



长时间使用虚拟现实（VR）头戴式显示设备 对低年龄用户视力的影响 实验总结报告

• 参与单位

北京市未来影像高精尖创新中心
北京理工大学
北京蓝色光标电子商务股份有限公司

• 协助单位

Vive Immersive Media Lab
北京圣威特科技有限公司

目录

缩写及术语对照表	3
一、背景说明	4
二、实验目标	5
三、参与人员	5
四、实验流程	5
4.1 被试选择	5
4.2 实验用 VR 内容选择	6
4.3 实验设备	7
4.4 实验测量方法	7
4.5 实验流程	9
五、实验结果	11
5.1 主观测量结果——视疲劳量表	11
5.2 客观测量结果——人眼视力变化	14
5.2.1 初始视力 1.5 的被试	14
5.2.2 初始视力小于 1.5 的被试	15
5.2.3 远视与近视对实验结果的影响	19
六、总结	24
6.1 结论	24
6.2 建议	26
6.3 实验的局限性	27
6.4 本次实验的负面情况报告	29
附录 I：视疲劳主观测试量表	30
附录 II：视力表及转换依据	31
参考文献	32

缩写及术语对照表

缩写或术语	说明
VR	虚拟现实
HMD	头戴式显示设备
被试	接受实验或测验的对象
低年龄段	9-12 岁青少年

一、背景说明

随着虚拟现实技术（VR）的快速发展，VR 设备逐渐走入大众的视野，当前主流的 VR 头戴式显示设备一般采用双目单焦面的设计，这种设计结构简单，适用性范围较广。相对于传统 VR 用于专业化短时间的应用情景，目前 VR 技术希望能够更多地应用于普适化长时间的应用情景。但是用户在使用 VR 头戴式显示设备时，双眼长时间聚焦在一个固定的距离，这引发了人们对头戴式显示设备可能会对用户带来较为严重的眼部疲劳甚至损伤的担心。鉴于 VR 技术已经为各行各业带来翻天覆地的变化和革新，这种隐忧为行业发展带来了不确定性。

为此，北京市未来影像高精尖创新中心联合北京理工大学等多家单位，设计本实验来探究长时间使用 VR 头戴式显示设备对低年龄段用户视力的影响。

参与本实验具体组织和测试的单位有：

单位名称	参与内容
北京市未来影像高精尖创新中心	实验设计、数据分析
北京理工大学	实验实施、数据分析
北京蓝色光标电子商务股份有限公司	实验实施、现场组织

此外，为了保证实验的科学性，本实验还邀请了多家单位对数据获取及分析的过程提出建设意见并参与监理整个实验过程。

邀请单位名单如下：

单位名称	建议内容
Vive Immersive Media Lab	头戴式显示设备设备及测试环境搭建建议
北京圣威特科技有限公司	实验设计及实施组织建议

二、实验目标

本实验目的在于探究长时间使用 VR 头戴式显示设备对于低年龄段用户视力的影响。实验将分别针对智能平板和 VR 头戴式显示设备这两种设备进行对比测试，并将被试人员安置在特定的、相似的使用场景中，进行一段较长时间（约一小时）的使用测试。同时通过主客观测量方法，获取被试使用设备前后和使用过程中的相关数据，从而分析 VR 头戴式显示设备对低年龄段用户的视力影响。

三、参与人员

本实验主要参与人员清单如下：

姓名	单位	职称/职务	参与内容
包仪华	北京市未来影像高精尖创新中心	研究主管	实验统筹、实验设计
翁冬冬	北京理工大学	副研究员	实验设计
余兴尧	北京理工大学	硕士研究生	实验设计、数据分析
郭洁	北京理工大学	博士研究生	主观测量量表设计
刘珺	—————	持证验光师	客观测试仪器使用
苏海新	北京蓝色光标电子商务股份有限公司	高级经理	实验统筹

四、实验流程

4.1 被试选择

本实验被试来源为 VR 校园普及体验活动中的参与者，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。

本实验被试年龄范围：9-12 岁；特殊要求包括：排除做过近视恢复手术及具有眼睛问题（包含高度近视、高度远视、色盲、色弱、高度散光）的人员；排除实验前已经很疲劳的人员；最终参与实验被试人数 50 人，其中男性 26 人，女性 24 人。

被试根据年龄段被分为二个组别：四年级组别和六年级组别。

实际情况如表 4-1 所示：

表 4-1 每组被试人数

六年级	VR	25
	平板（对比组）	13
四年级	VR	25
	平板（对比组）	13

本次实验共计涉及 50 名被试，四、六年级组各 25 名（其中六年级组女性 11 人，男性 14 人，四年级组女性 13 人，男性 12 人），全部参与完成 VR 实验；而为了保证实验的可靠性，在 VR 实验全部完成后，从各年级的 25 名被试中再度各自抽取 13 名被试，于隔天参与平板对比组实验。

4.2 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。

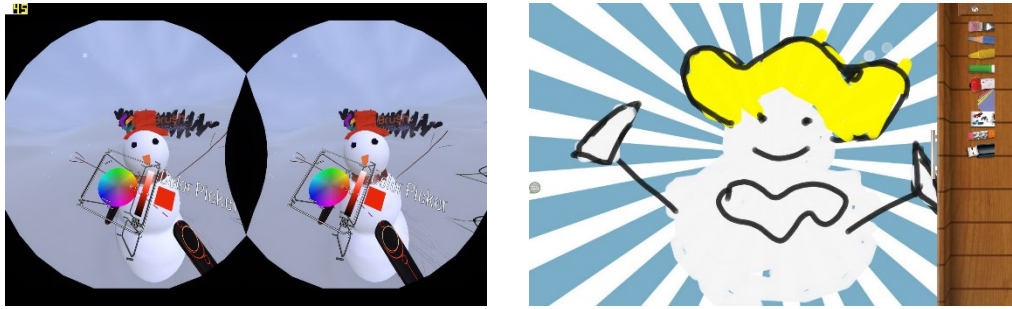
选择 VR 内容的依据主要有：

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；
5. VR 游戏与平板游戏内容高度一致；

本实验最终选用 VR 内容如表 4-2 所示，画面如图 4-1 所示：

表 4-2 实验内容

内容选择	开发厂商	应用组别	使用时间
Tilt Brush（雪地背景）	Google	VR 组	1 小时
Drawing Pad 画板	Murtha Design Inc.	平板组	1 小时



(a) Tilt Brush

(b) Drawing Pad 画板

图 4-1 实验选用的 VR 内容

4.3 实验设备

本实验主要使用的设备包含用于构建 VR 环境的计算机、头戴式显示设备、跟踪交互系统以及用于测试的相关仪器。

具体清单如表 4-3 所示下：

表 4-3 实验设备清单

设备名称	品牌/型号/参数	数量	用途
头戴式显示设备及跟踪交互系统	HTC Vive	4	显示 VR 内容 跟踪交互
高性能工作站	显卡：NVIDIA GeForce GTX 970 或 AMD Radeon R9 290 以上	4	渲染虚拟现实内容
平板电脑	iPad	2	平板实验对照
	Samsung/Android	1	
	Nokia/Android	1	
验光仪	尼德克多功能电脑验光仪	1	用于验证使用设备前后及恢复前后的眼部参数变化
视力表箱	尼德克视力表箱	1	用于验证使用设备前后视力变化

4.4 实验测量方法

本实验采用主客观测量相结合的方式，主观测量方法采用视觉疲劳量表进行测量。客观测量方法采用视力表箱测量实验前后被试视力变化情况，采用验光仪测量被试实验前后视力参数变化，实验测量项如表 4-4 所示：

