

论著·临床研究

肠道 CT 图像纹理分析和非线性判别分析在结直肠癌及溃疡性结肠炎判别诊断中的应用

王笑^{1,2}, 所世腾¹, 朱炯¹, 冯琦¹, 华小兰¹, 王伟中², 龚建中², 刘钧¹, 路青¹

1. 上海交通大学 医学院附属仁济医院放射科, 上海 200127; 2. 上海市浦东医院, 复旦大学附属浦东医院放射科, 上海 201399

[摘要] **目的**·探索肠道 CT 图像纹理分析在结直肠癌 (colorectal cancer, CRC) 与溃疡性结肠炎 (ulcerative colitis, UC) 中应用的可行性及其诊断价值。**方法**·回顾性分析 61 例 CRC 患者、62 例 UC 患者及 42 例无任何肠道疾病者的腹部三期增强扫描 CT 图像, 在不同扫描期采用 MaZda 软件手动勾画感兴趣区并选择纹理特征。分别使用 3 种特征筛选法筛选出最具有判别效能的纹理特征, 并使用 6 种特征分类法判别这 2 种疾病。判别结果以错判率 (misclassification rate, MCR) 表示。同时由 2 名具有 10 年以上消化道疾病影像诊断经验的医师对疾病进行判别, 将人眼视觉判别结果与纹理分类判别结果进行比较。**结果**·纹理分类鉴别 CRC 和 UC 在平扫期、动脉期、肠期的平均 MCR 分别为 (28.42±6.89)%、(28.19±4.07)%、(19.10±3.58)%; 非线性判别分析 (nonlinear discriminant analysis, NDA) 较其他分类法的准确性更高, 特别在肠期结果最佳, MCR 为 12.61%。在平扫期、动脉期、肠期, 纹理分类鉴别 CRC 和正常对照肠壁的平均 MCR 分别为 (13.33±7.21)%、(15.49±5.47)%、(6.74±3.02)%, 而纹理分类鉴别 UC 和正常对照肠壁的平均 MCR 分别为 (19.26±4.68)%、(20.04±6.63)%、(16.74±6.36)%。在平扫期、动脉期、肠期, 人眼视觉判别 CRC 和 UC 的平均 MCR 分别为 (40.48±3.21)%、(35.71±1.60)%、(26.43±1.15)%, 而纹理分类计算的 MCR 较人眼视觉判别的 MCR 低, 计算机纹理分类有更高的鉴别诊断率。**结论**·肠道 CT 成像结合计算机纹理分析技术可以作为诊断 CRC 与 UC 的辅助手段。NDA 分类法较其他分类法准确性更高, 特别是在肠期的判别效果最优。

[关键词] 体层摄影术; 螺旋计算机; 结直肠癌; 溃疡性结肠炎; 诊断

[DOI] 10.3969/j.issn.1674-8115.2018.06.007 **[中图分类号]** R445.3; R735.7 **[文献标志码]** A

Application of intestinal CT texture analysis and nonlinear discriminant analysis in differential diagnosis of colorectal cancer and ulcerative colitis

WANG Xiao^{1,2}, SUO Shi-teng¹, ZHU Jiong¹, FENG Qi¹, HUA Xiao-lan¹, WANG Wei-zhong², GONG Jian-zhong², LIU Jun¹, LU Qing¹

1. Department of Radiology, Renji Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China; 2. Department of Radiology, Shanghai Pudong Hospital, Fudan University Pudong Medical Center, Shanghai 201399, China

[Abstract] **Objective**·To evaluate the value of texture analysis in the discrimination of colorectal cancer (CRC) and ulcerative colitis (UC). **Methods**·The CT images of 61 CRC patients, 62 UC patients and 42 control objects were retrospectively analyzed. All the patients were pathologically proved and performed triphasic contrast-enhanced CT scan: non-enhanced phase (NP), the arterial phase (AP) and the enteric phase (EP). The region of interest was drawn along the abnormal bowel wall's edge in each scan phase and texture features were generated by MaZda software. Based on 3 texture feature selection methods, the optimal subsets were generated and analyzed by 6 texture feature classification methods. The results were shown by misclassification rate (MCR). To compare the performance of texture-based classification and human visual classification, two radiologists with more than 10 years of gastrointestinal disease diagnostic experience analyzed the data. **Results**·The texture analysis based average MCR of differentiation between CRC and UC was (28.42±6.89)%, (28.19±4.07)%, (19.10±3.58)% in NP, AP, EP respectively. Compared with other texture feature classification methods, nonlinear discriminant analysis (NDA) was more accurate. In EP, NDA achieved an excellent classification result (MCR=12.61%). The average MCR between CRC and normally dilated bowel wall (NOR) was (13.33±7.21)%, (15.49±5.47)%, (6.74±3.02)%, while the average MCR between UC and NOR was (19.26±4.68)%, (20.04±6.63)%, (16.74±6.36)% in NP, AP and EP respectively. For visual classification between CRC and UC, the average MCR was (40.48±3.21)%, (35.71±1.60)%, (26.43±1.15)% in NP, AP, EP respectively. But the MCR of texture classification was lower than that of human vision classification, and computer texture classification had higher differential diagnosis rate. **Conclusion**·The CT-based texture analysis could be a feasible supplementary method to differentiate CRC from UC. NDA is more accurate than other classification methods, especially in EP.

