

CT 灌注技术在缺血性脑血管病血流重建手术中的应用研究

李东波¹⁾, 顾宇翔²⁾, 徐斌²⁾, 宋冬雷³⁾, 廖煜君²⁾

(1) 安康市中心医院神经外科, 陕西 安康 725000; 2) 复旦大学附属华山医院神经外科, 上海 200040;
3) 上海德济医院神经外科, 上海 200331)

[摘要] **目的** 探讨 CT 灌注在缺血性脑血管病血流重建手术中的应用价值以及如何进一步提高其检查结果的准确性和可靠性. **方法** 采用西门子 sensation64 螺旋 CT, 运用本研究总结出来的感兴趣区绘制办法, 对 2 组实施血流重建手术的缺血性脑血管病患者在手术前后进行 CT 灌注检查, 并采用本研究所归纳的 CT 灌注参数评价方法进行结果评价, 再对手术前后的结果进行统计学分析. **结果** 每个患者均进行了合理准确的感兴趣区绘制, 并半定量测定了手术前后的 CT 灌注参数. 手术前 2 组病例责任血管供血区域血流灌注均降低, 手术后均较术前改善, 与患者临床症状体征的改变相符. **结论** CT 灌注对局部脑血流的评价结果是缺血性脑血管病血流重建前的重要手术指证; CT 灌注对于缺血性脑血管病血流重建后的疗效评估很有价值; 正确的绘制感兴趣区 (ROI) 对于保证 CT 灌注的准确性非常重要; 计算患侧/健侧的相对值是评估 CT 灌注参数的主要方法.

[关键词] CT 灌注; 缺血性脑血管病; 血流重建

[中图分类号] R743 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2095 - 610X (2014) 06 - 0084 - 06

The Application of CT Perfusion in Blood Stream Reconstruction for Ischemic Cerebrovascular Disease

LI Dong-bo¹⁾, GU Yu-xiang²⁾, XU Bin²⁾, SONG Dong-lei³⁾, LIAO Yu-jun²⁾

(1) Dept. of Neurosurgery, Ankang Central Hospital, Ankang Shanxi 725000; 2) Dept. of Neurosurgery, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040; 3) Dept. of Neurosurgery, Deji Hospital, Shanghai 200331, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the application value of CT perfusion in blood stream reconstruction for ischemic cerebrovascular disease, and find how to improve accuratissime and reliability of CT perfusion. **Methods** CT perfusion imaging was performed in two teams patients preoperatively and postoperatively, who accepted blood stream reconstruction for ischemic cerebrovascular disease, and the machine was siemens semsation 64 multi-slice computed tomography. In the course of operating CT perfusion, the method of drawing the region of interest and the evaluative method for parameters of CT perfusion imaging were used, that was all summarized in this research. The final result was analyzed by statistics process. **Results** The regions of interest were drawn reasonably and accurately in every case, and the CT parameters of preoperation and postoperation were semiquantitatively calculated. The blood perfusion of responsible vessel were all decreased before operation, and increased after operation, this was corresponded to the change of symptom and signs of patients. **Conclusions** The result of CT perfusion is important indication of surgical treatment for ischemic cerebrovascular disease. CT perfusion is very valuable in evaluating therapeutic effect of surgical treatment for ischemic cerebrovascular disease; drawing the region of interest exactly is important for ensuring the accuracy of CT perfusion; calculating the relative magnitude is the principal method for evaluating parameters of CT perfusion.

[基金项目] 上海市科学技术委员会科研基金资助项目 (074119504)

[作者简介] 李东波 (1972~) 男, 陕西安康市人, 在读博士研究生, 副主任医师, 主要从事神经外科临床工作.

[通讯作者] 顾宇翔. E-mail: guyuang1972@aliyun.com

[Key words] CT perfusion; Ischemic cerebrovascular disease; Blood stream reconstruction

由于 CT 灌注在诸多脑血流动力学检查中有着相对便捷、半定量等优点, 近年来在缺血性脑血管病外科治疗前后获得越来越多的应用. 本研究旨在通过对复旦大学华山医院神经外科 30 例缺血性脑血管病血流重建患者手术前后的 CT 灌注 (computer tomography perfusion, CTP) 分析, 探讨 CT 灌注在缺血性脑血管病外科治疗中的应用价值及方法.

