



VR

头戴式显示设备 对青少年眼健康的影响 实验总结报告



中國電子學會消費電子分會

CEIC 中国电子科技集团公司第三研究所



北京大学 医学部
PEKING UNIVERSITY HEALTH SCIENCE CENTER

目录

一、背景说明.....	1
二、实验目的.....	1
三、实验流程.....	1
（一）参与人员.....	1
（二）受试选择.....	2
（三）实验用 VR 内容及设备选择.....	2
（四）实验测量方法.....	6
四、实验结果.....	8
（一）学生使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频的主观感受变化..	8
（二）学生使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频的视觉指标变化	12
五、总结.....	18
（一）结论.....	18
（二）实验的局限性.....	18

一、背景说明

虚拟现实技术（VR, Virtual Reality）是一门涉及计算机图形学、图像处理与模式识别、智能接口等技术的综合集成技术。它是人类视觉和人机交互的一次革命，改变了人们观察和理解世界的方式，也颠覆、重构了众多传统产业。在教育领域，经常使用平板电脑作为教学工具，例如许多教师布置的家庭作业需要使用电脑完成，课堂上的一些小测试也是使用平板电脑，儿童青少年的主要阅读形式也向数字化转变。不过随着虚拟现实技术的逐渐发展与普及，它很可能代替平板电脑作为另一种重要的教学辅助手段，尤其是在虚拟教学、虚拟实验、虚拟仿真校园等方面已经诞生了一批具有创新性的应用。有研究显示 VR 环境中的学生注意力会更加集中，有较高的积极性和愉悦感受。沉浸式虚拟现实技术应用于教育有利于提高参与者的学习兴趣。在一项针对海洋气候的变化学习实验中，在 VR 环境中学习的学生对气候科学的知识表现出更多的好奇心和积极的态度。虚拟现实技术能否替代目前平板电脑的使用，作为教育领域的一种工具，这一点既是趋势也是值得我们进一步探究的地方。

本实验为了进一步研究在教育领域应用虚拟现实技术对儿童青少年这一特殊群体的影响，进一步推动虚拟/增强现实技术与教育产业深度融合，联合来自虚拟/增强现实、教育、医疗等领域的科研机构、企业开展本次实验，以促进虚拟/增强现实技术进步，助力产业健康发展。

二、实验目的

1. 探究佩戴 VR 头戴式显示设备对青少年的视觉功能及主观感受的影响；
2. 提出青少年安全健康使用 VR 头戴式显示设备的建议。

三、实验流程

（一）参与人员

本次研究经过多轮专家论证，主要由中国电子学会消费电子分会、中国电子科技集团公司第三研究所、北京大学儿童青少年卫生研究所、北京阳明智道光电科技有限公司四方共同完成。除此以外，本研究在方案研讨过程中征求多方面专家学者的意见，包括理科高校研究 VR 技术的专业学者、北京三甲医院眼科医生、VR 生产企业技术人员等。具体参加

本研究单位见表 3.1。

表 3.1 参加本研究单位

单位	项目	人 员
中国电子学会消费电子分会、中国电子科技集团公司第三研究所	实验设计、实验实施	2
北京大学儿童青少年卫生研究所	实验设计、问卷调查	1
北京阳明智道光电科技有限公司	实验设计、视力指标测试	3
歌尔集团创新发展研究院	仪器设备维护	1

（二）受试选择

本实验受试来源为北京市某小学五年级，项目组记录了被试参与活动的全过程，并进行记录整理及分析，最终形成本实验报告。

本实验受试年龄范围：11~13 岁青少年；特殊要求包括：①受试者无眼部疾病，无屈光参差。②认知能力正常，可以配合进行眼部检查。

本实验采用随机抽样方法选择调查样本，通过对小学生及家长、老师进行宣传的方式招募志愿者，征集符合条件的儿童青少年 60 人。对学生进行初筛，选择不同屈光状况的 35 名学生进行交叉对照试验。

开始实验之前首先对 60 名受试者进行筛查，选择符合要求的受试者，之后对符合要求的 35 名受试者开展交叉对照实验，第一天受试者佩戴 VR 头戴式显示设备观看视频 25min，第二天使用平板电脑观看视频 25min。在开始实验之前要求受试者闭眼休息 10min，之后对受试者进行基础状态视功能测试，观看视频 25min，再次进行视力相关指标检测以及主观问卷调查。在进行交叉实验的两天里，同一受试者在相同时间内完成实验。

（三）实验用 VR 内容及设备选择

1. 实验用 VR 内容选择

本实验中被试将长时间使用智能平板或虚拟现实头戴式显示设备，需要选择一些特定的 VR 内容供被试使用。

选择 VR 内容的依据主要有：

- （1）体验内容生动有趣，寓教于乐，可供被试长时间使用；
- （2）画面整理较为明亮，且体验过程中亮度基本保持不变；
- （3）画面中内容较为丰富饱满；
- （4）体验内容避免出现大量快速运动的物体等容易导致晕动症的因素。

