

· 综 述 ·

# 冠状动脉性心脏病CT形态学与功能学评价的研究进展

李 婧<sup>1</sup>,刘挨师<sup>2</sup>

(1.内蒙古医科大学,内蒙古 呼和浩特 010059;2.内蒙古医科大学附属医院 影像诊断科)

**摘 要:**冠心病发病率极高,严重影响人类健康。冠状动脉病变是否引起心肌灌注缺损有重要的临床指导意义。CT多模态分析可从形态学与功能学角度对冠心病构效关系与致病机制进行解释与揭示,对临床精准治疗具有指导价值。综述冠状动脉性心脏病CT形态学与功能学评价的研究进展。

**关键词:**双能量;CT灌注;冠心病;心肌

中图分类号:R 123.1

文献标识码:A

文章编号:1673-9388(2021)05-0406-06

DOI:10.19891/j.issn1673-9388.(2021)05-0406-06

## PROGRESS IN CT MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL EVALUATION OF CORONARY HEART DISEASE

LI Jing, LIU Ai-shi

(Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010059 China)

**Abstract:** The incidence of coronary heart disease is extremely high and seriously affects human health. Whether coronary artery lesions cause myocardial perfusion defects has important clinical significance. CT multi-modal analysis can explain and reveal the structure-activity relationship and pathogenic mechanism of coronary heart disease from the perspective of morphology and function, and has guiding value for clinical precision therapy. This paper reviews the progress of CT morphological and functional evaluation of coronary heart disease.

**Key words:** dual energy; CT perfusion; coronary heart disease; myocardial

冠状动脉粥样硬化性心脏病指冠状动脉发生粥样硬化造成管腔狭窄或闭塞,导致心肌缺血缺氧或坏死而引起的心脏病,简称冠心病。心血管疾病已成为全球范围内死亡率最高的疾病,其中冠心病占心血管疾病中比例最大<sup>[1]</sup>。《中国心血管病报告2018》显示,近年来,中国城乡居民的急性心梗及冠心病死亡率不断攀升,严重危害人类健康<sup>[2]</sup>。

2019版的欧洲心脏学会(European Society of Cardiology, ESC)指南推荐<sup>[3]</sup>,需要综合评估冠心病患者的症状体征、生活质量及一般检查,并作出相应的处理,不能通过临床评估排除阻塞性冠心病的患者,采用无创功能性影像学检查或冠状动脉CT

血管造影(coronary computed tomography angiography, CCTA)作为诊断冠心病的初步检查,利用CCTA的极高阴性预测值排除冠心病;选择无创功能学检查,评估是否存在心肌缺血及缺血范围。综合评估检查结果,判断患者发生包括心源性死亡、非致死性心肌梗死、需血运重建的风险,低危患者进行非手术治疗,包括生活习惯调整、危险因素控制和药物治疗。冠状动脉狭窄与心肌缺血分别反映了冠心病形态学与功能学信息,二者并不完全对应,大多数从事冠心病介入诊疗的心血管病专家认为,当冠状动脉造影测定表明冠脉狭窄程度大于70%时,我们可以怀疑有造成心肌缺血的风险,临床上

收稿日期:2021-08-24;修回日期:2021-10-12

作者简介:李婧(1995-),女,内蒙古医科大学2019级在读硕士研究生。

通讯作者:刘挨师,主任医师,E-mail:liuایش@sina.com,内蒙古医科大学附属医院影像诊断科,010050

才应采取相应的措施重建血运,狭窄程度小于70%时则需要结合临床及其他检查全面评估是否有必要血运重建。指南指出,冠状动脉狭窄率>90%及确定与缺血有关及药物治疗无效的患者,以上情况进行血运重建能够有效的治疗疾病,未诱发心肌缺血患者不建议采取血运重建的措施,应当首选药物治疗<sup>[3]</sup>。因此,确定狭窄病变是否引起心肌缺血极其关键,通过影像学检查进行形态学与功能学的评估对于冠心病精准诊断与治疗起着至关重要的作用。

