

# 核素门控心功能PFR假性正常化 鉴别与舒张功能精准评估

## ——多模态整合进展

傅宁<sup>1\*</sup>, 吴倩<sup>1</sup>, 孙寒<sup>1</sup>, 鹿峰<sup>1</sup>, 王素文<sup>2</sup>, 鹿存芝<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>徐州市中心医院核医学科, 江苏 徐州

<sup>2</sup>徐州医科大学第一临床医学院, 江苏 徐州

收稿日期: 2026年3月15日; 录用日期: 2026年5月21日; 发布日期: 2026年5月29日

### 摘要

目的: 系统梳理核素门控心功能峰值充盈率(PFR)评估左心室舒张功能的临床标准, 聚焦PFR假性正常化的病理机制与鉴别难点, 结合心脏超声、无创影像及有创血流动力学最新进展, 构建以PFR联合心肌灌注为核心的舒张功能精准分层方案。方法: 以“核素门控心功能、峰值充盈率、假性正常化、舒张功能不全、心肌灌注显像、E/e'”为中文关键词, 以“radionuclide gated ventricular function、peak filling rate、pseudonormalization、diastolic dysfunction、myocardial perfusion imaging、E/e'”为英文关键词, 检索PubMed、Web of Science、CNKI、万方等数据库近5年高质量文献, 纳入指南、临床研究、综述与技术进展, 重点提炼PFR判读阈值、假性正常化机制、多模态指标互补及灌注联合鉴别策略。结果 临床通用PFR < 2.5 EDV/s为舒张功能轻度降低标准; PFR > 2.5包含真正常与假性正常化, 后者对应中度舒张功能异常, 因左房压力代偿升高致充盈速率回升, 易漏诊。2024~2025年ASE/EACVI指南推荐E/A、e'、E/e'、左房容积指数(LAVI)为超声核心指标, E/e' ≥ 15是充盈压升高与假性正常化的关键佐证。心脏磁共振T1 mapping、细胞外容积可量化纤维化, 有创测压为金标准。核素门控心肌灌注显像(G-MPI)实现灌注与功能一站式评估, 灌注异常是鉴别PFR假性正常化的核心线索: PFR > 2.5 + 灌注正常 + E/e' 正常为真正常; PFR > 2.5 + 灌注异常/缺血 + E/e' ≥ 15判定为假性正常化(中度异常)。结论: PFR是无创评估舒张功能稳定参数, 单一PFR > 2.5无法区分真正常与假性正常化。PFR联合心肌灌注并整合超声E/e'等指标, 可精准实现舒张功能分层, 避免中度异常漏诊, 为冠心病、心衰早期诊疗提供核医学规范化路径。

### 关键词

核素门控心功能检查, 峰值充盈率, PFR, 假性正常化, 左心室舒张功能不全, 心肌灌注显像, E/e', 多模态影像

\*第一作者。

#通讯作者。

# Differential Diagnosis of Pseudonormalization of Radionuclide Gated Cardiac Function PFR and Accurate Evaluation of Diastolic Function

—Advances in Multimodal Integration

Ning Fu<sup>1\*</sup>, Qian Wu<sup>1</sup>, Han Sun<sup>1</sup>, Feng Lu<sup>1</sup>, Suwen Wang<sup>2</sup>, Cunzhi Lu<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, Xuzhou Central Hospital, Xuzhou Jiangsu

<sup>2</sup>The First School of Clinical Medicine, Xuzhou Medical University, Xuzhou Jiangsu

