临床研究 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003831

电子心力测量法对成人心力衰竭的诊断价值研究

韦 雪[1]，杜新月[1]，刘 龙[2]，蒋秋月[1]，邓国兰[1]
（1.重庆医科大学附属第一医院心血管内科，重庆 400016；2.重庆市合川区人民医院放射科，重庆 401533）

【摘 要】目的：探讨无创血流动力学检测技术中的电子心力测量（electrical cardiometry，EC）法对成人心力衰竭（heart failure，HF）的诊断价值。**方法：**选择2022年9月至2024年5月重庆医科大学附属第一医院心血管内科住院成人患者进行前瞻性研究，将临床诊断为HF的患者纳入HF组，临床排除HF的患者纳入对照组。比较2组EC法测定的每搏输出变异（stroke volume variation，SVV）、收缩时间比例（systolic time ratio，STR）、预射血前期（pre-ejection period，PEP）、心肌收缩指数（contractility，ICON）、心肌收缩指数变异（ICON Variation，VIC）、左心室射血时间（left ventricle ejection time，LVET）、左心室射血分数（left ventricular ejection fraction，LVEF）及一般临床资料。采用前进法构建多因素logistic回归模型分析HF的相关因素。进一步绘制EC法测定的血流动力学指标诊断HF的受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线，计算曲线下面积（area under the curve，AUC）。**结果：**共纳入239例，其中HF组126例，对照组113例。HF组SVV、STR、PEP、VIC、年龄高于对照组，ICON、LVET、LVEF低于对照组（$P<0.001$）。采用前进法构建多因素logistic回归模型结果显示，STR（$OR=1.199$，95%CI=1.110~1.294，$P<0.001$）、VIC（$OR=1.176$，95%CI=1.090~1.269，$P<0.001$）、年龄（$OR=1.068$，95%CI=1.010~1.128，$P<0.05$）与HF呈正相关。ICON（$OR=0.968$，95%CI=0.941~0.996，$P<0.05$）、LVEF（$OR=0.854$，95%CI=0.798~0.913，$P<0.001$）与HF呈负相关。ROC曲线显示STR、VIC、ICON诊断HF的AUC分别为0.887（95%CI=0.848~0.927）、0.891（95%CI=0.851~0.932）、0.718（95%CI=0.654~0.782）；最佳临界值分别为37.5%、19.5%、49.3；灵敏度依次为91.3%、73.8%、50.0%，特异度依次为61.4%、93.8%、86.7%。其中，STR联合VIC诊断HF的AUC为0.940（95%CI=0.912~0.967），灵敏度为83.3%，特异度为91.2%。**结论：**EC法可有效评估成人患者的心功能状态，STR联合VIC对于诊断HF有一定的临床价值。

【关键词】无创血流动力学检测技术；电子心力测量法；心力衰竭
【中图分类号】R541.6 **【文献标志码】**A **【收稿日期】**2024-12-26

Value of electrical cardiometry in the diagnosis of heart failure in adults

Wei Xue[1], Du Xinyue[1], Liu Long[2], Jiang Qiuyue[1], Deng Guolan[1]
(1. Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University;
2. Department of Radiology, Chongqing Hechuan District People's Hospital)

【Abstract】*Objective*: To investigate the value of electrical cardiometry (EC), a noninvasive hemodynamic testing technique, in the diagnosis of heart failure (HF) in adults. ***Methods*:** A prospective study was conducted among the adult patients who were hospitalized in Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, from September 2022 to May 2024, and the patients who were diagnosed with HF were enrolled as HF group, while those who were excluded from the clinical diagnosis of HF were enrolled as control group. The two groups were compared in terms of general clinical data and related parameters measured by EC, including stroke volume variation (SVV), systolic time ratio (STR), pre-ejection period (PEP), index of contractility (ICON), ICON variation (VIC), left ventricular ejection time (LVET), and left ventricular ejection fraction (LVEF). A multivariate logistic regression model established by the forward method was used to investigate the factors associated with HF. The receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted for the hemodynamic parameters measured by EC in the diagnosis of HF, and the area under the ROC curve (AUC) was calculated. ***Results*:** A total of 239 patients were enrolled, with 126 in the HF group and 113 in the control group. Compared with the control group, the HF group had significantly higher SVV, STR, PEP, VIC, and age and significantly lower ICON, LVET, and LVEF (all $P<0.001$). The multivariate logistic regression model established by the forward method showed that STR (odds ratio [OR] = 1.199, 95%CI=1.110-1.294, $P<0.001$), VIC ($OR=1.176$, 95%CI=

