

脑梗死周围区FVH数量与CT灌注状态相关性研究

王银成, 刘学军*

青岛大学附属医院, 山东 青岛

收稿日期: 2022年9月19日; 录用日期: 2022年10月11日; 发布日期: 2022年10月20日

摘要

目的: 探讨脑梗死患者梗死周围区MRI液体衰减反转恢复序列血管高信号(Fluid-attenuated inversion recovery Vascular Hyperintensity, FVH)数量与CT灌注成像(Computerized Tomography Perfusion, CTP)各参数之间的相关性。方法: 回顾性分析75例行头部MRI及头部CTP检查的急性脑梗死患者, 根据有无FVH征象分为有FVH组(n = 54)和无FVH组(n = 21), 分析两组的临床基本资料、CTP参数有无差异性, 并分析有FVH组的FVH数量与CTP参数之间的相关性。结果: 有FVH组和无FVH组间rMTT、rTTP、rCBV差异性明显, 而rCBF差异性较差(P = 0.650); 有FVH组FVH数量与rTTP、rMTT、rCBV间相关性密切, 而与rCBF无明显相关性。结论: FVH征的出现代表梗死周围区侧支循环的建立, 在有FVH征出现的情况下, 梗死周围区的灌注情况得到了明显的改善; FVH数量越多, 梗死周围区的血液灌注量越大, 对于缓解梗死周围区脑组织的缺血越有利, 从而更有利于患者的预后。

关键词

脑梗死周围区, 血管内高信号, CT灌注成像

Study on the Correlation between the Number of FVH and CT Perfusion State in the Surrounding Area of Cerebral Infarction

Yincheng Wang, Xuejun Liu*

The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

*通讯作者 Email: bncz@sina.com

Abstract

Objective: To investigate the correlation between the number of fluid attenuated inversion recovery vascular hyperintensity (FVH) and the parameters of CT perfusion imaging (CTP) in patients with cerebral infarction. **Methods:** Retrospective analysis of 75 patients with acute cerebral infarction examined by head MRI and head CTP, according to the signs of FVH, the patients were divided into two groups: group with FVH (n = 54) and group without FVH (n = 21), analyze whether there is difference in clinical basic data and CTP parameters between the two groups, and analyzed the correlation between the number of FVH and CTP data. **Results:** There were significant differences in rMTT, rTTP and rCBV between FVH group and non FVH group, but there was no significant difference in rCBF (P = 0.650); In FVH group, the number of FVH was closely correlated with rTTP, rMTT and rCBV, but not with rCBF. **Conclusions:** The appearance of FVH sign represents the establishment of collateral circulation in the periinfarct area. In the case of FVH sign, the perfusion around the infarct was significantly improved. The more the number of FVH, the greater the blood perfusion in the periinfarct area, which is more beneficial to relieve the ischemia of the periinfarct brain tissue, and thus more conducive to the prognosis of patients.

Keywords

Surrounding Area of Cerebral Infarction, Vascular Hyperintensity, CT Perfusion Imaging

Copyright © 2022 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

随着生活水平的不断提高, 脑卒中的发病率呈逐年上升的趋势, 目前已成为我国致死和致残的首要病因[1]。因此, 对脑卒中的早诊断、早治疗显得非常重要, 而其关键则在于对病情的精准评估。脑卒中发生时, 脑梗死核心区在 6 小时内即可发生不可逆细胞坏死。在脑梗死核心区周围存在部分血流低灌注区, 即脑梗死周围区, 若能够实现血流再灌注, 则能够明显缓解脑组织的缺血情况[2]。由于临床上溶栓时间窗仅为 6 小时, 大部分患者来就诊时已错过最佳的溶栓机会, 因此, 梗死周围区成为脑卒中病人临床进行晚通治疗的重点。液体衰减反转恢复序列(Fluid-Attenuated Inversion Recovery, FLAIR)血管高信号(Flair Vascular Hyperintensity, FVH)是提示侧支循环存在的间接征象。计算机断层扫描灌注成像(Computerized Tomography Perfusion, CTP)可反映出脑梗死周围区的血流灌注信息, 是评价脑组织有无缺血最直接的证据。本研究通过回顾性分析 75 例行头部 MRI 及头部 CTP 检查的急性脑梗死患者的 FVH 数量与 CTP 灌注参数, 探讨二者的相关性, 从而为脑梗死病人的病情的评估和临床治疗提供诊断依据。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