在正式实验开始前经过专业人员对视频内容进行检查，保证视频内容符合要求。并且对不符合要求的 VR 头戴式显示设备所用视频内容进行更换、调整。具体视频内容详见表 3.2。

表 3.2VR 头戴式显示设备和平板电脑播放视频内容

	第一段	第二段	第三段	第四段
VR 视频	《外星人入侵》	《海洋奇缘》	《超能陆战队》	《失物招领》
(25min)	VR 全景	VR3D	VR3D	VR2D
	3 分 48 秒	8 分 25 秒	6 分 03 秒	6 分 44 秒
平板视频	《小黄人大眼萌 2》			
(25min)	2D			
	25 分			

2. 实验用设备选择

本次实验所使用的 VR 头戴式显示设备厂家青岛小鸟看看科技有限公司，型号：Pico Goblin 系列，规格：双 3.5 英寸高速显示屏、3K（2880*1600）双眼、90HZ；视场角 101 度、菲涅尔镜片；高通骁龙 835 八核 2.45GHZ。见图 3.1。



图 3.1 研究用 VR 头戴式显示设备

本次实验所使用的平板电脑。见图 3.2。



图 3.2 研究用平板电脑

3. 视觉舒适度（VICO）测试

本实验环境温度为 22℃，相对湿度为 50%。进行人因实验即视觉舒适度（VICO）测试，分析 VR 头戴式显示设备和平板电脑对人眼视功能生理的影响，客观评测出同一人群在不同显示方式下的视觉舒适度（VICO 值），量化 VR 头戴式显示设备和平板电脑对人眼的视疲劳影响。

将受试者在 25 分钟视觉作业前、后的视功能生理数据输入到 VICO 算法模型，得出产品的视觉舒适度测量结果（VICO 测试值）。VICO 指数共分为 5 级。级数越高说明视觉健康舒适

程度越低，产品对于人眼的视疲劳影响越大，具体如表 3.3、表 3.4 所示。

表 3.3 产品合格性评判表

等级	1级	2级	3级	4级	5级
测试值	$0 \leq \text{VICO} < 1$	$1 \leq \text{VICO} < 2$	$2 \leq \text{VICO} < 3$	$3 \leq \text{VICO} < 4$	$4 \leq \text{VICO} \leq 5$
对应视疲劳生理表征	基本无疲劳感	有轻微疲劳感	有明显疲劳感，但在可耐受范围内	疲劳感加剧，出现多种眼部不适症候	疲劳非常严重，有损伤可能
产品合格评判	合格			不合格	

表 3.4 产品视觉健康舒适度分级表

VICO	<1.5	1.5-1.75	1.75-2	2-2.25	2.25-2.5	2.5-2.75	2.75-3	>3
分级	S	A+	A	B+	B	C+	C	不合格

5. 主观感受问卷

目前已知使用的各种关于视疲劳的调查问卷种类繁多，各不相同。本实验参考之前多项^[6, 7]使用 VR 头戴式显示设备观看视频对眼部影响的相关实验，结合之前的实验中所使用的眼部主观感受问卷，自行编纂学生主观感受调查问卷。

受试者在使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频之后均填写主观感受问卷。问卷内容主观感受包括眼睛干涩、眼睛模糊不清、流泪、眼疼、眼胀、畏光、眼部劳累共 7 项眼部感受，头痛、头昏、恶心想吐、困倦、精力不集中共 5 项神经感受。问卷中的每个项目按照受试者的主观感受程度进行划分。

6. 技术路线图

本次眼部所有检测均为无创，不使用阿托品等睫状肌麻痹剂。受试者首先使用 VR 头戴设备观看一段 25min 的视频，在观看视频前、后进行眼部相关指标检测并填写调查问卷。经过一段时间洗脱期（24h），同一受试者使用平板电脑观看内容类似的画面，检查内容同

