelitis[J]. N Engl J Med, 2010, 362(11): 1022–1029.
4. Kehrer M, Pedersen C, Jensen TG, et al. Increasing incidence of pyogenic spondylodiscitis: a 14-year population-based study[J]. J Infect, 2014, 68(4): 313–320.
5. Aljawadi A, Jahangir N, Jeelani A, et al. Management of pyogenic spinal infection, review of literature[J]. J Orthop, 2019, 16(6): 508–512.
6. Ma C, Wu H, Chen G, et al. The potential of metagenomic next-generation sequencing in diagnosis of spinal infection: a retrospective study[J]. Eur Spine J, 2022, 31(2): 442–447.
7. Kim CJ, Song KH, Park WB, et al. Microbiologically and clinically diagnosed vertebral osteomyelitis: impact of prior antibiotic exposure[J]. Antimicrob Agents Chemother, 2012, 56(4): 2122–2124.
8. Park JE, Park SY, Kim HJ, et al. Reproducibility and generalizability in radiomics modeling: possible strategies in radiologic and statistical perspectives[J]. Korean J Radiol, 2019, 20(7): 1124–1137.
9. Park JE, Kim HS, Kim D, et al. A systematic review reporting quality of radiomics research in neuro-oncology: toward clinical utility and quality improvement using high-dimensional imaging features[J]. BMC Cancer, 2020, 20(1): 1–11.
10. Kim NJ. Microbiologic diagnosis of pyogenic spondylitis[J]. Infect Chemother, 2021, 53(2): 238–246.
11. Liu X, Zheng M, Jiang Z, et al. Computed tomography imaging characteristics help to differentiate pyogenic spondylitis from brucellar spondylitis[J]. Eur Spine J, 2020, 29(7): 1490–1498.
12. Al-Adsani W, Ahmad A, Al-Mousa M. A case of brucella melitensis endocarditis in a patient with cardiovascular implantable electronic device[J]. Infect Drug Resist, 2018, 11: 387–390.
13. Rossetti CA, Arenas-Gamboa AM, Maurizio E. Caprine brucellosis: a historically neglected disease with significant impact on public health[J]. PLoS Negl Trop Dis, 2017, 11(8):

e0005692.

14. Golshani M, Buozari S. A review of brucellosis in Iran: epidemiology, risk factors, diagnosis, control, and prevention[J]. Iran Biomed J, 2017, 21(6): 349–359.
15. Tali ET, Koc AM, Oner AY. Spinal brucellosis[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2015, 25(2): 233–245.
16. Li T, Li W, Du Y, et al. Discrimination of pyogenic spondylitis from brucellar spondylitis on MRI [J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97(26): e11195.
17. Khurana SK, Sehrawat A, Tiwari R, et al. Bovine brucellosis: a comprehensive review[J]. Vet Q, 2021, 41(1): 61–88.
18. 刘佳佳, 刘岭岭, 张家伟, 等. 布氏杆菌性脊柱炎的 CT 和 MRI 表现[J]. 放射学实践, 2020, 35(2): 223–227.
19. Pola E, Logroscino CA, Gentiempo M, et al. Medical and surgical treatment of pyogenic spondylodiscitis [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2012, 16(Suppl 2): 35–49.
20. Hwang JH, Lee SY, Lee J, et al. Pyogenic spondylitis caused by klebsiella pneumoniae: should the possibility of hypervirulent klebsiella pneumoniae be considered [J]. BMC Infect Dis, 2022, 22(1): 1–6.
21. 张宁, 曾献军, 何来昌, 等. MRI 在成人化脓性脊柱炎与结核性脊柱炎的鉴别诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(2): 368–372.
22. Gao M, Sun J, Jiang Z, et al. Comparison of tuberculous and brucellar spondylitis on magnetic resonance images [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2017, 42(2): 113–121.
23. Bagheri AB, Ahmadi K, Chokan NM, et al. The diagnostic value of MRI in brucella spondylitis with comparison to clinical and laboratory findings[J]. Acta Inform Med, 2016, 24(2): 107–110.
24. Chetan MR, Gleeson FV. Radiomics in predicting treatment response in non-small-cell lung cancer: current status, challenges and future perspectives[J]. Eur Radiol, 2021, 31(2): 1049–1058.
25. Li X, Liang D, Meng J, et al. Development and validation of a novel computed-tomography enterography radiomic approach for characterization of intestinal fibrosis in crohn's disease[J]. Gastroenterology, 2021, 160(7): 2303–2316.
26. Wei H, Shao Z, Fu F, et al. Value of multimodal MRI radiomics and machine learning in predicting staging liver fibrosis and grading inflammatory activity [J]. Br J Radiol, 2023, 96(1141): 20220512.
27. Ding H, Li J, Jiang K, et al. Assessing the inflammatory severity of the terminal ileum in crohn disease using radiomics based on MRI[J]. BMC Med Imaging, 2022, 22(1): 118.
28. Wang W, Peng Y, Feng X, et al. Development and validation of a computed tomography-based radiomics signature to predict response to neoadjuvant chemotherapy for locally advanced gastric cancer[J]. JAMA Netw Open, 2021, 4(8): e2121143.
29. Horvat N, Veeraraghavan H, Khan M, et al. MR imaging of rectal cancer: radiomics analysis to assess treatment response after neoadjuvant therapy[J]. Radiology, 2018, 287(3): 833–843.
30. Song M, Li S, Wang H, et al. MRI radiomics independent of clinical baseline characteristics and neoadjuvant treatment modalities predicts response to neoadjuvant therapy in rectal cancer[J]. Br J Cancer, 2022, 127(2): 249–257.
31. Zhang L, Lyu Q, Ding Y, et al. Texture analysis based on vascular ultrasound to identify the vulnerable carotid plaques [J]. Front Neurosci, 2022, 16: 885209.
32. Lee SH, Lee SM, Goo JM, et al. Usefulness of texture analysis in differentiating transient from persistent part-solid nodules(PSNS): a retrospective study[J]. PLoS One, 2014, 9(1): e85167.
33. Fusco R, Di Bernardo E, Piccirillo A, et al. Radiomic and artificial intelligence analysis with textural metrics extracted by contrast-enhanced mammography and dynamic contrast magnetic resonance imaging to detect breast malignant lesions[J]. Curr Oncol, 2022, 29(3): 1947–1966.
34. 孙胜君, 李芹, 李方正, 等. 合成 MRI 全容积直方图特征鉴别乳腺良恶性病变的价值[J]. 磁共振成像, 2023, 14(8): 58–62, 164.

(收稿日期:2023-04-15 末次修回日期:2023-08-23)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 卢庆霞)