

## 无症状性心房颤动检测设备的研究进展

孜拉来·艾尼瓦尔<sup>1</sup> 周贤惠<sup>1,2</sup>

(1. 新疆医科大学研究生院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆医科大学第一附属医院心脏中心起搏电生理科 新疆心电生理与心脏重塑重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

**【摘要】** 无症状性心房颤动(房颤)约占房颤人群的 1/3,可能具有更高的卒中风险。早期发现无症状性房颤对减少房颤导致的卒中十分重要。随着技术的发展,用于房颤筛查的检测设备层出不穷。各种检测设备各具特点,不同检测设备对房颤筛查的选择十分重要。人工智能对房颤的识别使其成了房颤筛查的研究热点。现对无症状性房颤检测设备现况和进展进行综述,并探讨其在无症状性房颤筛查、卒中预防和管理中的应用价值与发展空间。

**【关键词】** 无症状性心房颤动;植入式心电监测仪;便携式心电监测仪;可穿戴设备;筛查;人工智能

**【DOI】** 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2022.07.011

## Detection Devices of Asymptomatic Atrial Fibrillation

Zilalai Ainiwar<sup>1</sup>, ZHOU Xianhui<sup>1,2</sup>

(1. *Xinjiang Medical University Graduate School, Urumqi 830054, Xinjiang, China*; 2. *Department of Pacing and Electrophysiology/Department of Cardiac Electrophysiology and Remodeling, The First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, Xinjiang, China*)

**【Abstract】** Asymptomatic atrial fibrillation accounts for about one third of the population with atrial fibrillation and may have a higher risk of stroke. Early detection of asymptomatic atrial fibrillation is very important to reduce stroke caused by atrial fibrillation. With the development of technology, detection equipment for atrial fibrillation screening is emerging in endlessly. Various testing equipment have their own characteristics, and different testing equipment is very important for the selection of atrial fibrillation screening. The recognition of atrial fibrillation by artificial intelligence has become a research hotspot of atrial fibrillation screening. This paper reviews the current situation and progress of asymptomatic atrial fibrillation detection equipment, and discusses its application value and development space in asymptomatic atrial fibrillation screening, stroke prevention and management.

**【Key words】** Asymptomatic atrial fibrillation; Implantable electrocardiogram monitor; Portable electrocardiogram monitor; Wearable devices; Screening; Artificial Intelligence

心房颤动(房颤)是临床常见的心律失常,全球范围内患病率较高,约有 3 757 万人(占全球人口的 0.51%)<sup>[1]</sup>。2021 年中国房颤流行病学研究<sup>[2]</sup>显示,中国约有 790 万人患有房颤,是之前报道的 2 倍多。其中,约 1/3 的人群发作时无任何临床表现,称为无症状性房颤。与症状性房颤相比,无症状性房颤可能具有更高的卒中风险<sup>[3]</sup>。无症状性房颤发病隐匿,发作和持续时间难以确定,其早期检测受到阻碍,常得不到及时的诊断和治疗。

随着检测设备的不断更新,为早期检出无症状性房颤患者提供了可能。目前常用的检测设备有:心电图、24 小时动态心电图、植入式心电监测仪、自动血压

计、便携式心电监测仪、可穿戴心电图以及智能手机和手表等。现旨在介绍各类房颤检测设备,并探讨其优点、局限性及在临床应用中的选择。

### 1 心电图和 24 小时动态心电图

临床中,常规心电图是诊断房颤的金标准,但其检测能力受检测时间短的限制,对于无症状阵发性房颤,尤其是一过性发作者,很难通过心电图确诊,此时需进行 24 小时动态心电图或事件记录器检测确诊。早期研究<sup>[4]</sup>表明相比常规心电图,更长时间的 24 小时动态心电图监测可能更有利于发现无症状阵发性房颤,但 24 小时动态心电图存储心电记录时间仍较短,加上受运动和洗澡等影响,电极片易脱落需重复监

