

心肌灌注显像联合冠状动脉钙化积分诊断冠心病的价值及最新进展

孙璐冰 阮翹

450000, 郑州大学第一附属医院核医学科

通信作者: 阮翹, Email: ruanqiao-6@126.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.02.012

【摘要】 心肌灌注显像(MPI)在冠心病的诊断、危险度分层及预后评价中扮演着越来越重要的角色, 冠状动脉钙化积分(CACS)可协助对冠心病患者进行进一步的危险度分层, 但两者有各自的局限性和不足。将两者联合应用可以相互弥补不足, 为临床提供更多的信息。行 SPECT/CT 心肌灌注显像时, 需进行衰减校正 CT(CTAC)扫描, 若采用心电门控的呼气末屏气螺旋 CT 扫描, 则在用于 MPI 衰减校正的同时又可用于 CACS 测定, 实现一站式检查, 在减少患者辐射剂量的同时又可为临床提供更多的信息。笔者综述了 CACS、MPI 及两者联合应用的临床价值, 并对一站式采集 MPI 与 CACS 的最新进展进行了综述。

【关键词】 冠状动脉硬化; 冠状动脉狭窄; 冠心病; 心肌灌注显像; 冠状动脉钙化积分

Clinical value and latest developments of coronary artery calcification scores and gated myocardial perfusion imaging in the diagnosis of coronary artery disease Sun Lubing, Ruan Qiao

Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China

Corresponding author: Ruan Qiao, Email: ruanqiao-6@126.com

【Abstract】 Myocardial perfusion imaging(MPI) plays an increasingly important role in the diagnosis, risk stratification, and prognosis of coronary heart disease, and coronary artery calcification scoring (CACS) can refine the risk stratification and prognosis of coronary heart disease. However, both methods possess limitations and deficiencies. The combination of CACS and MPI compensates for these deficiencies and provides detailed information to the physician. SPECT/CT generates CT images for attenuation correction when collecting MPI. CACS scans acquired during normal expiration can also be used for attenuation correction. The use of these scans not only reduces the radiological dose but also provides detailed information to the physician. This review focuses on the clinical values of CACS, MPI, and their combination and presents the latest developments in obtaining MPI and CACS images in one scan.

【Key words】 Coronary arteriosclerosis; Coronary artery disease; Coronary stenosis; Myocardial perfusion imaging; Coronary artery calcification score

冠心病是冠状动脉功能性或器质性病变造成心肌缺血、缺氧或坏死而导致的心脏病, 是目前危害人类健康最严重的心血管疾病之一, 其发病率和病死率呈逐年上升趋势, 据世界卫生组织统计 2012 年约有 1750 万人死于心血管疾病, 其中约 740 万人死于冠心病^[1]。因此, 深入研究冠心病的诊断及危险度分层, 并采取有效的干预治疗措施, 是目前冠心病防治工作中重要而艰巨的任务, 对冠心病患者的预后具有十分重要的意义。

冠心病的主要病因是冠状动脉粥样硬化斑块造成的狭窄, 而动脉粥样硬化的始动因素是局部血管内皮受损, 内皮下载脂蛋白 B 滞留, 滞留的脂蛋白成为致病因子, 形成与损伤相关的分子形态, 进而引发炎症反应, 促使平滑肌细胞和血管内皮细胞活化, 单核细胞聚集, 细胞内、外脂质等共同堆积于内膜下^[2]。而钙在动脉硬化中起递质作用, 可引起血管平滑肌细胞增生、迁移、内膜增厚损伤^[3]。以往认为冠状动脉钙化是钙晶体在受损组织中的被

动沉积过程。最新研究发现动脉粥样硬化斑块钙化是一个类似骨骼形成的受调控的过程^[4], 开始于平滑肌细胞向成骨细胞或软骨细胞的转化^[5]。成骨细胞表达的成骨相关蛋白及成骨相关转录因子如 *Max* 基因、骨形成蛋白、碱性磷酸酶及转录因子 *Osterix* 和 *Cbfa1* 等增加^[6]。血管平滑肌细胞存在 *RUNX2* 因子(转录因子 *RUNXX* 家族成员之一), *RUNX2* 因子能上调 *Cbfa1* 因子的转录。这些细胞分泌基质小泡或发生凋亡使基质钙化。冠状动脉钙化是冠状动脉粥样硬化发展至一定阶段的结果, 是冠状动脉粥样硬化的标志。多个研究发现若冠状动脉粥样硬化斑块不含钙化, 则患者的预后一般较好^[7]; 若斑块中含有钙化, 钙化则反映了冠状动脉粥样硬化晚期复合病变中钙化斑块的负荷程度及其分布情况^[8], 斑块负荷重预示心血管事件发生率高, 因此探测冠状动脉钙化积分(coronary artery calcification score, CACS)可用于临床进行冠心病的诊断及患者预后评估。心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)能反映心肌缺血的部位、程度及范围, 是诊断冠心病的无创性功能影像技术之一, 但其也有局限性。近年来, 有研究指出 MPI 联合 CACS 可提高冠心病诊断的准确率, 为冠心病的危险度分层及预后判断提供更多的信息^[9-10]。SPECT/CT 一次扫描可同时获得 MPI 与 CACS 两种信息, 将两者联合应用的价值及方法还需进一步探讨。本文主要介绍 MPI 联合 CACS 诊断冠心病的临床应用价值及最新研究进展。

