

文章编号: 1671-7104(2020)06-0481-06

监护系统报警疲劳优化方法的研究

【作者】 刘梦星^{1,2}, 孙泽辉², 叶文宇², 刘三超², 何先梁², 王澄², 李烨¹

1 中国科学院深圳先进技术研究院, 深圳市, 518000

2 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司, 深圳市, 518057

【摘要】 目的 为改善报警疲劳, 研究监护系统的算法优化策略, 以减少误报警和临床无价值报警。方法 采用多导心电分析、多参融合分析、智能阈值提醒和不应期延迟四种策略对多中心收集的28 679次报警进行测试。结果 抽样数据显示, 多导心电分析可减少80.8%的心电类误报警; 多参融合分析可减少55.9%的心电和脉搏类误报警; 智能阈值提醒和不应期延迟可分别减少28.0%和29.8%的重复无价值报警; 四种优化方法共同作用下, 可将总报警数减少为12 724次。结论 增加参数同步分析的信息维度以及合理控制报警限与报警时间, 有助于改善重症监护的报警疲劳。

【关键词】 重症监护; 报警疲劳; 护理管理; 多参融合; 智能阈值

【中图分类号】 R197.39

【文献标志码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1671-7104.2020.06.003

Research of Methods to Reduce Alarm Fatigue of Monitoring System

【Writers】 LIU Mengxing^{1,2}, SUN Zehui², YE Wenyu², LIU Sanchao², HE Xianliang², WANG Cheng², LI Ye¹

1 Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, 518000

2 Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd., Shenzhen, 518057

【Abstract】 **Objective** In order to solve alarm fatigue, the algorithm optimization strategies were researched to reduce false and worthless alarms. **Methods** A four-lead arrhythmia analysis algorithm, a multi-parameter fusion analysis algorithm, an intelligent threshold reminder, a refractory period delay technique were proposed and tested with collected 28 679 alarms in multi-center study. **Results** The sampling survey indicate that the 80.8% of arrhythmia false alarms were reduced by the four-lead analysis, the 55.9% of arrhythmia and pulse false alarms were reduced by the multi-parameter fusion analysis, the 28.0% and 29.8% of clinical worthless alarms were reduced by the intelligent threshold and refractory period delay techniques respectively. Finally, the total quantity of alarms decreased to 12 724. **Conclusion** To increase the dimensionality of parametric analysis and control the alarm limits and delay time are conducive to reduce alarm fatigue in intensive care units.

【Key words】 critical care, alarm fatigue, nursing management, multi-parameter fusion, intelligent threshold

0 引言

监护系统是医院危重监护病房的核心组成部分, 一般包括床边监护仪、遥测设备以及中央站。监护系统主要功能是实时采集、计算和呈现患者的生理参数, 并通过识别异常事件而产生报警。实际应用中, 噪声和伪差干扰、传感器佩戴不牢与阈值设置不合理等经常导致监护

系统发出过多误报警和重复无价值报警, 进而造成医护人员产生报警疲劳^[1]。近年来, 美国紧急医疗研究院多次将报警疲劳列为“十大医疗技术危害”之一, 其中2012–2015连续四年将其列为危害之首^[2]。报警疲劳使得护理人员对真实危重报警的注意力和反应速度下降, 甚至忽视或直接关闭报警, 这些行为在某种程度上对患者的生命安全构成了威胁^[3]。

报警疲劳本质上是一种复杂且难以自控的认知过程, 是人体适应机制被激发以管理自身认知

收稿日期: 2020-01-02

基金项目: 深圳市技术攻关项目 (JSGG20170823144843046)

作者简介: 刘梦星: E-mail: mason_liu_bme@163.com

通信作者: 李烨, E-mail: yeli@siat.ac.cn

负担和注意力资源的结果^[4]。国内外研究经验表明,解决该问题必须依赖工程、医护、管理和行政等多学科团队的共同协作^[5]。从监护系统工程研究的角度,提出优化报警疲劳问题的若干解决方案,通过覆盖多中心科室的临床数据验证所述方法的应用效果,以期减少误报警和临床无价值报警的数量。