测,影响了患者的依从性,监测的数据也不全面。房颤的监测时长及设备使用的不适感仍是这类设备的最大障碍,对能长期、灵敏和舒适监测房颤的检测设备的需求日益渐增。

## 2 微创检测设备

### 2.1 植入式心电监测仪应用于卒中后无症状性房颤的筛查

植入式心电监测系统如植入式心电事件监测器(insertable cardiac monitor, ICM)和植入式循环记录仪可实现长期、连续监测,临床中主要用于筛查不明原因卒中患者,以进一步发现无症状性房颤。CRYSTAL AF 研究<sup>[5]</sup>对比了 ICM 与临床常规随访监测方式在 6 个月和 12 个月对隐性卒中患者的房颤检出率,显示 ICM 更利于无症状性房颤的检出(8.9% : 1.4%, 12.4% : 2.0%,  $P$  均  $<0.001$ )。目前指南建议,隐性卒中患者需应用 ICM 延长心电监测时间,以便发现更多的无症状性房颤。近期发表在 *JAMA* 杂志的两项研究表明,非隐性卒中患者使用 ICM 进行房颤的筛查可能也具有一定的价值。STROKE-AF 研究<sup>[6]</sup>纳入了 492 例既往有大动脉粥样硬化和小血管性卒中患者,242 例患者在卒中发生后 10 d 内植入 ICM,其余 250 例患者接受常规监测,随访 12 个月发现,ICM 组的房颤检出率明显高于对照组(12.1% : 1.8%,  $P < 0.001$ )。PER DIEM 研究<sup>[7]</sup>对 300 例新近 6 个月非房颤相关性卒中患者进行了植入式心电记录仪( $n = 150$ ,持续 12 个月)和常规体外记录仪( $n = 150$ ,持续 30 d)的心电监测,随访 12 个月发现植入式心电记录仪使房颤的检出率提高 3 倍以上(15.3% : 4.7%,  $RR = 3.29$ ,  $P = 0.003$ )。事实上,由血管疾病引起的卒中患者并不能完全排除无症状性房颤,其可能是卒中

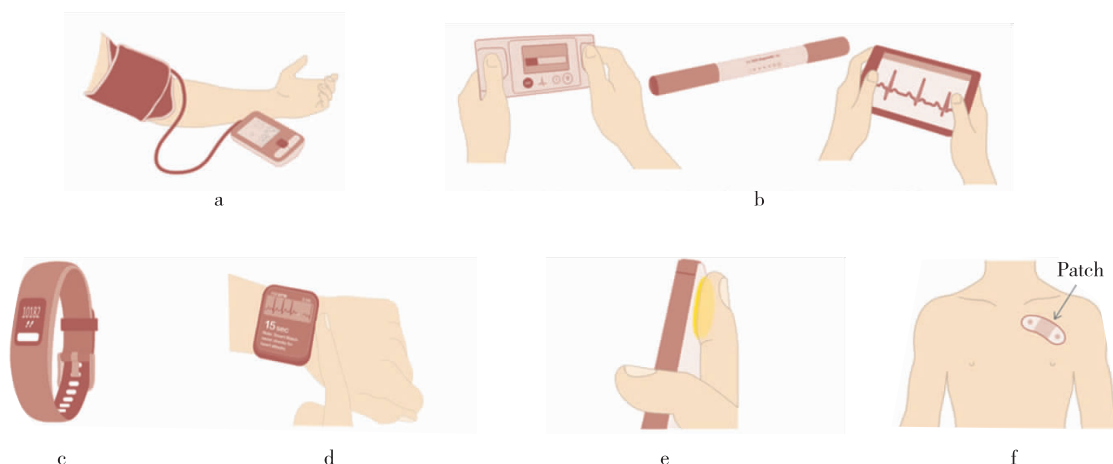
复发的危险因素,未来 ICM 相关的研究和应用不应仅限于隐性卒中患者。但 ICM 价格昂贵,且为有创操作,术后不良事件发生率可能高等,在临床中尚不能被广泛接受。在筛查方式的选择中,需充分考虑人群的适应证、经济水平、心理素质、设备最佳监测时间以及筛查成本效益等综合因素。