1 CACS

自 1979 年 Guthaner 等^[11]首次发现 CT 可以探测冠状动脉钙化以来, 大量研究致力于如何利用探测到的钙化来诊断冠心病, 并产生了许多评分方法, 如 Agatston Score (AS)、Volume Score、MASS Score、Calcium Coverage Score 等。其中应用最广泛的是 1990 年 Agatston 等^[12]提出的第一个可行的定量 CACS 标准——AS。它的计算方法是以任何 CT 值大于 130 HU、面积大于 1 mm² 的结构代表钙化灶, 如果钙化附在冠状动脉表面则代表冠状动脉钙化狭窄, 并用 1~4 分分别代表 CT 值峰值在 130~199 HU、200~299 HU、300~399 HU 和 ≥400HU 范围的钙化。每处钙化的积分等于面积乘以钙化密度, 总的 AS 等于每支冠状动脉分支积分的总和^[12]。

1.1 CACS 与冠状动脉狭窄的关系

国内外许多研究证实冠状动脉钙化与冠状动脉狭窄有着密切的关系, 冠状动脉钙化与冠状动脉内膜厚度呈正相关, 冠状动脉钙化是冠状动脉粥样硬化的基础病变, CACS 是冠状动脉钙化的量化指标, 故 CACS 能够反映冠心病的严重程度^[13], CACS 增高预示着动脉粥样硬化斑块出现, 而在不稳定性冠心病患者中 CACS 代表冠状动脉狭窄的严重程度^[14]。因此冠状动脉钙化越严重、CACS 越高, 则发生冠状动脉狭窄的可能性越高。但冠状动脉钙化与冠状动脉狭窄之间并非简单的直线相关关系, 另有研究发现在重度钙化组中冠状动脉狭窄程度反而低于轻、中度钙化组, 且差异有统计学意义^[15], 因此认为 CACS 只能说明冠状动脉粥样硬化的存在并不完全等同于冠状动脉狭窄。

1.2 CACS 对冠心病的诊断价值

目前 CACS 在临床冠心病诊断方面的应用集中在以下方面: ①利用 CACS 较高的阴性预测值, 对年龄在 40 岁以下尤其是有危险因素但无临床症状的人群, 利用 CACS 尽早发现其冠状动脉的钙化, 以便尽早发现冠状动脉病变, 及时给予有效的干预措施; ②利用 CACS 对患者进行分层, 以便为患者提供更加合理的治疗方案^[16]。已有许多研究认为可以依据 CACS 对冠心病的严重程度进行分层, 最早的便是 Rumberger 等^[17]的研究, 他们给出了根据 CACS 对患者冠状动脉狭窄程度及冠心病严重程度进行分层的指南(表 1)。另外彭万宏等^[18]的研究采用 AS>250 分作为诊断阈值判断冠状动脉狭窄 ≥50% 的灵敏度和特异度分别为 42.9%(67/156)和 96.9%

表 1 Rumberger 指南第一版(根据电子束 CT 测量的 Agatston Score 进行冠心病严重程度分层)

Table 1 First Rumberger guideline based on Agatston score using electron beam computed tomography

CACS	冠状动脉钙化程度	临床意义
0 分	无	患心血管疾病的概率极低; 患冠心病的概率<5%, 检查多阴性
1~10 分	极小	明显冠心病的可能性很小
11~100 分	非常小	可能有轻微的冠状动脉狭窄
101~400 分	中等	很可能有中度非阻塞性冠心病
>400 分	极大	极大可能至少有一支冠状动脉狭窄>50%

