**人工智能在心血管疾病中的检测和诊断**

**刘金阳1 闫艺琼1**

1 南方科技大学 广东省 深圳市 518000

**摘 要：** 随着机器学习等新技术的开发和应用，人工智能（Artificial intelligence, AI）在各个领域崭露头角，其在医疗领域的快速发展也成为个性化医疗、医学成像和疾病诊断等诸多领域的有力工具。目前，心血管疾病的发病率呈逐年上升趋势，其成为我国城乡居民死亡的首要原因。控制危险因素、改善生活方式、准确诊断和评估有利于减低心血管疾病的患病率和死亡率。通过总结近七年来人工智能结合心血管疾病的发展，从心脏磁共振成像（MRI）、超声心动图、心电图（ECG）等心脏疾病检测技术以及计算机断层扫描（CT）、血管造影和超声波检查等血管疾病检测技术中分析了人工智能在各类心血管疾病的检测和诊断,同时总结反思人工智能诊疗潜在问题,为进一步发展人工智能在心血管疾病中的应用提供依据。

**关键词：** 人工智能；心血管疾病；智能医疗；检测诊断

**Artificial intelligence in the detection and diagnosis of cardiovascular diseases**

Liu Jinyang1  Yan Yiqiong1

1 Southern University of Science and Technology，518000，China

**Abstract** With the development and application of new technologies such as machine learning, Artificial intelligence (AI) has emerged in various fields, and its rapid development in the medical field has also become a powerful tool in many fields such as personalized medicine, medical imaging and disease diagnosis. At present, the incidence of cardiovascular diseases is increasing year by year, and it has become the primary cause of death for urban and rural residents in China. Control of risk factors, improvement of lifestyle, accurate diagnosis and evaluation are conducive to reducing the prevalence and mortality of cardiovascular diseases. By summarizing the development of AI in cardiovascular disease over the past seven years, From cardiac magnetic resonance imaging (MRI), echocardiography, electrocardiogram (ECG) and other cardiac disease detection technologies, as well as computed tomography (CT), angiography, ultrasound and other vascular disease detection technologies, artificial intelligence in the detection and diagnosis of various cardiovascular diseases are analyzed, and the potential problems of artificial intelligence diagnosis and treatment are summarized and reflected for further development of artificial intelligence To provide evidence for application in cardiovascular diseases.

**Keywords** Artificial intelligence, cardiovascular diseases, intelligent medical treatment, detection and diagnosis

心血管系统疾病是当今严重威胁人类健康的重要疾病。常见的心血管系统疾病包括多种类型，如动脉粥样硬化、心瓣膜病、心肌病以及先天性心脏病等。在临床上，心血管疾病具有典型“三高”特征，即致死率高、致残率高、复发率高。在我国和欧美等一些发达国家，心血管系统疾病的发病率和死亡率均居第一位。截止2022年底，依据《中国心血管健康与疾病报告2022》[[[1]](#endnote-0)]，在我国城乡居民疾病死亡构成比中，心血管疾病（CVD）占首位，2020年分别占农村、城市死因的48.00%和45.86%；缺血性心脏病、出血性脑卒中和缺血性脑卒中是我国心血管病死亡的三大主要原因，严重威胁了人类的生命健康。

人工智能（AI）是计算机科学的领域之一，其目标是使机器能够模拟人类的思考和学习过程。通过AI核心技术如机器学习、深度学习,使计算机能够从数据中学习、理解语言，甚至做出决策。目前，针对心血管疾病治疗的传统医疗模式很难再适应疾病的快速发展，而人工智能在医疗领域的优势已日渐显著。特别是在精准医疗方面，人工智能能够精确分析复杂的心血管疾病数据，为医生提供更准确的诊断和治疗方案，展现出人工智能在改善心血管疾病管理方面的巨大前景。

