



• RSNA2017 聚焦 •

RSNA2017 心脏 CT 研究进展

刘珮君, 王怡宁, 易妍, 王鹏, 金征宇

【摘要】 2017 年 RSNA 关于心脏 CT 方面的研究热点和重点主要包括以下几个方面:①冠脉成像方面,如迭代重建技术的应用、钙化积分和斑块的相关分析;②功能成像方面,如血流储备分数(fractional flow reserve,FFR)、CT 灌注成像(CT perfusion imaging,CTPI)及 4D 血流(4D flow)技术等;③技术研究方面,如光子计数 CT(photon-counting CT,PCCT)和能谱 CT;④人工智能的相关应用;⑤CT 在心脏瓣膜疾病及先天性心脏病中的应用。相比于 2015 和 2016 年,今年有关低对比剂剂量及低辐射剂量的研究明显减少。

【关键词】 心脏;冠状动脉疾病;体层摄影术,X 线计算机;能谱成像;人工智能

【中图分类号】 R541;R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)04-0333-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.04.001

2017 年 RSNA 年会共收录了全球约 4060 篇学术报告,其中口头发言 1500 篇、学术展板 760 篇及教育壁报约 1800 篇。中国学者发表 340 篇学术报告,占全球 RSNA 学术报告数量的 8%,其中口头发言 209 篇、学术展板 118 篇、教育壁报 13 篇。回顾 2011 年到 2017 年 RSNA 年会收录的中国学者学术报告的数量,可以看出总量整体呈上升趋势(图 1),而且 2017 年中国学者口头发言总量显著超过日本和韩国(图 2)。

2017 年 RSNA 年会上所有心脏影像方面的相关学术报告共约 338 篇(以“cardiac”为关键词检索),其中以心脏 CT 为主的学术报告约 155 篇(以“cardiac CT”为关键词检索),以心脏 MRI 为主的学术报告约 78 篇(以“cardiac MRI”为关键词检索),以其它心脏影

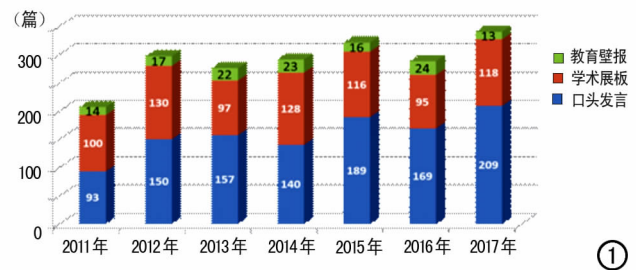


图 1 中国学者近年来学术报告数量

像学技术如 PET 等为主的学术报告约 105 篇。在 2017 年心脏 CT 相关学术报告中,中国学者发表约 29 篇学术报告,占全部心脏 CT 研究的 19%。现将

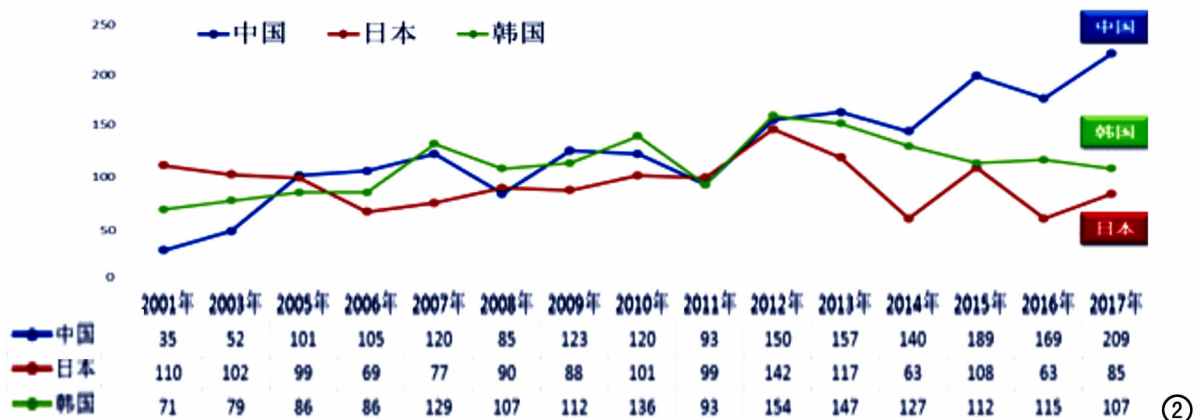


图 2 中韩日三国 2001—2017 年 RSNA 年会收录的学术报告的数量对比

作者单位: 100730 北京,中国医学科学院北京协和医学院 北京协和医院

作者简介: 刘珮君(1991—),女,山西吕梁人,硕士研究生,主要从事心血管影像诊断和研究工作。

通讯作者: 王怡宁, E-mail: yiningpumc@163.com

2015—2017 年 RSNA 年会上心脏 CT 方面的研究进展概述如下。

2015 年 RSNA 年会上关于心脏 CT 方面的研究热点和重点主要包括以下几个方面:①CT 灌注成像和延迟成像对心肌组织特征的研究;②心脏 CT 在经导管主动脉瓣置换术前评估的应用;③第三代双源 CT 和双能量 CT 在冠状动脉血管成像中的应用优势^[1]。

