

◁ 中枢神经影像学 ▷

## 多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数对脑梗死患者 并发认知功能障碍的预测价值分析

李 鹏, 张 进, 徐新华, 刘 俊  
(常州市肿瘤医院, 江苏 常州 213000)

**[摘要]** 目的: 分析多模态 MRI 参数及灌注加权成像(PWI)定量参数对脑梗死(CI)患者并发认知功能障碍的预测价值。方法: 2020年5月—2023年8月将我院收治的139例CI并发认知功能障碍患者作为认知功能障碍1组, 70例CI并发认知功能障碍患者作为认知功能障碍2组, 同期收治的148例单纯CI患者作为非认知功能障碍1组, 75例单纯CI患者作为非认知功能障碍2组, 其中认知功能障碍1组和非认知功能障碍1组联合作为建模组, 认知功能障碍2组和非认知功能障碍2组联合作为验证组。统计4组一般资料、多模态MRI参数及PWI定量参数, 分析CI患者并发认知功能障碍的影响因素, 并构建相关的预测模型, 分析预测模型对CI患者并发认知功能障碍的预测价值及多模态MRI参数及PWI定量参数对CI患者并发认知功能障碍的预测价值。结果: 年龄及脑白质病变(WML)评分、相对平均通过时间(rMTT)、相对达峰时间(rTTP)较高均为CI并发认知功能障碍的独立危险因素(OR=2.044、1.669、1.480、1.626,  $P<0.05$ ), 进一步进行模型构建得出相关的预测模型, 模型区分度ROC曲线显示, 该模型在建模组和验证组中的曲线下面积(AUC)分别为0.878和0.781。WML评分、rMTT、rTTP联合预测CI患者并发认知功能障碍的AUC均高于三者单独检测( $P<0.05$ )。结论: CI患者并发认知功能障碍的影响因素主要为年龄、WML评分、rMTT、rTTP, 其中WML评分、rMTT、rTTP联合可有效提高对CI患者并发认知功能障碍的预测价值。

**[关键词]** 脑梗死; 认知功能障碍; 磁共振成像

**[中图分类号]** R743.33; R445.2

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1008-1062(2024)11-0761-05

DOI:10.12117/jccmi.2024.11.001

### Predictive value of multimodal MRI parameters and PWI quantitative parameters for cognitive dysfunction in patients with cerebral infarction

LI Peng, ZHANG Jin, XU Xin-hua, LIU Jun  
(Changzhou Cancer Hospital, Changzhou Jiangsu 213000, China)

**Abstract: Objective:** To analyze the predictive value of multimodal MRI and perfusion weighted imaging(PWI) for cognitive dysfunction in patients with cerebral infarction(CI). **Methods:** From May 2020 to August 2023, 139 patients with CI complicated with cognitive dysfunction were treated in Changzhou Cancer Hospital as the cognitive dysfunction group 1, 70 patients with CI complicated with cognitive dysfunction as the cognitive dysfunction group 2, 148 patients with simple CI treated in the same period as the non-cognitive dysfunction group 1 and 75 patients with simple CI as the non-cognitive dysfunction group 2, in which cognitive dysfunction group 1 and non-cognitive dysfunction group 1 were combined as the modeling group, and the cognitive dysfunction group 2 and the non-cognitive dysfunction group 2 were combined as the verification group. The general data, multimodal MRI parameters and PWI quantitative parameters of the four groups were statistically analyzed. The influencing factors of cognitive impairment in CI patients were analyzed, and the relevant prediction models were constructed. The predictive value of the prediction model for cognitive impairment in CI patients and the predictive value of multimodal MRI parameters and PWI quantitative parameters for cognitive impairment in CI patients were analyzed. **Results:** Age, white matter lesion(WML) score, relative mean transit time(rMTT), and relative time to peak(rTTP) were all independent risk factors for CI complicated with cognitive dysfunction (OR=2.044, 1.669, 1.480, 1.626,  $P<0.05$ ). The model was further constructed to obtain the relevant prediction model. The ROC curve of the model discrimination showed that the area under the curve(AUC) of the model in the modeling group and the verification group was 0.878 and 0.781, respectively. The AUC of combined WML score, rMTT and rTTP in predicting cognitive impairment in CI patients was higher than that of the three alone( $P<0.05$ ). **Conclusion:** Age, score of WML, rMTT and rTTP are the main influencing factors of cognitive dysfunction in patients with CI. The combination of score of WML, rMTT and rTTP could effectively improve the predictive value of cognitive dysfunction in patients with CI.