注: 表中, CACS: 冠状动脉钙化积分。

(32/33)。虽然这两个研究所得出的界值不同,但是都表明 CACS 对冠心病的筛查有很大作用。一般来说 CACS 越高,冠状动脉钙化越广泛,发生冠状动脉狭窄者越多,且程度越重。但无钙化的冠状动脉也会发生狭窄。

1.3 CACS 对冠心病预后判断的价值

许多研究都表明 CACS 可以协助冠心病患者进行进一步的危险度分层并指导患者的预后判断^[16-18]。美国心脏病学会/美国心脏联合会(ACC/AHA)2013年指南指出,根据汇总队列方程进行危险度分层,可以预测冠心病患者 10 年内发生心脏事件的风险^[19]。有学者认为运用这一方法指导患者他汀类药物的使用,增加了使用他汀类药物的患者数量,而使用 CACS 对患者重新进行危险度分层可以明显减少他汀类药物的使用^[20]。Almoudi 和 Sun^[21]指出, CACS 对无典型症状患者的主要作用是协助其进行风险评估并决定其是否需要强化预防措施。根据 Valenti 等^[22]的最新研究发现, CACS 为 0 分的无症状患者其无心脏事件的安全期可以达到 15 年,所以他们建议用 CACS 对低危及中危心血管疾病患者重新进行危险度分层。但也有文献不建议将 CACS 作为典型症状患者的筛查工具,因为患者的钙化斑块与血管狭窄之间没有明确关系,而且 CACS 为 0 分或很低时对有相关症状患者的意义仍有争议^[23]。因此 CACS 应联合其他检查来对冠心病预后进行判断。

1.4 其他临床应用

冠状动脉 CT 血管造影(coronary CT angiography, CCTA)可以为临床提供患者冠状动脉解剖信息,但其辐射剂量过高,有一些研究建议把 CACS 作为胸痛患者是否进行 CCTA 的“把门人”,较高的 CACS 会因钙化的伪影而降低 CCTA 图像的质量,因此高 CACS 患者也不应行 CCTA^[24]。近年来, Ahn 等^[25]通过对 253 例 CACS>400 分的患者的研究发现 CCTA 对这些患者缺乏特异性。另有研究也指出高 CACS 对患者 CCTA 图像准确性的影响被低估^[26],冠状动脉钙化仍是容积 CT 图像质量及诊断准确性下降的重要原因^[27]。因此亚洲心血管影像协会指出如果无症状患者的 CACS \geq 400 分则不建议进行 CCTA^[28]。

由于 CACS 对非钙化斑块狭窄的诊断价值较小,因此目前 CACS 较少用于冠心病的诊断,主要用于协助患者进行进一步的危险度分层并指导预后判断,相信随着融合影像的兴起及 CT 辐射剂量的

降低, CACS 将越来越多地与其他检查联合运用于临床。

2 MPI

自 MPI 问世以来,其在冠心病的诊断、危险度分层、治疗决策、疗效评估、预后判断中的作用越来越受到重视,已得到美国心脏病学会/美国心脏联合会/美国核医学协会(ACC/AHA/ASNC)相关指南的充分肯定与推荐^[19]。

2.1 MPI 对冠心病的诊断、危险度分层、疗效观察及预后判断价值

MPI 作为一种无创性检查,其检查原理是:正常心肌细胞可以有选择性地摄取某些放射性物质(如 ^{99m}Tc -MIBI 等),进而通过探测器显像,核素在心肌内的放射分布不仅取决于冠状动脉的狭窄程度、冠状动脉血流量,而且与心肌细胞的功能状态、心肌细胞对核素的摄取和清除之间的平衡有关^[29]。MPI 的特点是功能显像,能客观、准确地评价冠状动脉病变区域心肌的血流灌注、心肌细胞的功能与心室功能异常等病理生理变化,对冠心病的诊断有着不可替代的作用。另外对于冠状动脉微循环障碍患者,其可能有相对或绝对的心肌缺血存在,冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)显示的冠状动脉表面大血管无明显异常^[30],而 MPI 则有很好的阳性率。娄樱等^[31]研究发现,约 87.50%冠状动脉微循环障碍患者 MPI 出现“反向再分布”,药物治疗后临床症状及平板运动试验结果均有改善的 36 例患者再次进行延迟显像,原受累的 49 个节段中有 45 个节段放射性分布有不同程度的改善,阳性检出率达 91.84%。研究表明 MPI 与冠状动脉狭窄有着高度的相关性,但 MPI 存在一定的假阳性率,这可能是由于周围软组织的衰减、药物标记率较低、图像采集时间不足等所致^[30];另外当患者三支冠状动脉主干同时出现严重病变时, MPI 可表现为假阴性^[32-33]。

