



可持续发展与 公众除颤计划

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND
PUBLIC ACCESS DEFIBRILLATION



AED

AED (Automated External Defibrillator, 自动体外除颤器): 又称自动体外除颤仪、自动体外电击器、自动电击器、心脏除颤器及傻瓜电击器等, 是一种便携式的医疗设备。它可以诊断特定的心律失常, 并且给予电击除颤, 是可被非专业人员使用的用于抢救心脏骤停患者的医疗设备。

在心跳骤停时, 只有在最佳抢救时间的“黄金4分钟”内, 对患者进行心肺复苏同时利用AED除颤, 才是最有效制止猝死的办法。

序一

《可持续发展与公共除颤计划》面世，为大众服务，这是一件要事、好事。

心脏除颤是心肺复苏 (CPR) 过程中重要不可或缺的内容与手段。CPR 本身虽无直接去除心室纤颤 (VF) 的功能与作用，但它具延长室颤时间和易于除颤的两个作用。如能在现场作 CPR 并同时除颤，其对心脏复跳的作用做怎样高的评估都不为过。

除颤在现场与 CPR 同步进行，方能奏效。这就要求除颤器必须从医院的围墙中、从医护人员手中解放出来，让公众掌握使用。20 世纪 80 年代后，科学家们进行了大量的研究和实践，生产出符合要求的除颤器，并在不断探索践行过程中，逐渐达到了自动、有效、安全等功能，这就是自动体外心脏除颤器 AED。

当今，经过短时培训的“第一目击者”越来越多，他们已能在现场立即进行 CPR 与使用 AED 了，迈出了 CPR·AED 同时进行的重要步伐，我把它称之为 CPR·D。

现在的关键是如何让更多的“第一目击者”学习掌握、正确应用 AED，如何科学规范、合理布局 AED，抢救资料如何完整搜集、综合分析等。当然，还要推动 AED 本身质量、功效提升，过程安全可靠以及使用者免责等诸多问题的改善。凡此种种，也就是本报告所述的“公众除颤计划”，称为 PAD (Public Access Defibrillation)。

PAD 是个很好的计划，它不仅立足于现实，同时也着眼于未来。包括我国在内的不少国家对此都十分重视。联合国《2030 年可持续发展议程》提出了 17 项可持续发展目标，并动员全球力量去践行。推行 PAD 对于可持续发展中的健康与福祉、体面工作和经济增长、可持续城市和社区等多项目标实现至关重要。所以，我们应该很好地学习领会《可持续发展与公共除颤计划》。

本人作为多年来一直从事 CPR·D 的急救医生与研究者，感谢本计划的组织单位呈现的高度社会责任心，感谢编者敬业的科学态度。此为序。



中国医学救援协会会长

中山大学医学院、中山大学附属第七医院复苏研究所首席科学家

2022 年 9 月

序二

健康是美好生活的前提。进入新时代、新发展阶段，人们对生命健康的期许变得日益强烈，而各种意外伤害、急危重症、突发猝死往往就在身边发生。数据显示，我国每年发生心源性猝死的患者超过 50 万，许多生命消失都是因为得不到及时的抢救。保护生命需要自我保护意识的增强，更需要自救互救能力的提升。

近年来，随着全社会的应急救护意识不断增强，公众对掌握急救知识和技能的需求愈发强烈，尤其是对 AED 的配置和普及表现出很强的预期和需求。2021 年国家卫生健康委办公厅印发《公共场所自动体外除颤器配置指南（试行）》中进一步明确提出，配置自动体外除颤器 (AED) 应按照科学规划、注重实效的原则，优先保障重点公共场所，加大配置密度。

“开展应急救护培训，普及应急救护、防灾避险和卫生健康知识，组织志愿者参与现场救护”是红十字会的法定职责。近年来，中国红十字会推广“救在身边·红十字救护一体机”，积极配合有关部门推动公共场所配置 AED，倡导在公共场所推广内置 AED 和急救包的红十字救护一体机。一体机不仅要有急救设备，还要滚动播放急救知识视频，特别是在配有一体机的场地，必须要保证身边的工作人员接受过急救培训，确保随时就近施救。

为进一步增强全社会的生命教育意识，助力健康中国建设，按照中国红十字会整体部署，中国红十字基金会负责具体实施“救在身边·校园守护”“安心街区”“安心社区”等行动，通过进校园、街道社区广泛布设 AED 和应急救护一体机、开展应急救护培训等，打造“安心校园、安心街区和社区”。截至 2021 年底，中国红十字基金会携手社会各界爱心力量在学校、社区、企事业单位、交通场站等重点公共场所安装应急救护一体机和 AED 共计 1,766 台，让人民群众真正感受到红十字“救”在身边。同时，推动“红十字急救宝”系统上线并逐步在重点区域推广，实现 AED 与急救志愿者信息联通，构建区域化 AED 地图等数字化系统，提高现场施救的应急效率和救护能力。中国红十字基金会还首创应急救护主题“红气球”运动公益项目挑战赛，面向公众普及应急救护知识与技能，倡导“人人学急救、急救为人人”。

中国红十字基金会以“守护生命与健康，红十字救在身边”为使命，未来将继续携手社会各界力量积极推动应急救护事业发展，提升公众的健康意识和自救互救能力。此次中国红十字基金会联合飞利浦基金会发起“可持续发展与公众除颤计划”，通过科学布局配置 AED，普及公众除颤理念、知识和技能，创新和完善数字化运营管理等，致力于实现“让 AED 便捷可用、让公众掌握会用、让 AED 保质好用、让群众大胆敢用”的目标，推进应急救护公众普及，守护生命与健康，共创共促可持续发展。



中国红十字基金会理事长 贝晓超

2022 年 9 月

序三

如果我们把慢性疾病的医疗处置当成是与死神的生命谈判，那么应对心脏骤停的心肺复苏救治就是在与死神做生命的抢夺。心脏骤停是公共卫生和临床医学领域最危急的情况之一，如不能得到及时有效救治，常导致患者即刻死亡，即心源性猝死。欧洲和北美每年约有 50 万人死于这种疾病，但目前我国每年大约有超过 54.4 万人发生心脏骤停且大多发生在院外，抢救成功率却不到 1%，但在广泛配置 AED 并进行相关心肺复苏培训的有些地区，抢救成功率可以达 40% 以上。

部署公众除颤计划 PAD (Public Access Defibrillation)，让设备安置、培训赋能、人员调度等救治因素和单元科学协作，可以有效提高院外心脏骤停患者的救治效率，让更多的“第一目击者”可以参与到救助他人的行动，每个路人都有可能成为隐藏的救助生命的超级英雄。

飞利浦基金会是一家企业基金会，旨在以联合国可持续发展目标三：良好的健康与福祉 (Good health and well-being) 以及目标十七：促进目标实现的伙伴关系 (Partnerships for the goals) 为基金会执行的宏观目标和战略方向，开展公益项目和公益投入，是跨国企业以全球视野和全球多市场协作的方式下履行企业社会责任的集中平台。我们希望利用飞利浦超过 130 年所积累的创新知识、先进技术和专业人才，以可及性医疗为手段，推动飞利浦“到 2030 年，每年改善 25 亿人生活”的目标在中国的落实，帮助改善人群尤其是弱势群体的健康与医疗相关的问题，促进健康公平的实现。

迄今为止，飞利浦在中国持续开展社会公益 30 余年，公益投入超过 8,000 万元，惠及人口超过 800 万，其中儿童 200 多万，项目涵盖救灾援助、公共卫生、公众除颤以及基层诊疗能力提升等领域。

此次携手与飞利浦拥有 16 年合作历史的中国红十字基金会共同发起“可持续发展与公众除颤计划”，希望能以更加务实、科学、系统的手段，为社会与公众搭建更可持续的安全安心安稳的社区环境，聚沙成塔，建立“心肺复苏生命互助共同体”，为实现人类良好的健康与福祉积聚跬步以至千里。

在此过程中，我们获得了在中国心肺复苏领域深耕多年，以毕生精力投身奉献于促进心肺复苏事业发展的泰斗、专家学者们支持和鼓励，成为我们前进之路的旗帜、动力与能量，在此致以我最诚挚的谢意。

希望我们能多方多元协作，共创共促“健康中国 2030”，为实现人类健康事业的美好愿景不断前进。



飞利浦基金会 中国区负责人 刘可心
2022 年 9 月

摘要

心脏骤停 (Sudden Cardiac Arrest, SCA) 是公共卫生和临床医学领域最危急的情况之一，如不能得到及时有效救治，常导致患者即刻死亡，即心源性猝死 (Sudden Cardiac Death, SCD)。在心脏骤停患者中，心室颤动 (Ventricular Fibrillation, VF) 是最主要的致病因素之一，使用自动体外除颤器 (Automated External Defibrillator, AED) 进行早期电除颤是挽救患者生命的关键。为了尽可能缩短患者获得电击的时间，美国、欧洲、日本、新加坡等国家和地区多年来一直在推广公众除颤 (即 Public Access Defibrillation, PAD) 计划，将 AED 放置在人们聚集的特定位置，以便于在 SCA 发生时，由熟悉 AED 使用的现场目击者在第一时间实施除颤。

联合国《2030 年可持续发展议程》提出了 17 项可持续发展目标，并动员全球力量实现一系列共同目标。推行公众除颤计划对于可持续发展中的良好健康与福祉、体面工作和经济增长、可持续城市和社区等多项目标的实现至关重要。

本文对 AED 技术发展历程中出现的一些关键技术，如低能量除颤技术、儿童 AED 技术、快速电击、急救策略优化和心肺复苏质量反馈技术进行了详细的介绍；随后分析了 PAD 计划推进的几个关键问题，即“可用、会用、好用、敢用”；最后介绍了国内外一些典型的 PAD 计划的案例，例如飞利浦公司的“蒲公英计划”。

我国目前 AED 部署情况不容乐观，存在推广进程较欧美及日本等亚洲国家慢、PAD 计划推广滞后、相关立法规定不完善以及医疗专家资源不足等阻碍因素。基于这样的现状，目前 PAD 计划推广的关键在于进行科学布局与标识，让 AED 便捷可用；普及 AED 及 CPR 技术培训，让公众掌握会用；强化 AED 的运维管理，让 AED 保质好用；完善相关政策法规，让群众大胆敢用。

推广 PAD 计划进展，可以有效降低心源性猝死发生率，为公众生命安全提供更高保障；也能增强工作场所对员工生命安全的保障，有利于创造一个安全、体面的工作环境；同时提高城市公共空间的安全性，推动建设可持续城市和社区，从而助力联合国可持续发展目标实现进程。

Abstract

Sudden Cardiac Arrest (SCA) is one of the most critical situations in the field of public health and clinical medicine. Without timely and effective treatment, it often leads to immediate death of patients, namely Sudden Cardiac Death (SCD). Ventricular fibrillation (VF) is one of the main pathogenic factors in SCA patients, and early defibrillation using an automated external defibrillator (AED) is the key to saving patients' lives. In order to shorten the time for defibrillation, countries and regions like the United States, Europe, Japan, Singapore have been promoting Public Access Defibrillation (PAD) programs for many years. By placing AEDs in specific places where people gather, at the time of SCA, defibrillation was performed immediately by on-site witnesses familiar with the use of AEDs.

The United Nations' 2030 Agenda for Sustainable Development proposes 17 sustainable development goals. They've been mobilizing global forces to achieve such common goals. The promotion of PAD programs is critical to achieve the goals of good health and well-being, decent work and economic growth, and sustainable cities and communities.

This paper first introduces key technologies in the development of AED technology, such as Low-energy Defibrillation technology, Children AED technology, Rapid Electric Shock, First-aid Strategy Optimization and CPR Quality Feedback technology. Then discuss the key aspects of PAD program promotion, namely "available, able to use, easy to use, and dare to use". Finally, some typical PAD projects in China and the world are introduced, e.g., the "Dandelion Plan" by Philips.

The current situation of AED deployment in China is not optimistic. There are several obstacles, e.g., slower promotion process than that in Europe, America and Asian countries like Japan, lag in the promotion of PAD plans, imperfect legislation and insufficient resources of medical experts. Based on the current situation, the key to the promotion of the PAD program is to carry out scientific arrangement and labeling, so that AEDs are convenient and available; popularize AED technical training, so that the public are able to use them; strengthen the operation and maintenance management, so that AEDs are of good quality and easy to use; improve relevant policies and regulations, let the public dare to use them.

Promoting the PAD program can effectively reduce the incidence of sudden cardiac death and further guarantee the safety of public life; it can also enhance the safety of employees in the workplace, which is conducive to creating a safe and decent working environment; the safety of public spaces also promotes the building of sustainable cities and communities, and thereby contributing to the achievement of the United Nations Sustainable Development Goals.

目录

公众除颤计划的诞生背景	01
院外心脏骤停和 AED	01
公众除颤计划 (PAD)	02
助力实现可持续发展目标	03
AED 技术持续发展	04
低能量除颤 - 双向指数截尾波和阻抗补偿	04
儿童 AED	07
快速电击技术	09
心肺复苏质量反馈	12
急救策略优化技术	14
其他新兴技术	15
PAD 推广关键：“可用、会用、好用、敢用”	16
科学布局与标识，让 AED 便捷可用	16
普及技术培训，让公众掌握会用	24
强化运维管理，让 AED 保质好用	25
完善政策法规，让群众大胆敢用	26
公众除颤计划案例	28
国际 PAD 发展案例	28
AED 和 PAD 在中国	30
企业案例：飞利浦中国“蒲公英计划”	33
CANNE：推动 PAD 培训资源可及性的创新方案	35
广泛推进公众除颤计划，全民共促可持续发展	36
附录：专业名词表	37
参考文献	38

公众除颤计划的诞生背景

1. 院外心脏骤停和 AED

心脏骤停 (Sudden Cardiac Arrest, SCA) 是公共卫生和临床医学领域最危急的情况之一^[1], 表现为心脏机械活动突然停止、患者对外界刺激无反应、无脉搏、无自主呼吸或濒死喘息等。如不能得到及时有效救治, 常导致患者即刻死亡, 即心源性猝死 (Sudden Cardiac Death, SCD)。SCA 大部分发作于院外, 也称为院外心脏骤停 (Out-of-hospital Cardiac Arrest, OHCA), 患者多因未能获得及时抢救而直接死于院外场所。^[2]

在心脏骤停患者中, 心室颤动 (Ventricular Fibrillation, VF, 以下简称“室颤”) 是最主要的致病因素之一。记录显示, 25-50% 的心脏骤停患者发生了室颤, 然而事实上这个比例可能更高。一些研究认为, 有更多的患者其实发生了室颤或快室速, 但当除颤器或其他可采集心电图的设备到达时, 其心律已经转化成停搏。

SCA 患者的抢救需要争分夺秒, 每延迟 1 分钟, 患者的生存率便降低 7%-10%^[3], 故有黄金救治 4-6 分钟的说法。抢救的难点在于, SCA 可发生于任何时间、任何地点、任何人员。除了心脏病是 SCA 的主要危险因素之外, 不当的运动、高压及快节奏的生活等均为可能的诱发因素。

