论著

多模态磁共振功能成像 中MAGIC对比DTI在帕 金森病的应用价值*

祁金鹏1	张 岗1,*	张锐1
陈 苗1	梁智博1	王文佳2

 .呼伦贝尔市人民医院影像科 (内蒙古 呼伦贝尔 021008)

2.通用电气医疗系统贸易发展(上海)有限 公司核磁共振产品部 (北京 100176)

【摘要】目的 探讨多模态MRI技术中弥散张量成 像(diffusion tensor imaging, DTI)序列与定量图 谱磁共振成像技术(magnetic resonance image complication, MAGIC)序列在帕金森病(PD)中的 诊断价值。方法 在我院使用3.0T美国通用公司(GE) pioneer机型对PD患者及健康对照组(NC组)进行扫 描,记录感兴趣区的壳核、尾状核头、黑质、海马 旁回、颞叶的T1MAP、 T2MAP、PDMAP及各向异 性分数 (fractional anisotropy, FA)值变化,纳入 2019年6月至2021年6月PD患者31例及NC组25例, 采集所研究对象的MAGiC、DTI 序列并进行ROI选 取、勾画、数据统计与分析。结果 MAGIC中T1MAP 在壳核、海马旁回(左)、颞叶,T2MAP在壳核(左)、 尾状核(右)、海马旁回(左)、颞叶,PDMAP在海马 旁回(左)、颞叶的MAP值均低于NC组,差异具有 统计学意义(P<0.05),其他各部位均无显著差异 (P>0.05)。同时ROC显示海马旁回、颞叶的T1MAP 的诊断AUC分别为0.812与0.821,在T2MAP的诊断 AUC为0.73与0.786,在FA的诊断AUC仅为0.338与 0.332,颞叶的诊断价值高于海马旁回; T1MAP诊 断价值高于T2MAP、FA。结论 多模态MRI技术中 MAGIC与DTI比较显示,MAGIC序列对PD的诊断效 能高于DTI序列,T1MAP显著优于T2MAP及FA值。 颞叶、海马旁回T1MAP值减低对PD的诊断具有一定 价值,且有望在临床应用中推广。

 【关键词】帕金森病;多模态; 定量图谱磁共振成像技术; 弥散张量成像; 各向异性分数
【中图分类号】R445.2
【文献标识码】A
【基金项目】内蒙古自治区应用技术研究 与开发资金(2020GG0179)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.06.009

Application of DTI Combined with MAGiC for Parkinson's Disease in Multimodal Magnetic Resonance Functional Imaging*

QI Jin-peng¹, ZHANG Gang^{1,*}, ZHANG Rui¹, CHEN Miao¹, LIANG Zhi-bo¹, WANG Wen-jia².
1.Imaging Department, Hulunbuir People's Hospita, Hulunbuir 021008, Inner Mongolia, China
2.Nuclear Magnetic Resonance Production Department, General Electric Medical System Trade Development (Shanghai) Co., Ltd., Beijing 100176, China

ABSTRACT

Objective To evaluate the diagnostic value of the diffusion tensor imaging (DTI) sequence and magnetic resonance image complication (MAGIC) sequence in multimodal magnetic resonance imaging (MRI) for Parkinson's disease (PD). Methods A total of 31 PD patients and 25 healthy control patients were included in the study from June 2019 to June 2021, and were scanned using the 3.0T GE Pioneer model at our hospital, T1MAP, T2MAP, PDMAP, and fractional anisotropy (FA) values were recorded in the putamen, caudate head, substantia nigra, parahippocampal gyrus, and temporal lobe. ROI selection, mapping, data statistics, and analysis were conducted on the MAGiC and DTI sequences of the subjects. *Results* The MAP values of T1MAP in the putamen, parahippocampal gyrus (left), and temporal lobe, T2MAP in the putamen (left), caudate nucleus (right), parahippocampal gyrus (left), and PDMAP in the parahippocampal gyrus (left), were lower in PD patients than in the healthy control group, with statistical significance (P<0.05). The ROC analysis showed that the diagnostic AUCs of T1MAP in the parahippocampal gyrus and temporal lobe were 0.812 and 0.821, respectively, that of T2MAP was 0.73 and 0.786, and that of FA was 0.338 and 0.332. Therefore, the diagnostic value of the temporal lobe was higher than that of the parahippocampal gyrus, and the diagnostic value of T1MAP was higher than that of T2MAP and FA. Conclusion The combination of MAGIC and DTI sequences in multimodal MRI showed higher diagnostic efficacy for PD in the temporal lobe than in the parahippocampal gyrus, and T1MAP was found to be more effective than T2MAP and FA.

