

基于人工智能心电远程记录 构建运动性心脏性猝死三级防治体系

王晓元, 杜美玲, 张鹏祥, 李飞星, 张爱爱, 李方江
(河北北方学院附属第一医院 心血管内科, 河北 张家口, 075000)

摘要: **目的** 探讨基于人工智能心电远程记录构建的运动性心脏性猝死三级防治体系的应用价值。**方法** 选取在比赛区域接受本院安排体检的 100 例冰雪运动者为研究对象, 随机分为研究组($n=50$)与对照组($n=50$)。对照组接受常规运动性心脏性猝死防治干预, 研究组接受基于人工智能心电远程记录构建的运动性心脏性猝死三级防治体系干预, 2 组时间均为 7 d。比较 2 组运动者干预前后冠心病自我管理量表(CSMS)评分、心血管事件发生情况、满意度及救助时间。**结果** 干预后, 研究组 CSMS 各维度得分均高于对照组, 差异有统计学意义($P<0.05$); 2 组运动者总心血管事件发生率比较, 差异无统计学意义($P>0.05$); 研究组救助时间短于对照组, 差异有统计学意义($P<0.001$); 研究组运动者总满意率为 98.00%, 高于对照组的 82.00%, 差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 基于人工智能心电远程记录构建的运动性心脏性猝死三级防治体系在冰雪运动者的心电监护中应用效果较佳, 可有效提高运动者心血管事件监测准确率, 缩短运动者救助时间。

关键词: 人工智能; 运动性猝死; 心电远程记录; 三级防治体系; 心源性猝死

中图分类号: R 541; R 540.4 文献标志码: A 文章编号: 1672-2353(2021)24-065-04 DOI: 10.7619/jcmp.20214072

Construction of three-level prevention and treatment system of exercise-induced sudden cardiac death based on artificial intelligence electrocardiogram remote recording

WANG Xiaoyuan, DU Meiling, ZHANG Pengxiang,
LI Feixing, ZHANG Aiai, LI Fangjiang

(Department of Cardiovascular Medicine, the First Hospital Affiliated to Hebei North
University, Zhangjiakou, Hebei, 075000)

Abstract: **Objective** To explore the application value of construction of three-level prevention and treatment system of exercise-induced sudden cardiac death based on artificial intelligence electrocardiogram remote recording. **Methods** A total of 100 ice and snow athletes who received physical examinations arranged by hospital were randomly divided into study group ($n=50$) and control group ($n=50$). The control group received routine exercise prevention and treatment intervention of sudden cardiac death, and the study group received three-level prevention and treatment system of sudden cardiac death caused by exercise based on artificial intelligence electrocardiogram remote recording, both groups lasted for 7 days. The scores of coronary artery disease self-management scale (CSMS), incidence of cardiovascular events, satisfaction and rescue time were compared between the two groups before and after intervention. **Results** After intervention, scores of CSMS in the study group were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$); there was no significant difference in the total cardiovascular event rate between the two groups ($P>0.05$); the rescue time of the study group was significantly shorter than that of the control group ($P<0.001$); The total satisfaction rate of exercisers in the study group was 98.00%, which was significantly higher than 82.00% in the control group

($P < 0.05$). **Conclusion** The three-level prevention and treatment system of exercise-induced sudden cardiac death based on artificial intelligence electrocardiogram remote recording has a good application effect in the electrocardiogram monitoring of ice and snow athletes, which can effectively improve the accuracy of cardiovascular event monitoring and shorten the rescue time of athletes.

Key words: artificial intelligence; athletic sudden death; electrocardiogram remote recording; three level prevention and control system; sudden cardiac death