Received: March 15, 2026; accepted: May 21, 2026; published: May 29, 2026

## Abstract

**Objective:** To systematically summarize the clinical criteria of peak filling rate (PFR) derived from radionuclide gated ventricular function imaging for left ventricular diastolic function evaluation, focus on the pathological mechanism and differential dilemmas of PFR pseudonormalization, and establish a precise stratification strategy for diastolic function based on PFR combined with myocardial perfusion integrated with the latest advances in echocardiography, non-invasive imaging and invasive hemodynamics. **Methods:** Literatures in the past 5 years were retrieved from PubMed, Web of Science, CNKI, Wanfang and other databases with Chinese and English keywords related to radionuclide ventricular function, PFR, pseudonormalization, diastolic dysfunction and myocardial perfusion imaging. Guidelines, clinical studies, reviews and technical advances were included to analyze PFR threshold, pseudonormalization mechanism, multimodal indicators and perfusion combined differential strategy. **Results:** PFR < 2.5 EDV/s was commonly used as the standard for mild diastolic dysfunction; PFR > 2.5 included true normal and pseudonormalization, the latter corresponding to moderate diastolic dysfunction caused by compensatory elevation of left atrial pressure, which was easily misdiagnosed as normal. 2024~2025 ASE/EACVI guidelines recommended E/A, e', E/e' and left atrial volume index (LAVi) as core echocardiographic indicators, and E/e' ≥ 15 indicated elevated filling pressure and strongly supported pseudonormalization. Cardiac magnetic resonance T1 mapping and extracellular volume could quantify interstitial fibrosis. Invasive hemodynamics was the gold standard. Gated myocardial perfusion imaging (G-MPI) provided one-stop evaluation of perfusion and function. Perfusion abnormality was the key to identify PFR pseudonormalization: PFR > 2.5 + normal perfusion + normal E/e' indicated true normal; PFR > 2.5 + abnormal perfusion/ischemia + E/e' ≥ 15 indicated pseudonormalization (moderate dysfunction). **Conclusions:** PFR is a stable noninvasive parameter for diastolic function. Single PFR > 2.5 cannot distinguish true normal from pseudonormalization. PFR combined with myocardial perfusion and echocardiographic E/e' can accurately stratify diastolic function and reduce missed diagnosis of moderate abnormalities, providing a standardized nuclear medicine strategy for early diagnosis and treatment of coronary heart disease and heart failure.

## Keywords

Radionuclide Gated Ventricular Function Imaging, Peak Filling Rate, PFR, Pseudonormalization, Left Ventricular Diastolic Dysfunction, Myocardial Perfusion Imaging, E/e', Multimodal Imaging

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

左心室舒张功能不全(LVDD)是射血分数保留心衰(HFpEF)的核心病理基础,也是冠心病、高血压心脏病、肥厚型心肌病、糖尿病心肌病等疾病的早期表现与独立预后危险因素[1]。与收缩功能异常相比,舒张功能受损出现更早、进展更隐匿,临床缺乏统一、便捷、精准的无创评估金标准。

核素门控心功能检查包括门控心血池显像与门控心肌灌注显像(G-MPI),具有不受声窗限制、定量客观、重复性优异、可同步获取灌注与功能信息等独特优势,在舒张功能评估中占据不可替代的地位[2]。峰值充盈率(PFR)作为左室快速充盈期容积变化的最大速率,直接反映舒张早期心肌充盈效率,临床广泛采用  $PFR < 2.5$  EDV/s 作为舒张功能轻度降低的临界值[3]。然而,大量临床证据表明,  $PFR > 2.5$  并不能直接判定舒张功能正常,该区间内包含真正正常与假性正常化两类人群,其中假性正常化本质为中度舒张功能异常,因左房压力代偿性升高掩盖心肌松弛缺陷,导致 PFR 数值“恢复正常”,若仅依靠单一指标极易漏诊,延误干预时机[4]。

本文结合 2024~2025 年 ASE/EACVI 超声舒张功能评估指南、无创影像新技术及有创血流动力学检测进展,重点阐述核素 PFR 假性正常化的病理机制、影像学特征与鉴别要点,系统论证 PFR 联合心肌灌注显像一站式区分“真正正常”与“假性正常化”的临床价值,为构建多模态、精准化的舒张功能评估体系提供核医学视角的理论与实践依据。

## 2. 左心室舒张功能异常的病理生理分级与 PFR 的临床价值

### 2.1. 舒张功能异常的经典病理生理分级

左心室舒张功能异常的进展遵循明确的病理生理阶梯,呈现出心肌松弛受损→假性正常化→限制性充盈障碍的渐进式演变过程[5]。不同阶段的病理改变与影像学表现存在显著差异,是多模态鉴别诊断的核心基础。

在轻度异常阶段,主要表现为心肌松弛受损。心肌缺血、负荷持续增加或间质纤维化等病理改变,会直接导致心肌主动松弛速度减慢,进而使左心室舒张早期的充盈速率下降,这一阶段在核素 PFR 检测中通常表现为  $PFR < 2.5$  EDV/s。心脏超声可同步发现  $e'$ 降低、E/A 比值倒置,无明显充盈压升高表现[6]。

发展至中度异常时,会出现特征性的假性正常化现象[7]。随着病情进展,左心室舒张末压逐渐升高,引发左心房压力的代偿性上升,使得舒张早期房室之间的压力梯度显著增大。这种压力梯度的改变会被动加快二尖瓣血流速度,最终导致 PFR 回升至正常参考范围( $PFR > 2.5$  EDV/s),但心肌本身的松弛功能缺陷并未得到改善,本质上仍属于中度舒张功能异常,此阶段也是临床最易误判的关键环节。