1 方法

提出四种优化策略来改善报警疲劳。其中,多导心电分析和多参融合分析主要用于减少误报警,智能阈值提醒和不应期延迟主要用于减少临床重复无价值的报警。

1.1 多导心电分析

心电(electrocardiogram, ECG)是监护系统中最重要参数之一。早在1989年,美国心脏协会就公开建议监护设备应能够同步分析至少三导联的心电信号^[6-7]。然而截至目前,绝大多数厂商生产的监护仪仍然使用两导心电,并要求医护人员手动选择分析导联。

提出一种多导心电分析方法,可以同步综合四导心电来实现心搏检测、心率计算和心律失常分析,总体结构如图1所示。首先,四通道原始数据经重采样、滤波等预处理后,分别进行单导分析,输出各通道的信号质量指数、QRS波位置以及分类等信息;进而,对各通道信号质量进行排序,排除受噪声干扰严重的导联,自动获取最优导联组合;然后,通过移动窗对各导联QRS波进行匹配处理,并结合前后QRS波的相关系数和位置偏差来判断有效性;最后,对检测有效的QRS波分类结果进行合并,倘若各导联分类结果不同,则倾向于多数类型,同时对占少数的QRS波特征进行独立检验,综合给出决策结果。

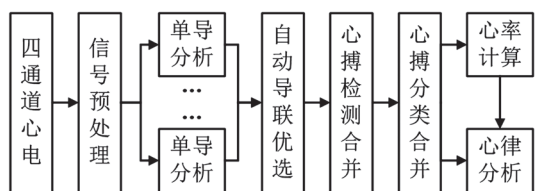


图1 四导心电同步分析原理框图
Fig.1 Block diagram of four-lead ECG analysis

1.2 多参融合分析

除了心电参数外,监护系统一般还会同时监测患者的脉搏血氧(pulse oxygen saturation, SpO₂)和有创血压(invasive blood pressure, IBP)。近年来,为了减少误报警,基于血氧和动脉压参数来提高ECG心律失常检测精确性的技术被广泛研究^[8]。

提出一种多参融合分析方法,实现ECG、SpO₂和IBP三个参数的综合分析,以减少心律失常识别、心率和脉率超限类的误报警。如图2所示,各参数先进行独立算法分析,将信号质量、特征值(如心率脉率)、心律失常、报警信息等信息输入至多参融合模块。

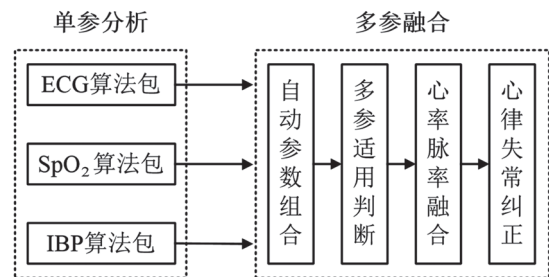


图2 多参融合分析的原理框图
Fig.2 Block diagram of multi-parameter fusion analysis

如图2所示,多参融合模块主要包括四部分。① 自动参数组合。在实际应用中,参数融合有两两组合或三个参数同时存在的四种情形。对于IBP信号,算法优先选择动脉压差较大和信号质量较好的通道。② 多参适用判断。为避免发生误纠正,对于禁忌症(如行体外循环治疗或具有严重外周循环障碍的患者)、参数非同源、信号质量差等情况,算法会基于信号的严格不同步性自动关闭融合功能。③ 心率脉率融合。主要遵循以下原则:若IBP与SpO₂信号质量相当,优先使用IBP脉率纠正ECG心率;若IBP与SpO₂脉率差异超过限度,检查两类信号的受扰情况,受扰较大者被纠正;若脉率和心率差异过大,判断信号质量和间期特征,纠正不可靠数值。④ 心律失常纠正。定位报警发生的时间窗,基于心律失常下的脉搏波特征(如停搏心律下无脉搏),使用IBP和SpO₂中的一种或两种参数检验