作者介绍：韦 雪，Email：doctwx@163.com，研究方向：心血管疾病。
通信作者：邓国兰，Email：dengguolan0201@163.com。
基金项目：国家自然科学基金资助项目（编号：CSTB2024NSCQ-MSX1071）。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.r.20250417.1610.002（2025-04-17）

1.090-1.269, P<0.001), and age(OR=1.068, 95%CI=1.010-1.128, P<0.05) were positively correlated with HF, and ICON(OR=0.968, 95%CI=0.941-0.996, P<0.05) and LVEF(OR=0.854, 95%CI=0.798-0.913, P<0.001) were negatively correlated with HF. The ROC curve analysis showed that STR, VIC, and ICON had an AUC of 0.887 (95%CI=0.848-0.927), 0.891 (95%CI=0.851-0.932), and 0.718 (95%CI=0.654-0.782), respectively, in the diagnosis of HF, with an optimal cut-off value of 37.5%, 19.5%, and 49.3, respectively, a sensitivity of 91.3%, 73.8%, and 50.0%, respectively, and a specificity of 61.4%, 93.8%, and 86.7%, respectively. Among these indicators, STR combined with VIC had an AUC of 0.940 (95%CI=0.912-0.967) in the diagnosis of HF, with a sensitivity of 83.3% and a specificity of 91.2%. ***Conclusion***: The EC method can effectively assess the cardiac functional status of adult patients, and STR combined with VIC has some clinical value for the diagnosis of heart failure.

【Key words】noninvasive hemodynamic testing; electrical cardiometry; heart failure

心力衰竭（heart failure，HF）是一种复杂的临床综合征，具有病死率高、医疗费用高的特点，给全球公共卫生带来沉重负担[1-2]。但HF诊断复杂，需要依赖于病史、体格检查、实验室检查、心脏影像学检查和功能检查等多方面进行评估[3]，而HF早期在这些方面可能表现为阴性，容易导致漏诊。因此需要依据血流动力学改变尽早识别心功能异常，对HF患者的临床诊治具有重要意义[4-5]。有创监测方法中的肺动脉漂浮导管法是监测血流动力学的金标准，但因其侵入性和潜在的风险无法普遍应用。随着医疗技术的进步，无创血流动力学检测逐步应用到临床。超声心动图临床应用最为广泛，但其专业要求较高，无法及时、实时连续监测循环情况。电子心力测量（electrical cardiometry，EC）法[6]应用无创心输出量仪，可以无创、快速、持续性床旁监测血流动力学变化。目前EC法已用于危重早产儿、新生儿脓毒血症、先天性心脏病术后等患儿的心功能评估，对于成人HF患者血流动力学指标的参考范围及指导意义相关研究较少。

