

· 技术与方法 ·

人眼追踪远距离裸眼立体视觉检测系统的研制和测试

曹利群, 李鸣皋, 王元庆, 高原, 沈克强

[摘要] **目的** 应用人眼追踪技术研制裸眼随机点立体视觉检查系统(glasses-free random dot stereo-test-system, GFRDSS),检测正常视力男性青年的5 m距离立体视锐度。**方法** 在不同照度环境下检测230名正常视力、正常眼位男性青年的立体视锐度。观察组采用GFRDSS检测方法;对照组采用Distance Randot(DR)检测方法。**结果** GFRDSS可以检测视差范围40"~800"的5 m远距离立体视锐度。100~300 cd/m²照度下,与对照组[41.3%(95/230)]比较,观察组有83.91%(193/230)受检者立体视锐度达到正常水平(40"~60"),差异有统计学意义($Z=-9.569, P<0.05$)。350~600 cd/m²照度下,与对照组[75.22%(173/230)]比较,观察组有84.78%(195/230)受检者立体视锐度达到60",差异有统计学意义($Z=-4.048, P<0.05$)。**结论** 采用人眼追踪技术GFRDSS可以实现5 m距离无辅助立体视锐度检测,正常人群测试结果显示GFRDSS敏感性高于DR,且可以有效避免环境照度对检测的干扰。

[关键词] 立体视觉检查;随机点立体视觉检查图;自由立体显示器;人眼追踪

[中图分类号] R770.42 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2095-3097(2020)05-0299-04

doi: 10.3969/j.issn.2095-3097.2020.05.011

Evaluating stereo-acuity with distance glasses-free random dot stereo-test system via eye tracking method

CAO Liqun¹, LI Minggao², WANG Yuanqing³, GAO Yuan⁴, SHEN Keqiang⁵

(1. Ophthalmology Medical Center. Chinese PLA general hospital, Beijing 100048, China;

2. Aviation and Nautical Medical Center, the Sixth Medical Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100048, China; 3. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University,

Nanjing Jiangsu 210046, China; 4. Naval Specialty Medical Center, Shanghai 200052, China;

5. Beijing Jiachengshixin Digital Medical Technology Co., Ltd, Beijing 100089, China)

[Abstract] **Objective** To utilize eye tracking technology to develop a distance glasses-free random dot stereo-test system (GFRDSS) applying eyes detection and location method, and estimate the stereo-acuity of young men with normal vision from 5 meters distance. **Methods** A novel distance stereotest (GFRDSS) was proposed, which was constructed by a glasses-free autostereoscopic display and a corresponding 5 m-distance stereotest software. The distance stereo-acuity of 230 young men with normal vision was estimated by GFRDSS (experiment group) and Distance Randot (DR) stereotest (control group) under different illumination conditions. **Results** GFRDSS could estimate stereo-acuity from 5 m, with disparity levels from 40" to 800". Under the illumination of 100~300 cd/m², 193 subjects (83.91%) showed fine distance stereovision (40"~60") by GFRDSS, while 95 subjects (41.3%) by DR. The difference between them was statistically significant ($Z=-9.569, P<0.05$). Under the illumination of 350~600 cd/m², 195 subjects (84.78%) showed fine distance stereo-acuity detected by GFRDSS, and the result of DR was 173 subjects (75.22%). The difference between them was still statistically significant ($Z=-4.048, P<0.05$). **Conclusion** The novel GFRDSS via eye tracking method could realize the test for 5 m-distance glasses-free stereo-acuity. Its sensitivity is proved to be higher than that of DR by results from normal young men. In addition, the interference of environmental illumination to stereotest can be effectively avoided by GFRDSS.