[Key words] tomography; spiral computed; colorectal neoplasm; ulcerative colitis; diagnosis

[基金项目] 国家自然科学基金 (81271638, 81371622); 上海市浦江人才计划项目 (15PJ1405200) (National Natural Science Foundation of China, 81271638, 81371622; Shanghai Pujiang Talent Program, 15PJ1405200)。

[作者简介] 王笑, 男 (1983—), 主治医师, 硕士生; 电子邮箱: radiologue@sina.com。

[通信作者] 路青, 电子邮箱: drluqing_rj@163.com。

结直肠癌 (colorectal cancer, CRC) 与溃疡性结肠炎 (ulcerative colitis, UC) 是2种常见的肠道疾病,其发病率逐年升高,临床中诊断准确率的提高对于后续治疗方案的选择至关重要。研究^[1]表明,UC患者罹患CRC的风险会显著增加,尤其是病程较长的患者。因此加强对UC患者的随访观察,及时掌握肠管癌变的进程十分重要。结肠内镜联合活检方法虽然是诊断UC和CRC的金标准,但存在操作程序复杂、肠道显著狭窄时结肠内镜不能到达病变部位、UC急性期或溃疡明显时易导致肠道穿孔等缺点,因此临床上通常采用肠道CT作为CRC和UC的筛查工具。肠道CT由于检查速度快、无创性、可同时评价肠腔内外情况等优点而成为结肠镜检查的有力补充。临床上多通过CT观察上肠壁增厚程度和强化特征来判断有无病变及病变性质,但诊断率不高(42.4%~73.9%)^[2-3];对于正常增厚的肠壁 (normally dilated bowel wall, NOR)、病变比较局限的UC和发生于肠管狭窄部位成扁平样改变的CRC常常造成漏诊和误诊^[4-5]。因此通过某种方法提高肠道CT区分UC和CRC的准确性十分必要。

近年来,计算机纹理分析技术开始在临床中逐渐应用。通过纹理分析技术,可以准确地区分CT、MRI或B超图像中正常与非正常的组织。既往研究发现,通过对CT图像的纹理分析可以区分CRC不同的病理组织^[6],区分低级别异型增生、高级别异型增生和浸润性CRC^[7],评估肿瘤T分期^[8],进行直肠癌的临床分级^[9],预测直肠癌疗效^[10]。但这一技术在肠道CT鉴别诊断CRC和UC方面的报道较少。因此本研究拟探索计算机纹理分析技术在CRC与UC肠道CT图像鉴别及疾病诊断中的可行性及价值,以期今后的临床应用提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象

回顾性分析2014年1月—2017年10月上海交通大学医学院附属仁济医院CRC患者61例、UC患者62例及无任何肠道疾病者42例。调查对象纳入标准:①诊断标准为临床和病理活检。②早期CRC、UC患者。③CT图像局部肠壁增厚>5 mm且肠壁增厚诊断有异议的。④患者均行多排螺旋肠道CT多期增强检查,包括平扫期、动脉期和肠期增强。⑤均行肠镜检查并得到示踪技术,于降主动脉中部放置感兴趣区 (region of interest, ROI),当ROI内造影剂浓度达到100 Hu 5 s后,开始扫描动脉期,扫描范围与平扫期一致。对比剂注入后40~50 s扫描肠

期^[11]。CT扫描参数:视野 (field of view, FOV) 50 cm; 120 kV, 600 mA; 球管旋转时间0.6 s; 螺距1.375:1; 层厚1.25 mm; 层间距1.25 mm; 重建层厚1 mm; 重建卷积核以标准重建模式进行。

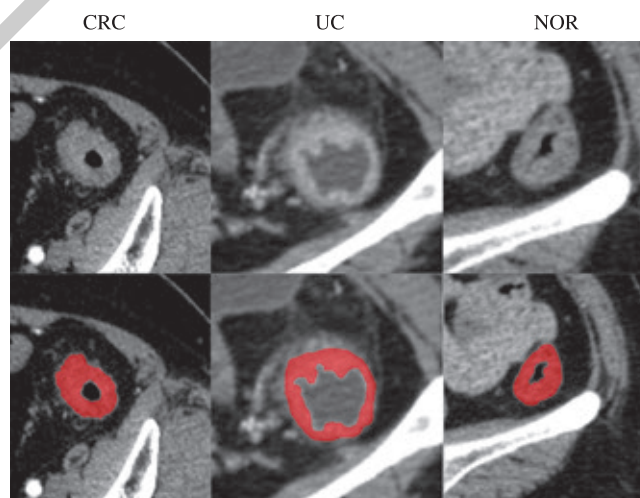
1.2 CT图像及计算机纹理分析

1.2.1 肠道CT图像ROI的选取与研究分组 选择6名具有10年以上消化道疾病影像诊断经验的医师对CT扫描图像进行辨识。医师共分为3组,每组2名。所有图像根据有无病变分为病变组和对照组。

第1组2名医师在每个扫描期各选择含有病灶的能代表病变特征的一副图像。选择对照组的原则: CRC病例,选择距离病灶10 cm以上增厚肠壁;而UC患者结肠受累范围比较大,难以区分病变和正常肠壁;无肠道疾病者,选取其增厚肠壁图像作为对照。选取图像有争议时通过协商解决。图像选择出来以后,对图像进行匿名处理并清除所有相关信息。