本研究应用EC法对成人HF患者进行心功能监测，并对不同血流动力学指标进行分析，旨在探讨EC法对HF的诊断价值，为早期发现血流动力学异常提供临床依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选择2022年9月至2024年5月重庆医科大学附属第一医院心血管内科住院患者进行前瞻性研究，根据美国心脏病学会（American College of Cardiology，ACC）/美国心脏协会（American Heart Association，AHA）/美国心衰学会（Heart Failure Society of America，HFSA）联合发布的《2022年心力衰竭管理指南》临床诊断为HF的患者纳入HF组，临床排除HF的患者纳入对照组。纳入标准：①年龄≥18岁；②HF诊断符合《2022年心力衰竭管理指南》。排除标准：①合并严重的先天性心脏畸形或心律失常；②精神疾病、认知障碍、神经疾病、大量胸腔积液以及不能配合者；③检查时处于明显的干扰状态（如躁动、呛咳、寒战、肢体抖动、不能平卧等）；④病例资料不完整。本研究经本院医学伦理委员会批准（批准号：2023-350），所有患者或其家属均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 收集患者临床资料。①一般资料：性别、年龄、身高、体质指数（body mass index，BMI），冠心病、高血压、糖尿病、血脂异常、心律失常、肾功能不全病史等。②EC法测定的血流动力学指标：每搏输出变异（stroke volume variation，SVV）、收缩时间比例（systolic time ratio，STR）、预射血前期（pre-ejection period，PEP）、心肌收缩指数（contractility，ICON）、心肌收缩指数变异（ICON variation，VIC）、左心室射血时间（left ventricle ejection time，LVET）。③超声心动图检查指标：左心室射血分数（left ventricular ejection fraction，LVEF）。

1.2.2 测量方法 ①BMI：所有患者均由专业医师进行体格检查，受试者穿着轻便的衣服进行测量身高（精确到0.1 cm）、体质量（精确到0.1 kg），计算BMI=体质量/身高^2（kg/m^2）。②EC法：使用德国OSYPKA ICON TM无创心输出量仪[7]，所有入组患者均由同一名经过培训的高年资医生进行监测。监测时患者取仰卧位，4个电极片分别置于左侧颈动脉接近耳垂的部位、左侧颈动脉肩颈交界处、剑突水平向左移至侧边胸廓肋骨（靠近心尖的位置）、剑突水平向左移至侧边胸廓肋骨下约5~10 cm等区域，持续监测电流传导，当绿色信号质量条指示信号质量指数≥80%时记录监视器生成的数据，获取血流动力学相关指标：SVV、STR、PEP、ICON、VIC、LVET。测量时采用盲法，测量结果由2名上级医师进行质控。③超声心动图：使用GE Vivid E95彩色多普勒超声仪，所有入组患者均由同一名超声科高年资医生完成检测，获取超声心动图检查指标LVEF。

1.2.3 诊断流程 ①根据病史、体格检查、心电图、胸部影像学检查判断有无HF的可能性：具有冠心病、高血压等HF高

危因素，端坐呼吸等症状的病史，体格检查具有水肿、呼吸困难、颈静脉充盈等体征。心电图存在心律失常或无症状性心肌缺血等异常。②通过血浆利钠肽检测和超声心动图明确是否存在HF：血浆利钠肽升高，即N末端B型利钠肽原（N-terminal pro-BNP，NT-proBNP）>125 pg/mL或B型利钠肽（B-type natriuretic peptide，BNP）>35 pg/mL。心脏结构和（或）功能异常，即左心室肥厚、左心房扩大、心脏舒张功能异常等。③结合具有针对性的特殊检查进一步确定HF的病因、诱因和分型。

1.3 统计学方法

应用SPSS 27.0统计软件进行数据分析。正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，组间比较采用两独立样本t检验；非正态分布的计量资料以中位数（四分位间距）[$M_d(P_{25},P_{75})$]表示，组间比较采用Wilcoxon秩和检验；计数资料以百分比（%）表示，组间比较采用χ^2检验。采用前进法构建多因素logistic回归模型，分析HF的相关因素。进一步绘制EC法测定的不同血流动力学指标诊断HF的受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线，计算曲线下面积（area under the curve，AUC），AUC>0.5为有诊断价值，AUC值越大诊断价值越高。检验水准α=0.05。

2 结 果

2.1 一般临床资料比较

本研究最终共纳入239例，其中HF组126例，对照组113例。2组患者性别、BMI，冠心病、高血压、糖尿病、血脂异常病史情况比较，差异均无统计学意义（P>0.05）。与对照组相比，HF组年龄更大，多合并心律失常与肾功能不全病史，LVEF更低，差异有统计学意义（P<0.001）。见表1。