因此，本文就人工智能在心脏和血管疾病中的检测诊断为论述点，以期更好地将人工智能应用在心血管疾病的防治中提供借鉴与参考。

1 人工智能在心脏疾病的检测和诊断中的应用和发展

心脏作为人体的核心器官，其重要程度不言而喻。在传统预防心脏疾病的策略中，采取健康的生活方式和行为、标准化的药物干预、手术治疗和心脏康复是最常用的手段[[[2]](#endnote-1)]。但是，随着人们日益增长的生活条件，心血管疾病的频繁出现，仅仅针对个体的传统疗法已经逐渐落后，和人工智能相比表现为个性化治疗不足、治疗评估效果滞后、信息交流受限、医生经验有限、技术成本较高等方面。而AI目前可通过分析大量患者数据来协助预测疾病、协助诊断疾病、图像处理、协助医生选择治疗方案、预测疾病进展和康复等,有助于推动精准医疗的发展而且人工智能技术在医疗领域的发展和应用将有助于心脏病的管理[[[3]](#endnote-2)]。目前人工智能应用于心脏MRI、心脏超声心动图以及心电图等检测技术中逐渐崭露头角。

1.1 心脏MRI

心脏MRI（磁共振成像）是一种非侵入性的影像检查方法，用于评估和诊断心脏结构和功能的问题，如心脏结构功能的病变以及心肌灌注等。这种技术利用强大的磁场和无害的无线电波来创建详细的心脏图像。目前，心脏MRI结合人工智能越来越广泛应用于临床上心脏疾病的检测和诊断。

心脏MRI结合深度学习可对心肌组织进行客观的功能评估，可用于检测心肌病和显示冠心病患者心肌及心肌梗死病灶的结构、功能、血流灌注、活动性及范围，现已逐渐成为心脏检查中不可或缺的工具[[[4]](#endnote-3)][[[5]](#endnote-4)]。有研究人员构建深度学习模型“纹理分析（TA）”，通过像素信号强度分布和相邻像素之间的值关系来量化图像的纹理，根据可重复性和相关性分析选取纹理特征来区分心肌梗死组织和正常组织[[[6]](#endnote-5)]。除此之外，在CNN（卷积神经网络）算法中，一些研究人员构建卷积模型达到疾病预测诊断效果。全自动CNN可直接获得左心室结构和功能指标，省去放射科医师手动勾画流程；同时利用CNN模型对心脏MRI图像进行心肌分割和灌注定量等预处理操作，显示出更高精度图像。Qin等人开发了一种卷积递归神经网络架构,可以从高度采样不足的k-空间数据中重建高质量的心脏MRI图像,在重建精度和速度方面优于当前的重建方法[[[7]](#endnote-6)][[[8]](#endnote-7)][[[9]](#endnote-8)]。由于心脏MRI检查程序繁琐、耗时较长、分析效率偏低等局限性，在临床工作中未被广泛应用于先天性心脏病筛检。目前结合人工智能研究越来越多，其未来应用前景可改善现状。有研究团队提出使用渐进式生成对抗网络人工合成心脏MRI图像，通过对心脏结构的分割模型达到对先天性心脏病的早期诊断[[[10]](#endnote-9)]。除此之外，也有研究人员开发多尺度扩张卷积模块全连接网络和残差卷积神经网络用于心肌心室分割和图像去伪[[[11]](#endnote-10)][[[12]](#endnote-11)]。然而由于先天性心脏病病例较少，多数研究只拥有较小的样例数据库，使得该模型能否实际运用临床提出质疑。为走出这一困境，研究人员提出了采用合成数据补充训练数据量的方法，使得最后模型可达到真实数据的训练水平[10]。