当病变进入重度异常阶段,则表现为限制性充盈障碍[8]。此时左心室顺应性出现显著下降,充盈压急剧升高,形成限制性充盈模式,PFR 可再次降低,超声表现为 E/A 比值显著升高、 $E/e'$ 明显增高,患者临床预后较差,多伴随明显心衰症状。

### 2.2. 核素门控心功能 PFR 的检测优势与判读标准

PFR 是通过心电图门控技术采集左心室时间-容积曲线,进而计算得出的舒张早期容积变化速率,

其单位为 EDV/s。作为核素门控心功能检查的核心参数，PFR 具有显著的检测优势：其一，定量方式客观，无需依赖心脏几何形态的假设，检测结果不受主观因素干扰，尤其适用于声窗条件差、超声显像不清的患者；其二，重复性优异，个体内变异度小，能够稳定反映患者的舒张功能状态，适合长期随访监测；其三，在检测 PFR 的同时，可同步获取左心室射血分数(LVEF)、室壁运动情况、达峰时间(TPFR)、1/3 充盈分数(1/3FR)等多项心功能参数，实现多维度功能评估；其四，可与心肌灌注显像实现技术整合，完成心肌灌注与舒张功能的一站式评估，直接关联舒张功能异常的病因与病理改变。

目前，国内外核医学与心血管领域已形成公认的 PFR 临床判读标准：以  $<2.5$  EDV/s 作为左心室舒张功能轻度降低的判定依据；而  $PFR > 2.5$  EDV/s 的结果并非绝对的正常，该区间内涵盖了舒张功能真正正常与假性正常化两种情况，必须结合心肌灌注、超声 E/e' 等指标进一步鉴别诊断，杜绝单一指标导致的漏诊 [9]。

### 3. 核素 PFR 假性正常化的困境与病理机制

#### 3.1. PFR 假性正常化的临床困境

假性正常化是左心室舒张功能评估中最具挑战性的环节，也是临床误判的高发点 [10]。在冠心病、高血压、射血分数保留心衰(HFpEF)等患者群体中，PFR 假性正常化的发生率高达 30%~50%，尤其在隐匿性冠心病患者中更为常见。由于单一 PFR 指标无法区分真正正常与假性正常化，仅依据  $PFR > 2.5$  的结果，极易将中度舒张功能异常误判为正常，导致高危患者被遗漏，无法及时实施临床干预，最终进展为症状性心衰，严重影响疾病的治疗效果和患者预后。同时，临床中缺乏标准化的鉴别流程，面对 E/e' 处于灰色地带的疑难病例，诊断决策缺乏明确依据，进一步增加了临床实操难度。

#### 3.2. PFR 假性正常化的核心病理机制

PFR 假性正常化并非心肌舒张功能的真正恢复，而是机体在病理状态下的代偿性表现，其发生机制存在明确的因果链条 [11]。心肌缺血、瘢痕形成或间质纤维化等原发性病变，会直接导致心肌主动松弛能力下降；这种松弛功能的缺陷会进一步引起左心室舒张末压升高，为维持正常的心室充盈，左心房压力会出现代偿性升高；左心房压力的上升会增大舒张早期房室之间的压力梯度，促使二尖瓣血流速度加快，最终表现为核素检测的 PFR 回升至正常范围。

简言之，心肌灌注异常是 PFR 假性正常化发生的根本原因，左心室充盈压升高是中间环节，而 PFR 数值的“正常化”仅是表面现象，这一病理机制也为临床鉴别诊断提供了核心思路——通过联合灌注评估与充盈压指标，直击病理本质，实现精准鉴别。

### 4. 心脏超声舒张功能评估核心指标与最新指南(2024~2025 ASE/EACVI)

2024~2025 年 ASE/EACVI 发布的超声心动图评估左心室舒张功能指南，明确了多项核心评估指标，尤其细化了 E/e' 灰色地带的判读建议，为 PFR 假性正常化的鉴别提供了重要的超声学依据，各指标的临床意义与判读要点各有侧重，形成了完整的超声评估体系。

E/A 比值是评估二尖瓣血流模式的经典指标，其正常参考范围为 0.8~1.5，当舒张功能轻度异常时，E/A 比值会低于 0.8，而在假性正常化阶段，该比值会恢复至正常区间，与真正正常人群无明显差异，因此单一 E/A 比值无法单独鉴别假性正常化，需联合其他指标综合判断。

心肌舒张早期速度(e')可直接反映心肌的松弛功能，是评估舒张功能的敏感指标，其中室间隔  $e' < 7$  cm/s、侧壁  $< 10$  cm/s，即可提示心肌松弛功能受损，这一改变在假性正常化阶段依然存在，不会因左房压力代偿而恢复，是鉴别真正正常与假性正常化的重要基础指标。