### 2.2 心血管植入电子设备与无症状性房颤

心血管植入电子设备如心脏起搏器、植入型心律转复除颤器和心脏再同步化治疗,通常用于治疗心律失常疾病,在连续心律监测中可记录到心房高频事件(atrial high-rate episodes, AHREs)。AHREs 在心血管植入电子设备患者中很常见,50% 以上的心血管植入电子设备患者存在 AHREs,通常无症状<sup>[8]</sup>。但并非所有的 AHREs 均为房颤,ASSERT 研究<sup>[9]</sup>中 82.7% 的 AHREs 为真正的房颤,17.3% 为假阳性。AHREs 可能进展为临床房颤,MOST 研究<sup>[10]</sup>表明 AHREs 与 6 倍的临床房颤风险增加相关。这类设备对房颤检测的应用较为局限,需定位好此类设备为“治疗”性设备或非“检测”性设备,AHREs 不应分类在筛查到的房颤中,其发生可能提示无症状性房颤。目前指南建议具有心血管植入电子设备的患者应定期询问相关记录,尽可能使用远程监控,以便尽早检测到无症状性房颤。如何有效地评估房颤风险,更精确地识别房颤高危患者,以及 AHREs 的临床意义及后续进一步抗凝治疗是临床亟待解决的问题。

## 3 新型的检测设备

新型的无症状性房颤检测设备包括血压检测仪、便携式心电监测仪、可穿戴设备(手表、手环、贴片和胸带等)以及智能手机等(图 1<sup>[11]</sup>),在房颤的筛查和检测中应用前景十分广泛。



注:a 图为血压检测仪,b 图为便携式单导联心电图监测仪(手持式心电图),c 图为基于光电容积描记信号的手环,d 图为基于心电信号的手表,e 图为基于光电容积描记信号的手机,f 图为体外单导联心电图贴片。

图 1 房颤的新型检测设备<sup>[11]</sup>

### 3.1 血压检测仪

自动血压检测仪基于计算不规则脉搏检测房颤,具有高灵敏度(93%~100%)和高特异度(72%~86%)<sup>[12-14]</sup>,在医院和家庭中使用率高,可供医护人员或患者在门诊、药房和家庭等地点进行房颤的筛查。尤其高血压易患心血管并发症,包括冠心病和心力衰竭,这会导致房颤的发生和死亡,需积极筛查这类人群。在一项 101 例老年人群的筛查中,自动血压计发现房颤阳性 9 例,其中 7 例经常规心电图确诊为房颤<sup>[15]</sup>。作为房颤的筛查工具,血压检测仪可应用于老年人及高血压患者日常无症状性房颤筛查中。但确诊仍需进一步的心电图检查,同时该设备不具备更高的特异度,意味着筛查中可能存在高的假阳性率。

### 3.2 可穿戴式心电图

可穿戴式心电图主要包括贴片式、衬衫式和胸带式等,可将获取的体表电信号经加工形成心电图定时或主动传送至云端进行分析,其中贴片式在临床应用中最为广泛,可实现为期 14 d 的连续监测。汪蓉等<sup>[16]</sup>使用中国科恩医疗自主研发的 Smartpatch 贴片对 30 例急性缺血性脑卒中患者进行了为期两周的心电图连续监测,发现了 3 例房颤患者。Gladstone 等<sup>[17]</sup>对老年高血压患者的房颤筛查研究中,筛查组患者接受了除常规随访外的在基线和 3 个月时连续两周的心电图贴片监测,使得房颤检出率比常规随访增加 10 倍(5.3%:0.5%, $RR=11.2$ , $P=0.001$ ),但 434 例参与者中有 5 例(1.2%)发生了皮肤不良反应而提前终止使用。比起 24 小时动态心电图,贴片式心电监测仪具备更高的舒适感,尤其对于无症状患者,可接受度和依从性更高。尽管目前评估心律失常的“金标准”仍是 12 导联心电图或 24 小时动态心电图,贴片式监测仪的便利性和准确度在以后的临床中有望取代常规 24 小时动态心电图,以筛查更多房颤人群。

### 3.3 便携式心电监测仪

便携式心电监测仪普遍使用单导联,操作简便、高效、精确,可应用于社区、家庭和门诊等院外环境的无症状性房颤筛查。REHEARSE-AF<sup>[18]</sup>的大样本随机对照试验纳入了 1 001 例房颤高风险患者,使用 AliveCor 心电记录仪进行家庭心电检测,随访 12 个月,房颤检出率为 3.8%,其中 42% 的房颤发作无症状,而常规随访的房颤检出率为 1.0%;武汉亚洲心脏病医院首次应用 AliveCor 手持式单导联心电图对 1 742 例个体进行机会性房颤筛查,新筛查到的房颤患者 106 例,平均年龄约 68 岁<sup>[19]</sup>。单导联心电图便利、准确,适用于大规模人群的筛查。尤其 65 岁以上人群新筛查房颤阳性率高,应积极在这类人群中使用