1.2 心脏超声心动图

心脏超声心动图是常用于心脏疾病检查的成像应用之一，因具有便捷性、实时性和准确性等优势，是目前CHD检查应用最广泛的影像手段之一，尤其适用于筛查结构性心脏病。然而，初学者在切面图像采集上面临难度，操作主观性使得质量依赖于经验。在临床中，对医师的要求高，解读存在差异，标准化程度低。人工智能被视为克服这些限制的有效方案，在超声心动图领域的研究主要分为图像采集及图像分析两部分,如图1所示，以实现超声心动图的智能化采集与诊断，如图像标准化、视图识别、疾病检测等[[[13]](#endnote-12)]。

图1 AI在超声心动图的应用

Fig.1 Application of AI in echocardiography

疾病诊断及管理是超声心动图AI的一大主流。Diller等人的研究纳入132例大动脉转位患者，利用经胸超声心动图的心尖四腔心切面和胸骨旁长轴切面训练DL算法，最终模型的诊断效能为98%,同时模型能准确分割心室结构(Dice相似系数为0.79～0.88)[12]。DL算法可以从原始图像和超声参数中诊断常见的心脏病，如冠心病,左心室肥厚，及心脏瓣膜病等[10]。其中，Duffy等人使用DL技术自动测量左心室室壁厚度，并对左室壁肥厚的病因进行预测[[[14]](#endnote-13)]。在超声心动诊断房间隔缺损方面,深度学习模型的灵敏度和特异度分别高达76%和88%,高于儿科心脏病专家的53%和67%[[[15]](#endnote-14)]。有研究人员利用机器学习模型，在经胸超声心动图上识别二尖瓣反流，测试精度达到0.86[[[16]](#endnote-15)]。Zweck等开发一种基于ML的经导管二尖瓣修复术患者1年死亡率风险分层工具，并优于现有模型[[[17]](#endnote-16)]。Biaggi等人使用3D经食管超声心动图和X线融合AI软件自动评估138例的接受TAVR的重度主动脉瓣狭窄患者主动脉瓣环的大小，AI可快速评估主动脉根部解剖结构，直观调整最佳C臂角度[[[18]](#endnote-17)]。

1.3 心电图

心电图是心脏疾病检查的重要手段，通过记录心脏电活动的图形进行评估，非侵入性、无电离辐射、成本相对较低。然而，操作相对直观但对经验依赖较高，医师间解读存在差异，标准化程度有待提高。人工智能被认为是减少专业知识依赖的有效解决方案，实现心血管健康评估的智能化。在心电图领域，研究主要关注技术创新，提高图像解读和异常检测效率。

一项AI心电诊断的研究中,基于深度神经网络技术,从大量数据样本库中训练,对12种节律进行分类,机器学习算法的C指数为0.97,F1评分为0.837,FI评分优于心脏病专家读取相同ECG的结果(0.780)[[[19]](#endnote-18)]。循环神经网络等深度学习模型可与ECG或心电监测结合,如果发现缺血迹象,可以早期临床警报[[[20]](#endnote-19)]。动态ECG通常用于长程监测心律失常,然而,从大量的动态ECG数据中准确地区分个别异常心跳十分困难。有研究人员提出了一种心电波形几何特征的高效精准解决方案和改进的分层聚类方法来快速精准地检测心律失常[[[21]](#endnote-20)]。一些深度学习模型,可通过ECG数据评估糖化血红蛋白,用于筛查糖尿病、预测糖尿病进展及其心血管并发症[[[22]](#endnote-21)]。

2 人工智能在血管疾病的检测和诊断中的应用和发展

在心血管疾病中，血管类疾病包括了脑血管，外周血管和肾血管疾病等等。而这一大类疾病的诊断和治疗需要大量医学影像信息的的处理和整合分析，人工智能中的深度学习等技术可以通过构建模型来优化信息分析系统，协助医生进行影像学判断，大大节省数据处理时间，为一些紧急发生的疾病如急性脑卒中给等争取宝贵的治疗抢救时间。具体的应用体现在了计算机断层扫描，血管造影技术和超声波检查中。