第2组2名医师分别独立在AW4.6图像工作站 (GE Healthcare, 美国) 测量肠壁厚度并勾画ROI (图1),测量3次并取其平均值。4周后第1名医师进行第2次测量,以判断组内及组间差异。将第1名医师先后2次的测量值分别记为a1和a2,将第2名医师的测量值记为b。在完成测量和ROI勾画以后,2名医师共同协商提供一组含病变组和对照组的平扫期、动脉期和肠期图像,用于计算机纹理分析。

第3组2名医师对第1组筛选出来的CT图像分别独立进行视觉评估。根据病理评估每个期相2名医师判断的准确率,并计算错判率 (misclassification rate, MCR)。



注:红色区域为ROI。

图1 在CT图像中勾画ROI的示意图

Fig 1 Delineation of ROI in CT images

1.2.2 纹理特征提取与筛选 采用计算机纹理分析软件 MaZda 4.6 (<http://www.eletel.p.lodz.pl/programy/mazda/>) 对勾画好 ROI 的 CT 图像进行处理, 提取并筛选出最具判别效能的纹理特征, 再运用 6 种特征分类法判别 2 种疾病。具体步骤为: ①软件自动提取 ROI 内纹理特征, 共计 275 个 (表 1)。②纹理特征筛选, 依次使用费歇尔参数 (Fisher)、分类错误概率最小化与平均相关度 (probability of classification error and average correlation, POE+ACC) 和互信息系数 (mutual information coefficients, MI) 3 种不同的特征筛选法, 分别筛选出 10 个最具有判别效能的纹理特征, 组成最优鉴别特征子集。③特征分类, 使用原始数据分析 (raw data analysis, RDA)、主成分分析 (principal component analysis, PCA)、线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA)、非线性判别分析 (nonlinear discriminant analysis, NDA)、K 最近邻分类算法 (K

nearest neighbor, K-NN) 和层次聚合聚类 (agglomerative hierarchical clustering, AHC) 6 种特征分类法分析最优判别特征子集, 并分类疾病, 计算 MCR。MCR= 总判错病例数 / 判别分组的病例总数 $\times 100\%$ [12]。AHC 结果用层次聚合聚类相关系数 (cophenetic correlation coefficient, CPCC) 表示, CPCC 值越接近 1, 2 个数据集统计相关性越强 [13]。在提取过程中, 为了减少图像明暗度、对比度等因素对分类疾病结果产生的偏倚, 对纹理特征进行标化。

MaZda 4.6 软件内置 NDA 分类法, 使用包含 2 个隐藏层的前馈人工神经网络 (artificial neural network, ANN)。支持向量机所使用的是 sigmoid 核函数。输入向量 x 经过支持向量机计算, 最终得到输出向量 y 。中间 2 层为隐藏层, 每层之间有权重系数。输入向量经过权重系数加权, 成为进入下一层的输入向量 [14]。

表 1 纹理特征来源
Tab 1 List of texture features

项目	N	特征
灰度直方图	9	均值、方差、偏度、峰度、百分位数 (1%、10%、50%、90%、99%)
灰度共生矩阵	220	角二阶矩、对比度、相关系数、平方和、均值和、熵和、熵、均差、逆差距、熵差、变异系数。4 个分布方向共 20 对像素点, 每对像素点均包含以上 11 个纹理特征
游程矩阵	20	短游程增强、长游程增强、分数游程、灰度不均匀性度量、游程长度不均匀性度量。4 个分布方向: 垂直、水平、45° 和 135°
梯度模型	5	梯度均值、梯度方差、梯度峰度、梯度偏度、非零梯度百分比
自回归模型	5	参数 θ (1 ~ 4)、 σ
小波转换	16	小波转换能量系数: 低频部分分解系数、垂直方向分解系数、水平方向分解系数、对角线方向分解系数

1.3 统计学方法

使用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 评价第 2 组 2 名医师在 ROI 像素测量和肠壁厚度测量的一致性, 分组内和组间比较。ICC 值 <0.40 为一致性差, ICC 值 $0.40 \sim 0.75$ 为一致性好, ICC 值 >0.75 为一致性非常好。对 ROI 像素测量值和肠壁厚度测量值进行方差分析。纹理分析计算的 MCR 与人眼视觉判别的 MCR 对比, 使用成组设计的两样本均值比较的 t 检验。统计所用软件为 SAS (版本 9.4)、Medcalc (版本 18.2.1)。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 调查对象基本信息

最终入组对象含 CRC 患者 61 例, 其中男性 38 例,

女性 23 例, 平均年龄 (61.5 ± 9.2) 岁; 含 UC 患者 62 例, 其中男性 30 例, 女性 32 例, 平均年龄 (36.3 ± 10.6) 岁; 含无任何肠道疾病者 42 例, 其中男性 21 例, 女性 21 例, 平均年龄 (41.2 ± 8.9) 岁。