Keywords: Parkinson's Disease; Multimodal; Magnetic Resonance Image Complication; Diffusion Tensor Imaging; Fractional Anisotropy

帕金森病(parkinson's disease, PD)是指原发性帕金森病又名震颤麻痹^[1],是一种 神经退行性疾病,病变主要累及锥体外系统,多发生于中老年人群中,男性略多于女 性。PD患者的主要临床特征为安静状态下出现肢体不由自主的抖动、伴随运动缓慢且延 迟、肌肉僵直、姿势反射异常等运动系统症状,起病隐匿,病情发展较为缓慢,但有进 行性加重的倾向。目前,PD是指原发性帕金森病而非帕金森综合征^[2]。随着社会老年人 群的不断扩大、老龄化程度的日益加剧,PD的发病率呈现出逐年上升的趋势^[3]。PD的主 要病理特征^[4]为黑质纹状体通路的多巴胺能神经元进行性退变和路易小体形成。

MAGiC技术后处理技术能够生成T1和T2弛豫时间以及成像组织的质子密度的定量 图^[5-6]。扩散张量成像技术DTI是一种体内跟踪技术,它通过提供组织的微结构信息,实 现无创探索疾病的神经病理机,测定白质在大脑中的分布情况。当患者随着白质束的损 伤,水的方向性运动减少,FA值减少,由此,DTI可以定量检测大脑中神经纤维束的扩 散特征,并能够在一定程度上反映出大脑内部白质的FA值的敏感变化^[7-8],DTI在PD的诊 断中具有重要的价值^[9-10]。3D-T₁BRAVO为获取高分辨率的薄层无间距的Sag T₁WI,可做 为DTI的辅助序列。本次研究探讨DTI对比MAGIC在帕金森患者技术的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究遵守《赫尔辛基宣言》经过呼伦贝尔市人民医院医学伦理委员会 批准,免除受试者知情同意,其批准文号为: 2020syy-105。

收集呼伦贝尔市人民医院2019年月6月至2021年6月经神经内科确诊的帕金森病患者31例(PD组),其中PD组男 17例,女14例、平均年龄68岁,同时纳入年龄、性别与PD 组相匹配的NC组25例,男14例、女11例、平均年龄58岁。

纳入标准:PD符合《中国帕金森病诊断标准(2016版)》中相关诊断标准^[11],年龄在 50岁至80岁之间,没有躯体、精神疾病^[12];明显伴有静止性震颤、运动迟缓、肌强直、 姿势异常等症状,服用左旋多巴效果明显,通过医院伦理委员会批准。排除标准:由外 伤、脑炎、脑血管病以及药物所诱发的帕金森病,存在明显的脑积水、脑部双侧基底节 钙化以及脑蛋白质异常等表现,MRI检查禁忌症,颅脑外伤史;眩晕及癫痫发作;配合 度极差者,临床资料不完整者。

两组一般资料(年龄、性别)比较,差异均无统计学意义(P>0.05)。

1.2 设备与方法采用通用电气GE Signa 3.0T MRI仪行头部扫描,32通道头颈联合的NV 线圈,受检者采取仰卧位,头部使用软棉塞固定,并使用耳塞进行听力保护。采集常规序列图像、3D-T1BRAVO、DTI及MAGIC图像(扫描参数见表1)将所有原始数据上传至

MAP、T2 MAP、PD MAP在PD组与NC组做对照差异。 **1.3 统计学分析**采用统计学软件SPSS 22.0处理数据,符合正态分布的计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示,采用T检验;不符合正态分布的采用秩和检验(U检验)常态测定Shapiro-Wilk方法,P<0.05为差异有统计学意义。预测价值采用受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve,ROC曲线)评估,曲线下面积 (area under curve,AUC)0.5~0.7时诊断的准确性较低,0.7~0.9 时诊断有一定准确性,AUC>0.9时诊断准确性较高^[13-14]。

