

• 综 述 •

多层螺旋 CT 诊断临床疑难心血管疾病的进展

杭霏(综述) 顾翔(审校)

对于心血管疾病,临床上有多种检查方法,近年来多层螺旋 CT 诊断疑难心血管疾病逐渐成为临床研究的新热点,在诊断冠心病、主动脉夹层、肺栓塞、先天性心脏病以及评估房颤射频消融术前、后左房和肺静脉的情况等方面发挥着重要作用。

1 多层螺旋 CT 对于冠心病的诊断

1.1 多层螺旋 CT 诊断冠心病的意义 选择性冠状动脉造影以其较高的灵敏性和特异性一直被认为是诊断冠状动脉粥样硬化性心脏病的金标准。然而,选择性冠状动脉造影是有创检查,在麻醉、操作、术后恢复过程中存在着各种各样的风险,并有造成非致死性 Q 波心肌梗死、冠状动脉痉挛、严重心律失常、造影剂严重过敏反应、周围血管并发症和心力衰竭等诸多并发症的可能。近年来,核磁共振也逐渐应用到冠心病的诊断中,但现阶段由于冠状动脉解剖的复杂性和空间分辨率的限制,冠状动脉核磁共振检查无法满意显示远段血管以及准确判断冠状动脉的狭窄程度^[1]。同时,目前临床上冠心病合并心脏起搏器植入术后的患者越来越多,而心脏起搏器植入术后的患者不能行核磁共振检查,使得冠状动脉核磁共振检查在临床上的使用受到限制。血管内超声检查能够实时显示血管横截面图像,显示血管壁和斑块的形态以及斑块的组成和分布,其显示结果与组织学检查有着良好的相关性^[2]。但是其价格昂贵,在我国没有完全普及,同时,血管内超声也是一项有创检查,会给受检查者带来一定的痛苦和风险。因此,从降低操作风险、节约患者费用这两个方面来说,找到一种具有较高的特异性和灵敏性的非侵入的受限制较少的诊断冠心病的方法是非常必要的。近年来,多层螺旋 CT 的应用为冠状动脉疾

病的诊断,提供了新的检查方法并显示出良好的发展前景。

1.2 冠状动脉的多层螺旋 CT 显像

1.2.1 多层螺旋 CT 对于冠脉管腔的显像 心脏是一个不断运动的器官,冠脉显像一直是对一些显像技术的挑战。而多层螺旋 CT 由于其快速的显像能力,可以对心脏这一运动器官进行良好的显像。近年来,有学者对多层螺旋 CT 的显像效果进行了研究。Stein 等^[3]指出,多层螺旋 CT 对于评价冠状动脉狭窄病变具有良好的特异性和敏感性。Achenbach 等^[4]在多层螺旋 CT 冠状动脉成像和选择性冠状动脉造影诊断冠心病的对照研究中发现,在螺旋 CT 冠状动脉成像时,在多平面重建(multiple planar reformation, MPR)图像中,冠状动脉左主干的显影长度为 (9 ± 4) mm,左前降支为 (112 ± 34) mm,左回旋支为 (80 ± 29) mm,右冠状动脉为 (116 ± 33) mm,不受伪影影响的冠状动脉长度占总长度的 $(78 \pm 16)\%$,常规选择性冠状动脉造影平均血管内径为 (3.2 ± 0.9) cm,而多层螺旋 CT 冠状动脉成像检查出的平均血管内径为 (3.3 ± 1.0) cm,两者之间没有明显差异,这进一步说明,理想的冠状动脉造影可以比较充分地显示冠状动脉及其主要分支的情况。因此,多层螺旋 CT 冠状动脉成像是理想的评价冠状动脉狭窄与否的手段。

1.2.2 冠状动脉内斑块及钙化的显示 近年来提出的急性冠脉综合征包括了不稳定性心绞痛、非 ST 段抬高心肌梗死及 ST 段抬高心肌梗死,这三种疾病的发病基础均为不稳定粥样斑块,只是伴发了不同程度继发性病理改变。由此可见,冠脉内粥样斑块的检测十分重要。研究表明,区分钙化和非钙化斑块意义重大,因为非钙化斑块较不稳定,容易破裂引起急性冠状动脉综合征。多层螺旋 CT 还可以区分钙化和非钙化斑块,使得对冠状斑块成分的定量和定性分析得以实现,其结果与血管内超声检查结果高度一致^[5]。Hausleiter 等^[6]亦报道可以通过多层螺旋 CT 对冠状动脉内斑块性质的辨别来对受检者发生心血管疾病的危险进行准确分层。在评价冠