2.2 ROI 内像素值及肠壁厚度情况

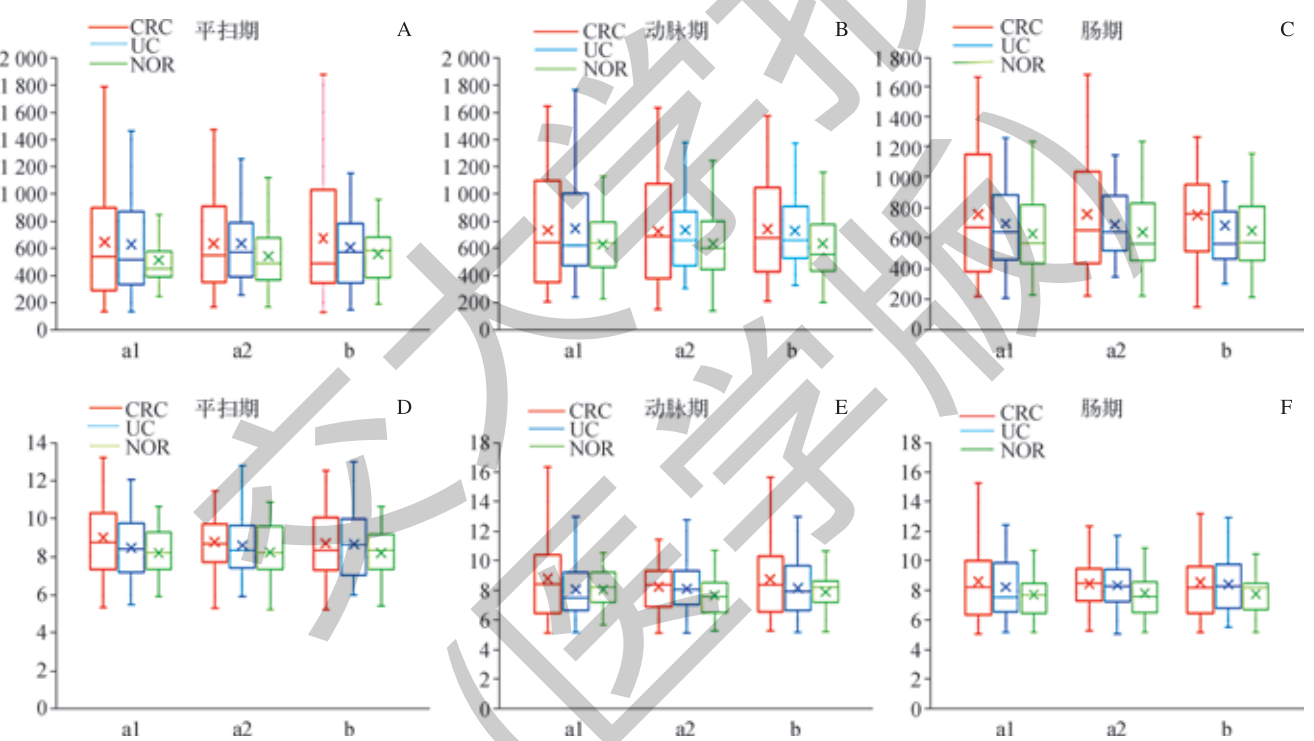
第 2 组的 2 名医师各自分别在平扫期、动脉期、肠期测量病变组和对照组 ROI 内像素及肠壁厚度。使用 ICC 评价第 2 组 2 名医师测量结果的一致性, 2 名医师测量结果组内 (a1 vs a2) 及组间 (a1 vs b) 对比一致性好 (表 2)。

第 2 组 2 名医师同期测量 CRC、UC、NOR 的 ROI 内像素数量值及肠壁厚度值, 数值分布见图 2。同期 CRC、UC、NOR 比较, 差异均无统计学意义 (表 3)。

表 2 2 位医师测量 ROI 内像素和肠壁厚度组内 (a1 vs a2) 和组间 (a1 vs b) 比较

Tab 2 Consistency of measurement results within two readers (a1 vs a2) and between two readers (a1 vs b)

测量项目	扫描期	对比项目	ICC 值		测量项目	扫描期	对比项目	ICC 值	
			a1 vs a2	a1 vs b				a1 vs a2	a1 vs b
ROI 内像素	平扫期	CRC	0.783	0.773	肠壁厚度	平扫期	CRC	0.812	0.799
		UC	0.772	0.758			UC	0.824	0.779
		NOR	0.776	0.752			NOR	0.792	0.765
	动脉期	CRC	0.787	0.784		动脉期	CRC	0.796	0.783
		UC	0.791	0.775			UC	0.773	0.776
		NOR	0.755	0.773			NOR	0.825	0.798
	肠期	CRC	0.801	0.758		肠期	CRC	0.863	0.783
		UC	0.781	0.763			UC	0.888	0.785
		NOR	0.797	0.785			NOR	0.895	0.809



注: 箱图外侧最上与最下缘为极值, 箱图上下缘为四分位数, 箱图内横线为中位数, × 为均值。

图 2 2 位医师在 3 个扫描期测量的 ROI 内像素 (A、B、C) 和肠壁厚度 (D、E、F) 的数值分布

Fig 2 Box plots showing the distribution of the pixels in the ROI (A, B, C) and the bowel wall thickness (D, E, F) in three scanning periods

表 3 CRC、UC、NOR 在 3 个扫描期的 ROI 内像素测量值和肠壁厚度测量值

Tab 3 Comparison of the measurement between CRC, UC and NOR by two readers in three scanning periods

测量项目	扫描期	对比项目	CRC	UC	NOR	F 值	P 值
ROI 内像素	平扫期	a1	647.96 ± 42.41	629.46 ± 37.66	513.13 ± 19.34	2.991	0.053
		a2	637.14 ± 34.42	632.97 ± 30.77	540.10 ± 23.61	2.162	0.118
		b	675.45 ± 39.60	607.51 ± 29.94	557.73 ± 19.71	2.441	0.091
	动脉期	a1	724.59 ± 41.65	739.65 ± 36.08	623.60 ± 20.57	2.144	0.121
		a2	713.89 ± 37.01	728.45 ± 25.56	629.52 ± 25.81	1.782	0.172
		b	730.48 ± 35.79	723.53 ± 27.27	626.16 ± 27.10	2.322	0.101