**Key words:** Brain Infarction; Cognitive Dysfunction; Magnetic Resonance Imaging

脑梗死(Cerebral infarction, CI)即缺血性脑卒中, 主要是由于患者脑部缺氧、缺血引起的脑组织细胞或神经细胞缺血性坏死, 对社会及家庭造成严重的医疗负担<sup>[1]</sup>。认知功能障碍是CI患者最常见的并

[收稿日期] 2024-01-09; [修回日期] 2024-03-12

[作者简介] 李鹏(1981-), 男, 江苏常州人, 副主任医师。E-mail: lipengyicen080719@163.com

[通信作者] 刘俊, 常州市肿瘤医院放疗科, 213000。E-mail: liujun155102@163.com

[基金项目] 江苏省卫生健康委员会 2022 年度医学科研立项项目(面上项目)(编号: M2022051)。

发病之一,患者临床主要表现为性格改变、认知及记忆功能减退等,可对患者病情恢复产生严重影响,CI 发生后的 3 月是患者恢复的关键时期,在此期间做好相关的防治措施对于降低患者认知功能障碍发生具有重要意义<sup>[2]</sup>。常规磁共振成像是临床诊断和评估 CI 患者病情的常用方法之一,具有良好的应用价值,但其在评估患者认知功能方面敏感度较差,而多模态 MRI 是将两种及两种以上 MRI 检查技术相结合对患者病情进行检查或诊断一种影像学方法,其克服了单一检查方法结果参考价值不高的缺点<sup>[3]</sup>;灌注加权成像(PWI)则是现阶段颅脑疾病检查诊断最常用的方法之一,其可有效区分患者脑部软组织及血管组织,对患者颅脑血流灌注情况进行评估,进而评估脑血管疾病发生的风险或疾病严重程度、患者预后等<sup>[4]</sup>,目前临床关于多模态 MRI 及 PWI 在 CI 患者并发认知功能障碍预测或诊断中的应用价值尚未完全明确,基于此,本研究通过分析分析多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数对 CI 患者并发认知功能障碍的预测价值,为 CI 患者并发认知功能障碍的防治提供参考和依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

将我院 2020 年 5 月—2023 年 8 月收治的 139 例 CI 并发认知功能障碍患者作为认知功能障碍 1 组,70 例 CI 并发认知功能障碍患者作为认知功能障碍 2 组,同期收治的 148 例单纯 CI 患者作为非认知功能障碍 1 组,75 例单纯 CI 患者作为非认知功能障碍 2 组,其中认知功能障碍 1 组和非认知功能障碍 1 组联合作为建模组,认知功能障碍 2 组和非认知功能障碍 2 组联合作为验证组。所有患者均在 CI 发生后 2 周对认知功能进行评估。

纳入标准:CI 诊断符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》<sup>[5]</sup>中的相关标准者;认知功能障碍诊断标准为简易智力状态检查(MMSE)评分<sup>[6]</sup>21~26 分;能配合完成相关检查者;单侧 CI 者;发病时间低于 24 h 者;家属及患者本人对本研究知情同意者等。排除标准:CI 发病前即合并认知功能障碍或其他原因导致的认知功能受限者;既往脑卒中病史者;经影像学检查确诊合并脑出血、病理性脑组织疾病等其他脑部疾病者;合并癫痫、帕金森疾病者;合并严重感染性并发症者等。脱落与剔除标准:病情严重陷入昏迷者;医师判定不适合参与本研究者。

### 1.2 方法

多模态 MRI:嘱患者平卧,使用联影 uMR 780 3.0T 磁共振成像系统进行检查,使用 24 通道头颅

部线圈分别进行 T<sub>1</sub>WI,T<sub>2</sub>WI,FLAIR,DWI,其中 DWI 弥散系数 b 值为 0 s/mm<sup>2</sup> 和 1 000 s/mm<sup>2</sup>。