收稿日期:2006-08-28

作者单位:225001 扬州市,扬州大学临床医学院心血管内科

作者简介:杭霏,男,1981年6月生,江苏扬州人,在读硕士研究生。

E-mail:hangfei1936@yahoo.com.cn

通讯作者:顾翔, Tel: 0514-87937557, E-mail: sbyygc@medmail.com.cn

脉斑块的各种图案重建方法中,以多层面重建法为最佳方法。总之,多层螺旋CT冠状动脉成像检查可取代选择性冠状动脉造影用于易破碎斑块早期检查。

1.2.3 多层螺旋CT冠状动脉成像评价冠状动脉内支架植入术以及冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)的疗效 近年来,CABG术以及支架植入术的广泛运用使得评价它们的疗效十分重要。宋玮等^[7]比较了56例CABG术后患者共152条冠脉血管桥血管,其中内乳静脉桥48条,隐静脉桥104条,结果显示,多层螺旋CT冠状动脉成像对冠状动脉桥血管病变诊断敏感性为94%,特异性为95%(以选择性冠状动脉造影为金标准),多层螺旋CT能够可靠鉴别动脉和静脉桥血管的畅通程度和闭塞,能够可靠诊断冠状动脉血管桥狭窄程度,可以评价所有桥血管近端吻合处和远端吻合处。有报道指出,多层螺旋CT可以清晰显示支架,且关于支架内狭窄与否的评价与选择性冠状动脉造影一致^[8]。因此,多层螺旋CT冠状动脉成像是一种评价冠状动脉内支架植入术以及CABG疗效的有效方法。

1.2.4 多层螺旋CT冠状动脉成像的局限和注意事项 右冠状动脉2、3段移行处易受右房搏动影响,且该部位近膈面,易受呼吸影响,故多层螺旋CT检查容易漏诊此处冠脉病变^[9]。同时,中国人冠状沟内脂肪少,左心耳与左心室间隙小,部分患者难以显示回旋支,故回旋支狭窄易漏诊。心率、层厚、床速、螺距、重建间距、运动伪影、肥胖等都会影响多层螺旋CT对于冠状动脉的评价。

总之,多层螺旋CT冠脉成像对于冠心病的诊断有重要的价值,可以用于选择性冠状动脉造影术前的筛查以及作为选择性冠状动脉造影的补充,有很好的研究前景。

2 多层螺旋CT对于肺栓塞的诊断

2.1 多层螺旋CT诊断肺栓塞的背景 肺栓塞是一种重症,具有相当高的死亡率、致死率,近年来发病率不断升高。学术界既往认为选择性肺血管造影为诊断肺栓塞的金标准。但选择性肺血管造影为有创检查,给患者造成许多痛苦和危险。近年来学术界对于多层螺旋CT肺血管造影诊断肺栓塞的研究较多,认为多层螺旋CT肺血管造影开创了肺栓塞诊断的新阶段。

2.2 多层螺旋CT肺血管造影诊断肺栓塞的影像

学表现 肺栓塞的影像学表现分为直接征象和间接征象^[10,11]。

2.2.1 直接征象 急性肺栓塞螺旋CT增强扫描的直接征象包括:正常或增宽的肺动脉管腔完全被血栓闭塞,或非闭塞的腔内充盈缺损位于血管中央(即“轨道征”)。慢性肺栓塞的直接征象包括:肺动脉管腔内类块样组织呈偏心性和触壁样的充盈缺损,在肺动脉供血区域可见侧支血管网存在,与并行的支气管比较,动脉管径变细 $>50\%$,且内腔表面不规则。

2.2.2 间接征象 间接征象常包括:(1)主肺动脉增宽;(2)局限性肺纹理稀少;(3)肺梗死(出现肺梗死时多为胸膜下区楔形实变影,底贴近胸膜,尖端指向肺门,有些病例还可见到支气管动脉扩张);(4)胸腔积液。