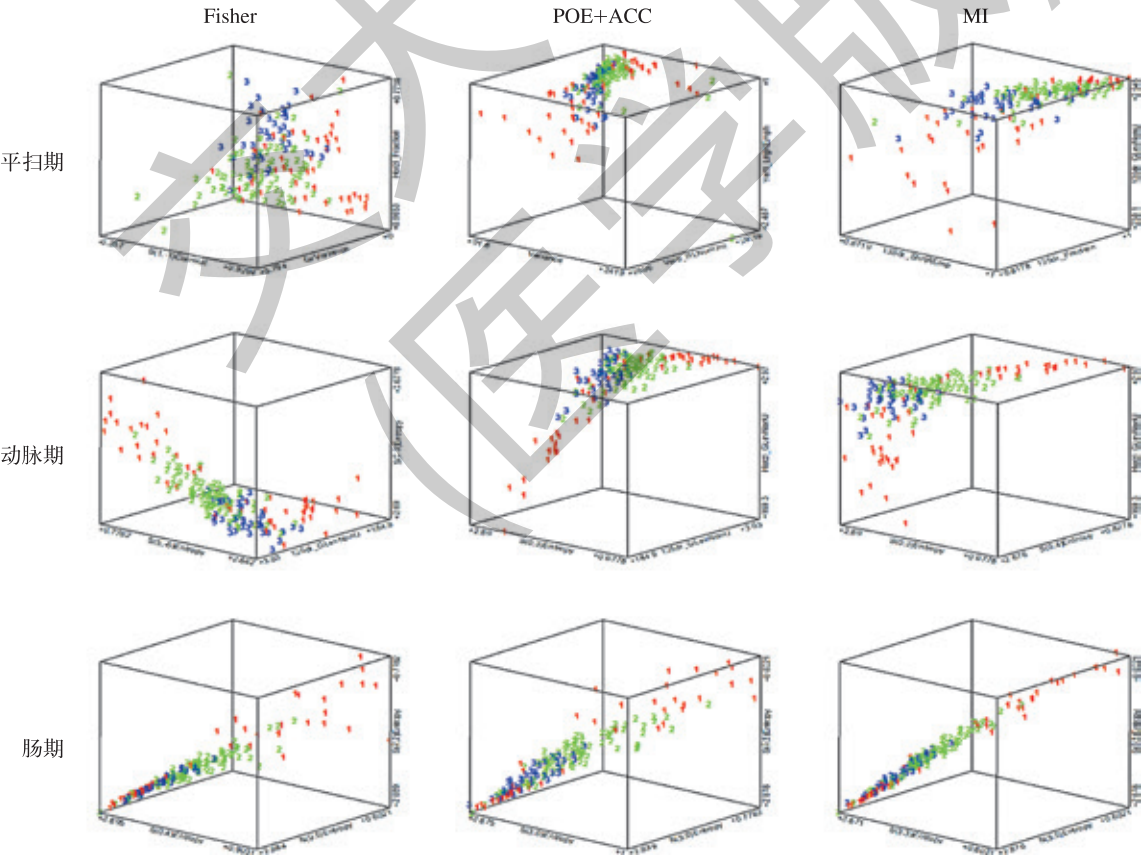
(续表 3)

测量项目	扫描期	对比项目	CRC	UC	NOR	F 值	P 值
	肠期	a1	757.03 ± 41.94	694.12 ± 31.46	628.98 ± 25.72	2.453	0.089
		a2	755.17 ± 39.25	688.32 ± 21.67	636.05 ± 25.84	2.511	0.085
		b	753.06 ± 30.38	680.29 ± 30.58	647.22 ± 27.83	2.272	0.106
肠壁厚度/mm	平扫期	a1	9.03 ± 2.51	8.49 ± 1.68	8.22 ± 1.27	3.034	0.051
		a2	8.78 ± 1.82	8.62 ± 1.48	8.24 ± 1.55	1.851	0.161
		b	8.72 ± 2.48	8.66 ± 1.74	8.21 ± 1.28	1.372	0.257
	动脉期	a1	8.78 ± 2.78	8.06 ± 1.91	8.05 ± 1.28	2.442	0.090
		a2	8.26 ± 1.95	8.10 ± 1.59	7.67 ± 1.48	1.774	0.173
		b	8.75 ± 2.69	8.17 ± 1.86	7.88 ± 1.32	3.041	0.051
	肠期	a1	8.66 ± 2.86	8.23 ± 2.00	7.77 ± 1.32	2.791	0.064
		a2	8.53 ± 1.92	8.40 ± 1.59	7.87 ± 1.39	2.872	0.060
		b	8.63 ± 2.63	8.49 ± 1.78	7.83 ± 1.25	2.931	0.056

2.3 3 个扫描期的扫描纹理特征频率情况

用 Fisher、POE+ACC、MI 3 种特征筛选法区分 CRC、UC 和 NOR 情况 (图 3)。3 种特征筛选法每期分别从 6 类纹理特征来源中选出 10 个最具有判别效能的纹理特征, 每期共计 30 个。这 30 个纹理特征的来源频率见