本文回顾性研究 2018 年 1 月至 2019 年 12 月收治的急性缺血性脑梗死病例。纳入标准: 1) 经颅脑

MRA 检查证实头颈部大动脉狭窄或闭塞, 对侧无头颈部动脉狭窄或闭塞。2) 临床诊断符合《中国急性缺血性卒中诊治指南 2018》制定的缺血性卒中诊断标准, 并经头颅 DWI 检查证实。3) 卒中症状发病时间明确且发病 6 小时至 3 天内行 MRI 及 CTP 检查。4) 患者生命体征尚平稳, 能耐受 MRI 及 CTP 检查, 图像质量达到临床要求。5) 无合并其他颅脑疾病。排除标准: 1) 头颅 CT/MRI 证实合并颅内出血患者; 2) 存在颅内变性、肿瘤、感染、寄生虫等相关疾病; 3) 有颅脑手术史; 4) MRI 及 CTP 图像存在伪影并影响诊断者。最终符合标准的缺血性脑卒中患者共 75 例, 其中男性 53 例, 女性 22 例; 年龄 37~77 岁, 平均(60.65 ± 10.77)岁; 高血压 42 例, 高血糖 20 例, 血脂异常 36 例, 有吸烟史 25 例。本研究对所有患者均进行告知取得同意, 并通过医院伦理委员会批准。

2.2. 影像检查方法

磁共振采用德国 Siemens 3.0T 医用磁共振扫描仪(MAGNETOM Verio 3.0T), 8 通道拓扑相控阵线圈, 每例均行 T1WI、T2WI、T2-Flair 及 DWI 检查。主要参数: FLAIR 序列: TR 9000 ms, TE 94 ms, 矩阵 256 × 192, 翻转角 150°, 反转时间 TI 2500 ms, 激励次数(NEX) 1.0, 回波链长(ETL) 12, 视野(FOV) 19 × 22, 层厚 3 mm, 间距 1.0 mm。DWI 采用自旋平面回波脉冲序列(EPSE), 参数为 TR 6700 ms, TE 100 ms, FOV 22 × 20 cm, 矩阵 192 × 192, NEX 2, 层厚 4 mm, 间距 1.2 mm, 取 b = 0 和 b = 1000。CT 采用德国 Siemens 的 Flash 光子双源 CT (Somatom Definition Flash CT)扫描仪器, 覆盖范围从颈 1 椎体下缘至颅顶共 16 cm, 单圈旋转时间 0.28 s, 重建厚度 0.5 mm, 扫描管电压 80 kV, 管电流 120 mA。使用双筒高注射器(Em-power 9900P 型)经肘静脉注射非离子型对比剂(碘氟沙醇, 320 μg/μl) 50 ml, 速率 4.0 ml/s, 并以同样速率后续注入生理盐水 50 ml。注射后 5~55 s 连续采集 9~13 (依照血管不同情况)个容积图像。原始数据经减影后导入 syngo.via 分析软件进行后处理。分析软件可自动生成 MTT、TTP、CBV、CBF 等脑灌注参数值, 并自动生成伪彩灌注图像。

2.3. 图像与数据分析

2.3.1. MRI 图像

FVH 按以下标准判断[3]: 1) T2-Flair 图像上在外侧裂池、脑沟或临近脑灰质表面的点状、条状或蛇纹状高信号; 2) T2WI 图像上在对应位置表现为流空信号; 3) 参照 DWI 图像排除分布于脑沟附近的皮层梗死; 4) 参照 T1WI 像排除临近层面脑皮层容积效应; 符合以上 4 条即认定 FVH 阳性, 否则为阴性。由两位影像科主治医师对所有 FVH 阳性患者的 MRI 图像进行阅片诊断、分析, 将 T2-FLAIR 图像中每个符合 FVH 标准的点状、条状或蛇纹状高信号记为 1 个 FVH 计数, 统计患者患侧每一层图像上 FVH 数量, 将各层图像 FVH 数量相加, 得出该患者的 FVH 总数, 作为该患者的 FVH 数量。当两位医生意见不一致时经讨论达成一致。