PWI:嘱患者仰卧,仪器不变,先经肘静脉注射马根维显(钆喷酸葡胺注射液,Bayer 拜耳医药保健有限公司广州分公司,469.01 mg/mL×15 mL,0.2 mL/kg,3 mL/s),对患者患侧和健侧进行扫描,将图像传送至 United Imaging 工作站进行脑组织血流灌注分析,获取时间-信号强度曲线图,根据患侧梗死区域与健侧对照区域相关参数比值计算相对参数值,包括相对脑血流量(rCBF),相对脑血容量(rCBV),相对平均通过时间(rMTT),相对达峰时间(rTTP),最后分别在 rCBV 伪彩图上人工勾勒出感兴趣区(ROI)。

根据患者临床资料及影像学资料,统计四组性别、年龄、合并基础病情况、CI 部位、急性卒中治疗低分子肝素试验(TOAST)分型<sup>[7]</sup>、发病至入院时间;多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数,包括基底节、顶叶、枕叶、额颞叶表观扩散系数(ADC)值、脑白质病变(WML,采用 W2MHS 软件经 Fazekas 法评价)评分<sup>[8]</sup>、梗死面积、rCBF、rCBV、rMTT、rTTP,根据多模态 MRI 参数及 PWI 检查结果进行统计。

### 1.3 统计学方法

计数资料比较: $\chi^2$ 、 $\chi^2$  趋势检验,表示:n (%)。SW 检验符合正态分布计量资料比较:独立样本 t 检验;表示: $\bar{x}\pm s$ ;SPSS 23.0 统计软件用于数据分析,差异具有统计学意义表示: $P<0.05$ ;影响因素分析:多因素 Logistic 回归分析;指标的预测价值:受试者工作特征(ROC)曲线,MedCalc 11.4 绘制。评估预测模型的区分度,应用校准曲线分析认知功能障碍预测模型的校准度。

## 2 结果

### 2.1 4 组一般资料、多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数比较

认知功能障碍 1 组和认知功能障碍 2 组年龄、WML 评分、rMTT、rTTP 分别为 (70.63±7.88) 岁和 (69.79±8.05) 岁、(3.08±0.99) 分和 (3.11±1.02) 分、(1.34±0.32) 和 (1.41±0.39)、(1.50±0.42) 和 (1.55±0.50),均分别高于非认知功能障碍 1 组和非认知功能障碍 2 组的 (64.22±6.38) 岁和 (63.72±7.80) 岁、(2.49±0.72) 分和 (2.76±0.88) 分、(1.07±0.27) 和 (1.17±0.42)、(1.20±0.23) 和 (1.30±0.36) ( $P<0.05$ ) (表 1,图 1)。

### 2.2 CI 并发认知功能障碍的多因素 Logistic 回归分析

对单因素分析中差异有统计学意义的指标进行

赋值, 年龄、WML 评分、rMTT、rTTP 为连续变量, 以原值输入。采用逐步多因素 Logistic 回归分析结果

显示, 年龄(95%CI:1.077~1.183,OR=1.129)及 WML 评分(95%CI:3.470~27.718,OR=9.808)、rMTT(95%CI:

表 1 4 组一般资料、多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数比较

	建模组				验证组			
	认知功能障碍 1 组(n=139)	非认知功能障碍 1 组(n=148)	$t/\chi^2$	$P$	认知功能障碍 2 组(n=70)	非认知功能障碍 2 组(n=75)	$t/\chi^2$	$P$
年龄(岁)	70.63±7.88	64.22±6.38	7.587	0.000	69.79±8.05	63.72±7.80	4.611	0.000
ADC 值(mm <sup>2</sup> /s)								
基底节	1.93±0.53	1.98±0.57	0.768	0.443	2.07±0.49	1.97±0.47	1.254	0.212
顶叶	3.12±0.77	3.07±0.72	0.568	0.570	3.08±0.84	2.98±0.79	0.739	0.461
枕叶	2.41±0.49	2.35±0.43	1.104	0.270	2.57±0.65	2.40±0.58	1.664	0.098
额颞叶	3.11±0.91	3.04±0.87	0.666	0.506				
WML 评分(分)	3.08±0.99	2.49±0.72	5.763	0.000	3.11±1.02	2.76±0.88	2.217	0.028
梗死面积(mm <sup>2</sup> )	3.29±0.77	3.24±0.71	0.572	0.568	3.32±0.85	3.27±0.78	0.369	0.712
rCBF	1.34±0.41	1.40±0.43	1.208	0.228	1.28±0.39	1.39±0.47	1.528	0.129
rCBV	1.07±0.31	1.11±0.34	1.039	0.300	1.10±0.32	1.15±0.36	0.882	0.379
rMTT	1.34±0.32	1.07±0.27	7.702	0.000	1.41±0.39	1.17±0.42	3.559	0.001
rTTP	1.50±0.42	1.20±0.23	7.566	0.000	1.55±0.50	1.30±0.36	3.472	0.001