## 1 CT技术进步

CT由最初的16层发展到64层,极大的改善了时间分辨力与扫描速度,获得质的飞跃,现如今的宽体探测器(256或320排),在一次机架旋转中实现了全心脏覆盖<sup>[4]</sup>。128层双源CT时间分辨率与采集速度空前提高,拥有66~75 ms的时间分辨率与45~70 cm/s的扫描速度,一次心脏采集时间300ms以下,显著提高技术适用性与普遍性<sup>[5]</sup>。192层双源CT“双低”扫描模式(低辐射剂量、低对比剂用量)的采用,使其在临床应用中得到广泛关注,为CT心肌灌注开拓了更加广泛的应用空间,对心肌缺血的评估提供了无以比拟的帮助<sup>[6]</sup>。

## 2 CT形态学

目前评价冠状动脉血管形态改变的“金标准”是侵入性冠状动脉造影(invasive coronary angiography, ICA),但是观察不到冠状动脉微血管、不能进行血流动力学及功能学的分析,且有创,风险极大,并发症较多,而且费用高,因此,在临床中难以广泛应用于冠心病的诊断。CCTA能无创、快捷、安全、准确地提供冠状动脉解剖学信息,其极高的阴性预测值和灵敏度、较高的阳性预测值和诊断准确度,已被公认可以作为一种可靠的检测阻塞性冠状动脉疾病的无创方式<sup>[7]</sup>。

### 2.1 CCTA

根据2010年美国冠状动脉CT血管造影专家共识<sup>[8]</sup>等指南性文件,专家指出CCTA的明确适应证包括:(1)冠心病可能性为中度或低度者,有早发冠心病家族史,或心电图和心肌标志物诊断价值不确定;(2)心电图运动试验或负荷心肌显像结果提示中危者,CT显示钙化积分 $\leq 400$ ;(3)新发或新诊断的临床心力衰竭且无冠心病史。

CCTA在临床应用中具有多方面优势<sup>[9]</sup>:(1)中-低危可疑冠心病的筛检和排查,对于经CCTA检查疑似冠心病、无或轻度冠状动脉粥样硬化的患者不需要进一步研究;(2)急性冠脉综合症的排除诊断与临床评价;(3)斑块的定量分析及危险评估;(4)冠脉支架置入及冠脉搭桥术后评估。但是CCTA也有一定的局限性:(1)对比剂对肾功能有一过性影响;(2)诊断准确性受钙化伪影及移动伪影的影响;(3)不能提供冠状动脉病变血流动力学方面的信息;(4)图像质量容易受到多种因素影响,包括心率、心律等。有专家指出,为了保证图像质量和降低辐射剂量,应使用64排或以上的设备行CCTA检查。

### 2.2 冠状动脉钙化积分(CACS)

冠状动脉钙化程度的量化指标是冠状动脉钙化积分(coronary artery calcification score, CACS)。CACS由最初的电子束CT(electron beam computed tomography, EBCT)发展到多层螺旋CT(MSCT),MSCT能准确识别钙化并且定量钙化,逐渐在临床中用于测定CACS。CACS对冠心病有一定预测及筛查价值,CACS阴性表明发生冠状动脉疾病的可能性较低;同样,CACS阳性,证明存在冠状动脉粥样硬化,而且钙化越多,狭窄程度越严重,发生心血管事件的风险越高,与预后不良心脏事件(心肌梗死及猝死)的发生有良好的相关性,能指导药物(如他汀类药物)干预,且为预后随访提供较为全面的信息<sup>[10]</sup>。但是由于冠状动脉粥样硬化处于不同病理阶段,其组成成分不同,CACS与相应血管并非一一对应,其不能独立诊断冠心病,且无法全面评估冠状动脉狭窄程度及位置,需要结合临床及其他检查提高诊断准确性。

