

观看三维立体和平面显示视频对视觉功能影响的对比研究

王金炬¹, 廖孟², 唐昂藏², 刘陇黔^{1,2 Δ}

1. 四川大学华西临床医学院眼视光学系(成都610041); 2. 四川大学华西医院眼科(成都610041)

【摘要】 目的 研究三维立体和平面显示视频观看对人眼视觉功能和主观视疲劳症状的影响以及二者之间的差异。方法 26名受试者以随机顺序先后进行裸眼三维立体和平面显示观看。观看前、后均需完成视疲劳主观问卷,并测量双眼视功能参数和脉搏、体温等自主神经反应。结果 裸眼三维立体和平面显示观看后问卷得分均有增加;外隐斜视者隐斜量减小;视近融合范围增大;瞳孔直径缩小。此外三维立体显示观看后还出现单眼调节反应、微波动增加;单/双眼调节灵敏度提高;脉搏减慢;收缩压升高。裸眼三维立体和平面显示相比,差异仅存在于问卷得分和体温。结论 观看裸眼三维立体显示可对人眼视觉功能造成一定影响,但与平面显示相比仅在主观症状等部分参数上存在差异。且观看三维立体显示可能对部分调节参数存在一定积极作用。

【关键词】 视疲劳 三维立体显示 视频终端综合症

Δ Corresponding author, E-mail: b.q15651@hotmail.com

近年来显示技术不断发展,其应用范围迅速扩展,从工作领域延伸到了人们的日常生活的普及,人们对以电脑和智能手机等为代表的各种显示终端(video display terminal, VDT)的依赖程度逐渐加深,暴露时间也大大增加^[1], VDT使用低龄化更使显示视觉健康成为一大研究热点^[2]。近年来针对立体显示技术的国内研究多采用快门、偏振等传统显示设备来实现三维立体显示。这类技术虽然发展较为成熟,但需要配戴辅助眼镜,故而难以消除辅助眼镜对观看者的限制。因此在未来,裸眼三维立体显示、虚拟现实和增强现实等新型立体显示技术更有可能成为主导,其对视觉功能的影响也更具研究价值。因此本试验选取了观看者限制最小也最适于广泛应用的裸眼三维立体显示,通过评估其对观看者视觉功能和主观感受的影响,为立体显示的健康观看提供建议和指导。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究共招募26名受试者,年龄22~24岁。球镜屈光度范围+0.75 D~-6.00 D,柱镜0~-1.50 D,双眼屈光参差 \leq 2.00 D,单眼最佳矫正视力 \geq 1.0。试验前进行常规眼部检查以排除眼部器质性病变和其他异常。受试者在试验前一周内不能观看任何形式的三维立体影像。本研究经四川大学华西医院伦理委员会批准,试验前所有受试者均已签署知情同意书。26例受试者看中共18例外隐斜。内隐斜5例,其中1例测量值超出正常范围,故统计分析时剔除。正位者3例未做讨论。

1.2 试验方法

1.2.1 视疲劳主观评估 采用集合不足型视疲劳问卷(convergence insufficiency symptom survey, CISS)并根据观看内容进行了修改^[3]。问卷包含15条问题,描述了眼部疲劳、酸痛、困乏、复视、视物模糊等视疲劳症状。总评分 \geq 16即可以认为存在视疲劳症状。