2.2 2组患者EC法测定的血流动力学指标比较

HF组SVV、STR、PEP、VIC高于对照组，ICON、LVET低于对照组（P<0.001）。见表2。

2.3 HF患者的多因素相关分析

鉴于STR=PEP/LVET，故排除PEP和LVET，以是否有HF为因变量，以SVV、STR、VIC、ICON、LVEF、年龄、合并心律失常、合并肾功能不全为自变量，采用前进法构建多因素logistic回归模型，分析显示，STR（OR=1.199，95%CI=1.110~1.294，P<0.001）、VIC（OR=1.176，95%CI=1.090~1.269，P<0.001）、年龄（OR=1.068，95%CI=1.010~1.128，P<0.05）与HF呈正相关。ICON（OR=0.968，95%CI=0.941~0.996，P<0.05）、LVEF（OR=0.854，95%CI=0.798~0.913，P<0.001）与HF呈负相关。见表3。

2.4 EC法测定的血流动力学指标诊断HF的ROC曲线

ROC曲线显示STR、VIC、ICON诊断HF的AUC分别为0.887（95%CI=0.848~0.927）、0.891（95%CI=0.851~0.932）、0.718（95%CI=0.654~0.782）；最佳临界值分别为37.5%、19.5%、49.3；灵敏度依次为91.3%、73.8%、50.0%，特异度依次为61.4%、93.8%、86.7%。其中，STR联合VIC诊断HF的AUC为0.940（95%CI=0.912~0.967），灵敏度为83.3%，特异度为91.2%。见表4、图1。

表1 2患者一般临床资料比较[$M_d(P_{25},P_{75})$；$\bar{x}\pm s$；n，%]

项目	HF组（n=126）	对照组（n=113）	$Z/t/\chi^2$值	P值
年龄（岁）	75.50（70.00，82.25）	68.00（59.00，75.00）	−5.572	<0.001
BMI（kg/m^2）	23.80±3.92	23.9±3.05	0.213	0.832
男	65（51.6）	65（57.5）	0.846	0.358
冠心病	114（90.5）	103（91.2）	0.032	0.857
高血压	86（68.2）	75（66.4）	0.096	0.757
糖尿病	40（31.7）	37（32.7）	0.027	0.869
血脂异常	33（26.2）	26（23.0）	0.324	0.569
心律失常	65（51.6）	12（10.6）	45.785	<0.001
肾功能不全	32（25.4）	9（8.0）	12.738	<0.001
LVEF（%）	50.30（40.00，61.25）	61.90（60.00，66.00）	−7.448	<0.001

表2 2组患者EC法测定的血流动力学指标比较[$M_d(P_{25},P_{75})$；$\bar{x}\pm s$]

项目	HF组（n=126）	对照组（n=113）	Z/t值	P值
SVV（%）	15.0（12.0，19.0）	10.0（7.0，12.5）	−8.225	<0.001
STR	48（41，59）	34（29，39）	−10.340	<0.001
PEP（ms）	132.07±24.10	104.79±20.70	−9.335	<0.001
VIC（%）	25.00（19.00，31.25）	11.00（8.00，15.00）	−10.447	<0.001
ICON	49.45（40.02，65.90）	67.60（54.75，79.05）	−5.820	<0.001
LVET（ms）	276.60±33.00	304.87±24.60	7.441	<0.001

表 3　HF 患者的多因素相关分析

项目	β	*SE*	Wald χ^2	*P*	*OR*	95%CI
STR	0.181	0.039	21.412	<0.001	1.199	1.110~1.294
VIC(%)	0.162	0.039	17.434	<0.001	1.176	1.090~1.269
ICON	−0.032	0.015	4.908	0.027	0.968	0.941~0.996
LVEF	−0.158	0.034	21.222	<0.001	0.854	0.798~0.913
年龄	0.065	0.028	5.351	0.021	1.068	1.010~1.128