2 结 果

2.1 两组T1MAP、T2MAP、PDMAP值比较 将PD组和NC组的 壳核、尾状核头、黑质、海马旁回、颞叶的T1MAP、T2MAP、 PDMAP值进行比较(见图2 PD组与NC组MAP定量比较)(表2统计 学结果),T1MAP值在尾状核头、黑质、海马旁回(右)各部位差 异均无统计学意义(P>0.05);T2MAP 值在壳核(右侧)、尾状核 (左侧)、黑质均无统计学意义(P>0.05);PDMAP在壳核、尾状核 头、黑质、海马旁回(左)均无统计学意义(P>0.05);而T1MAP在 壳核、海马旁回(左)颞叶上MAP值低于NC组,差异具有统计学意 义(P<0.05);T2MAP在壳核(左)、尾状核(右)、海马旁回(左)、 颞叶MAP值低于健康对照组,差异具有统计学意义(P<0.05); PDMAP在海马旁回(左)、颞叶的MAP值低于健康对照组,差异具 有统计学意义(P<0.05)。

2.2 两组FA值比较 对PD组和NC组的FA值进行比较,结果显示 (见表3),壳核、尾状核头(左)、黑质的FA差异均无统计学意义 (P>0.05),而在尾状核头(右)、海马旁回、颞叶FA值低于健康 组,差异具有统计学意义(P<0.05)。

2.3 诊断效能比较 ROC曲线分析(见图3), T1MAP在海马旁回、颞叶的诊断AUC分别为0.812与0.821, T2MAP在海马旁回、颞叶AUC为0.73与0.786, FA在海马旁回、颞叶的诊断AUC为0.338与0.332。T1MAP的诊断PD患者具有一定的准确性。以ROC曲线的约登指数作为最佳临界值,海马旁回为T1MAP: 1958.4; T2MAP: 191.79; FA: 0.2535, 该点预测的敏感度、特异度为T1MAP: 191.79; FA: 0.2535, 该点预测的敏感度、特异度为T1MAP: 71%, 54%; T2MAP: 54.8%, 96%; FA: 87.1%, 16%。颞叶为T1MAP: 1979.64, T2MAP: 161.27, FA: 0.3135, 该点预测的敏感度、特异度为颞叶T1MAP: 61.3%, 88%; T2MAP: 58.4%, 96%, FA: 3.2%, 88%。从结果上看,颞叶的诊断效能高于海马旁回, T1MAP诊断效能高于 T2MAP、FA。具体见表4。

表1 DTI、MAGIC及3D-T1BRAVO序列参数

序列	FOV	层厚	层距	频率编码方向	TR值	TE值	层厚	NEX	带宽	加速因子	B值	矩阵
DTI(15个方向)	25.6	2.0	0	R/L	16500	MINIMUM	88	1	250	2.0	1000	128×128
MAGIC	25.6	2.0	0	A/P	1018	10.9	88	1	35.71	2.0	-	128×128
3D-T1BRAVO	25.6	1.0	0	S/I	7.5	2.8	192	1	41.67	2.0	-	256×256

表2尾状	č核、売核、	黑质、海马旁回、	颞叶 T1MAP T2MAP	PDMAP 值比较
ROI位置	MAGIC相关者	参数 PD组	NC组	T值 P值
壳核 T1MAP:R		1202.16±87.4	48 1146.76±61.82	-3.112 0.002
	T1MAP:L	2233.95±476	.41 1871.94±194.76	-2.967 0.003
	T2MAP:R	73.72±6.48	72.36±5.08	0.862 0.392
	T2MAP:L	299.62±169.4	45 177.91±51.68	-3.450 0.001
	PDMAP:R	83.41±1.53	82.76±1.29	-1.471 0.141
	PDMAP:L	85.87±4.32	83.81±1.77	-1.761 0.078
尾状核头	T1MAP:R	2420.16±404	.85 2188.09±140.67	-1.777 0.076
	T1MAP:L	2501.04±481	33 2481.48±288.63	0.179 0.858
	T2MAP:R	406.98±170.0	07 300.76±53.51	-2.871 0.004
	T2MAP:L	217.72±94.73	3 211.17±58.59	-0.330 0.742
	PDMAP:R	89.56±3.05	88.60 ± 1.60	-0.941 0.347
	PDMAP:L	88.62±4.43	88.49±2.74	-1.761 0.876
黑质 T1MAP:		896.00 ± 60.0^{-1}	7 868.70±35.68	-1.681 0.093
	T2MAP:	67.85±4.25	66.21 ± 4.65	1.39 0.170
	PDMAP	70.37±1.93	71.04 ± 1.99	55 0.205
海马旁回	T1MAP:R	2644.22±188	.54 2616.92±109.09	0.642 0.57
	T1MAP:L	2121.20±275	.67 1851.62±143.34	4.43 <0.001
	T2MAP:R	263.96±71.12	2 230.78±34.71	2.07 0.076
	T2MAP:L	228.16±113.	17 230.78±34.74	3.13 0.003
	PDMAP:R	87.31±1.85	85.92±2.56	2.357 0.042
	PDMAP:L	86.58±1.9	85.89 ± 1.38	2.136 0.127
颞叶	T1MAP	2068.36±176	5.33 1894.66±94.18	4.436 <0.001
	T2MAP	175.46±40.1	7 141.46±40.18	3.977 <0.001
	PDMAP	87.96+1.27	86.80 ± 1.35	3.311 0.002