电除颤是治疗室颤的唯一有效方法, 因此早期电除颤是挽救 SCA 患者之关键。国际上普遍认可“生存链”是有效的 SCA 抢救措施 (图 1)^[4], 即早期识别和呼救、早期心肺复苏、早期除颤、早期高级生命支持和标准化复苏后护理四个环节。“生存链”起始于早期识别和呼救, 核心环节是除颤和心肺复苏——心肺复苏帮助心脏实现再灌注, 为组织和大脑提供氧气, 电击除颤则帮助心脏恢复到有效搏动。如能在 1 分钟内实施心肺复苏 (Cardiopulmonary Resuscitation, CPR), 3-5 分钟内进行自动体外除颤器 (Automated External Defibrillator, AED) 除颤, 可使患者存活率达到 50%-70%。



▷ 图 1 生存链^[4]

自动体外除颤器 (AED) 使外行救援人员可以在紧急医疗服务到达现场之前就开始治疗, 从而提高抢救的成功率。美国心脏协会 (American Heart Association, AHA) 建议第一目击者进行早期心肺复苏及 AED 电除颤, 这样可以有效提高心脏骤停抢救成功率。美国每年因 SCA 造成的死亡超过 35 万例, 平均生存率为 5%; 而有些地区由于广泛配置 AED 并进行相关心肺复苏培训, 抢救成功率高达 40% 以上。

根据不完全统计显示, 我国每年有超过 54.4 万人死于 SCD, 这意味着每天有 1,480 例心源性猝死 (相当于 4 架波音 747 坠机造成的人员死亡数)。90% 发生在医院外的家庭、工作单位、公共场所及差旅途中等。由于未能普遍、广泛、规范开展心肺复苏的急救技能培训和推广配置 AED, 加上救护车到达时间过晚, 抢救的成功率不到 1%。

2. 公众除颤计划 (PAD)

为了尽可能缩短患者获得电击的时间, 欧美国家多年来一直在推广“公众启动除颤” (即 Public Access Defibrillation, PAD) 计划 (后文亦简称“公众除颤计划”), 将 AED 放置在人们聚集的特定位置, 例如购物中心、交通枢纽、酒店、运动场所、办公大楼, 以便于在 OHCA 发生时, 由熟悉 AED 使用的现场目击者或“第一反应人” (通常是非专业人员), 在第一时间实施除颤。这类计划目前已经在美国、欧洲、日本、新加坡等国家和地区得到广泛推广。美国心脏协会 (AHA) 自 1995 年开始推荐公众除颤计划, 并强调组织、计划、培训的重要性, 以最大程度地发挥这些计划的作用^[5]。

研究显示, 公众除颤计划的实施可以有效地缩短 AED 到达和除颤电击的时间, 从而提升 OHCA 急救的成功率。1999-2001 年, Caffrey 等人较早地对芝加哥三个机场的 PAD 项目进行了研究, 结果发现布置于机场公共区域的标志清晰的 AED 被有效地用于抢救心脏骤停患者, 该项目两年间急救的成功率达到 50% 以上。Jocelyn 等人在 2006 年至 2009 年间进行了一项基于人群的队列研究。他们通过对连续 2,833 例非创伤性院外心脏骤停患者进行的研究发现, 现场 AED 使用时把初次电击时间从 11 分钟减少到 4.1 分钟, 相比于依赖派遣员急救, OHCA 患者的生存率将能提升一倍以上。

基于诸多临床研究的结果, 国际复苏联合会 (ILCOR) 的专家共识^[6]认为, 推广“公众启动除颤”计划可以有效提高 OHCA 患者的 30 天生存率, 并将其列为一类推荐。

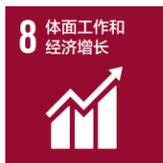
3. 助力实现 可持续发展目标

2015年9月的联合国可持续发展峰会上通过了《2030年可持续发展议程》，提出了17项可持续发展目标（SDGs），并动员全球力量实现一系列共同目标。推行公众除颤计划有助于可持续发展目标3、目标8、目标11的实现。



3.4 到2030年，通过预防、治疗及促进身心健康，将非传染性疾病导致的过早死亡减少三分之一。

- 公众除颤计划从提供AED作为必备的除颤器具与救治培训两方面着手，提高心脏骤停患者救治存活率，为公众生命安全提供保障。



8.8 保护劳工权利，推动为所有工人，包括移民工人，特别是女性移民和没有稳定工作的人创造安全和有保障的工作环境。

- 在工作场所配置AED以及推行公众除颤计划，能够增强场所对员工生命安全的保障，有助于创建一个安全、体面的工作环境。



11.7 到2030年，向所有人，特别是妇女、儿童、老年人和残疾人，普遍提供安全、包容、无障碍、绿色的公共空间。

- 在城市基础设施建设中配置AED以及推行公众除颤计划，能够提高城市公共空间的安全性，有助于建设可持续城市和社区。

AED 技术持续发展

在企业界，医疗界，学术界的共同努力下，AED技术一直朝着判别更快速精准，施救更安全高效，使用更方便智能，信息化运维更周到与可及的方向持续改善。这里向大家介绍AED领域的一些重要发现和创新。

1. 低能量除颤 - 双向指数截尾波和阻抗补偿

正常的心脏电生理活动是由窦房结发出，经心房细胞、房室结、希氏束、浦肯野纤维网传播，从而保证整个心脏的节律性收缩、维持正常的血液循环，进而保证全身氧气和营养物质的供应。当室颤发生时，心肌细胞的电生理活动发生紊乱，各自为政，心室无法正常收缩完成泵血功能。电击除颤的基本原理是利用大电流对心肌细胞放电，使心肌细胞强制去极化，进而统一恢复自主节律。研究认为，电击除颤存在阈值电流，当电流低于一定阈值时，则无法取得成功的除颤效果。但另一方面，如果电击电流过大，则会对心肌细胞造成损伤，强电击的副作用包括但不限于：

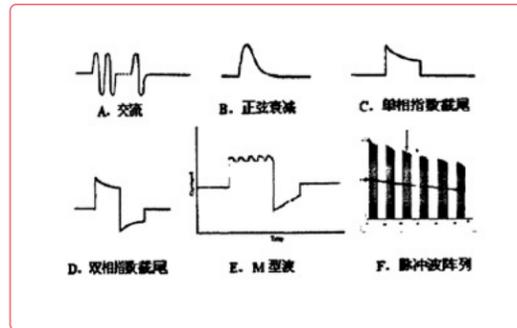
- ① 改变动作电位时程和波形；
- ② 改变静息电位的除极化过程；
- ③ 提高起搏阈值；
- ④ 兴奋性丧失；
- ⑤ 可能导致瞬时异位后除极化，进而诱发除颤后心律失常；
- ⑥ 造成心肌机械功能的短期障碍：加重收缩性和血流动力学方面的症状^[7]。

由于能量是最方便的衡量电击强度的指标，通常除颤器都采用除颤能量作为主要标称参数。目前公认的观点是，流经心肌的电流强度才是决定除颤成功与否的关键因素。在欧洲复苏学会（ERC）^[8]发布的临床指南中明确指出：“虽然除颤选择了能量水平作为标准，实现除颤效果的其实是流经心肌的电流强度。除颤需要传递足够的电能，以使心肌的临界质量除颤，消除VF的波阵面并以有组织的节律形式恢复自发的同步电活动。除颤的最佳能量是在实现除颤的同时将心肌损害降至最低的程度。选择适当的能量水平还可以减少重复性电击的次数，从而限制对心肌的损害。”

在除颤技术发展的历史上，研究人员一直在寻找优化的除颤方式，在成功抢救病人的同时，以最大程度的提升病人预后的生存质量。理想的除颤器希望在达到除颤效果的前提下尽可能地降低除颤能量，从而减少除颤器释放的高电流对患者的伤害。这就是所谓的低能量除颤^[9]。

双向指数截尾波

除颤波形是影响除颤效果和除颤能量的关键因素。在除颤波形的研究上，人们取得了丰硕的成果。图2给出了除颤发展史上出现的一些主流波形。在除颤发展的早期，交流电除颤占据主要地位，关于直流和交流孰优孰劣的问题一直有所争论。直到20世纪60年代，Lawn及其同事工作证明了除颤技术中，直流电相对于交流电的优越性和安全性。从此以后，交流除颤逐渐被抛弃。



▷ 图2 曾经或正在使用的一些放电波形^[10]

早期的直流除颤采用的是正弦衰减波，又称为阻尼正弦波。后来又出现了单相指数截尾波。在单相波时代，典型的除颤能量是360J。上个世纪80年代，随着植入式体外除颤器的发明，出现了双相指数截尾波。80至90年代，人们围绕着双相波除颤的效果和安全性展开了一系列的研究。研究发现，使用双相波可以在150-200J的除颤能量下，达到与360J单相波类似甚至更高的成功率。同时，在预后效果和对心脏机能的影响方面，双相波也优于单相波。

例如，Clark等人对双相指数截尾波(BTE)与单相指数截尾波(MTE)的对比研究表明，在除颤能量低于200J的情况下，BTE的除颤成功率明显高于MTE，甚至除颤能量为100J的BTE的除颤成功率已经超过了除颤能量为200J的MTE的除颤成功率。Reddy RK等人的研究表明：使用115J和130J的双相波除颤后，ECG中ST段的改变要小于使用200J单相波除颤后的改变。Tang W等人的研究表明：用三个非递增的低能量(150J)双相波除颤后，心室功能障碍的出现机率要低于用递增能量(200J-300J-360J)的单相波除颤。

90年代末，美国心脏协会(AHA)组织专家对双相波除颤的安全性和有效性进行了系统性的研究论证，最终认为低能量双相波是“安全的、可接受的和临床上有效的”^[11]。从此以后，双相波进入美国心脏协会(AHA)和欧洲复苏学会(ERC)的临床指南，取代单相波成为临床上主要推荐的除颤波形。

1996年9月，FDA(U.S. Food and Drug Administration, 美国食品药品监督管理局)批准了第一款采用双相波的除颤器，即HeartStream公司(现飞利浦公司)的ForeRunner™，该除颤器采用双相指数截尾波(BTE)。从此开启了双相波除颤的新时代^[11]。

根据2010年和2015年《美国心脏协会(AHA)心肺复苏与心血管急救指南》(以下简称“AHA指南”)，其中对于除颤电击能量的表述均为：

- ① 双相波除颤器：制造商推荐能量120-200J，第二次和后续的能量应与初始能量相当，可考虑使用最高能量；
- ② 单相波除颤器：最高能量360J。

目前所有的AED除颤器均为双相波技术，可以看到AHA指南作为国际权威机构指南明确认同并推荐双相波除颤器的最高能量不超过200J。

经胸阻抗补偿技术

如前文所述，决定除颤效果的关键其实是电流而不是能量。因此，人们想到可以通过测量经胸阻抗动态地调整放电波形、能量、电压、电流、时长等参数，从而达到更好的除颤效果，并降低除颤能量，这就是所谓的阻抗补偿技术^[9]。

Kerber等人对阻抗补偿技术进行了研究，他们通过测量经胸阻抗发现，在阻抗超过一定阈值时，应将除颤能量提高40%-100%。通过对狗的动物实验研究，他们发现该方案可以有效提高高阻抗情况下的除颤电流，进而有效地提高除颤成功率。

Gliner等人的专利给出了实用的配合双向指数截尾波的阻抗补偿方案。研究发现，双相波的倾斜度(即放电结束电压与初始放电电压的比值)会对除颤效果产生影响，倾斜度较低的放电波形能得到更好除颤效果。然而，对于相同的初始放电电压和放电时长，由于患者经胸阻抗的不同，对于高阻抗的患者其波形倾斜度会比较大，这进一步导致了高阻抗的患者除颤效果较差。该方案通过对放电电压和时长等参数进行调整，使得高阻抗和低阻抗的患者都达到相近的波形斜率，从而有效的改进除颤效果。

阻抗补偿技术作为低能量除颤重要研究成果之一，同双相波技术一起，在临床上得到了广泛认可和普遍应用。1998年，美国心脏协会(AHA)将“采用低能量(150J)、非递进(150J-150J-150J)、阻抗补偿技术的双相波电击”作为主要推荐方案写入了临床指南^[11]。

2. 儿童 AED

少年儿童心脏骤停时有发生，其中如果是适用于 AED 的室颤引发的，患儿相对预后更好。有统计表明，未成年学生在学校心脏骤停发病率约每年每 10 万人 0.17-4.4 起，其中室颤占 57.4-67.6%，经 AED 施救后的出院或单月存活率为 31.9-71.2%，高于其他场所。

传统上，AED 设计专注于成年心室纤颤(VF)的治疗，如何保证儿童和未成年人使用 AED 时的安全性，并提升预后的长期生存质量，是一个重要的研究课题。

除颤能量是儿童 AED 安全性的一个重要因素。由于体型不同，成人和儿童模式之间最显著的差异是 AED 除颤电击所传递的能量。成年患者的除颤一般采用 150-200 焦耳的能量水平，而小儿患者通常会采用较低能量的电击。一些方案采用可配置的放电能量协议，在儿童模式时降低除颤能量。另外一些 AED 方案则采用固定的较高输出能量，而对于儿科患者，则在电极电路中增加衰减器，从而将 AED 传递的能量衰减至较低的儿科水平。

相关专家对儿童除颤能量水平的研究历史悠久。在 20 世纪 70 年代中期，各种权威资料均建议对 VF 的所有儿童使用 200J 的初始电击剂量，对 VF 的所有婴儿使用 60-100J 的初始电击剂量。临床经验表明，在儿童和成人中使用相同的除颤剂量似乎有潜在危险，但这些担忧仅受到有限的动物数据的支持。其中一些数据表明，大于 10J/kg 的剂量就可能开始发生组织病理学心肌损害，11-14J/kg 通常足以满足各种物种的除颤要求。

Gutgesell 及其同事对儿童的有效除颤剂量进行了临床研究。他们回顾性地评估了能量剂量为 2J/kg 的除颤尝试的有效性。作者回顾了 27 名年龄在 3 天到 15 岁之间，体重从 2.1 到 50 公斤不等的儿童中的 71 次经胸除颤的尝试。作者报告说，采用标准 2J/kg 剂量，在总剂量不超过 10J 范围之内，电击成功率可达到 91%。基于这项研究，国际复苏联合会 (ILCOR) 认为 2J/kg 的能量设置是有效的，并建议 AED 采用此标准。

儿童和成人模式之间的另一个主要差异是所使用的 ECG 分析算法。考虑到成人和儿科患者之间心律的差异，儿童模式的算法需要单独设计和验证。例如，患有窦性心动过速或室上性心动过速的婴幼儿可能会具有很高的速率，若采用成人心电分析算法，可能会将这类心律误判成室颤而进行电击，给儿童造成伤害。