前。具体操作流程如下图 3.3。

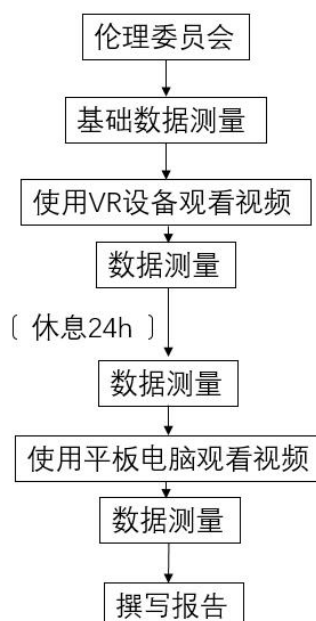


图 3.3 实验流程图

（四）实验测量方法

在受试者进行测试光源环境下的负荷任务之前和之后分别进行双眼各类视功能数据采集，具体项目如下：

（1）基础视生理功能测试

使用光干涉式眼轴测量仪测量眼轴长度 AL、角膜曲率 KR 等；

使用验光仪测量人眼屈光度。

（2）人眼睫状肌调节能力测试

使用多功能验光机测量睫状肌调节幅度 ACC；

使用综合验光台测量人眼调节集合调节比 AC/A。

（3）人眼视觉成像质量测试

使用波前像差仪测试被试双眼高阶像差 HOAs 及调制传递函数 MTF。

具体检测仪器型号及名称如下表 3.4。

表 3.4 测试检测仪器型号及名称

仪器名称	仪器型号	仪器编号
验光仪	KR-1	4460205
人眼波前像差仪	OPD-III	450066
综合验光台	DK-3100	SIGMA01
眼轴及视功能测量仪	AL-SCAN	250185

进行各项眼部检查时受试者取座位，调整好桌面和下颌托的高度，嘱受试者将下颌置于仪器的下颌托上，额部紧贴额托。调整好头位，使受试者外眦与水平线保持同一高度。睁大双眼注视仪器中的固定目标。每项眼部指标测量 3 次取平均值。对每位受试者的检查均由熟练操作该系统的同一位工作人员完成。具体测试生理指标如下表 3.5。

表 3.5 测试生理指标项目名称

序号	测试项目名称
1	基础屈光
2	人眼高阶像差
3	人眼调制传递函数
4	人眼调节集合调节比
5	角膜曲率
6	眼轴长度
7	睫状肌调节幅度

在受试者进行观看视频之后进行主观感受问卷数据采集。具体项目表 3.6。

表 3.6 主观感受问卷采集数据信息

序号	症状/程度	完全没有	轻度	中度	重度
1	眼睛干涩				
2	眼睛模糊不清				
3	流泪				
4	眼疼				
5	眼胀				
6	怕光				
7	眼部劳累				
8	头痛				
9	头晕				
10	恶心想吐				
11	困倦				
12	精力无法集中				

四、实验结果

（一）学生使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频的主观感受变化

本次研究利用问卷调查学生分别使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频后的主观感受。

只在使用 VR 头戴式显示设备时出现眼睛干涩和困倦症状的人数分别为 3 人（8.6%）和 1 人（2.9%），低于只在使用平板电脑时出现以上症状的 4 人（11.4%）和 5 人（14.3%）。但差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。这说明，虽然平板电脑比 VR 头戴式显示设备更易引起眼睛干涩、困倦症状，但是差异不明显。

只在使用 VR 头戴式显示设备时出现眼睛模糊、流泪、眼疼、眼胀、畏光、眼部劳累、头疼、头晕、精力不集中症状的人数分别为 8 人（22.9%），3 人（8.6%），5 人（14.3%），3 人（8.6%），2 人（5.7%），7 人（20.0%），3 人（8.6%），2 人（5.7%），5 人（14.3%），高于只在使用平板电脑时出现以上症状的 2 人（5.7%），2 人（5.7%），4 人（11.4%），2 人（5.7%），0 人（0.0%），

5 人(14.3%), 0 人(0.0%), 1 人(2.9%), 2 人(5.7%)。但差异无统计学意义 ($P>0.05$)。这说明, 虽然 VR 头戴式显示设备比平板电脑更易引起眼睛模糊、流泪、眼疼、眼胀、畏光、眼部劳累、头疼、头晕、精力不集中症状, 但差异不明显。

只在使用 VR 头戴式显示设备出现恶心症状的人数与只在使用平板电脑出现恶心症状的人数相同, 均为 1 人 (2.9%)。详见表 4.1。

表 4.1 学生分别使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频的主观感受

症状			平板		总计	P 值
			没有	有		
眼干	VR	没有	22(62.9)	4(11.4)	26(74.3)	1.000
		有	3(8.6)	6(17.1)	9(25.7)	
		总计	25(71.4)	10(28.6)	35(100.0)	
眼睛模糊	VR	没有	18(51.4)	2(5.7)	20(57.1)	0.109
		有	8(22.9)	7(20.0)	15(42.9)	
		总计	26(74.3)	9(25.7)	35(100.0)	
流泪	VR	没有	27(77.1)	2(5.7)	29(82.9)	1.000
		有	3(8.6)	3(8.6)	6(17.1)	
		总计	30(85.7)	5(14.3)	35(100.0)	
眼疼	VR	没有	19(54.3)	4(11.4)	23(65.7)	1.000
		有	5(14.3)	7(20.0)	12(34.3)	
		总计	24(68.6)	11(31.4)	35(100.0)	
眼胀	VR	没有	28(80.0)	2(5.7)	30(85.7)	1.000
		有	3(8.6)	2(5.7)	5(14.3)	
		总计	31(88.6)	4(11.4)	35(100.0)	
畏光	VR	没有	27(77.1)	0(0.0)	27(77.1)	0.500
		有	2(5.7)	6(17.1)	8(22.9)	
		总计	29(82.9)	6(17.1)	35(100.0)	