1.2.2 试验设备和环境 为还原使用者在家中观看视频的

常见状态,试验在半暗室中进行,采用日光灯照明以保证每次观看的环境亮度一致。试验设备采用市售卓美裸眼三维立体显示一体机(ZM156I01),主要参数:屏幕尺寸15.6英寸,背光类型LED,分辨率1 920 \times 1 080,对比度500:1,显示亮度300 nit。试验中三维立体和平面显示观看均通过该设备在相同环境下进行,以避免使用不同显示器而产生的影响。试验中三维立体和平面显示观看均通过该设备在相同环境下进行,以避免使用不同显示器而产生的影响。矫正眼位由Von Graefe法测量,内隐斜者记录为正,外隐斜者为负。调节反应和微波动采用日本精工WAM-5500型自动验光仪测量,调节灵敏度使用 \pm 2.00 D翻转拍测量,集合近点由推进法(注视视标)测得,立体视锐度由TNO随机点立体图和Frisby立体板测量(将立体视秒数依次赋值^[5])。将立体视秒数依次赋值^[5]。Frisby中立体视锐度5"、10"、20"、40"分别赋值为1、2、3、4, TNO中15"、30"、60"、120"、240"、480"及 $>$ 480"分别为1、2、3、4、5、6、7。其他视功能参数由综合验光仪(NIDEK RT-600)检测。

1.2.3 调节反应和调节微波动 试验使用近视力表作为视标,测量过程中受试者注视最佳矫正视力上一行单个"E"字视标,保持注视连续测量30 s,距离40 cm。取测量中段10 s数据进行计算,均值代表调节反应,标准差为调节微波动。

1.3 试验流程

受试者在观看前填写视疲劳问卷,并测量双眼视功能,包括主观验光、矫正眼位、融合范围、集合近点、调节反应、调节微波动、调节幅度、正/负相对调节(positive/negative relative accommodation, PRA/NRA)、调节灵敏度、瞳孔、立体视锐度、脉搏、血压和体温。完成检查后在屈光全矫状态下开始观看,时间40 min,距离70 cm。观看结束后立即测量调节反应和微波动,填写问卷,并复测双眼视功能。休息15 min后继续观看另一版本视频40 min,观看距离不变^[4]。观看结束后复行上述测量。裸眼三维立体和平面显示依受试者纳入顺序,单数者先观看三维立体显示,双数先观看平面显示。

1.4 统计学方法

各项参数如符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两两比较采用t检验,否则以中位数/四分位间距表示,两两比较采用非参

Δ 通信作者, E-mail: b.q15651@hotmail.com

数检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 视疲劳问卷得分

所有受试者在观看前均无主观视疲劳报告, CISS 问卷得分均低于16分。在观看裸眼三维立体和平面显示后得分均有增加, 且与观看前相比差异均有统计学意义($P < 0.05$)。两种观看条件下的得分增量(三维立体显示: 6.77 ± 5.87 , 平面显示: 3.31 ± 5.29)之间差异也有统计学意义($t = 3.092, P = 0.005$)。

2.2 矫正眼位

观看裸眼三维立体和平面显示后, 受试者视远、视近隐斜量均出现不同程度改变, 总体呈现向正位发展的趋势。其中, 观看前为外隐斜的受试者在观看三维立体和平面显示后, 视近隐斜量与观看前相比差异均有统计学意义($P < 0.05$), 但三维立体和平面显示改变量之间差异并无统计学意义($P > 0.05$)。观看前为内隐斜者的视近隐斜量在三维立体和平面显示观看前后及三维立体和平面显示改变量之间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表1。

2.3 融合范围和集合近点

受试者观看裸眼三维立体和平面显示后模糊点均增大,

视近基底内方(base-in, BI)较观看前差异均有统计学意义, 观看平面显示前后基底外方(base-out, BO)差异有统计学意义($P < 0.05$) (表2)。平面显示视近条件下, 恢复点BO方向较观看前差异有统计学意义($Z = -2.093, P = 0.047$)。其余各条件下差异均无统计学意义($P > 0.05$) (见表3)。集合近点在裸眼三维立体和平面显示观看前后及三维立体和平面显示改变量间差异均无统计学意义($P > 0.05$) (表4)。

2.4 调节反应和调节微波动

受试者调节反应和调节微波动以主导眼计算, 在观看裸眼三维立体显示后均较观看前增加, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。在平面显示观看前后差异无统计学意义($P > 0.05$)。三维立体和平面显示改变量间差异亦无统计学意义($P > 0.05$)。见表5。