E/e'比值是反映左心室充盈压的关键指标, 其判读标准具有明确的临床分层价值: E/e' < 8 提示充盈压正常, 可基本排除假性正常化; 9~14 为灰色区间, 该区间内充盈压状态无法单一确定, 需结合心肌灌注、左房容积、生物标志物等进一步验证; E/e' ≥ 15 则可明确提示左心室充盈压升高, 是支持 PFR 假性正常化诊断的核心超声指标[12]。

左房容积指数(LAVI)能够反映左心房的长期负荷状态, 当 LAVI ≥ 34 mL/m<sup>2</sup> 时, 提示患者存在慢性舒张功能异常, 可作为假性正常化的辅助诊断依据, 尤其适用于 E/e' 灰色地带的补充判断。此外, 三尖瓣反流速度也是重要的间接评估指标, 当反流速度 ≥ 2.8 m/s 时, 提示患者合并肺动脉高压, 间接反映左心充盈压增高, 可为 PFR 假性正常化的诊断提供补充证据。

综合运用上述超声核心指标, 能够有效识别出 PFR > 2.5 患者中的假性正常化人群, 弥补单一核素指标的局限性, 为多模态整合诊断奠定基础[13]。

## 5. 舒张功能评估的无创影像与有创方法最新进展

除核素显像与常规心脏超声外, 各类无创影像新技术与有创检测方法的发展, 为左心室舒张功能异常及 PFR 假性正常化的精准评估提供了更多维度的支持, 也进一步完善了多模态评估体系, 为疑难病例的诊断与检查升级提供了依据。

心脏磁共振(CMR)技术凭借其多参数、多序列成像的优势, 在舒张功能评估中展现出独特价值。其中, 特征追踪应变技术(FT-CMR)能够早期检测到心肌应变的细微异常, 早于形态学改变发现舒张功能受损; T1 mapping 技术与细胞外容积(ECV)定量分析, 可精准量化心肌间质纤维化的程度, 从病理层面揭示舒张功能异常的根源, 尤其适用于心肌病导致的舒张功能异常鉴别; 同时, CMR 还能同步完成心肌容积、心功能、灌注状态及纤维化程度的综合评估, 为诊断提供全面依据, 是无创检查中精准度最高的技术之一[14]。

核医学领域的新技术也在不断拓展舒张功能评估的边界, 18F-FDG、11C-醋酸盐等代谢显像剂可用于评估心肌能量代谢状态, 明确舒张功能异常的代谢病因; 正电子发射断层显像(PET)能够定量检测冠状动脉血流储备(CFR), 评估心肌微血管病变, 这些检测结果能够为 PFR 假性正常化的病因诊断提供关键线索, 进一步提升核医学评估的全面性。

有创血流动力学检测是诊断左心室舒张功能异常的金标准[15], 通过心导管技术直接测量左室舒张末压(LVEDP)和肺毛细血管楔压(PCWP), 可明确充盈压状态。当 LVEDP ≥ 16 mmHg 或 PCWP ≥ 15 mmHg 时, 可确诊患者存在充盈压升高, 进而明确 PFR 假性正常化的诊断, 这一方法常作为多模态无创检查仍无法明确的疑难病例的最终确诊依据, 也是临床决策升级检查的重要指征。

生物标志物在舒张功能评估中也发挥着重要的辅助作用, NT-proBNP/BNP 作为心衰诊断的经典标志物, 与 PFR、E/e' 比值联合使用时, 能够显著提高 PFR 假性正常化的检出率, 尤其在 E/e' 灰色地带的病例中, 可作为重要的补充判断依据, 为临床诊断提供更全面的参考。

## 6. 核素 PFR 假性正常化的核心鉴别策略

核素门控心肌灌注显像(G-MPI)实现了心肌灌注与心功能检测的技术融合, 可通过一次检查同步获取心肌灌注状态与 PFR 数值, 是目前鉴别 PFR 假性正常化最特异、最便捷的无创诊断方案。

### 6.1. 心肌灌注异常: 鉴别假性正常化的核心线索

基于 PFR 假性正常化的病理机制, 心肌灌注状态是区分 PFR > 2.5 时真正正常与假性正常化的核心依据。在临床诊断中, 若患者 PFR > 2.5, 且心肌灌注显像结果正常, 结合超声 E/e' 比值正常, 可明确判定

为左心室舒张功能真正正常；若患者  $PFR > 2.5$ ，同时合并心肌灌注异常、缺血或瘢痕改变，且超声检测提示  $E/e' \geq 15$ ，则可确诊为  $PFR$  假性正常化，即中度左心室舒张功能异常。这一联合鉴别策略，将核素的 功能学检测与灌注学评估相结合，直击假性正常化的病理本质，显著提升了诊断的准确性。