表 4-4 实验测量量及测试方法

测量量	设备	测量方法
双眼屈光度数	验光仪	<p>分别测量左右眼不同的屈光度数，用于评价眼睛短时视力下降的情况。</p> <p>主要可测参量为：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 左眼(L/OS)及右眼(R/OD)的球镜度数(Sphere, S, 远视(+)或近视(-)度数)·柱镜度数(Cylinder, C, 远视(+)或近视(-)散光度数)； 2) 散光类型(CYL, 远视(+)、近视(-)及混合类型(MIX))； 3) 散光轴方向(Axis, A, 轴度)； 4) 瞳距(PD/mm)； 5) 折合度数(Spherical Equivalent Power, S.E.) 验光单 VD 为电脑系统设定好的参数，不随人变化。 6) 眼球调节力；
视力	视力表箱	<p>被检者的视线要与 1.0 的一行平行，距离视力表箱 1.1 米，视力表箱与被检查者的距离固定。进行检测先遮盖一眼，单眼自上而下辨认“E”字缺口方向，直到不能辨认为止，记录下来即可。正常视力应在 1.0 以上。</p>
视觉疲劳	视觉疲劳主观测试量表	<p>视觉疲劳主观测量量表采用 JAMES E. SHEEDY 针对视疲劳研究制作的量表，罗列了多种可能影响人眼视疲劳的因素，同时考虑了多种诱发视疲劳症状的条件。量表共 9 项，对应 9 个视觉疲劳的症状，每项分值为 100 分，分值越高，代表症状越严重。</p>

当中需要着重说明的是 Sheedy 视觉疲劳量表。在正常情况下，该量表应该由被试者自己打分；而考虑到本次试验的被试者年龄较小、对于量表问题缺乏理解、对自身症状感知不明确，因此本次实验中，将该量表分为 5 个级别：“全无症状”对应 0 分、“轻度症状”对应 25 分、“中度”对应 50 分、“较严重”对应 75 分、“非常严重”对应 100 分；并且采用由工作人员口头询问症状严重程度的方式，请被试从上述 5 个备选中进行回答。具体的 9 个问题请参见附录 I。



图 4-2 客观测量仪器验光仪（左）视力表箱（右）

4.5 实验流程

实验的整体流程分为三个阶段：实验预备阶段、实验测试阶段、视力恢复阶段。

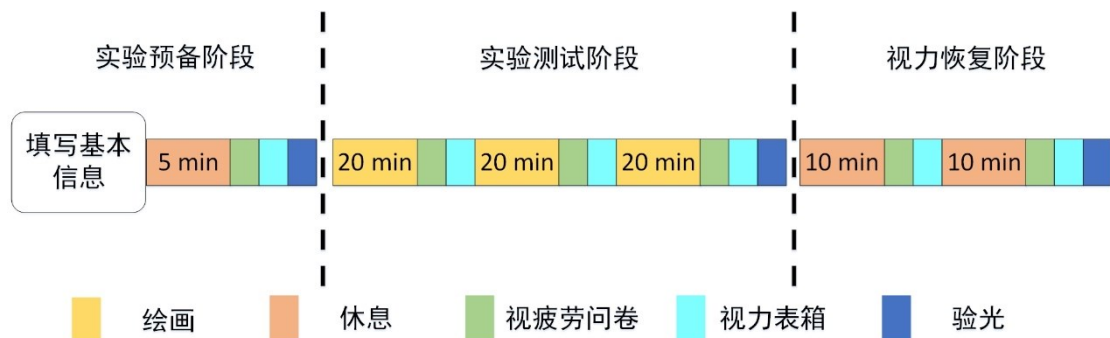


图 4-3 实验整体流程

4.5.1 实验预备阶段（5 分钟）

实验开始前，被试者进行 5 分钟眼部放松后，填写视觉疲劳量表，并进行一次验光与视力测试。实验现场如图 4-4 所示：



图 4-4 实验现场照片

4.5.2 实验测试阶段（60+分钟）

实验测试阶段，平板组在正常室内光照条件下使用画板工具进行绘画，VR 组佩戴头戴式显示设备，并使用 Tilt Brush 软件进行绘画。

每个被试的测试时间为 60 分钟，这 60 分钟分为三个阶段，每阶段长 20 分钟，其间保持被试者在测试期间持续完成绘画任务，保证平板组和 VR 组在同一时间段内的绘画内容大致相同。每个阶段结束后，组织被试者完成视觉疲劳测试量表并采集视力表箱数据；各个检测步骤所花的时间并不计算在各个实验阶段的 20 分钟内，每个测试时间均 ≤ 2.5 分钟。

在整个流程 60 分钟结束后，还需额外的对被试者进行一次验光。实验现场如图 4-5 所示：



图 4-5 实验现场照片

4.5.3 视力恢复阶段（20+分钟）

实验结束后，安排所有被试者进行总长 20 分钟眼部放松，分为两个阶段，每个阶段 10 分钟，期间禁止观看任何电子屏幕，以进行视力恢复。在每个十分钟结束后，组织被试者完成视觉疲劳测试量表并采集视力表箱数据；在整个流程 20 分钟结束后，还需另对被试者进行一次验光。

五、实验结果

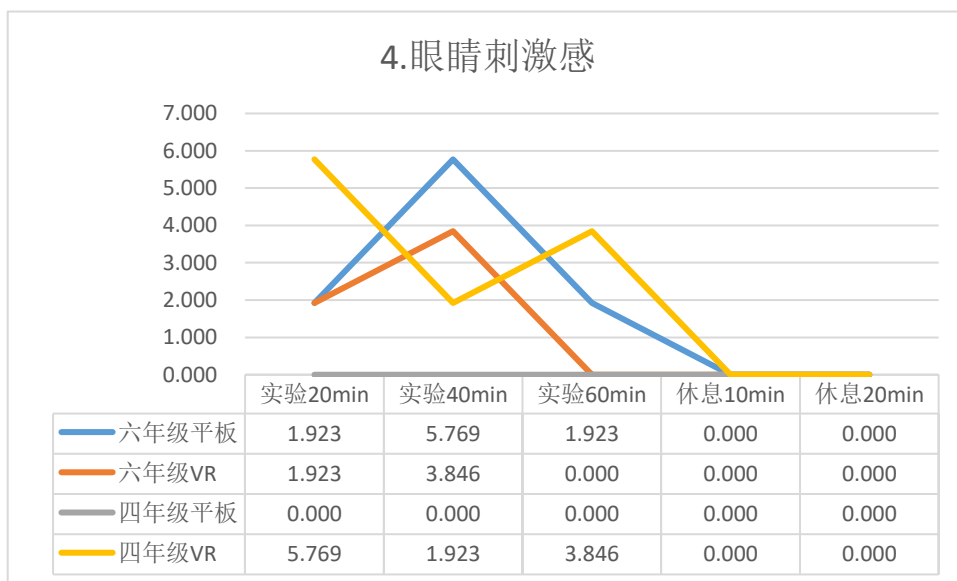
5.1 主观测量结果——视疲劳量表

使用视疲劳量表的结果如图 5-1 所示，图中所呈现的数据为第 2、3、4、5、6 次测验的疲劳数值减去初次测量数值的差，代表这一实验阶段对被测实验数据的影响，即数值 0 可代表与实验前处于同一水平。

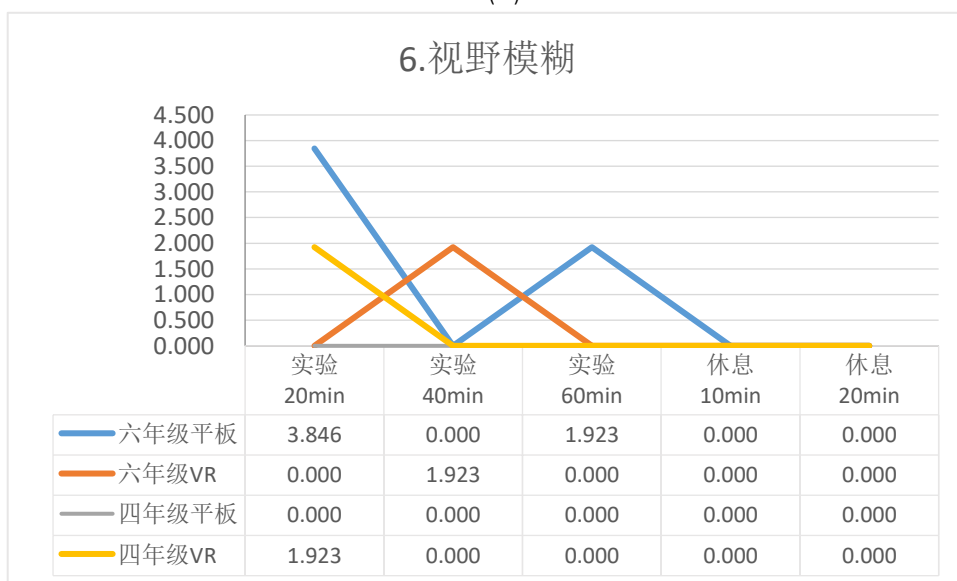
从反馈回来的视疲劳量表中可以观察出 VR 被试的视觉疲劳程度与平板被试在不同的疲劳症状中的主观视觉疲劳度变化。其中平板被试有部分症状的平均疲劳程度略高于 VR 被试的情况，例如图 5-1(a)