剧烈运动与环境共同作用导致的心脏病变是引起体育锻炼者运动性猝死的最主要原因。剧烈运动易导致血压骤然升高,此时受外界环境刺激心室内外温差短时间大幅改变,易引起运动性心脏性猝死,而冰雪运动者锻炼环境较寒冷,发生运动性心脏性猝死的风险较高^[1]。既往,临床受心电检测设备便携性较差与数据传输速率慢的影响,难以对户外冰雪运动者实施心电监测^[2]。随着医学设备与数据传输技术的不断发展,便于携带、运动同步效果较好的便携型心电监护设备逐渐问世,而高带宽、低时延、高速率的 4G 信号传输技术也使得心电信号云端监护成为可能^[3-4]。本研究探讨基于人工智能心电远程记录构建运动性心脏性猝死三级防治体系的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2020 年 1 月—2021 年 1 月在比赛区域接受河北北方学院附属第一医院体检的 100 例冰雪运动者作为研究对象,采用随机数字表法分为研究组($n = 50$)与对照组($n = 50$)。本研究经河北北方学院附属第一医院伦理委员会批准。入选标准:①从事冰雪运动时间 ≥ 2 年,且每年冰雪运动累计天数 ≥ 30 d 者;②年龄 ≥ 18 岁者;③无先天性心脏疾病,且意识状态良好者;④知情且自愿签署同意书者。排除标准:①已确诊心脏器质性病变者;②先天性免疫/凝血功能缺陷者;③严重脏器功能异常者;④合并精神/心理疾病者;⑤因任何原因导致的中途退出者。

1.2 方法

对照组:对照组冰雪运动者接受常规运动性心脏性猝死防治。由受过专业培训的心血管内科护理人员对运动者展开心脏性猝死健康知识教育,普及运动性心脏性猝死的预防、简易诊断、急救及治疗知识,同时在心血管内科医师指导下常备心脏疾病急救类药物;指导运动者从事冰雪运动期间出现胸痛、头晕等运行新心脏性猝死疑似症状时,应缓慢停止运动,且第一时间进行自我排

查,若症状严重难以控制,则立即拨打急救电话,请求专业指导与急救治疗。

研究组:研究组冰雪运动者接受基于人工智能技术的心电远程监护三级防治。①心电监护设备的研发与改进。采用本院委托深圳源动创新科技公司改进后的便携型心电监护仪对运动者进行远程心电动态监测,该远程心电监护设备主要采用了 4G 信号传输器以提高信号传输速率,同时可实现心电信息的实时监测与同步传输;电极贴片采用了具有高抗干扰性能的心贴干式炭电极,提高了数据采集的准确性;减小了设备尺寸和降低了设备质量(长 10 c m,质量 18 g),同时佩戴方式采用了低束缚性的胸带方式固定,利用胸带将监护设备绑缚在运动者胸部,以降低监护设备对运动者肢体活动度的影响。②网络监控中心的建立。所有运动者均在发放设备的当天进行设备使用培训与基础猝死健康教育,并将运动者与其所佩戴设备进行信息绑定,录入网络监控中心后台,运动者进行冰雪运动时须按培训方法正确安装监护设备,而后设备可利用 4G 网络信号器将心电信息传输到网络监控中心后台,并录入心电信息数据库。通过 GSM 网络进行同步数据传输,建立云端心电数据网络重型,以实现运动过程中的心电实时监护;③心电信号人工智能监测。利用卷积神经网络(CNN)技术对运动者心电数据进行处理与分析。该人工智能系统基于本院上万例典型心脏疾病患者的心电数据建立,输入层为典型心脏疾病患者的心电数据,中间层包括卷积层、池化层和全连接层,输出层为经中间层系列处理后产生的特征信号,以此构建心电信号人工智能监测模型的诊断神经网络,以自动鉴别运动者心电信号的异常。④运动性心脏性猝死三级防治体系。为保证网络监控中心的有序运动及心电监测质量,由本院心血管内科专业人员组成指挥管理组、心电监护组、预警联络组、医疗救护组。⑤防治体系再完善。通过反复的培训、演练,持续改进,不断完善体系建设,同时反复测试医疗急救信息传输性能,在整个防治体系建立