2003 年 Atkinson 等人研究了 AED 的自动分析算法用于婴儿和儿童时的性能，他们在重症监护病房、电生理实验室和心脏手术室为儿科患者入组。监护仪除颤器通过标准除颤监护垫记录心电图。选定的 15 秒节律样本在 LIFEPAK 500 AED 中播放，并记录了 AED “电击 / 无电击” 的决定。为了确定敏感性和特异性，AED 的决定与 3 名专家根据心电图独立提供的“可电击”与“不可电击”心律分类进行了比较。他们记录了 203 例儿科患者的 1,561 个节律样本（中位年龄 11 个月，范围：出生日至 7 岁）。AED 推荐对专家分类为心室颤动的 73 个心律样本中的 72 种进行电击（敏感性 99%），并正确地对专家分类为不可电击心律的 1,472

个样本中的 1,465 个做出了“不建议使用电击”的决定（特异性为 99.5%）。结论显示，这种 AED 算法在用于胸骨尖或前后引线放置的婴儿和儿童中时具有很高的特异性和敏感性。

2008 年，Atkins 等人进行了类似的研究，他们定义了新的小儿节律检测标准，并根据这些标准进行心电分析。研究共记录了 198 名儿童的心电图节律，算法正确识别了来自 49 例患者的 115 条可电击心律，综合敏感性为 96.0% (115/120)；正确识别了 155 例患者的 583 条不可电击心律，特异性为 99.7% (583/585)。可电击和不可电击心律的整体准确度为 99.0% (702/709)。结果显示了很高的灵敏度（粗心室纤颤）和特异性（不可电击的心律，包括室上性心动过速），表明基于儿科分析算法的 AED 可以正确检测出可电击节律，可以安全有效地应用于儿童。

医学界对心脏骤停患儿施用 AED 的态度经过了起初谨慎论证到当前充分认可的变化。2015 年，美国红十字会科学咨询委员会进行的临床文献综述表明，目前 AED 的室颤检测和电击时机推荐功能可准确用于儿童。并且基于充分的临床证据，该委员会推荐儿童服务设施优先选用配有儿童电极板选件的 AED 设备，该配件能更好地针对儿童控制电击能量。但不具备儿童选件和专业设备时，即使使用成人剂量 AED，对儿童甚至婴儿室颤患者也是安全和有良好预后效果的。这一推荐与美国、欧洲、澳洲，新加坡的心脏急救及心肺复苏相关指南关于儿童使用 AED 的意见是一致的。与此相应，在国际复苏联合会 (ILCOR) 最新制定的 2015 版国际心肺复苏和心脏急救指南中，AED 对于儿童乃至婴儿的安全性及有效性也获得了充分认可和推荐。

2001 年，美国 FDA 批准了第一款 AED 用于婴儿和 8 岁以下儿童。该 AED 由飞利浦公司生产，具备儿童模式，对于婴儿和儿童使用具备能量衰减功能。2001-2004 年间，Atkins 等人基于飞利浦公司的两款具备儿童衰减功能的 AED 进行了上市后临床观察研究，儿童除颤模式被用于 27 名 SCA 患儿，其中 8 例 VF 患儿被正确检出并全部成功除颤，且对于不需要除颤的其他患者也全部判断正确。

基于多年来 AED 儿童衰减模式应用的临床证据，2020 年美国心脏协会 (AHA) 最新发布的心肺复苏临床指南推荐对 8 岁以下儿童和婴儿使用带有儿童衰减功能的 AED，仅在不具备儿童衰减模式的情况下，才考虑使用普通无衰减的除颤模式。值得注意的是，该指南将使用儿童衰减模式的推荐等级从 2015 年的二级 b (Class IIb, 弱推荐, 收益大于等于风险) 提升到了一级 (Class I, 强烈推荐, 收益远大于风险)。AED 儿童衰减技术的使用得到了临床上的广泛认可^{[12][13]}。

因此，目前有充分的依据向社会宣导 AED 对少年儿童心脏骤停抢救的安全有效性，并将之纳入急救培训。当然，鉴于少年儿童的特点，美国心脏协会 (AHA) 和美国儿科学会均提倡少年儿童服务设施，如学校等，发生心脏骤停的抢救应有组织地进行，宜纳入学校的总体应急响应方案中^[14]。

3. 快速电击技术

电击前延时

前文提到，在用除颤器治疗心脏骤停患者时，时间至关重要，因为他们在心脏骤停后存活下来的机会会随着时间的推移而急剧下降。这里涉及到两个重要的时间间隔。第一个时间间隔是从心脏骤停开始到第一次除颤电击的时间，无论是否执行 CPR，该间隔都是重要的，这一时间在前文也多次提及。若不及时进行电击，患者生存率以分钟为单位迅速下降，因此通常有“黄金四分钟”的说法。第二个时间间隔主要涉及 CPR 和电击除颤的无缝衔接，指的是 CPR 终止到除颤电击之间的时间间隔，或称电击前延时（Pre-shock Delay）。本节主要讨论电击前延时。

当进行心肺复苏术时，人为地恢复了一定程度的循环，可以提高生存机会；尤其对于发生心脏骤停时间较长的病人，由于对心脏进行了再灌注，心肺复苏的意义更加关键。然而，心肺复苏对于提高生存机会的效果随着时间的流逝迅速消失，因为当停止心肺复苏时，血液循环会再次停止。如果说前文的第一个时间间隔是以分钟为单位的，那么电击前延时则是以秒为单位的。

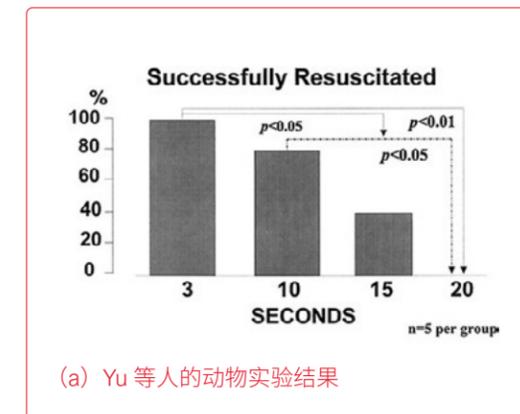
1997 年，Sato 等人通过小鼠的动物实验研究电击前延时对除颤效果和预后的影响。他们发现，若立即除颤，所有小鼠都可以恢复自主循环 (RSCO)；当除颤被延迟 10 或 20 秒时，每组五只动物中的三只恢复了自主循环，延迟 30 秒后，仅五只动物中的一只恢复了自主循环；延迟 40 秒后，没有动物成功复苏 ($p < 0.01$)。而且，随着延迟的增加，小鼠的 24 小时和 48 小时生存率也相应降低。

2002 年，Yu 等人通过猪的动物实验进一步验证了这个结果。他们将从 CPR 停止到电击除颤的延时设置为 3 秒、10 秒、15 秒和 20 秒，结果如图 3 (a) 所示。当延时为 3 秒时，所有实验动物都恢复了自主循环；若延时为 10 秒，这一概率下降到近 80%；当延时超过 10 秒时，电击除颤的成功率迅速下降；在 15 秒间隔时迅速下降到 40% 以下；而超过 20 秒则降为 0。

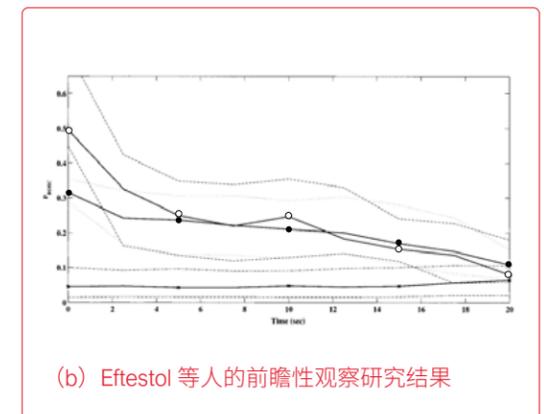
同年，Eftestol 等人对 156 例病人的 868 次电击的前瞻性观察研究证实了相似的结论，如图 3 (b) 所示。他们将病人按预期自主循环恢复概率分为三组。研究显示，在预期恢复概率较高 (40-100%，图中○所示) 和

中等 (25-40%，图中●所示) 的患者中，电击前延时对实际自主循环恢复率有着显著的影响。仔细观察实验结果可以发现，自主循环恢复曲线在延时 0-3 秒时有较快的下降，在 3-10 秒时趋于平坦，但当延时超过 10 秒后，自主循环恢复率又开始较快下降。

通过动物实验和临床研究，人们逐渐认识到缩短电击前延时的重要意义。若能够将电击前延时控制在 10 秒以内，则可以显著的提升电击除颤的成功率，而 20 秒左右的电击延时会大大降低成功率。这一结论也迅速得到了广泛认可，美国心脏协会 (AHA) 在 2005 年发布的心肺复苏临床指南就明确指出，“将胸部按压到电击的时间间隔缩短几秒钟，可以增加电击成功的可能性”。国际复苏联合会 (ILCOR) 在 2015 年发布的心肺复苏和紧急心血管护理专家共识中也明确给出了这样的建议，“我们建议尽量缩短电击前延时，不超过 10 秒”^[15]。



(a) Yu 等人的动物实验结果



(b) Eftestol 等人的前瞻性观察研究结果

▷ 图 3 电击前延时和自主循环恢复的关系研究

快速电击技术

相比于手动除颤器，电击前延时的控制对于自动体外除颤器 AED 显得尤为关键。这是因为 AED 需要通过算法分析患者心电图并进行充电，这通常需要一段时间。直到目前，大多数主流 AED 在心肺复苏停止后，仍然需要约 20 秒的时间进行分析和充电，然后才能放电。考虑到电击前延时的重要影响，这样的效率显然是不够的。

随着电击前延时的重要性逐渐明确，AED 的厂商开始研发快速除颤技术，力求把电击前延时控制到最低，争分夺秒地为患者的生命争取时间。AED 的电击前延时主要由两方面时间组成，一是算法的分析时间，二是电容的充电时间。通过优化策略和改进性能缩短以上两部分时间，才可以有效地压缩电击前延时。

Lyster 等人的专利^[16]提出了一种压缩算法分析时间的方法，由于在心肺复苏操作中会有短暂的停歇，他们提出在除颤器中设置心肺复苏模式，该模式下可以采集心电波形，并分析干扰的强度。在心肺复苏的短暂停歇时，心电波形没有明显干扰，则这段时间的波形会用于除颤分析算法。通过这样的方法，可以缩短心电分析算法耗费的时间。

一些研究希望能够在 CPR 进行过程中，通过信号处理方法滤除按压造成的干扰，从而能够在 CPR 进行时同步分析心电，达到缩短电击前延时的效果。例如，Sullivan 等人的专利披露了一种方案，他们通过梳状滤波器滤除按压干扰。但是这样的方案并没有得到医学专家的认可。例如，国际复苏联合会（ILCOR）在 2015 年发布的心肺复苏和紧急心血管护理专家共识中明确指出，“我们反对在 CPR 实施时通过伪迹滤波算法进行心电分析的做法，除非，这仅仅是在研究项目中使用。”

Synder 等人^[17]提出了一种通过 AED 流程优化缩短电击前延时的方法，具体如下：

- 在 CPR 结束之前的预定时间间隔，开始将治疗电容器充电至中间水平；
- 指示急救人员“停止心肺复苏术”，或“不要触摸患者”，并启动治疗电容器的最终充电；
- 给救援人员短的时间间隔（例如 3 秒或更短），以中止心肺复苏；
- 开始获取心电图和干扰信号进行分析；
- 分析心电图（例如 4.5 秒）；
- 如果 ECG 分析显示可电击心律，则在电容完全充满后（通常是立即充满）提示操作者进行放电操作。

通过传感器监测 CPR 终止，可以有效地将提示停止 CPR 到进行电击的时间控制在 8 秒以内。如果不考虑救援人员的反应时间（对于熟练的操作者这个时间可能很短），理想情况下可以将从 CPR 终止到进行电击的时间控制在 5 秒以内，从而真正实现了 CPR 和 AED 的无缝衔接。2007 年，飞利浦公司的 AED 集成了快速电击技术，极大的缩短了电击前延时，从而有效地提高了心脏骤停患者的抢救成功率。

4. 心肺复苏质量反馈

心肺复苏质量

在 AED 到达之前，正确有效的实施心肺复苏术是挽救患者生命的关键因素。心肺复苏术能为机体提供基础的供血和供氧，为后续除颤等进一步抢救争取时间，但其本身并不能替代自主循环。研究发现，按照临床指南进行的质量较好的心肺复苏，仅可提供正常心脏 10-30% 的血流输出，仅可为大脑提供正常血流的 30-40%。而如果心肺复苏的质量较差，则供血量在此基础上将大打折扣，从而无法满足机体和大脑最基本的需求。在这种情况下，心肺复苏的质量显得至关重要。

美国心脏协会（AHA）于 2013 年发表的专家共识^[18]总结了衡量心肺复苏质量的五个主要指标和相应推荐参数，包括：胸部按压分数（不小于 80%），胸部按压速度（100-120 次每分钟），胸部按压深度（成人不小于 50 毫米），胸部反冲（安全）和通气（每次 <12 次呼吸分钟，最小胸部上升）。完美地达到这些要求即使对于受过训练的急救专业人员也是有一定难度的。然而，在心脏骤停现场往往缺少专业人员，实际的心肺复苏通常由旁观者（Bystander）实施，其质量更加难以保证。在此背景下，欧美国家推广急救派遣员电话指导下的 CPR（也称电话 CPR）的方式，由急救派遣员电话指导旁观者实施 CPR。研究表明，电话 CPR 可以有效地提高旁观者 CPR 的实施质量，从而提高心脏骤停患者的生存率。因此此方案也是美国心脏协会（AHA）和欧洲复苏学会（ERC）的临床指南中的推荐方案。图 4 是 ERC 推荐的急救派遣员电话指导下的 CPR 急救方案。



▷ 图 4 电话 CPR

然而，在中国，由于国民受教育程度、急救管理制度、急救机构工作强度、急救人员能力等多个方面的原因，电话 CPR 无法得到广泛实施。因此，如何保证心肺复苏的质量更加成为一个难题。

心肺复苏质量反馈技术

由于 CPR 质量的关键意义，通过技术手段对 CPR 质量进行监测和指导成为一个非常有意义的研究课题。而 AED 作为院外急救环节中的主要智能设备，天然地成为此类技术的首选载体。

Gruber 等人的文章对 CPR 质量反馈技术、设备及其相关的模拟研究和临床研究做了系统性地回顾。CPR 质量反馈技术通常首先通过传感器对 CPR 质量相关数据进行采集，然后利用数据处理分析的结果采用语音或者视频的方式对于操作者进行指导干预。通过实时的监控和反馈，设备可以提示操作者当前 CPR 操作是否存在问题，以及如何改进。

信号采集方面，CPR 检测设备主要采用两类传感器。一类设备采用压力传感器，另一类设备采用加速度传感器。此外，一些设备还配备了节拍器，通过滴答声或语音指导 CPR 操作者的操作频率。许多研究都显示，节拍器可以有效地规范按压和人工呼吸的频率。

