

# 脑 CT 灌注成像联合 CTA 在超早期急性缺血性脑血管病诊断中的应用

吕京光 综述, 柳 澄, 武乐斌 审校  
(山东省医学影像学研究所, 山东 济南 250021)

[中图分类号] R814.42; R743.3 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2003)04-0487-04

急性缺血性脑血管病 (acute ischemic cerebral vascular disease, AICVD) 是严重危害人类健康的常见病, 具有较高的发病率、致残率和死亡率等特点, 严重危害人们的身心健康。如何早期明确诊断, 争取及时有效的治疗, 最大程度减少缺血性坏死的范围, 一直是人们关注的热点问题。近年来, 随着医学影像技术的发展, 脑 CT 灌注成像引起了人们的关注, 它能在缺血性脑血管病发病的超早期 (6h 内) 显示出缺血性病变的部位和范围, 评价缺血性脑组织的血流灌注情况, 并且从影像学方面证实了半暗带的存在<sup>[1-3]</sup>; 同时联合脑 CTA 可直观地显示出其相应脑供血动脉的状况<sup>[4,5]</sup>, 这对指导临床医师选择最佳治疗方案尽早进行治疗, 尤其是进行接触性溶栓治疗及观察疗效具有非常重要的意义。本文就其成像原理、技术方法与临床应用等方面的问题进行了综述。

## 1 原理

1.1 脑 CT 灌注成像的理论基础来源于核医学的放射性示踪剂稀释原理和中心容积理论<sup>[6]</sup>。CT 增强扫描所用的含碘对比剂基本能满足观察脑血流动力学变化的示踪剂的条件, 且脑组织内对比剂浓度变化与 CT 增强值的改变呈线性关系<sup>[7-9]</sup>。因此, 在血脑屏障完整, 无对比剂外渗的情况下, 可以通过 CT 增强扫描前后不同时相 CT 图像密度的变化情况来观察脑组织血流动力学状态, 进行脑灌注测量。

螺旋 CT, 尤其是多层螺旋 CT 具有独特的探测器排列方式, 扫描速度更快, 具有很高的时间分辨率和空间分辨率, 可以追踪对比剂首过脑循环的情况。CT 灌注成像是在周围静脉高速注入含碘对比剂的同时, 在对比剂首次通过受检组织的过程中利用螺旋 CT 对选定的兴趣层面进行连续的动态快速扫描与信号采集, 所得数据传至工作站, 由工作站特殊的 CT 灌注成像软件来计算以获得每一像素的时间-密度曲线 (time-density curve, TDC)。利用时间-密度曲线可计算出反映脑组织血流灌注情况的多个参数, 如脑血流量 (cerebral blood flow, CBF)、脑血流容量 (cerebral blood volume, CBV)、峰值时间 (time to peak, TTP)、峰值增强 (peak enhanced, PE)、平均通过时间 (mean transit time, MTT) 等。利用这些参数组成新的数字矩阵, 最后通过数/模转换, 经伪彩色处理, 获得直观、清楚的上述各参数彩色图像, 即为脑 CT 灌注图像 (CT perfusion imaging, CTPI)。CTPI 反映的是生理功能的变化, 因此是一种功能性影像 (functional imaging)。

1.2 脑 CTA 检查 即 CT 血管成像 (CT angiography), 亦是经周围静脉高速注入碘对比剂, 在脑动脉血管内对比剂充盈的高峰期, 利用螺旋 CT 对其进行快速连续的容积数据采集, 由此获得的连续数据能以任意间隔重建成相互重叠的断面图像, 再经计算机处理, 合成脑血管影像。目前, 常用于血管成像后处理技术的方法有最大强度投影 (maximum intensity projection, MIP)、表面遮盖显示 (shaded surface display, SSD)、容积演示 (volume rendering, VR)。

