

CT灌注成像评价脑缺血在健康管理中的应用价值

曾 辉, 刘 莹

新疆医科大学第二附属医院医学影像科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年11月27日; 录用日期: 2024年12月21日; 发布日期: 2024年12月30日

摘 要

目的: 探讨CT灌注成像评价脑缺血在健康管理中的应用价值。方法: 选取2022年1月至2024年2月期间在我院检查的具有脑血管合并症或高危因素老年人群120例(观察组), 另选取同时期在我院进行常规体检的健康志愿者60例(对照组)。均在院经头颅CT检查, 观察CT灌注成像参数变化, 随访6个月, 将患者随访结果或检查后经数字减影血管造影检查结果作为比较, 分析CT灌注成像诊断脑缺血的临床价值, 并对比脑缺血组与非脑缺血组CT灌注成像参数差异。结果: 120例具有脑血管合并症或高危因素老年人群确诊为脑缺血患者38例(31.67%)。综合CT灌注成像所有参数诊断脑缺血的灵敏度及准确性均高于头颅CT平扫, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。脑缺血组脑血流量(CBF)、脑血容量(CBV)值低于非脑缺血组与对照组, 平均通过时间(MTT)及达峰时间(TTP)值高于非脑缺血组与对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。缺血半暗带区域CBF、CBV值高于梗死区, TTP、MTT值低于梗死组, 差异有统计学意义($P < 0.05$); 缺血半暗带区域相对值rCBF、rCBV高于梗死区, rTTP、rMTT值低于梗死组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。结论: CT灌注成像评价脑缺血在健康管理中的应用价值较高, 早期诊断率高, 可作为具有脑缺血高危因素或脑缺血合并症患者头颅CT检查中的重要技术。

关键词

CT灌注成像, 脑缺血, 健康管理

Application Value of CT Perfusion Imaging in Evaluating Cerebral Ischemia in Health Management

Hui Zeng, Ying Liu

Department of Medical Imaging, The Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Nov. 27th, 2024; accepted: Dec. 21st, 2024; published: Dec. 30th, 2024

文章引用: 曾辉, 刘莹. CT灌注成像评价脑缺血在健康管理中的应用价值[J]. 临床医学进展, 2024, 14(12): 1455-1462.
DOI: 10.12677/acm.2024.14123239

Abstract

Objective: To explore the application value of CT perfusion imaging in evaluating cerebral ischemia in health management. **Methods:** A total of 120 elderly patients with cerebrovascular complications or high-risk factors who were examined in our hospital from January 2022 to February 2024 were selected as the observation group. Another 60 healthy volunteers who underwent routine physical examinations in our hospital during the same period were selected as the control group. All patients underwent head CT examination in the hospital, and changes in CT perfusion imaging parameters were observed. Follow-up for 6 months was conducted, and the patient follow-up results or the results of digital subtraction angiography after examination were compared to analyze the clinical value of CT perfusion imaging in diagnosing cerebral ischemia, and the differences in CT perfusion imaging parameters between the cerebral ischemia group and the non cerebral ischemia group were compared. **Results:** Among the 120 elderly patients with cerebrovascular complications or high-risk factors, 38 (31.67%) were diagnosed with cerebral ischemia. The sensitivity and accuracy of all parameters of comprehensive CT perfusion imaging in diagnosing cerebral ischemia were higher than those of head CT scan, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The cerebral blood flow (CBF) and cerebral blood volume (CBV) values in the cerebral ischemia group were lower than those in the non-cerebral ischemia group and the control group. The average transit time (MTT) and peak time (TTP) values were higher than those in the non-cerebral ischemia group and the control group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The CBF and CBV values in the ischemic penumbra area were higher than those in the infarcted area, while the TTP and MTT values were lower than those in the infarcted group, the difference being statistically significant ($P < 0.05$). The relative values of rCBF and rCBV in the ischemic penumbra area were higher than those in the infarcted area, rTTP and rMTT values were lower than those in the infarction group, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion:** Evaluation of cerebral ischemia by CT perfusion imaging has high application value in health management and high early diagnosis rate. It can be used as an important technique in head CT examination in patients with high-risk factors of cerebral ischemia or complications of cerebral ischemia.