多年来 MPI 被用于冠心病的危险度分层, MPI 使用负荷总积分(summed stress score, SSS)进行心肌缺血严重程度的评估:正常 0~3 分、轻度 4~8 分、中度 9~13 分、重度 \geq 14 分。评分越高,发生心脏事件的风险越大。此外,也可以使用灌注积分差(summed difference score, SDS)、静息总积分(summed rest score, SRS)进行评估,其中,无心肌缺血 SDS<2 分,中度缺血 SDS 为 2~6 分,重度缺血 SDS \geq 7 分。

也有学者按 SDS 分为: SDS >4 分为心肌存在缺血, SDS ≤4 分为基本正常; SRS ≥2 分为心肌缺血, SRS <2 分为基本正常^[29]。大样本研究证实, 心肌灌注缺损的范围越大、程度越重, 恶性心脏事件的发生率就越高, 即负荷积分与患者预后呈正相关^[34]。但在评估心脏的危险度方面, MPI 也存在不足。一是 MPI 缺乏冠状动脉管壁的解剖结构信息, 当患者动脉管壁粥样硬化发生变化时, 不能仅仅依靠 MPI 的结果确定冠心病的阶段; 二是在患冠心病可能性较低的患者中, MPI 显像的假阳性较高^[35]。

2.2 MPI 与 CAG

CAG 是目前诊断冠状动脉狭窄的“金标准”, 但其只能反映毫米级以上的位于心脏表面较大血管的二维形态学变化, 无法直接反映这一形态学的变化对相应心肌血流灌注和冠状动脉储备能力的影响以及心肌的存活情况。而且有研究显示, 只有近 1/3 的 CAG 检查最终会进行再血管化治疗, 而 2/3 的 CAG 检查只有单纯的诊断用途^[36], 仅仅是为了验证冠状动脉病变的存在及其严重程度, 这样不仅使得 CAG 的阴性率提高, 严重浪费医疗资源, 而且还可能漏诊微血管病变。此外 CAG 为有创性检查, 价格昂贵, 对操作者的技术水平要求高, 且存在一定的风险, 不应成为冠心病的常规检查方法^[37]。而 MPI 作为一种无创性检查, 能客观、准确地评价冠状动脉病变区域心肌的血流灌注、心肌细胞的功能等病理生理变化, 因此对冠心病的诊断具有不可替代的作用。故美国心脏病学会/美国心脏联合会/美国心脏病学协会 (ACC/AHA/ASNC) 所制定的相关指南中均强调应把 MPI 作为 CAG 的“把门人”^[19]。

MPI 在冠心病的诊断、预后判断等方面的价值越来越受到认可和重视, 但由于 MPI 与 CAG 相比存在一定的假阳性率, 只有在药物生产、图像采集处理等各个环节严格把关, MPI 的价值才能得到越来越多的临床医师认可。

3 MPI 与 CACS 联合应用

3.1 MPI 与 CACS 联合应用的价值

虽然 MPI 可显示心肌血流和代谢的异常改变, 也有很多文献将 MPI 用于冠心病的诊断和危险度分层, 但是 MPI 只能探测到阻塞性冠心病, 很难发现容易发生斑块破裂的亚临床动脉粥样硬化; 并且有文献报道由于其假阴性, MPI 对多支血管病变

(multivessel disease, MVD) 及左主支病变的探测存在缺陷, 进而忽略了这些病变可能导致的高风险心血管事件^[32-33]。而 CACS 作为可判断冠状动脉是否存在动脉粥样硬化及其严重程度的标准, 其与 MPI 这两种互补型检查方法的联合应用能同时为临床提供解剖信息和功能信息, 打破各自的局限性, 实现优势互补, 为临床提供更多诊断和预后信息。当 MPI 阴性时, CACS 是预测心脏风险强有力的指标; 当 MPI 结果正常而 CACS 高时, 说明患者处于疾病进展阶段, 发生心脏事件的风险增加; 当 MPI 阳性时, 可以根据 CACS 对患者危险度进行进一步分层。有研究将 CACS >1314 分作为冠心病进一步危险度分层的指标, 当 MPI 正常并且 CACS <1314 分时则危险度很低; 而在 MPI 不正常的患者中, CACS >1314 分则其发生不良心脏事件的概率大大提高^[9]。Yuoness 等^[10]的研究通过对无症状、MPI 正常并且 CACS >1000 分的患者进行 CAG, 他们发现这些患者中 50% 以上患有严重心脏病, 因此建议将 MPI 联合 CACS 用于患者的危险度分层。