## 2 技术方法

目前脑 CT 灌注成像只能在螺旋 CT 机上进行, 单层螺旋 CT 机只能进行单层面的灌注扫描, 虽然多层螺旋 CT 机可同时进行多层面的灌注扫描, 但也不能覆盖整个颅脑。因此, 正确选择灌注扫描层面很重要, 一般根据病人的临床症状与体征及平扫结果选择兴趣层面进行灌注扫描。通常选择基底节层面<sup>[10]</sup>, 这主要是因为该层面是缺血性脑血管病的高发区, 并且在此区域可最大程度地观察到大脑前、中、后动脉分布区的血液循环情况, 还可借助侧脑室等解剖标志, 有利于图像分析。

CT 灌注图像的质量受对比剂注射的总量、速度、患者的心功能状态以及 CT 扫描伪迹、部分容积效应等多种因素的影响。由于脑循环的通过时间短 (约 3~5s)、相对脑血容量少, 因此要获得最佳质量的图像, 就必须在尽可能短的时间内注射完适量的对比剂。文献报道<sup>[1,10,11]</sup> 成人的对比剂注射总量不超过 50ml (等渗性、非离子型为佳), 一般为 40ml, 儿童约为 1ml/kg 体重。注射速度必须足够快, 以确保在数据采集的最初一段时间, 以及曲线达峰值前的时间内对比剂均在组织内, 而未经静脉系统流出。如果注射速度太慢, 在时间-密度曲线达峰值前, 对比剂可能已经由静脉流出该组织, 所获得的 CT 值并非真正能反映组织灌注的情况, 由此所测得的时间-密度曲线峰值可能偏低, 峰值时间也将延迟。对比剂注射速度多为 8~9ml/s, 最快达 20ml/s<sup>[12-14]</sup>。而刘翔等<sup>[10]</sup> 采用 2.5ml/s 亦获得较满意的效果。通常使用高压注射器经肘前静脉注射, 加热对比剂至体温以减

[作者简介] 吕京光 (1963-), 男, 山东平度人, 硕士, 副主任医师。研究方向: 影像医学诊断, 主攻神经影像诊断。

[收稿日期] 2002-12-03

小其粘度和对血管的刺激, 选用 16~ 19G 注射针头。根据所使用 CT 机型的不同选择适当的扫描参数, 一般选择管电压 120kV, 管电流 150~ 300mAs, 矩阵 512 × 512, 层厚 5~ 10mm, 但为减少噪音的影响, 尽可能选择较厚的扫描层厚, 故层厚一般选择为 10mm。扫描速度为 1 层/s, 连续动态扫描 30~ 40s, 由此获得 30~ 40 幅图像。应用多层螺旋 CT 进行灌注扫描的参数略有不同, 以四层螺旋 CT 为例可选择层厚 4 × 5mm, 扫描速度为 4 × 1 层/亚秒, 扫描间隔时间为 1s, 总扫描时间 30~ 40s, 获得 30~ 40 幅图像/层, 总共有 120~ 160 幅图像。由此可分别进行 4 个层面、上下 2cm 范围的脑血流灌注情况的评价。由于 CT 灌注成像的原理决定了 CT 灌注成像扫描程序的设计, 其关键在于获得对比剂进入选定层面之前至静脉窦期的动态图像变化信息。成人血液由臂至脑的循环时间通常为 8s 左右, 但亦受注射速度、心功能状态等因素的影响<sup>[10, 12, 15]</sup>。因此, 在动态信息采集, 连续无间隔扫描达 30s 以上, 基本包括了增强前期、动脉期、毛细血管期、静脉期及静脉窦期等各时期的图像。

在对比剂注射的同时进行动态 CT 扫描。一般选择病变最大的层面进行评价, 应用同层面的大脑中动脉或大脑前动脉作对照时间-密度曲线, 获得各相应参数的 CT 灌注图像。测定梗死区和相应侧正常区各参数的灌注值, 比较各感兴趣区(region of interest, ROI)的动态时间-密度曲线。

CTA 亦是根据所用的 CT 机型选择适当的参数<sup>[16-18]</sup>, 一般选择管电压 120kV, 管电流 240mAs, 螺距 0.6~ 1.0, 矩阵 512 × 512, 层厚为 1.3mm, 重建间隔 0.6~ 0.8mm。对比剂注射速度 3~ 4ml/s, 总量为 50~ 100ml。注射对比剂后延迟 8~ 20s 进行 CT 扫描, 或根据小剂量试验选择延迟扫描时间。CT 扫描的间期与脑动脉最佳增强的时相相匹配是 CTA 技术的关键。扫描范围由颅底至半卵圆中心水平。做脑血管 MIP、SSD、VR 图像, 评价缺血区相应的脑供血动脉的通畅情况。