2.3.2. CTP 图像

由两位影像科主治医师对图像进行选取、分析, 首先观察 CTP 伪彩图像上每例患者左右脑灌注是否对称, 然后在患侧大脑半球选择 CTP 图像上病变范围最大的层面进行测量。手工勾画感兴趣区(Region of Interest, ROI), 注意避开梗死核心区, 以镜面技术测量患侧与健侧相应区的 MTT、TTP、CBV、CBF 等参数值。将患侧数值除以健侧数值, 从而获得患侧灌注数值变化比值(rMTT、rTTP、rCBV、rCBF)。在选取梗死周围区时要注意区分缺血半暗带和梗死核心区, 缺血半暗带指 MTT、TTP 延长, 而 CBV 不变或升高的区域(如图 1), 而梗死核心区则是指 MTT、TTP 延长, CBV 降低的区域[4]。

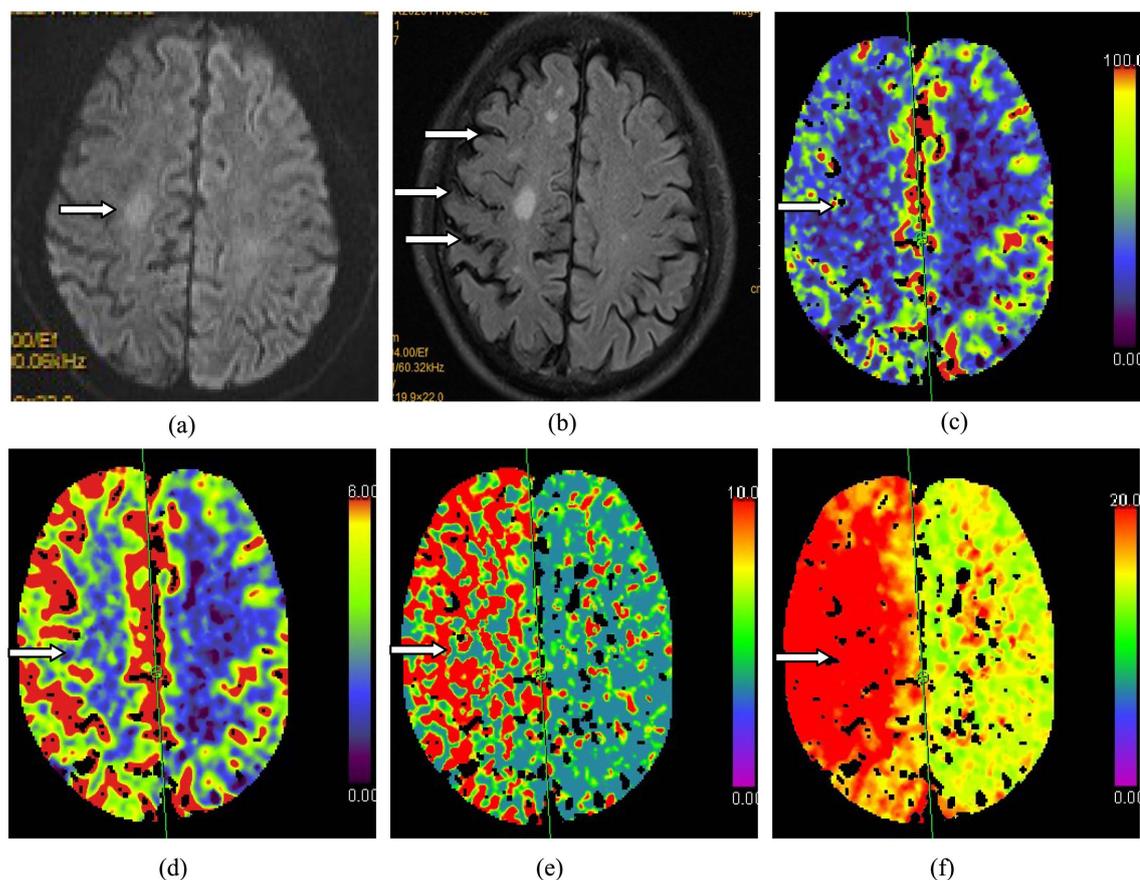


Figure 1. Male, 68-year-old, discovered unclear speech and left limb weakness for 8 h. (a) DWI patchy high signal focus in the center of the right half oval (arrow), indicating acute cerebral infarction; (b) T2flair Punctuation and strip high signal in right frontal parietal sulcus (arrow), suggests that the pia mater collateral circulation is enriched here. (c)~(f) CTP showed that the CBF (c) of right frontal parietal lobe was lower than that of healthy side, CBV (d) was higher than the healthy side, MTT (e) and TTP (f) were longer than the healthy side

图 1. 男, 68 岁, 发现言语不清并左侧肢体无力 8 h。(a) DWI 右侧半卵圆中心斑片状高信号灶(箭头), 提示急性脑梗死; (b) T2flair 右侧额顶部脑沟内点状、条状高信号(箭头), 提示此处丰富软脑膜侧支循环。(c)~(f) CTP 检查示右侧额顶叶 CBF; (c) 较健侧降低, CBV; (d) 较健侧升高, MTT (e)、TTP (f) 较健侧延长

2.4. 统计分析