过程中以策划-实施-检查-措施(PDCA)的管理模式为方法依据。通过反复学习、模拟训练、实际运用不断完善,形成一套科学的防治体系。2 组观察时间为 7 d。

运动性心脏性猝死三级防治体系具体包括:① 指挥管理组。由项目负责人担任组长,协作单位负责人担任副组长,初期阶段负责对整个体系进行前期设计、筹备和组建;中期阶段进行培训、演练和改进;后期阶段正确应对整个体系顺畅的高效运转和可能突发的事件。② 心电监护组。由本院专业的心血管内科主治医师及心电图医师组成,主要负责网络中心心电数据的判读及判读标准制定,在人工智能判读基础上再由专业医师进行审核,若监护过程中出现恶性心律失常,如短阵室性心动过速、心室颤动、Ⅱ度及以上房室传导阻滞等异常心电信号,需及时作出诊断并通知预警联络组人员。③ 预警联络组。由经过专业培训的心血管内科医师组成,主要负责心电异常信号预警和联络医疗救护组,保证定位准确,能及时正确指导医疗救护组第一时间到达目标人员指定位置。④ 医疗救护组。由心血管内科高年资主治医师负责,经专业培训的心血管内科医师为组员,当发生突发事件需紧急医疗救援时,具备现场生命复苏和高级生命支持能力,配合高效的场馆医疗急救转运系统,确保患者得到及时的专业治疗。

1.3 观察指标

① 健康管理能力:干预前后采用冠心病自我管理量表(CSMS)^[5]评估运动者健康管理能力,该量表包含基本常识(5 项)、重要信息(10 项)、危险因素(6 项)、治疗知识(6 项)4 个维度

共计 27 个评分项,每项均采用 5 级(1~5 分)评分,分值与自我管理水平呈正比。② 心血管事件发生率:对比 2 组运动者 7 d 干预期内心肌缺血、心肌梗死、冠状动脉痉挛、心律失常等心血管事件发生率。③ 防治效率:对比 2 组运动者干预期内心血管事件发生后平均救助时间(运动者发出求救信号至救助人员到达时间)。④ 运动者满意度:干预期结束后采用本院自制问卷调查运动者对运动性心脏性猝死防治方案的满意度,总分 60 分,分为非常满意(>50 分)、满意(>40~50 分)、基本满意(>30~40 分)、不满意(≤30 分),总满意人数=总人数-不满意人数。

1.4 统计学处理

本研究资料统计分析均与处理均以 SPSS 22.0 软件完成,计量和计数资料分别行 *t* 和 χ^2 检验,分别以 $(\bar{x} \pm s)$ 和 $[n(\%)]$ 表示。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组运动者基线资料对比

2 组运动者冰雪运动时间、性别、体质指数、年龄比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

2.2 2 组干预前后健康管理能力对比

干预前 2 组 CSMS-基本常识、CSMS-重要信息、CSMS-危险因素、CSMS-干预知识、CSMS-总分比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);干预后,2 组 CSMS 各维度得分及总分高于干预前,且研究组 CSMS 各维度得分及总分均高于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

表 1 2 组患者基线资料对比 $(\bar{x} \pm s)[n(\%)]$

组别	<i>n</i>	年龄/岁	体质指数/(kg/m ²)	冰雪运动时间/年	性别	
					男	女
研究组	50	42.48 ± 3.67	24.62 ± 4.34	5.59 ± 1.13	27(54.00)	23(46.00)
对照组	50	41.94 ± 3.85	24.59 ± 4.09	5.48 ± 1.20	26(52.00)	24(48.00)

表 2 2 组干预前后 CSMS 评分对比 $(\bar{x} \pm s)$

时点	组别	<i>n</i>	基本常识	重要信息	危险因素	干预知识	总分
干预前	研究组	50	8.52 ± 2.63	21.22 ± 4.36	7.26 ± 1.80	7.86 ± 2.65	44.85 ± 11.25
	对照组	50	8.44 ± 2.52	20.96 ± 4.28	7.30 ± 2.25	7.78 ± 1.89	44.48 ± 10.65
干预后	研究组	50	17.58 ± 0.86 [#]	38.28 ± 0.75 [#]	18.38 ± 0.96 [#]	18.44 ± 0.96 [#]	92.68 ± 1.38 [#]
	对照组	50	13.52 ± 1.73 [*]	33.78 ± 1.89 [*]	13.68 ± 2.12 [*]	14.44 ± 1.69 [*]	75.42 ± 6.73 [*]