早期的设备一般采用压力传感器测量施加到患者胸部的压力，并结合患者体重等信息计算按压深度。此类设备通常只是一个纯机械装置，仅能检测按压深度，难以检测按压频率。Nicholas 等人的专利披露了一种采用压力传感器进行 CPR 质量检测的技术，压力传感器实际是个液压板，在进行 CPR 时放置于患者胸部和操作者的手之间。当操作者施加压力时，液压板能产生形变，从而能测量按压的压力。由于设备放置在操作者和患者之间，使用时操作者需要花费更大的力气。此外，压力传感器的可动部分有对操作者产生伤害的潜在可能。

Helge 等人^[19]的专利披露了一种采用加速度传感器的方案，他们使用一个加速度传感器测量按压深度，并采用另外一个加速度传感器测量患者移动以进行矫正。从测量参数上，这些方案还可以测试按压频率、胸部反冲等。由于克服了压力传感器方案的主要弊端，目前新的 CPR 检测设备大都采用此类方案。由于主体部分采用电子装置，集成了处理器，这样的设备通常会作为除颤器的配件，搭载在除颤器上使用。

人工呼吸质量的测量是较为困难的问题。飞利浦公司的除颤器设备中较早地支持了这一功能。他们采用测量患者经胸阻抗在呼吸时的变化分析通气质量。

近年来，还涌现出了一些较新的方法，例如，Paul 等人的专利披露了一种采用无创血压传感器监测 CPR 质量的技术。相比于传统方案仅通过指南推荐的一些经验的机械数据判定 CPR 质量，此方案直接利用血压等生理参数，可以更好地反映 CPR 的质量，并避免患者个性化差异造成的不足。

Andrea 等人对采用 Laerdal 公司的 QCPR™ 技术和电话 CPR 方式进行了随机对比研究。他们将 125 名学生随机分成两组分别通过两种方式进行 CPR，结果显示，QCPR 组的学生明显具有更高的压迫得分、完全释放胸部按压的百分比和更好的胸部按压率。

目前很多主流的除颤器或 AED 都支持附加 CPR 质量监测和指导装置。Jo 等人对配备 CPR 反馈装置的飞利浦除颤器帮助下实施的 CPR 和无监测的 CPR 进行随机对比研究，结果显示自动监测能够有效地改善 CPR 的质量与患者的短期生存率。

5. 急救策略优化技术

先除颤还是先复苏

如前文所述，心脏骤停后的除颤时间是生存的主要决定因素，这一点已经在临床上得到了公认。然而，当救援人员首次遇到 VF 患者时，最有可能有益的干预措施仍然存在疑问。普遍认可的是，如果救援人员目睹了心脏骤停的发生并立即有除颤器，则进行除颤电击的优先级高于包括心肺复苏在内任何其他干预措施。然而，若发病未被目击，即无法知道发病时间，则当有除颤器可用时是否应将除颤电击作为初始疗法进行治疗，还是应当在电击前进行一段心肺复苏，这一类情况尚存疑问。

1999 年，Cobb 等人^[20]的研究发现，在除颤之前提供约 90 秒的 CPR，可改善发生时间超过 4 分钟的室颤患者的生存率。2003 年 Wik 等人进行了一项随机试验，结果显示在室颤发生和救护车响应间隔超过 5 分钟的患者中，在除颤电击之前进行 3 分钟的 CPR 可获得更好的结果。另一方面，2005 年 Jacobs 等人报道的另一项研究则显示在除颤电击之前进行 90 秒的 CPR 并未能显著改善生存率。

此外，在室颤机制研究上，Masse 等人^[21]在人工灌注的离体人体心脏研究中发现，全局缺血可以导致室颤激动频率下降，但是两分钟的再灌注可以使室颤激动频率恢复到室颤初发时的状态。通过心脏再灌注，室颤的模式甚至可以发生逆向变化，这似乎可以说明为什么有时先进行心肺复苏再除颤能得到更好的除颤效果。

目前为止，对于非目击的室颤性心脏骤停的最佳初始干预尚存在不确定性。2005 年美国心脏协会（AHA）发布的临床指南指出，没有足够的数据来证明对室颤中的所有心脏骤停患者推荐除颤前进行心肺复苏。相反，该指南允许急救人员选择先提供 CPR，尤其是在院外心脏骤停设置中，其响应间隔可能会大于 4-5 分钟。如果使用此选项，则建议除颤之前的心肺复苏周期为 1.5-3 分钟。国际复苏联合会（ILCOR）在 2015 年发布的专家共识中承认，目前对于未被目击的室颤的首选干预措施尚存在知识差距，并提示存在通过心电图波形分析进行动态策略优化的可能性。

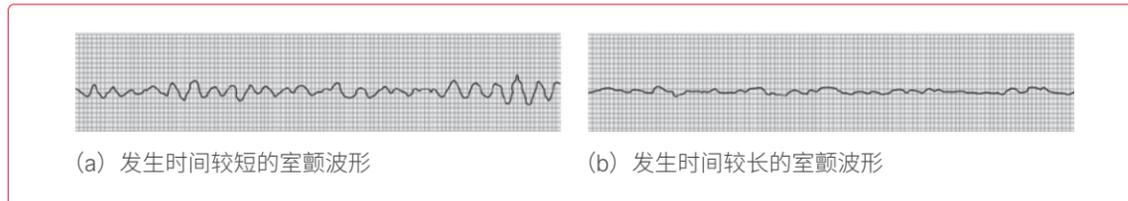
智能心肺复苏技术

对于未被目击的心脏骤停，由于发生时间未知，很难由简单的策略决定应当先除颤还是先进行心肺复苏。于是，这给了 AED 智能算法通过动态策略发挥作用的空间。

理想的决定首选干预措施的策略应当根据客观的测量结果来确定，不应受响应时间这一不确定性因素的影响，并尽可能降低延迟电击可能造成的风险。理想情况下，这种决定因素不仅应预测电击的直接和间接影响，例如终止室颤、恢复有组织的节律、恢复自主循环（ROSC），也需要考虑患者的最终结局。

这项研究的起点是通过心电图波形判断室颤的发生时间并预测其预后。如图 5 所示，发生时间不同的室颤在波形特征上有显著区别。对此学者们进行了一系列卓有成效的研究，提出了各种不同的指标和方案。1983 年，Weaver 等人^[22]的研究发现幅度小于 0.2mV 的室颤可能是治疗延迟导致的，并指出室颤幅度可能是判断室颤

预后的有效指标。1993年，Brown等人提出，心电图中的中等频率成分可以用来推测室颤的发生时间。他们建立了一个数学模型，先后通过猪和人体的数据进行评估，达到了较好的效果，并提出此模型可以用于除颤器的决策优化。1999年，Noc等人^[24]的研究发现，单独采用室颤平均振幅，或采用平均振幅与室颤的主导频率相结合，都可以作为客观的非侵入性测量指标以预测除颤的成功率。他们指出，这样的指标可以用以指导AED进行决策优化，例如，若可预测到电击无法恢复有效的节律时，可以减小在心肺复苏过程中重复中断进行机械干预造成的风险。



▷ 图5 发生时间不同的室颤波形

Dawn等人的专利^[25]披露了一种实用的利用AED进行心肺复苏策略优化的方法。通过分析室颤的频率、幅度等参数，可以有效地预测患者的ROSC和预后，并通过AED语音提示建议施救者应当先进行电击还是先进行CPR。这项技术后来也被集成到了飞利浦公司的除颤器中，称为SMART CPR™技术。Snyder等人于2013年通过87例未目击的心脏骤停患者的试验显示，此项技术相比基于时间的协议能够更有效地预测患者的ROSC，从而能够显著有效地识别那些通过先除颤可以获得更高生存率的患者和先除颤无法存活的患者，进而推荐是否先进行心肺复苏。

6. 其他新兴技术

为改善现有及未来部署的PAD的可及性，急救、公共卫生和科技领域的专家提出了各种可能的策略：

- 互联网+急救可以利用互联网技术的便捷性和时效性最大化缩短急救的等待时间。
- 利用定位和信息技术将OHCA病人，AED设备和施救方互联，将有望提高AED的可及率和利用率。例如在PAD设备，尤其是车载（警车，出租车、网约车、救援车）AED中置入定位装置（如移动网络+GPS/北斗）。城镇地理信息系统（GIS）纳入并及时追踪OHCA的发生位置及AED的位置，供120急救中心在电话、调度呼叫、广播或消息推送中使用，或供公众及专业施救人员通过手机地图等设备查询，或供政策制定者识别OHCA高风险因素并优化相应资源的配置。
- 考虑到AED需要保持24小时待命，AED设备可配置基于WIFI或蜂窝网络的无线物联网（IoT）传输方式，以支持管理者对AED设备的位置、电池、电极、耗材、使用、巡检、日志、告警等状态进行远程查询，以确保其处于随时可用状态，亦可由急救中心遥控开启或向施救者授权开启。
- 由无人机搭载AED设备，可不受陆地交通条件的影响，自主或经由急救中心遥控快速投送到OHCA事发点，且可利用无人机搭载的摄像、无线音视频与数据传输功能进行远程诊断和指导。在特殊情况（如固定基站失效）下，无人机搭载的通信中继功能亦可为现场与外界救援方建立联系。另外无人机亦可为救援车辆提供附近交通情况、领航开路、甚至可以赋予其交通疏导、指挥功能。
- 改善AED设备心率分析和电击准备的速度，技术上解决心率检测及电击的同时进行CPR，消减CPR的间隔以提高急救的成功率，可以增加公众参与急救的信心，解除其顾虑。

PAD 推广关键：“可用、会用、好用、敢用”

推动公众除颤计划，在公共场所广泛部署AED，并培训公众使用AED，能够挽救大量院外心脏骤停患者的生命。

“可用、会用、敢用、好用”是PAD项目推广的关键：合理科学布局投放，并通过物联网技术提供AED地图和急救员调度，设置规范有效的标识，保证有AED“可用”；普及有效的AED/CPR培训，让更多公众掌握要点，真正“会用”；落实有效的运维，保证AED的“好用”；完善AED立法，打消救助者的顾虑，以解决“敢用”问题。完整地落实以上四点，PAD项目才能长期有效地挽救OHCA的生命^[26]。

1. 科学布局与标识，让AED便捷可用

合理科学的布局与调度

AED的布局投放是PAD项目实施的关键。PAD的部署密度及其实际可及性，对其发挥救治作用有重要影响。不合理的布局有可能导致AED无法得到广泛有效使用。

历史上，AED的放置存在过一些争议。欧洲复苏学会（ERC）曾经建议将AED放置在预期每2年发生一次心脏骤停的地方，而美国心脏协会（AHA）的指南则指出，合理的设置应当是将AED放置在发生心脏骤停事件的频率为5年内使用一次的地方。Folke等人利用哥本哈根数字地图上标记的地理信息对两种建议进行了对比研究。他们发现，ERC建议涵盖了19.5%的OHCA，该城市将需要125台AED，而如果应用AHA建议，该覆盖率将增加到67%，需要1,104台AED。他们提出了“基于质量调整后的每个生命年的估计成本”作为成本评估指标，该指标对于ERC准则为33,100美元，对于AHA准则为40,900美元，差别不大，故建议采纳AHA建议以获得更好的覆盖。

随着后续的最新ILCOR专家共识，ERC对其立场进行了审查，认同了AHA关于将AED放置在预计每5年发生一次心脏骤停的地区的建议。

具体布置位置方面也有许多研究。考虑到性价比，其安装往往要依据公共场所的位置和结构、人员的数量和特征进行优化部署，且具有一定的密度以保证需要时2-3分钟内可获取。Kobayashi等人为了优化AED的位置布局，对日本的PAD项目中2万多例成人心脏骤停病例的发生位置做了统计，发现5,761例（27.5%）发生在公共区域，2,089例（10.0%）发生在工作场所，2,095例（10.0%）发生在娱乐/运动区域，310例（1.5%）发生在教育机构，4,151例（19.8%）发生在街道和高速公路上，6,564例（31.3%）发生在其他区域。

Zakaria等人^[27]的研究指出，港口/机场/出入境检查站，酒店/旅馆，交通设施，体育/娱乐设施和健康/医疗机构是放置AED的高收益公共场所。另一方面，一些学者也指出，效率可能并非布置AED的唯一考量。例如，学校布置AED可能成本效益较低，但是孩子的意外死亡会对社区产生深远的影响，保护这一人群的愿望可能超过了常规的财务考虑。在对美国大学体育协会计划的研究结果中也发现，大多数AED的购买是出于对责任的关注，而不是出于成本效益。

其他场所的 AED 布局

在大多数国家和地区，PAD 项目由于考虑成本效益，往往集中于公共区域。而事实上，在家中发生的 OHCA 占据很大比例（60-80%）。如新加坡的统计显示，该国 70% 的 OHCA 发生在家中。因此单靠增加公共场所 PAD，总体的 OHCA 存活率难以大幅度改善。与此同时，**家庭** AED 的使用尚存在争议。2008 年，Bardy 等人新英格兰医学杂志上发表了一篇文章，他们进行了一项随机对照试验，将 7,001 名既往前壁心肌梗死且不适合 ICD 的患者随机分配到两个组，若在家中发生的心脏骤停，则分别接受两种响应之一：控制组呼叫紧急医疗服务和执行心肺复苏术；AED 组使用 AED 后呼叫紧急医疗服务并进行心肺复苏。研究持续了 37.3 个月，共有 450 名患者死亡：对照组 3,506 名患者中的 228 名（6.5%）和 AED 组 3,495 名患者中的 222 名（6.4%）。结果揭示，对于不适合植入 ICD 的前壁心肌梗死幸存者，与依赖传统复苏方法相比，使用家用 AED 并没有显著提高总体生存率。与公共场所部署 AED 相比，家中未目击事件发生比例很高，并因此导致的在紧急情况下 AED 的使用不足，这些原因使得家用 AED 难以发挥理想的急救效果。^[28] 据此，ERC 2015 年发布的心肺复苏指南指出，“住宅区成功复苏的条件不如公共场所有利：被目击者的事件较少，能有旁观者执行心肺复苏的比率较低，因此与公共场所相比，出现可电击节律的情况较少，这限制了在家中发病者使用 AED 的有效性。”

针对此问题，新加坡的案例具有一定的参考价值。2016 年新加坡发布的除颤临床指南指出，鉴于超过 80.0% 的人口居住在人口密度高的成簇公共住房中，14.4% 的人居住在高层公寓中，相比于欧美国家，其居住稠密的特点有可能使社区 PAD 得到较好的利用效率。为此，新加坡内政部和卫生部着手在公共住房、公寓楼大规模安装自动体外除颤器，争取于 2019 年达到每两栋公屋部署一台 AED，这是“拯救生命”计划的一部分。新加坡还建立了 AED 的统一登记系统（R-AEDi），开展了急救响应调度计划（DARE）的宣导和调度员指导下的 CPR-AED 的使用培训，并在 2015 年就开发了与之配套的地理定位软件 myResponder。一旦有 OHCA 发生，能通过该软件迅速给急救中心发送警报，并动员事发点周围 400 米之内的志愿者参与施救并给出 AED 的位置。国内大中城市的居住情况与新加坡十分类似，在我国城市 PAD 项目布局规划可考虑借鉴其**社区**布局的经验。