表 4。CRC、UC、NOR 三者联合对比时, 在动脉期和肠期, 灰度共生矩阵、灰度直方图为主要来源; 3 个扫描期中, 从小波转化提取的纹理特征数量一致。CRC 与 NOR、UC 与 NOR 对比时, 灰度共生矩阵是纹理特征的主要来源。



注: 红色为 CRC, 绿色为 UC, 蓝色为 NOR。

图 3 在平扫期、动脉期、肠期分别使用 3 种特征筛选法区分 CRC、UC、NOR

Fig 3 Images showing sample distributions between CRC, UC and NOR in non-enhanced phase, the arterial phase and the enteric phase by using three texture feature selection methods

表 4 不同特征筛选法选择的纹理特征的频率
Tab 4 Frequency of each feature category selected by all three texture feature selection methods

纹理特征来源	CRC vs UC vs NOR			CRC vs NOR			UC vs NOR		
	平扫期	动脉期	肠期	平扫期	动脉期	肠期	平扫期	动脉期	肠期
灰度直方图	12	3	3	0	1	1	0	1	2
灰度共生矩阵	9	19	15	14	13	15	18	16	14
梯度模型	0	0	0	3	3	1	0	0	0
游程矩阵	3	2	6	8	3	4	7	2	2
小波转换	6	6	6	5	5	4	5	6	7
自回归模型	0	0	0	0	5	5	0	5	5

2.4 不同特征分类法的 3 个扫描期对比分析

CRC、UC、NOR 三者联合对比 (表 5), 同期扫描 NDA 分类法较其他特征分类法可以获得更低的 MCR; 3 个扫描期对比时, NDA 分类法在肠期时 MCR 最低, 为 13.06% (标化 12.61%)。标化后肠期的 CPCC 值最低 (0.73), 平扫期最高 (0.83)。同期对不同转换算法得到的 MCR 平均化后 (表 6), 发现肠期平均 MCR 最低, 为 $(22.61 \pm 5.29) \% [\text{标化} (19.10\% \pm 3.58) \%]$ 。

CRC 与 NOR 对比及 UC 与 NOR 对比时 (表 5), 使用 NDA 分类法在肠期获得的 MCR 最低, 分别是 2.21% (标化 1.66%)、5.29% (标化 5.29%)。同期扫描对比, NDA 分类法较其他分类法 MCR 值更低。标化后肠期的 CPCC 值最低, 分别是 0.72、0.63。同期对不同特征分类法得到的 MCR 平均化后 (表 6), 肠期平均 MCR 最低, 标化值分别为 $(6.74\% \pm 3.02) \%$ 、 $(16.74\% \pm 6.36) \%$ 。

表 5 比较不同特征分类法获得的 MCR (%)
Tab 5 Results of texture feature-based percentages of MCR (%)

对比项目	特征筛选法	RDA	PCA	LDA	NDA	K-NN	CPCC
CRC vs UC vs NOR							
平扫期	Fisher	26.01 (23.32)	34.98 (23.77)	25.56 (26.46)	26.91 (21.52)	26.01 (23.32)	0.90 (0.80)
	POE+ACC	37.22 (32.74)	37.67 (32.29)	46.19 (47.98)	31.26 (31.26)	37.22 (32.74)	0.59 (0.83)
	MI	30.49 (26.91)	36.32 (26.91)	29.60 (30.94)	19.28 (19.28)	30.49 (26.91)	0.89 (0.76)
动脉期	Fisher	45.29 (29.60)	50.67 (29.15)	24.66 (25.11)	20.63 (19.28)	45.29 (29.60)	0.63 (0.79)
	POE+ACC	35.87 (29.60)	35.87 (30.04)	32.74 (29.60)	19.28 (19.28)	35.87 (29.60)	0.55 (0.73)
	MI	35.87 (28.70)	37.67 (28.70)	30.49 (34.08)	32.74 (31.84)	35.87 (28.70)	0.92 (0.74)
肠期	Fisher	25.68 (20.27)	27.03 (19.37)	21.62 (22.97)	13.06 (12.61)	25.68 (20.27)	0.83 (0.73)
	POE+ACC	25.68 (20.27)	27.03 (19.37)	21.62 (22.97)	13.06 (12.61)	25.68 (20.27)	0.83 (0.73)
	MI	25.68 (20.27)	27.03 (19.37)	21.62 (22.97)	13.06 (12.61)	25.68 (20.27)	0.83 (0.73)
CRC vs NOR							
平扫期	Fisher	18.13 (10.44)	20.88 (10.44)	10.99 (10.99)	6.59 (6.59)	18.30 (10.44)	0.91 (0.78)
	POE+ACC	22.53 (23.08)	28.02 (23.08)	27.47 (27.47)	13.74 (13.74)	22.53 (23.08)	0.60 (0.80)
	MI	20.33 (7.69)	21.43 (7.69)	12.64 (12.64)	4.95 (4.95)	20.33 (7.69)	0.92 (0.90)
动脉期	Fisher	21.98 (15.38)	23.08 (15.38)	15.38 (15.38)	6.59 (6.59)	21.98 (15.38)	0.83 (0.75)
	POE+ACC	22.53 (20.33)	22.53 (20.33)	12.09 (12.09)	4.95 (4.95)	22.53 (20.33)	0.42 (0.79)
	MI	21.43 (20.33)	17.58 (20.33)	18.13 (18.13)	7.14 (7.14)	21.43 (20.33)	0.92 (0.80)
肠期	Fisher	25.41 (9.39)	25.97 (10.50)	6.08 (6.08)	2.21 (1.66)	25.41 (9.39)	0.62 (0.72)
	POE+ACC	25.41 (9.39)	25.97 (10.50)	6.08 (6.08)	2.21 (1.66)	25.41 (9.39)	0.62 (0.72)
	MI	12.15 (5.52)	22.65 (6.63)	6.63 (6.63)	2.76 (2.76)	12.15 (5.52)	0.93 (0.78)