表 4　EC 法测定的血流动力学指标诊断 HF 的 ROC 曲线

项目	灵敏度(%)	特异度(%)	AUC(95%CI)	约登指数	截断值
STR	91.3	61.4	0.887(0.848~0.927)	0.577	37.5
VIC(%)	73.8	93.8	0.891(0.851~0.932)	0.676	19.5
ICON	50.0	86.7	0.718(0.654~0.782)	0.367	49.3
STR 联合 VIC	83.3	91.2	0.940(0.912~0.967)		

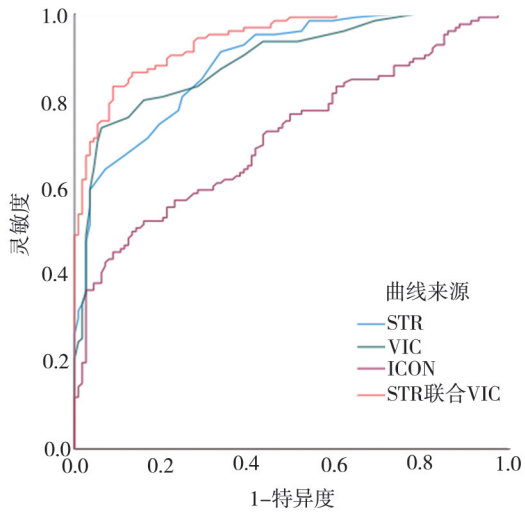


图 1　EC 法测定的 STR、VIC、ICON、STR 联合 VIC 诊断 HF 的 ROC 曲线

3　讨　论

HF 是一种慢性、自发进展性疾病，在疾病早期，心脏会触发多种代偿机制试图来维持相对稳定的心功能状态，包括 Frank-Starling 机制增加心肌收缩力，心室重构增加心室壁厚度，以及激活神经体液系统，通过兴奋交感神经增加心率和心肌收缩力，激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统（renin-angiotensin-aldosterone system，RAAS）增加水钠潴留、血管收缩以维持血流动力学稳定，长此以往，会加重心脏负担，代偿机制被打破，机体就会进入 HF 恶化的恶性循环[8]。HF 临床诊断评估复杂，需要结合病史、体格检查以及必要的检查检验，包括心电图、BNP 或 NTproBNP、超声心动图等，综合分析评估。临床上最常用的 HF 诊断指标有 BNP 和 LVEF，但有时可能表现为阴性而导致漏诊。早在 2012 年国际上就提出了射血分数保留型心力衰竭（heart failure with preserved ejection fraction，HFpEF），也就是 LVEF≥50% 的 HF。有研究显示 20% 的 HFpEF 患者 BNP 水平低于诊断阈值，这说明就算 BNP 水平正常也不能除外存在 HFpEF[9]。BNP 水平会受到多种因素的影响，包括年龄、性别、肥胖、肺动脉高压、肾功能不全等[10-11]。这些问题都会给临床医生带来诊断上的困难。

鉴于 HF 的血流动力学异常是其病理生理的核心，因此，通过监测血流动力学相关指标可以快速早期识别心功能变化，对 HF 患者的临床诊治具有重要意义。有创监测方法中的肺动脉漂浮导管法是监测血流动力学的金标准，但因其侵入性、操作复杂、费用贵和潜在的并发症风险[12-13]，使其无法在临床上普遍应用。随着医疗技术的进步，无创血流动力学检测逐步应用到临床。超声心动图，因其具有一定准确性、成本低、风险低等优点，临床应用最为广泛，但其专业要求较高，准确性依赖于操作人员的技术水平[14-15]，且无法实时连续监测循环情况。近年来，阻抗法无创血流动力学检测技术得以发展，如阻抗心动图（impedance cardiography，ICG），可以实现实时连续监测，但其抗干扰能力较弱，准确性受体位、呼吸、水肿等影响[16-17]。在 ICG 的基础上改进了算法和原理，诞生了电子心力测量（electrical cardiometry，EC）法。EC 法弥补了 ICG 准确性低的缺点，可以无创、快速、持续性床旁监测血流动力学