2.5 调节幅度和PRA/NRA

单/双眼调节幅度在观看裸眼三维立体和平面显示后总体呈增大趋势, 但与观看前相比差异无统计学意义, 改变量间差异亦无统计学意义($P > 0.05$) (表6)。PRA/NRA在三维立体和平面显示观看后较观看前差异均无统计学意义($P > 0.05$), 改变量间差异亦无统计学意义($P > 0.05$), 见表7。

2.6 调节灵敏度

单/双眼调节灵敏度在观看三维立体和平面显示后增

表1 裸眼三维立体和平面显示观看前后视近隐斜量比较($\bar{x} \pm s$, 隐斜量 $^{\circ}$)

受试者	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t	P
外隐斜	-8.39±5.04	-5.72±4.28	-3.463	0.003	-8.39±5.04	-5.33±5.51	-3.495	0.003	2.67±3.27	3.06±3.71	-0.507	0.618
内隐斜	3.50±1.29	0.00±1.63	2.646	0.077	3.50±1.29	1.00±2.38	1.237	0.304	-3.50±2.65	-2.50±4.04	-0.707	0.530

表2 裸眼三维立体和平面显示观看前后视近模糊点比较($\bar{x} \pm s$, 模糊点 $^{\Delta}$)

位置	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t	P
BI	13.77±4.99	16.62±6.01	-2.999	0.006	13.77±4.99	17.15±6.04	-3.552	0.002	2.85±4.84	3.38±4.86	-0.633	0.533
BO	19.33±7.41	21.08±5.85	-1.153	0.260	19.33±7.41	21.25±6.11	-2.170	0.040	1.75±7.74	1.92±4.52	-0.149	0.883

表3 裸眼三维立体和平面显示观看前后视近恢复点比较($\bar{x} \pm s$, 恢复点 $^{\Delta}$)

位置	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t	P
BI	12.79±5.74	12.10±5.51	0.783	0.441	12.79±5.74	13.87±5.15	-1.184	0.248	-0.69±4.51	1.08±4.64	-1.585	0.125
BO	13.27±8.28	14.65±6.87	-1.209	0.238	13.27±8.28	14.96±8.20	-2.093	0.047	1.38±5.84	1.69±4.12	-0.257	0.799

表4 裸眼三维立体和平面显示观看前后集合近点比较(集合近点/cm)

	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	Z	P	观看前	观看后	Z	P	裸眼三维立体	平面显示	Z	P
2/(4,2)	2/(3,2)	-0.435,	0.664	2/(4,2)	2/(3,25,2)	-0.271,	0.786	0/(1,0)	0/(0,0)	-0.712	0.476	

表5 裸眼三维立体和平面显示观看前后调节反应和调节微波动比较($\bar{x} \pm s$, 调节量/D)

指标	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t	P
AR	-1.81±0.32	-1.91±0.32	2.446	0.024	-1.81±0.32	-1.87±0.29	1.613	0.122	-0.10±0.19	-0.07±0.19	-0.863	0.339
AF	0.12±0.04	0.14±0.05	-2.178	0.042	0.12±0.04	0.13±0.05	-0.888	0.385	0.02±0.05	0.01±0.05	1.164	0.258

强,与观看前相比差异均有统计学意义($P < 0.05$)。两种条件下的改变量之间差异并无统计学意义($P < 0.05$)。见表8。

2.7 立体视锐度

Frisby测量值中,低秒数转换值的出现频率在裸眼三维立体显示观看后升高,差异有统计学意义($Z = -1.996, P = 0.046$)。TNO低秒数转换值在平面显示观看前后有统计学差异($Z = -2.486, P = 0.013$)。见表9。

2.8 瞳孔直径

裸眼三维立体和平面显示观看后主导眼瞳孔直径均较

观看前缩小($P = -0.007, P = 0.029$)。两种条件下,瞳孔直径缩小量之间并无统计学差异($t = -0.657, P = 0.518$)。见表10。

2.9 其它自主神经反应

见表11。受试者观看裸眼三维立体显示后脉搏较观看前减慢,收缩压升高,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。观看平面显示后变化趋势相同,但差异无统计学意义($P > 0.05$)。两种条件下改变量间差异亦无统计学意义($P > 0.05$)。体温仅在平面显示条件下和三维立体及平面显示改变量之间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