另外，据统计**工作场所** OHCA 占全部 OHCA 的 1%-6%，但该类发病者出院存活率远高于其他公共场所发病的病人，这可能与其年纪更轻，身体更健康相关。因此工作场所部署 AED 可以相对挽救更多生命，具有更高的效价比。然而，针对截然不同的工作场所，部署 AED 的策略尚须基于其不同发病风险的数据进行研究，如员工和访客的人数、平均年龄、健康情况、逗留时长、OHCA 相关基础病的多发程度、职业相关的 OHCA 致病因素，以及该场所地理位置等，以供职业病医生、急救科医生、安监人员、雇主及政策制定者参考。



在人口稠密的城镇区域部署 AED 的效果已得到彰显并广为报导的同时，在**偏远地域**部署 AED 的方法及效价比尚有待研究。偏远地域如农村、山村、林场、海岛、户外活动（如登山、徒步、渔猎、滑雪）场所等往往医疗条件欠缺，距医院路途遥远、交通不便。一旦有心脏骤停发生，专业医疗急救响应时间过长，易错失有效除颤的时间窗口，造成患者存活率低。同时该类区域地广人稀，OHCA 发病率低，相应的 AED 预计使用率低，维护设备持续妥善较为困难。然而亦有国外文献推荐应将 PAD 部署在偏远区域的居民社区和户外营地，并给可承担现场急救的人员（如消防队，警队，搜救队，保安及其他工作人员）配备 AED 和进行完整的基础生命支持培训。文献指出其推荐是基于过往的证据表明在偏远地区采取这些措施对 OHCA 病人的抢救成功率并不逊于城镇区域，且远好于仅依赖专业医疗急救响应的效果。鉴于我国地域广大，城镇化发展不充分不平衡，老龄化快速，该推荐对我国在偏远地域规划 AED 部署亦有一定借鉴意义。但其具体可行的部署策略和管理维护制度还有待探索研究。^[29]

在疫情前，全球每年约有 30 亿人乘坐商业**航空**。每 14,000 到 50,000 名乘客中就会有 1 名在飞行中出现急性医疗问题。Nable 等人的研究发现，心脏骤停仅占所有飞行中医疗紧急情况 0.3%，但它导致了 86% 的飞行中死亡事件。在国际航空运输协会（IATA）承运的飞机上，每 500 万至 1,000 万名乘客就会发生一次心

脏骤停，每年约导致 1,000 人死亡。^[30] 多项研究表明，在机上心脏骤停发生时，早期除颤，可有效改善复苏患者的预后。欧洲复苏学会 (ERC) 2015 年的心肺复苏临床指南指出，在发生机上心脏骤停时，应立即向机组人员索取 AED 和急救箱。2018 年，德国航空航天医学会 (DLGRM) 发布了第一部针对机上心脏骤停和机上心肺复苏的专家共识，指出“除颤器（例如 AED）被认为是必不可少的，并且必须在飞行期间可用”，并给出强推荐。该专家共识还指出，为了提高机上 AED 的使用，许多航空公司渐渐认识到心脏骤停的存活取决于早期获得心肺复苏术和除颤，并将 AED 放置在长途飞机上。2001 年，美国联邦航空管理局 (FAA) 发布了安全指导原则，要求所有飞往美国的航空公司携带 AED，并对乘务员和飞行员进行使用 AED 的培训，这项要求自 2004 年起强制实施。^[30]

中国在除颤仪具体的技术与安全方面已有 GB 9706.8 及 JJF 1149 等规范，但在 AED 投放或运行层面，除了东南沿海的若干大城市各自出台了急救医疗服务条例并将公共场所 AED 的配置纳入条例以进行规范化之外，我国大部分地区尚处于不充分、不规范的起步阶段。随着国务院与卫健委在《健康中国行动（2019—2030 年）》发展战略中明确提出“完善公共场所急救设施设备配备标准，在人员密集场所配备急救药品、器材和设施，配备自动体外除颤器（AED）”的总体要求，近年来 AED 设置、使用与管理的规范化亦引起了政府部门和其他各界社会公众的关注。在此背景下，中国红十字会和急救医学领域的权威专家近年连续商讨并发布《中国 AED 布局与投放专家共识》，为公共政策与法规的制定提供建言和专业意见。2021 年 1 月，浙江省杭州市正式开始实施《杭州市公共场所自动体外除颤器管理办法》，杭州成为全国首个以地方立法形式规范公共场所 AED 配置与使用的城市。同时各个行业团体也纷纷响应，中国民用机场协会医疗救护专委会已就《民用机场 AED 设置管理规范》完成起草工作，并进入征求意见阶段。该团标将为机场配置、使用、管理 AED 及人员的组织培训提出更针对性的要求，并推动 PCR 质量反馈、故障自动检测与报警、免维护电池、远程维护、数据管理等新技术新功能的应用。最近为响应教育部“急救教育进校园”号召，中国教育装备协会亦牵头医疗与设备领域的专家正就《校园急救设施、设备配备标准》组织起草工作。该团标不但为校园环境配置 AED 等急救设备提供了指导性建议，还对校园急救培训的教学设施和内容提出了规范化要求。相信这些标杆性的法规、标准的出台将为我国提升公众的公共健康意识，健全医疗急救体系保驾护航。

随着物联网技术的发展，基于物联网技术构建的 AED 管理平台可以提供实时 AED 地图、紧急呼救和急救员调度等功能，从而极大地提高 AED 在紧急情况下的可用性。

图 6 所示是一个应急救护小程序的示例，基于卫星定位，小程序会生成 AED 地图，用户可以实时了解附近的 AED 分布情况、详细位置、开放情况、设备状态等相关信息。紧急情况下，现场施救者可使用应急救护智慧小程序，通过图文、语音、电话及定位对附近的急救员发布精准求救信息，并可互相查看急救消息，同时支持一键拨打 120。

通过物联网和 AED 地图的功能，在紧急情况下施救者可以用最快的时间找到可用的 AED，附近受过培训的急救员可以接到相应的呼救信息，并赶来帮助，同时联系 120 急救中心提供后续的专业救护，从而能提高患者的生存率和预后。



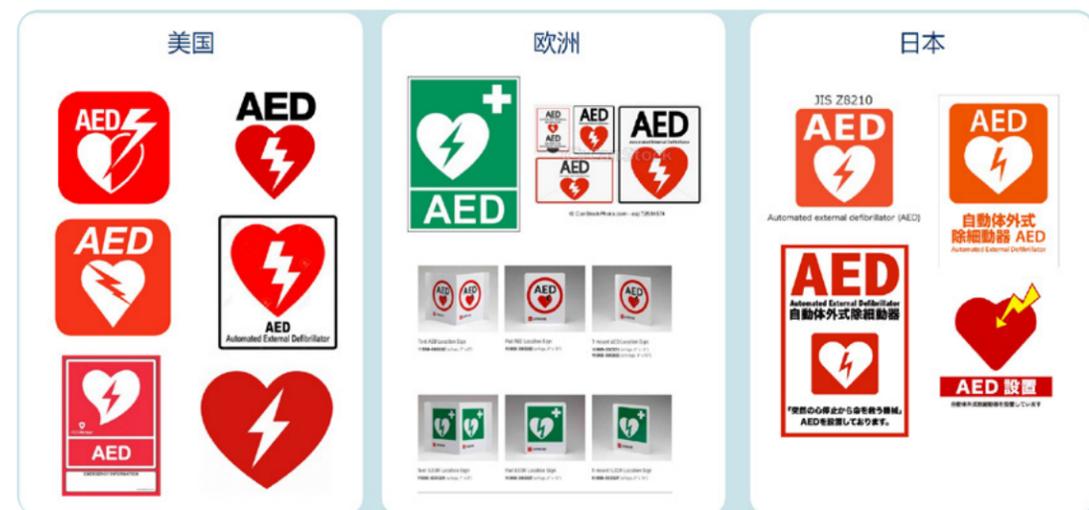
▷ 图 6 智慧物联 AED 小程序

手机端即“智慧应急救护”微信小程序，主要供普通群众、急救员、志愿者、各级管理人员、各级工作人员等使用，具有 AED 查找、AED 导航、详情查看（含 4 张照片）、扫码开箱、蓝牙开箱、紧急呼救信息发起和响应、安装上报、AED 移机、AED 升级、耗材更换、巡检任务等功能。

清晰可辨的安装与标识

部署了 AED 的场所应提供明确统一的 AED 专用标识，如图 7 所示，向公众及急救人员指示 AED 的安装位置。这类标识应醒目且清晰可辨，其尺寸及与人眼部高度差应在合理范围之内，面向人流方向，并不受人群及其他物体遮挡。其位置宜设在重要出入口与 AED 安装位置正上方或附近走道的上方，并带有相应的方向指示箭头。另外，场所的主管或营运单位应通过内外部多种沟通途径，如员工手册、网页和移动端应用程序、楼层图/导览图等，向工作人员和到访公众发布 AED 的位置并鼓励其合规使用。

AED 作为重要的紧急救助设备，其在场所中的识别度、可及性以及可用性显得尤为重要，而现行我国法规中对于其视觉识别形象尚未做出具体规范要求，国际上对 AED 的识别规范可以作为借鉴参考。对 AED 的标识形象在标准颜色、导引种类、样式，以及描述上需要明确并规范使用。



▷ 图 7 AED 的视觉形象标准 (国外案例)

AED 图标样式

AED 的图标需要有高度识别性，应做到含义识别、视觉识别，由图标与文本一起搭配使用。在含义识别方面，它不仅需要满足识别度要求，而且需要满足统一的形式；视觉识别要保证图标在复杂环境下的可读性，颜色要求做到鲜艳，对比鲜明（可参考国外案例）。国内目前尚未对 AED 的标识做出明确规范要求，而 AED 作为生命救护的重要设施，可与消防逃生设施关联，因此可以借鉴消防规范中对标识的要求。

标识最小尺寸参考消防标识，建议不小于 30x30cm。AED 图标的颜色应符合 GB 2893 中的有关规定（使用安全红色），考虑到特殊人群，如色盲、色弱等，需要保证标识的可读性，可以与白色字体形成对比色。而图标设计需做到简单易读，能直观表达 AED 救护内容。



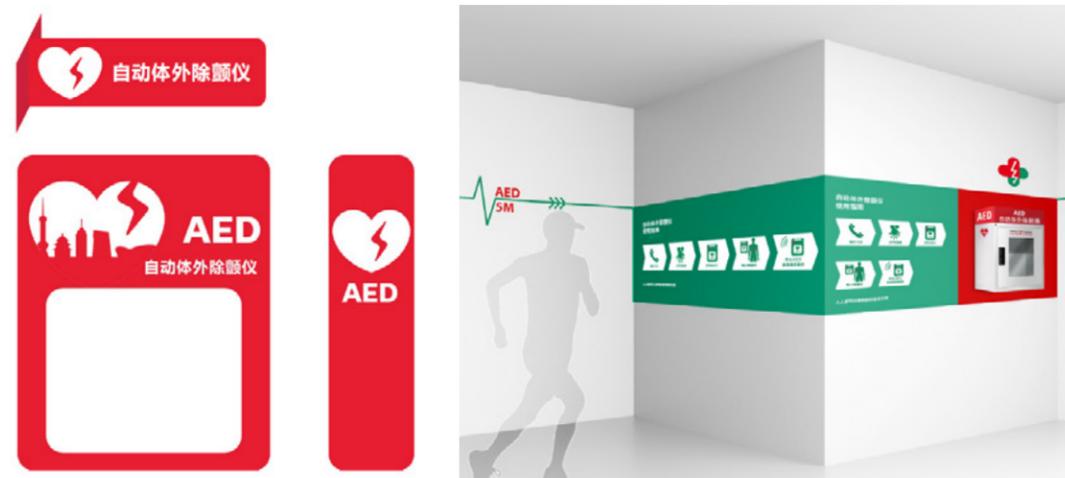
(示例)

(示例)

空间导引

AED 在目前的推广应用中设置的导引系统尚不健全，可以用消防标识系统作为参考，设置空间导引，在每个楼层的主要出入口设置相应的地图或标识，体现 AED 设备所在的具体位置。并借鉴消防逃生标识的布置方式，利用指引牌、地标、墙贴等，形成全方位的导引系统。

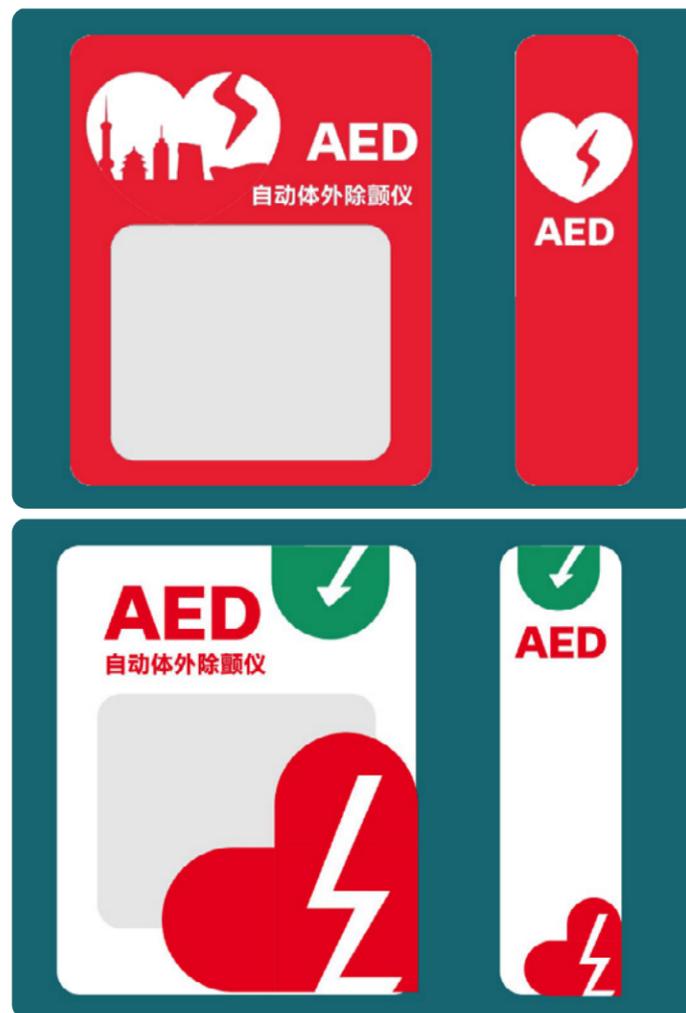
AED 的导引图设置在空间内醒目位置，并保证人员在空间内任意位置均视线可见；AED 的导引图应遵循规律性，要在空间任意位置都可以了解 AED 设备所处楼层位置。AED 的导引宜放置在疏散走道及其转角处，一般放置在地面，墙面或者天花板上，具体结合场地条件。选择合适的导引形式，并保证长期视线可达，不被遮挡，建议导引的设置间距小于等于 20 米。