### 2.3 斑块CT

冠状动脉粥样硬化由最初的脂纹期到形成粥样斑块,并引发斑块出血、破裂或血栓形成等,是一个漫长的病理过程,包括有脂质的沉积,纤维组织的增生和钙质的沉着、并有动脉中层蜕变和钙化,CT通过对冠状动脉斑块进行定性及定量分析,按照成分组成,将斑块分为3种:软斑块、混合性斑块和钙化性斑块,斑块同时具有CT值 $< 35$  HU及点状钙化的特征高度提示斑块的易损性,一般软斑块比例越高,越容易破裂脱落,越属于高危患者,随着危险分层的降低,钙化斑块比例开始增高或无斑块<sup>[11]</sup>。CCTA能够通过定性及定量分析斑块,进一步评估冠状动脉斑块的风险。

## 3 CT功能学

无创性评价心功能的影像学方法主要有核素心肌灌注显像(myocardial Perfusion Imaging, MPI)、超声心动图、CT和磁共振成像(MRI)等。(1)MPI是心肌灌注的经典无创性检查方法,但是MPI检查程序复杂,时间长,费用高,并且不能提供解剖结构信息等;(2)超声心动图检查操作方便,在临床中广泛用于评估心功能,但是其空间分辨率较低,受操作者主观影响较大;(3)MRI将冠状动脉的评估与心肌缺血相关的其他特征检查结合起来,可以准确的定量分析血流,并作为心肌灌注的参考,而且空间分辨率高,但是,在最新的硬件平台上,CT-MPI和MRI-MPI之间的直接比较仍然缺乏,需要进一步的研究来确定哪种模式在缺血成像方面更优越<sup>[12]</sup>。随着CT技术的发展,CT评价心功能进入了一个新的阶段,下面将讨论CT功能学的临床应用。

### 3.1 CT心功能评价

目前,CT已被广泛用于心脏功能学评价,有学者采用320排MSCT进行静息及负荷心肌灌注扫描,通过所得收缩末期容积(end systolic volume, ESV)、舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)等数据判断缺血心肌功能学改变,为冠心病综合评价及预后评估提供依据。随着CT技术不断进步,心功能的准确即时评估更多的受益于CT新技术。

### 3.2 血流储备分数

血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)可以提供冠状动脉形态学改变之后导致的功能学改变,诊断血流动力学相关的冠状动脉病变,在血运重建方面可以提供有用的指导决策,当FFR值 $\geq 0.75$ 时,血运重建可以适当推迟;而FFR $\leq 0.80$ 时,病变可受益于血管再灌注<sup>[13]</sup>。FFR指有心外膜狭窄时的血流量与无心外膜狭窄时的血流量之比,通过冠状动脉狭窄远端压力与狭窄近端压力的比值来表示。相关临床评估,当冠状动脉血管狭窄病变(FFR $< 0.80$ )时,行支架植入可以使心肌缺血症状较大程度改善,相比起术后并发症(包括支架内急性、亚急性血栓形成和再狭窄的风险等),获益相对明显,冠状动脉血流储备分数的提出为评价冠状动脉病变的血流动力学改变提供了新的方法,由于其使用方便、重复性好、不随心率和血压变化而变化,可以作为狭窄程度功能评估的一个参考标准。但是,FFR测定为有创性检查,且增加辐射剂量与手术风险,在临床实践中还是存在一定限制。

2011年,以CCTA图像为基础获得的FFR技术即CT-FFR用于评价心肌缺血获得广泛关注。将

CCTA获得的冠状动脉图像进行模拟计算冠状动脉血流流速和壁面剪切力,并结合计算流体动力学(computational fluid dynamics, CFD)技术,模拟出冠状动脉的血流动力学特点,从而利用得到的参数计算CT-FFR<sup>[14]</sup>。HeartFlowNXT试验<sup>[15, 16]</sup>中研究结果显示:以病变血管为基础的层面上,CT-FFR诊断缺血病变的准确率为81%、灵敏度为86%、特异度为79%、阳性预测值为65%、阴性预测值为92%;以患者为基础的层面上,准确率为86%,灵敏度为84%,特异度为86%,阳性预测值为61%,阴性预测值为95%。无论对于以病变血管还是以患者为基础,FFRCT均比CCTA具有更高的诊断价值,其主要贡献为提高了特异性,降低了假阳性率。

