

“超高清医用显示器技术规范”国家行业标准制定及显示视觉健康防护研究

邱学军^{1,2}, 张小元³, 高嵩⁴, 钱志余⁵, 卢洁⁶, 宋红欣⁷, 林燕丹⁸, 郑惠娜³, 卢广文⁹, 唐斌^{1,2}, 张磊^{1,2}, 王连云¹

1. 视觉与听觉健康产业技术创新联盟, 北京 100036; 2. 惠仁康宁(苏州)健康科技有限公司, 江苏 苏州 215300; 3. 南京巨鲨显示科技有限公司, 江苏 南京 210029; 4. 北京大学医学技术研究院, 北京 100191; 5. 南京航空航天大学生物医学工程系, 江苏 南京 210016; 6. 首都医科大学宣武医院放射科, 北京 100053; 7. 首都医科大学附属北京同仁医院眼科医学视光中心, 北京 100176; 8. 复旦大学电光源研究所, 上海 200433; 9. 南方医科大学生物医学工程学院, 广东 广州 510515

【摘要】“超高清医用显示器技术规范”国家行业标准制定研究覆盖当前同类国际国内标准,首次提出在超高清医用显示条件下的高广色域要求和显示视觉健康防护要求,符合当前和未来超高清和医用显示技术的发展和市场需求新要求。该行业标准制定的主要技术内容包括:在超高清技术条件下,新的医用显示器技术性能要求(如超高清分辨率、高亮度、高对比度、高广色域、灰阶、DICOM医学图像画质要求、均匀性、一致性和人眼显示视觉健康防护要求),以及相应的测试方法等。本次国家行业标准制定及显示视觉健康防护研究,将为促进我国(超高清)医用显示器产业技术的快速健康发展和保障临床诊疗医生、物理师和技师的职业用眼健康,奠定良好的技术标准与法规基础。

【关键词】超高清;医用显示器;技术规范;行业标准;显示视觉健康防护

【中图分类号】R318;G307

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)02-0193-05

National industry standard formulation of Technical Specification for Ultra High Definition Medical Displays involving visual health protection

QIU Xuejun^{1,2}, ZHANG Xiaoyuan³, GAO Song⁴, QIAN Zhiyu⁵, LU Jie⁶, SONG Hongxin⁷, LIN Yandan⁸, ZHENG Huina³, LU Guangwen⁹, TANG Bin^{1,2}, ZHANG Lei^{1,2}, WANG Lianyun¹

1. National Visual and Auditory Health Industry Technology Innovation Alliance, Beijing 100036, China; 2. Huiren Corning (Suzhou) Health Technology Co., Ltd, Suzhou 215300, China; 3. Nanjing Jusha Display Technology Co., Ltd, Nanjing 210029, China; 4. Institute of Medical Technology, Peking University, Beijing 100191, China; 5. Department of Biomedical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 6. Department of Radiology, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China; 7. Medical Optometry Center, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100176, China; 8. Institute for Electric Light Sources, Fudan University, Shanghai 200433, China; 9. School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

Abstract: The research on Technical Specification for Ultra High Definition Medical Displays covers current similar international standards, and firstly puts forward the requirements of high wide-color-gamut and visual health protection for ultra high definition medical displays, which meets the new requirements of the development and market application of current and future ultra high definition medical display technologies. The main technical contents of the industry standard include the technical performance requirements under the condition of ultrahigh definition (such as ultrahigh resolution, high brightness or luminance, high contrast, high wide-color-gamut, grayscale, DICOM medical image quality requirements, consistency, uniformity and visual health protection) and the corresponding test methods. The establishment of the national industry standard and the research on display visual health protection will lay a good technical standard and legal foundation for promoting the rapid and healthy development of China's (ultra high definition) medical display industrial technology and ensuring the occupational eye health of clinical doctors, physicists and technicians.