3.2 MPI 与 CACS 联合应用的方法

MPI 与 CACS 的联合应用需要分别进行两次扫描, 但这无疑会增加患者的辐射剂量及经济负担。若一站式同时获得 MPI 和 CACS 两种信息, 可在减少患者辐射剂量的同时又为临床提供更多信息。MPI 与 CACS 的联合应用的研究热点主要集中在以下几个方向。

在 SPECT/CT 扫描过程中会产生一个非门控低剂量 CT, 消除由于膈肌运动和呼吸运动造成的假阳性伪影^[38], 但衰减校正 CT (CT-based attenuation correction, CTAC) 的扫描技术 (缺少心电图门控) 以及自由呼吸会使冠状动脉变得模糊并改变一些冠状动脉分支钙化的 CT 值, 进而影响总的 CACS; 而且由于缺少心电图门控, 心脏的运动会导致图像数据可能出现对钙化采集漏失和 (或) 重复^[9], 这些问题的存在使得 CTAC 很难用于测定 CACS。为了利用 CTAC 来进行 CACS 的测量, Einstein 等^[39]提出了 CACS 的视觉估计 (visually-estimated coronary artery calcium, VECAC), 即将 CACS 分为 0、1~9、10~99、100~300、400~999 和 ≥1000 分 6 个层次, 然后通过视觉估计其属于哪个层次, 通过对来自 3 个医学中心的 492 例患者的对比发现, VECAC 与 AS 呈高度相关, 并提出可以对 CTAC 进行视觉估计来确定

CACS。

从 CT 用作衰减校正开始,其扫描速度快,空间分辨率高,特别是当图像错位时,CT 衰减校正后的核医学图像依然能有好结果等特点就被广泛认同^[40],随着软件技术的发展,人们开始思考是否能用门控屏气的 CACS 扫描数据来进行衰减校正。由于呼吸运动会影响衰减值^[41-42],而 SPECT/CT 匹配的低转速 CT 所获得的 CT 数据可以代表呼吸运动的平均状态,多排高速 CT 获得的数据只能代表屏气呼吸的某个阶段^[40],这些缺陷都限制了 CACS 用作衰减校正。

Schepis 等^[43]的研究发现,用标准 CACS 扫描的 CT 数据(吸气末屏气)做衰减校正与常规衰减校正(自由呼吸)相比,MPI 图像的心肌摄取值有很好的相关性。并且由于正常呼气末屏气更接近自由呼吸,呼气末屏气的 CACS 扫描的 CT 数据做衰减校正与正常衰减校正较吸气末屏气的相关性更高。该研究还发现吸气末屏气和呼气末屏气的平均 AS 是十分接近的。这一研究成果也得到了欧洲核医学协会(EANM)最新 MPI 指南的认可^[44]。

4 小结

MPI 联合 CACS 不仅可以提高冠心病诊断的准确率,而且能更加准确地判断患者预后及进行危险度分层。但是由于 CACS 在临床应用较少,MPI 联合 CACS 还有很多阻碍,相信随着软件和硬件水平的提高,在一次扫描中同时获得 MPI 和 CACS 信息,并将其联合应用于冠心病患者的诊断将广泛应用于临床。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 孙璐冰负责资料采集、论文撰写等;阮翹负责方法建立、论文审阅。

