

论 著

颅内动脉钙化与脑小血管疾病影像学的相关性研究*

鲍欣然^{1,*} 李文菲²
1.秦皇岛市第一医院神经内科
2.秦皇岛市第一医院影像中心
(河北 秦皇岛 066000)

【摘要】目的 本研究旨在探讨颅内动脉钙化与脑小血管疾病影像学特征之间的相关性，以及颅内动脉钙化程度对脑小血管疾病进展情况的影响。方法 研究纳入了不同颅内动脉钙化严重程度的患者，并根据钙化程度分为三组(无/轻度钙化、中度钙化、重度钙化)。通过收集患者的临床资料、MRI影像指标，包括白质高信号、微出血数量、白质病变体积、脑室周围斑点及腔隙灶数量，分析颅内动脉钙化与这些MRI指标之间的相关性。同时，将患者按钙化位置(大脑中动脉、基底动脉、颈内动脉)进行分组，进一步分析特定类型钙化与MRI指标的相关性。此外，对纳入病例进行为期1年的随访，记录并分析MRI指标的变化情况。结果 MRI指标与钙化程度的相关性发现：白质高信号、微出血数量、白质病变体积及脑室周围斑点均与颅内动脉钙化程度呈正相关($r=0.57、0.52、0.49、0.43, P<0.001$)。特定类型钙化与MRI指标的相关性发现：大脑中动脉、基底动脉、颈内动脉的钙化与白质高信号、白质病变体积及脑室周围斑点呈正相关($r=0.25、0.23、0.57, P<0.001$)。颅内动脉钙化与脑小血管疾病进展情况显示：白质高信号的变化与颅内动脉钙化程度呈正相关($r=0.33, P=0.032$)。结论 颅内动脉钙化与脑小血管疾病影像学指标存在显著相关性，且特定类型颅内动脉钙化与白质病变指标也呈正相关。颅内动脉钙化可能与脑小血管疾病的进展相关。

【关键词】颅内动脉钙化；脑小血管疾病；影像学；相关性
【中图分类号】R543
【文献标识码】A
【基金项目】2023年度市级科学技术研究与发展计划自筹经费项目(202301A285)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.02.013

Correlation Study between Intracranial Artery Calcification and Imaging Features of Cerebral Small Vessel Disease*

BAO Xin-ran^{1,*}, LI Wen-fei².
1.Department of Neurology, First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, Hebei Province, China
2.Imaging Center, First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, Hebei Province, China

ABSTRACT
Objective This study aims to investigate the correlation between intracranial artery calcification and imaging characteristics of cerebral small vessel disease (CSVD), as well as the influence of the degree of intracranial artery calcification on the progression of CSVD. **Methods** Patients with varying degrees of intracranial artery calcification were enrolled and divided into three groups based on the severity of calcification (no/mild calcification, moderate calcification, severe calcification). By collecting clinical data and MRI imaging indicators, including white matter hyperintensities (WMH), the number of microbleeds, WMH lesion volume, periventricular punctate lesions, and lacunar infarcts, the correlation between intracranial artery calcification and these MRI indicators was analyzed. Furthermore, patients were grouped according to the location of calcification (middle cerebral artery, basilar artery, internal carotid artery) to further explore the correlation between specific types of calcification and MRI indicators. Additionally, a one-year follow-up was conducted for the included cases to document and analyze changes in MRI indicators. **Results** The correlation between MRI indicators and calcification severity revealed that WMH, the number of microbleeds, WMH lesion volume, and periventricular punctate lesions were positively correlated with the degree of intracranial artery calcification ($r = 0.57, 0.52, 0.49, 0.43$, respectively; $P<0.001$). The analysis of specific types of calcification showed a positive correlation between calcification in the middle cerebral artery, basilar artery, and internal carotid artery with WMH, WMH lesion volume, and periventricular punctate lesions ($r = 0.25, 0.23, 0.57$, respectively; $P<0.001$). Regarding the progression of CSVD, changes in WMH were positively correlated with the degree of intracranial artery calcification ($r = 0.33, P=0.032$). **Conclusion** Intracranial artery calcification exhibits a significant correlation with imaging indicators of CSVD, and specific types of intracranial artery calcification are also positively correlated with WMH indicators. Intracranial artery calcification may be associated with the progression of CSVD.
Keywords: Intracranial Artery Calcification; Cerebral Small Vessel Disease; Imaging; Correlation