报警的可信度，及时纠正错误报警。

多参融合分析的整体策略是在充分满足纠正条件且无危重事件漏报风险的前提下生效，以减少误报警。

1.3 智能阈值提醒

临床研究显示，无法基于患者病情合理设置监护设备的参数阈值，已成为阻碍报警管理的重要因素之一^[9]。监护系统各项参数均配置有默认阈值，而这些默认值并不能满足个体化的病情需要，致使大量无价值报警产生^[10]。因此，提高阈值设置的合理性和易用性，对于缓解报警疲劳具有重要意义。

提出一种智能阈值提醒方法，基于患者的历史数据自动计算心率、呼吸率与血氧等参数阈值，并在人机交互时刻提醒医护确认推荐值，以实现阈值的辅助设置。如图3所示，从开始监护到结束，医护人员与监护系统发生交互的主要节点为：患者初始入科和外检回科后几分钟内的参数建立期间，以及持续监护中的护理交接班和查房期间。算法检测出当前阈值不合理时，在上述节点，自动计算和推荐新阈值并提醒人工核准，这有利于阈值生效。

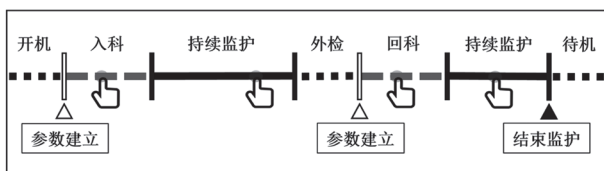


图3 临床重症监护的基本工作流程
Fig.3 Basic workflow of clinical intensive care

因此，阈值合理性检测和新阈值计算是关键。在参数建立后，监护系统计时并不断更新数据缓冲区；在入科或回科阶段，若满足信号质量要求的数据累积到一定时长且较为稳定，同时参数值逼近当前阈值，则认为当前阈值不合理；在持续监护阶段，若一定时长内的参数逼近阈值，或超限类报警过于频繁且医护反复屏蔽，则判定当前阈值不合理。进而，对近期一段时间内有效参数的均值取整，然后基于预设步长进行阈值增减，并规定约束条件：①新阈值不能宽于绝对高

下限；②新阈值不能窄于当前阈值，从而得出新阈值。

1.4 不应期与延迟

2009年，德国的一项ICU报警调查显示，87%的医护认为不到一半的报警需要进行处理，52%的人认为不到25%的报警具有临床意义^[11]。2014年，美国的一项报警疲劳研究显示，室早（premature ventricular contraction, PVC）类中级报警在无价值报警中的占比最高^[12]。此外，短时一过性的阈值超限类报警，绝大多数无需临床进行处理。

提出一种不应期与延迟策略，以减少中级心律失常类的重复报警和短时心率、呼吸与血氧等超限类报警。如图4所示，心律失常报警链由上至下的优先级逐渐降低；对①号虚线框内PVC链和心搏链，设置默认短时长的报警不应期；对②号框内PVC链，设置默认长时长的报警不应期；在不应期内，高优先级的报警发生后将屏蔽自身和低级报警。同理，通过设立不应期，血氧极低报警发生后的数秒内不响应血氧过低报警，呼吸窒息报警发生后的数秒内不响应呼吸率低的报警。