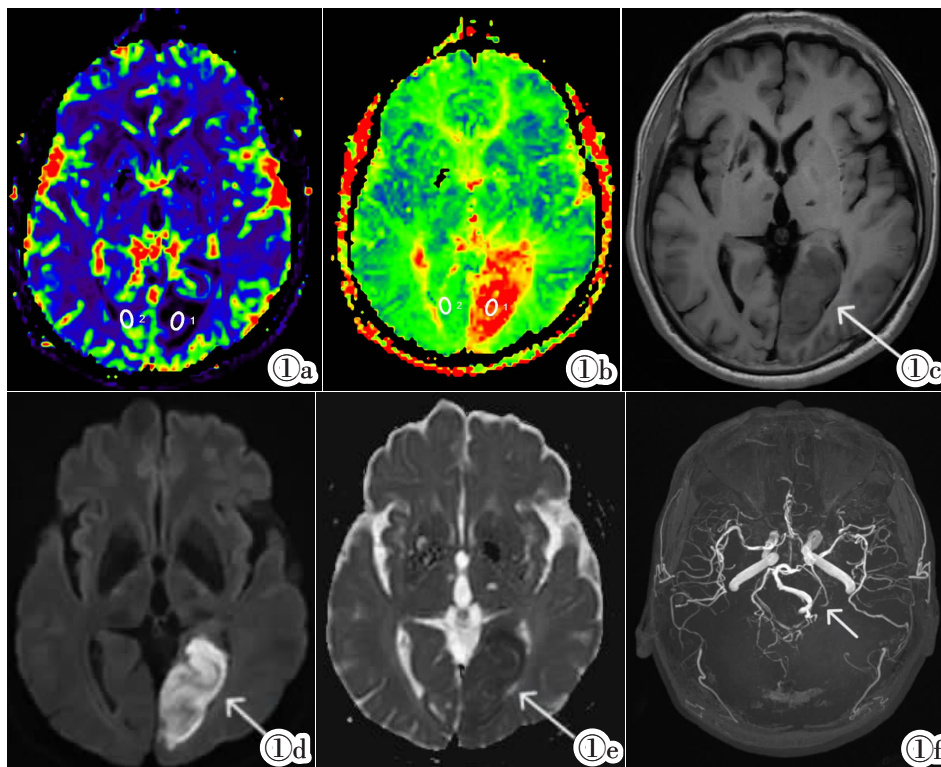


图 1 男,55 岁,因“头痛、头昏,右侧肢体乏力,右侧部分视野缺失 3 天,加重 1 天”入院,MMSE 评分 24 分,认知功能障碍。图 1a:病灶 ROI<sub>1</sub> rCBV 较对照区 ROI<sub>2</sub> 血容量减低;图 1b:ROI<sub>1</sub> MTT 较 ROI<sub>2</sub> 缩短;图 1c:T<sub>2</sub>WI 检查显示左枕叶片状低信号影,皮髓质分界不清;图 1d:DWI 检查显示左枕叶片状高信号区;图 1e:ADC 图显示患者左枕叶低信号,弥散受限;图 1f:MRA 检查显示左侧大脑后动脉 P<sub>2</sub> 段截断,远端分支消失。

**Figure 1.** A 55-year-old male was admitted to the hospital because of headache and dizziness in the occipital region, weakness in the right limb, and loss of the right part of visual field for 3 days, which aggravated for 1 day. The MMSE score was 24, and his cognitive function was impaired. Figure 1a: The rCBV of ROI<sub>1</sub> was lower than that of ROI<sub>2</sub> in the control area. Figure 1b: Mean transit time (MTT) of ROI<sub>1</sub> was shorter than that of ROI<sub>2</sub>. Figure 1c: T<sub>2</sub>WI examination showed a patchy high signal shadow in the left occipital lobe, and the boundary between the cortex and medulla was unclear. Figure 1d: DWI examination showed a patchy high signal area in the left occipital lobe. Figure 1e: ADC map showed low signal in the left occipital lobe and limited diffusion. Figure 1f: MRA examination showed that the P<sub>2</sub> segment of the left posterior cerebral artery was truncated and the distal branch disappeared.