### 6.2. 辅助功能参数：提升鉴别诊断的全面性

除核心的  $PFR$  与心肌灌注指标外，核素门控心功能检测中的多项辅助功能参数，也能为  $PFR$  假性正常化的鉴别提供补充价值[16]。在假性正常化患者中，常可观察到达峰时间(TPFR)延长、1/3 充盈分数(1/3FR)降低、 $PFR/TPFR$  比值下降等特征性改变；此外，负荷状态下的  $PFR$  变化也具有鉴别意义，正常人群负荷后  $PFR$  会出现相应提升，而假性正常化患者负荷后  $PFR$  无明显变化，甚至出现下降。将这些辅助参数与核心指标结合，能够进一步提升鉴别诊断的全面性和可靠性。

### 6.3. 多模态整合诊断流程图及讨论

为提升临床可操作性，将上述多模态评估指标与鉴别策略整合为标准化诊断流程图，明确各环节判读标准、灰色地带处理方案及检查升级指征，具体流程如下：

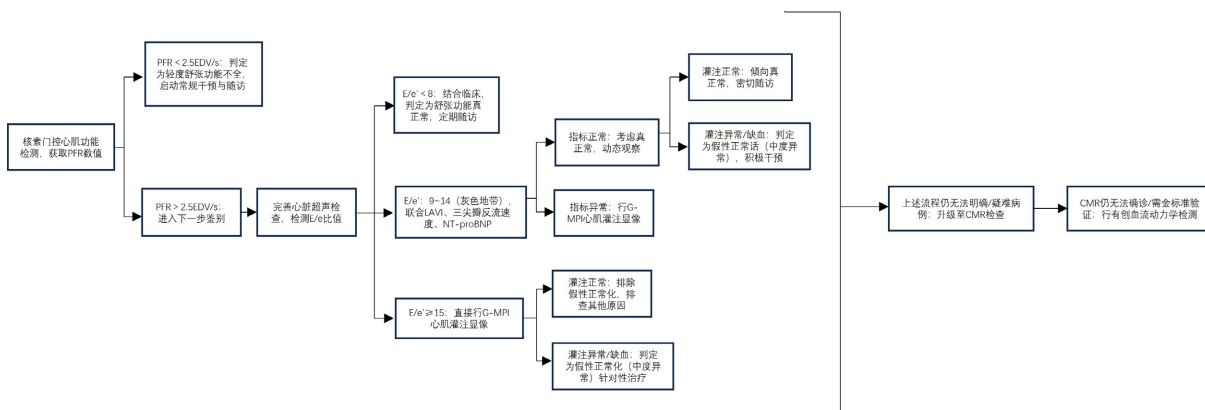


Figure 1. Multimodal diagnostic flowchart of left ventricular diastolic function

图 1. 左心室舒张功能多模态诊断流程图

本流程图突破传统二元分支诊断模式，纳入  $E/e' 9\sim 14$  灰色地带的分层处理方案，解决了临床疑难病例的决策难题。

① 灰色地带的处理： $E/e' 9\sim 14$  是临床最易误判的区间，单独依靠超声或核素指标均无法明确诊断，流程图中明确需联合左房容积、三尖瓣反流速度、生物标志物等多层指标筛选，对高危人群直接加做  $G-MPI$  灌注显像，依托核素一站式评估优势，快速明确灌注状态，避免漏诊中度舒张功能异常。

② 检查升级指征明确化：明确规定  $CMR$  与有创检查的启动场景，针对多模态无创检查仍存疑、合并心肌病/复杂冠心病、病因不明的呼吸困难患者，优先升级至  $CMR$  评估心肌纤维化；对于  $CMR$  仍无法确诊、需精准测量充盈压的疑难病例，再启动有创血流动力学检测，既保证诊断精准度，又避免过度检查，兼顾医疗成本与临床效率。

③ 核医学核心地位凸显：流程图将  $G-MPI$  作为  $PFR > 2.5$  病例鉴别诊断的核心环节，依托其灌注与功能同步评估的优势，直接关联假性正常化的根本病理原因，相较于单一超声评估，大幅提升诊断特异性，解决了  $PFR$  假性正常化鉴别无核心依据的临床痛点。

④ 临床实操性提升：流程各环节均有明确的指标阈值与决策路径，临床医生可按照步骤逐步排查，无需依赖经验判断，尤其适合基层医院与非核医学专业医生操作，推动多模态评估方案的临床普及。