[Key words] Stereotest; Random dot stereogram; Autostereoscopic display; Eyes tracking

[基金项目] 全军重大专项基金(AHJ2011Z001)

[作者单位] 100048 北京,中国人民解放军总医院眼科医学部(曹利群);100048 北京,中国人民解放军总医院第六医学中心空潜科(李鸣皋);210046 江苏 南京,南京大学电子科学与工程学院(王元庆);200052 上海,海军特色医学中心(高原);100089 北京,北京嘉诚视欣数字医疗技术有限公司(沈克强)

[通讯作者] 李鸣皋, E-mail: liminggao6899@163.com

立体视觉可以分为近距离(阅读距离)和远距离立体视觉。近距离立体视觉检测主要用于筛查斜视、弱视患者和评价双眼视功能^[1-2],远距离立体视觉对于飞行员、驾驶员、运动员等职业人群尤为重要,还可用于评价间歇性外斜视患者的病变程度和疗效^[3]。

目前眼科临床检测远距离立体视觉多采用同视机、Distance Randot (DR)^[4]及 Frisby-Davis 2 (FD2)^[5]等方法。同视机不能实现便携,双眼视野被机械阻隔,与双眼视觉自然状态有一定差异^[6];DR检查时需要佩戴偏振光眼镜;FD2和DR每个视差级别仅有1~2张检查图易于记忆,这些因素都可能影响检查结果的准确性。近年来有研究应用3D显示技术实现计算机立体视觉检查,但受检者仍需佩戴偏振光^[7]或液晶开关眼镜^[8]。Kim等^[9]用覆盖光栅膜的显示器实现裸眼立体视觉检测,但只能在特定位置感知立体效果。本研究在研制第3代《立体视觉检查图》的基础上开发相应软件,与南京大学合作研制人眼跟踪式自由立体显示器,拟研发和测试5 m观看距离的裸眼随机点立体视觉检查系统(glasses-free random dot stereotests system, GFRDSS),以实现无辅助远距离立体视觉检查。

1 材料与方法

1.1 硬件配置和系统设计

1.1.1 开发环境 硬件配置 Intel Core i7-4720HQ CPU,英伟达 GTX970 显卡,系统采用 window 7, C++ 语言开发。

1.1.2 裸眼立体视窗 设计采用人眼跟踪式空分双视图视差立体显示方式设计视窗。人眼跟踪模块实现受检者双眼定位及追踪^[10],根据双眼定位点亮可寻址 LED 阵列光源中对应位置的 LED 灯,通过指向性光学模块和 23.8 in 4K LCD 显示屏(ViewSonic, VS16024)发出 2 束宽约 40 mm 的定向出瞳光^[11],以分时模式将 2 幅视差立体图对分别投射到受检者双眼,呈现高清晰度立体图^[12]。视窗经“国家平板显示工程技术研究中心”测评:有效像素 3840×2160,立体模式亮度 301 cd/m²,平面模式亮度 304 cd/m²。

1.1.3 立体视觉检测 软件开发系统采用 23.8 in 裸眼立体视窗为受检者提供立体图形,19 in 液晶显示器为检查者提供系统运行控制界面。应用 Adobe Photoshop CS5 在第 3 代《立体视觉检查图》基础上设计随机点立体图对(Random dot Stereograms, RDS),设定 800"、400"、200"、100"、60"、40"共 6 个视差级别,每级别设计 10 对不同检查图。图形直径(长径)30 cm,按照易辨认图形(如:正方形、圆形、三角形等)、阿拉伯数字、大写英文字母等设计。

1.2 检测对象 参与海军招飞全面体检的健康男性青年 230 名,年龄 17~20 岁,纳入标准:①无影响视功能的眼部疾病和眼科手术史;②双眼裸眼视力均不低于 0.8;③眼科裂隙灯和眼底检查无显著异常;④经角膜映光法、交替遮盖、单眼遮与不遮检测双眼眼位为正位。排除标准:①测试过程中要求退出者;②测试过程中出现明显眼痛、眼胀、眩晕、头痛及视物模糊等不适症状者。

1.3 检测方法 通过人工照明调整室内照度,230 名受检者分别在室内照度 100~300 cd/m²和 350~600 cd/m²条件下采用 GFRDSS 和 DR 检测立体视锐度,两种环境照度和两种检查方法顺序随机排列,间隔时间均不低于 5 min,记录每位受检者能分辨的最小视差为其立体视锐度。完成测试后报告检查期间是否存在眼部及全身不适感。