(示例)

AED 机柜的设置

AED 设备尚未普及，其可及性以及取用的便利性也未有具体的规范要求，大多数情况下 AED 机柜设置在空间内的公共区域，保证可达性。同时考虑到不同人群的便利性，应做到满足所有年龄段用户的取用，机柜的安装位置还需要考虑到残障人士的使用场景。建议 AED 机柜高度在离地 70-200cm 范围内，机柜把手应在离地 120-135cm 之间保证青少年以及残障人士的拿取。机柜在突出墙面 10cm 范围内，保证通道的正常通过，满足不同人群的实际情况，让 AED 更好的服务于用户。



AED 设备的设置间距也需要根据人员场所因地制宜，心脏骤停急救的黄金时间是 240 秒，需要根据场地的实际情况，满足从患者倒下开始 3 分钟内受过培训的急救人员可以携带 AED 设备到达患者身边，并以此作为重要的参考依据设置机柜的位置分布，以保证 AED 合理的覆盖范围。

2. 普及技术培训，让公众掌握会用

PAD 项目的有效部署仅解决了有 AED “可用”的问题，PAD 设备实际可及性亦受多方面因素影响：如公众参与急救的意愿和培训经历，公众对 AED 的认知和使用意愿，第一时间判断 SCA 的能力，位置指引和获取的方便程度，场所工作人员配合程度等。如果没有有效的配套培训，没有人“会用”AED，则很难保证 PAD 达到理想的效果。

如前所述，对于心脏骤停的医院外抢救，国际上普遍认可“生存链”的说法。AED 是高度自动化的、普通民众也能快速掌握使用方法的除颤设备，但其需要配合生存链其他环节进行才能发挥救命的作用。Mao 等人的文章指出，在 OHCA 现场，救援人员的迅速行动至关重要，如果在 EMS (Emergency Medical Service, 紧急医疗服务) 到达之前由旁观者使用 AED 进行第一次电击，则患者有更高的生存机会。

Jonathon 等人的研究显示，仅仅部署 AED 项目，而没有配套的 AED/CPR 培训，无法得到良好的效果。2008 年，Kuramoto 等人通过 1,000 多人的问卷调查研究发现，AED/CPR 培训与公众中尝试 CPR 和 AED 的意愿有高度的相关性，这提示培训可能会唤起公众对使用 AED 和参与心肺复苏急救的积极态度。

Christopher 等人对阻碍 AED 推广的因素进行了调研，他们发现很多阻碍因素诸如：不知道 AED 是什么、缺少何时应该使用 / 如何使用 AED 的知识、认为 AED 应当仅由专业人员使用、不认识 AED 的标志、不知道附近的 AED 的位置、担心错误使用 AED、缺少正确使用 AED 的信息等。通过推广 AED/CPR 培训可以有效地降低这些因素的影响。

美国北卡罗来纳州和日本的研究显示，在全州 / 全国范围内进行复苏培训的教育干预措施之后，接受旁观者心肺复苏和除颤的患者比例显著增加，而患者生存的几率也相应增加。Iwami 等人^[31]的研究显示，有必要简化 AED/CPR 的公众培训，并将其重点放在提高普及率上，简化的培训计划可吸引更多的受众，并且更有可能取得成功。Mao 等人介绍了 AED/CPR 简化培训课程的良好范例，如英国心脏基金会“救助者之国 - 呼叫，推入，救援”计划，大阪的 PUSH 项目和新加坡的 DARE 计划。

新加坡 2016 年发布的除颤临床指南^[32]提出配套 PAD 项目建立第一响应人计划，建议对包括消防员、空乘、警察、医务人员、安保人员、救护车人员等 9 类人员进行 AED 使用培训，以提升 PAD 项目的效果。

由此可见，AED 的使用应与 CPR 并列作为生存链的核心环节，及时纳入院外心脏骤停的抢救培训计划，让大量的非专业公众接受 AED/CPR 培训。该培训应结合所在场所的具体情况，宜包括以下方面：

- 心脏骤停院外抢救的必要性和紧迫性；
- 心脏骤停的院外急救响应流程，场所附近急救中心的联系方式，及呼救的各种其他途径；
- 症状识别与描述的正确方式；
- 场所采用的 AED 标识，AED 安装位置的查询方式，熟悉其岗位附近或沿线的 AED 位置；
- 施救前的准备工作，AED 与 CPR 的正确操作方法，以及与专业医疗救护人员的衔接配合方式。其中 AED 使用方法部分应包含：AED 所带有的各种提示的含义，AED 各部件的用途及使用方法，AED 与 CPR 配合使用的方式。

3. 强化运维管理，让 AED 保质好用

由于 OHCA 的特点，AED 通常使用频率较低，而一旦使用往往在争分夺秒的紧急时刻，这就使得 AED 的运维显得极其重要。中国人有所谓“养兵千日、用兵一时”的说法，用在 AED 上非常贴切。若没有对 AED 进行有效地运维，当 OHCA 发生时，抢救者发现 AED 出现故障，或电池没电，对患者来说后果将是灾难性的。

2012 年，Owen 等人^[33]对爱尔兰考克市安装于业余体育俱乐部的 AED 的运维情况进行了调研，大多数俱乐部对 AED 进行了规律性的维护，但有 12.9% 的俱乐部承认，他们的 AED 从未做任何维护。Ashimi 等人在苏格兰的研究发现，由于没有卫生部门的资助，苏格兰一些人流密集的公共场所虽然通过私人公司、慈善机构和地方政府的资助购置了 AED，但大多数站点仅提供了初始培训，而在长期维护和更换机器等方面存在一些缺陷。由于私人公司提供的经费有限，大部分用于 AED 的购买。在他们调研的机构中，仅 18% 的机构有正式的 AED 运维计划，仅 24% 的机构制定了 AED 更换计划，而更换年限从一年到十年不等。这也提示了政府支持对于 PAD 项目长期维护的重要性。

上文介绍了 AED 物联网平台。除面向普通民众和救助者提供的 AED 地图和紧急呼救功能外，物联网平台也在 AED 运维管理方面扮演者至关重要的角色。典型的 AED 物联网平台可以提供以下运维管理功能：

- AED 管理：记录 AED 的箱体信息，机箱编号、ID、每台 AED 的安装、移机、使用、巡检、告警等详情，提供后台查询和追溯，并可以汇总进行统计分析。
- 耗材预警：记录 AED 耗材信息，如电池有效期和电量、AED 电极片和急救包内耗材的有效期，并可设置有效期预警 / 电量预警，系统自动推送耗材更换的任务给运维人员。
- AED 监控：实时监控记录 AED 状态、箱门状态、AED 位置状态、机箱位置状态、机箱电量、温度、湿度等，发生异常情况时，系统可发送警告给运维人员及时检修。
- 巡检管理：进行定期和临时巡检任务的派遣，并在现场巡检时留存证据以供追溯，保证巡检保质保量的完成。

通过有效的运维管理，保证在需要使用时能够功能完好、电量充足，才能有效地挽救患者的生命。

4. 完善政策法规，让群众大胆敢用

如前文所述，推广“公众启动除颤”可以有效减少心源性猝死的发生。但是，如果许多非专业目击者担心由于疏忽而造成的民事或刑事责任，他们可能会不愿意使用 AED。尽管目前尚无很多因抢救失败起诉救助者的案例，但对于法律责任的担忧对于 PAD 项目的有效推广会产生很大影响。为解决“敢用”的问题，通过立法明确救助者的法律责任至关重要。这类法律通常称为“好撒玛利亚人法（Good Samaritan Law）”，或称“见义勇为法”“好人法”。

另一方面，由于 AED 的安装运维需要成本，而其带来的收益是全社会的，通过立法也可以对公共场所部署 AED 进行鼓励，或明确相关主体的安装运维责任，从而促进 PAD 计划的推广^[2]。

国外立法情况

美国在 AED 立法方面较为领先，在 1995 年到 2000 年之间，所有 50 个州都通过了有关非专业施救者 AED 计划的法律和法规，即所谓“好撒玛利亚人法”。2000 年，联邦通过了《心脏骤停生存法》（CASA，公共法 106-505）。CASA 呼吁制定在联邦建筑中建立 AED 计划的准则，并在无其他可适用的豁免法规的前提下，对紧急 AED 用户和 AED 提供方提供有限的民事责任豁免权。各州和联邦法律法规的差异曾经使推广非专业施救者 AED 计划的工作复杂化，在某些情况下，阻碍了此类计划的发展。自 2000 年以来，大多数州都重新审查了非专业施救者 AED 法规，许多州已通过立法以消除障碍并鼓励发展非专业施救者 AED 计划。

在推广 PAD 项目方面，美国许多州也都制定了相应的法规。例如，伊利诺伊州制定了一项法规（HB 4232），该法规要求健身设施至少配备 1 个 AED，一名受过训练的 AED 用户以及一份管理医疗紧急情况的书面计划。纽约州颁布了一项法律（2004：S 6803/A.5084），要求所有健身俱乐部、健身中心、健康水疗中心、健身室、健身房、体重控制室以及武术馆在营业时间内至少要有 1 个 AED 和至少 1 名经过 CPR 和 AED 使用培训的人员（员工或志愿者）。

在欧洲，目前尚无整个欧盟层面的 AED 立法，但在许多国家诸如意大利、法国、希腊、西班牙、葡萄牙等均有 AED 相关的立法。对于谁可以使用 AED 的问题，不同国家的法律规定不一，荷兰、德国、法国等国的法律规定所有人均可以合法使用 AED；西班牙、波兰和匈牙利等国，规定受过训练的人可以使用；少数国家如土耳其、葡萄牙要求急救人员使用；而保加利亚则规定仅医生使用^[34]。

在日本，AED 普及率和使用率居世界领先地位，这得益于该国针对 AED 使用各方面进行了规范化。日本厚生劳动省于 2004 年颁布的《非医务从业者使用 AED 的说明》对公众如何使用 AED 施救给予了说明。鉴于 AED 作为医疗器械的特殊性，为保护施救者和被施救者双方的权益，厚生省又于 2009 年颁布了《对 AED 恰当管理的相关规定》，明确了各级政府及其辖区内单位对所安装的 AED 负有严格管理和规范维护的责任，以确保其所有或所辖 AED 设备随时处于妥善状态。以这些法规的施行为契机，AED 在日本各类公共场所得到快速普及。

在韩国，2011 年颁布的《紧急医疗服务法案》也对紧急情况下救助的法律责任进行了明确，被称为韩国的“好撒玛利亚人法”。

我国立法进展

我国于 2021 年 1 月 1 日开始实施的《中华人民共和国民法典》第 184 条延续了 2017 年实施的《中华人民共和国民法总则》的同一法条。该法条明确规定了“自愿实施紧急救助行为造成受助人损害的，救助人不区分情形一律豁免民事责任”。这一在国家层面为善意救助者免责，保护和鼓励救死扶伤高尚行为的法条，又被称作中国版“好人法”，为倡导和保护公众使用 AED 抢救生命的行为提供了法律基础。

在 AED 层面，我国的相关立法开始得较晚。自 2010 年以来，在一些省市开始陆续颁布了一些与 AED 和紧急救助相关的法规。

海南省在 2010 年 8 月 1 日颁布的《海南省红十字会条例》（后文简称“《条例》”）中明确规定，“县级以上红十字会可以在机场、港口、车站等公共场所配备符合国际标准的自动体外除颤器等急救设备”，这是我国首个支持公共场所使用 AED 的法规；其次，《条例》还要求一些公共场合，如机场、学校等人群聚集的地方，要强制配备 AED；再次，《条例》明确社会高度相关者，如警察等，强制性进行救人培训。

深圳市在 2013 年颁布了《深圳经济特区救助人权益保护规定》，其第三条要求，“被救助主张其人身损害是由救助造成的，应当提供证据予以证明。没有证据或者证据不足以证明其主张的，依法由被救助承担不利后果”。

杭州市 2015 年颁布的《杭州市院前医疗急救管理条例》第三十条规定，“鼓励经过培训取得合格证书、具备急救专业技能的公民对急、危、重伤病员按照操作规范实施紧急现场救护，其紧急现场救护行为受法律保护，不承担法律责任”。

上海市人大常委会 2016 年发布的《上海市医疗急救服务条例》规定，“紧急现场救护行为受法律保护，对患者造成损害的，依法不承担法律责任”。但实施紧急现场救护行为的主体被限定为“经过培训的人员”，同时，该条例还提出，“鼓励有条件的场所和单位配备自动体外除颤仪”。

南京市 2017 年颁布的《南京市院前急救条例》要求，“机场、长途汽车客运站、火车站、养老机构、市 3A 级以上社区居家养老服务中心、设有医疗机构的旅游景区（点）及轨道交通换乘车站等场所，还应当配备自动体外除颤仪（AED）等急救器械，由专、兼职人员进行使用和维护”。

除此之外，在成都、沈阳、广州、长春、宁波等地，也有相关的法规颁布。

公众除颤计划案例

1. 国际 PAD 发展案例

美国

美国是世界上推广“公众启动除颤”计划最早的国家之一，每年销售的用于公众使用的 AED 在 20 万台左右。通过推广 PAD 计划，使得 OHCA 的生存率提高了约一倍。第一个报道的针对 PAD 项目的研究是于 2000 年在内华达州的赌场进行的，他们在该州的 32 家赌场配置了 AED，并为赌场安全人员提供了心肺复苏术（CPR）和 AED 的使用培训。在这种情况下，在 3 分钟内进行除颤的患者存活率达到 74%。

Caffrey 等人^[35]在 2002 年报道了对芝加哥机场 PAD 项目的研究情况。该项目中，AED 放置的规则为步行 60-90 秒可达。在最大的芝加哥奥黑尔机场，他们在公共区域布置了 42 台 AED，见图 8，在非公共区域布置了 17 台 AED。他们对机场的 500 多名警察和安保人员进行了培训，并对其他机场工作人员进行了自愿培训。在 2 年中，发生了 21 例心脏骤停，其中 18 例表现为心室颤动：11 例患者在 5 分钟内首次电击，其中 10 例在 1 年后还活着并且没有神经功能障碍。因此，该项目的生存率接近 50%。

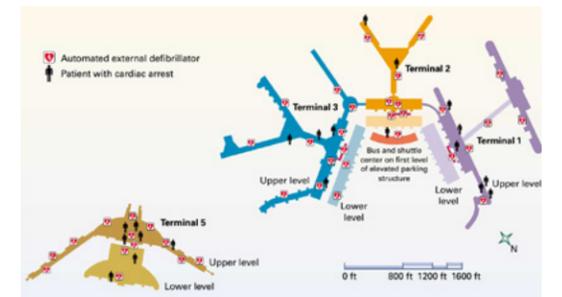


图 8 芝加哥奥黑尔机场公共区域的 AED 布置图^[32]