## 7. 不同影像核心方案横向对比

为进一步明确 G-MPI 核心方案的临床独特价值, 本节从适用临床情境、优缺点、适用人群、局限性四个维度, 深入客观对比本文提出的 G-MPI 核心方案、超声核心方案与 CMR 核心方案, 为临床不同场景下的方案选择提供依据。

### 7.1. 已知冠心病患者群体

对于已知冠心病、尤其是合并心肌缺血/梗死的患者, G-MPI 核心方案展现出绝对优势。该方案可同步评估心肌缺血部位、范围与舒张功能状态, 直接将灌注异常与 PFR 假性正常化关联, 诊断特异性高达 90% 以上, 能精准区分缺血导致的假性正常化与真正正常, 为冠心病的危险分层与血运重建决策提供双重依据; 但检查成本较高, 存在放射性辐射, 不适用于孕妇与儿童。超声核心方案操作便捷、无辐射、成本低, 可快速评估充盈压, 但无法直接显示心肌灌注, 对冠心病导致的假性正常化鉴别特异性不足, 易受声窗影响。CMR 核心方案可精准量化心肌纤维化与瘢痕体积, 评估缺血程度, 但检查时间长、禁忌症多(如起搏器植入、金属异物), 成本高昂, 且无法实时评估, 不适用于急诊与病情不稳定的冠心病患者[17]。

### 7.2. 不明原因呼吸困难患者群体

不明原因呼吸困难患者需排查舒张功能不全与心衰, 超声核心方案作为首选筛查手段, 具备便携、可床旁操作、性价比高的特点, 适合基层医院初筛, 能快速排除明显的舒张功能异常与心脏结构病变; 但敏感性较低, 对早期、隐匿性假性正常化漏诊率高。G-MPI 核心方案可一站式排查心肌缺血与舒张功能异常, 针对不明原因呼吸困难且超声无法明确的患者, 能同时找到病因与功能异常, 诊断效率显著优于单一超声, 尤其适用于合并糖尿病、高血压的中老年患者。CMR 核心方案可全面评估心脏结构、功能、灌注与纤维化, 对非缺血性心肌病导致的舒张功能异常鉴别能力突出, 但医疗可及性差, 不适合作为常规筛查手段, 仅用于疑难病例的进一步确诊[18]。

三种方案并非相互替代, 而是互补关系: 临床可采用“超声初筛 + G-MPI 精准鉴别 + CMR/有创检查疑难确诊”的阶梯式诊疗模式, 既控制医疗成本, 又保证诊断精准度, 而 G-MPI 核心方案在其中承担着精准分层、避免漏诊的核心作用。

## 8. 核素 PFR 假性正常化的核心鉴别策略

联合心肌灌注显像核素门控心肌灌注显像(G-MPI)实现了心肌灌注与心功能检测的技术融合, 可通过一次检查同步获取心肌灌注状态与 PFR 数值, 是目前鉴别 PFR 假性正常化最特异、最便捷的无创诊断方案, 也是多模态整合体系中的核心环节。

### 8.1. 心肌灌注异常: 鉴别假性正常化的核心线索

基于 PFR 假性正常化的病理机制, 心肌灌注状态是区分  $PFR > 2.5$  时真正正常与假性正常化的核心依据。在临床诊断中, 若患者  $PFR > 2.5$ , 且心肌灌注显像结果正常, 结合超声  $< 8$ 、LAVI 正常等指标, 可明确判定为左心室舒张功能真正正常; 若患者  $PFR > 2.5$ , 同时合并心肌灌注异常、缺血或瘢痕改变, 且超声检测提示  $E/e' \geq 15$ , 或  $E/e'$  处于灰色地带但其他辅助指标异常, 则可确诊为 PFR 假性正常化, 即中度左心室舒张功能异常。这一联合鉴别策略, 将核素的功能学检测与灌注学评估相结合, 直击假性正常化的病理本质, 彻底解决单一 PFR 指标误判的问题, 显著提升了诊断的准确性[19] [20]。

### 8.2. 辅助功能参数: 提升鉴别诊断的全面性

除核心的 PFR 与心肌灌注指标外, 核素门控心功能检测中的多项辅助功能参数, 也能为 PFR 假性正

常化的鉴别提供补充价值[21] [22]。在假性正常化患者中, 常可观察到达峰时间(TPFR)延长、1/3充盈分数(1/3FR)降低、PFR/TPFR 比值下降等特征性改变, 这些参数反映了舒张早期充盈的同步性与效率, 可作为核心指标的补充; 此外, 负荷状态下的 PFR 变化也具有鉴别意义, 正常人群负荷后心肌供血改善、松弛功能增强, PFR 会出现相应提升, 而假性正常化患者因存在心肌缺血或松弛缺陷, 负荷后 PFR 无明显变化, 甚至出现下降。将这些辅助参数与核心指标结合, 能够进一步提升鉴别诊断的全面性和可靠性, 减少疑难病例的误判率。