1 材料与方法

1.1 设备

采用西门子 Sensation64 螺旋 CT, 软件版本 somaris /5 VA50B. 使用碘海淳注射液.

1.2 患者资料

全组病例共 30 例, 按术前诊断分为 2 组, 烟雾病组 13 例, 均为双侧烟雾病患者, 术前按美国国立卫生研究院卒中量表评分 (national institutes of health stroke scale, NIHSS)^[1]进行量化评分, 评分 3 分 3 人, 2 分 3 人, 1 分 2 人, 0 分 5 人, 总分 17 分. 非烟雾病组 17 例, 均为非烟雾病性颅内外脑供血动脉狭窄或闭塞病例, 术前 NIHSS 评分 3 分 5 人, 2 分 6 人, 1 分 2 人, 0 分 4 人, 总分 29 分.

1.3 手术方法

30 例患者均行脑血流重建术, 术式均为: 颞浅动脉 - 大脑中动脉搭桥术 (superficial temporal artery - middle cerebral artery bypass, STA-MCA bypass), 同时结合脑 - 硬脑膜 - 肌肉血管融合术 (encephaloduromyosynangiosis, EDMS).

1.4 CT 灌注时机

手术前 1 周内, 手术后第 2 天至半年.

1.5 CT 灌注处理程序

首先行颅脑平扫, 然后选定感兴趣层面行 CT 灌注检查. CT 平扫: 常规序列扫描, 参数: 120 kV, 260 mAs, 层厚 5 mm, 无间隔. CT 灌注: 经肘前静脉团注碘海淳 (300 mg I/mL) 40 mL, 注射速度 5 mL/s, 开始注药的同时, 选定基底节层面进行持续 40 s 的同层动态扫描, 速度为 0.15 s/圈. 扫描参数: 管电压 80 kV, 管电流 160 mAs. Sensation64 的探测器宽度为 24 mm, 因此可重建获得层厚为 9.6 mm 的 4 层动态图像, 将重建的 200 幅动态图像传送到工作站, 使用 Siemens 公司的 PerfusionCT 专门软件包进行后处理. 去除所有动

态图像上的颅骨轮廓, 同时排除血管、脑脊液的影响. 在上矢状窦局部画 1 个圆形的感兴趣区 (region of interest, ROI), 分析所有动态图像上的 ROI, 得到一系列脑灌注参数图, 包括脑血流量 (cerebral blood flow, CBF) 图, 脑血容量 (cerebral blood volume, CBV) 图、对比剂峰值时间 (time to peak, TTP) 图. 这些图像均为彩色图像, 以突出对比度并进行定性分析. 在上述图中, 以中线为镜面, 对称性测量病灶区和对侧相应区域的 CBF、CBV、TTP, 然后对这些参数进行定量分析.

1.6 CT 灌注中 ROI 的选择 (1) 常规 ROI: 在基底节层面, 常规在大脑中动脉供血区, 大脑中动脉供血区, 大脑后动脉供血区各对称性选择 1 个 ROI, 其中大脑前动脉供血区选择双额叶, 大脑中动脉供血区选择双侧基底节区及双侧颞叶, 大脑后动脉供血区选择双侧枕叶. 上述 ROI 要求左右对称, 不小于 1cm, 不大于欲分析血管的供血区域; (2) 特殊 ROI: 有神经系统定位症状或体征者, 在脑内相应解剖定位选取 ROI, 存在责任血管供血区域脑梗塞的患者, 梗塞中心及边缘 (5 mm 范围内) 各取 1 个 ROI. 上述 ROI 要求左右对称, 不小于 0.5 cm.