1.3.1 GFRDSS 检查方法 检查距离 5 m,启动检查程序,开启人眼跟踪程序,确定受检者双眼被正确追踪,登记受检者一般资料后进入立体视觉定量检查程序,按视差由大到小的顺序依次检查,每个视差级别检查图随机出现,每级别最多提供 3 张不同检查图,正确识别至少一张检查图即可通过。

1.3.2 DR 检查方法 检查距离 3 m,受检者佩戴偏振光眼镜,按视差级别由大到小的顺序(400"、200"、100"、60")依次描述图中立体图形。每级别 2 张图中正确识别一张即可通过。

1.3.3 环境照度的检测 将照度计 digital light meter (TES-1330A,泰仕电子工业有限公司 TES electrical electronic corp.,中国台北)置于立体视窗或 DR 检查图所在位置,读取环境照度值。

1.4 统计学处理 采用 SPSS 18.0 统计学软件,将受检者立体视锐度分为:≥400"、200"、100"、60"~40"共 4 个级别,组间比较采用配对资料的 Wilcoxon 符号秩和检验(Wilcoxon signed-rank test)统计结果, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

230 名受检者顺利完成测试,诉实验过程中均无明显眼部及全身不适感;GFRDSS 在 5 m 距离呈现稳定清晰立体效果,检测时受检者左右前后头部活动不影响立体感知;DR 图形较暗,有时图片出现反光干扰对立体图形的观察。

2.1 在 100~300 cd/m²照度环境中组间测试结果比较 99 位受检者(43.0%)两种方法测定的结果一致。与对照组[41.3%(95/230)]比较,观察组有 83.91%(193/230)受检者立体视锐度达到正常水平(40"~60"),差异有统计学意义($Z = -9.569, P < 0.05$),表 1。

表1 在照度 100~300 cd/m²环境中应用 GFRDSS 和 DRS 检测立体视锐度结果

DR	GFRDSS				总计
	40"~60"	100"	200"	≥400"	
40"~60"	90	5	0	0	95
100"	59	7	2	0	68
200"	19	5	1	0	25
≥400"	25	11	5	1	42
总计	193	28	8	1	230

2.2 在 350~600 cd/m²照度环境中两组测试结果比较 350~600 cd/m²照度下,与对照组[75.22%(173/230)]比较,观察组有84.78%(195/230)受检者立体视锐度达到60",差异有统计学意义($Z = -4.048, P < 0.05$),表2。

表2 在照度 350~600 cd/m²环境中应用 GFRDSS 和 DRS 检测立体视锐度结果

DR	GFRDSS				总计
	40" to 60"	100"	200"	≥400"	
40"~60"	162	10	1	0	173
100"	24	13	2	0	39
200"	6	2	1	0	9
≥400"	3	3	3	0	9
总计	195	28	7	0	230

2.3 不同环境照度下测定结果比较 分别比较两种方法在不同环境照度下测定结果的差异,结果显示 GFRDSS 在两种环境下的结果无显著性差异($Z = -1.387, P > 0.05$);DR 在两种条件下检查结果差异有统计学意义($Z = -9.589, P < 0.05$)。

3 讨论

立体视觉检查不仅是眼科临床检查双眼视觉的重要方法,在特殊职业筛查,特别是军事医学领域中也有重要应用价值。最初的立体视觉检查方法——深径觉计就用于军队飞行员的立体视觉检查^[13]。对于驾驶员和飞行员远距离立体视觉比近距离立体视觉更为重要。我国军队驾驶员体检标准要求立体视锐度至少达到60",检查时通常采用颜氏图等近距离检查方法。日本道路安全法规定申请卡车等大型汽车和出租车等运营车辆驾驶执照必须接受三杆实验远立体视觉检查^[14]。美军飞行员选拔体检中要求立体视锐度达到40",推荐采用 Randot 3 环检查或 Titmus 4 环检查,不合格者需要请眼科医生进一步检查排除相关疾病。建议采用的检查方法中 AFVT 通过类似同视机和对比敏感度检查仪的方法检测远立体视觉,而 Randot 和 Titmus 都是近立体视觉检查。