CSMS: 冠心病自我管理量表;与干预前比较, $*P < 0.05$;与对照组比较, $\#P < 0.05$ 。

2.3 2 组心血管事件发生率对比

研究组与对照组运动者总心血管事件发生率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 3。

2.4 2 组心血管事件防治效率对比

研究组运动者 7 d 内共发生 4 例心血管事件,均由人工智能监测到心电信号异常后,转由预

警联络组提前联系医疗救护组,所有患者经对症治疗后均完全恢复,4 次平均救助时间为(48.50 ± 7.30) min;对照组运动者共发生 5 例心血管事件,均为患者感觉不适后,自行拨打急救电话后寻求救援,患者经对症治疗后均完全恢复,5 次平均救助

时间为(94.60 ± 10.46) min;研究组救助时间短于对照组,差异有统计学意义($P < 0.001$)。

2.5 2 组运动者满意度对比

研究组运动者总满意度高于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 4。

表 3 2 组不良事件对比[n(%)]

组别	n	心肌缺血	心肌梗死	冠脉痉挛	心律失常	总心血管事件
研究组	50	1(2.00)	1(2.00)	1(2.00)	1(2.00)	4(8.00)
对照组	50	2(4.00)	1(2.00)	1(2.00)	1(2.00)	5(10.00)

表 4 2 组运动者满意情况对比[n(%)]

组别	n	非常满意	满意	基本满意	不满意	总满意
研究组	50	27(54.00)	15(30.00)	7(14.00)	1(2.00)	49(98.00)*
对照组	50	16(32.00)	10(20.00)	15(30.00)	9(18.00)	41(82.00)

与对照组比较,* $P < 0.05$ 。

3 讨论

运动性猝死是导致体育锻炼人群非创伤性死亡的主要原因,多发生于体育锻炼者剧烈运动后,发病急促且危害性极强,早期症状发生后 2 h 内若未能进行有效治疗,死亡风险超过 90%,已成为世界性公共卫生难题^[6-8]。心脏病变是运动性猝死的主要原因,运动者常因剧烈运动引起冠状动脉血流量改变,导致心肌细胞因缺血、缺氧死亡,从而引发急性心功能异常,危及运动者生命^[9]。运动性心脏性猝死发病机制较为复杂,可由血液、血管、血液动力学异常造成的动脉狭窄和堵塞引起。目前,临床治疗运动性心脏性猝死主要以改善心供血动脉血液循环及减轻栓塞发生风险等为主,除颤仪是急救常用设备,但救助不及时可能错过患者最佳救助时机,导致运动者死亡^[10-12]。因此,建立运动性心脏性猝死三级防治体系对于提高冰雪运动者心脏性猝死防治水平具有重要意义。人工智能技术的心电远程监护三级防治体系可拓展至各类项目运动员的猝死防治中,具有广阔的临床应用前景^[13-14]。基于此,本研究探讨基于人工智能心电远程记录构建运动性心脏性猝死三级防治体系的应用价值。

研究结果显示,经过为期 7 d 不同方案下的运动性心脏性猝死防治干预后,2 组运动者 CSMS 评分均有所提高,且研究组运动者 CSMS 评分高于对照组,与 MANDAL V 等^[15]研究结果基本一致,表明基于人工智能心电远程记录构建运动性心脏性猝死三级防治体系可有效提高运动者的健康管理水平。这是由于人工智能心电远程记录平台可利用互联网进行实时数据传输,具有更

高的便捷性与可操作性,运动者可利用日常生活中的闲余时间登录网络后台进行心脏性猝死相关知识的学习,有利于降低运动者主观学习抵触情绪,提高健康管理能力。结果还显示,研究组救助时间短于对照组,总满意度高于对照组,与杨建利^[16]的研究结果相似,表明基于该体系可有效缩短运动者救助时间,提高满意度。分析其原因,这是由于运动性心脏性猝死三级防治体系利用高便携性的心电监护设备,实时收集运动者心电信息并传输至网络监控中心数据库,而利用人工智能卷积神经网络(CNN)技术可对运动者的心电信号进行实时异常监测,若运动者心电信号异常,则系统自动反馈至后台工作人员处,此时由心电监护组立即对运动者心电信号进行二次确认,并转接至医疗救护组展开救援,提高了救助时效性和防治、救助效率^[17]。

参考文献

[1] 林达,黄晓辉,余捷,等. 肥厚型心肌病 MRI 延迟强化率与心源性猝死风险的相关性分析[J]. 医学影像学杂志, 2019, 29(3): 373-377.