1.7 CT 灌注的评价方法 (1) 首先确定患侧和健侧, 非烟雾病患者, 供血动脉狭窄或闭塞侧的即是患侧, 对侧即为健侧; 烟雾病患者, 患侧的定位主要取决于患者的临床症状体征和 CT/MRI 上的已有梗塞灶; (2) CBF、CBV、TTP 彩图, 定性判断低灌注区域; (3) 计算病侧 / 健侧相对比值, 即相对脑血流量 (relative cerebral blood flow, rCBF)、相对脑血容量 (relative cerebral blood volume, rCBV)、相对达峰时间 (relative time to peak, rTTP) 然后术前术后再对比. 责任血管分布区有多个 ROI 的, 先计算左右比值, 再取平均值, 然后对比术前术后. 如责任血管区内虽有多个 ROI, 但只有 1 个有低灌注表现, 则只对比此 ROI; (4) 全组病例某一参数术前术后比值进行统计学评价, 观察此参数在手术前后的变化情况; (5) 各参数绝对值作为参考.

所有评价均由两位有经验的放射科副主任医师和一位神经外科主任医师作出.

1.8 统计学方法

Stata7 软件, 数年间用 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 同组患者手术前后各灌注参数比较均应用配对 *t* 检验进行

差异的显著性检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 烟雾病组

全组病例手术均顺利完成, 术后常规复查 CTA 或 DSA 证实血管吻合口均通畅。术后随访时间 6~26 m, 平均 14 个月, 症状大多得到缓解, 随访时 NIHSS 评分总分下降至 4 分。全组患者 CTP 复查时间为手术后 1 周至 6 个月。将术前术后 rCBF、rCBV、rTTP 3 组数据分别做统计学分析, 结果提示手术后 rCBF、rCBV 均较术前显著提高 ($P < 0.01$), rTTP 较术前降低 ($P < 0.05$), 见表 1。

病例: 男, 48 岁, 以“1 月前突发头痛昏迷”代诉收住, 当时 CT 示双侧侧脑室出血, 本次术前 CT 示右颞叶脑梗塞, DSA 示双侧 moyamoya 病, CTP 示右颞叶梗塞灶(周围)及右颞叶均为低灌注状态(图 1、图 2), 行右侧 STA-MCA bypass + EDMS, 术后第 2 天 CTA 示吻合口通畅。术后第 5 月复查 DSA 示搭桥血管通畅, 复查 CTP 示右颞叶梗塞灶(周围)及右颞叶脑血流灌注明显改善(图 3、图 4), 随访过程中患者未再有出血发生。

2.2 非烟雾病组

全组病例手术均顺利完成, 术后复查 CTA 或 DSA 证实全组血管吻合口均通畅。术后随访时间 3~22 m, 平均 10 个月, 症状大多得到缓解, 术后 NIHSS 评分总分下降至 8 分。复查 CTP 时间为手术后 2 d~6 月。将术前术后 rCBF、rCBV、rTTP 3 组数据分别做统计学分析, 结果提示手术后 rCBF 较术前显著提高 ($P < 0.01$), rCBV、rTTP 无明显变化 ($P > 0.05$), 见表 2。

2.3 典型病例

患者男, 59 岁, “右侧肢体麻木 6 月”收住, 术前 DSA 示左大脑中动脉闭塞, MRI 示双侧脑室旁、右基底节区多发脑梗塞, 术前 CTP 示左基底节区低灌注(图 5), 遂行左侧 STA-MCA bypass+EDMS, 手术顺利, 术后第 2 天复查 CTA 示吻合口通畅。术后第 4 天复查 CTP 示左基底节区血流灌注明显改善(图 6), 患者肢体麻木情况也有明显好转。

3 讨论

由于颈内动脉与椎基底动脉之间颅底动脉环的存在以及颅内外血管间的侧支循环, 脑的血液供应

表 1 烟雾病组患者搭桥手术前后 CT 灌注情况 ($\bar{x} \pm s$)

Tab .1 Preoperative and Postoperative CT perfusion of moyamoya disease team ($\bar{x} \pm s$)

项 目	术前 CT 灌注	术后 CT 灌注
rCBF	0.78 ± 0.19	$1.06 \pm 0.28^*$
rCBV	0.82 ± 0.19	$1.04 \pm 0.21^*$
rTTP	1.02 ± 0.10	$0.96 \pm 0.10^*$