2.1 计算机断层扫描（CT）和血管造影

心血管CT是心血管疾病检测诊断，疗效监测和预后评估的一种重要的影像学手段。而人工智能近些年来不断发展，已经可以通过深度学习和机器学习等技术完成对海量数据的整理学习，构建新的数据处理模型。而在心血管系统方面，常用的有回归模型，随机森林和支持向量机等。Al在改进冠状动脉的CT影像质量、自动分割心血管组织、计算冠状动脉钙化积分（CACS）、自动化分析与检测冠状动脉狭窄和促进CT血流储备分数技术的构建等等方面[[[23]](#endnote-22)]有重大贡献。应用于冠状动脉狭窄诊断的AI技术是基于深度学习、计算机视觉技术和深度卷积神经网络进行冠脉图像准确识别和管腔狭窄评估，其通过采用生长迭代预测网络模型和三维U-Net体系结构解决血管分割断裂的问题，从而降低了分割误差，得到了完整的图像。QI等[[[24]](#endnote-23)]回顾40例同时进行CCTA和经皮冠状动脉造影(CAG)患者的影像学资料,通过对比人工组和AI组的图像后处理和诊断，发现AI组的斑块检测准确性达到了96.32%，由此得出结论AI在CCTA图像后处理效率、斑块性质识别及冠脉狭窄诊断方面具有一定的优势，可作为分析诊断CCTA的有效辅助工具。

急性脑卒中患者的分析和诊断通常需要进行头颈部CT血管成像，获得病变血管狭窄程度，侧支循环和板块性质等数据图像，通过多种图像后处理技术为患者的动静脉溶栓和介入取栓治疗提供帮助，改善预后并且降低致死致残率。PENG等[[[25]](#endnote-24)]分析了60例急性脑卒中患者的CTA图像数据，发现AI后处理图像质量与手动后处理图像质量相近，但AI后处理图像时效性更好，有利于为脑卒中患者治疗赢得更多时间。同样在分析急性脑卒中患者的头颈部CT血管成像过程中，WANG等[[[26]](#endnote-25)]采用ResU-net网络的算法模型分析了142例患者的图像数据，同时测量血管狭窄程度，显示颅内动脉瘤的位置及大小、动脉瘤与周围血管的关系，对比发现AI组的重组图像噪声比人工组更小，图像去骨能力和图像质量也更高。说明AI技术可以用于头颈部CTA检查的后处理图像重建和结果诊断，可以明显提升后处理重建图像的质量、缩短后处理重建及诊断时间。AI可以通过深度学习来实现低剂量CT图像质量优化和降噪并且通过神经网络来实现噪声和图像分离技术来最大限度保留图像的真实性。在探讨颅内动脉瘤（IAN）CT血管成像检查（CTA）中AI技术的诊断价值的过程中，QI[[[27]](#endnote-26)]等回顾性分析45例临床疑似IAN 患者的 CTA 和数字减影血管造影(DSA)影像资料。以DSA结果为“金标准”,以动脉瘤个数为单位计算AI辅助CTA诊断动脉瘤的灵敏度、特异度和准确度。并采取Kappa检验,对AI辅助下CTA或DSA检测到IAN位置和长短径的一致性进行统计学分析。结果发现AI辅助下CTA对直径>5mm 的IAN的诊断灵敏度、特异度较高,并对动脉瘤的定位和长短径的分析测量均比较准确。而对于较小的IAN则需要人工核验诊断以免漏诊和误判。因此人工智能在一定的范围内可以有效准确的协助诊断颅内动脉瘤，给医生提供方便和参考而不是完全替代。