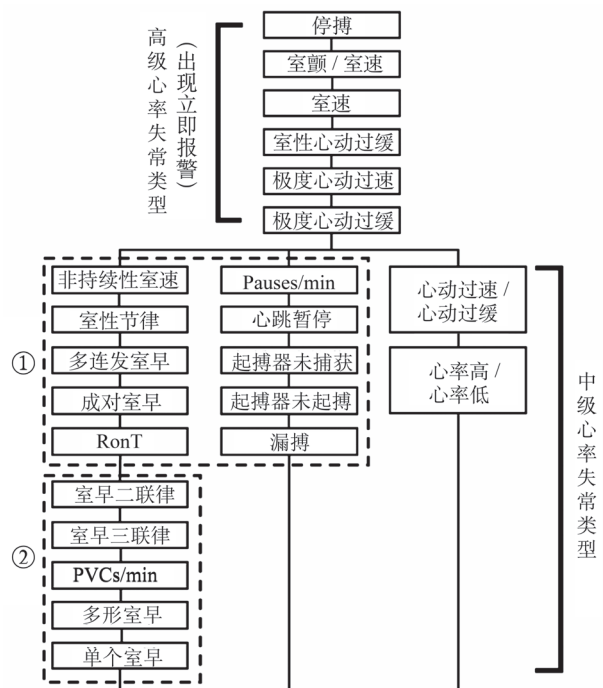


图4 心律失常的报警链
Fig.4 Alarm chain of arrhythmia

在传统监护系统中,参数一旦超限就会立即触发声光报警,若参数在报警限附近上下波动时,报警便会非常频繁。延迟策略主要是对报警进入机制进行优化,以高限为例,设定一个波动值,若参数值大于报警限与波动值之和,立即报警;若参数值在报警限与波动值之间徘徊,则对大于报警限的时间进行累积,累积时间超阈值才发出报警。

2 结果

2.1 数据收集

于2019年7月至12月期间,使用迈瑞BeneVision N12病人监护仪,采集多中心不同专科重症监护室的匿名化数据。如表1所示,其中ICU和PICU采集参数包括心电、呼吸、血氧以及有创压;除了NICU使用3导心电外,其余科室均采用5导联心电;记录的有效数据总时长为3 520 h,总生理报警数为28 679次。

表1 临床数据概览
Tab.1 Overview of collected clinical data

| 中心 | 科室 | 数据时长/h | 报警数/n | 备注 |
|----|-------|--------|--------|-------|
| 一 | ICU | 1 174 | 12 785 | 含IBP |
| 二 | PICU | 502 | 5 126 | 含IBP |
| 三 | NICU | 1 392 | 4 029 | 3导ECG |
| 四 | CCU | 168 | 4 172 | / |
| 五 | CTICU | 284 | 2 567 | / |
| 总计 | --- | 3 520 | 28 679 | --- |

2.2 性能评估

为独立考察四种优化方法的效果,对临床数据进行随机抽样。如表2所示,多导心电分析选取了764 h数据,经专家标注心搏和心律失常后,确认526次心电误报警,优化后减为101次;多参融合分析选取了942 h数据,经专家标注心搏、脉搏和心律失常后,确认3 874次心电和脉搏误报警,优化后减为1 707次。

对于智能阈值和不应期延迟策略,选取同一批数据进行分析,如表2所示,专家标注确认200 h抽样数据中属于临床重复无价值的报警有3 857次,默认响应第一次智能阈值提醒后,报警可减少28.0%,而不应期延迟则可减少29.8%的报警。由此可见,四种优化方法对于改善报警疲劳

均具有一定作用。

表2 四种优化方法的独立分析(n)
Tab.2 Independent results of four different methods

| 优化方法 | 抽样/h | 报警 | 优化前 | 优化后 | 减少(%) |
|-------|------|-----|-------|-------|-------|
| 多导心电 | 764 | 误报 | 526 | 101 | 80.8 |
| 多参融合 | 942 | 误报 | 3 874 | 1 707 | 55.9 |
| 智能阈值 | 200 | 无价值 | 3 857 | 2 776 | 28.0 |
| 不应期延迟 | 200 | 无价值 | 3 857 | 2 707 | 29.8 |

对整体数据进行综合测试,实验结果表明,在四种优化方法的共同作用下,心电、呼吸、血氧和有创压四种参数的报警数量均减少一半以上。如表3所示,优化后的总体报警数降低了55.6%。