与术前 CT 灌注比较, $^*P < 0.05$

表 2 非烟雾病组患者搭桥手术前后 CT 灌注情况 ($\bar{x} \pm s$)

Tab .2 Preoperative and Postoperative CT perfusion of non-moyamoya disease team ($\bar{x} \pm s$)

项 目	术前 CT 灌注	术后 CT 灌注
rCBF	0.82 ± 0.27	$1.02 \pm 0.30^*$
rCBV	0.90 ± 0.29	0.95 ± 0.21
rTTP	1.15 ± 0.16	1.08 ± 0.13

与术前 CT 灌注比较, $^*P < 0.05$

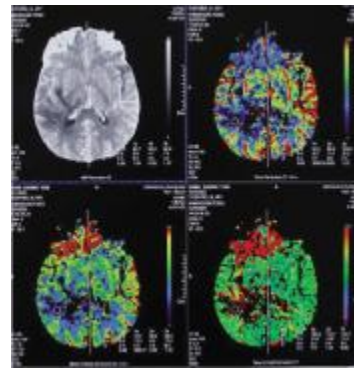


图 1 术前 CT 灌注示右颞叶梗塞灶 rCBF、rCBV、rTTP 分别为 0、0、0, 梗塞周围 rCBF、rCBV、rTTP 分别为 0.82、0.79、1.01

Fig. 1 Preoperative CT perfusion showed infarction in the right temporal lobe

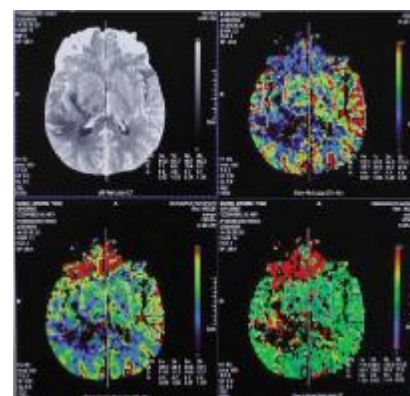


图 2 术前 CT 灌注示右颞叶 CBF、CBV 均较左侧明显减少, TTP 延长, rCBF、rCBV、rTTP 分别为 0.44、0.51、1.15

Fig. 2 Preoperative CT perfusion showed the right temporal lobe CBF and CBV decreased

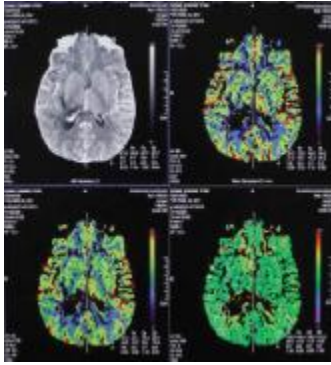


图 3 术后第 5 月 CT 灌注示右颞叶梗塞灶 rCBF、rCBV、rTTP 分别为 0.29、0.32、1.17, 梗塞周围 rCBF、rCBV、rTTP 分别为 1.16、1.23、0.96

Fig. 3 CT perfusion 5 months after operation showed infarction in the right temporal lobe

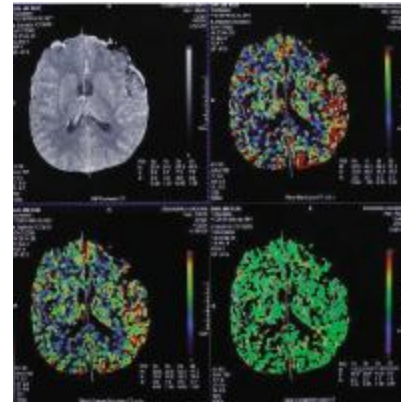


图 6 术后第 4 天 CT 灌注示左基底节区 CBF、CBV 均较右侧增加, TTP 缩短, rCBF、rCBV、rTTP 分别为 1.07、1.08、0.98

Fig. 6 CT perfusion 4 days after operation showed the left basal ganglia CBF and CBV increased