颅内动脉钙化是指颅内动脉壁上的钙盐沉积，这种现象在老年人群中较为常见，且与多种脑血管疾病的发生发展密切相关^[1]。脑小血管疾病(cerebral small vessel disease, CSVD)，包括腔隙性脑梗死、脑白质高信号、微出血等，是引起认知功能下降和痴呆的重要原因^[2]。近年来随着影像学技术的进步，越来越多的研究开始关注颅内动脉钙化与脑小血管疾病特征影像之间的关系。颅内动脉钙化不仅与脑小血管疾病的发病率有关还可能影响疾病的预后^[3-4]。研究表明^[5]颅内动脉钙化程度较高的患者，其脑小血管疾病的严重程度往往也较高。此外，颅内动脉钙化还可能与脑小血管疾病的特定影像学表现有关，如脑白质高信号、微出血等^[6]。这些发现提示颅内动脉钙化可能是脑小血管疾病发生发展的一个重要风险因素。已有研究^[7-8]发现颅内动脉钙化的分布与脑小血管疾病的影像学表现之间存在一定的相关性，具体表现为颈内动脉颅内段的钙化与脑白质高信号、腔隙性脑梗死等脑小血管疾病的影像学表现密切相关。此外，颅内动脉钙化的程度也与脑小血管疾病的严重程度有关，钙化程度较高的患者，其脑小血管疾病的严重程度往往也较高^[9]。

颅内动脉钙化与脑小血管疾病之间的关系复杂多变且涉及多种因素和机制。一方面，颅内动脉钙化可能是脑小血管疾病发生发展的独立危险因素；另一方面，颅内动脉钙化也可能与脑小血管疾病的特定影像学表现有关^[10]。因此，深入研究颅内动脉钙化与脑小血管疾病特征影像之间的关系，对于理解脑小血管疾病的发病机制、改善患者的预后具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究选取了2022年1月至2023年12月期间来自我院神经内科就诊的，出现脑小血管病症状的163名患者，经过纳入排除标准，入选126例作为研究对象，年龄范围在18-80岁之间，分为三组：无/轻度颅内动脉钙化组($n=60$)、中度颅内动脉钙化组($n=35$)以及重度颅内动脉钙化组($n=31$)。

纳入标准：年龄 ≥ 18 岁。接受了头颅CT平扫及MRI检查，且图像质量满足分析要求。患者出现脑小血管疾病的影像学表现，如脑白质高信号、腔隙灶、脑微出血等。临床资料完整，包括但不限于年龄、性别、既往病史等。排除标准：未满18周岁。头颅CT或MRI图像质量不佳，无法清晰显示颅内动脉结构。存在严重颅脑外伤、肿瘤、感染等

【第一作者】鲍欣然，女，主治医师，主要研究方向：认知障碍、脑小血管病。E-mail: mandy2003ok@163.com
【通讯作者】鲍欣然

可能影响颅内动脉评估的疾病。患有严重心、肝、肾等器官功能不全，影响研究结果分析。本研究通过医院伦理委员会批准，确保研究符合伦理规范。

1.2 影像学检查

1.2.1 CT检查 所有参与者均接受了头部CT扫描，用于检测颅内动脉钙化的程度。扫描参数包括：扫描设备：GE LightSpeed VCT 64排螺旋CT机；扫描范围：从眶顶至枕骨大孔；扫描层厚：1mm；扫描条件：120kVp, 200mA。颅内动脉钙化程度通过以下方式进行评估：无/轻度钙化：颅内动脉未见明显钙化斑点或仅有少量斑点；中度钙化：颅内动脉可见多个钙化斑点且分布较广；重度钙化：颅内动脉广泛钙化，伴有血管狭窄。

1.2.2 MRI检查 所有参与者还接受了头部MRI检查，用于评估脑结构变化。扫描参数包括：扫描设备：Siemens Magnetom Skyra 3T MRI系统；扫描序列：T1加权成像(T1WI)、T2加权成像(T2WI)、液体衰减反转恢复序列(FLAIR)；扫描层厚：1mm；扫描条件：TR/TE = 2000ms/25ms (T1WI), TR/TE = 9000ms/90ms (T2WI), TR/TI/TE = 9000ms/2500ms/110ms (FLAIR)。MRI图像用于观察颅内动脉钙化对周围组织的影响，如水肿、缺血灶、微出血等，并测量相关MRI指标。