## 9. 总结与展望

核素门控心功能检测中的 PFR, 是评估左心室舒张功能的稳定、可靠指标, 在心血管疾病的早期筛查与预后评估中具有重要临床价值[23]。临床实践中需明确, PFR < 2.5 EDV/s 可提示轻度左心室舒张功能降低, 而 PFR > 2.5 的结果必须通过多指标、多模态联合评估, 严格区分舒张功能真正正常与假性正常化(中度异常), 杜绝漏诊。

以 PFR 为核心, 联合心肌灌注显像与超声 E/e'比值的三联评估体系, 结合标准化多模态诊断流程图, 实现了无创、一站式、精准化的左心室舒张功能分层, 明确了灰色地带处理与检查升级指征, 有效规避 PFR 假性正常化导致的中度舒张功能异常漏诊; 通过与超声、CMR 核心方案的横向对比, 进一步突显了 G-MPI 方案在冠心病鉴别、疑难病例诊断中的独特优势, 为临床方案选择提供了客观依据, 也为冠心病、射血分数保留心衰(HFpEF)的早期筛查、危险分层及疗效监测, 提供了更具可操作性的核医学诊断依据[24] [24]。

未来, 随着人工智能(AI)定量分析技术的成熟、多模态影像融合技术的发展, 以及分子功能影像的不断创新, 核医学在左心室舒张功能评估领域的应用将更加自动化、精准化。AI 技术可实现 PFR、心肌灌注的全自动定量分析与智能判读, 进一步降低人为误差; 多模态影像融合软件可将核素、超声、CMR 图像精准融合, 实现一站式多维度评估; 分子功能影像则可从代谢、受体层面揭示舒张功能异常的微观机制。通过整合多维度的影像信息与临床数据, 有望构建更完善的舒张功能评估模型, 进一步推动心血管疾病精准诊疗的发展, 为患者带来更多临床获益。

## 参考文献

- [1] 中华医学会心血管病学分会, 中国医师协会心血管内科医师分会, 中国医师协会心力衰竭专业委员会, 等. 中国心力衰竭诊断和治疗指南 2024[J]. 中华心血管病杂志, 2024, 52(3): 235-275.
- [2] Robinson, S., Ring, L., Oxborough, D., Harkness, A., Bennett, S., Rana, B., *et al.* (2024) The Assessment of Left Ventricular Diastolic Function: Guidance and Recommendations from the British Society of Echocardiography. *Echo Research & Practice*, 11, Article No. 16. <https://doi.org/10.1186/s44156-024-00051-2>
- [3] 中华医学会核医学分会, 中华医学会心血管病学分会. 核素心肌显像临床应用指南(2018) [J]. 中华心血管病杂志, 2019, 47(7): 519-527.
- [4] Patel, D., Robinson, V.J.B., Arteaga, R.B. and Thornton, J.W. (2008) Diastolic Filling Parameters Derived from Myocardial Perfusion Imaging Can Predict Left Ventricular End-Diastolic Pressure at Subsequent Cardiac Catheterization. *Journal of Nuclear Medicine*, 49, 746-751. <https://doi.org/10.2967/jnumed.107.049395>
- [5] Xu, B., Liu, L., Abdu, F.A., Yin, G., Mohammed, A., Xu, S., *et al.* (2021) Prognostic Value of Diastolic Dysfunction Derived from D-SPECT in Coronary Artery Disease Patients with Normal Ejection Fraction. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 8, Article 700027. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.700027>
- [6] Rosano, G.M.C., Teerlink, J.R., Kinugawa, K., Bayes-Genis, A., Chioncel, O., Fang, J., *et al.* (2025) The Use of Left Ventricular Ejection Fraction in the Diagnosis and Management of Heart Failure. a Clinical Consensus Statement of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC, the Heart Failure Society of America (HFSA), and the Japanese Heart Failure Society (JHFS). *European Journal of Heart Failure*, 27, 1174-1187. <https://doi.org/10.1002/ejhf.3646>
- [7] Caliskan, B. and Inanir, M. (2024) SPECT Myocardial Perfusion Imaging for the Evaluation of Left Ventricular Mechanical Dyssynchrony in Obese Patients. *Journal of Clinical Ultrasound*, 52, 1037-1043.