[2] 杨凤春,李丹,孙雪莲,等. 联合 NT-proBNP 与 QRS 波群时限预测慢性心力衰竭致心源性猝死发生风险[J]. 临床和实验医学杂志, 2019, 18(14): 1538-1541.

[3] ATTIA Z I, NOSEWORTHY P A, 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.

[4] 张正华,蔡雅倩,韩丹,等. 基于深度学习的肺结节筛查和定性诊断分析[J]. 肿瘤防治研究, 2020, 47(4): 283-287.

[5] BAZARGANI R H, BESHARAT M A, EHSAN H B, et al. The efficacy of chronic disease self management programs and tele-health on psychosocial adjustment by increasing self-efficacy in patients with CABG[J]. Procedia Soc Behav Sci, 2011, 30: 830-834.

(下转第 73 面)

庞家栋等^[12]发现 NSTE-ACS 患者 PCI 围术期应用丹参酮ⅡA 磺酸钠治疗后,可显著提高临床疗效,改善患者不适症状,降低超敏 C 反应蛋白、超氧化物歧化酶、一氧化氮等炎症因子水平,保护患者血管内皮功能。王圆圆^[13]研究发现,益心通脉颗粒治疗 NSTE-ACS PCI 术后气阴两虚、痰瘀互阻型患者临床疗效显著,不良反应小,炎症因子水平低,可抑制心室重构。活血化痰宁心饮可通过改善血脂水平及血清炎症因子水平来治疗 NSTE-ACS PCI 术后心绞痛,临床疗效好且更安全^[14]。IKONOMIDIS I 等^[15]研究发现,未经治疗的高血压患者血管内皮糖萼受损,这种损伤与主动脉弹性特性异常和冠状动脉微循环功能受损有关,并可导致左室纵向变形受损。

综上所述,止麻消痰活血汤中的药物具有降低心肌损伤水平、血脂水平、hs-CRP、超氧化物歧化酶等炎症因子水平、血管内皮糖萼受损等的药理作用,但止麻消痰活血汤治疗 NSTE-ACS PCI 术后无复流的抗炎、降脂、保护血管内皮等具体作用机制还不完全明确,需进一步深入研究。

参考文献

[1] LIM G B. Early invasive assessment of NSTE-ACS[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2018, 15(11): 653.
[2] MAYER M. Anticoagulants in ischemia-guided management of non-ST-elevation acute coronary syndromes [J]. *Am J Emerg Med*, 2017, 35(3): 502–507.
[3] RODRIGUEZ F, MAHAFFEY K W. Management of patients with NSTE-ACS: a comparison of the recent AHA/ACC and ESC guidelines[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(3): 313–321.
[4] 杜蕊, 陈民, 李文杰. 冠状动脉粥样硬化性心脏病中医病