Keywords

CT Perfusion Imaging, Cerebral Ischemia, Health Management

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脑缺血是临床常见的脑血管疾病, 是严重危害我国居民健康的重大脑部疾病, 主要病因与脑动脉狭窄或闭塞、脑动脉栓塞、血流动力学因素、血液学因素有关[1]。因此早期诊断、及时治疗对脑缺血患者预后改善意义重大。脑缺血早期无异常表现, 以头痛、眩晕、呕吐等表现为主, 可能与其他疾病相混淆。且随着我国居民健康意识的逐渐加强, 健康体检人数越来越多, 此时对于医院健康体检且具备脑缺血的高危人员而言, 如何能提高脑缺血筛查率, 成为研究重点。多层螺旋 CT 是健康体检时的常用项目, 既往 CT 平扫空间分辨率高, 但对脑血流状态缺乏诊断不足, 难以清楚显示脑动脉血流情况[2]。CT 灌注成像是一种新型 CT 诊断技术, 可准确评估脑部血流动力学变化, 并能实时监测缺血区的血流状态[3]。当前已有研究[4]表明 CT 灌注成像对脑卒中诊断价值较高, 但将其作为健康体检时常规项目, 是否有相应不

足,值得探讨。基于此,本文探讨 CT 灌注成像评价脑缺血在具备脑缺血高危因素人群的健康管理中的应用价值,旨在为临床健康管理提供参考,报道如下。

2. 资料与方法

2.1. 临床资料

选取 2022 年 1 月至 2024 年 2 月期间在我院健康检查的具有脑血管合并症或高危因素老年人群 120 例(观察组),男性 70 例,女性 50 例;年龄 60~82 (72.81 ± 2.75)岁;其中发生短暂性脑缺血发作 18 例,微小血栓栓塞症 12 例,高血压病 44 例,高血压合并糖尿病者 15 例,高脂血症 20 例,冠心病 11 例。另选取同时期在我院进行常规体检的健康志愿者 60 例(对照组),男性 34 例,女性 26 例;年龄 60~82 (72.85 ± 2.72)岁。2 组一般资料比较, $P > 0.05$ 。纳入标准: (1) 所有人员均自愿到院检查,具有脑血管合并症或高危因素,如发生过短暂性脑缺血,伴微小血栓栓塞症、高血压病等; (2) 参与研究同意本次研究,自愿接受随访。排除标准: (1) 伴出血性倾向疾病; (2) 合并急性心肌梗死、心力衰竭者; (3) 因某些原因无法配合研究者。

2.2. 诊断方法

所有患者均在院经头颅 CT 检查,东芝 Aquilion 型 64 排螺旋 CT 诊断仪,先行常规 CT 平扫,层厚设为 10 mm,层距设为 10 mm,管电压为 120 kV,管电流为 300 mAs,总扫描时间为 90 s。在平扫结束后,将基底节层面作为扫描中心,逐渐向大脑前动脉、中动脉、后动脉供血区进行 CT 灌注成像检查。经肘前静脉注射非离子型碘海醇对比剂(350 mg/mL),用双筒高压注射器,注射速率为 6 mL/s,剂量为 40~50 mL,注射后 5 s 进行感兴趣层面扫描,扫描总时间为 40 s。扫描参数:管电压为 80 kV,管电流为 250 mAs,层厚为 1.2 mm,覆盖范围 64 mm $\times$ 0.6 mm 层。将扫描后的原始灌注数据信息传输至工作站,去除颅骨,依据脑动脉显影调节密度值,去除脑血管干扰。对脑血流量(CBF)、脑血容量(CBV)、平均通过时间(MTT)及达峰时间(TTP); CBF 正常值为 50~55 mL/100g $\cdot$ min; CBV: 4~5 mL/100g; MTT: 3~6 s; TTP: <8 s。并经镜像处理,得到对侧镜像区百分比值,测量相对参数值: rCBF、rCBV、rMTT、rTTP。