表3 综合优化后总体报警统计(n)
Tab.3 The statistics of total quantity of alarms

| 报警数 | 心电 | 呼吸 | 血氧 | 有创压 | 总体 |
|---------|--------|-------|-------|-------|--------|
| 优化前 | 12 762 | 5 878 | 5 372 | 4 667 | 28 679 |
| 优化后 | 5 681 | 2 923 | 2 086 | 2 034 | 12 724 |
| 报警减少(%) | 55.5 | 50.3 | 61.2 | 56.4 | 55.6 |

3 讨论

3.1 误报警减少

在重症监护室,各种原因引起的噪声或伪差会造成心电波形失真,如电极接触不良、电缆线被拉扯与患者肌电干扰等。适当增加导联数量可降低全通道数据同时被破坏的概率,从而减少因信号质量差而产生的误报警。此外,某些病理或生理性高大T波极易被误检,从而使监护仪频繁发出心率超限或室早二联律报警。如图5所示,T波形态在不同导联上差别较大,多导心电综合I、V导的分析容易排除II、III导的误检,从而减少因信息不足而造成的误报警。

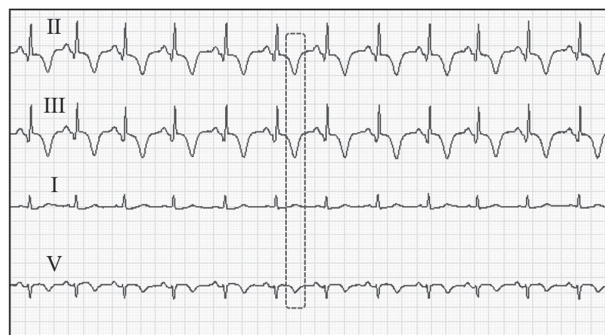


图5 部分导联高大T波的心电片段
Fig.5 A segment of ECG with tall T-wave

虽然,多导心电分析可以减少心律失常误报

警,但对于噪声覆盖所有导联或类似NICU使用导联数量较少的情况,单参心电分析仍存在局限性,此时多参融合可发挥重要作用。如图6所示,心电受到干扰而误将伪差识别为室性心搏,从而发出室速报警。多参融合分析算法检测到AB段信号质量良好且脉搏匀齐,通过综合决策容易确认误报警并及时纠正。除此以外,临床经常会遇到个别患者因皮肤阻抗大或电极粘贴时间长而引起心电幅度低的情况,单参分析容易误检或捕捉不到QRS波,从而产生大量心率超限或停搏报警,而多参融合通过脉搏信号分析即可纠正此类错误报警。

综上所述,多导心电分析和多参融合分析都是通过增加信息维度的数据融合方式来减少误报警,两种方法都提高了参数监测的抗干扰性能。

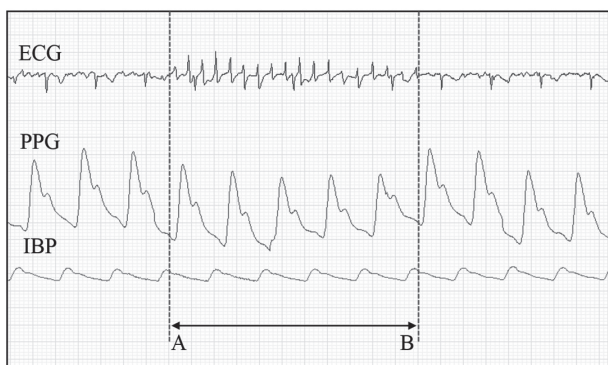


图6 多参融合纠正室速误报

Fig.6 Ventricular tachycardia corrected by multi-parameter fusion

3.2 临床无价值报警减少

随着医学与工程技术的进步,临床监测参数的种类越来越多,完全依靠医护人员逐一设置各项参数的合理阈值具有较大困难。如图7所示,智能阈值提醒可以抓住参数建立、报警确认以及查房交接班等过程中的人机交互节点,帮助医护人员基于当前患者生理状态快速响应、调整和确认报警限。积极使用该策略,有助于减少因阈值配置不合理而产生的真实但却没有临床意义的报警。