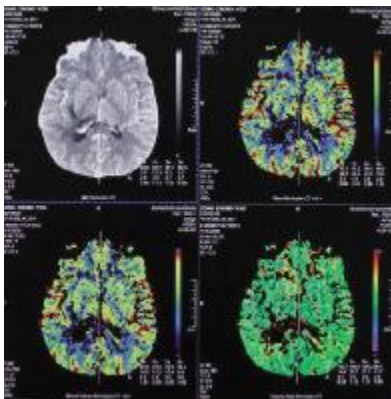


图 4 术后第 5 月 CT 灌注示右颞叶血流灌注较术前明显改善, rCBF、rCBV、rTTP 分别为 0.98、1.02、0.90

Fig. 4 CT perfusion 5 months after operation showed the right temporal lobe CBF was improved

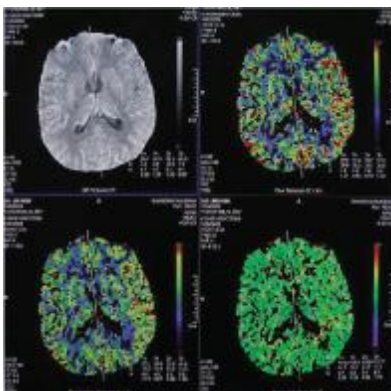


图 5 术前 CT 灌注示左基底节区 CBF、CBV 均较右侧减少, TTP 稍延长, rCBF、rCBV、rTTP 分别为 0.82、0.89、1.02

Fig. 5 Preoperative CT perfusion showed the left basal ganglia CBF and CBV decreased

较为复杂. 因此, 准备行血流重建的缺血性脑血管病患者, 在手术前正确评估脑血流灌注情况非常重要. 另一方面, 对于已行血流重建治疗的病人, 脑血流动力学检查以其客观、可量化, 术后早期即可有改变等特点, 在手术后的疗效评价方面具备独特的优势. 在多种脑血流动力学检查中, CT 灌注成像由于其方便快捷、半定量等优点, 越来越受到临床医生重视.

但 CT 灌注也存在这定量值测量的可重复性较差, 不同的测量方法, 不同的操作者测量结果之间存在较大的差异, 利用定量方法进行研究在不同研究之间还缺乏可比性^[1]等问题, 本研究旨在通过笔者的实践, 探讨 CT 灌注在缺血性脑血管病血流重建手术中的应用价值以及如何提高其可靠性.

从本组资料中, 笔者可以看到: 手术前 2 组患者绝大多数都存在着患侧 CBF 和 CBV 降低, TTP 延长情况, 这些情况与患者术前临床症状体征以及 MR、DSA 检查结果相符, 也符合血流重建的手术指征: 患侧低灌注. 另外, KlotzE^[2]认为, rCBF 在可复性和非可复性缺血区间差异显著, rCBF=0.2 可作为脑组织缺血后是否能逆转的最低限值, 本组资料术前 rCBF 均大于或等于 0.20, 属可复性缺血范畴, 2 组患者手术后 NIHSS 评分总分明显下降说明 2 组患者的手术指征把握是准确的.

手术后各组灌注变化情况不一, 2 组患者手术后 rCBF 均显著升高, 这说明当搭桥成功后, 局部脑血流迅速增加或恢复, 而 rCBV 与 rTTP 的改变 2 组情况不太一样, 与 2 组疾病自身特点及复查时间有关, 比如烟雾病组患者的 rCBV 显著增加可能由于烟雾病自身的特点, 缺血程度更为严重、时期更

长, 脑血流调解机制相对变差^[3]。

因此术前已经处于相对低的水平, 血流重建后改善明显。而非烟雾病术后 rCBV 变化不明显可能与其术前 rCBV 降低不明显有关, 原因可能是单纯近端血管闭塞患者如无大面积脑梗死, 其局部脑组织自动调节血流的机制可能影响不大, CBF 下降后可以通过扩张小动脉等阻力血管使 CBV 维持在相对正常的范围, 此时即便 CBF 增加, CBV 也不会有太多变化。烟雾病组 rTTP 明显缩短可能是由于本组 CTP 复查时间多为手术后 3~6 月, 普遍偏晚, 血流重建充分。非烟雾病组的 rTTP 变化不明显可能与其复查时间普遍偏早有关, 血流重建再灌注后建立新的循环需要一定的时间, 尤其是脑-硬脑膜-肌肉血管融合术的血管贯通需要较长时间, 在此期间, 手术前低灌区域或梗死区破坏的血管床可能只是部分得到重建, 增加的血流仍然更多的通过侧枝循环供应上述区域, 因此早期 rTTP 可能变化不明显。上述灌注参数的变化说明搭桥手术的确改善了这 2 组患者的局部脑血流灌注, 这与这些患者术后 NIHSS 评分总分明显下降相互印证。