1.3 影像学评估

1.3.1 颅内动脉钙化评估 由两名具有丰富经验的放射科医师采用

双盲法对头颅CT图像进行独立评估，主要观察大脑中动脉、基底动脉、颈内动脉等颅内主要动脉的钙化情况。钙化程度分为无/轻度钙化、中度钙化和重度钙化三类。

1.3.2 脑小血管疾病评估 MRI图像由另一组经验丰富的神经影像学医师进行阅片，评估白质高信号(采用Fazekas评分)、微出血数量、白质病变体积(通过软件自动计算)、脑室周围斑点(根据分级标准记录)及腔隙灶数量等指标。

1.4 随访 对纳入研究的患者进行为期1年的随访，记录其MRI指标的变化情况，并与基线时的钙化程度进行相关性分析，以探讨颅内动脉钙化对脑小血管疾病进展情况的影响。

1.5 统计学方法 采用SPSS 26.0软件进行统计学分析。定量数据以均数±标准差表示，分类数据以频数和百分比表示。采用t检验或方差分析比较不同钙化程度组间的定量数据差异，采用卡方检验分析分类数据的差异。相关性分析采用Spearman或Pearson相关系数。P值小于0.05被认为具有统计学意义。

2 结果

2.1 不同颅内动脉钙化严重程度组患者的一般资料 根据不同颅内动脉钙化严重程度，将患者分为三组(无/轻度钙化、中度钙化、重度钙化)，三组患者的年龄、性别、吸烟史、高血压史等一般临床资料分析详见表1。所有一般资料均无统计学差异(P>0.05)。

表1 不同颅内动脉钙化严重程度组患者的一般资料

特征	无/轻度钙化 (n=60)	中度钙化 (n=35)	重度钙化 (n=31)	t/ χ^2	P值
年龄 (岁)	62.5 ± 8.3	64.2 ± 8.7	66.1 ± 9.0	1.835	0.164
性别 (男/女)	32/28	20/15	19/12	0.539	0.764
吸烟史 (有/无)	22/38	14/21	18/13	3.983	0.137
高血压 (有/无)	25/35	18/17	20/11	4.308	0.116
糖尿病 (有/无)	12/48	7/28	9/22	1.103	0.576
高脂血症 (有/无)	18/42	10/25	13/18	1.674	0.433
心脏病史 (有/无)	8/52	5/30	5/26	0.131	0.936
脑卒中史 (有/无)	10/50	6/29	6/25	0.106	0.948

2.2 不同颅内动脉钙化程度与多种MRI指标的相关性 三组不同钙化程度的患者MRI指标比较发现，白质高信号、微出血数量、白质病变体积及脑室周围斑点均与钙化程度呈正相关，相关系数r分别为0.57、0.52、0.49、0.43。详见表2。

表2 不同颅内动脉钙化程度与多种MRI指标的相关性

MRI指标	无/轻度钙化 (n=60)	中度钙化 (n=35)	重度钙化 (n=31)	r	P值
白质高信号	1.2 ± 0.8	2.5 ± 1.2	3.8 ± 1.1	0.57	<0.001
微出血数量	1.5 ± 0.7	3.8 ± 1.4	6.2 ± 2.1	0.52	<0.001
白质病变体积(cm³)	7.2 ± 3.3	13.4 ± 5.2	18.6 ± 7.5	0.49	<0.001
腔隙灶数量	2(1, 3)	3(2, 4)	6(5, 8)	0.39	0.563
脑室周围斑点					
0-1级	29	15	13	0.43	<0.001
2级	23	13	10		
3级	8	7	8		

备注：白质高信号 (Fazekas评分)：代表脑白质病变的程度。微出血数量：代表脑实质内的微出血数量。

脑室周围斑点：代表脑室周围的小血管病变斑点数量。白质病变体积：代表白质病变的总体积。

腔隙灶数量：代表腔隙性梗死的数量。下同。

2.3 特定类型的颅内动脉钙化与不同MRI指标的相关性 本研究将所有病例按照钙化位置分为大脑中动脉、基底动脉、颈内动脉三种类型，并分析特定类型钙化与MRI指标的相关性，结果发现，白质高信号、白质病变体积及脑室周围斑点与特定类型钙化呈正相关，相关系数r分别为0.25、0.23、0.57。详见表3。图1为

患者颅内不同位置钙化的代表性影像资料。
2.4 颅内动脉钙化与脑小血管疾病进展情况的关系 本研究对纳入病例进行为期1年的随访，记录病例不同MRI指标的变化，与不同颅内动脉钙化程度进行相关性分析，结果发现，白质高信号变化与颅内动脉钙化程度呈正相关，相关性系数r为0.33。详见表4。