Keywords: ultra high definition; medical display; technical specification; industry standard; display visual health protection

【收稿日期】2021-01-15

【基金项目】国家行业标准制定计划项目(2019-1105T-SJ)

【作者简介】邱学军,教授,主要研究方向:医学影像引导放疗技术及3DTPS、多模态医学影像融合处理,以及“超高清医用显示器技术规范”国家行业标准制定和显示视觉健康防护研究等, E-mail: xj7628@163.com

背景

医用显示器是目前所有医学影像诊断与治疗系统、远程会诊、医用机器人,以及医院信息化及医疗质量控制等极为重要的支撑性基础显示单元设备或部件之一,比普通民用显示器具有亮度、对比度高和稳定性、一致性好的特点,日常使用量很大。近几年来,超高清[4K(3 840×2 160, 8M)、8K(7 680×4 320, 32M)等]显示技术正在快速发展,而且各国包括我国都已把超高清显示产业技术列为重大战略新兴产业技术予以重点支持发展,并在各行业(包括医疗健康行业)领域得到快速的应用和发展^[1-7],医用显示器技术也在不断发展和迭代中,过去一些基于CRT、高清及全高清的技术规范标准已经不适应新的技术要求。

超高清显示的体验不仅是人眼视觉对色彩逼真的体验,而且带来更高的影像显示清晰度,以及亮度、对比度和定位测量等一系列关键技术性能质量的提升,这更加有利于医生、物理师及放射技师对疾病影像做出更清晰正确的判断,提高阅片诊断工作效率和影像诊疗精度。目前,超高清医用显示器作为一种新型显示器产品,已逐步广泛应用于医院医用显示诊断与治疗、远程会诊、手术直播与教学培训等应用场景。另外多模态影像同屏非压缩高分辨率显示与分屏对照分析诊断已经越来越成为超高清医用显示器技术的一大优势,也深受医生、物理师及放射技师的欢迎^[6-7]。超高清医用显示技术必将改变现代数字诊疗技术及工程应用的面貌,促进我国医疗健康领域的升级发展。

根据工信部等发布的《超高清视频产业发展行动计划(2019-2022年)》^[1],到2022年及后续3~5年,各类超高清4K以上显示器将占据主导地位(预计约占90%以上),其他低分辨率显示器已经变得较少或者难以购买,可能技术维护是原因之一。因此必须尽早面向超高清显示技术市场来布局发展,顺势而为。

目前为止国内尚没有统一的医用显示器临床技术与应用评价标准。标准的缺失不利于产品研发及用户采购招标使用,急需制定相关技术标准。为了进一步推动医用显示器技术的发展和规范标准化应用,无论从技术发展角度,还是从市场应用角度,都非常需要以及有必要研究制定在超高清技术背景条件下的医用显示器技术规范及其测试方法这一国内行业标准^[2,6-7]。此外,当前电子显示与人眼的视觉健康问题也越来越受重视,长时间、近距离、高亮度、高对比度观视医用显示器也会影响人眼的视觉健康,因此研究制定新的超高清医用显示器符合人眼显示视觉健康防护要求和相应的测试方法也是很有必要的^[6-7]。

1 “超高清医用显示器技术规范”国家行业标准制定研究

1.1 本行业标准立项审批与工作组启动

2019年5月16日惠仁康宁(苏州)健康科技有限公司邱学军教授在中国电子学会生命电子学分会、中国生物医学工程学会医学物理分会支持下,联合中国电子技术标准化研究院数字技术研究中心、中关村视界裸眼立体信息产业联盟、北大医学部医学技术研究院和医用显示器企业等单位及专家,向工信部和国家音视频及多媒体系统与设备标准化技术委员会(SAC/TC242)提交“超高清医用显示器技术规范”国家行业标准立项建议书和相关说明。2019年9月11日由惠仁康宁邱学军教授、北京大学医学部高嵩教授代表行标立项建议组,参加并通过工信部科技司、电子信息司组织的2019年第三批超高清视频国家/行业标准立项评审会专家答辩。2019年11月17日新组建的国家视觉与听觉健康产业技术创新联盟及中国医疗器械行业协会视觉与听觉健康产业技术分会,联合相关学会/协会提出重点支持“超高清医用显示器技术规范”行业标准制定研究及产业化推进研究。2019年12月11日工信部发布2019第三批行业标准制修订项目审批通过正式立项通知^[2],其中包括:2019-1105T-SJ“超高清医用显示器技术规范”行业标准推荐制定,该行业标准由工信部电子信息司和全国音频、视频及多媒体系统与设备标准化技术委员会(SAC/TC242)归口。

超高清医用显示器是基于国家超高清视频及商用显示技术发展的一个(医疗健康)行业应用,是整个国家超高清视频显示产业和标准体系中的一个重要应用领域^[3],也是当前基于民用超高清显示技术来发展医用显示技术并满足医学图像诊疗要求的必然发展趋势。