肾动脉CT血管成像可以用来诊断肾动脉瘤和肾动脉栓塞等肾脏血管疾病。虽然肾动脉CTA 可以满足临床检测需求，但是长期使用会使受试者受到较大剂量的辐射，有致癌的风险。由于管电压的平方和CT电离辐射量成正比，因此降低管电压就可以减少辐射。但是低电压同时会带来图像噪声增加、伪影增大，图像质量下降等不良影响。目前CT图像重建多采用迭代重建（IR）算法[[[28]](#endnote-27)]，可以有效降低低电压带来的不良影响。YU等[[[29]](#endnote-28)]将AI图像优化算法联合 80kV扫描应用于肾动脉CTA，并与常规管电压组、低电压迭代算法（ClearView +）和低电压滤波反投影（FBP）组进行对比，评价患者所受辐射剂量及其图像质量。结果发现AI图像优化技术联合80kV扫描技术，可以在获得和常规扫描同样图像质量的前提下，有效降低患者的辐射剂量，具有较大的临床应用价值。

AI与CTA技术的结合使得图像的后处理和数据分析更加高效、准确、智能化和数字化，不仅为患者争取宝贵的治疗时间，同时也能够缓解影像科医生的工作压力并且提供相对专业的诊断方向和建议。

2.2 超声波检查

医学影像资料在医疗活动产生的大数据中占据大部分，而超声影像具有实时动态变化的特点，人工分析大量的数据不仅浪费时间而且准确率易受个人主观因素影响。因此人工智能技术的协助就显得十分重要[[[30]](#endnote-29)]：首先通过计算机对医学影像采集的超声影像进行预处理，然后选取检测相关区域，再通过计算机选择并提取相应的特征进行分类识别，最后由专业医师进行综合判读，得到程式化诊断结论。SONG等[[[31]](#endnote-30)]发现心脏彩色超声自动心肌运动定量技术（automated cardiac motion quantification，aCMQ）可以基于二维版斑点追踪技术，来评价整体和节段心脏功能，并且该技术具有高度可重复性，相比于传统技术，更能获得准确的心脏功能数据。对于血管超声图像[[[32]](#endnote-31)]可以运用模块化软件系统进行自动化辅助解析，大大节约了检查时间。彩色多普勒超声检查对下肢静脉血栓[[[33]](#endnote-32)]，急性缺血性脑卒中[[[34]](#endnote-33)]等血管疾病的诊断有显著效果。该技术现在也已经与人工智能结合，通过训练深度学习算法，可以使计算机自动分析彩色多普勒超声图像，识别血管结构、血流速度和血栓等异常情况，可以提高超声波图像分析的准确性和效率，帮助医生更快速地诊断血管疾病。虽然AI为超声检查提供了多方面的便利，但是仍然存在一些问题。首先AI不具有完全的独立诊断能力，还需要医生进行判断确认；另外，AI诊断的准确性有待商榷，诊断流程还需完善[[[35]](#endnote-34)]。所以，高效理想的智能化诊断需要经验丰富的医生和智慧诊断系统协同合作，规范配合，才能达到智慧医疗期待的结果。

3 结语

AI技术在心血管疾病诊治的多个技术领域都有巨大的参与，在心脏MRI（磁共振成像）领域协助评估心肌组织功能水平、在心脏超声心动图检查中评判筛选结构性心脏病、在心电图中系统性分析心率异常、优化CTA中的图像后处理，高效处理超声波图像等等。在极大程度上减轻了医务工作者的工作压力，作为辅助工具为疾病的诊断分析提供参考和依据。AI在紧急疾病的快速诊断救治，疑难杂症病因追溯，显著降低漏诊率以及慢性病（高血压、冠心病、心力衰竭等）的预后分析和制定治疗计划[[[36]](#endnote-35)]。但是由于人工智能的机器学习依赖于大量的可重复性的数据分析，足量的病例数据需要不断的输入，这样不同医院的数据训练模式就会有所偏差。尽管人工智能在数据图像分析，语音识别，分类处理方面有优势但是真正的临床诊断还需要大量的专业知识和实践经验支撑。所以将医疗与人工智能更好的结合还任重而道远。

参考文献:

1. []《中国心血管健康与疾病报告2022》要点解读[J].中国心血管杂志,2023,28(04):297-312. [↑](#endnote-ref-0)
2. [] SU J,ZHANG Y,KE QQ,et al.Mobilizing artificial intelligence to cardiac telerehabilitation[J].Rev Cardiovasc Med,2022,23(2):45. [↑](#endnote-ref-1)
3. [] 曹杨,贾娜,于丽娜,汪芳,姚德明.人工智能技术在心脏疾病中的应用[J].中国医学前沿杂志(电子版),2023,15(07):64-71. [↑](#endnote-ref-2)
4. [] 韩莎莎,程留慧,张卉,王道清.人工智能深度学习在冠心病影像辅助诊断中的应用[J].中国中西医结合影像学杂志,2023,21(04):467-469+474. [↑](#endnote-ref-3)
5. [] 杨志云,王辉,贺毅,常三帅,崔晶,郭飞,吕强,杜昕,董建增,马长生.心肌病心脏磁共振应用的新视角-人工智能和机器学习[J].心肺血管病杂志,2022,41(03):321-323. [↑](#endnote-ref-4)
6. [] BAESSLER B,MANNIL M,OEBEL S,et al. Subacute and chronic left ventricular myocardial scar:accuracy of texture analysis on nonenhanced cine MR images[J].Radiology,2018,286(1):103-112. [↑](#endnote-ref-5)
7. [] TAN L K, MCLAUGHLIN R A, LIM E, et al. Fully automated segmentation of the left ventricle in cine cardiac MRI using neural network regression[J]. J Magn Reson Imaging,2018,48(1):140-152. [↑](#endnote-ref-6)
8. [] SCANNELL C M,VETA M,VILLA A D M,et al. Deeplearning-based preprocessing for quantitative myocardial perfusion MRI[J]. J Magn Reson Imaging,2020,51(6):1689-1696. [↑](#endnote-ref-7)
9. [] VAN ASSEN M,MUSCOGIURI G,CARUSO D,et al.Artificial intelligence in cardiac radiology[J].Radiol Med,2020,125(11):1186-1199. [↑](#endnote-ref-8)
10. [] Diller GP,Vahle J,Radke R,et al.Utility of deep learning networks for the generation of artificial cardiac magnetic resonance images in congenital heart disease[J].BMC Med Imaging,2020,20(1):113. [↑](#endnote-ref-9)
11. [] Chen H,Yan S,Xie M,et al.Fully connected network with multi-scale dilation convolution module in evaluating atrial septal defect based on MRI segmentation[J].Comput Methods Programs Biomed,2022,215:106608. [↑](#endnote-ref-10)
12. [] Hauptmann A,Arridge S,Lucka F,et al.Real-time cardiovascular MR with spatio-temporal artifact suppression using deep learning-proof of concept in congenital heart disease[J].Magn Reson Med,2019,81(2):1143-1156. [↑](#endnote-ref-11)
13. []余妙如,张德富,曾伟等.人工智能在心脏多模态影像中的应用[J].临床心血管病杂志,2023,39(12):922-929.DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2023.12.005. [↑](#endnote-ref-12)
14. [] Duffy G,Cheng PP,Yuan N,et al.High-throughput precision phenotyping of left ventricular hypertrophy with cardiovascular deep learning[J].JAMA Cardiol,2022,7(4):386-395. [↑](#endnote-ref-13)
15. [] [MORI H,INAI K,SUGIYAMA H,et al.Diagnosing Atrial Septal Defect from Electrocardiogram with Deep Learning[J]. Pediatr Cardiol, 2021, 42(6):1379-1387.](https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=SSJD&filename=SSJDBD46F4CB79539301EF2E03CB4F0CFA7C&v=MzE1MzNmT0dRbGZCcjdRMzVOcGh3Ym02eEs0PU5qN0Jhc0hNR3RlNnEvdzNZK0lLRDNVNnp4ZG1uRDBJU0h5UjNoWkRlY0hpTkwzc0NPTnZGU2lXV3I3SklGcG1hQnVIWQ==&uid=WEEvREcwSlJHSldSdmVpMkl6OWt5ZmZoSmNMZ3R6MmRrUkpRYjc5Y0pGRT0=$9A4hF_YAuvQ5obgVAqNKPCYcEjKensW4IQMovwHtwkF4VYPoHbKxJw!!" \o " MORI H,INAI K,SUGIYAMA H,et al.Diagnosing Atrial Septal Defect from Electrocardiogram with Deep Learning[J]. Pediatr Cardiol, 2021, 42(6):1379-1387." \t "https://kns.cnki.net/KXReader/_blank) [↑](#endnote-ref-14)