(续表 5)

对比项目	特征筛选法	RDA	PCA	LDA	NDA	K-NN	CPCC
UC vs NOR							
平扫期	Fisher	19.30 (23.98)	20.47 (23.98)	18.71 (18.71)	14.62 (14.04)	19.30 (23.98)	0.65 (0.80)
	POE+ACC	19.30 (23.98)	20.47 (23.98)	18.71 (18.71)	14.62 (14.04)	19.30 (23.98)	0.65 (0.80)
	MI	23.98 (18.71)	23.98 (17.54)	15.20 (15.20)	10.53 (9.36)	23.98 (18.71)	0.95 (0.70)
动脉期	Fisher	24.56 (19.88)	21.05 (21.05)	19.30 (19.30)	7.02 (7.02)	24.56 (19.88)	0.59 (0.80)
	POE+ACC	24.56 (19.88)	21.05 (21.05)	19.30 (19.30)	7.02 (7.02)	24.56 (19.88)	0.59 (0.80)
	MI	26.32 (27.49)	25.15 (24.56)	25.73 (25.73)	11.11 (11.70)	26.32 (27.49)	0.62 (0.65)
肠期	Fisher	27.65 (21.76)	27.65 (22.35)	24.71 (24.71)	8.82 (8.82)	27.65 (21.76)	0.64 (0.66)
	POE+ACC	22.35 (22.35)	27.65 (22.35)	14.71 (14.71)	5.29 (5.29)	22.35 (22.35)	0.63 (0.80)
	MI	27.65 (13.53)	27.65 (15.29)	15.88 (15.88)	6.47 (6.47)	27.65 (13.53)	0.64 (0.63)

注: 括号内为标化值。

表 6 不同特征分类法得到的平均 MCR (%)

Tab 6 Average MCR by using 6 texture feature classification methods (%)

组别	MCR
CRC vs UC vs NOR	
平扫期	31.68 ± 6.69 (28.42 ± 6.89)
动脉期	34.59 ± 8.69 (28.19 ± 4.07)
肠期	22.61 ± 5.29 (19.10 ± 3.58)
CRC vs NOR	
平扫期	17.92 ± 6.86 (13.33 ± 7.21)
动脉期	17.29 ± 6.52 (15.49 ± 5.47)
肠期	15.10 ± 10.19 (6.74 ± 3.02)
UC vs NOR	
平扫期	18.83 ± 3.81 (19.26 ± 4.68)
动脉期	20.51 ± 6.75 (20.04 ± 6.63)
肠期	20.94 ± 8.45 (16.74 ± 6.36)

2.5 人眼视觉判别与纹理分类判别对比

人眼视觉判别与纹理分类判别 CRC 与 UC 情况见表 7。第 3 组医师中, 第 1 名医师在平扫期、动脉期、肠期的 MCR 分别是 38.21%、34.58%、25.62%, 第 2 名医师相应的 MCR 分别是 42.75%、36.84%、27.24%。在 3 个扫描期, 人眼视觉判别与纹理分类判别 MCR 比较, 差异均有统计学意义 (表 7)。

表 7 人眼视觉判别与纹理分类判别 CRC 与 UC 在不同扫描期的 MCR (%)

Tab 7 Average MCR by visual classification and texture classification in each phase (%)

扫描期	视觉判别	纹理分类判别	T 值	P 值
平扫期	40.48 ± 3.21	28.42 ± 6.89	2.392	0.031
动脉期	35.71 ± 1.60	28.19 ± 4.07	2.531	0.023
肠期	26.43 ± 1.15	19.10 ± 3.58	2.804	0.013

注: 纹理分类鉴别数据为标化值。

3 讨论

计算机纹理分析技术主要依靠计算机对影像的纹理特征进行自动识别和分析。与常规影像鉴别分析比较, 纹理分析可提供图像的客观信息而不依赖诊断医师的主观判断。临床上纹理分析可用于多种影像图像的判别分析, 如 CT、MRI 和 B 超等, 尤其是对常规影像无法判别的疾病具有一定的优势^[15]。本研究结果发现纹理分析在 CRC、UC 和 NOR 三者联合判别时, MCR 最低为 12.61% (标化); CRC 与 NOR、UC 与 NOR 两两判别时, MCR 最低, 分别是 1.66% (标化) 和 5.29% (标化)。

本研究无论使用何种特征筛选法, 灰度共生矩阵的纹理特征被选出的频率均最多, 此结果与既往研究一致^[16]。原因可能与灰度共生矩阵中纹理特征分类更加精细、对组织结构变化更加敏感或者即使在分析总像素较小的图像 (腹部磁共振低分辨率图像) 时也能得到充足的组织特异性纹理信息有关。无论是 CRC、UC、NOR 三者联合对比, 还是 CRC 与 NOR、UC 与 NOR 对比, 标化后肠期的 MCR 均比其他扫描期 MCR 低, 这主要与不同组织血管特点及强化方式有关。Schindera 等^[11] 研究结果表明对比剂注入后 40 ~ 50 s 最有利于正常肠道的显示, 而 CRC 与 UC 血管组成和分布与正常肠壁截然不同, 因此肠期纹理特征差异最明显, 最易于区分。