手持式心电图进行房颤的筛查。但局限性在于单通道信号使其不能进行标准 12 导联心电监测,房颤的诊断还需临床医生的确认。

### 3.4 智能设备

#### 3.4.1 智能手表

采用光体积描记(photo plethysmography, PPG)技术的可穿戴设备如手表和手环具有准确度高、便捷、无创和连续监测等优点,有望成为当前心电图检测工具的替代方案,尤其适用于大规模人群的房颤筛查和长期监测。使用智能手表用户可通过将手指放在设备上的任何一点来检测不规则脉搏。一项关于智能手表诊断准确度的首次荟萃分析<sup>[20]</sup>显示检测房颤的准确率为 97%。Apple Heart 研究<sup>[21]</sup>的 419 297 例参与者中,2 161 例(0.52%) 在 117 d 的监测中收到了苹果手表检测到的不规则脉搏的通知。450 例使用可穿戴贴片进行心电图监测的患者中,有 34% 的患者出现房颤。与贴片心电图记录相比,不规则脉冲确认同期房颤发生的阳性预测值为 84%。华为心脏研究<sup>[22]</sup>的 187 912 例受试者中,424 例受试者(0.23%)收到了“疑似房颤”通知,后期确认发现有 227 例患有房颤,该手表阳性预测值为 91.6%。但这类设备也存在明显的局限性:使用设备时需排除运动伪影,同时对房颤的确诊还需进一步的心电检测。不低的假阳性事件也可能导致医疗保健系统的过度使用及部分人群的焦虑和不恰当治疗<sup>[23]</sup>。最为重要的是,老年人作为房颤高危人群,目前智能手表的普及率并不高,并且上述两项研究表明,在当前智能手表用户中,房颤的患病率仍较低。新一代 Apple Watch Series 4 可以记录心电图,手表设置的单导联可进行多部位测量,实现多导联检测,有望进一步提高设备的检测性能<sup>[24]</sup>。

#### 3.4.2 智能手机

智能手机在生活中使用广泛,将其应用于房颤的日常检测中具有便捷、精确和普及率高的优点。利用手机可实现无症状性房颤的心电图检测,Chan 等<sup>[25]</sup>对香港 13 122 例居民使用基于智能手机的无线单导联心电图在社区进行了大规模筛查,发现新发房颤患者 101 例,其中 66 例为无症状性房颤。手机也可使用内置摄像头,拍摄指尖或面部记录 PPG 信号,并使用匹配的应用程序进行节律分析来检测房颤。Brasier 等<sup>[26]</sup>使用智能手机摄像头对参与者进行了指尖摄影记录 PPG 信号,并使用匹配的应用程序对信号进行分析,与单导联心电图对比显示其灵敏度为 91.5%,特异度为 99.6%。Yan 等<sup>[27]</sup>同时使用指尖和面部摄影记录 PPG 信号,与 12 导联心电图对比显示 PPG 信号敏感度分别为 94.7%(指尖)、94.7%(面部),特异度

分别为 93.0% (指尖)、95.8% (面部)。但在一项荟萃分析中,此类设备虽也表现出较高的灵敏度和特异度,但阳性预测值为 19.3% ~ 37.5%<sup>[28]</sup>,这表明在无症状性房颤人群中使用这些应用程序可能会产生比真阳性更多的假阳性结果。

#### 4 人工智能在无症状性房颤检测设备的应用前景

随着技术的发展,人工智能 (artificial intelligence, AI) 在房颤的诊断甚至预测中表现出强大的潜能。Tison 等<sup>[29]</sup>将智能手表 PPG 技术与 AI 相结合检测房颤,以 12 导联心电图为参考标准,发现 AI 诊断房颤的准确度为 97%。Chen 等<sup>[30]</sup>开发了配备 PPG 和心电图系统的智能腕带,并配备了可识别房颤的 AI 算法,结果发现心电图、PPG 和专家判读的识别准确度为 93.27%、94.76% 和 97.51%,表明 AI 可能具备类似专家的诊断性能。Yan 等<sup>[31]</sup>提供了一种新的人脸识别房颤的检测方法:基于 PPG 技术并配备 AI 算法的摄像头可同时记录人群的面部特征,避免了一对一筛查,这为减少人群房颤筛查中的工作量提供了可能。