2.3. 观察指标

(1) 比较 CT 平扫、CT 灌注成像对脑缺血的诊断价值,观察组在健康体检后经随访(随访 6 个月)、数字减影血管造影(DSA)检查结果作为比较,计算诊断效能(灵敏度、特异度及准确性); (2) 脑实质损害程度: I 型: rCBV 正常,或呈轻度增加; II 型: 梗死中心区的 rCBV 值明显下降,梗死周围 rCBV 值正常或呈轻度增加; III 型: 梗死中心区及梗死周围 rCBV 值明显下降; (3) 灌注成像参数: 比较脑缺血组、非脑缺血组、对照组的 CT 灌注成像参数: CBF、CBV、MTT 及 TTP; (4) 比较脑缺血组患者半暗带区域、梗死区 CT 灌注成像参数: CBF、CBV、MTT 及 TTP 具体值; (5) 比较脑缺血组患者半暗带区域、梗死区 CT 灌注成像对侧镜像区百分比值: rCBF、rCBV、rMTT、rTTP。

2.4. 统计学方法

用 SPSS26.0 统计学软件进行数据处理。计量数据符合正态分布且用均数标准差($\bar{x} \pm s$)表示,用独立样本 t 检验;计数资料用率(%)表示,采取 χ^2 检验; ($P < 0.05$)为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 比较 CT 平扫、CT 灌注成像对脑缺血的诊断价值

120 例具有脑血管合并症或高危因素老年人群经头颅 CT 平扫提示有低密度影像灶以及脑缺血成像 21 例(17.50%),综合头颅 CT 灌注成像所有参数诊断出脑缺血 36 例(30.0%),其中脑实质损害 I 型 20 例

患者, II型 14 例患者, III型 2 例患者; 见图 1, 所有患者经健康体检后经随访结果、数字减影血管造影检查 38 例伴脑缺血(31.67%), 综合头颅 CT 灌注成像所有参数诊断脑缺血的灵敏度及准确性均高于头颅 CT 平扫, 差异有统计学意义($\chi^2 = 23.385, P = 0.000; \chi^2 = 23.269, P = 0.000$), 特异度比较差异无统计学意义($\chi^2 = 3.731, P = 0.053$), 见表 1、表 2。

Table 1. Analysis of the diagnostic value of head CT plain scan for cerebral ischemia
表 1. 分析头颅 CT 平扫对脑缺血的诊断价值

头颅 CT 平扫	随访结果或 DSA 检查结果		总计
	阳性	阴性	
阳性	15	6	21
阴性	23	76	99
总计	38	82	120
灵敏度		39.47%	
特异度		92.68%	
准确性		75.83%	

Table 2. Analysis of the diagnostic value of CT perfusion imaging for cerebral ischemia
表 2. 分析 CT 灌注成像对脑缺血的诊断价值

综合 CT 灌注成像所有参数	随访结果或 DSA 检查结果		总计
	阳性	阴性	
阳性	35	1	36
阴性	3	81	84
总计	38	82	120
灵敏度		92.11%	
特异度		98.78%	
准确性		96.67%	