眼部劳累	VR	没有	13(37.1)	5(14.3)	18(51.4)	0.774
		有	7(20.0)	10(28.6)	17(48.6)	
		总计	20(57.1)	15(42.9)	35(100.0)	
头疼	VR	没有	31(88.6)	0(0.0)	31(88.6)	0.250
		有	3(8.6)	1(2.9)	4(11.4)	
		总计	34(97.1)	1(2.9)	35(100.0)	
头晕	VR	没有	28(80.0)	1(2.9)	29(82.9)	1.000
		有	2(5.7)	4(11.4)	6(17.1)	
		总计	30(85.7)	5(14.3)	35(100.0)	
恶心	VR	没有	31(88.6)	1(2.9)	32(91.4)	1.000
		有	1(2.9)	2(5.7)	3(8.6)	
		总计	32(91.4)	3(8.6)	35(100.0)	
困倦	VR	没有	26(74.3)	5(14.3)	31(88.6)	0.219
		有	1(2.9)	3(8.6)	4(11.4)	
		总计	27(77.1)	8(22.9)	35(100.0)	
精力不集中	VR	没有	24(68.6)	2(5.7)	26(74.3)	0.453
		有	5(14.3)	4(11.4)	9(25.7)	
		总计	29(82.9)	6(17.1)	35(100.0)	

在本次调查问卷显示学生佩戴 VR 头戴式显示设备和使用平板电脑观看视频之后，均没有产生眼部不良的主观感受（眼睛干涩、眼睛模糊、流泪、眼疼、眼胀、畏光、眼部劳累）的人数所占比例较多。详见图 4.1。