2020年7月20日克服疫情影响,SAC/TC242标委会“超高清医用显示器技术规范”行业标准工作组正式批准成立。2020年7月24日下午召开“超高清医用显示器技术规范”行业标准工作组视频会议。2020年8月1日在上海首届《中国视听健康产业技术创新发展论坛》上,“超高清医用显示器技术规范”国家行业标准制定及工作组宣布正式启动。本行业标准制定研究参加单位共45家,其中:学会/协会/联盟机构7家,企业21家,院校研究机构(含医院)17家,共51名专家参加行标制定工作,包括组长:邱学军;副组长:范科峰、高嵩、钱志余、卢洁、宋红欣、张小元、张志刚、高维嵩、黄卫东;指导专家:李坤成、蔡葵、康雁、鲜军舫、李真林、吕发金、林燕丹、周智峰等;日常起草组:张磊(事务协调)、张小元、郑惠娜等

20 多名企业及院校专家;秘书组:赵晓莺(标委会指导)、唐斌(负责)、王连云等。

1.2 与现有同类国际国内标准对比分析

本标准研究制定参考了国内行业标准 SJ/T11292 计算机用液晶显示器通用规范和 YY/T 0910.1(等同转换 IEC62563-1), 国际标准 IEC62563-1/-2:Medical electrical equipment-Medical image display systems-Part 1: Evaluation methods、AAPM TG18: Assessment of display performance for medical imaging systems、AAPMTG270:Display quality assurance 等^[8-13], 并覆盖上述标准对医用显示器的主要技术规范要求, 同时在适用范围(涉及桌面、大屏、移动等平台医用显示器产品)、技术性能与功能及法规要求方面, 提出在超高清显示技术条件下医用显示器新的技术性能参数的表达及测试方法, 如有关超高清显示分辨率($\geq 4K$)、亮度($\geq 500\text{ cd/m}^2$)、高广色域(100% NTSC 左右)和防蓝光辐射等显示视觉健康防护技术要求, 以及黑白彩色转换、互联、触摸、医用显示接口功能和环保要求^[6-7]。

1.3 本行业标准制定大纲目录及内容发布

本行业标准制定大纲目录包括^[6-7]:

前言

1 范围

2 规范性引用文件

3 术语

4 要求

4.1 外观

4.2 安全

4.3 电磁兼容

4.4 能源效率

4.5 限用物质要求

4.6 功能

4.7 环境适应性

4.8 环境光照射度

4.9 显示视觉健康防护

4.10 性能

5 试验方法

5.1 试验环境条件

5.2 外观

5.3 安全试验

5.4 电磁兼容

5.5 能源效率

5.6 限用物质检测

5.7 功能及接口测试

5.8 环境试验

5.9 环境光照射度

5.10 显示视觉健康防护

5.11 性能试验

5.11.1 超高清分辨率

5.11.2 刷新率

5.11.3 尺寸

5.11.4 色域覆盖率

5.11.5 色彩一致性

5.11.6 色差

5.11.7 色彩位深

5.11.8 最大校准亮度 L_{max}

5.11.9 最小校准亮度 L_{min}

5.11.10 亮度比 LR

5.11.11 环境光比 AR

5.11.12 可视角度

5.11.13 GSDF 亮度响应偏差

5.11.14 亮度均匀性偏差 LUDM

5.11.15 灰阶色度偏差

5.11.16 灰阶色度均匀性偏差

5.11.17 图像质量

5.11.17.1 图像整体质量测试

5.11.17.2 反射测试

6 质量评定程序

6.1 一般规定

6.2 检验分类

6.3 定型检验

6.4 逐批检验

附录 A

附录 B

参考文献

上述标准编制讨论、征求意见、专家评审、送审审批和发布具体流程, 将按照国家行业标准制定规定程序实施推进, 预计将在 2021 年 6 月前后正式发布该行业标准稿。期间将不定期举办行业标准制定研究学术研讨会, 汇总专家意见, 充实标准编制内容, 以期使本行业标准制定研究达到既先进又适用的目的。