机研究进展[J]. *现代中西医结合杂志*, 2016, 25(16): 1818–1821.
[5] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 非 ST 段抬高型急性冠状动脉综合征诊断和治疗指南(2016)[J]. *中华心血管病杂志*, 2017, 45(5): 359–376.
[6] 郑筱萸. 中药新药临床研究指导原则: 试行[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2002: 378–379.
[7] 曹勤, 徐宏伟, 沙本炎, 等. 尼可地尔对 NSTE-ACS 患者 PCI 术后慢血流/无复流疗效及炎症因子的影响[J]. *武汉大学学报: 医学版*, 2018, 39(4): 663–666.
[8] BANGALORE S, TOKLU B, KOTWAL A, *et al*. Anticoagulant therapy during primary percutaneous coronary intervention for acute myocardial infarction: a meta-analysis of randomized trials in the era of stents and P2Y12 inhibitors[J]. *BMJ*, 2014, 349(11): g6419–g6428.
[9] ARORA R R, RAI F. Antiplatelet intervention in acute coronary syndrome[J]. *Am J Ther*, 2009, 16(5): e29–e40.
[10] 郑昊钊, 龙芳, 杨华, 等. 急性冠脉综合征的发病机制及治疗进展[J]. *中国药房*, 2014, 25(30): 2846–2848.
[11] 姜天童. 益气活血中成药对 PCI 术后患者疗效的影响及龙牙槐木总皂苷对心肌细胞凋亡的作用[D]. 北京: 北京中医药大学, 2017.
[12] 庞家栋, 沈智杰, 陈铁军, 等. 丹参酮ⅡA 磺酸钠注射液干预非 ST 段抬高型急性冠脉综合征血瘀证的临床研究[J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2019, 17(5): 723–726.
[13] 王圆圆. 益心通脉颗粒对急性冠状动脉综合征 PCI 术后气阴两虚、痰瘀互阻型患者的临床疗效观察[D]. 南京: 南京中医药大学, 2019.
[14] 倪淑宇, 王晓丽. 活血化痰宁心饮治疗急性冠脉综合征 PCI 术后心绞痛疗效观察[J]. *中国中医急症*, 2020, 29(3): 507–509.
[15] IKONOMIDIS I, FROGOUDAKI A, VRETTOU A R, *et al*. Impaired Arterial Elastic Properties and Endothelial Glycocalyx in Patients with Embolic Stroke of Undetermined Source [J]. *Thromb Haemost*, 2019, 119(11): 1860–1868.

(本文编辑: 周冬梅)

(上接第 68 面)

[6] 王震, 程中伟, 邓华, 等. 埋藏式心脏转复除颤器用于心源性猝死一级预防患者全因死亡危险因素分析[J]. *中国心脏起搏与心电生理杂志*, 2020, 34(1): 16–19.
[7] 王震, 程中伟, 邓华, 等. 植入型心律转复除颤器对于射血分数减低性心力衰竭患者心源性猝死的预防作用研究[J]. *中国实用内科杂志*, 2019, 39(9): 800–804.
[8] 吴丹阳, 范忠才. 血清鸢尾素水平与急性心肌梗死合并射血分数保留型心力衰竭患者 PCI 术后心源性猝死的相关性研究[J]. *临床心血管病杂志*, 2020, 36(12): 1104–1109.
[9] CHANDRA B S, SASTRY C S, JANA S. Robust heartbeat detection from multimodal data via CNN-based generalizable information fusion[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2019, 66(3): 710–717.
[10] 鲁商翔, 赵阳, 汤宝鹏. 常规 12 导联体表心电图信息对心脏性猝死的预测价值[J]. *中华心律失常学杂志*, 2019, 23(3): 269–272.
[11] PAIXÃO G M, RIBEIRO A H, LIMA E, *et al*. Ecg-age from artificial intelligence: a new predictor for mortality the code (clinical outcomes in digital electrocardiography) study[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(11): 3672.
[12] 朱振叶, 殷洁. 多次体外电除颤复苏救治心脏性猝死的效果及其对患者血清因子水平的影响分析[J]. *心脑血管病防治*, 2019, 19(5): 473–475.
[13] KIM Y, KIM J H, LEE M Y, *et al*. Premature ventricular contraction detection system from the 12 leads ECG by artificial intelligence[J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(Supplement_2): 3448
[14] 王洪瑞, 杨建利, 刘秀玲. 基于心电信号和回声状态网络的心源性猝死心拍预测[J]. *激光杂志*, 2019, 40(9): 187–190.
[15] MANDAL V, MUSSAH A R, JIN P, *et al*. Artificial intelligence-enabled traffic monitoring system [J]. *Sustainability*, 2020, 12(21): 9177.
[16] 杨建利. 基于深度学习的心血管疾病智能预测与精确诊断算法研究[D]. 保定: 河北大学, 2019.
[17] ABDALLA F Y O, WU L W, ULLAH H, *et al*. ECG arrhythmia classification using artificial intelligence and nonlinear and nonstationary decomposition[J]. *Signal Image Video Process*, 2019, 13(7): 1283–1291.

(本文编辑: 周娟)