表3 特定类型的颅内动脉钙化与不同MRI指标的相关性

MRI指标	大脑中动脉 (n=50)	基底动脉 (n=38)	颈内动脉 (n=38)	r	P值
白质高信号	3.6 ± 1.8	4.2 ± 2.1	2.8 ± 1.2	0.25	<0.001
微出血数量	2.5 ± 1.1	4.3 ± 2.1	5.2 ± 2.3	0.33	0.73
白质病变体积(cm³)	10.2 ± 5.3	9.8 ± 4.9	9.5 ± 4.5	0.23	<0.001
腔隙灶数量	2.5 ± 1.2	1.8 ± 0.9	1.5 ± 0.8	0.06	0.65
微出血体积	10.5 ± 4.3	9.8 ± 3.6	9.2 ± 3.2	0.03	0.81
脑室周围斑点					
0-1级	24	14	15	0.57	<0.001
2级	20	15	12		
3级	6	9	11		

表4 颅内动脉钙化与脑小血管疾病进展情况的关系

颅内动脉钙化程度	白质高信号变化	微出血数量变化	白质病变体积变化	腔隙灶数量变化
无/轻度钙化(n=60)	0.5 ± 0.2	2.3 ± 0.6	2.2 ± 1.1 cm³	1.5 ± 0.8
中度钙化(n=35)	0.9 ± 0.5	3.5 ± 1.5	3.4 ± 2.1 cm³	2.3 ± 1.1
重度钙化(n=31)	1.5 ± 0.8	3.2 ± 1.1	3.6 ± 2.3 cm³	2.1 ± 0.9
r	0.33	0.31	0.21	0.15
P值	0.032	0.634	0.733	0.695

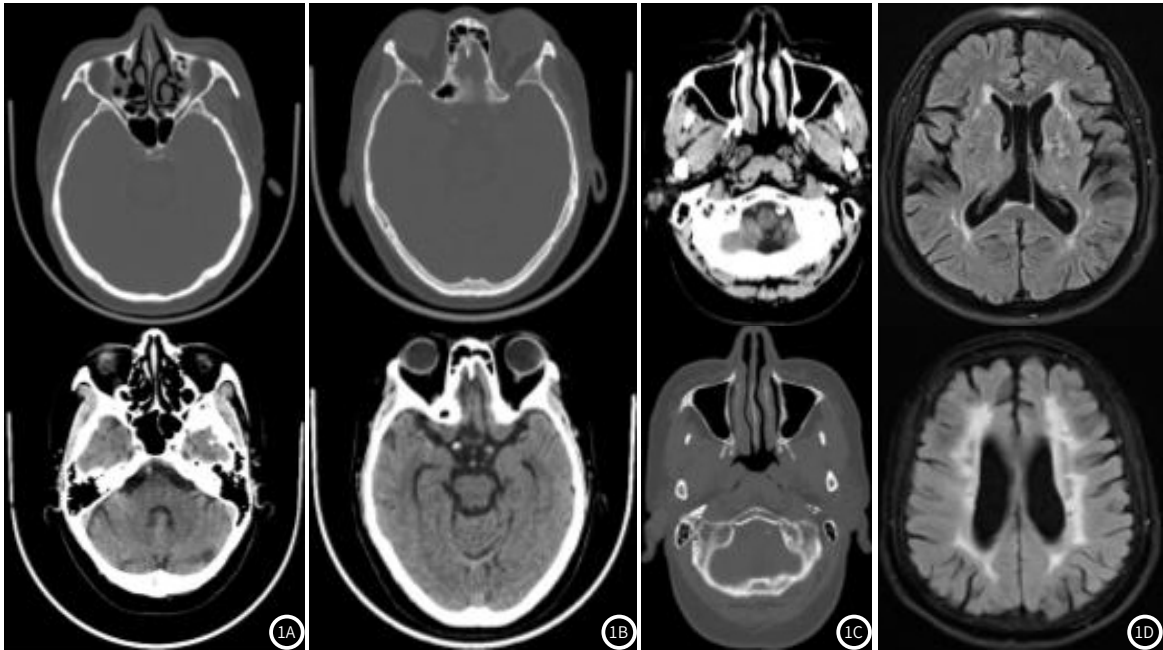


图1A-图1D 颅内不同位置钙化的影像图片。1A：颈内动脉；1B：大脑中动脉；1C：多发部位钙化；1D：白质高信号3级。

3 讨论

本研究旨在探讨颅内动脉钙化与脑小血管疾病影像学的相关性,特别是通过分析颅内动脉钙化的严重程度与多种MRI指标之间的关系。颅内动脉钙化是脑血管疾病的重要标志之一,它可以反映血管壁的结构变化,并与脑血管事件的发生和发展密切相关。脑小血管疾病是导致认知功能障碍和脑卒中的重要因素之一,因此研究颅内动脉钙化与脑小血管疾病之间的联系具有重要的临床意义。