(b) 所呈现的第四症状（眼睛刺激感）和第六症状（视野模糊）。也

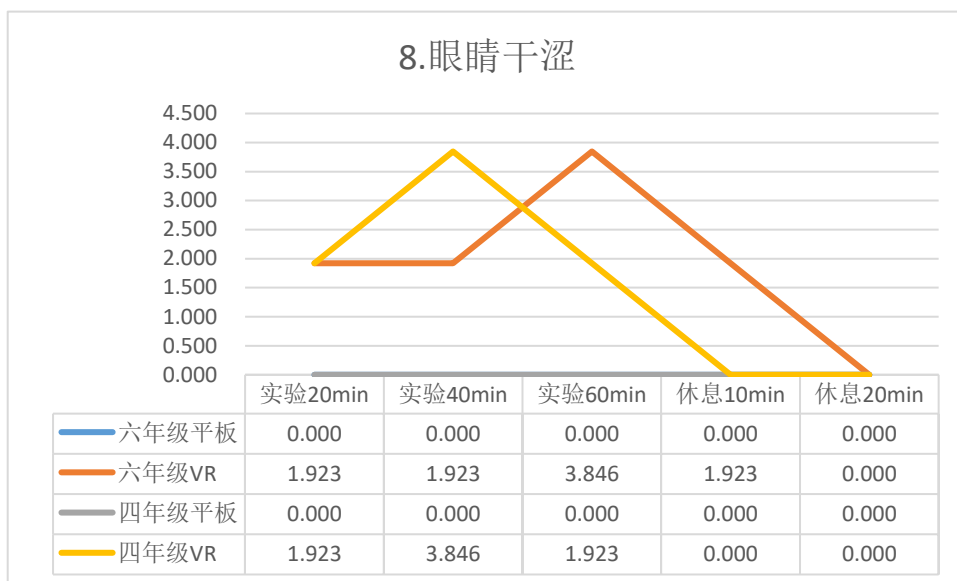
有部分症状平板被试略低，例如图 5-1 (c) (d) 所呈现的第八症状（眼睛干涩）和第九症状（头痛）。



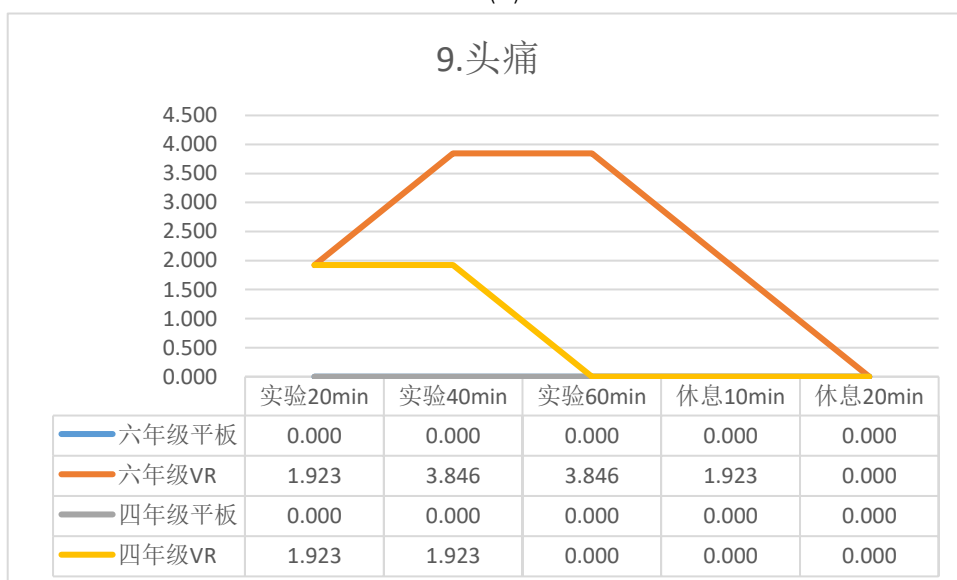
(a)



(b)



(c)



(d)

图 5-1 视疲劳症状变化图

另外，从以上四幅图中可以观测出，由于实验所引发的视疲劳，VR 被试和平板被试均可在休息过程中逐渐恢复，即本次实验 VR 组和平板组的视疲劳在短暂休息后都会完全消失，并未造成持久性的影响。

对于 VR 被试部分症状的出现，一个可能的原因是由于本次实验所采用的头戴式显示设备（HTC Vive），其可调节的最小瞳距为 60mm；而本次实验中六年级被试的平均瞳距为 60mm，最低为 56mm，四年级被试的平均瞳距为 57mm，最小为 52mm。佩戴时瞳距略有差异可

能会对疲劳度产生一定的影响。此外，VR组的体验运动量更大，少数四年级被试反映头盔略微沉重，也是可能是VR组部分症状产生的重要原因。这一现象及原因有待进一步实验考证。

5.2 客观测量结果——人眼视力变化

由于低年龄段用户的视力及视觉调节力较好，因此被试群体中双眼视力为1.5的样本较多，而1.5为国际标准视力表的上限值，向上并无增长空间，因此以初次测量时双眼视力达到1.5与否为标准对各组样本进行划分后独立分析，情况如表5-1所示。

表 5-1 划分情况

双眼初测视力	样本总数	初始视力 1.5	初始视力 <1.5
六年级 VR	25	13	12
四年级 VR	25	17	8
六年级 平板	13	7	6
四年级 平板	13	10	3

此外，由于国标视力表中从0.2到1.5之间相邻阶级之间并非完全是等差分布（即1.0的高一级并非1.1而是1.2，再高一级是1.5），因此将本次实验的初始数据全都转化为采用五分记法的对数视力表数据后，用第2、3、4、5、6次的视力值减去初始视力值的平均值来衡量视力的变化情况。

关于视力表的详情请见附录II。

5.2.1 初始视力 1.5 的被试

按照流程计算总共对被试进行了6次视力测试。其中，对于四年级和六年级初始视力为1.5（即对数视力表的5.2）的样本而言，不论是VR组还是平板组，其在对数视力表下视力变化的绝对值均小于0.1，并且在下一阶段快速恢复。

表 5-2 初始视力 1.5 的被试平均视力变化

	实验 20min	实验 40min	实验 60min	休息 10min	休息 20min

六年级平板	0.000 SD=0.000	-0.014 SD=0.035	0.000 SD=0.000	0.000 SD=0.000	0.000 SD=0.000
六年级 VR	-0.014 SD=0.047	-0.014 SD=0.047	-0.014 SD=0.047	-0.014 SD=0.047	-0.014 SD=0.047
四年级平板	-0.013 SD=0.033	0.000 SD=0.000	0.000 SD=0.000	0.000 SD=0.000	0.000 SD=0.000
四年级 VR	-0.006 SD=0.023	0.000 SD=0.000	-0.006 SD=0.023	0.000 SD=0.000	0.000 SD=0.000

