缺血性脑卒中侧支循环评估方法及临床意义研究进展

袁　静

济南市槐荫人民医院 山东 济南 250031

【摘　要】：缺血性脑卒中的发生会导致脑部血液供应不足，进而造成脑组织损伤，这种损伤会直接影响到患者的神经功能恢复情况。侧支循环的建立和畅通状况会成为决定神经功能恢复好坏的一个非常重要的因素。本文详细介绍了侧支循环的解剖分类方式，说明了侧支循环在缺血事件发生后通过血流动力学代偿机制来帮助维持缺血区域边缘部分的正常供血，从而为后续神经功能的恢复提供必要的支持。文章还总结了目前临床上常用的影像学检查手段，比如数字减影血管造影是一种公认的高精度诊断方式，判读标准对于侧支循环的具体分级起到至关重要的作用；计算机断层扫描血管成像由于操作速度快且操作简便，非常适合用于急诊环境下的快速评估；而磁共振血管成像和经颅多普勒超声这两种技术分别从非侵入性和实时监测血流动力学的角度出发，提供了多种评估手段，但每种技术都存在一定的局限性。文章深入分析了侧支循环评估在临床上的重要意义，明确指出侧支循环评估能够帮助医生判断缺血半暗带是否还有恢复的可能性，还能动态地评估最佳的治疗时机，指导血管内治疗方案的选择，并且对未来恢复效果做出合理的预测。文章同时也指出了目前研究领域面临的几个主要难题，比如不同评估方法之间的标准化问题尚未完全解决，多模态影像技术的融合应用还需要进一步探索，另外如何将评估结果有效地转化为具体的康复治疗策略也是一大挑战。未来的研究方向应该努力打造一套更加精确并且方便使用的评估体系，争取让评估结果与康复干预措施能够更好地结合起来，共同促进患者的整体恢复效果。

【关键词】：缺血性脑卒中;侧支循环;影像学评估;神经功能预后;血管内治疗

DOI:10.12417/2705-098X.26.20.068

引言

缺血性脑卒中属于一种发病很高且残疾比例很高的脑血管疾病，病人神经功能能不能好转完全取决于缺血核心区域损伤有多重，同时也跟缺血半暗带能不能得到良好恢复有很大关系。在这个过程中，侧支循环的形成和打开起着非常关键的代偿作用，依靠血液流动条件的变化调整，给缺血区域带来重要的供血支持，这样就能减慢神经细胞死亡的速度，为医生及时采取救治措施赢得宝贵的时间窗口。侧支循环的代偿能力表现出很大的个体差异性，形成的速度、速度以及是否能真正发挥效果都会明显影响到缺血半暗带的状态变化和最终的结果。准确并且快速地判断侧支循环的情况，已经成为现代卒中诊疗体系里面最重要的一个部分。这篇文章打算全面介绍侧支循环的解剖结构和病理生理原理，总结当前常用的影像检查技术以及这些技术在临床上的应用效果，分析这个领域目前遇到的技术难题和标准统一方面的困难，同时预测未来可能会出现的改进方案，比如建立更加精确的评估体系，实现评估结果和个性化康复治疗之间的紧密配合，期望能够为医生的实际操作和科学研究提供一些有用的参考意见。

1 侧支循环的基本概念与病理生理基础

1.1 侧支循环的定义与解剖学分类

侧支循环属于大脑当主要供血动脉出现狭窄或者堵塞的时候，依靠已经存在的次级或潜在吻合血管网络，给缺血区域提供替代性血流灌注的血管通路[1]。从解剖学角度来看，大脑侧支循环主要分成三个等级：第一级侧支属于颅内大动脉之间的直接连通，比如前、后交通动脉构成的 Willis 环，负责大脑半球之间血流平衡；第二级侧支属于软脑膜动脉在大脑表面形成的丰富吻合，可以在皮质区域内进行远端代偿；第三级侧支属于新生血管，一般在慢性缺血过程中逐渐形成。这种多层次的解剖结构构成了血流代偿的基础网络。