2.3 多层螺旋CT肺血管造影诊断肺栓塞的价值以及与其他诊断方式的比较 以选择性肺动脉造影为金标准,多层螺旋CT对于周围肺动脉的成像质量高于普通螺旋CT。Qanadli等^[12]指出,在诊断肺栓塞时,多层螺旋CT检查出现诊断不明的概率与肺动脉造影出现诊断不明的概率没有明显差别。

2.4 多层螺旋CT肺血管造影诊断肺栓塞存在的问题 多层螺旋CT诊断对于肺栓塞的诊断存在一定的局限。有极少数患者在检查中不能耐受造影剂,个别患者可能会发生造影剂过敏及造影剂所致急性肾功能不全。操作过程中,图像易受伪影的影响。这都对诊断造成了困难。

3 多层螺旋CT对于主动脉夹层的诊断

3.1 多层螺旋CT诊断主动脉夹层的背景 主动脉夹层是心血管重症,发病突然,病情进展迅速,急性期病死率高。其诊断方法主要有主动脉血管造影、多普勒超声检查、多层螺旋CT等。其中,主动脉血管造影属于有创检查,给患者造成的痛苦大,存在一定的手术风险。多普勒超声检查缺乏直观性和整体性。因此,临床上迫切需要一种简捷、安全、无痛苦、迅速地诊断主动脉夹层的方法,多层螺旋CT的出现,使得此问题得到了一定程度的解决。

3.2 多层螺旋CT诊断主动脉夹层的影像学表现

3.2.1 多层螺旋CT诊断主动脉夹层的直接影像学表现^[13] 多层螺旋CT可以显示主动脉夹层的真腔和假腔,从而得出正确的诊断。在注射造影剂后,多层螺旋CT可以清晰显示真、假腔的大小和形态。真腔一般会出现受压变形,假腔位于真腔的周

围,常呈新月型,一般情况下真腔比假腔小,真腔常明显增强,假腔很少有明显增强。多层螺旋CT还可以通过显示主动脉夹层内的内膜瓣、显示内膜破裂口、显示主动脉内膜钙化内移等诊断出主动脉夹层。多层螺旋CT亦可显示附壁血栓、测量真假腔内径、显示管壁钙化并诊断出主动脉夹层的并发症如心包积液、胸腔积液等。

3.2.2 多层螺旋CT通过后处理技术诊断主动脉夹层 多层螺旋CT具有强大的图像后处理能力。重建技术包括有多平面重建(multiple planar reformation, MPR),阴影表面显示(shaded surface display, SSD),最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、CT仿真内窥镜(CT virtual endoscope, CTVE)以及容积处理(volume rendering, VR)^[13],这些图像后处理技术给人以真实、直观的感觉,可以对真假腔、内膜片以及破裂口进行立体显示,确定主动脉夹层的位置、范围和分支病变情况,作出准确的定位定性诊断。MPR可以清晰显示内膜片形态、腔内血栓、管壁钙化移位、真假腔大小以及夹层累及范围;SSD具有比较强的立体感,但难以显示小血管;MIP可以清晰显示小血管以及血管壁钙化,但无法清晰显示血栓、内膜片,缺乏解剖结构的三维空间关系,需要进行旋转以多角度观察;CTVE对判断管腔内结构有较大帮助,可显示真假腔以及内膜片三者之间的关系,了解内膜撕裂的部位、范围,判断重要分支受累程度;VR能将所有容积数据用于三维图像显示,其重建血管图像表面光滑,立体感强,显示内膜片比MPR更加直观,从任意角度看到内膜片的最大长度,可以立体显示主动脉及其分支血管的关系以及螺旋状的内膜片,是显示夹层动脉瘤的主要方法之一^[13]。多层螺旋CT可以为支架植入治疗主动脉夹层提供精确的病变定位。腔内隔绝术是治疗主动脉夹层的有效方法,术后内漏是影响治疗效果的主要因素。李晓兵等^[14]指出,多层螺旋CT扫描对内漏的诊断具有比较高的敏感性和特异性,比其他各种影像学诊断方法更加优越,在诊断主动脉夹层的各种后处理方式中,以VR法最能充分显示支架、血管和内漏的关系,可以较为准确地显示内漏的形态、漏出量和漏出部位等,优于其他重建方法。