2 显示视觉健康防护研究与评价模型

显示视觉健康防护研究是上述“超高清医用显示器技术规范”国家行业标准大纲目录的特色创新内容之一^[6-7], 它是人类免受或少受电子显示设备光辐射危害的一门综合性边缘学科, 其基本任务是保护使用电子显示设备的人员、公众的健康与安全。健康包括身体健康、心理健康等。显示视觉健康防护研究的主要内容包括: 面向显示屏人眼观视的直接影响危害视网

膜和干扰视觉脑功能区等的光辐射和神经诱导的辐射剂量学,以及防护标准、技术、评价和管理等。很显然,显示视觉健康防护研究属于非电离辐射(声、光、电、热、磁等辐射)防护研究范畴,是健康(或保健)物理学的一个重要研究分支。医学物理学中也包含有健康(或保健)物理学科(主要涉及电离辐射和非电离辐射防护研究)^[14-18]。

超高清医用显示器,比以往医用显示器和普通民用显示器在分辨率、色域、亮度、对比度等方面的技术参数可能要高很多。医生、物理师及放射技师面临的超高清医用显示器的观视应用场景其特点是在长时间(每天至少4 h,通常要考虑6~8 h阅片操作诊疗时间)、近距离(离桌面显示屏约50 cm)、高亮度和高对比度条件下观视阅片或影像诊疗计划操作,因此理应要考虑评价研究这种长时间观视屏幕对人眼视网膜等可能产生的健康影响和危害程度。

目前针对(超高清)医用显示器的显示视觉健康防护研究内容尚为空白,也没有针对显示器的光辐射生物安全性评价标准可以参考。目前只有相近的基于LED照明灯和灯系统的国际/国家标准可以参考,也即CIE S 009:2002(GB/T 20145-2006)/IEC 62471:2006/IEC TR 62778:2014等标准^[19-21]。

IEC标准体系中涉及照明产品光生物危害的基础标准是IEC 62471标准,由于LED照明产品涉及LED的芯片、封装、模组及灯具等产品链,如果在各产品阶段都对LED照明产品进行人眼视网膜蓝光辐射危害评价,那将带来很多重复性的工作,也不必要,为此IEC技术委员会推出了新的技术报告IEC/TR 62778:2014,其目的是简化应用IEC 62471标准对LED光源及灯具的蓝光辐射危害进行评价。

人眼视网膜在长期蓝光辐射照射下会产生光化学损伤,形成光生物安全性伤害,这须避免或进行限制。CIE S 009:2002/IEC 62471:2006/IEC TR 62778:2014等国际标准,规定了基于LED照明灯具的蓝光辐射危害限值,即如式(1)、式(2)所示的测试计算限值:

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot \Delta t \leq 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}, \quad (t \leq 10^4 \text{ s}) \quad (1)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}, \quad (t > 10^4 \text{ s}) \quad (2)$$

式中,光源的光谱辐亮度 L_B ; $L_\lambda(\lambda, t)$ 为光谱辐射亮度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$; $B(\lambda)$ 为蓝光危害光谱加权函数; $\Delta\lambda$ 为波长间隔,单位为 nm ; t 为辐射持续时间,单位为 s 。根据上述计算公式,可得出蓝光辐射危害风险等级[含豁免(RG0)、低度危险(RG1)、中度危险(RG2)]

限值表,通过对医用显示器测试结果计算,与危害风险等级限值表对比,可对该显示器危害等级进行评价。

需要提醒关注的是:(1)CIE S 009:2002/IEC 62471:2006/IEC TR 62778:2014等国际标准,主要是面向照明灯具的光辐射生物安全性评价标准,还没有考虑医用显示器观视这一应用场景,直接引用还是有一些不确切之处,当然这需要后续进一步的创新开拓性研究和案例测试数据的支持;期望本行业标准工作组在医工结合、“产学研医检”结合专家合作机制下,尽快研究推出真正面向(超高清)医用显示器的显示视觉健康防护研究成果(包括相对科学的评价建模方法),并纳入到本次国家行业标准中,真正起到保障医务人员身心健康的实际作用。(2)早在2010年和2012年开始,邱学军曾两次主持承担北京市科委专项课题和国家科技支撑计划课题研究^[22-24],课题组参加单位多达8个,专家多达51名,主要研究立体电视机等3D立体视觉舒适度与健康评价标准研究,首次在国际国内系统性提出关于(由双目视差或多点视差等物理融合立体影像引起的)立体显示舒适度与健康评价标准的医工结合研究方案,并率先做了基于眼科生理和脑功能检测(MRI/fMRI/EEG/ERP等)的同步3D观视测试研究,先后有788例被试者进行试验测量和计算验证,得到了3D立体显示舒适度与健康评价的初步算法与规范性设计方法,取得了良好的测试验证与初步应用^[25-26],尽可能减少(由双目视差或多点视差等物理融合立体影像引起的)观视头晕不适等现象。但是并没有对2D/3D显示屏阵列背光光源的光辐射生物安全性深入评价研究。而本次超高清医用显示器行业标准研究,是针对2D平面的超高清医用显示器(LED阵列背光源下的LCD屏在高亮度、高对比度下)的光辐射生物安全性进行评价研究,与3D立体显示舒适度评价侧重有所不同。未来将适时对3D立体显示器进行类似的光辐射危害防护健康评价研究,而其测试计算方法改进和特别注意事项等与本文前述基本一致。