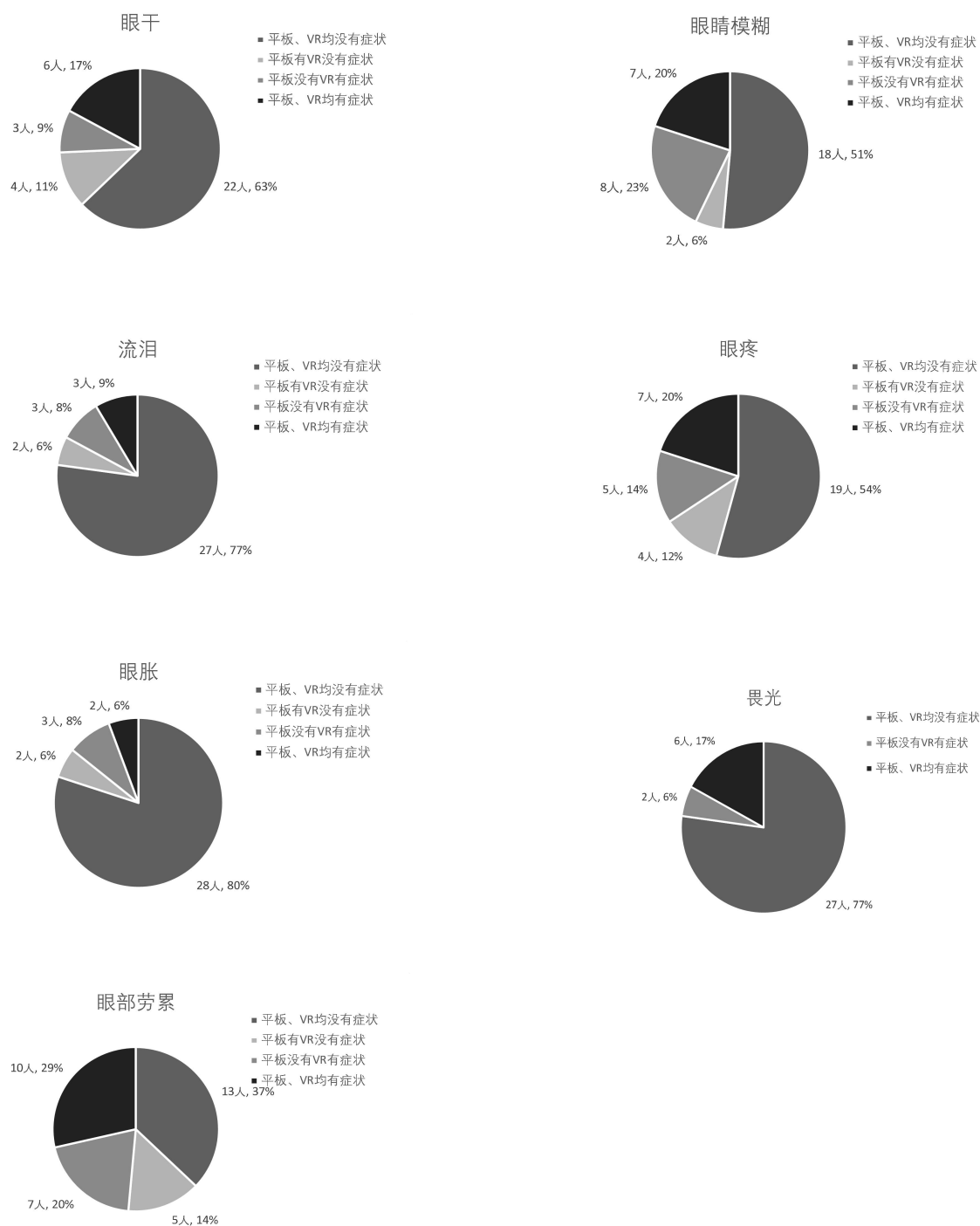


图 4.1 使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频后学生的眼部主观感受

在本次调查问卷显示学生佩戴 VR 头戴式显示设备和使用平板电脑观看视频之后，均没有产生精神方面不良感受（头痛、头昏、恶心、困倦、精力不集中）的人数所占比例较多。详见图 4.2

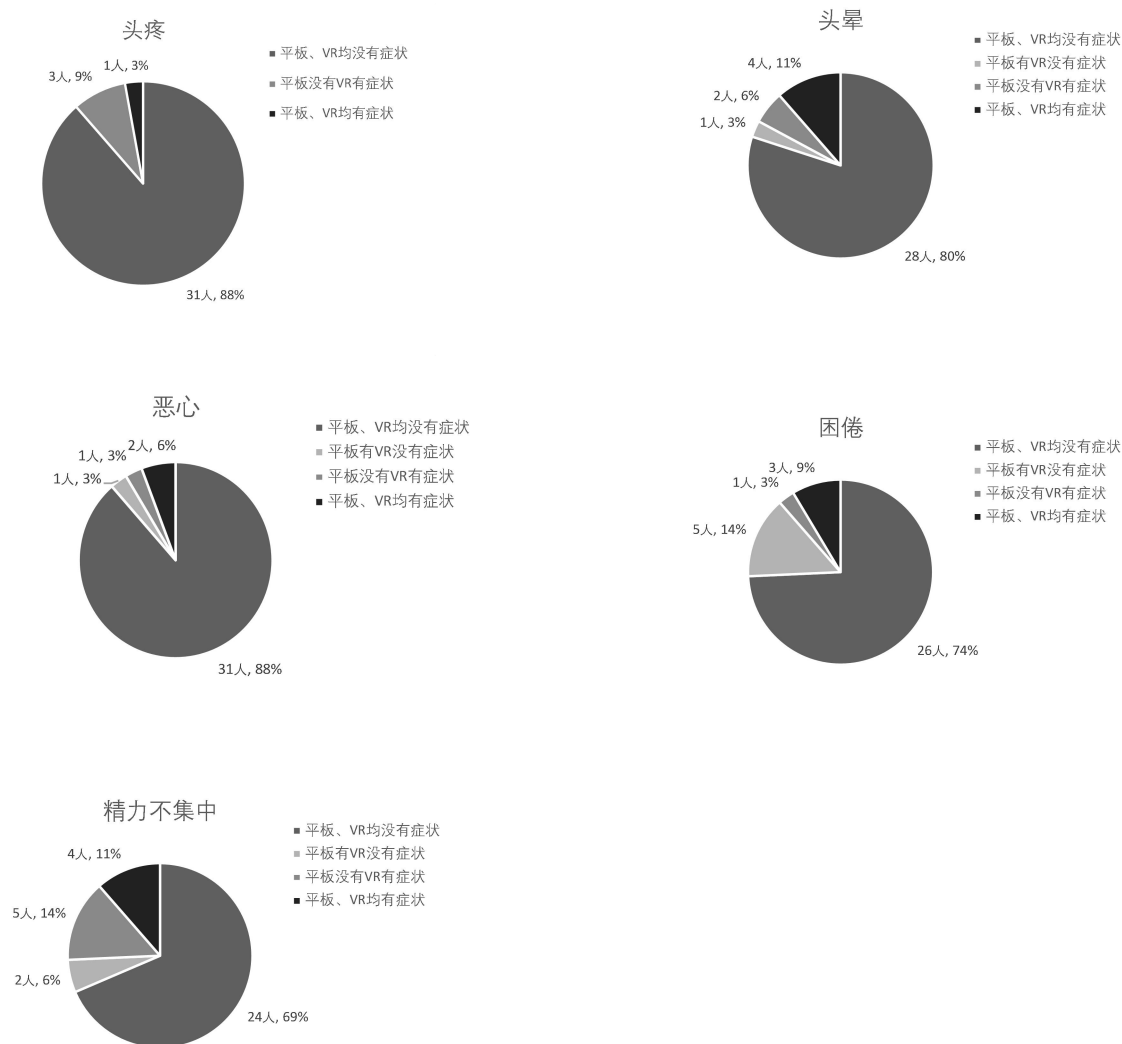


图 4.2 使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频后学生的精神主观感受

（二）学生使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频的视觉指标变化

实验中使用多功能验光机（AR-1S）测量得出受试者视觉作业前、后的各项参数的结果，发现在使用 VR 头戴式显示设备观看视频之后学生双眼 ACC 增加并且左眼 HOA12 降低，且差异有统计学意义($P<0.05$)。详见表 4.2。