3.3 多层螺旋CT诊断主动脉夹层的局限 多层螺旋CT诊断主动脉夹层时,仍然由于各种原因受到伪影的干扰,造成不必要的误诊^[15]。在可能的情况下,最好将多层螺旋CT与其他诊断方式(如血管

超声等)合用可降低误诊率^[15]。多层螺旋CT诊断主动脉夹层时,需注入造影剂,某些不能耐受造影剂的患者不能行此检查。

4 多层螺旋CT对行房颤射频消融术患者的术前术后评价

4.1 多层螺旋CT对行房颤射频消融术患者术前术后评价的背景 当前随着医学技术的不断发展,对于心房颤动的治疗方式变得更多更有效。其中,导管射频消融术越来越多地应用到治疗阵发性房颤中来,总有效率可达80%左右,这种手术方式是通过肺静脉的电隔离来治疗房颤^[16]。所以,在手术前对左心房以及肺静脉进行解剖上的评估十分重要。同时,导管射频消融术也有可能造成一系列的并发症,其中最严重的并发症之一就是肺静脉狭窄。所以找到一种能够判断有无术后肺静脉狭窄的无创检查方法意义重大。多层螺旋CT使得术前术后对肺静脉及左房的有效评估成为可能。

4.2 多层螺旋CT对行房颤射频消融术患者的术前术后评价的具体意义 有报道指出,多层螺旋CT能够对左房以及肺静脉进行良好的显像,及时发现左心耳血栓。与超声心动图相比,多层螺旋CT更能够检查出某些解剖变异的“异常”肺静脉^[17]。与术中三维电磁导管标测系统相比,两者之间对于肺静脉和心房的评价呈高度相关性^[18]。杨延宗等^[16]认为,多层螺旋CT是评价术后肺静脉狭窄并发症的最有效方式。

4.3 在评价左房和肺静脉时,多层螺旋CT与其他检查方式的比较 评价左房和肺静脉的其他检查方法还有心内超声、核磁共振和选择性肺静脉造影等。虽然选择性肺静脉造影对肺静脉和左心房的显示优良,但这属于有创检查方法,费用高,超声检查对肺静脉和左心房整体显示不理想,可重复性差。核磁共振显像对肺静脉及其与左心房关系的显示不如多层螺旋CT^[16]。所以多层螺旋CT检查是一种良好的评价左心房以及肺静脉的方法。

5 多层螺旋CT对先天性心脏病的诊断

5.1 多层螺旋CT诊断先天性心脏病的应用背景

先天性心脏病是临床常见疾病,主要治疗方法为手术治疗。在手术前准确、有效的检查对于明确诊断、确定合理手术方案有重大的意义。目前普遍认为,心导管检查以及选择性血管造影检查是诊断先天性心脏病的金标准。然而,心导管检查以及选择

性血管造影检查可以导致血管损伤、血栓栓塞、心律失常、心肌梗死以及冠状动脉夹层形成等并发症^[19]。超声心动图近年来在先天性心脏病诊断中应用广泛,但有报道指出,超声心动图检查在诊断心外结构异常时准确率^[20],并且很大程度上依赖检查医师个人的技术水平。多层螺旋 CT 近年来被越来越多地应用到先天性心脏病的诊断当中。

5.2 多层螺旋 CT 诊断先天性心脏病的应用价值

周阳洪等^[20]分析了 12 例复杂性先天性心脏病患者的多层螺旋 CT 血管造影资料,并与超声心动图及手术结果对照研究(12 例患者经手术或多种影像学检查证实的心内外结构异常共 57 个,其中心内结构异常 26 个,心外结构异常 31 个),结果显示,多层螺旋 CT 发现了全部 31 个心外结构异常,其中右室双出口 5 个,左室双出口 1 个,动脉导管未闭 2 个,主动脉弓离断 1 个,主动脉缩窄 1 个,主动脉骑跨 1 个,永存动脉干 2 个,右位主动脉弓 1 个,双上腔静脉 2 个,肺动脉干闭锁 1 个,肺动脉栓塞 1 个,肺动脉分支狭窄 2 个,肺动脉分支异常增宽 1 个,主肺动脉异常大侧支血管 5 个,单支冠状动脉 2 个,其他冠状动脉异常 3 个,多层螺旋 CT 对心外结构异常诊断的准确率为 100%,对心内心外结构异常诊断总的准确率为 91.2%^[20]。柳宏波等^[19]亦指出,多层螺旋 CT 在诊断法洛四联症时特异性、敏感性以及准确性均较高。所以认为,多层螺旋 CT 诊断先天性心脏病应用前景广阔。