参 考 文 献

- [1] Cardiovascular diseases(CVDs)[DB/OL]. Geneva: World Health Organization, 2012(2016)[2017-02-20]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/zh>.
- [2] Falk E, Nakano M, Bentzon JF, et al. Update on acute coronary syndromes: the pathologists' view[J]. Eur Heart J, 2013, 34(10): 719-728. DOI: 10.1093/eurheartj/ehs411.
- [3] Vattikuti R, Towler DA. Osteogenic regulation of vascular calcification:an early perspective[J]. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2004, 286(5): E686-E696. DOI: 10.1152/ajpendo.00552.2003.
- [4] 汤喆,白静,王禹. 冠状动脉钙化[J]. 中华心血管病杂志, 2013, 41(10): 900-902. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2013.10.021.
Tang Z, Bai J, Wang Y. Coronary artery calcification[J]. Chin J Cardiol, 2013, 41(10): 900-902.
- [5] Fadini GP, Rattazzi M, Matsumoto T, et al. Emerging role of circulating calcifying cells in the bone-vascularaxis[J]. Circulation, 2012, 125(22): 2772-2781. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.112.090860.
- [6] Derwall M, Malhotra R, Lai CS, et al. Inhibition of bone morphogenetic protein signaling reduces vascular calcification and atherosclerosis[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2012, 32(3): 613-622. DOI: 10.1161/ATVBAHA.111.242594.
- [7] 于治国,姚雅明,郑建国,等. 三磷酸腺苷介入心肌灌注断层显像对老年人冠心病的诊断价值[J]. 中国医学影像技术, 2007, 23(7): 1002-1004. DOI: 10.3321/j.issn:1003-3289.2007.07.016.
Yu ZG, Yao ZM, Zheng JG, et al. ATP stress myocardial perfusion tomographic imaging in detection of coronary disease in the elders [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2007, 23(7): 1002-1004.
- [8] 张萍,彭京京,杨芳,等. 腺苷负荷试验心肌灌注显像在老年人冠心病中的临床应用[J]. 中华老年医学杂志, 2008, 27(7): 490-493.
Zhang P, Peng JJ, Yang F, et al. Clinical application of adenosine myocardial perfusion imaging for detecting coronary artery disease in the elderly[J]. Chin J Geriatr, 2008, 27(7): 490-493.
- [9] Ghadri JR, Fiechter M, Veraguth K, et al. Coronary Calcium score as an adjunct to nuclear myocardial perfusion imaging for risk stratification before noncardiac surgery[J]. J Nucl Med, 2012, 53(7): 1081-1086. DOI: 10.2967/jnumed.111.100206.
- [10] Yuoness SA, Goha AM, Romsa JG, et al. Very high coronary artery Calcium score with normal myocardial perfusion SPECT imaging is associated with a moderate incidence of severe coronary artery disease[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 42(10): 1542-1550. DOI: 10.1007/s00259-015-3072-z.
- [11] Guthaner DF, Wexler L, Harell G. CT demonstration of cardiac structures[J]. AJR Am J Roentgenol, 1979, 133(1):75-81.
- [12] Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography[J]. J Am Coll Cardiol, 1990, 15(4): 827-832. DOI: 10.1016/0735-1097(90)90282-T.
- [13] 陈岩,黄海青,王建华. 64排螺旋CT低剂量冠状动脉钙化积分的临床应用研究[J]. 中外健康文摘, 2014, (6): 37-38.
Chen Y, Huang HQ, Wang JH. The clinical application of low doses of coronary artery calcium score by 64-MSCT[J]. World Health Digest, 2014, (6): 37-38.
- [14] 李韶南,罗义,潘宜智,等. 冠状动脉钙化积分与不稳定型心绞痛患者预后的关系[J]. 中国心血管杂志, 2013, 18(4): 272-275. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2013.04.009.
Li SN, Luo Y, Pan YZ, et al. Relationship between coronary artery