- <https://doi.org/10.1002/jcu.23752>
- [8] Messroghli, D.R., Moon, J.C., Ferreira, V.M., Grosse-Wortmann, L., He, T., Kellman, P., *et al.* (2016) Clinical Recommendations for Cardiovascular Magnetic Resonance Mapping of T1, T2, T2\* and Extracellular Volume: A Consensus Statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) Endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*, **19**, 75. <https://doi.org/10.1186/s12968-017-0389-8>
- [9] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 中国慢性冠脉综合征患者诊断及治疗指南[J]. 中华心血管病杂志, 2024, 52(6): 589-614.
- [10] Garcia, E.V., Slomka, P., Moody, J.B., Germano, G. and Ficaro, E.P. (2019) Quantitative Clinical Nuclear Cardiology, Part 1: Established Applications. *Journal of Nuclear Medicine*, **60**, 1507-1516. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.229799>
- [11] 余飞, 李剑明, 张涵, 等. CZT 心脏专用 SPECT 心肌血流定量技术临床应用中国专家共识[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2024, 48(4): 207-214.
- [12] 张飞飞, 王建锋, 邵晓梁, 等. 门控心肌灌注显像评价急性心肌梗死早期左心室舒张不同步及其影响因素的实验研究[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2022, 42(3): 154-159.
- [13] EANM and ESC (2005) EANM/ESC Procedural Guidelines for Myocardial Perfusion Imaging in Nuclear Cardiology. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **32**, 855-897.
- [14] Nitta, K., Kurisu, S., Sumimoto, Y., Ikenaga, H., Ishibashi, K., Fukuda, Y., *et al.* (2019) Diagnostic Value of Peak Filling Rate Derived from ECG-Gated Myocardial Perfusion SPECT for Detecting Myocardial Ischaemia in Patients with Non-Obstructive Coronary Artery Disease. *Acta Cardiologica*, **75**, 37-41. <https://doi.org/10.1080/00015385.2018.1544698>
- [15] 浙江省核医学中心, 浙江省医学会核医学与放射医学防护分会质控学组. 浙江省 99mTc-MIBI SPECT 心肌灌注显像检查规范及质量控制专家共识(2020 版) [J]. 浙江医学, 2021, 43(2): 117-123+147.
- [16] Nagueh, S.F., Smiseth, O.A., Appleton, C.P., Byrd, B.F., Dokainish, H., Edvardsen, T., *et al.* (2016) Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography*, **29**, 277-314. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.01.011>
- [17] Zile, M.R. and Gaasch, W.H. (1990) Mechanical Loads and the Isovolumic and Filling Indices of Left Ventricular Relaxation. *Progress in Cardiovascular Diseases*, **32**, 333-346. [https://doi.org/10.1016/0033-0620\(90\)90020-3](https://doi.org/10.1016/0033-0620(90)90020-3)
- [18] Carroll, J.D., Hess, O.M., Hirzel, H.O. and Krayenbuehl, H.P. (1983) Dynamics of Left Ventricular Filling at Rest and during Exercise. *Circulation*, **68**, 59-67. <https://doi.org/10.1161/01.cir.68.1.59>
- [19] Nagueh, S.F. (2020) Left Ventricular Diastolic Function: Understanding Pathophysiology, Diagnosis, and Prognosis with Echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging*, **13**, 228-244. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.10.038>
- [20] Kass, D.A., Bronzwaer, J.G.F. and Paulus, W.J. (2004) What Mechanisms Underlie Diastolic Dysfunction in Heart Failure? *Circulation Research*, **94**, 1533-1542. <https://doi.org/10.1161/01.res.0000129254.25507.d6>
- [21] Nagueh, S.F. (2019) Left Ventricular Diastolic Function. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **13**, 228-244. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.10.038>
- [22] Kim, C.K., Bartholomew, B.A., Mastin, S.T., Taasan, V.C., Carson, K.M. and Sheps, D.S. (2003) Detection and Reproducibility of Mental Stress-Induced Myocardial Ischemia with Tc-99m Sestamibi SPECT in Normal and Coronary Artery Disease Populations. *Journal of Nuclear Cardiology*, **10**, 56-62. <https://doi.org/10.1067/mnc.2003.26>
- [23] Zile, M.R. and Gaasch, W.H. (1990) Mechanical Loads and the Isovolumic and Filling Indices of Left Ventricular Relaxation. *Progress in Cardiovascular Diseases*, **32**, 333-346. [https://doi.org/10.1016/0033-0620\(90\)90020-3](https://doi.org/10.1016/0033-0620(90)90020-3)
- [24] Ishida, Y., Meisner, J.S., Tsujioka, K., Gallo, J.I., Yoran, C., Frater, R.W., *et al.* (1986) Left Ventricular Filling Dynamics: Influence of Left Ventricular Relaxation and Left Atrial Pressure. *Circulation*, **74**, 187-196. <https://doi.org/10.1161/01.cir.74.1.187>