为了满足我军飞行员的远立体视觉检查,本研究在研制颜氏图系列的基础上,应用人眼追踪立体

显示技术结合随机点立体视觉检查方法研制出 GFRDSS,经临床测试实现了5 m 距离无辅助立体视觉检测。采用这种方法受检者不再需要佩戴辅助分离眼镜,可以排除干扰在裸眼自然状态下接受检查。此外,现有无辅助立体视觉检查多采用光栅分光法,受检者只能在特定角度才能实现立体感知^[9,15]。本系统首次在立体检查中采用人眼追踪定位技术,可以主动追随受检者双眼位置将图像定向动态投射至双眼瞳孔,保证立体感知不受观看角度和头部运动的干扰。临床测试结果证实受检者头部晃动时系统的立体图形仍保持稳定清晰。

为了检测 GFRDSS 的有效性,本研究选择同为远距离随机点立体视觉检查方法的 DR 为对照方法检测正常青年男性立体视锐度。GFRDSS 可用于军队飞行学员选拔体检,因此选择参与海军招飞体检的正常男性青年作为检测对象。考虑到前期临床工作中发现阴雨天室内环境较暗时 DR 检出正常立体视觉者的百分率较晴天明显降低,因此分别在较暗环境(100~300 cd/m²)和明亮环境(350~600 cd/m²)下完成检测。结果显示两种照度环境下 GFRDSS 检出立体视觉正常者的百分率均高于 DR,两者差异均有统计学意义。比较两种照度下同一人群同一方法的检测结果,提示环境照度对 GFRDSS 无显著影响,而提高环境照度可以显著提高 DR 检测的敏感性。GFRDSS 采用自发光 LCD 显示屏呈现立体图形,其亮度恒定,而 DR 载体为图卡,图形亮度依赖环境照度,且受检者需要佩戴偏振光眼镜,进一步降低图卡亮度,因此环境照度不足或光线不均匀导致图片反光都会干扰 DR 检测结果。

本研究中 GFRDSS 和 DR 在正常人群中检出立体视觉正常者的百分率低于既往远立体视觉检查结果,如 Fu 等^[16]对新研制的 DR 进行测试时,纳入的23位正常儿童有21位(89%)立体视锐度达到60",21位正常成年人则全部达到这一标准。分析可能存在的原因:①相应观看距离的立体视锐度与视力密切相关,人群远视力为不低于0.8,是否远视力0.8~1.0范围的人群远立体视锐度部分达不到正常标准需要进一步研究;②为保障选飞体检如期完成本研究测试时间有严格限制,每位检测者每种方法限在2 min 内完成,反应时间不足可能影响检测结果;③随机点立体图辨别难度高于图形立体图,本研究受检者没有提示线索辨认随机点立体图形可能错误率较高,下一步可以尝试对辨认错误者提示图形线索,如本图形为大写英文字母、数字、几何图形等,以提高检测准确性。

教学的核心也是以病例为中心的教学法,实习生以主管医生的身份参与MDT讨论,学习各相关专业的知识。研究结果显示将MDT联合Sandwich教学法应用于甲状腺外科临床教学实践中,能充分激发学生的学习积极性,调动学习的主动性,最终提高临床实习的教学效果,值得在临床教学中进一步探索和进行推广。

【参考文献】

[1] 李毅,张雪霞,翁泽滨,等.MDT模式下PBL教学法在乳腺外科临床教学实践的应用和探讨[J].课程教育研究,2019,(34):255-256.

[2] 邹兵兵,余昌俊.多学科诊疗引领模式在胃肠外科临床

教学中的应用探讨[J].安徽医学,2016,37(3):365-367.

[3] 许鹏,邓薇.多学科团队诊疗模式在临床医学教学中的探索及意义[J].肿瘤综合治疗电子杂志,2019,5(3):25-28.