5.3 多层螺旋 CT 诊断先天性心脏病的局限 在诊断先天性心脏病心内结构异常时,多层螺旋 CT 检查的准确性明显低于超声心动图检查^[20]。多层螺旋 CT 在诊断先天性心脏病时,不能提供血流动力学以及血氧含量方面的信息,易受心率、呼吸等多种因素的影响^[19]。因此,联合应用多层螺旋 CT 检查以及其他有意义的检查如超声心动图检查等是很有必要的。

参考文献

- [1] 程流泉,高元桂,孙伟,等.屏气三维快速平衡稳态进动序列对冠状动脉狭窄的诊断效能.中华放射学杂志,2005,39:267-271.
- [2] Fassa AA, Wagatsuma K, Higano ST, et al. Intravascular ultrasound-guided treatment for angiographically indeterminate left main coronary artery disease: a long-term follow-up study. J Am Coll Cardiol, 2005, 45:204-211.
- [3] Stein PD, Beemath A, Kayali F, et al. Multidetector computed tomography for the diagnosis of coronary artery disease: a systematic review. Am J Med, 2006, 119:203-216.
- [4] Achenbach S, Vizheimer S, Baum U, et al. Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. Circulation, 2000, 102:2823-2828.
- [5] Leber AW, Knez A, Becker A, et al. Accuracy of multidetector spiral computed tomography in identifying and differentiating the composition of coronary atherosclerotic plaques: a comparative study with intracoronary ultrasound. J Am Coll Cardiol, 2004, 43:1241-1247.
- [6] Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, et al. Prevalence of noncalcified coronary plaques by 64-slice computed tomography in patients with an intermediate risk for significant coronary artery disease. J Am Coll Cardiol, 2006, 48:312-318.
- [7] 宋玮,金叔宣,杜勇平,等.16 排 CT 对冠状动脉桥血管病变评估的临床应用价值.中华心血管病杂志,2005,33:704-707.
- [8] Cademartiri F, Marano R, Runza G, et al. Non-invasive assessment of coronary artery stent patency with multislice CT: preliminary experience. Radiol Med(Torino), 2005, 110:500-507.
- [9] Lu B, Mao SS, Zhuang N, et al. Coronary artery motion during the cardiac cycle and optimal ECG triggering for coronary artery imaging. Invest Radiol, 2001, 36:250-256.
- [10] 王青,马祥兴,李传福,等.16 层螺旋 CT 肺血管造影在肺动脉栓塞诊断中的应用.中华放射学杂志,2004,38:711-713.
- [11] 吕颀,张兆琪,王珏,等.螺旋 CT 增强扫描在诊断和治疗肺动脉栓塞中的应用.中华胸心血管外科杂志,2001,7:198-200.
- [12] Qanadli SD, Hajjam ME, Mesurolle B, et al. Pulmonary embolism detection: prospective evaluation of dual-section helical CT versus selective pulmonary arteriography in 157 patients. Radiology, 2000, 217:447-455.
- [13] 肖文莲,罗明贤,罗光华,等.多层螺旋 CT 血管成像对主动脉夹层动脉瘤的诊断价值.中国医学影像学技术,2004,20:1714-1716.
- [14] 李晓兵,田建明,王培军,等.多层螺旋 CT 血管造影对腔内隔绝术后内漏的诊断价值.中华放射学杂志,2004,38:184-187.
- [15] Shanmugam G, McKeown J, Bayfield M, et al. False positive computed tomography findings in aortic dis-

(下转第 80 页)