- calcium score and the prognosis of patients with unstable angina[J]. *Chin J Cardiovasc Med*, 2013, 18(4): 272-275.
- [15] 张国明, 李晓燕, 孙钢, 等. 320 排动态容积 CT 节段性钙化积分对冠状动脉病变诊断和介入治疗的价值[J/OL]. *中华临床医师杂志: 电子版*, 2013, 7(15): 6928-6932[2017-02-20].
- Zhang GM, Li XY, Sun G, et al. The value of segmental coronary calcium score on the diagnosis and interventional treatment of coronary lesion by 320-slice dynamic volume CT[J/OL]. *Chin J Clinicians(Electronic Edition)*, 2013, 7(15): 6928-6932[2017-02-20].
- [16] 夏巍巍. 64 层螺旋 CT 冠状动脉钙化积分的研究[D]. 南京: 东南大学医学院, 2010. DOI: 10.7666/d.y1761348.
- Xia WW. The assessment of coronary artery calcium scoring with 64-multislice CT[D]. Nanjing: Medical College of Southeast University, 2010.
- [17] Rumberger JA, Brundage BH, Rader DJ, et al. Electron beam computed tomographic coronary Calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons[J]. *Mayo Clin Proc*, 1999, 74(3): 243-252. DOI: 10.4065/74.3.243.
- [18] 彭万宏, 鲁锦国, 刘红翠, 等. 钙化积分、CTCA 以及两者联合对冠状动脉狭窄的诊断价值[J]. *放射学实践*, 2012, 27(1): 57-60. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0313.2012.01.013.
- Peng WH, Lu JG, Liu HC, et al. Value of calcium scoring, CT angiography and combination of the two in the diagnosis of coronary artery stenoses[J]. *Radiol Practice*, 2012, 27(1): 57-60.
- [19] Stone NJ, Robinson JG, Lichtenstein AH, et al. 2013 ACC/AHA guideline on the treatment of blood cholesterol to reduce atherosclerotic cardiovascular risk in adults: a report of the American college of cardiology/American heart association task force on practice guidelines[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 63(25 Pt B): 2889-2934. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.11.002.
- [20] Nasir K, Bittencourt MS, Blaha MJ, et al. Implications of coronary artery calcium testing among statin candidates according to American college of cardiology/American heart association cholesterol management guidelines: MESA(multi-ethnic study of atherosclerosis)[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 66(15): 1657-1668. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.07.066.
- [21] Almoudi M, Sun Z. Coronary artery calcium score: Re-evaluation of its predictive value for coronary artery disease[J]. *World J Cardiol*, 2012, 4(10): 284-287. DOI: 10.4330/wjc.v4.i10.284.
- [22] Valenti V, Ó Hartaigh B, Heo R, et al. A 15-year warranty period for asymptomatic individuals without coronary artery calcium: a prospective follow-up of 9, 715 individuals[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(8): 900-909. DOI: 10.1016/j.jcmg.2015.01.025.
- [23] Shabestari AA, Akhlaghpour S, Tayebivaljozi R, et al. Prevalence of congenital coronary artery anomalies and variants in 2697 consecutive patients using 64-detector row coronary CT Angiography[J]. *Iran J Radiol*, 2012, 9(3): 111-121. DOI: 10.5812/iranradiol.8070.
- [24] van Werkhoven JM, de Boer SM, Schuijf JD, et al. Impact of clinical presentation and pretest likelihood on the relation between calcium score and computed tomographic coronary angiography[J]. *Am J Cardiol*, 2010, 106(12): 1675-1679. DOI: 10.1016/j.amjcard.2010.08.014.
- [25] Ahn SJ, Kang DK, Sun JS, et al. Accuracy and predictive value of coronary computed tomography angiography for the detection of obstructive coronary heart disease in patients with an Agatston calcium score above 400[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2013, 37(3): 387-394. DOI: 10.1097/RCT.0b013e318282d61c.
- [26] Otton J, Feneley M, Sammel N, et al. The accuracy of cardiovascular computed tomography in the presence of a high coronary calcium score may be underestimated[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(7): 642. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.02.076.
- [27] 孙奥松, 孙钢, 李敏, 等. 冠状动脉钙化对 320 排容积 CT 冠状动脉血管成像的影响[J/OL]. *中华临床医师杂志: 电子版*, 2013, 7(2): 529-533[2017-02-20].
- Sun AS, Sun G, Li M, et al. Influence of coronary artery calcification on 320-detector volume CT coronary angiography[J]. *Chin J Clinicians(Electronic Edition)*, 2013, 7(2): 529-533[2017-02-20].
- [28] ASCI CCT & CMR Guideline Working Group, Tsai IC, Choi BW, et al. ASCI 2010 appropriateness criteria for cardiac computed tomography: a report of the Asian Society of Cardiovascular Imaging Cardiac Computed Tomography and Cardiac Magnetic Resonance Imaging Guideline Working Group[J]. 2010, 26 supplement 1: S1-15. DOI: 10.1007/s10554-009-9577-4.
- [29] 巴雅. CT 冠脉钙化积分与门控心肌灌注显像半定量分析结果的相关性分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2011. DOI: 10.7666/d.y2045999.
- Ba Y. Correlated study of coronary artery calcification score and rest gated myocardial perfusion SPECT[D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2011.
- [30] 付瑛, 王蓓. 冠心病危险度分层的无创性影像技术研究进展[J]. *心肺血管病杂志*, 2014, 33(2): 305-307. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5062.2014.02.040.
- Fu Y, Wang Q. The development of noninvasive techniques in coronary heart disease risk stratification[J]. *J Cardiovasc Pulmonary Dis*, 2014, 33(2): 305-307.
- [31] 娄樱, 蒋锦琪, 谢文晖, 等. 双嘧达莫负荷心肌 ^{201}Tl SPECT 显像诊断冠状动脉微循环障碍的价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2012, 32(5): 358-362. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2012.05.010.
- Lou Y, Jiang JQ, Xie WH, et al. Value of dipyridamole stress ^{201}Tl myocardial SPECT in detecting dysfunction of coronary microcircu-