2016 年 RSNA 年会上关于心脏 CT 方面的热点和重点主要包括以下几个方面①CT 灌注成像和延迟成像对心肌组织特征的研究;②CT 低剂量在冠状动脉血管成像中的应用;③心脏 CT 在心脏瓣膜疾病及先天性心脏病中的应用^[2]。

笔者对 2017 年 RSNA 年会上心脏 CT 方面的研究热点按疾病类型分类总结:①冠心病,包括冠脉成像篇、功能成像篇、技术研究篇及智能新时代;②非冠心病类疾病,主要包括心脏瓣膜疾病及先天性心脏病。

冠心病的相关研究

1. 冠脉成像

主要包括冠状动脉 CTA、斑块分析、迭代重建和运动校正技术三方面的内容。

冠状动脉血管成像(coronary CT angiography, CCTA)目前作为安全和准确的无创影像学技术,已经获得临床广泛应用,除基于形态学的冠脉狭窄判断,冠脉 CTA 可以提供更多有意义的血流动力学信息。Zhang 等以介入手术中血流储备分数(FFR)为金标准,利用冠脉 CTA 的结果,计算 Duke jeopardy 评分与最小管腔直径的比值。结果显示,FFR ≤ 0.8 的入组患者的 Duke jeopardy 评分与最小管腔直径的比值显著高于 FFR >0.8 的入组患者。因此基于 CCTA 的 Duke jeopardy 评分和最小管腔直径的比值可以有效预测冠脉狭窄的血流动力学。

钙化积分对冠心病有很强的预测价值。Nadjiri 等通过比较标准钙化积分图像,研究能谱 CT 虚拟平扫检测钙化积分的准确性,结果显示,当虚拟平扫上测量的钙化积分值乘以逻辑回归模型的斜率(2.1)时,其与标准的钙化积分图像有很好的-一致性。Cademartiri 等研究不同的重建参数对钙化积分和心血管危险再分类的影响,结果显示核心值(kernel)、扫描野、扫描层厚和间隔是影响钙化积分的最主要因素,尽管不同的重建方案有较高的一致性和相关性,但是更大的扫描范围、更薄的层厚和更锐利的核心值(kernel)与基于钙化积分的心血管风险再分类有明显相关性。Cha 等研究亚洲人群 MRI 未识别心梗的发生率及它与冠状动脉钙化积分的关系,结果显示亚洲人群 MRI 未识别

心梗的发生率为 2.3%,由于高钙化积分可以预测 MRI 未识别心梗,所以钙化积分大于 301 的患者可能成为心脏 MRI 心梗诊断阴性的潜在预测因素。

斑块的相关因素分析:目前,大部分的心血管研究集中在检测冠状动脉狭窄(引起症状和心肌缺血),而不是研究冠状动脉粥样硬化病灶的特点。尸检结果显示大部分急性冠脉综合征患者是因斑块突然破裂引起管腔栓塞而导致的。因此,在预测不良事件中,评估斑块的形态和负荷相比于评估冠状动脉管腔狭窄程度显然更加重要。①不稳定斑块。Song 等使用 MSCT 研究各种非钙化不稳定斑块和稳定性斑块的特点,结果显示不稳定斑块的 CT 值低于稳定性斑块,而且不稳定斑块出现“餐巾纸环征”(napkin-ring sign)较稳定性斑块更常见,不稳定斑块更易发生管腔的狭窄和闭塞。总之,MSCT 在识别斑块稳定性方面有杰出表现。Tan 等研究高风险斑块与 CT-FFR 的相关性,结果显示,急性胸痛患者中高风险斑块、冠脉管腔狭窄 $>50\%$ 以及正性重构与 CT-FFR $\leq 80\%$ 之间具有正相关关系。因此,对高风险斑块的评估决定急性胸痛患者的进一步治疗。Huang 等研究 HIV 阳性患者药物治疗对钙化积分和斑块形成的影响。结果显示使用药物的时间越长,钙化积分越高,非钙化斑块的发生率也越高。②斑块负荷。Tang 等研究内膜剪切力(endothelial shear stress, ESS)及斑块负荷是否与 FFR ≤ 0.8 有关,结果显示高 ESS 及斑块负荷与 FFR ≤ 0.8 之间具有相关关系。因此 ESS 可以预测心肌缺血,这表明内膜功能的改变与诱导性局部心肌缺血有关。El-moniem 等评估性别在斑块负荷(由 CT 测得)和冠脉管壁厚度(由 MRI 测得)关系中的作用。结果显示,年龄、性别及冠脉管壁厚度是斑块负荷的预测因子。另外,在斑块负荷评分中,性别仍然是一个重要的影响调节因子,在女性中冠脉管壁的厚度,而在男性中年龄是冠状动脉斑块负荷评分的唯一有统计学意义的预测指标。Tan 等研究尿酸水平与斑块负荷的关系。结果显示,尿酸水平与冠状动脉斑块总体积具有显著相关性,但是尿酸水平与低密度斑块的体积无显著相关性。因此,血清中尿酸水平在总斑块负荷的病理生理机制中起着独立的作用。