最新的研究探讨了 AI 对房颤发作前的预测价值,而不仅是对已发作房颤的诊断。Attia 等<sup>[32]</sup>纳入了 180 922 例患者和 649 931 例正常窦性心律人群,按照 7:1:2 的比例将心电图分配给了训练、内部验证和测试数据集。结果发现,AI 在正常窦性心律中预测房颤发生的准确度为 83.3%。Guo 等<sup>[33]</sup>使用基于 AI 的初步和优化后的预测模型筛选出了 50 例房颤患者进行前瞻性心电图和预测模型对比验证,发现与 72 小时动态心电图相比,在房颤发作的前 4 h 内,优化后的预测模型对正确预测房颤具有 88.9% 的准确度。Raghunath 等<sup>[34]</sup>开发的 AI 模型可从窦性心律心电图预测新发房颤风险,该模型预测 1 年内新发房颤的敏感度和特异度分别为 69% 和 81%,而且,有 62% 的卒中患者在卒中发生前被预判为高风险人群,表明 AI 有助于发现新发房颤和识别房颤卒中高危人群。AI 的应用不仅有望提高房颤的诊断率,减少对专家诊断的需求,节省大量的医疗成本,更有望进一步发现设备无法检出的潜在的无症状性房颤,这在未来可能会改变对无症状性房颤的认知和管理。

#### 5 检测设备在无症状性房颤的应用

##### 5.1 无症状性房颤的筛查

###### 5.1.1 筛查人群及策略

房颤和卒中风险随年龄的增长而增加,常用的房颤筛查策略包括对老年人群进行机会性或系统性筛查。2020 年欧洲心脏病学会指南<sup>[35]</sup>给出的房颤筛查意见建议对年龄 ≥ 65 岁的人群进行脉搏触诊或心电图的机会性筛查,对年龄 ≥ 75 岁或高卒中风险的人群

进行心电图的系统性筛查。2022 年美国预防服务工作组发布声明<sup>[36]</sup>,对年龄 ≥ 65 岁的无症状老年人,暂无证据支持常规心电图的房颤筛查。美国心脏协会和美国卒中协会建议在 65 岁以上人群中可使用脉搏触诊和心电图进行主动筛查<sup>[37]</sup>。

###### 5.1.2 筛查工具及频率

2017 年《房颤筛查》报告建议可使用自动血压计、智能手机、手持式心电图设备进行房颤的大规模或机会性筛查。其中,手持式心电设备可提供心电记录,应作为 65 岁以上老年人群的首选筛查工具<sup>[38]</sup>。比起单时间点筛查,使用手持式心电设备进行连续两周的心电图检查可能提高房颤的检出率<sup>[39]</sup>,但重复的检测意味着成本的提高,房颤监测的最佳频率、强度和设备类型仍未知。最近在《柳叶刀》杂志上发表的 AF-CATCH 研究<sup>[40]</sup>表明,与每年 1 次的 30 s 单导联心电图筛查相比,每季度 1 次的筛查使 65 岁以上老年人群房颤检出显著增加 83%,但在每季度加上第 1 个月每周额外进行 1 次筛查并无明显差异。对于 65 岁以上人群,季度筛查可能比年度筛查更有益。未来的研究应积极寻找具有筛查成本效益的筛查频率及筛查设备。

##### 5.2 无症状性房颤筛查——抗凝获益

无症状性房颤检测的意义在于早发现和早期预防卒中等栓塞事件,然而目前关于使用检测设备进行积极的筛查是否能进一步收获抗凝治疗获益的相关研究有限。STROKESTOP 研究<sup>[41]</sup>是第一项房颤筛查硬终点的大型随机对照试验,结果表明与常规治疗相比,使用手持式心电图对 75 ~ 76 岁人群进行系统性筛查可检测出更多的房颤患者 (14.9% : 12.1%),但 90% 新诊断的房颤患者接受抗凝治疗后,两组缺血性卒中事件无明显差异。Svensen 等<sup>[42]</sup>的多中心、前瞻性、随机对照试验表明,在卒中高危患者中,植入式循环记录仪筛查虽提高了无症状性房颤检出率 (31.8% : 12.2%,  $HR = 3.17, P < 0.0001$ ) 和卒中治疗率 (29.7% : 13.1%,  $HR = 2.72, P < 0.0001$ ),但未显著降低卒中与系统性栓塞风险 (4.5% : 5.6%,  $HR = 0.8, P = 0.11$ )。因此,并不是所有房颤都值得筛查,也不是所有筛查出的房颤都值得抗凝治疗。未来尚需开展更完善的长期随访、大样本的随机对照研究进一步论证使用各类设备进行房颤筛查及早期抗凝治疗获益的有效性,特别是标定出具有房颤筛查及早期抗凝治疗双重获益的患者,使房颤的筛查及抗凝治疗获益最大化。