5.2.2 初始视力小于 1.5 的被试

对于初始视力小于 1.5 的样本而言，具体情况如下：

表 5-3 初始视力小于 1.5 的被试平均视力变化

	实验 20min	实验 40min	实验 60min	休息 10min	休息 20min
六年级平板	0.050 SD=0.126	0.167 SD=0.340	0.050 SD=0.126	0.033 SD=0.149	0.000 SD=0.153
六年级 VR	0.039 SD=0.095	0.035 SD=0.117	0.010 SD=0.104	0.007 SD=0.085	0.016 SD=0.083
四年级平板	-0.033 SD=0.047	0.033 SD=0.094	0.033 SD=0.094	0.000 SD=0.082	-0.033 SD=0.125
四年级 VR	0.061 SD=0.047	0.031 SD=0.042	0.042 SD=0.057	0.048 SD=0.055	0.048 SD=0.055

可以发现，除了四年级平板组的被试之外，其余三组的视力值在第一阶段 20 分钟都是增加的；而在实验内容结束后（开始实验 60 分钟后，即第三阶段的数值），所有组别的视力值都比实验之前高，在休息过程中，平板组被试的视力逐渐回落而 VR 组被试的视力甚至仍有增长的趋势。

图 5-2 呈现了初始视力非 1.5 的被试，在休息阶段的视力变化情况。可以从图中看出，对于平板被试而言，他们的视力在休息过程中

反而呈现下降趋势：六年级平板被试的最后一次视力仅仅与实验前相同，而四年级平板被试已经略低于实验前的数值。与之相对的，VR 被试在结束实验休息的 20 分钟内，平均视力都恢复到实验前的状态，甚至相对于实验前相同或较高的值。然而上观表 5-3，这部分视力数据具有较大的标准差，因此只能作为定性分析大致推断 VR 被试的恢复情况略好的平板被试。

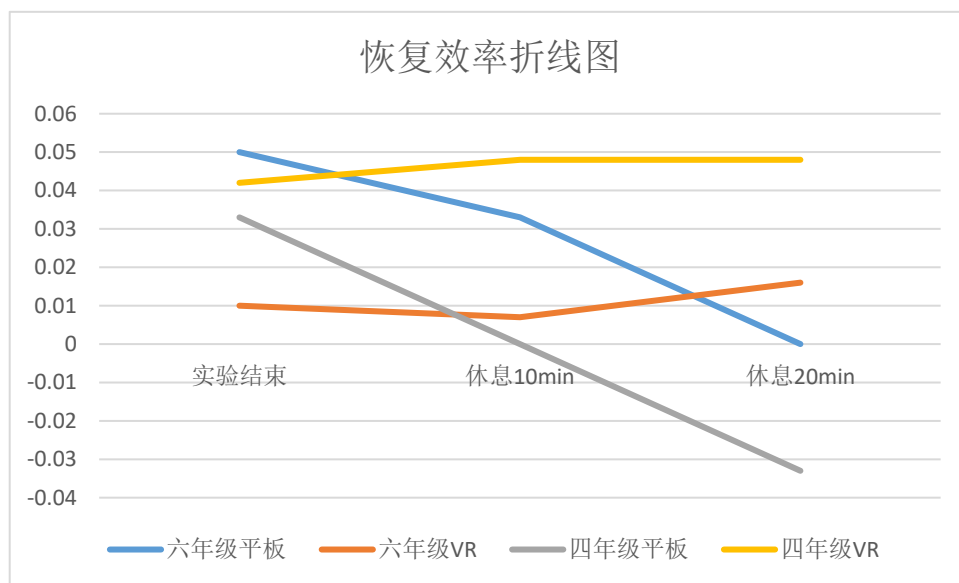


图 5-2 休息阶段视力恢复情况

除此以外，本次实验还对实验开始 20 分钟后、实验结束时和休息阶段结束后的视力与实验前进行对比分析，结果如图 5-3 所示。可以看出，VR 组被试在整个流程超过 1 小时 20 分钟的时间内，视力持平乃至提升的比例高达 90%。视力提升的原因有可能是低龄用户有较高几率具有远视倾向，推测视力提升的原因可从以下两方面归结：

2007 年罗彻斯特大学发表的论文结论中称，对于经常玩视频游戏的用户，他们的平均视锐度比同年龄段不玩游戏的用户更高。而不玩游戏的用户，可以通过让其每天有规律地玩视频游戏而适当提升其视锐度。在本实验中，由于低龄用户的视力未定型、更容易受到外因影响，因此推测在 1 小时使用头盔显示器和平板的被试，他们已经收到了视频游戏对于视力的影响，因此视力出现了短暂提升。

另一个可能的原因是低龄用户有较高几率具有远视倾向，远视对实验的影响在 5.2.3 中讨论。

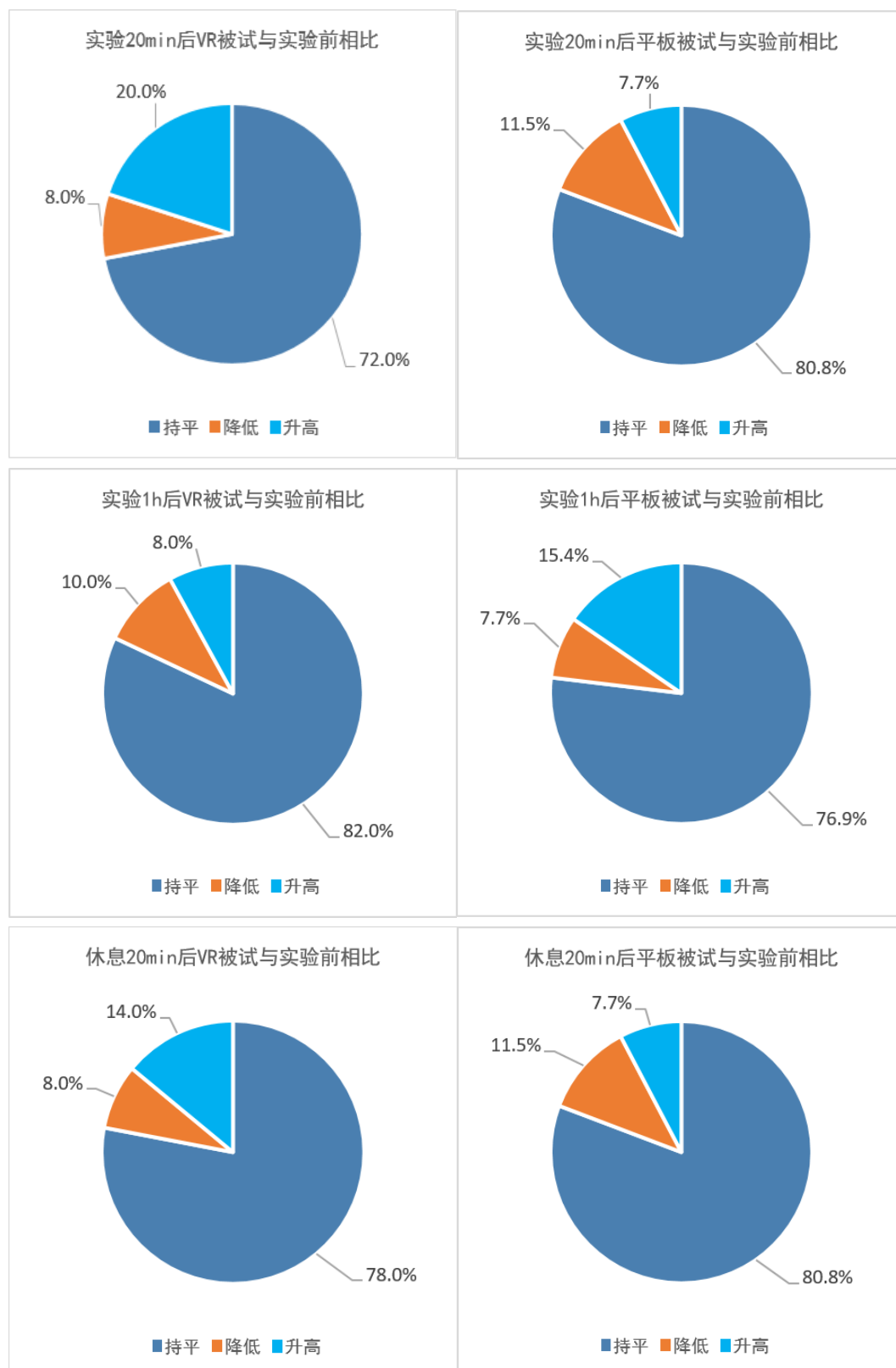


图 5-3 视力变化情况比例图

实验中的另一个观察到的现象是：从实验刚开始到休息结束后，从视力持平或升高的角度看，VR组被试的情况与平板组基本持平，不存在统计学意义上的显著区别，即VR组的视力变化趋势不差于平板组。