CT-FFR基于常规CT扫描,无需特殊成像技术,无需改变CCTA的操作流程,且无创、安全,无药物依赖,也不会增加碘负荷与辐射剂量,其巧妙的将CCTA和FFR两者的优势相结合,可以同时进行形态与功能从两方面评估冠状动脉狭窄及所致功能学改变,可以避免损伤较大的有创性检查及不必要的血运重建治疗。但是由于CT-FFR模拟的冠状动脉充血状态不能真实反映冠状动脉血管的弹性,在一定程度上影响其准确性;且计算量大,需要较长时间的图像处理 and 几何建模,因此,在临床中应用受到了一定的限制<sup>[17]</sup>。

### 3.3 CT心肌灌注

2020年心血管CT协会(SCCT)发表CT心肌灌注专家共识指出<sup>[18]</sup>:对于高度怀疑缺血性心脏病,已知冠心病、既往冠心病介入治疗史、重度钙化的患者,推荐进行CT心肌灌注成像与CCTA联合检查。此外,对于功能学意义尚不明确的冠状动脉狭窄病变,也可以行心肌灌注检查。CT心肌灌注显像(CTP)在临床应用中展现出应用前景<sup>[19]</sup>,CTP经历了EBCT、普通多排螺旋CT( $\leq 64$ 排螺旋CT)、宽体探测器CT(256排及320排)以及双源CT心肌灌注的发展阶段。

目前,双能量CT心肌灌注开始逐步应用于临床诊断。双能量CT利用两种不同能量的X射线分别对受检物质进行成像,根据衰减值的不同进行二维能量空间内的定位和成像运算,从而实现对物质分离与定量分析,且减少了射束硬化伪影的影响<sup>[20]</sup>。在进行CT增强扫描检查时,正常的心肌组织正常强化,而发生梗死或缺血的心肌组织则没有强化或强化程度降低。双能量CT利用物质分离与定量技术,通过伪彩图表达出不同心肌所对应的强化程度,同时还可以对组织内的碘进行定量计算。双

源CT使用两组球管同时扫描,时间分辨率明显提高,一次扫描完成全心覆盖,解决了因心率快而图像质量差的问题,并综合利用能谱纯化技术、智能管电流调节技术以及迭代重组技术,使总的辐射剂量相较于常规回顾性扫描没有明显上升,而且图像质量得到了保证<sup>[21]</sup>。

在心肌灌注过程中,碘对比剂从冠状动脉传输到心肌,血流供应减少的心肌节段对比剂的摄取也相应减少,表现为灌注缺损,提示该节段心肌发生缺血或梗死。CT心肌灌注显像有静息和负荷心肌灌注以明确心肌缺血性病变,静息心肌灌注即时显像出心肌的强化程度,仅需单次扫描、不需注射腺苷、辐射剂量低,但是仅在冠状动脉有严重多支病变的情况下可以检测出病变,不能敏感的检测出可逆性灌注缺损。因此,CTP需要通过运动或药物负荷明确潜在的冠状动脉病变,负荷心肌灌注在注射腺苷后进行CT动态连续扫描,所测得的CT衰减与碘浓度呈线性关系,创建时间-密度曲线,得到心肌血流量(myocardial blood flow, MBF)、心肌血容量(myocardial blood volume, MBV)、达峰时间(time to peak, TTP)、组织通过时间(tissues transit time, TTT)等数据<sup>[15]</sup>。在评价心肌灌注时,MBF是描述心肌灌注最直接、最准确的参数,其中相对MBF灌注参数更不易受个体变异、扫描方案等因素的影响,在心肌缺血评估中诊断价值更大<sup>[22]</sup>。目前负荷CT心肌灌注扫描主要有两种采集方式,一种是先进行静息扫描,可以利用CCTA的能力排除阻塞性冠心病,但是心肌梗死区域可能有延迟的对比增强,这可能会被误认为正常灌注;另一种是先进行负荷扫描,易检测出心肌灌注缺损,但是会影响随后静息相图像质量及CCTA的评估。两种扫描顺序各有优缺点,具体哪种优先尚存争议。