迭代重建和运动校正技术:冠状动脉管腔严重钙化、心率不齐及心脏置入金属装置会影响冠状动脉 CT 的诊断,不同的重建算法对图像质量有不同的影响。Chen 等运用前瞻性自适应统计迭代重建-V(ASiR-V)算法评估冠状动脉的图像质量和辐射剂量,将患者按 ASiR-V 0%,ASiR-V30%和 ASiR-V50%分成三组,分别比较这三组的图像质量,结果显示 ASiR-V30%重建算法的 CNR、SNR 最佳、辐射剂量最低,因

此前瞻性自适应统计迭代重建-V(ASiR-V)算法有望成为新的临床选择。Wang 等研究基于探测器硬件的迭代重建算法(ADMIRE)对于钙化斑块图像质量的影响,图像扫描数据分别采用滤波反投影(FBP)和 ADMIRE(强度 1~5)算法进行重建,结果显示无论是否有钙化斑块存在,ADMIRE 算法都能显著提高 CCTA 的图像质量,其中在迭代强度为 4 时获得最优的图像质量。同时,使用运动校正算法也可以提高图像质量。Inada 等研究运动校正算法对心脏不同时相冠状动脉图像质量的影响。结果显示,使用运动校正技术后可诊断图像的心脏时相范围为 60%~85%,而未使用运动校正技术时可诊断图像的心脏时相范围为 65%~80%。因此,运动校正算法不仅可以提高图像质量,同时也可以扩大可诊断的心脏时相范围。

2. 功能成像的相关研究

血流储备分数(FFR)是通过特殊的导管测定并计算冠脉狭窄远端和近端血流压力的比值来判断引起心肌缺血的冠脉,是诊断冠状动脉血供减少的金标准。CT-FFR 则是通过数学模型计算,在 CT 上模拟计算出 FFR 值。CT-FFR 的优势是基于普通的 CCTA 就可模拟得到 FFR 的数据,无需特殊的成像技术,无需额外增加辐射剂量,且无需任何药物处理。①CT-FFR 诊断准确性。Giannopoulos 等以介入手术中血流储备分数(FFR)为金标准,分析了用基于 Lattice Boltzmann 的三维流体动力学计算方法来分析 CT-FFR 对诊断冠状动脉狭窄的准确性。结果显示,其诊断冠脉狭窄的特异度、敏感度及诊断符合率分别为 97.7%、79.3%和 90.4%。Hiraii 等以心肌灌注 MRI 作为金标准,分析 CT-FFR 检测心肌缺血的诊断准确性。结果显示 MRI 显示的心肌缺血区域的 CT-FFR 值明显低于 MRI 显示正常的区域,CT-FFR 检测心肌缺血的敏感度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 62.9%、82.6%、58.6%和 85.0%。②CT-FFR 的影响因素。Okada 等研究硝酸甘油对 CT-FFR 的影响。结果显示,在 CCTA 检查前服用硝酸甘油可以降低 CT-FFR 诊断的假阳性率。同时,Tang 等研究图像质量及病灶特点对 CT-FFR 诊断准确性的影响,结果显示主动脉 SNR 高及较小的血管直径会增加 CT-FFR 评估的绝对错误率,较小的血管直径也会降低 CT-FFR 与介入方法测量的 FFR 之间的一致性。Sakabe 等研究心脏时相对 4D 图像追踪 CT-FFR 的影响,结果显示心脏舒张中期 CT-FFR 的值明显低于整个舒张期的 CT-FFR 值,但是,以 CT-FFR<0.8 为标准,舒张中期和整个舒张期检测心肌缺血相关病变的诊断准确性并无显著差异,并且舒张中期患者接受的辐射剂量较整个舒张期低。③CT-FFR 对治疗策略的