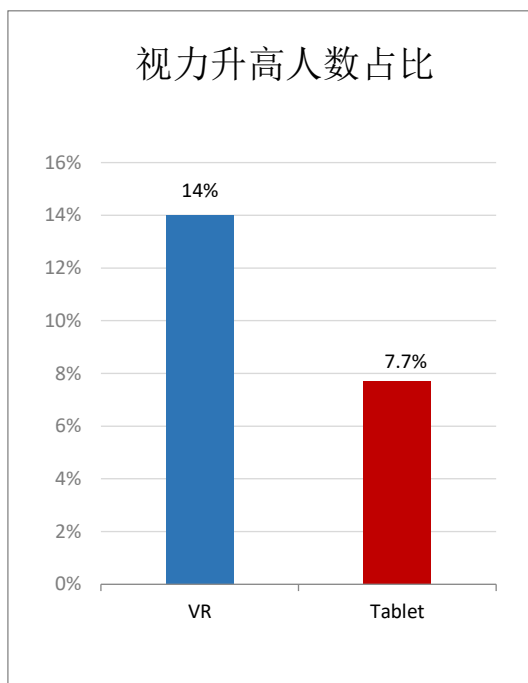


图 5-4 视力升高人数占比

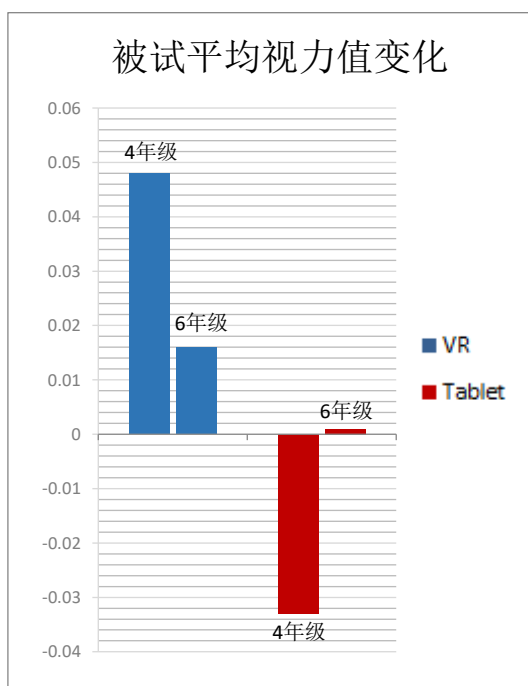


图 5-5 被试平均视力值变化

根据表 5-3 和图 5-3 得出实验最终视力变化图 5-4 和 5-5。其中根据图 5-4 视力升高人数占比图，整个实验流程结束后，高达 14% 的 VR 被试视力出现了一定幅度提升，而平板组仅为 7.7%，VR 组出现视力上升的案例比平板组多出近一倍；在图 5-5 关于被试平均视力变化的统计分布数据中，VR 组被试视力变化平均值均 ≥ 0 ，意味着 VR 组的平均视力较实验前呈上升状态；而平板组平均视力值 ≤ 0 ，意味着平板组的平均视力较实验前呈持平甚至下降状态。从目前初步实证结果来看，正确佩戴 VR 设备，选取合适的 VR 内容，VR 最终对学生视力的影响也是较为积极的。如果我们能接受学生使用平板电脑进行课堂学习，那么 VR 也是可以接受的。

5.2.3 远视与近视对实验结果的影响

本次实验的 50 个 VR 样本中，有 22 个样本在验光中检测出至少有一只眼睛屈光度大于 0；而在 26 个平板被试样本中，有 12 个样本检测出上述情况。这些屈光度大于 0 的眼睛，可视为具有远视倾向，而具有远视倾向的眼睛在长时间观看呈现于近处且足够清晰的物体将会调节该眼球晶状体，使该眼的焦平面拉近。

50 个 VR 样本有 32 个至少有一只眼睛屈光度小于 0；26 个平板被试中，有 18 个样本检测出该情况。眼睛的屈光度小于 0，可以初步将该眼认为近视倾向，具有近视倾向的眼睛在长时间观看呈现于远处而又足够清晰的物体，将会调节该眼球晶状体，使该眼的焦平面推远。

同时，由于人的左右眼视力并非完全一致，即有可能存在一只眼睛存在近视倾向、另一只眼睛正常甚至呈现远视倾向的情况。以 VR 组 50 名被试近视远视倾向分布情况如表 5-4 所示下：

表 5-4 VR 组双目远视近视分布情况

右 \ 左	近视	远视	正常	总数
近视	21	1	0	22
远视	6	9	2	17
正常	4	5	2	11

总数	31	15	4	50
----	----	----	---	----

除此以外，下图以被试实验前双眼屈光度（D）差值的绝对值 $|\Delta D|$ 为依据，对视力情况进行划分。其中，屈光度乘以 100 即为该被试佩戴眼镜的度数。图中以 0.5 和 1 为分界，小于 0.5 的部分我们认为双眼屈光度差别不大，介于 0.5 到 1 之间的部分视为有轻微差别，大于等于 1 的认为差别较大。

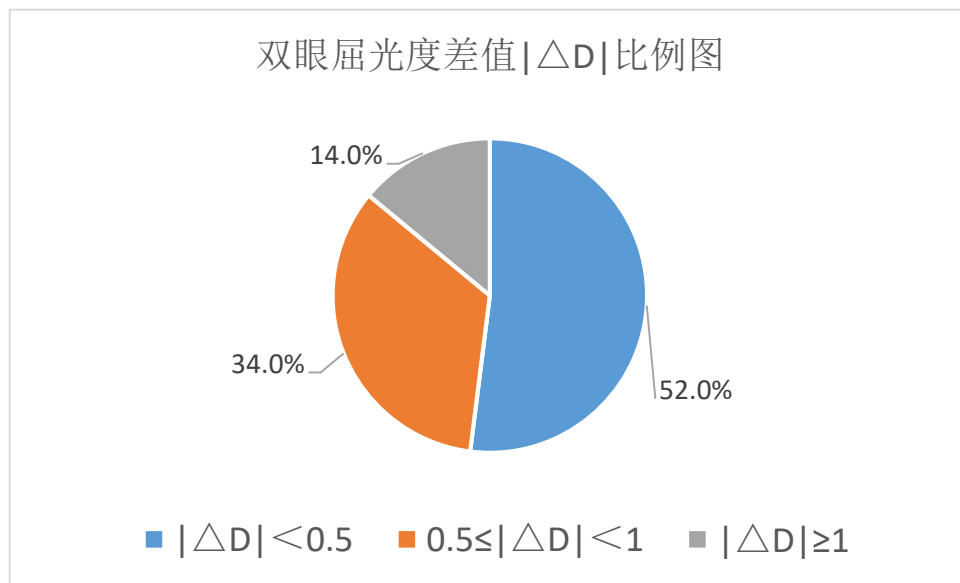


图 5-6 双眼屈光度差值 $|\Delta D|$ 比例图

根据实验数据可以明显发现，低年龄段用户左右眼视力差别较大，甚至有一部分被试左右眼分别呈现远视和近视倾向。例如从表格 5-4 和图 5-6 中即可分别看出，右眼近视并伴有左眼远视的被试有 1 位，而左眼近视右眼远视的被试有 6 位；双眼屈光度差值介于 0.5 到 1 之间的站 VR 样本总数的 34%，而屈光度差值大于等于 1 的占总数的 14%。由于克制力弱，大部分儿童用眼习惯不当，因此可能导致双眼屈光度的有所偏差，这在此年龄段儿童中较为普遍。