莫绪凯等的Meta分析研究中显示CCTA联合CTP能够快速、安全且准确的发现潜在的功能性冠状动脉狭窄<sup>[23]</sup>。CCTA结合心肌灌注成像可以一站式提供冠状动脉形态学和心肌血流信息,能够最大限度地发现冠状动脉疾病,更好地分析心脏的形态学及功能学,在评估心肌缺血与梗死、监测心肌存活及指导介入治疗等各方面具有极大的帮助。

通过心肌灌注得到的定量参数,不仅反映了心外膜狭窄的血流限制效应的后果,也反映了微血管功能障碍的后果,事实上,大多数微循环障碍容易被忽视,但是冠状动脉循环功能障碍可以作为冠心病过程的功能性先兆,同样会引起心肌缺血或者导

致心肌梗死后灌注无复流现象,心肌梗死后,微血管损伤与长期恢复和预后不良息息相关,评估微循环功能以确定风险分层和后续干预效率至关重要。

有专家研究<sup>[24]</sup>,使用CTP-MBF研究了心肌梗死后心肌不同区域的微血管功能,分别比较在急性、亚急性、慢性心肌梗死下,梗死区、半暗带(邻近梗塞区的心肌)及梗死远端不同区域的微血管形成数量,访期间观察,与半暗带相比,在急性情况下经历更严重微血管功能障碍的梗死心肌中观察到的微血管功能恢复不太明显,表明CTP-MBF能够量化微血管功能损伤并反映其在随访期间的恢复,CTP-MBF提供了微血管功能的可靠评估,CTP-MBF可能是一种有前途的生物标志物,有助于对心肌梗死后患者进行有效的风险分层,并增强随访期间的治疗效果评估。

心肌再灌注是挽救缺血心肌的最有效方法,但是再灌注本身也会产生额外的损伤。冠状动脉微循环是急性心肌梗死及再灌注损伤的罪魁祸首和受害者。心外膜动脉粥样硬化斑块破裂并叠加血栓形成导致冠状动脉闭塞,必须清除该闭塞以诱导再灌注。然而,缺血和再灌注不仅会对心肌细胞造成损伤,还会对冠状动脉微循环造成损伤,包括碎片的微栓子化和罪魁祸首损伤中可溶性因子的释放、内皮完整性受损以及随后通透性增加和水肿形成、血小板活化和白细胞粘附、红细胞停滞、从血管舒张向血管收缩的转变,以及最终导致无复流的毛细血管结构损伤、微血管阻塞,心外膜动脉粥样硬化罪魁祸首病变远端的冠状动脉循环不是新鲜的,而是以内皮功能障碍为特征的,这是通过典型的危险因素(衰老、高血压、高脂血症;糖尿病等。更具体地说,心外膜狭窄远端的冠状循环重塑,较大的冠状动脉中的血管壁萎缩,较小的动脉和小动脉中的血管壁肥大,其自动调节血管舒缩反应减弱<sup>[24]</sup>。冠状微循环本身不仅暴露于从心外膜罪犯损伤处移出的动脉粥样硬化血栓碎片,并引起微栓塞、微梗塞和随后的炎症反应,还释放血管收缩剂,来自罪魁祸首病变的血栓前和促炎可溶性物质,特别是血清素、血栓素A2和肿瘤坏死因子 $\alpha$ 。由于冠状动脉微栓塞和对这些可溶性物质的反应,冠状动脉血管舒张储备严重受损。重复的亚临床冠状动脉微栓塞会导致存活心肌细胞的逐渐丧失,最终导致心力衰竭。