1.2 侧支循环在缺血性脑卒中中的代偿作用机制

当脑动脉主干出现急性闭塞时，侧支循环的代偿作用机制立刻开启。其核心是借助压力梯度推动血流重新分配，自压力较高的正常区域经由吻合支流入压力骤降的缺血区域。这一过程意在部分恢复缺血半暗带的灌注，为神经细胞生存争取时间。优秀的侧支循环可以借助扩张侧支血管的直径和加快血流速度，提升侧支来源区域的灌注压，进而高效延长缺血组织的存活时间窗口，为临床干预提供宝贵机会。代偿的有效性直观关联于侧支血管的解剖发育程度和功能开放速度。

1.3 侧支循环状态对脑血流动力学的影响

侧支循环的状态成为决定缺血之后脑血流动力学变化的重要因素。良好的侧支循环可以明显改善缺血核心周边的血流动力学，表现为缺血半暗带区域脑血流量下降速度变慢、脑血

作者简介：袁静，女（1991.1），370181********4124，民族：汉，职称：主治医师，学位：学士，主要研究方向：神经和康复。

流平均通过时间相对缩短并且侧支血流逆向灌注范围扩大。侧支循环不好或者消失会引发灌注压骤降，缺血区域血流迅速衰竭，梗死核心加速扩展。这种血流动力学状态的不同不仅影响梗死体积的演变，还直接影响到缺血半暗带转向梗死的速度，最终决定了患者的神经功能缺损程度和临床预后。

2 侧支循环的主要影像学评估手段

2.1 数字减影血管造影的临床应用与判读标准

数字减影血管造影 DSA 已经变成判断脑部侧支循环情况的最可靠方法。通过注入碘对比剂，可以清楚而且连续地显示出颅内各个层次血管的内部构造以及血液流动的方向。在临床实践中，DSA 主要用来确定大血管堵塞的具体位置，并且直观展现侧支循环的路径以及代偿区域的大小。DSA 的最大作用在于提供判断侧支循环具体级别的直接依据，常用的分类标准包括美国介入和治疗神经放射学学会/介入放射学学会制定的标准，主要根据造影剂逆向填充的速度和覆盖面积来进行分级，这样就能准确衡量出患者目前的代偿能力水平[2]。DSA 属于一种创伤性操作，存在辐射暴露和可能的并发症隐患，所以一般只用于血管内治疗开始之前做最后的确诊和评估工作。

2.2 计算机断层扫描血管成像的快速评估流程

计算机断层扫描血管成像也就是 CTA，因为扫描速度很快并且操作方便，所以现在已经成为医生用来检查急性缺血性脑卒中病人有没有侧支循环的首选方法。常规的操作步骤首先要做一次普通的平扫来排除脑出血的可能性，然后马上静脉注射对比剂，紧接着开始做动脉期的扫描。利用最大密度投影和多平面重建这些技术手段，CTA 能够非常清楚地显示出大血管是不是完全堵塞，同时还能仔细观察到侧支血管网络的具体形状和分布情况。在急诊救治过程中，医生会把 CTA 得到的原始影像资料拿来仔细研究，结合病人的具体病情表现，认真分析梗死的核心区域、缺血半暗带以及侧支循环代偿的程度，从而做出全面的治疗判断，比如明确这个病人到底能不能接受血管内治疗。这种评价主要依靠肉眼查看或者用简单量化的方式来分析侧支血管的显影范围和密度大小，这样就能帮助医生尽快决定下一步该采取什么治疗措施，尤其是在时间允许的情况下尽早启动有效的抢救办法，提供非常重要的参考依据。