为探究初始视力小于 1.5 并具有远/近视症状的被试，在使用 VR/平板 1 小时后视力的变化，总结出如下表格：

表 5-5 近视远视是视力变化情况表

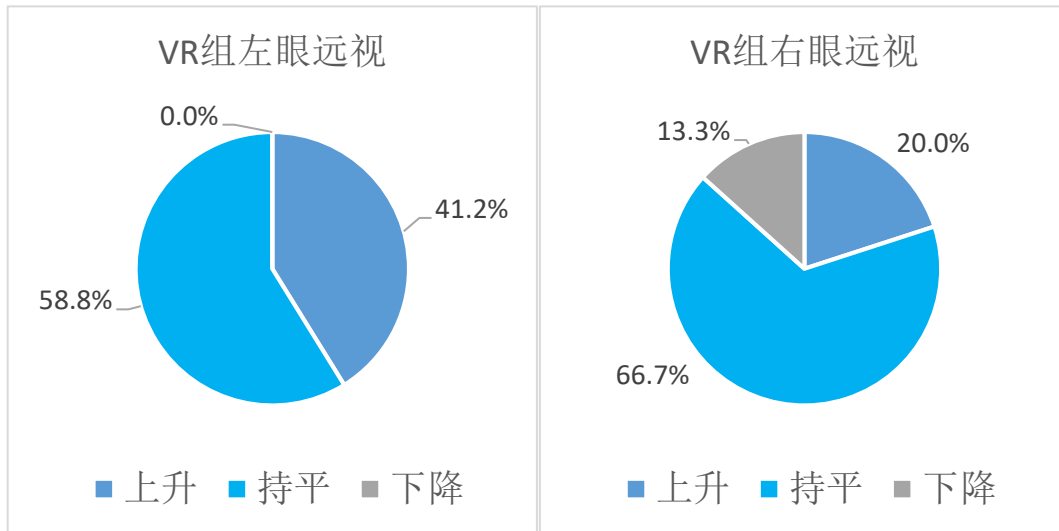
组别	视觉	眼睛	总数	初始视力	视力	视力	视力	下降人数占该
----	----	----	----	------	----	----	----	--------

	症状			小于 1.5	上升 人数	持平 人数	下降 人数	类别总数比例
VR (50 人)	远视	左眼	17	11	7	4	0	0.0 %
		右眼	15	7	3	2	2	13.3 %
	近视	左眼	22	14	3	6	5	22.7 %
		右眼	31	19	6	6	7	22.6 %
平板 (26 人)	远视	左眼	8	3	1	2	0	0.0 %
		右眼	6	1	1	0	0	0.0 %
	近视	左眼	14	9	2	5	2	14.3 %
		右眼	18	11	3	4	4	22.2 %

如表 5-5 所示，50 个 VR 样本中，具有远视右眼的人有 15 个，其中初始视力为 1.5 的被试有 8 名（表中未列出），初始视力小于 1.5 的被试有 7 名；这 11 名被试在实验 1 小时后，有 3 名被试的视力相对与实验前较高，2 名被试视力与实验前持平，2 名被试视力较实验前低；2 名视力下降的被试占该类别总人数 15 人的 13.3%。

由此可以发现，更加合理的、面向低龄用户的头戴式显示器设计最好可以满足两只眼睛远近视不同的需要，实现双眼焦距的独立可调。

下图（图 5-7）列出近视/远视眼的视力在实验前后的变化情况分布。



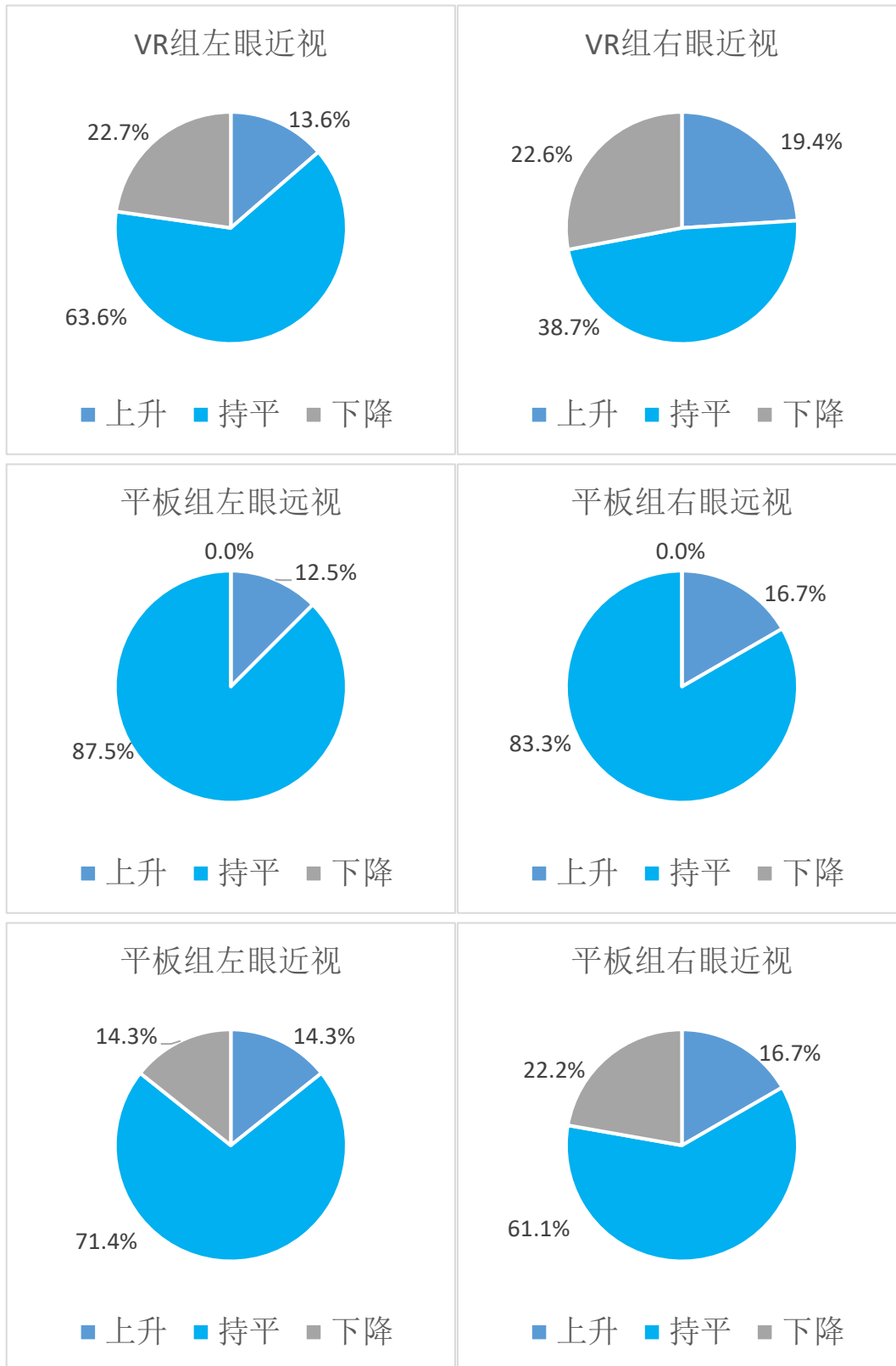


图 5-7 单眼非正常视力变化情况比例图

根据上述统计结果可以大致得出:远视眼的视力在 VR 实验中得到了一定程度的矫正(这仅仅针对初始视力小于 1.5 的样本集、并未包

含初始视力 1.5 的样本)。而有近视眼的被试眼睛视力在 VR 实验中也有部分出现了上升，而下降的比例小于该类别总数的 25%。从表 5-5 也可以看出，就非正常视力的样本而言，VR 组在实验中视力下降的比例与平板组较为接近。