上述研究证明, 缺血性脑血管病血管血流重建手术前后, CT 灌注可以作为判断手术指征和术后效果的重要方法。

CT 灌注评价脑灌注的异常采用定性和半定量的方法。定性方法指在各灌注彩图上根据缺血区域与正常脑组织色彩上的差别作出大概判断, 半定量方法是指患侧和健侧 CBF、CBV、TTP 的相对比值比较, 以左右脑灌注是否存在差别作为有无灌注异常的依据。这种对灌注参数的相对值进行量化评估的方法已为研究人员所认可^[4]。

本组资料即采用了上述方法, 即首先确定患侧和健侧, 非烟雾病患者, 供血动脉狭窄或闭塞侧的即是患侧, 对侧即为健侧。烟雾病患者, 患侧的定位主要取决于患者的临床症状体征和 CT/MRI 上已有的梗塞灶。再通过 CBF、CBV、TTP 彩图, 定性判断低灌注区域。然后计算病侧/健侧相对比值, 即相对脑血流量 (rCBF)、相对脑血容量 (rCBV)、相对达峰时间 (rTTP), 然后术前术后再对比。责任血管分布区有多个 ROI 的, 先计算左右比值, 再取平均值, 然后对比术前术后。如责任血管区内虽有多个 ROI, 但只有 1 个有低灌表现, 则只对比此 ROI。最后再将术前术后比值进行统计学处理, 有统计学意义, 说明这种治疗方法是有效果的。结合 2 组资料的数据分析和其他临床资料, 说明这种分析方法是合理的。

另外, 临床上对于单个病例灌注参数的判断一

直没有量化的指标, 究竟患侧比健侧减少多少算是不足, 增加多少算是延长, 个别文献上将 1 个具体患者的灌注参数超出一组正常人群的灌注参数的 95% 可信区间作为异常, 笔者认为可操作性不强, 如前文所述, 笔者认为仍然可以通过定性结合半定量确定某一个患者灌注参数正常与否, 即先通过 CBF、CBV、TTP 彩图, 定性判断是否存在低灌注区域。然后取患侧/健侧的 rCBF、rCBV、rTTP 值, 如 rCBF、rCBV、rTTP 减少 (缩短) 或增加 (延长) 5% 即为异常, 否则可认为是正常。