- immunoglobulin deposits at the nodes of Ranvier. *Acta Neuropathol(Berl)*, 1991, 82:378-383.
- [3] Cappellari A, Nobile-Orazio E, Meucci N, et al. Criteria for early detection of conduction block in multifocal motor neuropathy (MMN): a study based on control populations and follow-up of MMN patients. *J Neurol*, 1997, 244:625-630.
 - [4] Pfeiffer G, Wicklein EM, Wittig K. Sensitivity and specificity of different conduction block criteria. *Clin Neurophysiol*, 2000, 111:1388-1394.
 - [5] Katz JS, Wolfe GI, Bryan WW, et al. Electrophysiologic findings in multifocal motor neuropathy. *Neurology*, 1997, 48:700-707.
 - [6] O'Leary CP, Mann AC, Lough J, et al. Muscle hypertrophy in multifocal motor neuropathy is associated with continuous motor unit activity. *Muscle Nerve*, 1997, 20:479-485.
 - [7] Lagueny A, Le Masson G, Burbeaud P, et al. Single fibre electromyography in multifocal motor neuropathy with persistent conduction blocks. *J Neurol Neurosurg psychiatry*, 1998, 65:357-361.
 - [8] Molinuevo JL, Cruz-Martinez A, Graus F, et al. Central motor conduction time in patients with multifocal motor conduction block. *Muscle Nerve*, 1999, 22:926-932.
 - [9] Nobile-Orazio E, Cappellari A, Meucci N, et al. Multifocal motor neuropathy: clinical and immunological features and response to IVIg in relation to the presence and degree of motor conduction block. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2002, 72:761-766.
 - [10] Noguchi M, Mori K, Yamazaki S, et al. Multifocal motor neuropathy caused by a B-cell lymphoma producing a monoclonal IgM autoantibody against peripheral nerve myelin glycolipids GM1 and GD1b. *Br J Haematol*, 2003, 123:600-605.
 - [11] Olney RK, Lewis RA, Putnam TD, et al. American Association of Electrodiagnostic Medicine. Consensus criteria for the diagnosis of multifocal motor neuropathy. *Muscle Nerve*, 2003, 27:117-121.
 - [12] Villa A, Molina H, Sanz OP, et al. Lower motor neuron syndrome associated with anti-GM1 antibodies. *Medicine(B Aires)*, 1997, 57:270-274.
 - [13] Nobile-Orazio E, Meucci N, Barbieri S, et al. High-dose intravenous immunoglobulin therapy in multifocal motor neuropathy. *Neurology*, 1993, 43:537-544.
 - [14] Azulay JP, Rihet P, Pouget J, et al. Long term follow up of multifocal motor neuropathy with conduction block under treatment. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1997, 62:391-394.
 - [15] Terenghi F, Cappellari A, Bersano A, et al. How long is IVIg effective in multifocal motor neuropathy? *Neurology*, 2004, 62:666-668.
 - [16] Van den Berg-Vos RM, Franssen H, Wokke JH, et al. Multifocal motor neuropathy: long-term clinical and electrophysiological assessment of intravenous immunoglobulin maintenance treatment. *Brain*, 2002, 125:1875-1886.
 - [17] Vucic S, Black KR, Chong PS, et al. Multifocal motor neuropathy: decrease in conduction blocks and re-innervation with long-term IVIg. *Neurology*, 2004, 63:1264-1269.
 - [18] Pestronk A, Florece J, Miller T, et al. Treatment of IgM associated polyneuropathies using rituximab. *J Neurosurg Psychiatry*, 2003, 74:485-489.

(上接第 76 页)

- ection. *Heart lung Circ*, 2004, 13:184-187.
- [16] 杨延宗, 王照谦, 王鸣道, 等. 多层螺旋 CT 在评价心房颤动导管射频消融术后肺静脉狭窄中的应用. *中华心血管病杂志*, 2004, 32:217-220.
 - [17] Jongbloed MR, Bax JJ, Lamb HJ, et al. Multislice computed tomography versus intracardiac echocardiography to evaluate the pulmonary veins before radiofrequency catheter ablation of atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 45:343-350.
 - [18] Piorkowski C, Hindricks G, Schreiber D, et al. Electroanatomic reconstruction of the left atrium, pulmonary veins, and esophagus compared with the "true anatomy" on multislice computed tomography in patients undergoing catheter ablation of atrial fibrillation. *Heart Rhythm*, 2006, 3:317-327.
 - [19] 柳宏波, 韩波, 王锡明, 等. 多层螺旋 CT 在法洛四联症诊断中的应用进展. *国际儿科学杂志*, 2006, 33:105-107.
 - [20] 周阳洪, 韩萍, 冯敬生, 等. 多层螺旋 CT 血管造影在小儿复杂先天性心脏病中的临床应用价值. *中华小儿外科杂志*, 2005, 26:579-582.