CT 图像数据通常是高维度、非线性数据, 研究中使用 6 种特征分类法的目的是将高维度、非线性数据转化为低维度、线性数据, 便于分析和分类。本研究发现 NDA 算法在 3 个扫描阶段的 MCR 均最低, 这可能与 NDA 算法的特性有关。NDA 算法的特点是通过选择使用合适的支持向量机, 把输入前非线性不可分离数据转化成三维空



间分布的、可分离的线性数据。使用不同的内积核函数可以产生不同的支持向量机。常见的4类核函数包括:线性核函数、多项式核函数、径向基核函数和sigmoid核函数。MaZda 4.6内置为sigmoid核函数,可以更好地将非线性的、不可分离的数据转换成线性的、可分离的数据^[14],而其他5个特征分类法是线性变换,在将非线性数据转换为线性数据方面具有局限性。

AHC是一种层次算法,采用自下而上的方法对2个最近的对象进行比较,如果相似则合并。此过程直至程序遇到一个停止条件才终止,并且类似对象将被分到同一个组别中。该算法的主要优点是更好地显示2个数据集的相似性。CPCC越接近1,表明2个数据集统计相关性越

强^[13]。本研究结果表明,无论是CRC、UC、NOR三者联合比较,还是CRC与NOR、UC与NOR比较,肠期纹理特征差异最明显。

研究发现CT影像图像的纹理分类优于视觉分类。值得注意的是,进行视觉分类的2名医师都有超过10年的工作经验。如果影像医师经验不足,视觉分类MCR将更高。这一有力的证据表明肠道CT成像联合计算机纹理分析技术判别CRC和UC的能力更高效。

总之,本研究结果表明CT图像纹理分析是一项可行的技术,可为临床判别CRC和UC提供可靠信息,尤其是NDA,较其他分类法准确性更高。同时,不同CT扫描期产生的纹理特征具有不同的判别效力。

参·考·文·献

- [1] 李文彬,李景南. 肠道菌群与溃疡性结肠炎癌变的研究进展[J]. 中华消化杂志, 2017, 37(5): 353-355.
- [2] Wolff JH, Rubin A, Potter JD, et al. Clinical significance of colonoscopic findings associated with colonic thickening on computed tomography: is colonoscopy warranted when thickening is detected?[J]. Clin Gastroenterol, 2008, 42(5): 472-475.
- [3] Uzzaman MM, Alam A, Nair MS, et al. Computed tomography findings of bowel wall thickening: its significance and relationship to endoscopic abnormalities[J]. Ann R Coil Surg Engl, 2012, 94(1): 23-27.
- [4] Hristova L, Soyer P, Hoeffel C, et al. Colorectal cancer in inflammatory bowel disease: CT features with pathological correlation[J]. Abdominal Imaging, 2013, 38: 421-435.
- [5] Ganguly A, Meredith S, Probert C, et al. Colorectal cancer mimics: a review of the usual suspects with pathology correlation[J]. Abdom Radiol (NY), 2016, 41(9): 1851-1866.
- [6] Kather JN, Weis CA, Bianconi F, et al. Multi-class texture analysis in colorectal cancer histology[J]. Sci Rep, 2016, 6: 27988.
- [7] Li W, Coats M, Zhang J, et al. Discriminating dysplasia: optical tomographic texture analysis of colorectal polyps[J]. Med Image Anal, 2015, 26(1): 57-69.
- [8] 胡婷丹,彭卫军,童彤. 纹理分析在结直肠癌诊治中的应用进展[J]. 肿瘤影像学杂志, 2017, 26(4): 306-310.
- [9] Liu L, Liu Y, Xu L, et al. Application of texture analysis based on apparent diffusion coefficient maps in discriminating different stages of rectal cancer[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 45(6): 1798-1808.
- [10] 孟闫凯,张翀达,张红梅,等. MRI纹理分析对局部进展期直肠癌新辅助放化疗疗效的预测价值[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(12): 944-948.
- [11] Schindera ST, Nelson RC, Delong DM, et al. Multi-detector row CT of the small bowel: peak enhancement temporal window—initial experience[J]. Radiology, 2007, 243(2): 438-444.
- [12] Szczypiński PM, Strzelecki M, Materka A, et al. MaZda: a software package for image texture analysis[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2009, 94(1): 66-76.
- [13] Kumar S, Toshniwal D. Analysis of hourly road accident counts using hierarchical clustering and cophenetic correlation coefficient (CPCC)[J]. J Big Data, 2016, 3(1): 13.
- [14] Materka A. MaZda user's manual[EB/OL]. [2017-10-08]. <http://www.elel.p.lodz.pl/programy/mazda/index.php?action=docs>.
- [15] Hodgdon T, McInnes MD, Schieda N, et al. Can quantitative CT texture analysis be used to differentiate fat-poor renal angiomyolipoma from renal cell carcinoma on unenhanced ct images?[J]. Radiology, 2015, 276(3): 787-796.
- [16] Yan L, Liu Z, Wang G, et al. Angiomyolipoma with minimal fat: differentiation from clear cell renal cell carcinoma and papillary renal cell carcinoma by texture analysis on CT images[J]. Acad Radiol, 2015, 22(9): 1115-1121.

[收稿日期] 2018-02-26

[本文编辑] 崔黎明