- lation[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2012, 32(5): 358-362.
- [32] Shaw LJ, Raggi P, Schisterman E, et al. Prognostic value of cardiac risk factors and coronary artery calcium screening for all-cause mortality[J]. Radiology, 2003, 228(3): 826-833. DOI: 10.1148/radiol.2283021006.
- [33] Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups[J]. N Engl J Med, 2008, 358(13): 1336-1345. DOI: 10.1056/NEJMoa072100.
- [34] Gaemperli O, Schepis T, Koepfli P, et al. Accuracy of 64-slice CT angiography for the detection of functionally relevant coronary stenoses as assessed with myocardial perfusion SPECT[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2007, 34(8): 1162-1171. DOI: 10.1007/s00259-006-0307-z.
- [35] Rozanski A, Gransar H, Wong ND, et al. Cardiac imaging for ischemia in asymptomatic patients: use of coronary artery calcium scanning to improve patient selection: lessons from the EISNER study[M]//Asymptomatic Atherosclerosis: Pathophysiology, Detection and Treatment. Totowa: Humana Press, 2011: 411-427. DOI: 10.1007/978-1-60327-179-0_30.
- [36] Cook S, Togni M, Walpoth N, et al. Percutaneous coronary interventions in Europe 1992-2003[J]. EuroIntervention, 2006, 1(4): 374-379.
- [37] 张远征, 问肃生, 赵成, 等. 老年人 18 导联心电图与冠脉造影分析[J]. 中国老年学, 2010, 30(10): 1354-1356. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2010.10.017.
- Zhang YZ, Wen SS, Zhao C, et al. The analysis of 18 lead electrocardiogram and coronary angiography in elderly people[J]. Chin J Gerontol, 2010, 30(10): 1354-1356.
- [38] Garcia EV. SPECT attenuation correction: an essential tool to realize nuclear cardiology's manifest destiny[J]. J Nucl Cardiol, 2007, 14(1): 16-24. DOI: 10.1016/j.nuclcard.2006.12.144.
- [39] Einstein AJ, Johnson LL, Bokhari S, et al. Agreement of visual estimation of coronary artery calcium from low-dose CT attenuation correction scans in hybrid PET/CT and SPECT/CT with standard Agatston score[J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 56(23): 1914-1921. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.05.057.
- [40] O'connor MK, Kemp B, Anstett F, et al. A multicenter evaluation of commercial attenuation compensation techniques in cardiac SPECT using phantom models[J]. J Nucl Cardiol, 2002, 9(4): 361-376. DOI: 10.1067/mnc.2002.122676.
- [41] Goerres GW, Burger C, Kamel E, et al. Respiration-induced attenuation artifact at PET/CT: technical considerations[J]. Radiology, 2003, 226(3): 906-910. DOI: 10.1148/radiol.2263011732.
- [42] Utsunomiya D, Nakaura T, Honda T, et al. Object-specific attenuation correction at SPECT/CT in thorax: optimization of respiratory protocol for image registration[J]. Radiology, 2005, 237(2): 662-669. DOI: 10.1148/radiol.2372041387.
- [43] Schepis T, Gaemperli O, Koepfli P, et al. Use of coronary calcium score scans from stand-alone multislice computed tomography for attenuation correction of myocardial perfusion SPECT[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2007, 34(1): 11-19. DOI: 10.1007/s00259-006-0173-8.
- [44] Verberne HJ, Acampa W, Anagnostopoulos C, et al. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 42(12): 1929-1940. DOI: 10.1007/s00259-015-3139-x.

(收稿日期: 2017-02-20)

(上接第 97 页)

- in the evaluation of solitary pulmonary nodules in patients with colorectal cancer[J]. Radiol Practice, 2015, 30(8): 869-872.
- [11] 鲍俊初. ¹⁸F-FDG PET/CT 显像在胃癌术后复发和转移中的诊断价值[D]. 广州: 南方医科大学, 2011.
- Bao JC. Diagnostic value of postoperative gastric cancer recurrence and metastasis of ¹⁸F-FDG PET/CT[D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2011.
- [12] 陈万青, 张思维, 曾红梅, 等. 中国 2010 年恶性肿瘤发病与死亡[J]. 中国肿瘤, 2014, 23(1): 1-10. DOI: 10.11735/j.issn.1004-0242.2014.01.A001.
- Chen WQ, Zhang SW, Zeng HM, et al. Report of cancer incidence and mortality in China, 2010[J]. China Cancer, 2014, 23(1): 1-10.
- [13] 李生栩, 唐明灯, 林端瑜, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT 在胸段食管鳞癌淋巴结转移中的诊断价值[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2016, 40(6): 408-413. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2016.06.002.
- Li SX, Tang MD, Lin DY, et al. Value of ¹⁸F-FDG PET/CT in detecting metastatic lymph nodes of thoracic esophageal squamous cell carcinoma[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2016, 40(6): 408-413.

(收稿日期: 2016-11-01)