### 3 在超早期急性缺血性脑血管病诊断中的应用

脑血管闭塞导致其供血区脑组织缺

血, 缺血区血流动力学变化, 理论上可大致分为 3 个阶段: ①脑缺血发生后, 由于局部神经生化的改变, 导致脑血管代偿性地扩张, 血管循环阻力下降, 以利于维持正常的局部脑血流量(regional cerebral blood flow, rCBF), 因而早期 rCBF 与 MTT 增加; ②局部脑动脉灌注压(regional cerebral perfusion pressure, rCPP) 继续下降, 血管扩张已达最大限度, rCBF 达到最大后开始下降; ③脑组织缺血时间超过 6h, 脑组织的血液供应进一步下降, 脑血管扩张失代偿, 脑血管塌陷, rCBF、rCBV 下降, 不足以维持正常的细胞代谢与功能, 缺血脑组织将产生不可逆的损伤<sup>[19, 20]</sup>。但, 由于急性缺血性病变区侧支循环代偿水平以及局部生化代谢等方面的不同, 各血流动力学参数的变化与理论上并非完全一致。

对于急性脑血管病, CT 扫描是最常用的检查方法。由于急性脑缺血早期, 尤其是超早期(6h 内), 病灶内主要是水分及电解质的变化<sup>[21]</sup>, 因此, 对早期脑梗死患者行常规普通 CT 扫描绝大多数表现正常或仅能观察到轻微的征象, 大脑中动脉高密度征(hyperdense middle cerebral artery sign, HMCAS)和局部脑组织密度减低及脑沟消失等形态学改变出现率较低, 一般确诊率不足 50%<sup>[22]</sup>, 常不能在超早期确定病灶的存在、部位和范围, 且假阴性和假阳性时有发生, 这不仅不能显示闭塞部位缺血脑组织的灌注情况, 也不能显示脑血液侧支循环情况, 所提供缺血脑组织的病理生理学信息很少, 使临床诊断缺乏客观依据, 不利于很好地指导临床治疗, 尤其是接触性溶栓治疗。

Reichenbach 等<sup>[23]</sup>研究发现约 93% 脑梗死患者的灌注异常改变早于形态学变化, 又因静脉溶栓治疗在脑梗死 3h 内才能保证安全有效, 所以早期发现灌注异常区域, 评价供血动脉与侧支循环血流, 对患者的治疗和预后具有极其重要的意义。脑 CT 灌注成像联合 CTA 检查快速简便, 显示脑组织灌注损害敏感, 并可评价缺血区脑供血动脉的状况, 可直接提供急性脑血流减少的信息, 早期作出脑缺血的诊断, 以便指导临床进行及时治疗。

脑 CT 灌注成像通过分析动态增强 CT 扫描所得的时间-密度曲线, 获得代表组织灌注不同侧面的每一个体素的相应参数, 经过计算机处理, 以正常 CT 图像的模式产生功能性 CT 灌注图像, 这比具体的参数更为直观、形象地反映组织血流灌注状况。

反映脑组织血液循环动力学的参数较多, 不同研究者所用的参数亦略有不同。常用的参数及其意义: ①脑血流量(CBF):  $CBF = CBV / MTT$ , 指在单位时间内流经一定量脑组织血管结构的血流量, 表示方法为每 100g 脑组织每分钟的脑血流量[ml / (100g \* min)]。它反映脑组织内的血流量, CBF 值越小, 意味着脑组织的血流量越低。②脑血容积(CBV): 指存在于一定量脑组织血管结构内的血容量, 根据时间-密度曲线下方封闭的面积计算得出, 表示方法为每 100g 脑组织的血容量(ml/100g)。③平均通过时间(MTT): 开始注射对比剂到时间-密度曲线下降至最高强化值一半时的时间, 主要反映的是对比剂通过毛细血管的时间, 单位为秒(s)。④峰值时间(TTP): 指在 TDC 上从对比剂开始出现到对比剂浓度达到峰值的时间, 单位为秒(s)。TP 值越大, 意味着最大对比剂团峰值到达脑组织的时间越晚。⑤峰值增强(PE): 为时间-密度曲线的最高值。PE 值越大, 意味着脑组织的强化程度越高。