##### 5.3 无症状性房颤患者的管理

中国房颤患病人群中,约有 36% 的患者不知晓患

病,相较以往报道,房颤患病率更高,认知度更低,治疗差距大<sup>[2]</sup>。因此,需提高房颤人群对疾病的认知度,从而更好地实现人群的管理和治疗。REHEARSE-AF 试验<sup>[18]</sup>的受试者调查评分显示,使用 AliveCor 监测仪的患者房颤知晓率更高(6.8 : 6.1,  $P = 0.001$ ),对疾病的焦虑状态更少(2.2 : 2.5,  $P = 0.003$ )。HRS/ACP 研究<sup>[43]</sup>表明参与者筛查前房颤和卒中知识显著不足,但超过 90% 的参与者使用单导联设备筛查后对相关知识的了解显著提高。Guo 等<sup>[44]</sup>纳入中国 40 个城市的 3 000 余例房颤患者,随机分至智能手机应用程序组(mAFA)和常规治疗组以监测和管理房颤患者。mAFA 组平均随访 262 d,常规护理组平均随访 291 d,发现 mAFA 组患者口服抗凝药物率更高(66% : 48%,  $P < 0.001$ ),缺血性卒中、全身性栓塞、死亡和再住院事件发生率更低(1.9% : 6.0%,  $HR = 0.39$ ,  $P < 0.001$ )。新型检测设备的发展使其不仅应用在房颤的筛查和检测中,还可在筛查房颤的过程中提高房颤患者的疾病认知度,简化临床医师的管理途径,从而改善患者的治疗现况和预后。

## 6 结论与展望

综上所述,相比以往,可用于房颤筛查的检测设备不断地更新发展,为无症状性房颤的筛查提供了多种方式。在筛查手段的选择时,应充分考虑不同设备的优缺点、筛查人群、筛查-抗凝-成本获益以及个人意愿等多种因素,选择合适的检测设备与筛选人群,并制定良好的监测频率和筛查策略。同时合理地应用检测设备以制定出适合不同人群的抗凝治疗管理模式,加强人群的疾病和抗凝治疗认知度,实现更多人群的适时和正规抗凝治疗,减少更多的卒中及栓塞事件的发生。移动技术的发展为医务人员提供了新的房颤筛查-诊断-干预-管理流程,尤其随着 AI 技术的涌现,可进一步提高房颤设备的诊断性能,此外,AI 可能有助于发现潜在无症状和卒中高危患者。