斑块侵蚀、破裂或破裂可在已确立冠状动脉粥样硬化的患者中自发发生,也可以经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)医源性/创伤性诱发。PCI术中冠状动脉微栓塞的发生

率不等,这取决于生物标志物及影像学的评估方法,比如,潜在心外膜冠状动脉粥样硬化病变的性质和复杂性,天然冠状动脉与隐静脉移植物的起源,介入技术(如动脉粥样硬化切除术、旋切术),以及患者的临床状况(如稳定型心绞痛与不稳定型心绞痛,冠状动脉钙化增强的慢性肾病等)。

一项 CORE320 研究中<sup>[25]</sup>,在存在明显狭窄的情况下,CT 灌注的正常灌注率低于 SPECT,证实了 SPECT 在检测与中度狭窄相关的血流小幅减少时可能不太敏感;而且研究分析发现,阻塞性疾病常见于男性,较少见于女性。然而,在没有明显狭窄的情况下,不仅正常者在女性中比在男性中更常见,而且缺血和无梗阻性狭窄的出现也增加了两倍,这具有临界意义。事实上,女性特异性冠心病表型的概念越来越被接受,但是在每只血管的基础上,没有发现男女之间的差异。

尽管人们越来越认识到缺血也可能在没有明显狭窄的情况下发生,但由于目前对梗阻性狭窄作为冠状动脉疾病标志的普遍关注,缺血和无梗阻性狭窄的患者目前仍未得到充分认识和治疗。无创检查在识别阻塞性冠心病以外的微循环障碍和指导临床医生做出治疗决策方面发挥着至关重要的作用。

#### 4 展望与不足

CCTA 在临床中筛查与诊断冠心病已被广泛接受,但是 CT-FFR 和双源 CT 心肌灌注尚未成熟,尤其患者在进行负荷心肌灌注时,由于存在一定风险,导致在进行过程中有难以广泛应用;图像后处理分析耗时长,导致临床应用的主动性及积极性不高;还有一些技术细节问题也尚未解决;对于心肌灌注的正常参考值、心肌缺血定量指标及最佳诊断阈值尚不明确等。

但应该看到,CT-FFR 与 CT 心肌灌注是 CT 对于心脏功能学成像的质的飞跃;而且评价冠状动脉性心脏病是否导致心肌缺血,存在巨大的临床需求。因此,CCTA、CT-FFR 与 CT 心肌灌注检查技术的一体化构建与多模态分析可同时实现形态学与功能学综合评价,对于冠心病的精准治疗提供更加有效、充分的证据。

#### 参考文献

[1]BENJAMIN EJ, MUNTNER P, ALONSO A, et al.Heart Dis-

ease and Stroke Statistics-2019 Update: A Report From the American Heart Association [published correction appears in Circulation. 2020 Jan 14; 141(2):e33][J]. Circulation. 2019; 139(10):e56-e528