本研究将患者根据颅内动脉钙化的严重程度分为三组:无/轻度钙化、中度钙化和重度钙化。通过对这三组患者的一般资料(包括年龄、性别、吸烟史、高血压史等)进行比较分析,发现各组间的基本特征并无显著差异。这一结果提示,颅内动脉钙化的程度可能与个体的年龄、性别、吸烟及高血压等传统风险因素无直接关联,或者这些风险因素在本研究样本中的分布相对均衡,不足以显示出统计学差异,而是需要更大样本量的研究来进一步验证。

3.1 不同钙化程度与MRI指标的相关性 本研究的核心发现之一是不同颅内动脉钙化程度与多种MRI指标之间存在显著的正相关关系。具体而言,白质高信号、微出血数量、白质病变体积及脑室周围斑点等MRI指标均随着钙化程度的增加而显著增加。这一结果强烈支持了颅内动脉钙化是脑小血管疾病的一个重要病理生理过程的观点。钙化可能导致血管壁僵硬、管腔狭窄和血流动力学改变,进而引发脑组织的缺血、缺氧和微结构损伤,最终表现为MRI上的白质高信号、微出血和白质病变等异常^[11-12]。在进一步分析中,我们发现白质高信号(Fazekas评分)与钙化程度的相关性最为显著($r=0.57$, $P<0.001$)。白质高信号是脑小血管疾病的重要影像学标志之一,反映了脑白质脱髓鞘和轴突损伤的程度^[13]。本研究结果表明白质高信号与钙化程度的密切关系,提示颅内动脉钙化可能是导致脑白质病变的关键因素之一。此外,微出血数量和白质病变体积也随钙化程度的增加而增加,进一步证实了钙化在脑小血管疾病中的重要作用。相关研究也支持了上述结论,例如,唐亚运等的研究发现颅内动脉钙化程度与WMH、腔隙灶及脑微出血显著相关,可作为CSVD预测指标^[3,6]。

3.2 特定类型钙化与MRI指标的相关性 为了更深入地探讨颅内动脉钙化与SVD之间的关系,本研究还将患者按照钙化位置分为大脑中动脉、基底动脉和颈内动脉三种类型,并分析了特定类型钙化与MRI指标的相关性。结果发现,白质高信号、白质病变体积及脑室周围斑点与特定类型钙化的关系也呈现出正相关趋势。虽然相关系数 r 值相对较小(分别为0.25、0.23和0.57),但仍具有统计学意义($P<0.001$)。这一结果表明,不同位置的颅内动脉钙化可能对脑组织的影响存在差异,但总体上均对CSVD的发生和发展起到促进作用。这些发现与之前的研究也有相似之处,例如,一项关于颈内动脉颅内段钙化与脑白质高信号的影像学相关性研究显示,颈内动脉颅内段钙化与脑白质高信号具有显著相关性^[14]。另一项研究也表明,颈内动脉虹吸段钙化与不同区域脑白质高信号影像学相关性研究发现,颈内动脉虹吸段钙化与侧脑室旁高信号及深部脑白质高信号均相关,并且可预测脑白质高信号的严重程度^[15]。值得注意的是,微出血数量在不同类型钙化之间的比较中并未显示出显著的差异($P=0.73$)。这可能与微出血的成因复杂多样有关,不仅与血管钙化有关,还可能受到高血压、糖尿病等多种因素的影响^[16-19]。这些发现强调了颅内动脉钙化在脑小血管疾病中的潜在作用,为临床防治提供了依据。

3.3 颅内动脉钙化与CSVD进展情况的关系 为了评估颅内动脉钙化对CSVD进展情况的影响,本研究对纳入病例进行了为期1年的随访,并记录了不同MRI指标的变化。结果发现,白质高信号变化与颅内动脉钙化程度呈正相关($r=0.33$, $P=0.032$),而微出血