表 6 裸眼三维立体和平面显示观看前后调节幅度比较 ($\bar{x} \pm s$, 调节幅度/D)

调节幅度	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t	P
单眼	7.04±2.06	7.38±1.82	-1.327	0.197	7.04±2.06	7.20±1.76	-0.696	0.493	0.35±1.33	0.16±1.20	0.827	0.416
双眼	6.31±1.41	6.62±1.38	-1.514	0.143	6.31±1.41	6.49±1.37	-0.950	0.351	0.31±1.04	0.18±0.99	0.594	0.558

表 7 裸眼三维立体和平面显示观看前后正负相对调节比较(相对调节/D)

相对调节	裸眼三维立体				平面显示				variation			
	观看前	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t/Z	P
正相	3.88±1.40	3.97±1.32	-0.487	0.630	3.88±1.40	4.07±1.43	-0.989	0.332	0.09±0.91	0.18±0.94	-0.459	0.650
负相	2.10±0.37	2.14±0.39	-0.795	0.434	2.10±0.37	2.13±0.36	-1.072	0.294	0/(0.25,-0.25)	0/(0.25,0)	-0.299	0.765

表 8 裸眼三维立体和平面显示观看前后调节灵敏度比较($\bar{x} \pm s$, 灵敏度/cpm)

调节灵敏度	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t	P
单眼	11.27±4.19	13.37±5.14	-3.205	0.004	11.27±4.19	12.75±5.38	-2.226	0.035	2.10±3.33	1.48±3.39	1.254	0.222
双眼	10.25±3.68	11.44±3.89	-2.645	0.014	10.25±3.68	11.81±4.20	-2.903	0.008	1.19±2.30	1.56±2.74	-0.704	0.488

表 9 裸眼三维立体和平面显示观看前后立体式锐度比较(立体视锐度/°)

测量方法	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	Z	P	观看前	观看后	Z	P	裸眼三维立体	平面显示	Z	P
Frisby	1.5/(2,1)	1/(1,1)	-1.996	0.046	1.5/(2,1)	1/(2,1)	-1.897	0.058	0/(0,-1)	0/(0,-1)	-0.973	0.331
TNO	3/(3.25,3)	3/(3.25,2.75)	-1.903	0.057	3/(3.25,3)	3/(3,2)	-2.486	0.013	0/(0,-1)	0/(0,-1)	-0.372	0.710

表 10 裸眼三维立体和平面显示观看前后瞳孔直径比较(d/mm)

观看前	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t	P	
4.30±1.35	3.82±1.03	2.970	0.007	4.30±1.35	3.90±1.22	2.323	0.029	-0.48±0.81	-0.40±0.86	-0.657	0.518	

表 11 裸眼三维立体和平面显示观看前后脉搏、血压和体温比较

体征	裸眼三维立体				平面显示				观看前后差值			
	观看前	观看后	t	P	观看前	观看后	t	P	裸眼三维立体	平面显示	t	P
脉搏/min ⁻¹	74.42±7.73	71.85±6.74	2.732	0.011	74.42±7.73	73.27±8.38	1.171	0.253	-2.58±4.81	-1.15±5.03	-1.325	0.197
收缩压/mmHg	102.42±9.83	104.42±10.23	-2.290	0.031	102.42±9.83	103.77±9.42	-1.281	0.212	2.00±4.45	1.35±5.36	0.671	0.509
舒张压/mmHg	63.23±7.78	64.31±9.84	-1.140	0.265	63.23±7.78	64.19±7.86	-0.908	0.373	1.08±4.82	0.96±5.40	0.104	0.918
体温/°C	35.95±0.49	35.92±0.44	0.541	0.593	35.95±0.49	36.07±0.55	-2.119	0.044	-0.03±0.25	0.13±0.31	-2.813	0.009