表3.	尾状核、	売核、	黑质、海	马旁回、	颞叶FA	值比较	E
ROI位置	DTI相关	系数	PD组	Ν	C组	T值	P值
壳核: R	FA	0.	253±0.01	3 0.250	± 0.016	-0.433	0.665
壳核: L	FA	0.	263±0.01	2 0.265	± 0.015	-0.274	0.784
尾状核头: R	FA	0.	213±0.03	4 0.245	± 0.046	-2.977	0.016
尾状核头: L	FA	0.	246±0.01	4 0.216	± 0.012	-1.609	0.108
黑质: R	FA	0.	573±0.02	6 0.567	± 0.030	-0.168	0.868
黑质: L	FA	0.	582±0.02	8 0.513	±0.033	-0.157	0.121
海马旁回: R	FA	0.	299±0.05	6 0.340	± 0.095	-2.075	0.039
海马旁回: L	FA	0.	222±0.03	1 0.365	± 0.081	-2.679	0.006
颞叶	FA	0.	245±0.02	9 0.269	±0.049	-2.387	< 0.001



表4 海马旁回、颞叶MGAIC参考T1MAP、T2MAP和DTI参考FA值对PD患者的诊断效能比较

检查项目		AUC	标准误	渐近显著性水平	95%置信区间		最佳临界值	灵敏度	特异度	约登指数
					下限值	上限值				
海马旁回	T1MAP	0.812	0.057	< 0.001	0.7	0.923	1958.4	0.71	0.84	0.55
	T2MAP	0.73	0.068	0.003	0.598	0.863	191.79	0.548	0.96	0.508
	FA	0.338	0.076	0.039	0.189	0.487	0.2535	0.871	0.16	0.031
颞叶	T1MAP	0.821	0.055	< 0.001	0.714	0.928	1979.64	0.613	0.88	0.493
	T2MAP	0.786	0.06	< 0.001	0.668	0.903	161.27	0.584	0.96	0.508
	FA	0.332	0.073	0.031	0.189	0.474	0.3135	0.032	0.88	-0.088



图1 3D-T1BRAVO融合DT1的ROI测取FA值及MAGIC提取定量的T1MAP T2MAP PDMAP。 图2 PD组与NC组ROI的T1MAP、T2MAP、PDMAP的定量比较。

3 讨 论

目前,临床医师主要依据中国帕金森病的诊断标准进行诊断,但临床诊断缺乏客观性,而MRI能够对PD的诊断提供客观依据,因此,进一步探寻影像标志物等生物标志物支持 PD 的诊断 具有重要的临床价值^[15-16]。

磁共振成像作为一种日益成熟的医学成像技术^[17],常规的 MRI扫描定量生物组织的物理特性需要较多的扫描时长,而随着 MAGIC技术的不断优化与深入研究,MAGIC定量技术的优点在于 简化了扫描程序和数据处理流程,大大缩短了扫描时间,提高了 患者的接受度,仅通过一次多动态多回波序列的扫描就可得到常 规序列T₁WI、T₂WI、PDWI以外、还可以得到生物组织的T1MAP、 T2MAP、PDMAP定量^[18-22];而DTI是临床常用的检查方法,可以反 映水分子扩散的各向异性,FA值是DTI的主要量化指标;各向异 性的指数的值为0-1之间^[23-31]。有的学者研究指出黑质、壳核、 尾状核神经元丢失,其结构的破坏对FA值的影响未达到被检测标 准^[24]。当前的病理研究已经发现PD的病变不仅局限于黑质、壳核 尾状核头中,随着PD的进展,病理改变可逐渐发展向广泛海马旁 回、颞叶,局部神经元中可以发现神经元坏死、丢失等而发生脑 的形态学变化^[25]、而本次采集的样本量中黑质、尾状核头、壳核 对PD的诊断价值非常有限,分析可能是本次采集的样本中的临床 特征多为嗅觉功能障碍、静止状态下不自主的震颤、认知功能及 记忆力减退,从而使得颞叶、海马旁回的T1MAP值显著减低。