CT 灌注有时不够准确, 可重复性差, 这可能和 ROI 的选取有关, 不同的影像科医师所绘制的 ROI 各不相同, 没有一个统一的规范, 影响了 CT 灌注结果的可靠性, 因此正确的绘制 ROI 对于 CT 灌注结果的准确性非常重要。本组患者遵循了下列原则: (1) 位置: 要避开大血管、颅骨、脑室系统, 脑池, 还要与组织器官的周边部分有一定的距离, 以减少容积效应的影响。对于有明确定位症状或体征的患者, 除了常规的额、颞、枕、基底节区 ROI 的选取外, 一定要在这些症状体征在大脑上的定位位置上绘制 ROI, 这样才能明确导致患者出现临床症状体征的局部脑组织的血流灌注情况。脑梗塞患者除责任血管灌注区外, 尚需在梗塞中心及周围可能的半暗带绘制 ROI, 这样一来可以通过灌注参数的不同进一步区分梗塞中心和缺血半暗带, 二来可以对比手术前后半暗带的灌注参数变化, 进一步评价手术效果。ROI 的位置可以在分水岭区, 对于部分患侧灌注减少不明显的患者来说, 其责任血管供血区域的中央部分可能缺血不明显, 但其周边与另一血管分布区的相邻区域供血可能会受到影响, 所以这部分患者测量分水岭区的灌注参数较有意义; (2) 大小: 大小要适中, 较小的 ROI (平均 $0.35\text{ cm} \times 0.35\text{ cm}$ 大小) 容易受到头部轻微运动的影响而引起依次研究中测量结果的改变, 较大的 ROI 则会受到组织类型间部分容积效应的影响, 而使脑血流的测量结果出现偏差^[5]。Miles^[6] 提出, 在临床实际应用中, 应尽量选择不小于 50 个像素的感兴趣区进行观察和计算, 以避免量子噪声及部分容积效应的影响。Nabavi 等^[7] 在对动态 CT 灌注成像技术中 ROI 大小和数目对其稳定性影响进行研究时假设: 一个稳定的方法在测量一个特定的组织样品时, 不管用于覆盖该区的 ROI 大小和数目如何, 都应该测得同样的血流值, 并在动态 CT 灌注成像动物模型中提出每个 ROI 大小的绘制方程: 即 $\text{ROI} (\text{cm}^2) = (N \text{ 像素} \times 0.292) / 100$, 而 ROI 相对大小 (%) 则可通过靶区 ROI 大小除以整个

脑组织区 ROI 大小获得, 即 $rROI = [ROI \text{ 靶区} / ROI \text{ 脑组织}] \times \%$ 。高培毅^⑧等在动态 CT 脑血流灌注研究中 ROI 绘制的大小为 1 cm, 基于上述研究, 本组资料笔者在常规责任血管区绘制的 ROI 不小于 1 cm, 不大于欲分析血管的供血区域; 脑梗塞由于面积大小各异, 因此在其中中心或周围绘制的 ROI 不小于 0.5 cm; (3) 形状: 笔者认为, 只要位置、大小正确, 形状怎样不会影响各灌注参数的结果; (4) 手术前后对比时应在相同区域选取 ROI 区, 且大小同术前一致。

本组 CT 灌注实践证明, 上述 ROI 绘制方法提高了 CT 灌注结果的准确性, 可重复性。

上述研究证明, 缺血性脑血管病血管搭桥前后, CT 灌注可以作为判断手术指征和术后效果的重要方法, 而合理的评价患侧 / 健侧的相对值, 正确的绘制感兴趣区 (ROI), 对于保证 CT 灌注结论的准确性非常重要。

[参考文献]

- [1] North American symptomatic carotid endarterectomy trial collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis [J]. N Engl Med, 1991, 325(7): 445-453.
- [2] KLOTZE, KONINGM. Perfusion measurements of the brain: using dynamic CT for the quantitative assessment of cerebral ischemia in acute stroke [J]. Eur J Radiol, 1999, 30(4): 170-184.
- [3] BING TIAN, BING XU, QI LIU, et al. Adult Moyamoya disease: 320-Multidetector row CT for evaluation of revascularization in STA-MCA bypasses surgery [J]. European Journal of Radiology, 2013, 82, (12): 2342-2347.
- [4] KONINGM. Brain perfusion CT in acute stroke: current status [J]. Eur J Radiol, 2003, 45(3): 11-12.
- [5] 应凤博, 胡亚军, 王嗣欣. 高燕军症状性颅内动脉狭窄内支架成形术前后脑灌注 CT 成像的变化 [J]. 中国老年学杂志, 2008, 28(15): 8251-8254.
- [6] MILESKA. Measurement of tissue perfusion by dynamic computed tomography [J]. Br J Radiol, 1991, 64(761): 409-412.
- [7] NABAVID G, CENICA, DOOLJ, et al. Quantitative assessment of cerebral hemodynamic using CT: Stability, accuracy, and precision studies in dogs [J]. Computer Assist Tomogram, 1999, 23(4): 506-512.
- [8] 高培毅. 脑梗死前期脑局部低灌注的 CT 灌注成像表现及分期 [J]. 中国卒中杂志, 2008, 3(2): 115-118.
(2014-02-02 收稿)