临床心律失常的种类繁多,基于危险程度可确定报警优先级。对于类型相近的心律失常,如PVC链,在报警发生后的一段时间内,可能会伴

随一定次数的低优先级事件出现。如图8所示,由于设置了报警不应期,在序号1位置发生的室早二联律将会屏蔽随后一段周期内出现的较低优先级室早类的报警。

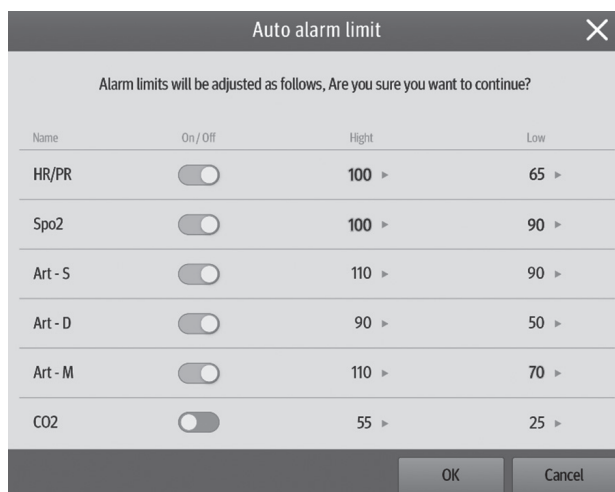


图7 智能阈值响应后的确认窗口

Fig.7 Interactive window of intelligent threshold reminder

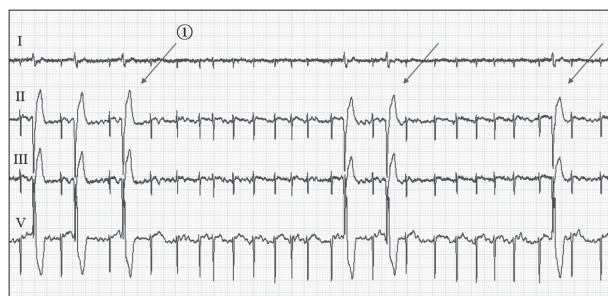


图8 室早二联律不应期

Fig.8 Refractory period of ventricular bigeminy

除心律失常外,不应期策略也作用于心率、呼吸和血氧等参数超限类报警,如血氧极低与血氧过低报警之间一般存在血氧值的缓慢上升,因而在极度超限报警后的一段时间内不必频繁对普通超限进行报警。此外,对于参数值一过性超限且超过不多的情形,通过设立报警进入的延迟机制,可量化参数波动的程度,从而将波动幅度小或持续时间短的无价值超限报警排除。

综上所述,智能阈值提醒和不应期延迟策略都是从报警限或时间控制的角度减少了临床无价值报警。

4 结论

从工程技术的角度,提出运用多导心电和多

参融合分析方法来减少监护系统的误报警,采用智能阈值提醒和不应期延迟策略来减少临床无价值报警,并通过覆盖多科室的临床数据验证了所述优化方法有助于改善报警疲劳。然而,未来要彻底解决报警疲劳问题,必须依赖多学科团队的深度协作,研究进一步提高报警特异性与敏感度的新技术,加强仪器设备的使用培训,规范报警管理流程,预防报警相关危害,从而为患者和医护营造一个更加安全舒适的治疗环境。