不论是近视或是远视，一段时间内凝视一个较为合适的距离，都能够暂时舒缓症状，使其视力更加接近于视力表的高值范围，因此在 VR、平板实验组中都出现了视力上升的情况。

一组典型数据如下：

1) 4 年级被试谭某某双眼都具有远视倾向，在 VR 实验中：

右眼实验前视力 0.9/屈光度 1.5，实验后视力 1.0/屈光度 1.0

左眼实验前视力 0.9/屈光度 0.5，实验后视力 1.0/屈光度 0.25

由于 HTC Vive 内部的虚相距是固定的，初步判断该虚相距比谭某某实验前的视焦距更近；而在被试的实验过程中，其视焦距不断受到头盔内虚像面的牵引而拉近。因此在实验 1 小时后，其远视症状出现了轻微的缓解。

2) 4 年级被试宋某某的双眼都具有近视倾向，先后参加了 VR 和平板组的实验：

VR 实验中：

右眼实验前视力 0.2/屈光度 -3.25，实验后视力 0.4/屈光度 -3.0；

左眼实验前视力 0.3/屈光度 -2.75，实验后视力 0.5/屈光度 -2.75

平板实验中：

右眼实验前视力 0.2/屈光度 -3.0，实验后视力 0.2/屈光度 -3.0；

左眼实验前视力 0.3/屈光度 -2.75，实验后视力 0.4/屈光度 -2.5

以此可大致得出结论：该被试本身患有近视，由于 HTC Vive 的虚像距和平板的使用距离较远、需要被试尽力看向较远的位置，因此在长时间使用 VR/平板后，被试的眼睛视力出现了短暂的上升，屈光度也有轻微下降。

六、总结

本次实验凭借在 VR 端和平板端现有的绘画软件，设计实验流程来观测长时间使用 VR 设备和平板电脑研究 VR 头戴式显示器对低年龄段用户眼睛造成的影响。本实验使用的观测方式为验光仪、视力表箱和视疲劳问卷。

6.1 结论

本实验的数据反映，VR 体验的主观视疲劳感和平板所带来的视疲劳感在短时间的休息后都是可恢复的。在视力方面，由于存在大量远视情况，大部分低龄被试的视力相对于实验前都呈现了持平甚至增长的情况。同时，根据实验数据，相对与连续使用 1 小时平板的情况对比，VR 被试出现视力上升的人数比例更高。总体来说，低年龄用户使用 VR 头戴式显示设备与使用平板设备对视力的影响接近，甚至有更积极的影响。

根据本次实验的数据，可以初步进行如下分析：

1) **结论 1：**在 1 小时内使用 VR 头戴式显示器的被试，视力大多为持平或者上升；

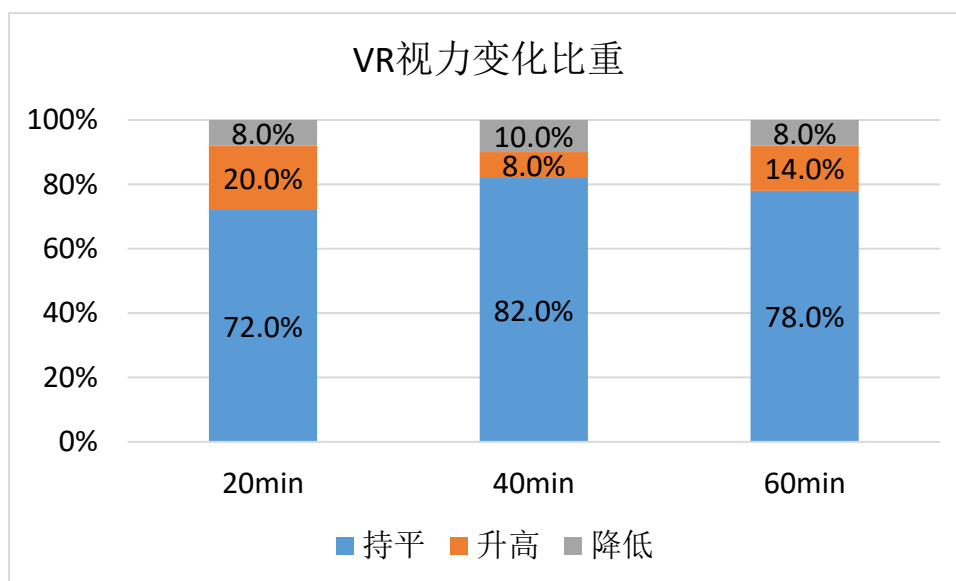


图 6-1 VR 被试视力变化比重图

这一情况主要是由于实验中存在较大数量具有远视倾向的被试，

使得视力的测量值有所提升。从表 5-3 中可以看出，在实验正式开始后 20 分钟、40 分钟、1 个小时里，VR 被试的视力平均值都高于实验前；图 6-1 是由图 5-3 中 VR 被试组的三张子图压缩变化而成，可以反映实验的三个时段中，初始视力非 1.5 的被试其视力变化比重。从图中可以看出，在实验 1 小时后，VR 被试中视力持平或上升的比例高达总人数的 90%，仅有 10%出现了视力下降。

2) 结论 2: 连续使用 1 小时后，平板组被试仅依靠 20 分钟的休息，不能全部恢复视力到实验前的状态；而 VR 组被试则呈现出较为积极的变化；

根据图 5-2 和表 5-3 可以看出，在实验后的 20 分钟休息阶段里，平板组的视力出现了缓慢回落，其中 6 年级平板被试最终视力和初始状态相同；而 4 年级平板被试的视力在最后甚至低于初始状态。相对于平板，VR 组被试的视力基本保持稳定，甚至出现了上升。其中，根据图 5-4 显示，整个实验流程结束后，高达 14%的 VR 被试视力出现了一定幅度提升，而平板组仅为 7.7%，VR 组出现视力上升的案例比平板组多出近一倍。因此有理由相信，在内容和方法适当的前提下，VR 可以在一定程度上改善低龄用户的视力。

3) 结论 3: 低年龄段用户视力容易受到 VR 头戴式显示器的影响；

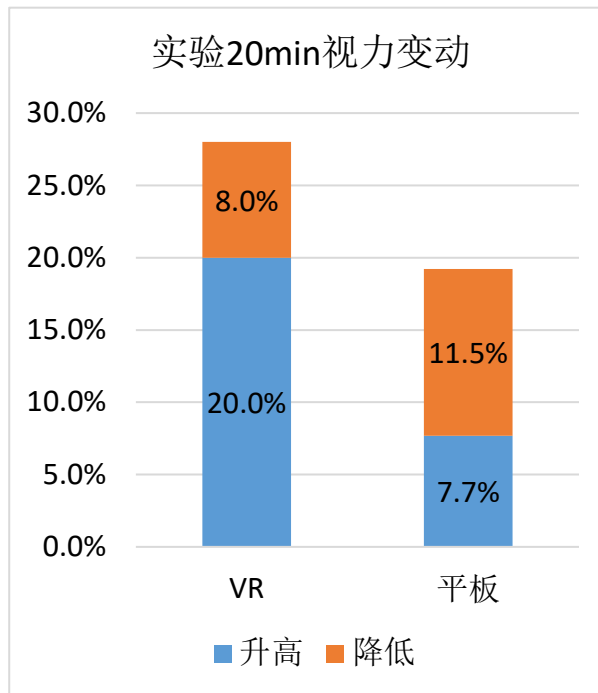


图 6-2 实验 20min 非 1.5 被试视力变化比重

将图 5-3 中实验开始 20 分钟的字图取出并加以整改，可以得出图 6-2，反映实验开始 20 分钟后，视力发生变化的人数比例。在实验开始 20 分钟后，有 28% 的 VR 被试视力出现了变动，而平板被试只有不到 20%，说明在 20 分钟内 VR 被试视力受到的影响高过平板被试。

根据实验数据可以发现，VR 设备在较短的使用时间内就会对具有近/远视视力的低年龄段用户的视力产生影响。根据图 5-7 及表 5-5 所示，具有远视左眼的 VR 被试有 41.2% 在实验后 1 小时后视力上升，具有远视右眼的有 20% 视力上升；具有近视左眼的 VR 被试有 13.6% 视力上升，具有近视右眼的有 19.4% 出现上升。另外，本次实验 VR 设备（HTC Vive）的实测虚像距约为 1.7m，比起通常学生使用平板的眼睛对焦距离 0.3m-0.45m 要远，在内容适当的情况下，较远的虚像距对长期观看的被试更为有益。