3 研究建议

通过本次“超高清医用显示器技术规范”国家行业标准制定研究工作,形成有价值的基本建议如下:(1)应联合在国际国内具有优势的医学影像诊断与治疗、医用显示器设计制造、眼视光、光辐射生物安全、脑电检测和脑功能分子成像多模态分析、超高清视频与显示标准化研究等单位及相关专家,建立我国具有创新特色的超高清医用显示器技术与应用标准体系,尽快推出符合本行业标准和规模化研发生产要求的不同应用平台的超高清医用显示器关键设

备与部件,加快产业化推广应用。通过医疗机构临床应用,建立起超高清医用显示器临床使用与质量控制规范。(2)整合学会/协会/联盟的力量,加快研究形成具有我国医工结合、“产学研医检”跨部门多学科结合特色的“超高清医用显示器技术规范”行业标准制定专家研究团队。(3)组建基于本行业标准的第三方标准计量与检验认证试验室平台,为开展基于该行业标准的超高清医用显示器产品及显示视觉健康防护等性能质量检测服务,保障我国超高清医用显示器基本质量要求和医学影像诊疗工作者的职业视觉健康防护要求,稳定发展超高清医用显示器产业链和供应链,取得较好的社会经济效益。

致谢:感谢支持本次行业标准制定研究的单位及专家,包括工信部电子信息司、科技司和中国电子技术标准化研究院及SAC/TC242标委会,以及国家视觉与听觉健康产业技术创新联盟及中国医疗器械行业协会视觉与听觉健康产业技术分会、中国电子学会生命电子学分会、中国生物医学工程学会医学物理分会和中国电子视像行业协会立体视像分会及其有关专家的支持,特别是SAC/TC242标委会标准专家范科峰主任、赵晓莺副秘书长,和国内医用显示器领军企业巨鲨王卫高工和国内大型工业显示企业京东方科技张志刚研究员、海信集团高维嵩高工、TCL华星光电黄卫东高工及高翔经理等企业专家的大力支持。