[4] 池添雨,张玫.任务驱动教学法联合Sandwich教学法在消化内科住院医师规范化培训中的应用研究[J].医学研究杂志,2019,48(11):195-197.

[5] 蔡武,龚建平,蒋震,等.PBL联合MDT互动阅片在医学影像学研究生临床教学中的应用[J].中华医学教育探索杂志,2016,15(9):947-950.

[6] 李茂霖,杨桦,马小干,等.浅谈八年制医学生甲状腺外科临床带教体会[J].西北医学教育,2014,22(3):575-577.

(收稿日期:2020-05-06 本文编辑:张在文)

(上接第301页)

本研究采用人眼追踪立体显示技术结合随机点立体视觉检查方法研制出一种全新无辅助计算机远立体视觉检测方法——GFRDSS。经临床测试,受检者可以不需佩戴立体辅助眼镜、不受严格观看角度限制检测5m立体视锐度,检测敏感性高于3m距离的随机点立体视觉检查图DR,且排除了环境照度对检测的干扰,用于军队飞行员选拔体检具有较好前景。

【参考文献】

[1] Moganeswari D,Thomas J,Srinivasan K,et al.Test re-test reliability and validity of different visual acuity and stereoacuity charts used in preschool children[J].J Clin Diagn Res,2015,9(11):NC01-NC5.

[2] Levi DM,Knill DC,Bavelier D.Stereopsis and amblyopia: a mini-review[J].Vision Res,2015,114:17-30.

[3] Holmes JM,Birch EE,Leske DA,et al.New tests of distance stereoacuity and their role in evaluating intermittent exotropia[J].Ophthalmology,2007,114(6):1215-1220.

[4] Wang J,Hatt SR,O'Connor AR,et al.Final version of the Distance RandotStereotest: normative data, reliability, and validity[J].J AAPOS,2010,14(2):142-146.

[5] Holmes JM,Fawcett SL.Testing distance stereoacuity with the Frisby-Davis 2 (FD2) test[J].Am J Ophthalmol,2005,139(1):193-195.

[6] 贾智艳,徐进,王洋洋,等.两种方法测定间歇性外斜视远随机点立体视的差异[J].中国斜视与小儿眼科杂志,2012,20(3):145-147.

[7] Gadia D, Garipoli G, Bonanomi C, et al. Assessing stereo blindness and stereo acuity on digital displays [J]. Displays, 2014, 35(4):206-212.

[8] Wu H, Jin H, Sun Y, et al. Evaluating stereoacuity with 3D shutter glasses technology [J]. BMC Ophthalmol, 2016, 16(1):45.

[9] Kim J, Hong JY, Hong K, et al. Glasses-free randotstereotest [J]. J Biomed Opt, 2015, 20(6):065004.

[10] Jing, Jin, Bin, et al. A face detection and location method based on feature binding [J]. Signal Processing Image Communication, 2015.

[11] Xue YL, Wang YQ, Cao LQ, et al. The backlight control system aimed at reducing crosstalk in autostereoscopic displays [J]. 3D Research, 2014, 5(2):10.

[12] Xue YL, Wang YQ. Multi-user autostereoscopic 2D/3D switchable flat-panel display [J]. J Displ Tech, 2014, 10(9):737-745.

[13] Howard HJ. A test for the judgment of distance [J]. Trans Am Ophthalmol Soc, 1919, 17:195-235.

[14] Matsuo T, Negayama R, Sakata H, et al. Correlation between depth perception by three-rods test and stereoacuity by distance RandotStereotest [J]. Strabismus, 2014, 22(3):133-137.

[15] 曹利群,秦力维,王静,等.光栅立体视觉检查卡在海军招飞体检中的应用[J].中华航空航天医学杂志,2015,26(1):47-50.

[16] Fu VL, Birch EE, Holmes JM. Assessment of a new distance randot stereoacuity test [J]. J AAPOS, 2006, 10(5):419-423.

(收稿日期:2020-03-30 本文编辑:张在文)