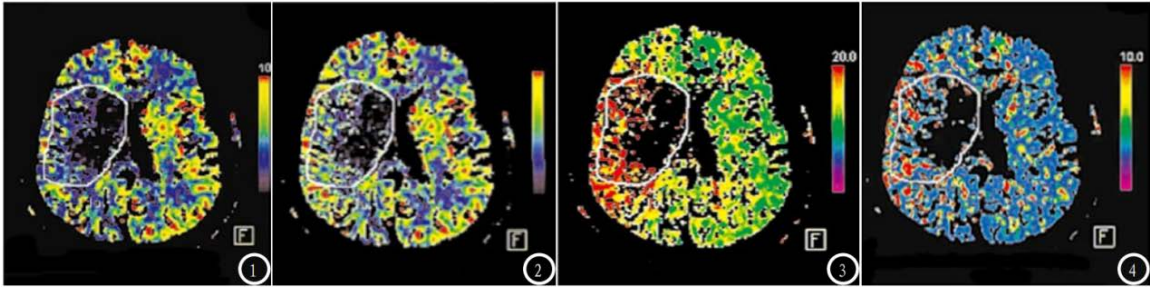


Figure 1. Patient, male, 62 years old. ① CBF map from CT perfusion imaging; ② CBV map, showing lower values in the infarction area compared to the surrounding regions, with gradual enhancement in the periphery; ③ TTP map, demonstrating a significant prolongation; ④ MMT map, showing prolonged ischemic penumbra
图 1. 患者, 男, 62 岁, ① CT 灌注成像 CBF 图; ② CBV 图, 梗死区低于周围区域, 周围逐渐增强; ③ TTP 图, 延长明显; ④ MMT 图, 缺血半暗带延长

3.2. 比较脑缺血组、非脑缺血组、对照组的 CT 灌注成像参数

脑缺血组 CBF、CBV 值低于非脑缺血组与对照组, TTP、MTT 值高于非脑缺血组对照组, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 见表 3。

Table 3. Compare CT perfusion imaging parameters of cerebral ischemia group, non-cerebral ischemia group, and control group**表 3.** 比较脑缺血组、非脑缺血组、对照组的 CT 灌注成像参数

组别	CBF (mL/100g·min)	CBV (mL/100g)	TTP (s)	MTT (s)
脑缺血组(n = 38)	42.61 ± 3.14	2.93 ± 0.41	18.80 ± 2.69	8.24 ± 0.51
非脑缺血组(n = 82)	52.02 ± 1.96	4.38 ± 0.40	5.63 ± 0.27	3.81 ± 0.27
对照组(n = 60)	60.37 ± 1.53	5.95 ± 0.35	3.57 ± 0.22	2.31 ± 0.22
<i>t</i> (脑缺血组与非脑缺血组)	20.034	18.327	44.070	62.228
<i>P</i> (脑缺血组与非脑缺血组)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<i>t</i> (脑缺血组与对照组)	37.427	38.921	43.756	79.332
<i>P</i> (脑缺血组与对照组)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

3.3. 比较脑缺血组患者缺血半暗带区域、梗死区 CT 灌注成像参数

缺血半暗带区域 CBF、CBV 值高于梗死区, TTP、MTT 值低于梗死组, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 见表 4。

Table 4. Comparison of CT perfusion imaging parameters of ischemic penumbra and infarct area in patients with cerebral ischemia group**表 4.** 比较脑缺血组患者缺血半暗带区域、梗死区 CT 灌注成像参数

组别	CBF (mL/100g·min)	CBV (mL/100g)	TTP (s)	MTT (s)
缺血半暗带区(n = 36)	45.10 ± 2.36	3.38 ± 0.41	14.85 ± 2.69	6.72 ± 1.41
梗死区(n = 36)	40.27 ± 2.21	2.57 ± 0.45	21.74 ± 2.71	11.28 ± 1.87
<i>t</i>	8.963	7.983	10.827	11.682
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

3.4. 比较脑缺血组患者半暗带区域、梗死区 CT 灌注成像对侧镜像区百分比值

脑缺血组患者缺血半暗带区域 rCBF、rCBV 高于梗死区, rTTP、rMTT 值低于梗死组, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 见表 5。

Table 5. Percentage ratio (%) of contralateral mirror area on CT perfusion imaging of penumbra and infarct area in patients with cerebral ischemia**表 5.** 比较脑缺血组患者半暗带区域、梗死区 CT 灌注成像对侧镜像区百分比值(%)

组别	rCBF	rCBV	rTTP	rMTT
缺血半暗带区(n = 36)	51.25 ± 8.36	62.41 ± 9.65	114.25 ± 28.63	123.65 ± 18.84
梗死区(n = 36)	18.74 ± 5.35	24.84 ± 5.39	135.86 ± 29.14	258.43 ± 25.79
<i>t</i>	19.653	20.394	3.174	25.320
<i>P</i>	<0.001	<0.001	0.002	<0.001