变化。本研究中所使用的德国 OSYPKA ICON TM 无创心输出量仪（ICON®）采用的就是 EC 法，该技术已获得 FDA 认证，大量临床试验证明 ICON®在血流动力学监测中具有较高的准确性[18-22]。2016 年 Koichi 等 1 项荟萃分析比较了 EC 法与其他无创血流动力学检测技术的准确性，共纳入 20 项研究 624 名研究对象，结果显示 EC 法的准确度最高[23]。目前 EC 法已用于危重早产儿、新生儿脓毒血症、先天性心脏病术后等患儿的心功能评估，对于成人 HF 患者血流动力学指标的参考范围及指导意义相关研究较少。本研究应用 EC 法对成人 HF 患者进行心功能监测，并对不同血流动力学指标进行分析，旨在探讨 EC 法对 HF 的诊断价值。

本研究结果显示，HF 组 SVV、STR、PEP、VIC 高于对照组，ICON、LVET 低于对照组，差异有统计学意义。HF 组上述指标的变化符合临床上该类患者血流动力学特点，提示临床中可以使用 EC 法评估成年患者的心功能状态。ICON 是基于每次心跳主动脉血流速度和加速度的变化测得，可以直接反映左心室心肌收缩力，其降低提示患者左心室心肌收缩力下降。PEP 测量从电收缩开始到机械收缩开始的时间。LVET 指左心室向主动脉射血的持续时间。STR 表示心肌电兴奋期和机械收缩期之间的比率，也就是 PEP/LVET，是反应心脏泵效率的敏感指标。本研究中，HF 组 STR、PEP 增高，ICON、LVET 缩短，标志着心功能由代偿期转为失代偿期。Frank-Starling 机制、心室重构、RAAS 系统失调，导致水钠潴留、心室舒张末期容积增大、心肌收缩能力下降，PEP 延长，LVET 缩短，造成一种恶性循环。SVV 反映了前负荷周期性变化的敏感性，可预测扩容治疗对每搏输出量的提高程度，即预测患者是否具有液体反应性。在本研究中，HF 组 SVV 更高，是多种因素共同作用的结果。首先，HF 组心律失常患者占比多，这会导致 SVV 升高，此外，也与心脏收缩功能受损，前负荷及后负荷波动，神经体液系统紊乱等有关。VIC 可以反映给予多巴胺类药物后心肌收缩力的储备，变异越大心肌储备越多，变异越小心肌储备越小。本研究所测得的血流动力学指标均是患者当前状态的反应，并没有反映给予多巴胺类药物前后的动态变化。本研究发现 HF 组 VIC 高于对照组，提示 HF 患者的心肌收缩力不稳定，这可能是随着疾病进展，早期代偿机制失调，心肌损伤、能量危机、钙调控紊乱等病理机制逐渐占主导，导致收缩力呈现明显波动。此外，心力衰竭患者的治疗干预、并发症（如心律失常、感染）及患者自身状态（如电解质紊乱）也会加剧心肌收缩力的不稳定性。

本研究通过前进法构建多因素 logistic 回归模型，分析与 HF 相关的血流动力学因素。研究发现，STR、VIC、年龄与 HF 具有正相关性，ICON 与 LVEF 与 HF 具有负相关性。本研究进一步通过绘制 ROC 曲线发现，用单一指标的话，STR 诊断 HF 的灵敏度最高，为 91.3%，AUC 为 0.887，最佳临界值为 37.5%，但特异度较低，提示当患者 STR>37.5% 时，HF 的可能性较大，对临床诊断 HF 具有一定价值。崔雅倩[24]采用 ICON®对 131 例急性心肌梗死患者进行研究，发现 STR 升高提示有 HF。Castellanos LR 等[25]联合 BNP 及 ICG 预测 524 例患者的 HF 相关事件，研究表明，BNP 和 ICG 测定的 STR 可作为早期 HF 发作的诊断指标，BNP>100 pg/mL 和 STR>45% 时，HF 发作的相对风险增加 12.5 倍。Bhalla V 等[26]通过探究 BNP 及 ICG 对 331 例高血压患者左心室功能障碍的诊断能力，发现 BNP 和 ICG 测定的 STR 是评估 HF 发作的良好指标。上述研究与本研究结果相似，由此可见 STR 对诊断 HF 具有一定临床价值。本研究还发现，VIC 诊断 HF 的特异度最高，为 93.8%，AUC 为 0.891，最佳临界值为 19.5%，但灵敏度不太高，提示当患者 VIC<19.5% 时，HF 的可能性较小，对临床排除 HF 具有一定价值。本研究进一步将 STR 与 VIC 联合绘制 ROC 曲线发现，STR 联合 VIC 诊断 HF 的灵敏度与特异度均明显提升（AUC 为 0.940，灵敏度为 83.3%，特异度为 91.2%），诊断效能优于单一指标，提示 STR 联合 VIC 对于诊断 HF 具有很大价值。既往尚无相关研究，值得进一步验证。