2.3 磁共振血管成像与经颅多普勒超声的操作与局限性

磁共振血管成像是一种不需要使用对比剂就可以观察到颅内主要动脉结构的技术，完全不需要进行身体注射。这种检查方法依靠磁共振设备产生的流动效应来完成，但有时候会把血管狭窄的情况估计得稍微偏高一些，而且对那些位置比较靠后的细小侧支血管显示效果不够理想。磁共振血管成像的最大好处在于能够与常规的磁共振扫描结合在一起，一次性完成对脑部组织缺氧情况的全面分析和判断。经颅多普勒超声利用专门设计的探头来测量颅底主要动脉内部的血流速度以及血流方向，可以做到床边即时监控血流动力学的变化。这种方法特别适合用来评估前后交通动脉这些特殊侧支通道是否畅通无阻，具备非常独特的实用意义。经颅多普勒超声检查很容易受到医生操作水平的影响，如果探头放置的位置不合适或者病人头部形状不够规则，就容易出现信号接收不清晰的问题，整体的空间分辨能力也比不上影像学检查手段。这两种检查方式都能够提供一些有用的信息作为参考，但在实际应用中发现，单纯依靠其中一种技术来评估侧支循环的整体状况还不够完善。

3 侧支循环评估的临床核心价值

3.1 预测缺血半暗带存活与治疗时间窗的作用

侧支循环评估的关键作用主要表现在能够提前判断缺血半暗带能否存活以及需要多长时间才能开始接受临床治疗这两个方面[3]。缺血半暗带能否存活完全依靠侧支循环提供的剩余血液供应，侧支循环的好坏会直接影响到神经细胞能不能被救活以及能够救活到什么程度。如果侧支循环足够好，就能明显延长缺血半暗带的存活时间，这样就大大拓宽了静脉溶栓或者血管内治疗通常允许使用的最晚治疗时间。医生们借助计算机断层扫描血管成像或者磁共振灌注成像这些检查方法，能够清楚地计算出侧支循环目前代偿能力的具体水平，并且跟核心梗死区域做详细比较研究，这样就能发现一些虽然已经超出常规治疗时间窗口但仍然有可能因为及时进行再灌注治疗而获得良好效果的病人。侧支循环评估帮助医生把“时间窗”这个概念转变为更加注重实际组织受损状况的临床决策思路，提供非常重要的参考支持，让整个治疗方案变得更加符合每个病人的具体情况。

3.2 指导血管内治疗决策与疗效评估

在决定血管内治疗方法时，侧支循环的具体状况成为非常关键的一个评估标准。这个状况会直接决定手术能带来的预期好处以及面临的风险大小。如果遇到大血管完全堵塞的病人，侧支循环状况良好通常表示还有较多的缺血半暗带没有受到损害，核心梗死区域面积也不大，这样的病人在接受血管内取栓治疗后，恢复到较好功能的可能性会更大一些。如果侧支循环状况不佳，则说明核心梗死区域已经基本形成，再灌注治疗的效果可能不理想，出血转化的风险也会随之增加，这种情况有助于防止不必要的侵入性操作。治疗开始前通过检查侧支循环的具体状况，可以作为基础依据，用来观察血管再通后血液流动恢复的覆盖范围和速度，成为衡量治疗效果的重要环节。依靠手术后的影像学检查来比较侧支循环的变化情况，能够帮助判断病人神经功能恢复的潜力，并且制定出合适的后续康复计划，提供关键性的参考意见。