4. 讨论

脑缺血是临床常见的急性脑血管疾病, 常因脑部供血不足所致, 患者主要表现为突然发作的头晕、眩晕、眼花、走路不稳、肢体麻木无力等症状。通常对脑缺血患者, 临床需要及早处理, 若干预不及时, 极易威胁到患者生命安全[5]。因此, 对于临床医务工作者而言, 需要探索一种合理有效的诊断技术, 提

高脑缺血诊断率。CT 是临床诊断脑血管病的常用方法,但在脑缺血疾病发生早期,颅脑病灶仅表现为水、电解质改变,并未发生实质性病变改变。此时临床采用单独 CT 平扫,仅能发现轻微病变征象,无法发现病灶区域形态变化,诊断率较低[6]。由于颅脑组织正常的生理功能及病理学状态与脑动脉血流供应相关,当患者发生脑缺血后,根据脑血流供应状态,可相应评价患者脑组织病理状态[7]。CT 灌注成像是一种新型的 CT 技术,在静脉注射对比剂后,可连续多次扫描选定的层面,并能获取每层面每一像素的时间与密度曲线,根据脑 CBF、CBV 以及对比剂的达峰时间及通过时间,能够准确评价组织器官的灌注程度,清楚显示颅脑缺血后组织形态学及病理生理功能改变情况[8] [9]。

王丽坤等[10]研究表明,CT 灌注成像对老年急性缺血性脑卒中诊断具有重要意义,可通过分析是否存在缺血半暗带指导静脉溶栓治疗。张会文等[11]研究调查发现 CT 灌注成像对缺血性脑卒中病灶的诊断符合率为 81.82%。张哲宇等[12]研究指出 CT 灌注成像可有效预测发病 24 h 内急性前循环大动脉闭塞栓患者的进展梗死体积,并能进一步预测患者预后。因此采用 CT 灌注成像,对脑缺血疾病诊断有重要意义。本组研究 CT 灌注成像诊断脑缺血的灵敏度及准确性均高于头颅 CT 平扫($P < 0.05$)。结果提示,CT 灌注成像诊断脑缺血有较高的作用价值,且优于 CT 平扫诊断价值。分析原因是采用 CT 灌注成像,可清晰显示对比剂在颅脑组织血流灌注状态,使临床医师可全面显示大脑前、中、后动脉等多支脑血管;同时任意旋转可从多方位、多角度显示脑血管状态,故能清晰、全面发现脑缺血状态;另外脑缺血早期经 CT 灌注成像检查,有效评价缺血区脑组织的血流灌注量,准确判定脑缺血的部位、范围及程度,定量评估脑缺血早期低灌注血流动力学,并能发现缺血半暗带区域,使患者得到超早期诊断及治疗[13]。

CT 灌注成像是发现脑血流灌注信息的重要技术。其灌注成像参数中 CBF 是指在一定单位时间内通过脑组织的血流量,当平均半球血流量减少至 25~30 mL/100g·min 时,可能会导致个体出现精神错乱、意识丧失、神经功能缺损等情况;CBV 是指大脑检测区感兴趣区内脑血管床(毛细血管、脑动脉、脑静脉等)的血液总量,若脑缺血发作,供血不足,故会致 CBV 降低;MTT 是指对比剂注射后经过局部脑组织所需要的平均时间;TTP 是指对比剂注射至浓度峰值的时间[14]。当 MTT、TTP 时间延长,表现为局部缺血严重,延长对比剂抵达感兴趣区的时间。本组研究,脑缺血组患者 CBF、CBV 值低于非脑缺血组与对照组,MTT 及达峰时间(TTP)值高于非脑缺血组与对照组,缺血半暗带区域 CBF、CBV 值高于梗死区,TTP、MTT 值低于梗死组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。结果表明脑缺血 CT 灌注成像表现为 CBF、CBV 减少,MTT、TTP 延长,可为临床医师评价脑缺血区及正常颅脑组织提供参考依据。通常脑缺血性脑梗塞发生时,多经过良性低灌注组织(病灶周围)、缺血半暗带区域及梗死区,病灶周围组织血液灌注量减少,但不会导致神经组织损伤;缺血半暗带区域神经功能损伤,但未能及时干预,可发展为完全梗死。根据 CT 灌注成像具体参数值,预示着缺血半暗带区血流供应较梗死区良好,血管闭塞程度较轻,并为临床治疗及挽救患者神经功能提供积极促进意义。