Eckstein^[36]介绍了 2002-2012 年间洛杉矶全市范围内 PAD 项目的实施情况。洛杉矶共有约 380 万人口，共部署了 1,300 台 AED，分布于市属建筑物和其他公共场所，如机场、高尔夫球场和公共泳池。项目还对 AED 的安装布置、运维、人员培训进行了统一规划。该项目也取得了良好的效果，在 AED 抢救的心脏骤停患者中，69% 得以存活。

近年来，也有在院内部署 PAD 项目的报道。2005 年，Friedman 等人报道了在波士顿区的教学机构医院中实施的公众除颤（PAD）计划。该医院占地约三平方公里，由多个相互连接的建筑物组成，包括住院单元、门诊单元、车库、人行道和就餐场所等部分。医院中的许多非患者区域都远离住院和门诊区域，但是仍然有发生 SCD 的风险。该计划的设计保证门诊和住院单元外任何位置在不超过三分的步行距离内有 AED 布置，而对于人员密集区域则不超过两分钟。为此，共配置了 11 台 AED，9 台安装在离门诊和住院单元较远的区域，2 台作为备用。此外，医院还对所有员工进行了 AED 操作培训。该项研究显示，非住院区域的 PAD 项目能够有效挽救生命，故建议其他医院也应考虑类似的计划。

欧洲

在英格兰和威尔士，政府推广名为“国家除颤器项目（NDP）”的 PAD 计划^[27]。卫生署将自动体外除颤器放置在繁忙的公共场所，这些场所是从常规救护车数据中识别出的容易发生心脏骤停的场所，例如机场和主要火车站。AED 存放于未上锁的柜子里，保证在 200m 步行距离之内均有配置。在这些地点工作的员工自愿接受了 4 小时的培训，以提供基础生命支持（BLS）和使用 AED。

Nielsen 等人的文章^[37]介绍了丹麦全国的 PAD 项目的实施情况。丹麦约有 4.3 万平方公里的面积，共 550 万人口。该项目共部署了 807 台 AED，广泛分布于丹麦的城市、郊区和农村，其中半数以上布置于运动场所，其余大部分分布于公共场所如剧场、图书馆、学校、机场、火车站、港口等。在研究的 28 个月期间，AED 布置区域共发生了 48 起心脏骤停事件，其中 69% 的患者得到了成功抢救。

意大利的 PAD 项目起步较晚，2016 年意大利北部小城布斯卡的部署了 PAD 项目。布斯卡约有 1 万人口，共安装了 11 台 AED，保证在任何位置步行四分钟的距离均有 AED 布置，见图 9。AED 可以 24/7 全天候使用，并放置在关键位置（最繁忙的街道和广场，学校，体育设施）。项目还组织基础生命支持培训，在不到两年的时间内培训了 552 名市民。



▷ 图 9 意大利布斯卡 PAD 项目布置图

亚洲

日本自 2005 年开始在全国范围内推广 PAD 项目，截至 2007 年，共安装 AED 约 88,000 台，相当于居住区域平均每平方公里 0.97 台，平均 10 万人 AED 拥有量为 69 台。PAD 在全国范围内的推广将患者的初次除颤电击时间从平均 3.7 分钟缩短到 2.2 分钟，并显著提高了生存率。

韩国的 PAD 项目推广始于 2007 年前后，但一直缺乏其对 OHCA 生存率改善效果的系统性评估。2016 年，Yoon 等人对釜山都市圈的 PAD 项目进行了调研，发现共部署了 206 台 AED，部署密度为每平方公里 0.268 台，平均 10 万人 AED 拥有量仅为 6.07 台。他们还发现，釜山公共 AED 的使用率非常低，总计仅使用了 15 次，相当于每台平均每 26.3 年使用一次。部署方面，釜山的公共 AED 未能按照临床指南部署，一些设备被部署在低优先级位置。^[2]

2. AED 和 PAD 在中国

PAD 在中国的发展相对滞后，AED 投放的配置要求和操作流程尚缺乏统一标准，应用不够规范，给 OHCA 患者抢救工作带来了极大的困难。虽然早在 2002 年中华医学会急诊医学分会就将 AED 和 PAD 计划写入《中国心肺复苏指南（初稿）》，但是现实中尚有十分巨大的差距。

2006 年始北京首都机场配备了 76 台 AED，上海 2015 年起在公共场所陆续配置了 315 台 AED。但据公开资料，目前中国大陆已配备的公共场所 AED 数目不超过 1,000 台（2017 年数据），与国外还有很大的差距。因此，国家财政部门、各地区政府应当增加经济投入，向各个地区尤其是 OHCA 发生概率较高的人口密集区域增加 AED 配置数量。此外，可积极推动 AED 在健身场所、商场、公司企业大楼等的配置，使更多的公众接触和认识 AED。



中国红十字会、中国红十字基金会（以下简称“中国红基会”）是中国应急救护知识和技能普及的主要推动者。在《中国红十字事业发展“十四五”规划（2021-2025 年）》《中国红十字会总会关于进一步推进红十字应急救护工作的指导意见》等政策文件的指导下，中国红十字会把 2021 年确定为应急救护推进年，在全国范围内实施“红十字救在身边”行动，不断提升应急救护培训覆盖面，提升社会公众的健康意识和自救互救能力。其中，推广“救在身边·红十字救护一体机”是“红十字救在身边”的七大行动之一。

红十字应急救护一体机项目建设

中国红十字会总会结合各地方红十字会同类项目经验的总结，实施了“红十字应急救护一体机项目”。其中，针对当前社会在 AED 应用、应急救护技能普及等方面存在的社会问题，中国红基会开发了红十字应急救护一体机（以下简称“应急救护一体机”）。应急救护一体机是基于物联网技术开发的、交互大屏的应急救护终端管理设备，包含 AED 存放、急救物料储备、可视化交互终端、红十字业务办理集成、远程监控管理、可视化物联终端、自助救护技能学习、应急救护培训管理等诸多功能，是红十字救护业务的大集成。

该项目历时半年，完成一体机初期版本研发和外观涂装设计，并由中国红十字会总会发布了《应急救护一体机视觉形象系统规范手册（试行）》。中国红基会为一体机申请了 22 项知识产权，截至目前已取得一体机 4 项外观设计著作权和 9 项软件著作权，1 项外观专利、5 项实用新型专利和 3 项发明专利在受理中。

应急救护一体机通过环境营造和物联技术应用为民众提供便捷设备查找、导航，呼救、急救知识学习等服务，为工作人员和管理人员提供 AED 巡检、耗材预警、使用监控、日志管理等远程便捷管理功能，一套设备可解决当前 AED 投放的诸多难题，提升公众应急救护知晓度。项目中的应急救护一体机将全部链入管理网络，可以实时查看 AED 位置、状态，有需求的公众能够通过“红十字急救宝”小程序查找 AED，进行呼救。同时，AED 的数据将同步给当地 120、电子地图运营商，供公众急救使用。

2021 年，中国红基会联合腾讯公益慈善基金会、滴滴公益基金会、金宝街商会、爱心企业启动“安心校园”“安心街区”等项目，在南京大学、北京市各级各类学校和公共场所、郑州市地铁等地启动应急救护一体机投放工作，规划投放应急救护一体机 2,500 余套，预估在全国配置“应急救护一体机”和自动体外除颤器 (AED) 1,766 台。同时为安装了应急救护一体机的场所的企业员工、教师、地铁工作人员提供配套红十字应急救护培训。



2021 年 7 月 15 日，应急救护一体机 2.0 版本正式亮相宁夏回族自治区石嘴山红十字培训基地。同时，全国人大常委会副委员长、中国红十字会会长陈竺在宁夏考察调研应急救护培训基地，观看新一代“应急救护一体机”使用演示。

未来，中国红基会将进一步发展应急救护一体机项目建设，丰富设备技术功能，服务更为广泛的群体，预计每年在全国投放应急救护一体机不少于 1,000 套。



“安心街区”共建示范项目

“安心街区”项目是“安心工程”公共电除颤项目的子项目，旨在通过动员街区内的爱心企业和人士捐资购置 AED 等应急救护设备，本地红十字会开展应急救护知识普及和技能培训，搭建数字化应急救护响应网络，为街区群众提供应急救护保障，令居者安心。

2021 年 9 月，中国红基会联合金宝街商会，建立“安心街区”共建公益项目，金宝街商会动员多家商会会员企业及街区内单位共同参与，捐资购置应急救护一体机，并负责一体机日常管理。目前已实现了 AED 设备在金宝街主要单体楼宇的覆盖，并将在工作时间面向社会公众开放，为街区内企业员工创造安全放心的工作环境，对街区内旅游、商务、消费、学校等全部人群提供生命安全保障。

“安心街区”项目突破了以往公益项目资金单向流动，爱心企业参与度低的模式。爱心企业不止支持购置一体机设备，还通过签署托管协议，承担一体机日常管理职责；中国红基会还负责协调地方红会培训资源，为爱心企业员工和街区居民、工作人员提供应急救护培训，真正实现 AED 设备“可用、好用、会用”。

红气球挑战赛

“红气球挑战赛”是中国红十字基金会策划筹备的国内首个以应急救护为主题的团队式定向赛事。赛事围绕“应急救护”知识理念，结合风靡全球的“城市定向赛”这一活动形式，打造“线上+线下”结合的知识性、趣味性、竞技互动性于一体的年度系列活动。

“红气球挑战赛”的首场比赛于 2021 年 5 月 8 日在北京通州正式开赛。当次赛事共吸引来自北京、天津、河北、江苏等地 865 名队员组成 173 支队伍参赛。参赛运动员涵盖了社会各行各业，既有户外运动爱好者，也有高校学生、职场白领等，年龄跨度从 16 岁到 70 岁。除此之外，此次活动还获得了 23 家企业以及新华社、央视、中新社等数十家媒体倾力支持。

2022 年，“红气球挑战赛”将以标准化赛事手册为指导，结合地方实际，在全国范围内逐步开展，进一步推广应急救护知识和技能。中国红十字基金会致力于将“红气球挑战赛”打造成全国范围内可复制、可推广、可传播的参与式人道公益标杆品牌，共同倡导“人人学急救，急救为人人”的公益理念。在国内应急救护知识亟待普及的大环境下，让更多的人认识、掌握应急救护技能，提升社会公众的应急自救互救能力，守护生命，“救”在身边。

3. 企业案例：飞利浦中国“蒲公英计划”

PAD 的推广，除了需要政府力量的主要支持以外，还需要社会各界例如医学协会、企业等的支持与协同推进。近年来，国内外也有许多企业发挥各自资源与技术优势，运用企业力量支持公众除颤计划的案例。

其中，飞利浦凭借业界前沿的除颤技术，致力于提高世界各地的公众在发生突发心脏骤停时的存活率，推动公共急救事业的发展。2021 年，飞利浦中国启动了“蒲公英计划”，以普及心肺复苏、心脏除颤知识与急救理念为目标，开展了 AED 捐赠、急救培训、宣传科普、科学研究以及规范指南的制定等活动。



公共急救 体系建设

- 2020 年 7 月 16 日，与中国医学救援协会建立战略合作，助力公共急救体系建设，共同推动中国心肺复苏与急救医学事业的发展。
- 2018-2020 年，连续三年为“中国国际进口博览会”提供 AED 急救柜保障公众安全。
- 2021 年 6 月 11 日，向中国红十字会总会“红十字送健康行动”捐赠了 AED、AED 训练机和训练电极片，以助力建设公共安全环境，推进急救知识的普及和培训。
- 2021 年 9 月 9 日，向中国红十字基金会捐赠价值 90.2903 万元的物资，用于支持急救及疫情防控工作。

飞利浦中国历年行动

专业急救 人才队伍建设

- 2019 年，支持上海市红十字会与上海市教育委员会开展高校红十字急救技能比赛。
- 2020 年，支持浙江省红十字会举办急救培训师教学技能大赛。

公众急救 知识普及

- 2018 年 6 月，携手搜狐网和搜狐 APP 开展了为期三个月的“心动·行动”线上 AED 科普推广与宣传活动。
- 2019 年 4 月 20 日，携手全球儿童安全组织（中国）发起第四届“我为安全行”活动，飞利浦中国志愿者现场一对一培训心肺复苏和 AED 的正确使用方法。
- 2021 年 5 月 8 日，15 位员工志愿者参与了由中国红十字基金会、北京市红十字会联合主办的“红气球”定向越野赛（北京站）暨京津冀急救达人挑战赛，身体力行支持急救理念的普及。
- 向大中华区 20 多个办公地点以及工厂发放心肺复苏和除颤培训等一系列培训指南，帮助员工掌握基本急救知识。
- 为诸多外部合作伙伴提供了急救培训指南和 CPR-D 的培训。

飞利浦中国行动成果

- 2021-2022 年已在中国北京、河北、宁夏、沈阳、武汉、拉萨六个地区开展心脏除颤（CPR-D）线下培训
- 累计培训约 6,428 人，间接受益人数预估超过 13,000 人
- 覆盖校园、旅游、交通、酒店等行业的从业人员以及公众急救志愿者等



4. CANNE：推动 PAD 培训资源可及性的创新方案

于默奥设计学院的学生李帅和挪威医疗公司 Laerdal Medical AS 合作，通过设计研究与用户访谈发现，在中国，阻碍公众除颤计划推行的因素主要有：一、在中国接触和学习心肺复苏的机会较少，加上快节奏的生活方式导致对于参加心肺复苏训练的意识 and 兴趣较低；二、高水平全职训练员数量远远不能满足我国大众心肺复苏学习的需求，且我国的高水平医生数量也较为短缺，这也是教授高质量救生技能的重大障碍之一；三、模拟人等心肺复苏训练设备价格昂贵、数量有限，学习成本比较高是大众不愿意参与课程培训的主要原因之一。而且目前市场现有的训练模式也比较过时，这不能满足在同一时期对数量较多的人群进行培训。

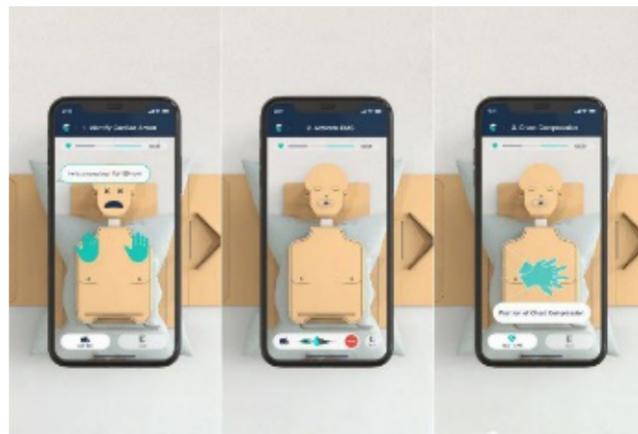
针对以上设计调研所归纳的痛点，李帅提出了一个目前心肺复苏培训市场没有的解决方案——CANNE。CANNE 为非专业人士提供了一种自主学习 CPR 的体验，它由两部分组成：