所得数据使用软件 SPSS 23.0 进行数据分析。实验数据为符合正态分布的定量样本, 以平均值 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 不符合正态分布的定量样本, 采用中位数结合四分位数表示, 计数样本采用频数及百分比表示。符合正态分布的定量样本两组间比较采用 t 检验, 不符合正态分布的定量样本两组间比较采用 U 检验。计数样本比较采用卡方检验。进行相关性分析时, 选用 Spearman 相关系数。P < 0.05 表示差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 有 FVH 组和无 FVH 组临床基本资料比较

将符合标准的 75 例患者依据有无 FVH 征象分为有 FVH 组和无 FVH 组, 有 FVH 组包含患者 54 例, 无 FVH 组包含患者 21 例。对两组患者的年龄、性别、高血压、糖尿病、高血脂症、吸烟史进行差异性分析, 两组患者临床基本变量差异均无统计学意义(P > 0.05), 结果详见表 1。

Table 1. Comparison of basic clinical data between the group with and without FVH**表 1.** 有 FVH 组与无 FVH 组临床基本资料差异性对比

组别	年龄 [$\bar{x} \pm s$]	男 [n (%)]	高血压 [n (%)]	糖尿病 [n (%)]	高血脂症 [n (%)]	吸烟 [n (%)]
有 FVH 组	59.76 ± 10.69	41 (75.93%)	31 (57.41%)	14 (25.93%)	24 (29.63%)	16 (29.63%)
无 FVH 组	62.95 ± 10.41	13 (61.90%)	11 (52.38)	6 (28.58%)	12 (57.14%)	9 (42.86%)
检验值	1.269	1.474	0.320	0.054	12 (57.14%)	1.541
P 值	0.252	0.225	0.571	0.816	0.323	0.214

注: 与无 FVH 组比较差异无统计学意义 $P > 0.05$ 。

3.2. 有 FVH 组和无 FVH 组 CTP 参数比较

采用 U 检验对两组患者的 CTP 各参数较健侧的相对值(rMTT、rTTP、rCBV、rCBF)进行差异性分析。发现有 FVH 组和无 FVH 组间 rMTT、rTTP、rCBV 有统计学意义($P < 0.05$), 而 rCBF 无统计学意义($P > 0.05$), 结果详见表 2。

Table 2. Difference comparison of CTP data changes between groups with and without FVH**表 2.** 有 FVH 组与无 FVH 组 CTP 各数据变化量的差异性对比

组别	rMTT	rTTP	rCBV	rCBF
有 FVH 组	1.40 ± 0.22	1.22 (0.13)	1.30 (0.32)	1.15 ± 0.31
无 FVH 组	1.17 (0.24)	1.11 (0.09)	1.07 (0.28)	1.04 (0.20)
检验值	3.529	3.271	2.538	0.454
P 值	<0.001	0.001	0.011	0.650