本研究的不足之处在于样本量较少，结果可能存在一定偏倚，未对 HF 分组分析，未与 BNP 和 LVEF 对比分析，未对入组患者行 EC 法动态监测，观测趋势变化，进行疗效评估，未来仍需进一步深入研究，发掘 EC 法在成人心力衰竭患者中的应用价值。

综上，EC 法可有效评估成人患者的心功能状态，STR 联合 VIC 对于诊断 HF 有一定的临床价值。

参 考 文 献

[1] 王 华，刘宇佳，杨杰孚. 心力衰竭流行病学[J]. 临床心血管病杂志，2023，39(4)：243-247.

Wang H，Liu YJ，Yang JF. Epidemiology of heart failure[J]. J Clin Cardiol，2023，39(4)：243-247.

[2] 王 宙，周 琳，刘 洋，等. 慢性心力衰竭的流行病学研究现状及其防治研究进展[J]. 中国循证心血管医学杂志，2019，11(8)：1022-1024.

Wang Z，Zhou L，Liu Y，et al. Epidemiology study status and research progress in prevention and treatment of chronic heart failure[J]. Chin J Evid Based Cardiovasc Med，2019，11(8)：1022-1024.

[3] Heidenreich PA，Bozkurt B，Aguilar D，et al. 2022 AHA/ACC/HFSA guideline for the management of heart failure：executive summary：a report of the American college of cardiology/American heart association joint committee on clinical practice guidelines[J]. Circulation，2022，145(18)：e876-e894.

[4] 张 芃. 心力衰竭相关的血清标志物的初步筛选及与心室重构相关性的研究[D]. 北京：北京协和医学院，2010.

Zhang P. Preliminary screening of serum markers related to heart failure and its correlation with ventricular remodeling[D]. Beijing：Peking Union Medical College，2010.

[5] 王卓清，李永豪，郭元芳，等. 心功能不同时期患者的无创血流动力学检测分析[J]. 军事医学，2017，41(8)：675-679.

Wang ZQ，Li YH，Guo YF，et al. Analysis of noninvasive hemodynamics in patients with cardiac disfunction during different periods[J]. Mil Med Sci，2017，41(8)：675-679.

[6] Sumbel L，Annamalai MR，Wats A，et al. Noninvasive cardiac output monitoring using electrical cardiometry and outcomes in critically ill children[J]. J Pediatr Intensive Care，2020，11(2)：114-119.

[7] Osypka M. An introduction to electrical cardiometry[J]. Electrical Cardiometry，2009，49(6)：1-10.

[8] Kemp CD，Conte JV. The pathophysiology of heart failure[J]. Cardiovasc Pathol，2012，21(5)：365-371.

[9] Anjan VY，Loftus TM，Burke MA，et al. Prevalence，clinical phenotype，and outcomes associated with normal B-type natriuretic peptide levels in heart failure with preserved ejection fraction[J]. Am J Cardiol，2012，110(6)：870-876.

[10] Dhar S，Pressman GS，Subramanian S，et al. Natriuretic peptides and heart failure in the patient with chronic kidney disease：a review of current evidence[J]. Postgrad Med J，2009，85(1004)：299-302.