CT 灌注成像可在急性脑梗死的超早期并可在 2h 以内形态学引起改变之前, 就能发现明显的脑组织血流灌注障碍, 有较高的敏感性和特异性。Koenig 等<sup>[1]</sup>研究认为脑 CT 灌注成像是诊断急性脑缺血的有利工具, 他们对急性脑缺血患者在发病后 6h 内进行此项检查, 得出其敏感性为 90%, 特异性为 100% 的结论。

由于脑血管闭塞导致其相应供应区脑组织缺血, 缺血脑组织是否发展成脑梗死取决于 CBF 下降的程度、缺血持续的时间、不同脑组织(神经元、神经胶质)对缺血的敏感性, 因此要全面评价脑缺血的严重程度, 应综合考虑 CBF 下降的程度和缺血持续的时间两方面的因素。梗死灶的大小和可逆程度, 还取决于闭塞动脉口径的大小和侧支循环的有效

性。梗死灶中央部神经元坏死, 周边部有一层尚未死亡的神经元和水肿带(半暗带), 这部分组织若能及时恢复血供, 则能完全治愈。因此, 急性缺血性脑血管病治疗成功的关键取决于早期建立再灌注。抢救缺血性半暗带, 缩小梗死灶的范围, 使其恢复功能。

分析 CT 灌注的参数可帮助区分可恢复组织(半暗带)与不可恢复组织(梗死区)。Klotz 等<sup>[14]</sup>研究发现患侧与健侧 rCBF 的比值可以区分可逆(半暗带)与不可逆性缺血区。两侧 rCBF 比值为 0.20 是缺血脑组织存活的最低限值, 如果 rCBF 比值小于 0.20, 无论采取何种治疗方法, 脑组织都无法存活; 如果 rCBF 比值在 0.20 至 0.35 之间, 溶栓治疗的效果明显。Veda 等<sup>[24]</sup>研究发现缺血脑组织 CBF 下降, MTT 延长, CBV 下降, 提示为不可逆损伤, 即为梗死组织; 而 CBF 下降, MTT 延长, CBV 正常或轻度增加, 则提示为可逆性损伤, 即半暗带。

脑 CT 灌注成像还可用于预测预后。Shih 等<sup>[25]</sup>认为缺血性病灶早期灌注情况与临床预后有关, 病灶的 PE 越低, TTP 越延迟, 预后就越差。

CT 灌注成像检查和评价所需时间短(仅数分钟), 可以超早期显示急性脑梗死灶, 定量分析脑组织血流灌注状态, 对急性缺血性脑血管病超早期做出诊断, 为临床尽早进行治疗赢得宝贵的时间。CT 灌注成像检查具有可重复性, 如果首选层面没有发现病灶, 而临床上又高度可疑, 可根据具体情况另选择适当的层面进行重复检查。

CT 灌注成像联合 CTA 可在早期诊断急性脑梗死、评价其血液灌注情况的同时还可客观地评价缺血区脑供血动脉的状况<sup>[15-17]</sup>。目前, 常用于 CT 血管成像后处理的技术方法各有优势。MIP 可以比较真实地显示血管的走行和分支, 无人为因素造成的假象, 可以任意旋转, 从不同的角度、不同的平面对其进行观察, 并可同时利用相对层面的方法结合断层图像对可疑病变部位进行细致的观察。另外, MIP 灰阶能体现 X 线衰减值的微小变化, 可鉴别钙斑与腔内对比剂。SSD 可逼真地显示血管, 并可同时进行相应骨骼及脏器的重建, 再利用透明法对血