注: 与无 FVH 组比较差异有统计学意义 $P < 0.05$ 。

3.3. 有 FVH 组 FVH 数量与 CTP 参数分析

将 54 例有 FVH 征的患者的 FVH 数量与 CTP 各参数较健侧的相对值(rMTT、rTTP、rCBV、rCBF)进行相关性分析, 发现 FVH 数量与 rTTP、rMTT、rCBV 间有统计学意义($P < 0.05$), 而与 rCBF 无统计学意义($P > 0.05$), 结果详见表 3。

Table 3. Correlation analysis between the number of FVHs and CTP parameters in the group with FVH**表 3.** 有 FVH 组 FVH 数量与 CTP 各参数相关性分析

FVH 数量	32.85 ± 14.26			
CTP	rMTT	rTTP	rCBV	rCBF
	1.40 ± 0.22	1.22 (0.13)	1.30 (0.32)	1.15 ± 0.31
检验值	0.416	0.508	0.452	0.180
P 值	0.002	<0.001	0.001	0.194

注: FVH 数量与 CTP 数据存在相关性 $P < 0.05$ 。

4. 讨论

《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》[1]指出, 静脉溶栓是改善急性缺血性脑卒中结局最有效的药物治疗手段, 然而它的时间窗仅有 6 小时, 患者往往无法在时间窗内及时接受溶栓治疗, 这大大限制了它的使用范围。而临床试验研究表明, 自身良好的侧支循环的建立也能减少梗塞灶容积, 改善预后, 减低复发风险[5] [6] [7]。因此侧支循环的形成, 尤其是软脑膜动脉侧支循环, 是关系到缺血性卒中患者预后的重要的独立因素[8]。侧支循环是指连接相邻分支动脉群的动脉血管结构, 它存在于大多数的组织结构当中, 可以通过改变血流路径起到为闭塞血管的供血区提供逆向血流灌注的作用[9]。在脑组织中, 当供应大脑的某一大血管狭窄或者闭塞时, 侧支循环血流通过其他的正常脑血管路径经过这些吻合支流入到缺血区的脑组织中, 为其提供血液灌注, 从而避免发生脑组织坏死[2]。脑侧支循环从解剖学的角度可以分为颅内 - 颅内代偿和颅外 - 颅内代偿。根据血管开放层次可分为三级[2]: 一级侧支循环为大脑动脉环(Willis 环); 二级侧支循环为小血管吻合, 包括: 软脑膜动脉侧支、眼动脉侧支; 三级侧支循环是指新生毛细血管。目前的研究认为二级侧支循环在缺血性脑血管病的发病及治疗过程中起到非常重要的作用, 并与疾病的预后联系密切。

Cosnard 等[10]在 1999 年第一次报道急性缺血性脑卒中患者的 T2-Flair 序列上发现脑内主要动脉的异常高信号, 在此之后许多文献也相继报道过此现象, 并将其命名为 FVH。对于 FVH 的形成机制, 最早时人们认为是血管重度狭窄或闭塞后的缓慢血流使得 MR 上血管的流空效应消失[11]。随着研究的深入, 现在人们认为闭塞血管近端 FVH 的形成可能与闭塞血管近端淤滞血流或血管内血栓形成有关, 而闭塞血管远端 FVH 的形成是由于软脑膜逆向缓慢血流的侧支循环[12]。因此张卫等[13]认为 FVH 可被看作是急性脑梗死患者形成的侧支循环血管。李蝉蝉等[14]收集 38 例大脑中动脉闭塞患者, 结果示对软脑膜侧支循环的评价上 FVH 和 CTA 有较高的一致性且呈正相关。