影响。von Knebel Doeberitz 等研究 CT-FFR 对治疗策略的影响,结果显示 CT-FFR 对于指导临床确定患者是否需要行血管再通术及选择合适的血管再通策略有杰出的表现。

负荷心肌灌注技术通过一次动态心肌灌注的扫描可以同时得到解剖结构学的信息和功能学的数据,从而更准确地判断心肌缺血和血管狭窄的情况,为临床治疗方案的确提供可靠信息。①CT 灌注成像(CT-PI)的诊断准确性。Yi 等以有创冠脉造影检查(ICA)及血流储备分数(FFR)为金标准,分析三磷酸腺苷负荷动态心肌灌注成像检测心肌缺血的准确性。结果显示基于患者分析的诊断敏感度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为 95.0%、100.0%、100.0%和 85.7%;基于每支血管分析的诊断敏感度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为 96.2%、94.5%、89.3%和 98.1%;同时,CTPI 的有效辐射剂量为 (4.48 ± 1.87) mSv。②一站式检查。Yi 等使用 70kV 负荷 CT 动态增强心肌灌注扫描评估心肌供血情况,并在动态灌注图像中提取一期最佳增强时相作为单期冠状动脉 CTA 图像(SP-CCTA)用以评估冠脉的狭窄情况。结果显示,SP-CCTA 图像质量与常规冠脉 CTA 无明显差异,而动态灌注成像的平均有效辐射剂量仅为 (3.92 ± 1.72) mSv。这种一站式的在超低剂量动态心肌灌注成像中提取冠脉 CTA 图像的方法,有望取代额外的常规冠状动脉扫描,并同时可获取解剖和功能学的信息。此外,von Spiczak 等采用 3D 融合图像一站式评估心脏的形态和功能。③CTPI 对不良心血管事件的预测价值。Nakamura 等评估动态心肌灌注对于心血管不良事件的预测价值,结果显示 CTA+/CTP+组与 CTA+/CTP-组的无事件生存率在严重心血管事件和所有不良心血管事件中均有显著差异,而 CTA-/CTP+组和 CTA-/CTP-组中没有不良心血管事件发生。所以动态心肌灌注成像可以预测心脏的不良事件,同时可以为冠状动脉严重狭窄的患者提供额外的预测价值。

目前 CT 技术可以提供高分辨率的心脏解剖结构图像,但是不同于 4D 血流 MRI 以及超声心动图,CT 除了可提供 FFR 分析外,几乎不能直接评估血流的其它信息。Lantz 等使用最新的 4D 血流 CT(4D Flow CT)技术分析心脏的血流量,结果显示 4D 血流 CT 技术测量的峰值流速和每搏输出量与 4D 血流 MRI 具有很好的一致性。

3. 技术研究篇

光子计数探测器(photon-counting detector, PCD)CT 是一项新技术,相比于传统能量集合探测器(EID),PCD 具有诸多优势:减少电子噪声,提高信噪

比;改善图像对比;可使用多个能量成像从而可有效进行物质分解。因此,PCD-CT 有望提高诊断准确性,带来新的临床应用方法。Hickethier 等研究能谱双层 CT 系统(SDLCT)和能谱光子计数探测器 CT 系统(SPCCT)中的传统图像和单能谱图像重建(monoE)对支架内软斑块和血管再狭窄的评估准确性,结果显示在 SPCCT 中传统图像、50keV 及 70keV 图像均可以清晰显示支架,而在相应的 SDLCT 图像上显示支架更困难;尽管 100 和 140keV 可以降低支架伪影,但此时冠状动脉管腔强化程度也减低,从而导致冠脉支架内管腔显示不清,所以相比于 50keV、100 和 140keV 的诊断准确性明显降低。因此用 SPCCT 传统图像重建和低 keV 重建可以显著提高支架内软斑块的再狭窄的诊断准确性。Sigovan 等使用传统集合探测器能谱 CT(IDSCT)和能谱光子计数 CT(SPCCT)体外评估冠状动脉狭窄,结果显示:与 IDSCT 相比,SPCCT 显著提高了对具有钙化斑块的冠状动脉管腔的评估。因此,这种新技术有望提高对冠状动脉管腔狭窄的评估准确性,尤其对于冠脉管腔严重钙化的患者。