16. [] Edwards LA,Feng F,Iqbal M,et al.Machine learning for pediatric echocardiographic mitral regurgitation detection[J].J Am Soc Echocardiogr,2023,36(1):96-104.e104. [↑](#endnote-ref-15)
17. [] Zweck E,Spieker M,Horn P,et al.Machine learning identifies clinical parameters to predict mortality in patients undergoing transcatheter mitral valve repair[J].JACC Cardiovasc Interv,2021,14(18):2027-2036. [↑](#endnote-ref-16)
18. [] [Biaggi P,Sager DF,Külling J,et al.Potential value of fusion imaging and automated three-dimensional heart segmentation during transcatheter aortic valve replacement[J].J Am Soc Echocardiogr,2020,33(4):516-517.e511.](https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=SJES&filename=SJES5A4E0CEDCD278A379128EBEB5DEC90FF&v=MjIzNzF4RjU4TkMzUkl6QkVhNnoxMVBRMlgzaGRCRE1HZFJjenBDT052RlNpV1dyN0pJRnBtYUJ1SFlmT0dRbGZCcjdRMzVOcGh4cnkrd2FrPU5pZk9mYmJKR3FUTTNQbw==&uid=WEEvREcwSlJHSldSdmVpMkl6OWt5ZmZoSmNMZ3R6MmRrUkpRYjc5Y0pGRT0=$9A4hF_YAuvQ5obgVAqNKPCYcEjKensW4IQMovwHtwkF4VYPoHbKxJw!!" \o " Biaggi P,Sager DF,Külling J,et al.Potential value of fusion imaging and automated three-dimensional heart segmentation during transcatheter aortic valve replacement[J].J Am Soc Echocardiogr,2020,33(4):516-517.e511." \t "https://kns.cnki.net/KXReader/_blank) [↑](#endnote-ref-17)
19. [] KILIC A.Artificial Intelligence and Machine Learning in Cardiovascular Health Care[J].Ann Thorac Surg,2020,109(5):1323-1329. [↑](#endnote-ref-18)
20. [] RUBEL P,FAYN J,NOLLO G,et al.Toward personal e Health in cardiology.Results from the EPI-MEDICS telemedicine project[J].J Electrocardiol,2005,38(4 Suppl):100-106. [↑](#endnote-ref-19)
21. [] BIE RF,XU SJ,ZHANG GZ,et al.Efficient Fine Arrhythmia Detection Based on DCG P-T Features[J].J Med Syst,2016,40(7):168. [↑](#endnote-ref-20)
22. [] LIN CS,LEE YT,FANG WH,et al.Deep Learning Algorithm for Management of Diabetes Mellitus via Electrocardiogram-Based Glycated Hemoglobin(ECG-Hb A1c):A Retrospective Cohort Study[J].J Pers Med,2021,11(8):725. [↑](#endnote-ref-21)
23. [] Guo B J, Zhang L J & Lu M.(2021). New progress of artificial intelligence in cardiovascular CT imaging. International medical radiology journal (05), 535-540. The doi: 10.19300 / j. 2021. Z19328. [↑](#endnote-ref-22)
24. [] Qi D et al." Application of artificial intelligence in post-processing of coronary CT angiography images and diagnosis of coronary artery stenosis." Journal of Jiangsu University (Medical Edition) 33.04(2023):323-327+332. doi:10.13312/j.issn.1671-7783.y220147. [↑](#endnote-ref-23)
25. [] Peng X Y et al. "the head and neck CTA combined artificial intelligence research on image quality of ischemic cerebral apoplexy patients." biomedical engineering and clinical 27.04 (2023) : 471-475. The doi: 10.13339 / j.carol carroll nki SGLC. 20230626.015. [↑](#endnote-ref-24)