- 瓦楞纸板基础生命支持 (BLS) 学习套件，可供大众自主练习心肺复苏，如心脏骤停识别、胸外按压和人工呼吸。
- 智能手机上的 BLS 自主应用程序，它可以通过模拟心脏骤停场景和紧急医疗服务 (EMS) 来引导大众学习如何在院外心脏骤停现场判断情况并且拨打 120。此外，BLS 手机程序提供按压和通气的实时反馈，学员可以通过手机的实时反馈来调整自己按压的频率和深度，从而学习如何提供高质量的 CPR。在完成 CPR 学习任务后，大众甚至可以在该平台参加最后的测试并且获得相关机构颁布的 BLS 证书。

CANNE 提供了一个可持续的方式来激励非专业人士以很低的成本学习心肺复苏术，它节省了时间和医疗资源并且对学习的环境要求很低。如果大众可以从使用 CANNE 作为学习 CPR 的开端，可以预见在中国和其他人口基数较高的发展中国家，院外心脏骤停患者的存活率会大大提高。



瓦楞纸板基础生命支持 (BLS) 学习套件



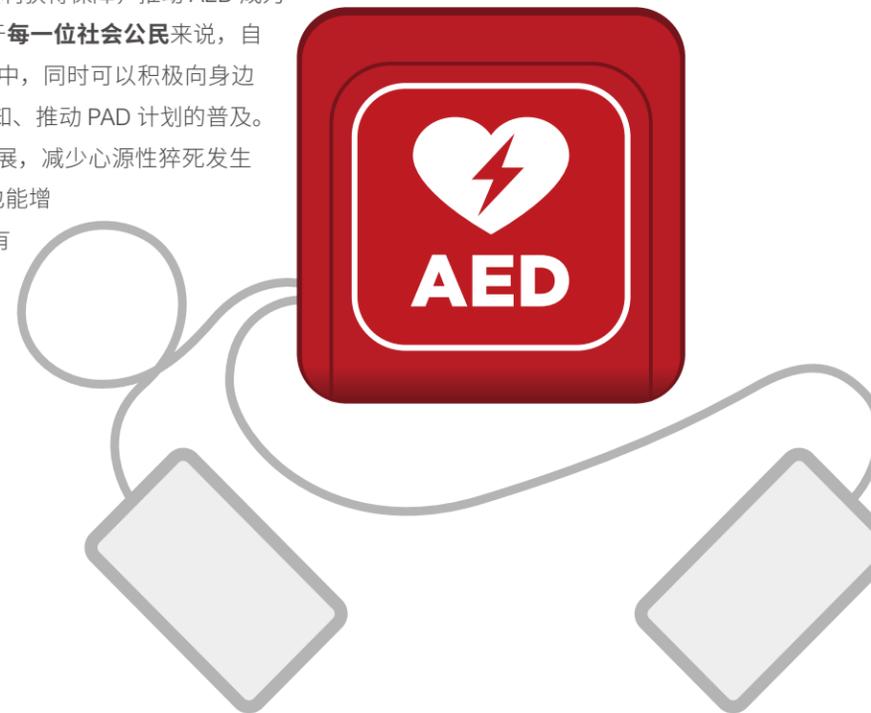
智能手机上的 BLS 自主应用程序

广泛推进公众除颤计划，全民共促可持续发展

公众除颤计划是提升院外心脏骤停患者存活率及减少心源性猝死的有效方式。室颤是心脏骤停的致病因素之一，由于大部分心脏骤停多发生在医院外的家庭或公众场所，加上心脏骤停救治的时间紧急性要求高，心源性猝死愈加高发。电除颤作为治疗室颤的唯一有效方法，在心脏骤停的 3~5 分钟之内实施电除颤治疗能极大提高患者的存活率。因此，尽可能广泛地布局 AED 并让更多公众参与 AED 使用的技术培训，将有可能挽救更多患者的生命，提高公众生命安全保障水平。

然而我国目前 AED 部署情况不容乐观，除了 AED 设备价格较高以外，还存在推广进程较欧美及日本等亚洲国家慢、PAD 计划推广滞后、相关立法规定不完善以及医疗专家资源不足等的阻碍因素。基于这样的现状，目前 PAD 计划推广的关键在于进行科学布局与标识，让 AED 便捷可用；普及 AED 技术培训，让公众掌握会用；强化 AED 的运维管理，让 AED 保质好用；完善相关政策法规，让群众大胆敢用。

因而，在推广 PAD 计划的进程中，专家与学者、企业及其他团体组织、政策研究人员乃至社会公众的不同角色，都能起到重要作用。**设备运用相关技术专家**可以加强对 AED 的使用研究，提升 AED 的科学配置与布局，同时利用技术降低 AED 查找和使用的难度，提升 AED 可用度；**医疗领域学者及专家**能通过加深在使用技术教学方面的研究，提升 AED 急救技术学习效率提升对社会公众的科普与倡导，让更多群众会用；**企业尤其是医疗健康领域的企业**，一方面可以通过人力与物力的捐赠与支持，让员工、社会公众等相关方学习 AED 的使用并获得 AED 的使用机会，另一方面可以结合主营业务或主要优势降低 AED 设备制作成本、提高使用便捷度，提升 AED 的公众配置率与使用，让 AED 更普及、更好用；**政策研究人员**可以通过促进 AED 相关立法的完善，让公众在应急救援时的权利获得保障，推动 AED 成为人人敢用的应急救援设备；最后，对于**每一位社会公民**来说，自身可以积极参与到 AED 相关培训学习中，同时可以积极向身边人宣传 PAD 计划，提升更多公众的认知、推动 PAD 计划的普及。由此，将能极大促进我国 PAD 计划进展，减少心源性猝死发生率，为公众生命安全提供更高保障；也能增强工作场所对员工生命安全的保障，有利于创造一个安全、体面的工作环境；同时提高城市公共空间的安全性，推动建设可持续城市和社区，从而助力联合国可持续发展目标实现进程。



附录：专业名词表

缩略语	全称	释义
AED	Automated External Defibrillator	自动体外除颤器
PAD	Public Access Defibrillation	公众启动除颤（面向公众的除颤器项目）
SCA	Sudden Cardiac Arrest	急性心脏骤停
OHCA	Out-of-hospital Cardiac Arrest	院外心脏骤停
SCD	Sudden Cardiac Death	心源性猝死
VF	Ventricular Fibrillation	心室纤颤
AHA	American Heart Association	美国心脏协会
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation	国际复苏联合会
BTE	Biphasic Truncated Exponential	双相指数截尾波（一种除颤放电波形）
MTE	Monophasic Truncated Exponential	单相指数截尾波（一种除颤放电波形）
CPR	Cardiopulmonary Resuscitation	心肺复苏术
ERC	European Resuscitation Council	欧洲复苏学会
ROSC	Return of Spontaneous Circulation	恢复自主循环
IoT	Internet of Things	物联网
BLS	Basic Life Support	基础生命支持
EMS	Emergency Medical Service	紧急医疗服务

参考文献

[1] 中国心肺复苏指南学术委员会. 中国心肺复苏指南（初稿）[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2009, 4(6): 356-357.

[2] 李宗浩, 葛鑫, 罗忠池, et al. 自动体外除颤器与“公众启动除颤”[M]. 李宗浩等, ed.// 现代心肺复苏急救教学. 湖南科学技术出版社, 2021: 58-75.

[3] American Heart Association. What Is an Automated External Defibrillator?[Z](2017).

[4] Perkins G D, Handley A J, Koster R W, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. Section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation.[J]. Resuscitation, 2015, 95: 81-99.

[5] Link M S, Atkins D L, Passman R S, et al. Part 6: Electrical therapies: Automated external defibrillators, defibrillation, cardioversion, and pacing: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care[J]. Circulation, 2010, 122(SUPPL. 3): S706-S719.

[6] Travers A H, Perkins G D, Berg R A, et al. Part 3: Adult basic life support and automated external defibrillation: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations[J]. Circulation, 2015, 132(S1): S51-S83.

[7] 郑懿. 低能量除颤方法研究与实验装置 [D]. 复旦大学, 2011.

[8] Soar J, Nolan J P, Böttiger B W, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. Section 3. Adult advanced life support.[J]. Resuscitation, 2015, 95: 100-147.

[9] 李宗浩, 葛鑫. AED 原理与低能量除颤 [J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2020, 15(7): 1-7.

[10] 宋海浪. AED 中识别算法的研究和对实施低能量除颤的探讨 [D]. 复旦大学, 2008.

[11] Cummins R O, Hazinski M F, Kerber R E, et al. Low-energy biphasic waveform defibrillation: Evidence-based review applied to emergency cardiovascular care guidelines: A statement for healthcare professionals from the American Heart Association Committee on Emergency Cardiovascular Care and the subcomm[J]. Circulation, 1998, 97(16): 1654-1667.

[12] Topjian A A, Raymond T T, Atkins D, et al. Part 4: Pediatric Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care[J]. Circulation, 2020, 142(16_suppl_2).

- [13] Atkins D L, Berger S, Duff J P, et al. Part 11: Pediatric Basic Life Support and Cardiopulmonary Resuscitation Quality[J]. Circulation, 2015, 132(18_suppl_2).
- [14] Resusc E, Med D. 自动体外除颤器 AED 的安全性 [J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2020, 15(10): 1-7.
- [15] 李宗浩, 葛鑫. AED 和心肺复苏术 [J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2020, 15(8): 1-7.
- [16] Philips, Lyster T. WO2008068694A1 AED Having CPR Period with pause for ecg acquisition[Z] (2007).
- [17] Philips, Snyder D. US9168385B2 External defibrillator with shock activated by cessation of precordial compressions[Z](2015).
- [18] Meaney P A, Bobrow B J, Mancini M E, et al. Cardiopulmonary resuscitation quality: [corrected] improving cardiac resuscitation outcomes both inside and outside the hospital: a consensus statement from the American Heart Association[J]. Circulation, 2013, 128(4): 417-435.
- [19] MYKLEBUST H, FOSSAN H. System for measuring and using parameters during chest compression for cardio-pulmonary resuscitation or a simulation thereof[Z](2009).
- [20] Cobb L A, Fahrenbruch C E, Walsh T R, et al. Influence of cardiopulmonary resuscitation prior to defibrillation in patients with out-of-hospital ventricular fibrillation[J]. Journal of the American Medical Association, 1999, 281(13): 1182-1188.
- [21] Mase S, Farid T, Dorian P, et al. Effect of global ischemia and reperfusion during ventricular fibrillation in myopathic human hearts[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2009, 297(6): H1984--91.
- [22] Weaver W D, Cobb L A, Dennis D, et al. Amplitude of ventricular fibrillation waveform and outcome after cardiac arrest[J]. Annals of Internal Medicine, 1985, 102(1): 53-55.
- [23] Brown C G, Dzwonczyk R, Martin D R. Physiologic measurement of the ventricular fibrillation ECG signal: Estimating the duration of ventricular fibrillation[J]. Annals of Emergency Medicine, 1993, 22(1): 70-74.
- [24] Noc M, Weil M H, Tang W, et al. Electrocardiographic prediction of the success of cardiac resuscitation[J]. Critical Care Medicine, 1999, 27(4): 708-714.
- [25] LIU C, GEHMAN S E, RUSSELL J K, et al. Defibrillator With Scheduled and Continuous Modes of Operation[Z](2017).
- [26] 李宗浩, 葛鑫. 自动体外除颤器 AED 和“公众启动除颤”计划 [J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2020, 15(8): 1-7.
- [27] Zakaria N D, Ong M E H, Gan H N, et al. Implications for public access defibrillation placement by non-traumatic out-of-hospital cardiac arrest occurrence in Singapore[J]. EMA - Emergency Medicine Australasia, 2014, 26(3): 229-236.
- [28] Bardy G H, Lee K L, Mark D B, et al. Home Use of Automated External Defibrillators for Sudden Cardiac Arrest[J]. New England Journal of Medicine, 2008, 358(17): 1793-1804.
- [29] Ströhle M, Paal P, Strapazzon G, et al. Defibrillation in rural areas[J]. American Journal of Emergency Medicine, 2014, 32(11): 1408-1412.
- [30] Hinkelbein J, Böhm L, Braunecker S, et al. In-flight cardiac arrest and in-flight cardiopulmonary resuscitation during commercial air travel: Consensus statement and supplementary treatment guideline from the German Society of Aerospace Medicine (DGLRM)[J]. Internal and Emergency Medicine, 2018, 13(8): 1305-1322.
- [31] T I, T K, T K, et al. Chest compression-only cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest with public-access defibrillation: a nationwide cohort study.[J]. Circulation, 2012, 126(24): 2844-2851 8p.
- [32] Lee C Y F, Anantharaman V, Lim S H, et al. Singapore defibrillation guidelines 2016[J]. Singapore Medical Journal, 2017, 58(7): 354-359.
- [33] Cronin O, Jordan J, Quigley F, et al. Prepared for sudden cardiac arrest? A cross-sectional study of automated external defibrillators in amateur sport[J]. British Journal of Sports Medicine, 2013, 47(18): 1171-1174.
- [34] Bahr J, Bossaert L, Handley A, et al. AED in Europe. Report on a survey[J]. Resuscitation, 2010, 81(2): 168-174.
- [35] Caffrey S L, Willoughby P J, Pepe P E, et al. Public use of automated external defibrillators[J]. ACC Current Journal Review, 2003, 12(1): 71.
- [36] Eckstein M. The Los Angeles public access defibrillator (PAD) program: Ten years after[J]. Resuscitation, 2012, 83(11): 1411-1412.
- [37] Nielsen A M, Folke F, Lippert F K, et al. Use and benefits of public access defibrillation in a nation-wide network[J]. Resuscitation, 2013, 84(4): 430-434.

编者

飞利浦: 梁建球 刘可心 葛鑫 罗忠池 孙唯伦 韩啸 李帅 吕晨 齐澄

中国红十字基金会: 曲永吉 张延超 高文秀

商道纵横: 马源 张娅楠 罗敏丽

鸣谢: 特别鸣谢中国医学救援协会可持续发展分会, 同时我们向为本报告提供意见和建议的专家们表示诚挚的感谢。

本报告信息来源于公开资料, 我们已力求报告内容的客观、公正, 但文中的观点、结论和建议仅供参考, 不对任何具体事实或情况给予医学、商业或法律建议。本报告的任何用户在没有寻求适当的专业建议情况下, 不应根据所包含的任何内容采取或不采取任何行动。中国红十字基金会、飞利浦基金会及商道纵横对本报告所含信息的准确性与完整性不承担任何法律责任。

版权属于中国红十字基金会、飞利浦基金会所有, 未经书面许可, 任何人或单位不可复制印刷本报告的部分或全部。