【参考文献】

- [1] 工信部联电子(2019)56号:超高清视频产业发展行动计划(2019-2022年)[R]. 2019-02.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China (2019) No.56: ultra high definition video industry development action plan (2019-2022) [R]. 2019-02.
- [2] 工信厅科函(2019)245号:工信部办公厅关于印发2019年第三批行业标准制修订项目计划通知[EB/OL]. <https://www.miit.gov.cn/search/index.html>. 2019-12-11.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China (2019) No.245: notice of the General Office of the Ministry of Industry and Information Technology on the issuance of the third batch of industrial standard formulation and revision project plan in 2019 [EB/OL]. <https://www.miit.gov.cn/search/index.html>. 2019-12-11.
- [3] 工信部联科(2020)71号:超高清视频标准体系建设指南(2020版)[R]. 2020-05-06.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China (2020) No.71: ultra high definition video construction guide (2020 edition) [R]. 2020-05-06.
- [4] BAUMGARTNER J. Make way for the 8K display[J]. Broadcasting & Cable, 2018, 148(2): 20.
- [5] CARELESS J. 4K/UHD to headline SMPTE 2013[J]. TV Technology, 2013, 31(22): 12-14.
- [6] 邱学军.“超高清医用显示器技术规范”国家行业标准制定研究进展[C]//2020中国生物医学工程学会40周年纪念大会暨创新医疗峰会:“医学物理创新发展”分论坛报告. 2020-11-21.
QIU X J. Research progress on national industry standard formulation of "technical specifications for ultra high definition medical displays" [C]//Report of the sub-forum on "Innovative Development in Medical Physics" at the 40th Anniversary Conference and Innovative Medical Summit of China Society of Biomedical Engineering. 2020-11-21.
- [7] QIU X J. Research on the industry standard project for UHD medical display device[C]//Workshop on Medical Imaging & Processing, 2019 International Conference on Medical Imaging Physics and Engineering (ICMIPE2019). 2019.
- [8] SJ/T 11292: 2016 计算机用液晶显示器通用规范[S]. 2016.
SJ/T 11292: 2016 general specification for liquid crystal display devices of computer [S]. 2016.
- [9] IEC 61747-3: 2006: liquid crystal display devices Part 3: liquid crystal display (LCD) cells-Sectional specification[S]. 2006.
- [10] IEC 62563-1: 2009 medical electrical equipment-medical image display systems-Part 1: evaluation methods[S]. 2009.
- [11] IEC 62563-2: 2016 medical electrical equipment-medical image display systems-Part 1: evaluation methods[S]. 2016.
- [12] AAPM TG18: assessment of display performance for medical imaging systems[S]. 2005.
- [13] AAPM TG270: display quality assurance[S]. 2019.
- [14] 胡逸民. 中国医学物理学的过去、现在与未来[J]. 物理, 2007, 36(1): 54-57.
HU Y M. The past, present and future of medical physics in China[J]. Physics, 2007, 36(1): 54-57.
- [15] 包尚联, 唐孝威. 医学物理研究进展[J]. 自然科学进展, 2001, 16(1): 7-13.
BAO S L, TANG X W. Advances in medical physics research[J]. Progress in Natural Science, 2001, 16(1): 7-13.
- [16] HOGSTROM K R, HORTON J L, CAROLYN K S. Introduction to the professional aspects of medical physics[J]. Med Phys, 1999, 26(12): 2711.
- [17] 郭秋菊. 保健物理学简介[J]. 物理, 2008, 37(5): 307-309.
GUO Q J. Introduction to health physics[J]. Physics, 2008, 37(5): 307-309.
- [18] JOHNSON T E. Introduction to health physics [M]. 5th ed. McGraw: Hill Education, 2017.
- [19] CIE S 009/E: 2002, photobiological safety of lamps and lamp systems [S]. Vienna: CIE, 2002.
- [20] CIE/IEC 62471: 2006, photobiological safety of lamps and lamp systems[S]. Switzerland: IEC, 2006.
- [21] IEC TR 62778: 2014, application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires[S]. 2014.
- [22] 邱学军, 徐亮, 王立志, 等. 基于眼科生理和脑功能检测的立体图像视觉舒适度与健康评价标准研究[R]. 2015-06.
QIU X J, XU L, WANG L Z, et al. Research on visual comfort and health evaluation standard of stereoscopic image based on ophthalmic physiology and brain function detection[R]. 2015-06.
- [23] 邱学军, 徐亮, 郑兆红, 等. 立体显示技术的舒适度与健康评价研究[R]. 2013-02.
QIU X J, XU L, ZHENG Z H, et al. Research on the comfort and health evaluation of stereoscopic display technology[R]. 2013-02.
- [24] 邱学军, 徐亮, 郑兆红, 等. 影响国际国内3D技术产业发展及其各行业应用的3D健康标准研究概述[J]. 世界医疗器械杂志, 2012, 18(1): 52-56.
QIU X J, XU L, ZHENG Z H, et al. Overview of research on 3D health standards affecting the development and application of 3D technology industry at home and abroad[J]. International Medical Devices, 2012, 18(1): 52-56.
- [25] LI Z, JIE R, LIANG X, et al. Visual comfort and fatigue when watching three-dimensional displays as measured by eye movement Analysis[J]. Br J Ophthalmol, 2013, 97(7): 941-942.
- [26] 刘永, 张莉, 马竞锋, 等. 基于fMRI的立体视觉数据分析辅助诊断系统[J]. 中国医疗器械信息, 2015(7): 66-70.
LIU Y, ZHANG L, MA J F, et al. A stereovision data analysis aided diagnoses system based on fMRI [J]. China Medical Device Information, 2015(7): 66-70.

(编辑:陈丽霞)