能谱 CT 是利用来自不同能量的衰减数据表征物质的组成成分,除可提供传统的诊断图像外,能谱 CT 还可提供虚拟单能量图像、虚拟平扫图像、碘图及有效原子序数图像,这些可以弥补及克服传统图像的局限性。Symons 人评估传统混和重建、虚拟单能量重建(virtual monoenergetic, VM)及频谱噪声优化(frequency spectrum noise-optimized virtual monoenergetic, VMO)重建对斑块探测及定量分析的影响,结果显示:40~70keV 后处理优化的虚拟单能量图像检测斑块的 CNR 较好,较其它重建方法的 CNR 提高 25%~28%;但是,由于缺乏软件优化,最低能量(40keV)图像可能容易出现斑块量化的错误。因此,与传统 CT 图像相比,使用优化的低 keV 图像可以显著改善冠状动脉斑块的图像质量。Yunaga 等使用快速电压切换单源双能(SSDECT)研究不同虚拟单能图像对于钙化斑块伪影及冠脉管腔直径的影响,结果显示不同单能谱图像不会影响对冠状动脉钙化斑块的直径和钙化的冠状动脉管腔直径的测量。

4. 智能新时代

基于机器学习人工智能方法在心脏领域的应用。Teschke 等研究钙化斑块对机器学习 CT-FFR 的影响,结果显示机器学习 CT-FFR 在所有的钙化积分中都有很高的诊断性,这不仅有利于将 CT-FFR 整合到冠心病患者的临床管理中,而且对于冠状动脉重度钙化的患者也十分重要。Hamersvelt 等研究通过深度学习的方式提高 CCTA 检测冠心病患者功能改变的特

异性。Commandeur 等研究运用深度学习自动量化心脏周围的脂肪,结果显示:这种方法与实际测量结果间具有很高的相关性及一致性。因此运用这种方法有利于对心血管风险评估及不良心血管事件的预测。

心脏瓣膜疾病及先天性心脏病

相比于经食管的二维超声心动图(TEE),CT 不仅可以更清楚显示瓣膜及瓣膜根部的特点,也可定性评估(瓣膜的形态、瓣环的程度及瓣叶连接部的钙化)和定量评估(大小)瓣膜和瓣膜根部的情况。Koo 等比较主动脉瓣人工瓣膜的大小和 CT 测量二尖瓣型主动脉及三尖瓣型主动脉瓣膜的大小,结果显示 CT 测量的二尖瓣型主动脉瓣膜的参数与人工瓣膜及三尖瓣型主动脉参数具有很好的相关性。因此,CT 测量瓣膜的参数对于外科手术选择(AVR 和 TAVI)合适的瓣膜是十分重要的。Suh 等研究 CT 在二尖瓣返流术前评估的应用,结果显示心脏 CT 在检测二尖瓣脱垂的部位和在手术前预测不可修复的二尖瓣方面有杰出的表现,在 CT 图像上瓣膜的形态如严重的瓣膜增厚或钙化是不可修复二尖瓣最重要的预测因子。

另外,对于先天性心脏病患者,CT 不仅可以观察患者心脏的解剖结构及复杂的血流动力学改变,而且还可以观察患者术后的改变及长期的影响。Contijoch 等使用低剂量 4D 电影 CT 自动量化分析成人先天性心脏病(ACHD)患者右心室整体和局部的收缩功能,结果显示:通过识别成人先天性心脏病右心室运动障碍的局部特征可以更精确量化右心室的功能;同时,CT 还可以观察冠状动脉的异常起源及走行。Kaiyue 等评估中国西南地区右冠异常开口患者的预后,研究发现中国西南地区右冠异常开口发病率与我国其它地区的发病率相当,而血管狭窄程度则是最具预测恶性心血管事件发生的风险因子。因此对于血管狭窄程度严重的右冠开口异常并进行保守治疗的患者而言,避免过度运动是非常有必要的,该研究为患者个体化的诊疗提供了有力的临床证据。

总之,随着科研水平的提高,中国学者 RSNA 学术报告数量逐年升高,而在心脏 CT 研究领域中,冠心病仍然是最重要的研究内容,而新技术的发展有利于进一步分析心脏的结构和功能,为心血管疾病的预防、治疗及预后提供了新思路。

参考文献:

- [1] 黄璐,冉玲平,夏黎明. RSNA2015 心脏 CT 和 MR[J]. 放射学实践,2016,31(3):202-205.
- [2] 冉玲平,黄璐,夏黎明,等. RSNA2016 心脏 MRI/CT[J]. 放射学实践,2017,32(1):3-7.

(收稿日期:2017-02-25)