参考文献

- [1] 杨丽平, 张志刚, 张彩云, 等. ICU报警疲劳产生的原因及预防策略[J]. 中国护理管理, 2017, 17(9): 1274-1277.
- [2] ECRI Institute. Top 10 health technology hazards for 2020[EB/OL]. (2019-12-20)[2020-01-01]. <http://www.ecri.org>.
- [3] 王婧, 王建宁, 周松, 等. ICU护士医疗设备报警疲劳程度及其影响因素的研究[J]. 中华护理杂志, 2017, 52(2): 211-215.
- [4] LANDRIGAN C P. Crying wolf: false alarms and patient safety[J]. J Hosp Med, 2015, 10(1): 409-410.
- [5] 薛燕, 仲骏, 郑吉莉. 多学科团队在降低心脏外科ICU护士监护仪报警疲劳中的应用[J]. 护理管理杂志, 2018, 18(8): 601-604.
- [6] SU J, DAI J, GUAN Z, et al. A four-lead real time arrhythmia analysis algorithm[C]. Computing in Cardiology Conference, 2017(44): 1-4.
- [7] MIRVIS D M, BERSON A S, GOLDBERGER A L, et al. Instrumentation and practice standards for electrocardiographic monitoring in special care units. A report for health professionals by a Task Force of the Council on Clinical Cardiology, American Heart Association[J]. Circulation, 1989, 79(2): 464-471.
- [8] SU J, LIU S, SUN Z, et al. Real-time fusion of ECG and SpO2 signals to reduce false alarms[C]. Computing in Cardiology Conference, 2018(45): 1-4.
- [9] 殷绮. ICU医护人员仪器报警疲劳的研究进展[J]. 护理研究, 2018, 32(21):3325-3328.
- [10] AACN. Practice alert: alarm management [EB/OL]. (2017-11-22)[2020-01-01]. <http://www.ccn.aacnjournals.org>.
- [11] SIEBIG S, SIEBEN W, KOLLMANN F, et al. Users' opinions on intensive care unit alarms-a survey of German intensive care units[J]. Anaesth Intensive Care, 2009, 37(1): 112-116.
- [12] BARBARA J D, PATRICIA H, JESSICA K Z, et al. Insights into the problem of alarm fatigue with physiologic monitor devices: a comprehensive observational study of consecutive intensive care unit patients[J]. Plos One, 2014, 9(10): 1-23.

第六届医学工程中欧国际论坛在沪召开

由中国医学装备协会临床工程学分会指导,上海市中西医结合学会医学工程专委会、上海市医院协会医学装备管理专委会、上海市计量测试学会医学专委会主办,深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司公益支持的第六届医学工程中欧国际论坛于2020年10月21日在上海索菲特海仑宾馆召开。论坛由中国医学装备协会临床工程学分会副会长、中国设备管理协会医疗行业分会副会长张坚主持,中国中西医结合学会副会长、上海市中西医结合学会名誉会长王文健致辞,中国医学装备协会临床工程学分会会长、华中科技大学同济医学院附属协和医院副院长张强在线致辞。来自英国、德国、意大利等国家医学工程和临床领域相关专家百余名参加论坛,吸引线上线下观众1 100余名。

本届论坛主题是“智慧医工 融合创新”。上海申康医院发展中心资产监管部主任科员尤健作“医院在疫情应急和常态防控中的物资保障探讨”报告,上海交通大学医学院附属同仁医院后勤保障部部长徐文蔚作“智慧融通 助力临床”报告,山东省立医院医学工程办公室主任郭滨作“医疗机构医用耗材精益化管理”报告,匹兹堡大学医学中心意大利区首席信息官Emilio Marmioli作“匹兹堡大学医学中心意大利集团医疗平台聚焦医疗设备供应链”报告,英格兰国家卫生服务局和改善国民保健服务健康科学研究员Anna Stec作“英国数据驱动的智能化管理”报告,柏林洪堡大学附属Charite医院肾内科与重症监护科主任Klemens Budde作“肾内科的电子健康和远程医疗”报告。

本届论坛继承以往贴近前沿、专业务实的精神气质,基本覆盖了全欧洲的高端资源,国际影响力和参与度在进一步扩大。相信经各方持续深耕,该论坛将成为代表中国医工的世界交流品牌活动。

(本刊讯)