数量变化、白质病变体积变化和腔隙灶数量变化与钙化程度的相关性并不显著。这进一步证实了颅内动脉钙化可能在脑小血管疾病的进展中起着重要作用。白质高信号的增加可能反映了脑白质损伤的累积效应,这可能与认知功能下降、步态障碍以及卒中风险增加有关^[20]。

综上所述,本研究通过系统的影像学分析揭示了颅内动脉钙化与脑小血管疾病之间的密切关系,为CSVD的诊断、治疗和预后评估提供了新的视角和依据。然而,由于本研究样本量有限且随访时间较短,所得结论仍需在更大样本、长期随访的研究中进一步验证和完善。

参考文献

- [1] Du H, Zheng J, Li X, et al. The correlation between medial pattern of intracranial arterial calcification and white matter hyperintensities [J]. *Atherosclerosis*, 2023, 381: 117247.
- [2] 相振宇, 蔡强, 唐笑先. 颅内动脉钙化与脑小血管病影像学相关性的研究进展 [J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2017, 15 (17): 2131-2134.
- [3] 陈鹏, 韦寅, 邱维加, 等. 颅内动脉钙化定量评价与脑小血管病总体负担评分的相关性研究 [J]. *医学影像学杂志*, 2022, 32 (6): 911-915.
- [4] 陈鹏, 李凯, 韦寅, 等. 颅内动脉钙化评价方法在脑小血管病风险评估的可行性研究 [J]. *放射学实践*, 2021, 36 (7): 848-851.
- [5] 卫元晓, 方力群. 脑小血管病白质高信号的影像学研究进展 [J]. *北京医学*, 2021, 43 (12): 1205-1207.
- [6] 唐亚运, 吴平, 许亚春. 颅内动脉钙化的分布与脑小血管疾病影像学表现的相关性研究 [J]. *现代医学*, 2021, 49 (5): 525-530.
- [7] 郑锐标, 吕永革, 李超军, 等. 颈内动脉颅内段钙化与缺血性脑小血管病影像学相关性研究 [J]. *实用放射学杂志*, 2022, 38 (7): 1053-1056.
- [8] 陈娟, 刘玥, 赵丹丹, 等. 颅内动脉钙化与腔隙性脑梗死患者影像学特征的关系 [J]. *中国老年学杂志*, 2016, 36 (22): 5604-5605.
- [9] 高强, 王传堂, 钱鲁航. 颅内动脉钙化与缺血性脑血管病的相关性研究 [J]. *影像研究与医学应用*, 2022, 6 (12): 26-28.
- [10] 相振宇. 颅内动脉颅内段钙化与脑小血管病影像学相关性研究 [D]. 山西医科大学, 2018.
- [11] 相振宇, 蔡强, 原杰, 等. 颈内动脉颅内段钙化与脑白质高信号的影像学相关性 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2018, 26 (2): 99-103.
- [12] 王中群, 刘乃丰. 血管钙化的病理分型及临床新进展 [J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2011, 13 (2): 176-178.
- [13] 郭宇宙, 管玲, 王拥军, 等. 脑白质高信号的非传统血管危险因素研究进展 [J]. *中国卒中杂志*, 2019, 14 (11): 1113-1118.
- [14] 李玉花, 罗昕, 于克文, 等. 颈动脉钙化与脑皮质及浅层白质缺血相关性研究 [J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2020, 26 (4): 306-311.
- [15] 王晓强, 张亚东, 高晓玲, 等. 颈内动脉虹吸段钙化与不同区域脑白质高信号影像学相关性研究 [J]. *山西卫生健康职业学院学报*, 2022, 32 (3): 3-4.
- [16] 薛村水. 急性脑梗死伴高血压病人脑微出血的相关因素分析 [J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2018, 16 (11): 1614-1617.
- [17] Ni R, Chu L, Xu D, et al. Risk factors of cerebral microbleeds in young and middle-aged patients with hypertension [J]. *Neurol Res*, 2018, 40 (5): 413-418.
- [18] 李宇, 萨丽波. 老年腔隙性脑梗死患者发生脑微出血的危险因素分析 [J]. *中国实用医药*, 2021, 16 (31): 13-16.
- [19] 郝佳佳, 周沛莹, 丘惠嫒. 老年急性脑梗死患者并发脑微出血影响因素 [J]. *中国老年学杂志*, 2022, 42 (21): 5177-5180.
- [20] 耶尔凡·加尔肯. 脑白质高信号相关的认知损伤及其进展的多模态影像学研究 [D]. 浙江大学, 2019.

(收稿日期: 2024-08-20)

(校对编辑: 姚丽娜)