本研究中,通过比较PD组和NC组的T1MAP、T2MAP、 PDMAP和FA值,PD组T1MAP值在壳核、海马旁回(左)颞叶上 MAP值显著低于NC组,T2MAP在壳核(左)、尾状核(右)、海马旁 回(左)、颞叶MAP值低于NC组,而在本次研究中FA在尾状核头 (右)、海马旁回、颞叶FA值虽低于NC组,但AUC均小于0.5,诊 断效能准确性较低^[14],这与何建勋^[26-27]等指出黑质神经元的丢 失、结构的破坏对 FA值的影响未达到被检测的标准,且 PD 中黑 质路易小体的形成与神经元的丢失可产生抵消作用所致相符。

此外,我们通过MAGIC、DTI对PD病的诊断效能比较发现,海 马旁回、颞叶T1MAP值的诊断AUC为0.812、0.821,T2MAP值的诊 断AUC为0.73、0.786,FA值诊断AUC为0.338、0.332,所以T1MAP 的诊断PD患者具有一定的准确性,且诊断效能高于T2MAP、FA。 随着MAGIC、DTI等多模磁共振成像技术的发展^[28-31],合成磁共振 成像(如MAGIC序列)被广泛运用于全身各种疾病的诊断中。本次研 究结果显示,通过MAGIC技术得到的T1MAP、T2MAP、PDMAP, 同样能够观察到帕金森病患者存在微观结构损伤,且T1MAP对PD 的诊断效能高T2MAP与DTI。因此,在PD的临床诊断中,合成磁共 振成像技术值得在临床中推广运用。

综上所述,多模态磁共振功能成像中MAGIC对照DTI在帕金 森病的应用中,MAGIC技术的数据的定量分析对帕金森病的诊断 优于DTI,同时为临床诊断提供了有力依据。

参考文献

 Nupur Giri, Advait Naik, Krish Amesur, et al. Multimodal detection and analysis of Parkinson's disease [M]. Springer Nature Singapore, 2022 : 667-691.
Biassoni E, Kreshpa W, Massa F, et al. Right posterior hypometabolism in Pisa syndrome of Parkinson's disease: a key to explain body schema perception deficit[J]. Parkinsonism & Related Disorders, 2023, 110 : 105371-105371. [3] Antonella Macerollo, Jui-Cheng Chen. Trends in the incidence of Parkinson