CTP 的理论基础是“中心容积原理”和核医学“示踪剂稀释原理”[15]。通过在静脉快速团注对比剂的同时对感兴趣区域进行快速连续扫描来获得某一层面内每个像素的时间 - 密度曲线(Time-Density Curve, TDC), 该曲线以时间为横坐标, 注射对比剂后增加的 CT 值为纵坐标。通过 TDC 曲线可直接反映脑实质中对比剂的浓度变化, 也可间接反映脑组织的血流灌注量变化情况。CTP 常用的成像参数有: 中心血容量(Cerebral Blood Volume, CBV)、中心血流量(Cerebral Blood Flow, CBF)、平均通过时间(Mean Transit Time, MTT)、达峰时间(Time to Peak, TTP)。以往的研究显示, 时间参数 MTT 和 TTP 是脑灌注变化可重复性最强和最敏感的指标, 而 TTP 比 MTT 更敏感。TTP 测量的是对比剂到达组织的峰值时间; MTT 反应血液流经脑实质的时间, 是灌注压的指标。TTP 和 MTT 延长说明血流缓慢和血流灌注路径延长, 提示区域内有侧支循环形成[16] [17] [18], 此时 CBV 常升高, 而 CBF 往往不变。本研究对有 FVH 组与无 FVH 组 CTP 数据进行比较, 发现两组患者 rTTP、rMTT、rCBV 之间有明显的差异, 且有 FVH 组三组数据均较无 FVH 组明显延长, 说明在有 FVH 形成的情况下, 脑梗死周围区的灌注情况得到了明显的改善。

本研究通过对有 FVH 组 FVH 数据与 CTP 各组数据的研究, 发现 FVH 数量与 rTTP、rMTT、rCBV 呈中等程度正相关。FVH 征象是侧支血管形成的表现, FVH 数量越多说明脑梗死周围区侧支循环越多。当脑梗死发生在颈内动脉时, 可通过一级侧支来部分维持梗死周围区血液灌注, 但当梗死发生在颅内动脉时, 就只能靠二、三级侧支的逆向灌注来缓解梗死周围区脑组织的缺血。逆向灌注会导致血液到达病变区的路径延长, FVH 越多, 总的路径就越长; 而且由于动脉梗死后在梗死远侧血管灌注压降低, 血液的流速会降低, 这些都会导致病变区域达峰时间延长。当脑梗死发生时, 无论通过几级侧支代偿, 总的灌注压较健侧是降低的; FVH 数量越多, 表明侧支血管越多, 则每只侧支血管的灌注压越低。而根据以

往研究表明, 平均通过时间与脑血管灌注压呈反比, 因此 FVH 越多, 平均通过时间也就越长。当脑梗死发生时, 主要依靠二、三级侧支来代偿, 二三级侧支属于逆向血流, 这就导致侧支血管长度的增高; 而且随着侧支循环的增多, 到达梗死周围区的侧支血管数量越多, 因此血管的总长度越长。同时脑梗死的发生会导致远侧血管的灌注压降低, 机体会通过小动脉及毛细血管平滑肌的代偿性扩张来维持脑血流的相对稳定。因此脑梗死发生时, 血管管径扩张, 血管总长度延长, 这就使病变区域侧支循环形成的越多, CBV 越高, 这与 Cortijo 等[19]的研究结果一致。

本研究存在一定的不足之处: 首先, 脑血管病的病情进展是一个动态的过程, 随着距离发病时间的不同, FVH 的数量及脑组织的血流动力学改变差别较大, 而本研究在时间上具有局限性, 即只研究发病 3 天内的患者, 而未对不同时期的患者进行统计分析; 其次, 没有进行侧支循环、脑灌注情况与脑梗死预后的相关性研究, 而该研究需要更大样本、更进一步的分析探讨。