管、骨骼及脏器分别进行显示, 这样可显示血管走行和分布及其与周围组织器官的关系, 但其存在很大的人为因素, 不易区分钙化与腔内对比剂, 对血管病变的诊断与鉴别诊断尚存在不足之处。VR 可以比较真实地显示血管的走行与分支, 同时还可以观察管壁和管腔的情况, 调整阈值可清晰地从不同角度、不同水平显示较小的血管分支, 并具有立体直观的效果。

为了提高图像后处理的质量, 图像编辑中应注意以下几点: ①MIP 图像细致可靠, 不易遗漏信息, 是必不可少的。必要时辅以 VR 或 SSD 图像, 以便临床医师观察。②靶重建图像可删除重迭结构, 更易于显示、观察病变血管, 实用价值很大。③图像编辑时, 由于处理不当或结构重迭, 会出现假象或错觉, 因此, 不能单靠 MIP 或 VR 或 SSD 图像做出诊断, 必须慎重结合原始图像, 以防止误诊。④CTA 图像的旋转多角度观察功能很实用, 通过多方位旋转, 选择显示病变的最佳角度。

CTA 检查在 CT 灌注成像后即可进行。CTA 不但可以显示梗死区脑供血动脉的形态变化, 如闭塞、局限性狭窄、痉挛变细或无明显改变等, 并且还可清楚地显示引起脑梗死的其他原因, 如脑血管畸形、烟雾病、动脉瘤等, 因为它们它们在 CTA 像上常有特征性的表现。

CT 灌注成像联合 CTA 检查安全、经济、简便、快捷, 发病后即可进行。CT 灌注成像早期显示急性脑缺血病灶的范围, 并能获得 CBF、CBV、TTP 等多个脑血流动力学参数, 定量分析脑组织血流灌注状态, 区分可逆与不可逆缺血组织, 并可预测预后; CTA 可多方位动态观察脑血管, 清楚地显示梗死区脑供血动脉的形态变化及引起脑梗死的其他原因。

总之, CT 灌注成像联合 CTA 检查可在短时间内对疑急性缺血性脑血管病患者进行颅脑 CT 平扫、CT 灌注成像、CTA 检查及 CT 增强扫描, 获得多方面的信息, 从多个角度对其进行综合评价分析, 可为临床医师选择合理的治疗方法尽早进行治疗, 提供客观的影像依据。

4 CT 灌注成像与其他灌注成像方法的比较

目前, 临床上用于组织血流灌注的功能性成像检查方法较多, 如正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)、单光子发射断层成像(single photon emission computed tomography, SPECT)、氙 CT(Xe computed tomography, Xe-CT)、MR 波谱、弥散和 MR 灌注成像等。由于这些检查设备比较昂贵, 有的还需特殊装备, 成像时间较长, 在一定程度上限制了其推广与普及。Xe-CT 检查可在早期进行多层面观察脑血流情况, 10min 内可得到初步结果, 被认为是最好的一种检测手段, 但此方法操作比较繁琐, 检查结果受呼吸节律等因素的影响, 存在骨伪影和运动伪影, 且由于氙有潜在的麻醉等副作用, 而急性卒中病人多有意识不清, 面具的使用更是增加了其不利因素; SPECT 和 PET 均使用放射性同位素, 与 Xe-CT 相似, 均需特殊检查设备。SPECT 的主要缺点是空间分辨率低, 不能计算绝对血流量<sup>[14, 23, 26]</sup>, 且在进行 CBF 评价中, 所使用的示踪剂可在体内维持数小时, 即使使用专用的脑 SPECT, 成像时间通常亦需 10~20min, 并易产生运动伪影<sup>[1]</sup>; PET 是体外测量 rCBF、rCBV 和脑代谢的“金标准”, 但其检查费用昂贵, 难以临床常规使用。MR 弥散和灌注成像在评价脑血流灌注中具有较明显的优势<sup>[22]</sup>, 明显优于常规 CT 检查, 并可区分已梗死脑组织和缺血脑组织, 平面回波技术可以评价三维的脑组织灌注损害情况, 但这需要昂贵的软、硬件支持, 检查时间亦较长, 且将病人放入庞大的磁体内, 这对早期急性卒中病人来说不利于生命体征的监视, 因此, 其应用也受到限制。而灌注 CT 成像具有经济实用、扫描设备简单、成像时间短(仅需数分钟)、图像的空间分辨率高, 并能获得 CBF、CBV、TTP、MTT 等多个脑血流动力学参数等优点, 可在脑缺血性卒中的超早期发现病灶<sup>[1, 10, 22]</sup>。缺血性脑血管病患者脑 CT 灌注检查 CBF 减少是其最显著的改变, CBF 像在显示缺血性区域方面已被证实为有效和可靠的方法。由于使用的方法和软件不同, 其测量值也有所不同。Koenig 等<sup>[1]</sup>计算的正常脑组织的局部血流灌注量为: 皮层灰质的 CBF 值为 39.0ml/(100g·min) ± 10.3, CBVs 值为 4.4% ± 0.9; 白质的 CBF