表 4.2 使用 VR 头戴式显示设备观看视频前后视力指标变化情况

指标		观看视频前	观看视频后	t	P
AC/A		4.45±0.81	4.15±1.22	1.409	0.168
ACC	左眼	4.35±1.56	5.29±2.44	-3.025	0.005
	右眼	4.98±1.76	5.85±1.73	-3.919	0.000
三叶草	左眼	0.11±0.08	0.12±0.10	-1.012	0.319
	右眼	0.11±0.08	0.19±0.41	-1.230	0.228
HOA12	左眼	0.10±0.10	0.05±0.07	2.487	0.018
	右眼	0.07±0.06	0.08±0.08	-0.652	0.519
慧差	左眼	0.18±0.11	0.16±0.11	0.474	0.639
	右眼	0.18±0.10	0.16±0.10	1.333	0.192
MTF	左眼	0.34±0.24	0.34±0.23	0.296	0.769
	右眼	0.36±0.26	0.40±0.30	-1.227	0.228

使用平板电脑观看视频之后学生右眼 ACC 增加、左眼 MTF 降低、双眼三叶草指标降低，且差异有统计学意义($P<0.05$)。详见表 4.3。

表 4.3 使用平板电脑观看视频前后视力指标变化情况

指标		观看视频前	观看视频后	t	P
AC/A		4.75±1.01	4.76±1.01	-0.049	0.961
ACC	左眼	6.11±1.77	6.56±1.67	-1.957	0.059
	右眼	6.09±1.89	6.79±1.81	-3.008	0.005
三叶草	左眼	0.14±0.17	0.09±0.10	2.132	0.041
	右眼	0.12±0.11	0.08±0.08	2.283	0.029
HOA12	左眼	0.08±0.06	0.09±0.10	-0.770	0.447
	右眼	0.08±0.05	0.11±0.12	-1.477	0.150
慧差	左眼	0.25±0.40	0.16±0.11	1.181	0.246
	右眼	0.16±0.09	0.14±0.11	0.850	0.402

MTF	左眼	0.39±0.27	0.32±0.21	2.171	0.037
	右眼	0.36±0.26	0.32±0.19	1.230	0.227

对学生分别使用 VR 头戴式显示设备及平板电脑观看视频前的视力指标进行分析,发现观看视频前,使用 VR 头戴式显示设备较使用平板电脑的学生双眼 ACC 低,右眼慧差高,且差异有统计学意义 ($P<0.05$)。详见表 4.4。

表4.4 观看视频前各项生理参数变化情况

指标		VR	平板	t	P
AC/A		4.45±0.81	4.75±1.01	-1.668	0.105
ACC	左眼	4.35±1.56	6.11±1.77	-7.836	0.000
	右眼	4.98±1.76	6.09±1.89	-4.828	0.000
三叶草	左眼	0.11±0.08	0.14±0.17	-1.158	0.255
	右眼	0.11±0.08	0.12±0.11	-0.557	0.581
HOA12	左眼	0.1±0.11	0.08±0.06	1.123	0.270
	右眼	0.07±0.05	0.08±0.05	-1.113	0.274
慧差	左眼	0.18±0.11	0.25±0.4	-1.025	0.313
	右眼	0.18±0.1	-0.02±0.12	6.946	0.000
MTF	左眼	0.34±0.24	0.39±0.27	-1.227	0.228
	右眼	0.36±0.26	0.36±0.26	0.018	0.986

对学生分别使用 VR 头戴式显示设备及平板电脑观看视频前、后的视力指标进行分析,计算同一学生观看视频前、后各指标的比值得出变化率。发现使用 VR 头戴式显示设备较平板电脑观看视频后,除了左眼 MTF 值变化大,其他各指标差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。详见表 4.5。