7.463 ~62.889, OR =21.665), rTTP (95% CI:1.077 ~ 1.183, OR=1.129)较高均为 CI 并发认知功能障碍的独立危险因素 ( $P<0.05$ ) (表 2); 进一步进行模型构建得出相关的预测模型:  $\text{logit}(P) = -17.289 + \text{年龄} \times 0.121 + \text{WML 评分} \times 2.283 + \text{rMTT} \times 3.076 + \text{rTTP} \times 0.121$ 。

### 2.3 CI 并发认知功能障碍回归模型验证

对上述模型进行内部和外部验证, 模型区分度 ROC 曲线显示, 该模型在建模组和验证组中的 AUC

分别为 0.878 和 0.781。校准曲线显示, 上述 Logistic 回归模型在建模组和验证组中实际结果与预测结果之间具有很好的一致性。

### 2.4 多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数对 CI 并发认知功能障碍的预测价值

WML 评分、rMTT、rTTP 联合预测 CI 患者并发认知功能障碍的曲线下面积(AUC)均高于三者单独检测 ( $P<0.05$ ) (表 3, 图 2)。

表 2 CI 并发认知功能障碍的多因素 Logistic 回归分析

影响因素	$\beta$	SE	Wald $\chi^2$	P	OR	95%CI
年龄较高	0.121	0.024	25.742	0.000	1.129	1.077~1.183
WML 评分较高	2.283	0.530	18.554	0.000	9.808	3.470~27.718
rMTT 较高	3.076	0.544	31.999	0.000	21.665	7.463~62.889
rTTP 较高	0.121	0.024	25.742	0.000	1.129	1.077~1.183

表 3 多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数对 CI 并发认知功能障碍的预测价值

指标	截断值	AUC 值	95%CI	敏感度	特异度
WML 评分	>3.12	0.776	0.734~0.815	67.14%	85.84%
rMTT	>1.26	0.740	0.696~0.781	70.42%	70.32%
rTTP	>1.30	0.746	0.702~0.786	60.56%	80.82%
联合	-	0.888 <sup>1,2,3</sup>	0.855~0.916	76.06%	85.39%

注: 与 WML 评分相比, 1:  $P<0.05$ ; 与 rMTT 相比, 2:  $P<0.05$ ; 与 rTTP 相比, 3:  $P<0.05$ 。

## 3 讨论

CI 属于一种急危重症疾病, 其是临床常见的脑血管病, 也是脑卒中的主要类型之一, 其发病率占所有脑卒中发病率的 60%~80%, 具有较高的致残、致死率, 近年来, 随着我国社会老龄化加重, CI 发病率呈逐年升高趋势, 使得社会及家庭负担加重<sup>[9-10]</sup>。CI 后认知功能障碍是一种非全面性认知障碍, 患者认知功能障碍临床表现主要与 CI 病灶区域有关, 部分患者的认知功能障碍是暂时的, 但部分患者可能会发展为永久性认知功能障碍, 因此早期对患者认知功能障碍发生的风险进行预测, 并做好相关的防治措施, 可有效降低 CI 患者认知功能障碍发生的风险<sup>[11-12]</sup>。本研究结果显示, 年龄较高是 CI 患者并发认知功能障碍的危险因素, 原因在于, 随着患者年龄的升高, 机体机能及各器官代偿能力降低, 对炎症因子、氧化应激产物等有害物质的清除能力降低, 使得相关因子对患者脑组织细胞及神经细胞持续造成损伤, 因而增加患者认知功能障碍发生的风险<sup>[13]</sup>。

MRI 技术具有良好的组织分辨率, 其具有多参数成像和平面成像的特点, 可为患者脑部生理、病理改变提供更多丰富的信息, 在 T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI 的基础上联合影像 FLAIR、DWI、DTI 等新兴技术使得功能成

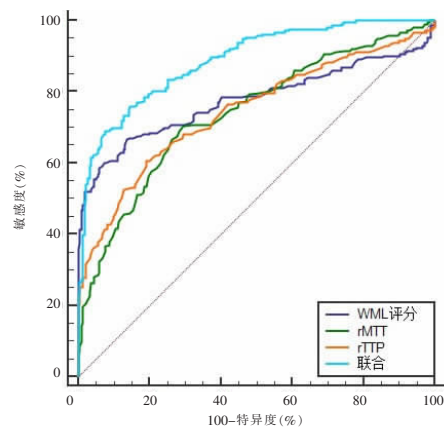


图 2 多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数预测 CI 并发认知功能障碍的 ROC 曲线。

Figure 2. ROC curve of multi-modal MRI parameters and PWI quantitative parameters for predicting CI complicated with cognitive dysfunction.