3 讨论

三维立体显示依据工作原理可分为两类^[6]。一类基于双眼视差,通过辅助眼镜或光栅等使双眼分别注视具有一定视差的两幅图像,在融合功能的作用下形成立体影像知觉。

偏振和快门等通过眼镜分视的设备已较为普及,使用光栅分视如裸眼三维立体显示应用则不广泛。其二为非视差原理如全息等,其技术仍有待完善。因此本试验选取裸眼三维立体显示作为研究对象,观察其对视觉功能的影响。

与既往研究指出近距离观看三维立体显示可导致眼位

向外隐斜漂移不同,本试验中观看三维立体和平面显示后隐斜均呈正位化趋势。KARPICKA等^[7]发现短时三维立体显示游戏后受试者外隐斜量增加,但其试验仅进行20 min的快门三维立体显示作业,且观看内容仅为非交叉性视差。本试验观看时间更长,且内容包括交叉和非交叉视差。已有研究表明交叉性视差可引起较为显著的近距离工作诱导性短暂近视(nearwork-induced transient myopia, NITM),非交叉性视差则几乎没有诱导作用^[8]。因此本研究中交叉性视差的内容可能诱导了NITM,导致近视观看者轻度欠矫,引起正融像性集合紧张,持续观看后短时间内不能放松,故出现与KARPICKA等不同的结果。

ZHANG等^[9]报告双眼调节灵敏度在观看偏振三维立体显示后升高,指出观看三维立体显示对青年人群的调节灵敏度可能有一定积极影响,该影响可能与调节储备的调动有关。本试验中受试者均为青年人群,调节能力较强,调节储备较大,VDT观看后单/双眼调节灵敏度亦有提高,与之结论相一致。KIM等^[10]同样发现观看三维立体显示后调节和集合灵敏度提高,且比平面显示增幅更明显,说明观看立体显示具有更显著的视觉训练作用。与之不同的是,本试验中调节灵敏度增量在裸眼三维立体和平面显示之间并无统计学差异。分析其原因,可能是由于显示设备不同。本试验中裸眼三维立体显示设备的屏幕尺寸较小,远小于Kim等试验中采用的32寸显示器,所以呈现的视差范围可能相对较小。因此在观看中,画面的远近运动不足以调动如其所报道的调节和集合运动量,未达到其试验中所实现的训练效果,故而没有在立体和平面显示之间观察到差异。

有研究指出三维立体显示影像空间频率较高,而TORII等认为注视目标空间频率越高,调节反应越符合屏幕空间距离所引起的调节刺激^[11]。本试验中裸眼三维立体显示观看后调节反应增加,滞后量减少,与之一致。汪育文等测量了观看三维立体显示后调节参数的改变,指出调节反应增加尚存在另一解释^[12]。即交叉性视差可能引起集合性调节升高,使调节功能过度紧张,造成调节反应增加。而升高的集合性调节导致轻微的像模糊,造成调节不稳定,表现为调节微波动增大,亦与本试验结果相符。

MCINTIRE等^[13]指出三维立体显示有助于提高受试者在深度相关视觉任务中的表现,本次试验亦表现出相似变化。应用Frisby测量自由空间立体视的结果在裸眼三维立体显示观看后改善,可以推测观看裸眼三维立体显示可能与双眼视觉训练具有一定相似性,其对立体视的影响可能与融合功能的持续调动相关。

除调节和集合外,本试验还测量了瞳孔、脉搏等自主神经反应,发现观看裸眼三维立体和平面显示后瞳孔直径均较观看前缩小,与OYAMADA等^[14]试验中三维立体显示条件下结果一致。瞳孔收缩收到交感和副交感神经共同调控,其变化反映了二者步调的平衡性,可以作为视疲劳评估中自主神经反应的有效量化指标。此外,KIM等^[15]通过心率、皮电反应和皮温等指标对自主神经反应进行评估,发现皮电反应和皮温在三维立体和平面显示观看前后都有差异,且三维立体