- [2]胡盛寿,杨跃进,郑哲,等.《中国心血管病报告 2018》概要[J]. 中国循环杂志. 2019;034(003):209-220
- [3]KNUUTI J, WIJNS W, SARASTE A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes[J]. Eur Heart J. 2020;41(3):407-477
- [4]LEWIS MA, PASCOAL A, KEEVIL SF, et al. Selecting a CT scanner for cardiac imaging: the heart of the matter[J]. Br J Radiol. 2016;89(1065):20160376
- [5]NEEFJES LA, ROSSI A, GENDERS TS, et al. Diagnostic accuracy of 128-slice dual-source CT coronary angiography: a randomized comparison of different acquisition protocols[J]. Eur Radiol. 2013;23(3):614-622
- [6]陈钰,金征宇. 第 3 代双源 CT 的临床应用现状与展望[J]. 中国医学科学院学报, 2017(1):44-17
- [7]WILLIAMS MC, HUNTERr A, SHAH ASV, et al. Impact of noncardiac findings in patients undergoing CT coronary angiography: a substudy of the Scottish computed tomography of the heart (SCOT-HEART) trial[J]. Eur Radiol. 2018; 28(6): 2639-2646
- [8]American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents, MARK DB, BERMAN DS, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. J Am Coll Cardiol[J]. 2010;55(23):2663-2699
- [9]中华医学会放射学分会心胸学组,《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排 CT 临床应用指南写作专家组. 心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范应用中国指南[J]. 中华放射学杂志. 2017;51(10):732-743
- [10]GOFF DC JR, LLOYD-JONES DM, BENNETT G, et al. 2013 ACC/AHA guideline on the assessment of cardiovascular risk: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines [published correction appears in J Am Coll Cardiol. 2014 Jul 1; 63(25 Pt B):3026][J]. J Am Coll Cardiol. 2014; 63(25 Pt B): 2935-2959
- [11]汤艳萍,李令建. 64 排螺旋 CT 与选择性冠状动脉造影评价急性冠状动脉综合征患者易损斑块形态、成分及大小的价值对比研究[J]. 临床放射学杂志. 2016;35(8):1181-1185
- [12]Yang MX, Xu HY, Zhang L, et al. Myocardial perfusion assessment in the infarct core and penumbra zones in an in-vivo porcine model of the acute, sub-acute, and chronic infarction. Eur Radiol. 2021;31(5):2798-2808
- [13]LEVINE GN, BATES ER, BLANKENSHIP JC, et al. 2011 ACCF/AHA/SCAI Guideline for Percutaneous Coronary Intervention. A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions[J]. J Am Coll Cardiol. 2011;58(24):e44-e122

- [14] HU X, YANG M, HAN L, et al. Diagnostic performance of machine-learning-based computed fractional flow reserve (FFR) derived from coronary computed tomography angiography for the assessment of myocardial ischemia verified by invasive FFR. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2018; **34** (12): 1987-1996
- [15] GAUR S, ACHENBACH S, LEIPSIC J, et al. Rationale and design of the HeartFlowNXT (HeartFlow analysis of coronary blood flow using CT angiography: NeXt sTeps) study[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2013; **7**(5):279-288
- [16] NORGAARD BL, LEIPSIC J, GAUR S, et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: the NXT trial (Analysis of Coronary Blood Flow Using CT Angiography: Next Steps)[J]. *J Am Coll Cardiol*. 2014; **63**(12):1145-1155
- [17] 贾玉琳, 谢德轩, 张金玲, 等. CT在冠状动脉粥样硬化性心脏病“一站式”应用的研究进展[J]. *临床放射学杂志*, 2018; **37**(12):2123-2126
- [18] PATEL AR, BAMBERG F, BRANCH K, et al. Society of cardiovascular computed tomography expert consensus document on myocardial computed tomography perfusion imaging[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2020; **14**(1):87-100
- [19] 郑雪, 孙凯. 双源双能量CT心肌灌注成像的研究进展[J]. *国际放射医学核医学杂志*. 2016; **40**(1):301-305
- [20] 王未, 张龙江, 卢光明, 等. 第二代双源双能量CT心肌灌注成像的初步应用[J]. *放射学实践杂志*. 2014; **29**:993-997
- [21] WICHMANN JL, MEINEL FG, SCHOEPP UJ, et al. Semi-automated Global Quantification of Left Ventricular Myocardial Perfusion at Stress Dynamic CT: Diagnostic Accuracy for Detection of Territorial Myocardial Perfusion Deficits Compared to Visual Assessment[J]. *Acad Radiol*. 2016; **23** (4):429-437
- [22] LI Y, YU M, DAI X, et al. Detection of Hemodynamically Significant Coronary Stenosis: CT Myocardial Perfusion versus Machine Learning CT Fractional Flow Reserve[J]. *Radiology*. 2019; **293**(2):305-314
- [23] 莫绪凯, 林铭霞, 梁建业, 等. CT冠状动脉成像与心肌灌注评估冠心病的Meta分析[J]. *临床放射学杂志*, 2019; **38** (6):1020-1024
- [24] Heusch G, Skyschally A, Kleinbongard P. Coronary micro-embolization and microvascular dysfunction. *Int J Cardiol*. 2018; **258**:17-23
- [25] Schuijff JD, Matheson MB, Ostovaneh MR, et al. Ischemia and No Obstructive Stenosis (INOCA) at CT Angiography, CT Myocardial Perfusion, Invasive Coronary Angiography, and SPECT: The CORE320 Study. *Radiology*. 2020; **294**(1):61-73