像成为可能<sup>[14]</sup>。本研究结果显示, 认知功能障碍组 WML 评分高于非认知功能障碍组, 这与临床相关研究<sup>[15]</sup>结果接近, 同时 WML 评分较高是 CI 并发认知功能障碍的独立危险因素。脑白质损害是认知功能障碍发生的重要特征, 可促进脑组织完整性及神经纤维网络的完整性受到破坏, 影响脑组织的可塑性, 使得患者发生认知功能障碍<sup>[16]</sup>。脑白质损害在 T<sub>1</sub>WI 表现为等或低信号, 在 T<sub>2</sub>WI 和 FLAIR 则表现为高信号, 患者具体病理表现可能为神经纤维密度的减少、胶质细胞增生、多灶性脑白质梗死、灶性脑白质脱髓鞘变化等<sup>[17]</sup>。

脑血流灌注改变是 CI 发生的主要病理机制之一, 对患者 CI 区域血流灌注情况进行评估可有效反映患者神经功能缺损情况, 进而对患者认知功能障碍发生的风险进行评估<sup>[18-19]</sup>。PWI 是一种功能成像技术, 其利用对比剂在患者血管中首过效应观察患者相关部位血流动力学改变情况, 进而对患者相关器官或组织血流灌注情况进行评估, 其对组织毛细血管血流变化情况异常敏感, 可获得常规 MRI 检查无法获取的信息<sup>[20-21]</sup>。本研究结果显示, 认知功能障碍组 rMTT、rTTP 高于非认知功能障碍组, 同时 rMTT、rTTP 较高均为 CI 并发认知功能障碍的独立危险因素, 进一步进行模型构建得出相关的预测模

型:  $\text{logit}(P) = -17.289 + \text{年龄} \times 0.121 + \text{WML 评分} \times 2.283 + \text{rMTT} \times 3.076 + \text{rTTP} \times 0.121$ , 模型区分度 ROC 曲线显示, 该模型在建模组和验证组中的 AUC 分别为 0.878 和 0.781。rMTT、rTTP 较高说明并发认知功能障碍患者病灶处血流灌注情况更差, 原因可能在于患者梗死部位缺血、缺氧情况更严重, 且在后续的治疗中临床获益不佳, 使得患者梗死部位脑组织细胞及神经细胞受损更严重。有学者研究<sup>[2]</sup>显示, CI 患者美国国立卫生研究院卒中量表评分与 rMTT、rTTP 呈正相关关系, 进一步说明随着 rMTT、rTTP 升高, CI 患者神经缺损严重程度增加, 因此患者更容易发生认知功能障碍。此外, 本研究结果显示, WML 评分、rMTT、rTTP 联合预测 CI 患者并发认知功能障碍的 AUC 均高于三者单独检测, 说明多模态 MRI 参数及 PWI 定量参数预测 CI 并发认知功能障碍的应用价值较高, 原因可能在于两者分别从不同的病理变化反映患者认知功能障碍的发生机制有关。

综上, CI 患者并发认知功能障碍的影响因素主要为年龄、WML 评分、rMTT、rTTP, 其中 WML 评分、rMTT、rTTP 联合可有效提高对 CI 患者并发认知功能障碍的预测价值。