通常当颈或颅动脉狭窄或闭塞致 rCBF 下降,且狭窄程度越重,rCBF 下降程度越明显。主要是因为当动脉狭窄超过 50%后,脑血管的自我调节能力失去代偿性,脑供血反馈机制减退,使脑缺血及脑梗死风险增加。而且当脑血管损伤后,血管扩张能力受限性增加,使 rTTP、rMTT 明显延长,而两者延迟越大,表明血流至感兴趣的通路越远,脑血管血流动力学损伤越严重,脑缺血发生风险越明显。故根据 CT 灌注成像具体参数值及相对值,可用来评估缺血半暗带区及梗死区,并用来评估患者病情,为临床治疗提供参考[15]-[18]。本组研究,缺血半暗带区相对值 rCBF、rCBV 高于梗死区,rTTP、rMTT 值低于梗死组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。结果再次表明缺血半暗带区闭塞程度较轻。

CT 灌注成像在评价脑缺血中的成本效益是显著的。虽然其设备成本、检查费用和人员成本较高,但其在早期诊断、指导治疗、评估预后等方面的效益也是显而易见的。CT 灌注成像在早期诊断和精准治疗方面具有明显优势,其成本效益比高于传统诊断方法。CT 灌注成像可通过减少误诊和漏诊,降低后续治

疗成本和长期护理成本。通过减少因脑缺血导致的残疾和死亡, CT 灌注成像有助于降低社会医疗负担。因此, 在健康管理中应用 CT 灌注成像进行脑缺血的评价是合理的选择。

综上所述, CT 灌注成像评价脑缺血在健康管理中的应用价值较高, 早期诊断率高, 并能区分脑梗死区及缺血半暗带区, 使患者得到早期、有效的诊断及治疗, 并为临床超早期治疗方案的选择及制定提供参考; 同时 CT 灌注成像可清晰提供脑缺血患者更为全面、详细、准确的血流动力学, 明确灌注异常的部位及范围, 应用前景广阔, 可作为具有脑缺血高危因素或脑缺血合并症患者头颅 CT 检查中的重要技术。