显示条件下更明显。本研究也对脉搏、血压和体温进行了测量,同样呈现出体温在裸眼三维立体显示观看后降低而在平面显示条件下升高的趋势。与之不同的是,本试验中脉搏和收缩压均在三维立体显示观看前后有差异,其原因可能与显示设备有关。KIM等^[15]使用快门眼镜观看1.5 m处40英寸显示器,较远的观看距离和眼镜配戴可能引起受试者较大的身体运动,对心率测量产生影响。

本试验表明持续观看裸眼三维立体显示可引起明显的主观视疲劳,但并不会引起显著的调节功能减退,且可能存在一定的积极作用。与常见的平面显示相比,也不会引起更显著的客观参数改变。但本试验只进行了单次观看,三维立体显示普及后长期观看对各年龄段观看者视功能的影响和其恢复情况尚不可知。三维立体显示技术的发展和普及要求我们对其安全性做出更明确的评判。因此我们仍需进行更深入的探索,通过对多种因素的综合探究建立三维立体显示安全观看的模型,做出相应指导,帮助人们健康地观看三维立体显示。

参 考 文 献

- [1] YUM HR, PARK SH, KANG HB, *et al.* Changes in ocular factors according to depth variation and viewer age after watching a three-dimensional display. *Br J Ophthalmol*, 2014, 98(5): 684-690.
- [2] VILELA MA, CASTAGNO VD, MEUCCI RD, *et al.* Asthenopia in schoolchildren. *Clin Ophthalmol*, 2015, 9: 1595-1603.
- [3] CLARK TY, CLARK RA. Convergence Insufficiency Symptom Survey Scores for Reading Versus Other Near Visual Activities in School-Age Children. *Am J Ophthalmol*, 2015, 160(5): 905-912.
- [4] YUM HR, PARK SH, KANG HB, *et al.* Changes in ocular parameters depending on the motion-in-depth of a three-dimensional display. *Br J Ophthalmol*, 2015, 99(12): 1706-1712.
- [5] 赵淑静. 间歇性外斜视手术矫正前后融合和立体视功能的对照研究. 山东大学, 2013.
- [6] 王琼华, 王爱红. 三维立体显示综述. *计算机应用*, 2010(03): 579-581.
- [7] KARPICKA E, HOWARTH PA. Heterophoria adaptation during the viewing of 3D stereoscopic stimuli. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2013, 33(5): 604-610.
- [8] SUH YW, OH J, KIM HM, *et al.* Three-dimensional display-induced transient myopia and the difference in myopic shift between crossed and uncrossed disparities. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(8): 5029-5032.
- [9] ZHANG L, ZHANG YQ, ZHANG JS, *et al.* Visual fatigue and discomfort after stereoscopic display viewing. *Acta Ophthalmol*, 2013, 91(2): e149-e153.
- [10] KIM JH, KWON SC, SON KC, *et al.* Evaluation of vision training using 3D play game//SPIE/IS&T Electronic Imaging, San Francisco, 2015.
- [11] TORII M, OKADA Y, UKAI K, *et al.* Dynamic measurement of accommodative responses while viewing stereoscopic images. *Journal of Modern Optics*, 2008, 55(4-5): 557-567.
- [12] 汪育文, 李美, 余新平, 等. 持续观看立体(3D)视频对人眼视觉功能的影响. *眼科新进展*, 2015(06): 542-545.
- [13] MCINTIRE JP, HAVIG PR, GEISELMAN EE. Stereoscopic 3D displays and human performance: A comprehensive review. *Displays*, 2014, 35(1): 18-26.
- [14] OYAMADA H, IJIMA A, TANAKA A, *et al.* A pilot study on pupillary and cardiovascular changes induced by stereoscopic video movies. *J Neuroeng Rehabil*, 2007, 4: 37.
- [15] KIM CJ, PARK S, WON MJ, *et al.* Autonomic nervous system responses can reveal visual fatigue induced by 3D displays. *Sensors (Basel)*, 2013, 13(10): 13054-13062.

(2018-09-25收稿, 2019-01-04修回)

编辑 汤 洁