值为14.7ml/(100g·min) ±4.1, CBVs 值为2.3% ±0.4。张红梅等<sup>[11]</sup>报道脑皮层灰质 CBF 值为 76.2ml/(100g·min) ±10.4, 白质的 CBF 值为 33.9ml/(100g·min) ±5.03。

### 5 CTA 与 MRA 和 DSA 检查方法比较

#### 5.1 CTA 与 MRA 检查方法的比较

CTA 空间分辨力高于 MRA, 显示血管的精细度好于 MRA; CTA 直接成像于血管内对比剂, 对血流动力学不敏感, 不象 MRA 存在因血流状态的微小改变而引起信号丢失造成假象, 因此, CTA 易于区别狭窄与闭塞; CTA 可同时显示血管壁的钙化, MRA 则无法显示; CTA 扫描时间明显较 MRA 短, 约 7~15s, 病人易于保持不动, 图像不易受运动伪影的影响; 体内埋有电子装置或颅内金属异物的病人等不能作 MRA, 而 CTA 则不受这种磁场效应的限制; MRA 的最大优势是不需要注入对比剂就能行动脉成像, 无任何创伤, 且仅显示动脉像, 没有静脉的干扰。

#### 5.2 CTA 与 DSA 检查方法的比较

CTA 检查时静脉给药, 创伤小, 可以避免 DSA 创伤性检查造成的血管痉挛、动脉硬化斑块脱落等并发症, 易为患者接受。CTA 同时显示全脑多支血管, 可任意旋转多方位动态观察颅内血管, 视角多, 有利于血管解剖结构的显示, 一举多得, 克服了 DSA 投射角度局限性的缺点。MIP-CTA 对钙化的显示比 DSA 敏感。DSA 空间分辨率高, 目前仍被作为金标准, 对显示血管的状态优于 CTA。

脑 CT 灌注成像联合 CTA 检查, 可在缺血性病损临床症状出现后立即进行, 并能为临床医师提供客观的影像学依据, 必将成为评价超早期急性缺血性脑梗死和指导临床治疗(尤其是接触性溶栓治疗)的最佳检查方法, 并且随着 CT 技术尤其是多层 CT 技术的不断发展, 显示层面增多, 范围扩大, 其应用必将更加广泛。

### [参考文献]

[1] Koenig M, Klotz E, Luka B, et al. Perfusion CT of the brain: diagnostic approach for early detec

tion of ischemic stroke[J]. Radiology, 1998, 209(1): 85-93.

[2] Koenig M, Banach Planchamp P, Krauz M, et al. CT perfusion imaging in acute ischemic cerebral infarct: comparison of cerebral perfusion maps and conventional CT findings [J]. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr, 2000, 172(2): 219-226.

[3] Joachim R, Lars J, Anke F, et al. Hemodynamic assessment of acute stroke using dynamic single slice computed tomographic perfusion imaging [J]. Arch Neurol, 2000, 57(8): 1161-1166.

[4] Leclerc X, Gauvrit YG, Pruvo JP. Usefulness of CT angiography with volume rendering after carotid angioplasty and stent [J]. ARJ, 2000, 174(3): 820-827.

[5] Haarbaugh RE, Schlussellerg OS, Jeffery R, et al. Three dimensional computerized tomographic angiography in the diagnosis of cerebrovascular disease [J]. J Neurosurg, 1992, 76(3): 408-414.