综上所述, FVH 数量的多少反映侧支循环的形成情况, 而 CTP 则能够直接反映出梗死周围区的血流灌注情况, 通过二者的相互结合, 能够客观的反映出侧支循环的形成对梗死周围区的影响, 从而帮助临床更好的评估脑卒中患者的病情, 为患者的进一步治疗提供依据, 具有重要的临床价值。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Liebeskind, D.S. (2003) Collateral Circulation. *Stroke*, **34**, 2279-2284. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000086465.41263.06>
- [3] 郭京华, 唐守现, 彭伟, 等. 缺血性脑血管病患者 FLAIR 血管高信号征三种评分方法的一致性研究[J]. 磁共振成像, 2018, 9(5): 340-345.
- [4] 李伟, 龙晚生, 罗学毛, 等. 磁共振灌注加权成像在评估急性脑梗死缺血半暗带中的价值[J]. 生物医学工程学进展, 2012, 33(1): 53-56.
- [5] Chuang, Y.M., Chan, L., Lai, Y.J., et al. (2013) Configuration of the Circle of Willis Is Associated with Less Symptomatic Intracerebral Hemorrhage in Ischemic Stroke Patients Treated with Intravenous Thrombolysis. *Critical Care*, **28**, 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2012.08.018>
- [6] Christoforidis, G.A., Mohammad, Y., Kehagias, D., et al. (2005) Angiographic Assessment of Pial Collaterals as a Prognostic Indicator Following Intra-Arterial Thrombolysis for Acute Ischemic Stroke. *American Journal of Neuro-radiology*, **26**, 1789-1797.
- [7] Liebeskind, D.S., Cotsonis, G.A., Saver, J.L., et al. (2011) Collaterals Dramatically Alter Stroke Risk in Intracranial Atherosclerosis. *Annals of Neurology*, **69**, 963-974. <https://doi.org/10.1002/ana.22354>
- [8] Lima, F., Furie, K.L., Silva, G.S., et al. (2010) The Pattern of Leptomeningeal Collaterals on CT Angiography Is a Strong Predictor Long-Term Functional Outcome in Stroke Patients with Large Vessel Intracranial Occlusion. *Stroke*, **41**, 2316-2322. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.592303>
- [9] 黄家星, 林文华, 刘丽萍, 等. 缺血性卒中侧支循环评估与干预中国专家共识[J]. 中国卒中杂志, 2013, 8(4): 285-293.
- [10] Cosnard, G., Duprez, T., Grandin, C., et al. (1999) Fast FLAIR Sequence for Detecting Major Vascular Abnormalities during the Hyperacute Phase of Stroke: A Comparison with MR Angiography. *Neuroradiology*, **41**, 342-346. <https://doi.org/10.1007/s002340050761>
- [11] 黄显军, 刘文华, 徐格林, 等. 磁共振成像液体衰减反转恢复序列高信号血管征研究进展[J]. 中华神经科杂志, 2012, 44(6): 413-415.
- [12] 冯学军, 王金月. MRI FLAIR 序列高信号血管征的研究进展[J]. 医学影像观察, 2016, 30(9): 140-142.
- [13] 张卫, 朱幼玲, 朱双根, 等. 液体衰减反转恢复序列血管高信号征的研究进展[J]. 安徽医药, 2014, 18(8): 1409-1412.
- [14] 李婵婵, 杨艳梅, 尹乐康, 等. 大脑中动脉闭塞 FLAIR 血管高信号征的血流动力学研究[J]. 神经影像学, 2017, 23(2): 107-112.
- [15] Konig, M., Klotz, E. and Heuser, I. (2000) Cerebral Perfusion CT Theoretical Aspects Methodical Implementation and

- Clinical Experience in the Diagnosis of Ischemic Cerebral Infarction. *Rofo*, **172**, 210-218.
<https://doi.org/10.1055/s-2000-109>
- [16] Shuaib, A., Butcher, K., Mohammad, A.A., *et al.* (2011) Collateral Blood Vessels in Acute Ischaemic Stroke: A Potential Therapeutic Target. *The Lancet Neurology*, **10**, 909-921. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(11\)70195-8](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(11)70195-8)
- [17] Jongen, L.M., Van der Worp, H.B., Waaijer, A., *et al.* (2010) Interrelation between the Degree of Carotid Stenosis, Collateral Circulation and Cerebral Perfusion. *Cerebrovascular Diseases*, **30**, 277-284.
<https://doi.org/10.1159/000319070>
- [18] Salomon, E.J., Barfett, J., Willems, P.W., *et al.* (2009) Dynamic CT Angiography and CT Perfusion Employing a 320-Detector Row CT: Protocol and Current Clinical Applications. *Klinische Neuroradiologie*, **19**, 187-196.
<https://doi.org/10.1007/s00062-009-9019-7>
- [19] Cortijo, E., Calleja, A.I., Garcia-Bermejo, P., *et al.* (2014) Relative Cerebral Blood Volume as a Marker of Durable Tissue-at-Risk Viability in Hyperacute Ischemic Stroke. *Stroke*, **45**, 113-118.
<https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.113.003340>