表 4.5 观看视频前后各项生理参数变化情况

指标		VR	平板	t	P
AC/A		0.95±0.31	1.02±0.20	-1.190	0.242
ACC	左眼	1.23±0.73	1.11±0.24	1.013	0.318
	右眼	1.27±0.60	1.16±0.31	0.941	0.354
三叶草	左眼	1.27±0.84	1.14±1.21	0.621	0.539
	右眼	1.69±2.43	1.00±0.65	1.478	0.149
HOA12	左眼	1.33±2.99	1.77±2.38	-0.631	0.532
	右眼	2.00±2.75	1.47±1.22	0.947	0.351
慧差	左眼	1.51±1.74	1.29±1.81	0.459	0.649
	右眼	1.30±1.60	0.30±12.37	0.465	0.645
MTF	左眼	1.05±0.43	0.88±0.30	2.238	0.032
	右眼	1.12±0.39	1.03±0.46	0.893	0.378

使用多功能验光机（AR-1S）测量得出受试者视觉作业前后的 ACC 值，计算同一学生观看视频前、后的 ACC 比值得出变化率，取平均值，发现使用 VR 头戴式显示设备较平板电脑观看指定片源 25min 后学生的 ACC 变化较大，但是差异并没有统计学意义（ $P=0.318$ ； 0.354 ），详见图 4.3。

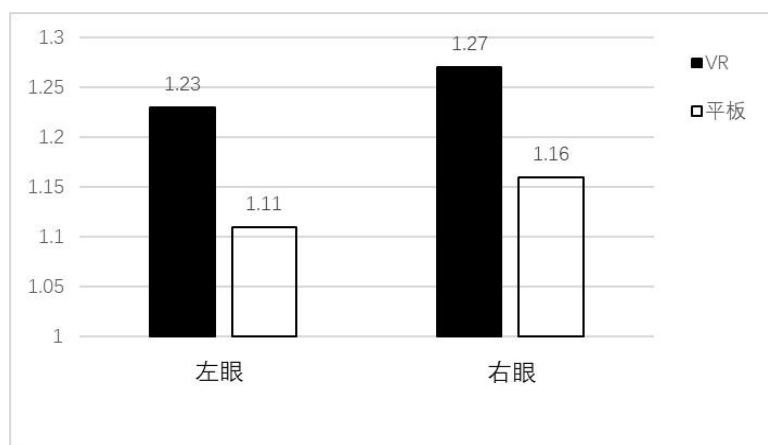


图4.3 学生观看视频前、后ACC变化情况

使用综合验光台（DK-3100）对眼睛远近眼位测试，根据瞳距和非人为性干涉获得的聚散功能数据，计算获得AC/A的值。计算同一学生观看视频前、后的AC/A比值得出变化率，取平

均值得出结果，发现使用VR头戴式显示设备较平板电脑观看指定片源25min后的AC/A变化小，但差异无统计学意义 ($P=0.242$)。详见图4.4。

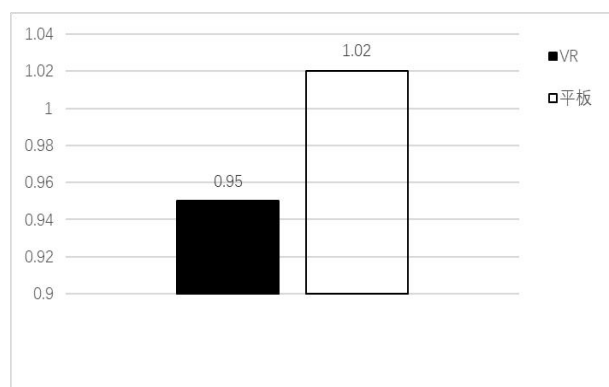


图4.4 学生观看视频前、后AC/A变化情况

使用波前像差仪 (OPD-Scan III) 测量得出受试者视觉作业前后的高阶像差及MTF。计算同一学生观看视频前、后的各项高阶像差 (HOA12、三叶草、慧差) 及MTF比值得出变化率，取平均值。发现使用VR头戴式显示设备和平板电脑观看25min视频后，所有指标都出现一定幅度上升。除了学生左眼的HOA12指标，使用VR头戴式显示设备较平板电脑观看25min视频后，其他指标均上升幅度大，其中只有左眼MTF的变化有统计学意义 ($P=0.032$)。详见图4.5。