[6] Kenneth A, Michael P, Adrian K, et al. Functional images of hepatic perfusion obtained with dynamic CT [J]. Radiology, 1993, 188(2): 405-412.

[7] Axel L. Cerebral blood flow determination by rapid sequence computed tomography [J]. Radiology, 1980, 137(3): 679-686.

[8] Miles KA. Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography [J]. Br J Radiol, 1991, 64(761): 409-412.

[9] Hamberg LM, Hunter GJ, Halpem EF, et al. Quantitative high resolution measurement of cerebrovascular physiology with slip ring CT [J]. AJNR, 1996, 17(4): 639-650.

[10] 刘翔, 戴建平, 孙波, 等. CT 灌注成像在脑内缺血性疾病中的初步应用 [J]. 中华放射学杂志, 1999, 33(7): 452-455.

[11] 张红梅, 高培毅, 胡平英. 脑组织血流灌注的动态 CT 定量研究 [J]. 中华放射学杂志, 1999, 33(7): 448-451.

[12] Koenig M, Dphil EK, Luka B, et al. Perfusion CT of the brain: New diagnostic approach for early detection of ischemic stroke [J]. Radiology, 1996, 201(1): 236.

[13] Gillard JH, Bearcroft PW, Miles KA. Evaluation of quantitative cerebral CT perfusion with positron emission tomography: Preliminary results [J]. Radiology, 1997, 205(1): 185.

[14] Klotz E, Koenig M. Perfusion measurements of the brain: using dynamic CT for the quantitative assessment of cerebral ischemia in acute stroke

[J]. Eur J Radiol, 1999, 30(1): 170-184.

[15] Dobben GD, Valvassori GE, Mafee MF, et al. Evaluation of brain circulation by rapid rotational computed tomography [J]. Radiology, 1979, 133(1): 105-111.

[16] Ezzeddine MA, Lev MH, McDonald CT, et al. CT angiography with whole brain perfused blood volume imaging: added clinical value in the assessment of acute stroke [J]. Stroke, 2002, 33(4): 959-966.

[17] Verro P, Tanenbaum LN, Borden NM, et al. CT angiography in acute ischemic stroke: preliminary results [J]. Stroke, 2002, 33(1): 276-278.

[18] Lev MH, Nichols SJ. Computed tomographic angiography and computed tomographic perfusion imaging of hyperacute stroke [J]. Top Magn Reson Imaging, 2000, 11(5): 273-287.

[19] Hunter GJ, Hamberg LM, Ponzo JA, et al. Assessment of cerebral perfusion and arterial anatomy in hyperacute stroke with three dimensional functional CT: Early clinical results [J]. AJNR, 1998, 19(1): 29-37.

[20] Hamberg LM, Hunter GJ, Kierstead D, et al. Measurement of CBV with subtraction three dimensional functional CT [J]. AJNR, 1996, 17(10): 1861-1869.

[21] Na DG, Byun HS, Lee KH, et al. Acute occlusion of the middle cerebral artery: Early evaluation with triphasic helical CT: preliminary results [J]. Radiology, 1998, 207(1): 113-122.

[22] 李永忠, 李坤成. CT 在超急性期脑梗塞诊断及评价中的应用 [J]. 国外医学临床放射学分册, 1999, 22(5): 277-279.

[23] Reichenbach JR, Rother J, Jonetz Mentzel, et al. Acute stroke evaluated by time to peak mapping during initial and early follow up perfusion CT studies [J]. AJNR, 1999, 20(10): 1842-1850.

[24] Veda T, Yuh WTC, Maley JE, et al. Outcome of acute ischemic lesions evaluated by diffusion and perfusion MR imaging [J]. AJNR, 1999, 20(6): 983-989.

[25] Shih TTF, Huang KM. Acute stroke: detection of changes in cerebral perfusion with dynamic CT scanning [J]. Radiology, 1988, 169(2): 469-474.

[26] Gobbel CT, Cann CE, Fike JR. Comparison of Xenon-enhanced CT with ultrafast CT for measurement of regional cerebral blood flow [J]. AJNR, 1993, 14(3): 543-550.