#### [参考文献]

- [1]朱友义, 高律萍, 曹成瑛, 等. MRI-DWI, HR-MRI 评估急性脑梗死患者相关高危斑块特征研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2021, 32(10): 700-703.
- [2]Nakamura M, Uzuka T, Sato H, et al. Early surgery with aggressive surgical approach to improve 6-month outcomes in patients with active infective endocarditis: contribution of cerebral preoperative magnetic resonance imaging [J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 67(5): 427-435.
- [3]张建强, 张辉, 陈晓翼, 等. 多模态 MRI 参数及 Hey 水平与早期脑梗死后认知功能障碍的关系[J]. 新疆医科大学学报, 2023, 46(7): 931-936.
- [4]何兴林, 刘君, 官念, 等. ABCD2 评分联合核磁共振灌注、弥散加权成像预测短暂性脑缺血后继发性脑梗死风险的价值研究[J]. 新疆医科大学学报, 2019, 42(11): 1447-1451.
- [5]中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018 [J]. 中华神经科杂志, 2018, 51(9): 666-682.
- [6]Xie H, Gao M, Lin Y, et al. An emergency nursing and monitoring procedure on cognitive impairment and neurological function recovery in patients with acute cerebral infarction [J]. *Neuro Rehabilitation*, 2022, 51(1): 161-170.
- [7]Chen L, Liu F, Tian X, et al. Impact of cerebral microbleeds on cognitive functions and its risk factors in acute cerebral infarction patients[J]. *Neurol Res*, 2023, 45(6): 564-571.
- [8]Liu H, Dai Q, Yang J, et al. Zuogui pill attenuates neuroinflammation and improves cognitive function in cerebral ischemia reperfusion-injured rats [J]. *Neuroimmunomodulation*, 2022, 29(2): 143-150.
- [9]Zhang Q, Wang D, Wu S, et al. Diffuse tract damage correlates with global cognitive impairment in cerebral autosomal dominant arteriopathy with subcortical infarcts and leukoencephalopathy: A tract-based spatial statistics study [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2021, 45(2): 285-293.
- [10]Chen C, Zhu Y, Chen Y, et al. Effects of cerebral artery thrombectomy on efficacy, safety, cognitive function and peripheral blood Abeta, IL-6 and TNF-alpha levels in patients with acute cerebral infarction [J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(12): 14005-14014.
- [11]Sun S, Zhou J, Li Z, et al. Progranulin promotes hippocampal neurogenesis and alleviates anxiety-like behavior and cognitive impairment in adult mice subjected to cerebral ischemia[J]. *CNS Neurosci Ther*, 2022, 28(5): 775-787.
- [12]张征, 门永忠, 郭兴, 等. 高频彩色多普勒超声在脑梗死患者颈动脉斑块性质评价中的应用价值分析 [J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(4): 25-26.
- [13]崔羽, 冉娟娟, 王益, 等. 脑小血管病患者多模态磁共振成像特征及其与认知功能损伤的相关性分析[J]. 实用心脑血管病杂志, 2020, 28(4): 43-48.
- [14]王斌, 杨蔓, 珍妮, 等. 磁共振 DWI 及灌注加权成像对不同时期脑梗死临床诊断的应用价值研究 [J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2022, 20(1): 21-23.
- [15]闫成功, 杨娟, 赵晓晖, 等. 基于大脑分割技术的头颅 MRI 多模态联合血清 Aβ 在轻度认知功能障碍中的特点[J]. 脑与神经疾病杂志, 2021, 29(10): 643-648.
- [16]乔美玲, 赵路清, 何浪, 等. 脑白质疏松症患者磁共振波谱成像的特点及其与认知功能损害的关系 [J]. 山西医科大学学报, 2019, 50(6): 802-807.
- [17]马新伟, 许建铭, 张明杰, 等. 老年高血压患者脑白质病变在磁共振序列中的半定量评估 [J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2019, 21(12): 1305-1308.
- [18]Jiang W, Yu XD, Deng Y. Effect of butylphthalide combined with oxiracetam on cognitive function, intellectual recovery and serum inflammatory factors in patients with cognitive impairment after cerebral infarction [J]. *Pak J Med Sci*, 2023, 39(2): 485-490.
- [19]Takasugi J, Miwa K, Watanabe Y, et al. Cortical cerebral microinfarcts on 3T magnetic resonance imaging in patients with carotid artery stenosis[J]. *Stroke*, 2019, 50(3): 639-644.
- [20]Hilal S, Doolabi A, Vrooman H, et al. Clinical relevance of cortical cerebral microinfarcts on 1.5T magnetic resonance imaging in the late-adult population [J]. *Stroke*, 2021, 52(3): 922-930.
- [21]李凤陈, 张伟. 增强磁共振血管造影联合磁共振灌注加权成像对后循环缺血的诊断价值 [J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2020, 18(4): 686-690.
- [22]Chandran R, He L, Nie X, et al. Magnetic resonance imaging reveals microemboli-mediated pathological changes in brain microstructure in diabetic rats: relevance to vascular cognitive impairment/dementia[J]. *Clin Sci(Lond)*, 2022, 136(21): 1555-1570.