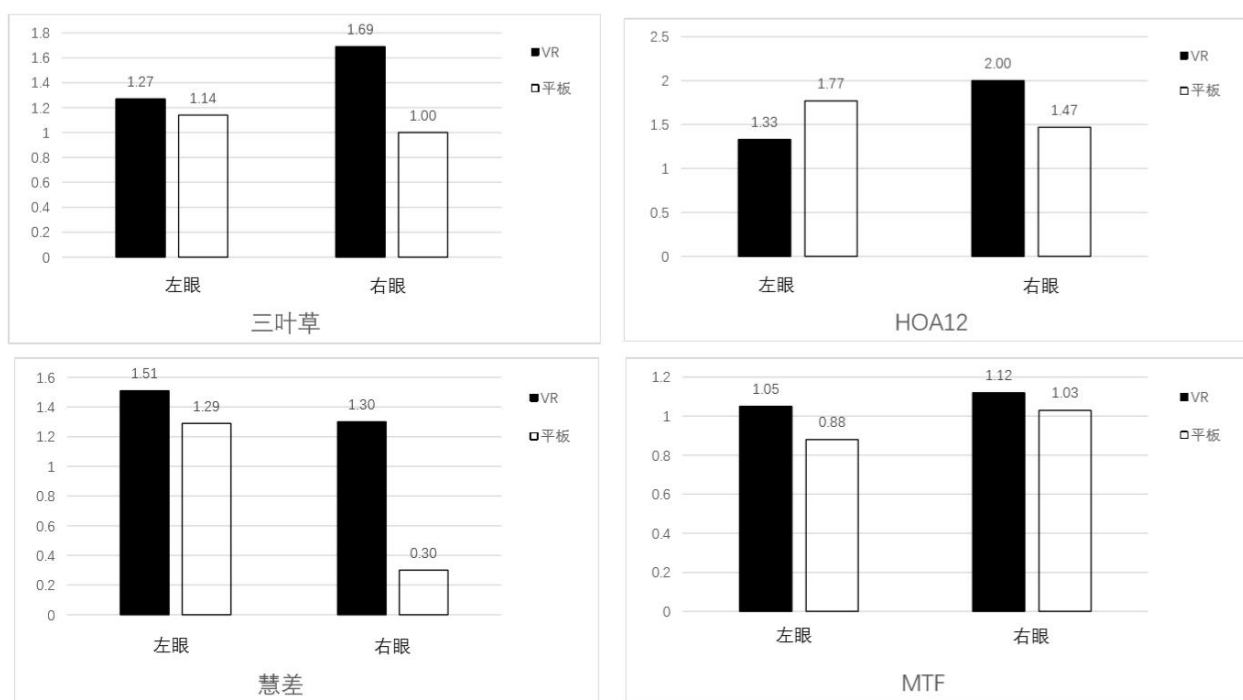


图4.5 学生观看视频前、后三叶草、慧差、HOA12、MTF变化情况

将受试者在25min视觉作业前、后的视功能生理数据输入到VICO算法模型计算产品的视觉舒适度测量结果（VICO测试值），发现使用VR头戴式显示设备较使用平板电脑观看视频后VICO测试值大。详见图4.6。

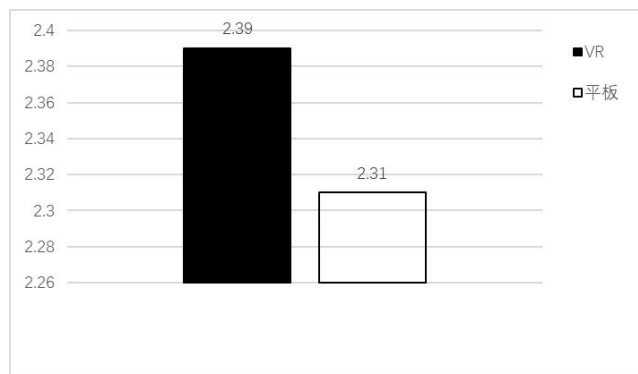


图4.6 学生观看视频前、后VICO值变化情况

五、总结

（一）结论

结论 1: 左眼HOA12 指标结果显示 VR 头戴式显示设备优于平板电脑。青少年使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频后视觉功能（睫状肌调节幅度 ACC、人眼调节集合调节比AC/A、双眼高阶像差 HOAs和调制传递函数 MTF）的差异不明显，其中学生左眼的HOA12 指标结果显示 VR 头戴式显示设备优于平板电脑。

青少年使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频后主观感受（眼睛干涩、眼睛模糊不清、流泪、眼疼、眼胀、畏光、眼部劳累共 7 项眼部感受，头痛、头昏、恶心想吐、困倦、精力不集中共 5 项神经感受）的差异不明显，其中**眼睛干涩和困倦症状两个指标显示 VR 头戴式显示设备优于平板电脑。**

结论 2: 使用 VR 头戴式显示设备和平板电脑观看视频均会对儿童青少年眼部指标和主观感受产生影响，建议青少年合理使用 VR 头戴式显示设备、平板电脑等电子产品时间及频率。

总体来说，不管是从视觉功能的指标结果，还是从主观感受来看，低年龄用户使用 VR 头戴式显示设备与使用平板设备观看视频后各项指标基本无差异，在左眼HOA12指标及眼睛干涩、困倦症状三个指标上 VR 头戴式显示设备优于平板电脑。

（二）实验的局限性

本次实验回答主观调查时由工作人员一对一对小学生进行讲解后填写；视力检测指标较为精细，在检测过程中由专业人员进行操作，质量控制较好，数据较为可靠。但是本实验样本量较小，实验对象仅为 11~13 岁儿童，实验结论仍需在更大范围人群中进行验证。