## 参考文献

- [1] Lippi G, Sanchis-Gomar F, Cervellin G. Global epidemiology of atrial fibrillation: an increasing epidemic and public health challenge[J]. *Int J Stroke*, 2021, 16(2): 217-221.
- [2] Du X, Guo L, Xia S, et al. Atrial fibrillation prevalence, awareness and management in a nationwide survey of adults in China[J]. *Heart*, 2021, 107(7): 535-541.
- [3] Jones NR, Taylor CJ, Hobbs FDR, et al. Screening for atrial fibrillation: a call for evidence[J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(10): 1075-1085.
- [4] Jabaudon D, Sztajzel J, Sievert K, et al. Usefulness of ambulatory 7-day ECG monitoring for the detection of atrial fibrillation and flutter after acute stroke and transient ischemic attack[J]. *Stroke*, 2004, 35(7): 1647-1651.
- [5] Sanna T, Diener HC, Passman RS, et al. Cryptogenic stroke and underlying atrial fibrillation[J]. *N Engl J Med*, 2014, 370(26): 2478-2486.
- [6] Bernstein RA, Kamel H, Granger CB, et al. Effect of long-term continuous cardiac monitoring vs usual care on detection of atrial fibrillation in patients with stroke attributed to large- or small-vessel disease: the STROKE-AF randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2021, 325(21): 2169-2177.
- [7] Buck BH, Hill MD, Quinn FR, et al. Effect of implantable vs prolonged external electrocardiographic monitoring on atrial fibrillation detection in patients with ischemic stroke: the PER DIEM randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2021, 325(21): 2160-2168.
- [8] Noseworthy PA, Kaufman ES, Chen LY, et al. Subclinical and device-detected atrial fibrillation: pondering the knowledge gap: a scientific statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2019, 140(25): e944-e963.
- [9] Healey JS, Connolly SJ, Gold MR, et al. Subclinical atrial fibrillation and the risk of stroke[J]. *N Engl J Med*, 2012, 366(2): 120-129.
- [10] Glotzer TV, Hellkamp AS, Zimmerman J, et al. Atrial high rate episodes detected by pacemaker diagnostic predict death and stroke: report of the atrial diagnostic ancillary study of the Mode Selection Trial(MOST)[J]. *Circulation*, 2003, 107(12): 1614-1619.
- [11] Schnabel RB, Haeusler KG, Healey JS, et al. Searching for atrial fibrillation poststroke: a white paper of the AF-SCREEN international collaboration[J]. *Circulation*, 2019, 140(22): 1834-1850.
- [12] Wiesel J, Wiesel D, Suri R, et al. The use of a modified sphygmomanometer to detect atrial fibrillation in outpatients[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2004, 27(5): 639-643.
- [13] Wiesel J, Fitzig L, Herschman Y, et al. Detection of atrial fibrillation using a modified microlife blood pressure monitor[J]. *Am J Hypertens*, 2009, 22(8): 848-852.
- [14] Stergiou GS, Karpettas N, Protogerou A, et al. Diagnostic accuracy of a home blood pressure monitor to detect atrial fibrillation[J]. *J Hum Hypertens*, 2009, 23(10): 654-658.
- [15] Wiesel J, Salomone TJ. Screening for atrial fibrillation in patients  $\geq 65$  years using an automatic blood pressure monitor in a skilled nursing facility[J]. *Am J Cardiol*, 2017, 120(8): 1322-1324.
- [16] 汪蓉, 陈颖敏, 张方亮, 等. Smartpatch 心电记录仪在缺血性脑卒中患者中的临床应用[J]. *中国心脏起搏与心电生理杂志*, 2021, 35(3): 249-252.
- [17] Gladstone DJ, Wachter R, Schmalstieg-Bahr K, et al. Screening for atrial fibrillation in the older population: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Cardiol*, 2021, 6(5): 558-567.
- [18] Halcox JPJ, Wareham K, Cardew A, et al. Assessment of remote heart rhythm sampling using the AliveCor heart monitor to screen for atrial fibrillation: the REHEARSE-AF study[J]. *Circulation*, 2017, 136(19): 1784-1794.
- [19] 苏晞, 张劲林, 韩宏伟, 等. 单导联心电图记录系统进行心房颤动机会性筛查的首个国内经验[J]. *中华心律失常学杂志*, 2017, 21(6): 485-488.
- [20] Nazarian S, Lam K, Darzi A, et al. Diagnostic accuracy of smartwatches for the detection of cardiac arrhythmia: systematic review and meta-analysis[J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(8): e28974.
- [21] Perez MV, Mahaffey KW, Hedlin H, et al. Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation[J]. *N Engl J Med*, 2019, 381(20): 1909-1917.
- [22] Guo Y, Wang H, Zhang H, et al. Mobile photoplethysmographic technology to detect atrial fibrillation[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(19): 2365-2375.
- [23] Wyatt KD, Poole LR, Mullan AF, et al. Clinical evaluation and diagnostic yield following evaluation of abnormal pulse detected using Apple Watch[J]. *J Am Med Inform Assoc*, 2020, 27(9): 1359-1363.
- [24] Samol A, Bischof K, Luani B, et al. Single-lead ECG recordings including Einthoven and Wilson leads by a smartwatch: a new era of patient directed early ECG differential diagnosis of cardiac diseases? [J]. *Sensors (Basel)*, 2019, 19(20): 4377.
- [25] Chan NY, Choy CC. Screening for atrial fibrillation in 13 122 Hong Kong