- disease [J]. JAMA Neurology, 2016, 73 (12): 1497–1498.
- [4] Ramos-Gonzalez P, Mato S, Chara JC, et al. Astrocytic atrophy as a pathological feature of Parkinson's disease with LRRK2 mutation[J]. NPJ Parkinson's Disease, 2021, 7 (1): 31.
- [5] 崔峰, 王聪, 王娅, 等. MAGiC技术的基本原理及临床研究进展[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(12): 2434-2437.
- [6]Kowal Daniel J. 20 Magnetic resonance imaging: understanding the principles and recognizing the basics [M]. 2024 : 236-246.
- [7] 但佳惠, 王相明, 张月辉. 磁共振成像对帕金森病诊断价值的研究进展[J]. 临床荟 萃, 2021, 36 (5): 476-480.
- [8] 王好玉, 王鹏, 向述天. 基于弥散张量成像的脑白质微结构分析方法在视路损伤中的应用进展[J]. 磁共振成像, 2022, 13 (1): 147-150.
- [9] Yu, Zhang, Marc A, Burock. Diffusion tensor imaging in Parkinson's disease and parkinsonian syndrome: a systematic review[J]. Frontiers in neurology, 2020, 11: 531993.
- [10] Atkinson-Clement C, Pinto S, Eusebio A, et al. Diffusion tensor imaging in Parkinson's disease: Review and meta-analysis [J]. NeuroImage. Clinical, 2017, 16: 98-110.
- [11] 刘军. 中国帕金森病的诊断标准 (2016版) [J]. 中华神经科杂志, 2016, 49 (04): 268-271.
- [12] 黄婷婷,刘良卿,陈文亚,等.多模态MRI技术在帕金森病(PD)患者脑结构变化中的应用价值[J],中国医疗器械信息,2020,26(20):94-95+184.
- [13] Ekström J, Åkerrén Ögren J, Sjöblom T. Exact probability distribution for the ROC area under curve[J]. Cancers, 2023, 15(6):1788.
- [14] 宋花玲, 贺佳, 黄品贤, 等. ROC曲线下面积估计的参数法与非参数法的应用研究 [J]. 第二军医大学学报, 2006, 27 (7): 726-728.
- [15] Chougar L, Lejeune FX, Faouzi J, et al. Comparison of mean diffusivity, R2* relaxation rate and morphometric biomarkers for the clinical differentiation of parkinsonism[J]. Parkinsonism and Related Disorders, 2023, 108: 105287-105287.
- [16] Suganya A, Aarthy S L. Application of deep learning in the diagnosis of Alzheimer's and Parkinson's disease-a review[J]. Current medical imaging, 2023, Mar 28.
- [17] Meijer F J, Goraj B. Brain MRI in Parkinson's disease[J]. Front Biosci (Elite Ed), 2014, 6 (2): 360-369.
- [18] Ji S, Yang D, Lee J, et al. Synthetic MRI: technologies and applications in neuroradiology [J]. J Magn Reson Imaging, 2022, 55 (4):1013-1025.
- [19]Xie Y, Li X, Liu S, et al. Quantitative magnetic resonance imaging-based tendon healing of different regions of the shoulder: comparison between the suture-bridge and single-row techniques[J]. Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 2023, 11 (1): 23259671221137835.
- [20]Goncalves FG, Serai SD, Zuccoli G. Synthetic brain MRI: review of current concepts and future directions [J]. Top Magn Reson Imaging, 2018, 27: 387-393.
- [21] Hagiwara A, Hori M, Suzuki M, et al. Contrast-enhanced synthetic MRI for the detection of brain metastases [J]. Acta Radiol Open, 2016, 5: 2058460115626757.
- [22] Granberg T, Uppman M, Hashim F, et al. Clinical feasibility of synthetic MRI in multiple sclerosis: A diagnostic and volumetric validation study[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2016, 37 (6): 1023-1029.
- [23] 李东升,马建军,李学,等.磁共振弥散张量及磁敏感加权成像对早期原发性单侧症状帕金森病的诊断价值[J].中国实用神经疾病杂志,2018,21(19):2143-2148.
- [24]何建勋,万齐,俞家熙,等.磁共振扩散张量成像在帕金森病中的应用研究[J].现代 医院,2017,17(11):1708-1709,1716.
- [25]姚佳琪,姜磊,刘莹,等. MR扩散峰度成像在帕金森病中的诊断价值[J]. 实用放射学 杂志, 2021, 37 (1): 17-20.
- [26]何建勋,万齐,俞家熙,等.磁共振扩散张量成像在帕金森病中的应用研究[J].现代 医院,2017,17(11):1708-1709,1716.
- [27] Prakash B D, Sitoh Y Y, Tan L C S, et al. Asymmetrical diffusion tensor imaging indices of the rostral substantia nigra in Parkinson's disease [J]. Parkinsonism Relat Disord, 2012, 18 (9): 1029-1033.
- [28] Nigro P, Chiappiniello A, Simoni S, et al. Changes of olfactory tract in Parkinson's disease: a DTI tractography study[J]. Neuroradiology, 2021, 63 (2): 235-242.
- [29]Mishra VR, Sreenivasan KR, Zhuang X. Influence of analytic techniques on comparing DTI-derived measurements in early stage Parkinson's disease[J]. Heliyon, 2019, 5 (4): e01481.
- [30]曹波,陈自谦,张俊祥,等.原发性中枢神经系统淋巴瘤多模态MRI与病理学对照分析[J].中国CT和MRI杂志,2012,10(6):8-11,84.
- [31] 滕佳岐, 李坤成. 磁共振弥散张量成像在帕金森病诊断中的价值[J]. 中国CT和MRI 杂志, 2018, 16 (3): 1-3, 7.

(收稿日期: 2023-05-04) (校对编辑: 翁佳鸿)