(上接第390页)

得良好的效果,具有较高的应用价值和推广价值,适合在临床进行实施和开展。

## 参考文献

- [1] 隋雅菲. 精细化护理在慢性阻塞性肺疾病急性加重期合并2型呼吸衰竭患者中的应用研究[J]. *医学美容*, 2019; **028**(020):96
- [2] 周洁兰, 王瑞瑜, 吴艳姬. 营养支持精细化供给模式在老年慢性阻塞性肺疾病患者中的应用[J]. *国际护理学杂志*, 2021; **40**(08):1479-1482
- [3] 杜爱平, 黄兵. 无创正压通气致鼻面部压力性损伤相关因素分析[J]. *护理学杂志*, 2016; **31**(9):65-67
- [4] 梁晓琳, 刘佳. 无创呼吸机治疗COPD合并II型呼吸衰竭患者的护理研究[J]. *临床医药文献电子杂志*, 2017; **4**(53):123-124
- [5] 殷玉梅, 张传名. 以问题为导向的护理干预在行无创呼吸机通气患者中的应用[J]. *齐鲁护理杂志*, 2019; **25**(21):23-26
- [6] 吴永华. 整体护理在无创呼吸机治疗慢性阻塞性肺疾病合并呼吸衰竭患者中的应用效果[J]. *医疗装备*, 2019; **32**(21):168-169
- [7] 王艳红, 虞意华. 精细化护理在慢性阻塞性肺疾病急性加重期合并2型呼吸衰竭患者中的应用[J]. *中华全科医学*, 2019; **17**(2):321-324
- [8] 曹芹, 武庆平. 无创呼吸机治疗慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者的临床治愈率及经济成本分析[J]. *中国老年学杂志*, 2018; **38**(18):4405-4407
- [9] 黄雪芬. 人性化护理在COPD无创呼吸机护理中的应用[J]. *中国城乡企业卫生*, 2019; **34**(11):212-213
- [10] 王丽娜. 无创呼吸机治疗慢性阻塞性肺疾病合并重症呼吸衰竭的护理[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2016; **16**(65):371
- [11] 陈秀女, 叶武, 郑秋秋, 等. 有创机械通气治疗老年慢性阻塞性肺疾病并发呼吸衰竭的效果观察与护理[J]. *中国实用护理杂志*, 2010; **26**(4):15-16
- [12] Fsti R, Devik S A, Enmarker I, et al. "Looking for Deviations": Nurses' Observations of Older Patients With COPD in Home Nursing Care[J]. *Global Qualitative Nursing Research*, 2020; **7**(13):1-7
- [13] Sami R, Omidi A, Sadegh R. Validity and Reliability of COPD-6 Device for Detecting Chronic Obstructive Pulmonary Disease in High-Risk Individuals[J]. *Tanaffos*, 2020; **19** (3):201-207
- [14] 冯谢宇, 李鹏超. 精细化护理模式在慢性阻塞性肺疾病急性加重期合并II型呼吸衰竭患者中的应用效果[J]. *河南医学研究*, 2020; **29**(32):182-184