4 当前面临的挑战与未来方向

4.1 评估方法的标准化与多模态融合问题

侧支循环评估这个领域的关键问题在于评估系统的标准

化还没有建立起来。各种影像学方法，比如数字减影血管造影和计算机断层扫描血管成像，各自擅长不同的方面，但判断的标准却很不一样，没有一个大家都认可的分级和评价体系，这样就严重影响到研究结果之间的比较效果以及医生在临床上做出一致的治疗决定。数字减影血管造影虽然是公认的最好方法，但各个医院之间的评价标准还是存在一些分歧。计算机断层扫描血管成像这种非侵入性的检查方式，在给患者做侧支评分时，标准也没有完全统一，因此限制了这种方法在大范围推广时的实际作用[4]。单独使用一种影像技术，通常只能得到病变部位的解剖结构或者血液流动的具体情况，很难全面反映脑梗死的复杂病理变化。未来的研究和发展目标必须积极推动多种影像技术的联合应用和智能化分析功能的提升。通过结合计算机断层扫描灌注成像带来的血流动力学数据、磁共振扩散加权成像清楚展现出来的梗死核心位置，以及磁共振血管成像和经颅多普勒超声对侧支循环状况的详细评估，可以搭建起一个包含多个参数、多角度分析的完整评估系统，这样就能更加准确地展示出缺血半暗带的真实病理变化情况。另外，利用人工智能和机器学习技术来完成图像自动分割、侧支评分以及疾病后期发展的预测工作，将成为推动评估过程实现标准化和结果变得更加客观的关键方法。

4.2 评估结果与个体化康复治疗方案的衔接

怎样把侧支循环的评估结果高效转变为指导个体化康复治疗的循证依据，是联结急性期评估与长期功能转归的关键环节，同时也是现阶段临床实践中的薄弱点。康复方案的制定常依据神经功能缺损的严重程度和病程阶段，然而对于患者内在的脑血管储备能力和侧支代偿状态重视不够。侧支循环良好的患者，他们的缺血半暗带存活时间更长，神经可塑性潜力可能更强，这为康复干预的时间、强度与策略选择提供了关键的生物学依据。针对侧支代偿充分、半暗带存留的患者，尽早、积极且强度更大的康复训练可能更加稳妥并且获益更明显[5]。对于侧支循环差、脑灌注储备严重不足的患者，则必须采用更加渐进、更加重视安全性监测的康复策略。未来研究应着力于构建依托侧支循环评估的康复预后预测模型，并且借助前瞻性临床试验，证实依据侧支状态分层的个体化康复方案（包括训练时机、强度、方式及脑血流调控策略）在改善患者功能结局方面的有效性与安全性，进而达成从解剖血流评估到功能康复干预的精确转化。

5 结语

缺血性脑卒中侧支循环的评估已经从单一的解剖学描述，转变为结合血流动力学、影像学以及临床转归的多维度综合体系。以 DSA、CTA、MRA 和 TCD 为代表的评估技术各有侧重，共同揭示了侧支循环在维持缺血半暗带、延长治疗时间窗以及决定预后中的关键作用。目前评估方法在标准化、技术整合及结果解读一致性方面仍然面临挑战，限制了其在指导个体化治疗决策中的精准应用。未来研究应当集中于多模态影像技术的深度融合和大数据分析，致力于构建高效、统一并且与临床结局密切关联的量化评估体系。通过把精准的侧支循环评估深度整合到卒中诊疗的全流程中，我们期望能够更加有效地识别治疗获益人群，改进血管内治疗及康复策略，最终促进缺血性脑卒中个体化和精准医疗的实践和发展。

参考文献：

[1] 王燕楠,郭兴华.缺血性脑卒中侧支循环影响因素的研究进展[J].中西医结合心脑血管病杂志,2022,20(01):83-85.

[2] 陆文静,杨昊翔.缺血性脑卒中侧支循环的研究进展[J].临床医学进展,2022,12(12):11901-11906.

[3] 李晗,王希明.基于多模态 CT 评估缺血性脑卒中侧支循环的研究进展[J].中国中西医结合影像学杂志,2021,19(02):184-187.

[4] 王晓宝,苏迎洁,王炎强.中药对缺血性脑卒中侧支循环建立研究进展[J].山西中医,2021,37(09):60-62.

[5] 沈丹.缺血性脑卒中侧支循环研究进展[J].中国科技期刊数据库医药,2022,(06).