26. [] Wang Z, Qiu X M & Ye Y. (2022). Clinical application of artificial intelligence technology in head and neck CT angiography. Journal of clinical radiology (11), 2025-2030. The doi: 10.13437 / j.carol carroll nki JCR. 2022.11.034. [↑](#endnote-ref-25)
27. [] Qi D et al." Application of artificial intelligence in post-processing of coronary CT angiography images and diagnosis of coronary artery stenosis." Journal of Jiangsu University (Medical Edition) 33.04(2023):323-327+332. doi:10.13312/j.issn.1671-7783.y220147. [↑](#endnote-ref-26)
28. [] Sun J H & Peng Y.(2018). Progress of iterative reconstruction combined with low-voltage technique applied to low-dose CT in children. Chinese Medical Imaging Technology (02),314-317. doi:10.13929/j.1003-3289.201708018. [↑](#endnote-ref-27)
29. [] Yu X Y, Feng Q Q, Liu C, Li Y T, Wang K J & Xu L.(2022). Application of AI image optimization algorithm combined with 80kV scanning in renal artery CTA image quality and radiation dose control. Journal of clinical radiology (09), 1719-1724. The doi: 10.13437 / j.carol carroll nki JCR. 2022.09.031. [↑](#endnote-ref-28)
30. [] Zhao j Q, et al." New Development of Ultrasound Medicine in the era of Artificial Intelligence." Journal of Second Military Medical University 40.05(2019):478-482. doi:10.16781/ J.0258-879x.2019.05.0478. [↑](#endnote-ref-29)
31. [] Song R, et al." Correlation study of left ventricular systolic function assessment by Automatic cardiocardiographic Quantification of myocardial movement (aCMQ) ". Compilation of papers of Zhejiang Annual Conference of Ultrasound Medicine 2016. Ed.. , 2016, 60. [↑](#endnote-ref-30)
32. [] Zhao j Q, et al." New Development of Ultrasound Medicine in the era of Artificial Intelligence." Journal of Second Military Medical University 40.05(2019):478-482. doi:10.16781/ J.0258-879x.2019.05.0478. [↑](#endnote-ref-31)
33. [] Li R R. (2023). Effect of color Doppler ultrasonography in diagnosis of venous thrombosis of lower extremities. Chinese Journal of Practical Rural Doctors (09),26-28. [↑](#endnote-ref-32)
34. []Zhang R, Yi N, Guo Y H & Jian H W. (2023). The clinical value of carotid color Doppler ultrasonography in patients with acute ischemic stroke. Blood vessels and vascular cavity surgical magazine (05), 604-607. The doi: 10.19418 / j.carol carroll nki issn2096-0646.2023.05.20. [↑](#endnote-ref-33)
35. [] Wang H X, et al." Research on the status quo and problems of ultrasound medicine based on big data and artificial intelligence." Oncology Imaging 29.04(2020):410-413. doi:10.19732/j.cnki.2096-6210.2020.04.013. [↑](#endnote-ref-34)
36. [] Zhou H, Li K P, Zhao H W & Gong M.(2022). Application and development of artificial intelligence in cardiovascular disease. International Journal of Cardiology (04),216-218. [↑](#endnote-ref-35)