[11] Buckley LF，Canada JM，Del Buono MG，et al. Low NT-proBNP levels in overweight and obese patients do not rule out a diagnosis of heart failure with preserved ejection fraction[J]. ESC Heart Fail，2018，5(2)：372-378.

[12] Berthiaume LR，Peets AD，Schmidt U，et al. Time series analysis of use patterns for common invasive technologies in critically ill patients[J]. J Crit Care，2009，24(3)：471.

[13] Bajorat J，Hofmockel R，Vagts DA，et al. Comparison of invasive and less-invasive techniques of cardiac output measurement under different haemodynamic conditions in a pig model[J]. Eur J Anaesthesiol，2006，23(1)：23-30.

[14] Costachescu T，Denault A，Guimond JG，et al. The hemodynamically unstable patient in the intensive care unit：hemodynamic *vs*. transesophageal echocardiographic monitoring[J]. Crit Care Med，2002，30(6)：1214-1223.

[15] Wake PJ，Ali M，Carroll J，et al. Clinical and echocardiographic diagnoses disagree in patients with unexplained hemodynamic instability after cardiac surgery[J]. Can J Anesth，2001，48(8)：778-783.

[16] Mansouri S，Alhadidi T，Chabchoub S，et al. Impedance cardiography：recent applications and developments[J]. Biomedicalresearch，2018，29(19)：3542-3552.

[17] Keren HN，Burkhoff D，Squara P. Evaluation of a noninvasive continuous cardiac output monitoring system based on thoracic bioreactance[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol，2007，293(1)：583-589.

[18] Velmahos GC，Wo CC，Demetriades D，et al. Early continuous noninvasive haemodynamic monitoring after severe blunt trauma[J]. Injury，1999，30(3)：209-214.

[19] Shoemaker WC，Belzberg H，Wo CC，et al. Multicenter study of noninvasive monitoring systems as alternatives to invasive monitoring of acutely ill emergency patients[J]. Chest，1998，114(6)：1643-1652.

[20] Rao SS，Lalitha AV，Reddy M，et al. Electrocardiometry for hemodynamic categorization and assessment of fluid responsiveness in pediatric septic shock：a pilot observational study[J]. Indian J Crit Care Med，2021，25(2)：185-192.

[21] Zhu GJ，Zhang K，Fu YX，et al. Accuracy assessment of noninvasive cardiac output monitoring in the hemodynamic monitoring in critically ill patients[J]. Ann Palliat Med，2020，9(5)：3506-3512.

[22] Trinkmann F，Berger M，Michels JD，et al. Influence of electrode positioning on accuracy and reproducibility of electrical velocimetry cardiac output measurements[J]. Physiol Meas，2016，37(9)：1422-1435.

[23] Suehiro K，Joosten A，Murphy LS，et al. Accuracy and precision of minimally-invasive cardiac output monitoring in children：a systematic review and meta-analysis[J]. J Clin Monit Comput，2016，30(5)：603-620.

[24] 崔雅倩. 无创心排血量监测对急性心肌梗死患者心力衰竭预警作用的探讨[D]. 广州：广州医科大学，2023.

Cui YQ. Discussion on the early warning effect of noninvasive cardiac output monitoring on heart failure in patients with acute myocardial infarction[D]. Guangzhou：Guangzhou Medical University，2023.

[25] Castellanos LR，Bhalla V，Isakson S，et al. B-type natriuretic peptide and impedance cardiography at the time of routine echocardiography predict subsequent heart failure events[J]. J Card Fail，2009，15(1)：41-47.

[26] Bhalla V，Isakson S，Bhalla MA，et al. Diagnostic ability of B-type natriuretic peptide and impedance cardiography：testing to identify left ventricular dysfunction in hypertensive patients[J]. Am J Hypertens，2005，18(2 Pt 2)：73-81.

（责任编辑：曾 玲）

本文引用格式：

韦 雪，杜新月，刘 龙，等. 电子心力测量法对成人心力衰竭的诊断价值研究[J]. 重庆医科大学学报，2025，50(7)：977-982.