- citizens with smartphone electrocardiogram[J]. *Heart*, 2017, 103(1):24-31.
- [26] Brasier N, Raichle CJ, Dörr M, et al. Detection of atrial fibrillation with a smartphone camera: first prospective, international, two-centre, clinical validation study (DETECT AF PRO) [J]. *Europace*, 2019, 21(1):41-47.
- [27] Yan BP, Lai WHS, Chan CKY, et al. Contact-free screening of atrial fibrillation by a smartphone using facial pulsatile photoplethysmographic signals [J]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7(8):e008585.
- [28] O'Sullivan JW, Grigg S, Crawford W, et al. Accuracy of smartphone camera applications for detecting atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA Netw Open*, 2020, 3(4):e202064.
- [29] Tison GH, Sanchez JM, Ballinger B, et al. Passive detection of atrial fibrillation using a commercially available smartwatch [J]. *JAMA Cardiol*, 2018, 3(5):409-416.
- [30] Chen E, Jiang J, Su R, et al. A new smart wristband equipped with an artificial intelligence algorithm to detect atrial fibrillation [J]. *Heart Rhythm*, 2020, 17(5 Part B):847-853.
- [31] Yan BP, Lai WHS, Chan CKY, et al. High-throughput, contact-free detection of atrial fibrillation from video with deep learning [J]. *JAMA Cardiol*, 2020, 5(1):105-107.
- [32] Attia ZI, Noseworthy PA, Lopez-Jimenez F, et al. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction [J]. *Lancet*, 2019, 394(10201):861-867.
- [33] Guo Y, Wang H, Zhang H, et al. Photoplethysmography-based machine learning approaches for atrial fibrillation prediction: a report from the Huawei Heart Study [J]. *JACC*, 2021, 1(3):399-408.
- [34] Raghunath S, Pfeifer JM, Ulloa-Cerna AE, et al. Deep neural networks can predict new-onset atrial fibrillation from the 12-lead ECG and help identify those at risk of atrial fibrillation-related stroke [J]. *Circulation*, 2021, 143(13):1287-1298.
- [35] Hindricks G, Potpara T, Dagres N, et al. 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): the Task Force for the diagnosis and management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC [J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(5):373-498.
- [36] Kahwati LC, Asher GN, Kadro ZO, et al. Screening for atrial fibrillation: updated evidence report and systematic review for the US Preventive Services Task Force [J]. *JAMA*, 2022, 327(4):368-383.
- [37] Meschia JF, Bushnell C, Boden-Albala B, et al. Guidelines for the primary prevention of stroke: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association [J]. *Stroke*, 2014, 45(12):3754-3832.
- [38] Freedman B, Camm J, Calkins H, et al. Screening for atrial fibrillation: a report of the AF-SCREEN international collaboration [J]. *Circulation*, 2017, 135(19):1851-1867.
- [39] Engdahl J, Andersson L, Mirskaya M, et al. Stepwise screening of atrial fibrillation in a 75-year-old population: implications for stroke prevention [J]. *Circulation*, 2013, 127(8):930-937.
- [40] Wei Z, Yi C, Cyma B, et al. Quarterly versus annual ECG screening for atrial fibrillation in older Chinese individuals (AF-CATCH): a prospective, randomised controlled trial [J]. *Lancet Healthy Longev*, 2021, 2(8):e470-e478.
- [41] Svennberg E, Friberg L, Frykman V, et al. Clinical outcomes in systematic screening for atrial fibrillation (STROKESTOP): a multicentre, parallel group, unmasked, randomised controlled trial [J]. *Lancet*, 2021, 398(10310):1498-1506.
- [42] Svendsen JH, Diederichsen SZ, Højberg S, et al. Implantable loop recorder detection of atrial fibrillation to prevent stroke (The LOOP Study): a randomised controlled trial [J]. *Lancet*, 2021, 398(10310):1507-1516.
- [43] Rosenfeld LE, Amin AN, Hsu JC, et al. The Heart Rhythm Society/American College of Physicians atrial fibrillation screening and education initiative [J]. *Heart Rhythm*, 2019, 16(8):e59-e65.
- [44] Guo Y, Lane DA, Wang L, et al. Mobile health technology to improve care for patients with atrial fibrillation [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(13):1523-1534.

收稿日期:2022-01-10

欢迎投稿 · 欢迎订阅