参考文献

- [1] Bouslama, M., Haussen, D.C., Grossberg, J.A., Barreira, C.M., Bom, I.M.J.V.d., Nijnatten, F.V., *et al.* (2020) Flat-Panel Detector CT Assessment in Stroke to Reduce Times to Intra-Arterial Treatment: A Study of Multiphase Computed Tomography Angiography in the Angiography Suite to Bypass Conventional Imaging. *International Journal of Stroke*, **16**, 63-72. <https://doi.org/10.1177/1747493019895655>
- [2] 陶禹, 汤程旭, 姜亦伦. 多时相 CTA 联合脑 CTP 对缺血性脑卒中患者诊断的价值研究[J]. 脑与神经疾病杂志, 2021, 29(1): 28-32.
- [3] 赵舒平, 王文辉, 王彦平. CT 灌注成像参数联合 ABCD2 评分预测 TIA 患者短期脑卒中发生风险的价值[J]. 医学临床研究, 2023, 40(1): 81-84.
- [4] Bagley, L.J. and Loevner, L.A. (2021) Should Perfusion CT and CTA Be Performed in All Patients with Suspected Stroke? Counterpoint—No, Judicious Use Is Warranted, and Such Studies Should Not Be Done Simply to Exclude. *American Journal of Roentgenology*, **217**, 293-294. <https://doi.org/10.2214/ajr.20.25243>
- [5] 车舒平, 李安源, 李秀丽, 等. 头部 CT 血管成像联合血清 GFAP、S100B 在急性脑缺血诊断中的应用价值[J]. 哈尔滨医科大学学报, 2024, 58(3): 296-299, 313.
- [6] Deng, W., Fan, C., Shen, R., Wu, Y., Du, R. and Teng, J. (2019) Long Noncoding MIAT Acting as a ceRNA to Sponge MicroRNA-204-5p to Participate in Cerebral Microvascular Endothelial Cell Injury after Cerebral Ischemia through Regulating HMGB1. *Journal of Cellular Physiology*, **235**, 4571-4586. <https://doi.org/10.1002/jcp.29334>
- [7] 王璐, 张士滨, 华志鹏, 等. 脑缺血再灌注损伤发病机制研究进展[J]. 中风与神经疾病杂志, 2023, 40(2): 168-170.
- [8] Feil, K., Reidler, P., Kunz, W.G., Küpper, C., Heinrich, J., Laub, C., *et al.* (2019) Addressing a Real-life Problem: Treatment with Intravenous Thrombolysis and Mechanical Thrombectomy in Acute Stroke Patients with an Extended Time Window beyond 4.5 H Based on Computed Tomography Perfusion Imaging. *European Journal of Neurology*, **27**, 168-174. <https://doi.org/10.1111/ene.14051>
- [9] Stuijzand, W.J., van Rosendael, A.R., Lin, F.Y., Chang, H., van den Hoogen, I.J., Gianni, U., *et al.* (2020) Stress Myocardial Perfusion Imaging vs Coronary Computed Tomographic Angiography for Diagnosis of Invasive Vessel-Specific Coronary Physiology: Predictive Modeling Results from the Computed Tomographic Evaluation of Atherosclerotic Determinants of Myocardial Ischemia (CREDENCE) Trial. *JAMA Cardiology*, **5**, 1338-1348. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.3409>
- [10] 王丽坤, 尹继磊, 刘海静. 计算机断层扫描灌注成像在老年急性缺血性脑卒中诊断及静脉溶栓治疗中的应用[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2024, 10(7): 845-850.
- [11] 张会文, 文建英, 李婷婷, 等. 多层螺旋 CT 灌注成像结合血管成像应用于诊断急性缺血性脑卒中的临床价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2021, 19(10): 11-12, 35.
- [12] 张哲宇, 徐良额, 江秉泽, 等. 基于 CT 灌注成像评估侧支循环在急性缺血性脑卒中取栓前后脑梗死进展及预后评估中的应用[J]. 中华神经医学杂志, 2021, 20(1): 8-15.
- [13] 张园园, 任思懿, 李盼盼, 等. 探讨 CT 灌注成像(CTP)联合 CT 血管造影(CTA)对短暂性脑缺血发作(TIA)患者进展为急性脑梗死(ACI)的预测价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(7): 27-29.
- [14] 赵静, 刘巧珍, 苗耀巍, 等. 颅脑 CT 灌注成像参数与 TIA 患者颈动脉 IMT 的关系及对进展为急性脑梗死的预测价值分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(10): 36-38.
- [15] 郭效宁, 吴雅雅, 严满云, 等. CT 灌注成像预测急性前循环缺血性卒中静脉溶栓治疗后转归[J]. 国际脑血管病杂志, 2020, 28(10): 728-732.
- [16] 侯红军, 张洪胜, 刘杰, 等. 双层探测器光谱 CT 血管成像评估急性缺血性脑卒中灌注的价值[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(12): 1277-1281.
- [17] 赵宇, 董立军, 杨晨, 等. 全脑 CT 灌注成像在动脉瘤性蛛网膜下腔出血中的应用价值[J]. 中华神经外科杂志,

2021, 37(4): 354-359.

- [18] 陈鹏军, 林桂涵, 卢陈英, 等. 低剂量双源 CT 颅脑灌注成像在超急性期脑梗死中的诊断价值[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(2): 112-118.