因此，如果头戴式显示设备的虚像距离设计合理，该设备可以起到较好视力矫正的作用。相对的，如果虚像距离设计不合理，将会导致视力的进一步下降。

6.2 建议

根据上述对实验数据的分析，项目组给出如下建议：

1) VR 头戴式显示器可作为视力矫正设备

低年龄用户的近远视大多是假性的，具有正常化的可能性；但倘若低年龄段用户长期频繁的处于固定的聚焦条件下，将有可能使视力定型，因此，当前市场上针对成人正常眼球设计的、具有较近距离和固定虚焦面的头戴式显示装置并不适合儿童长期长时间使用。

儿童佩戴眼镜来矫正视力的情况较少，倘若 VR 头戴式显示器能够在呈现趣味性内容的同时，通过可变虚像距离适当地缓解青少年的非正常视力，这将会对保护青少年视力起到极为重要的作用。

因此，针对低年龄段用户的视力弹性较大的情况，如果在 VR 头戴式显示器中加入左/右眼单屏幕的可调性，在保证足够清晰的前提下，允许用户将近视眼对应屏幕的虚像距离适当拉远，将远视眼的虚像距离适当拉近，可以适当解决青少年左右眼视力不均、以及青少年假性近/远视的情况；而视力正常的青少年则需要在使用一段时间后适当调节一下虚焦距，这样可以起到提前预防近视的作用。

2) 低年龄用户需要使用个性化 VR 头戴式显示器

鉴于结论 3 所述，低年龄段用户视力分布情况较为复杂，如果需要低年龄段用户较长时间使用 VR 设备，一个较为合理的建议是：需要通过视力检查掌握每一个用户的实际视力情况，并在头戴式显示器上进行相应调整，以满足低年龄段用户的用眼健康要求。假设，如果瞳距可以适应更大范围的调节，又或者 VR 设备本身更加轻便小巧等，那么理论上 VR 可以被更大的年龄范围所接受。

6.3 实验的局限性

本次实验仅仅测量了低年龄用户在 1 个小时内使用 VR 对视力的影响。不过，由于实验本身的限制，其结论尚有局限性，实验结论的不足主要体现在：

1) 目前市场上主流的 VR 头显并没有专门针对儿童设计的产品。

本次长时间实验使用的 HTC Vive 头戴式显示设备是目前市场上能够采购到的最高端的头戴式显示设备，其显示分辨率，刷新率，系统延迟等性能都相对较高，同时 HTC Vive 本身的虚像距离较远，在一定程度上更符合本次实验的要求。根据本次实验的初步实证数据，研究人员认为，在正确佩戴设备，选取内容合适的情况下，HTC Vive 是可以被 10 岁以上儿童所使用的。另外，本实验的结论只适用于具有同等水平的高性能 VR 头戴式显示设备，其他如手机外壳式头戴显示设备因其自身性能不足（如较大延迟、虚像距过近等）将可能给用户带来更大的疲劳感，并同时导致视力的变化，其长期使用结果并未完全被本实验所考虑。

2) 本次实验未考虑不同的亮度环境对用户的影像。有研究表明，不同的亮度以及亮度变化的频率对用户的视力和疲劳度都有明显的影响。受制于实验本身条件，本次实验仅仅选择了整体较为明亮的 VR 场景供用户使用，并未讨论 VR 中不同亮度对视力和疲劳的影响。一些过于黑暗、过于明亮或明暗变化过于频繁的 VR 场景可能导致更为严重的视疲劳和视力下降。

3) 本实验虽然测试了长时使用 VR 的情景（1 小时），但只是一个短期实验，不能反映长期长时间使用 VR 的影响。对于所谓的“长时间使用”对于视力和视疲劳的影响，更合适的内容暴露时长是 2-5 小时。然而考虑到低龄用户的视力安全，以及以往并未有让该类用户使用头盔显示器的实验先例，本实验依旧将体验时长限制在安全的 1 小时内。这是低龄用户玩视频游戏而不会造成负面影响的安全时长。鉴于前期有研究指出，如蓝光成分等因素在长期使用的条件下将对视力造成影响并引发疾病，本实验的结论被用于长期使用的情景时尚需进一步的补充相关测试数据。

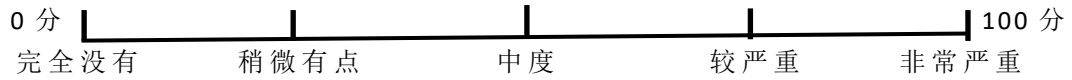
4) 本次实验为保证测量时间尽量短，因此选用了问题较少的 sheedy 视疲劳问卷；该问卷并不能获取单次测量的总体视疲劳量度，而仅仅是 9 个症状的各自程度，因此对于宏观视疲劳程度对比造成不便。

6.4 本次实验的负面情况报告。

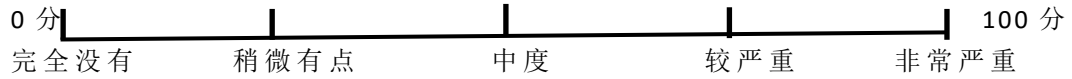
本次实验的四年级被试中出现了一例由于使用 VR 设备造成身体不适的情况：在实验 40 分钟进行视力检测和问卷填写后，被试要求多休息 1 分钟；并且在第三阶段的实验（实验中的第 40 到 60 分钟之间）过程中，理论上需要进行 20 分钟，然而被试在第 18 分钟就要求提前结束。该被试的主观信息显示其热衷于体育运动而明确地不喜欢绘画，而从以往 VR 的研究经验表明，被试对于实验内容的兴趣将极大程度地影响使用 VR 的舒适度。因此在缺乏相关实验先例的情况下，本实验推测该被试的视疲劳除了头盔不适等硬件因素外，还有可能是由于被试本身对于实验内容（绘画）有所排斥，再加上在虚拟环境中被试无法接触除了绘画工具之外的内容，因此产生焦躁，并对在 VR 空间中绘画产生了较强的抗拒。

附录 I：视疲劳主观测试量表

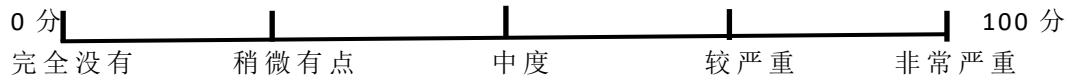
Q1： 你的眼睛会感觉有点发热吗？（Burning）



Q2： 你的眼睛有感觉有点疼吗？（Ache）



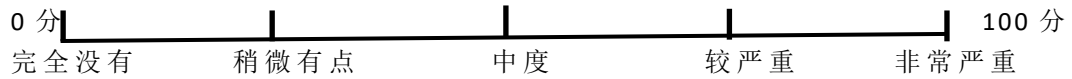
Q3： 你的眼睛有没有感觉有点紧？（Strain）



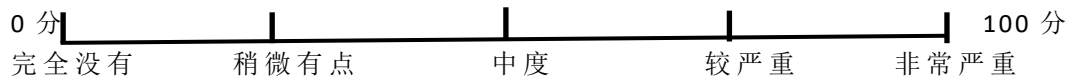
Q4： 你的眼睛有没有感觉有点刺激？（Irritation）



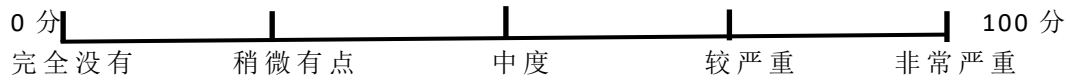
Q5： 你的眼睛会感觉有点流泪吗？（Tearing）



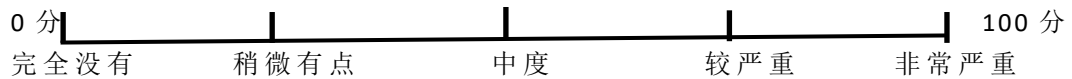
Q6： 你现在感觉眼睛看东西有点模糊吗？（Blurring）



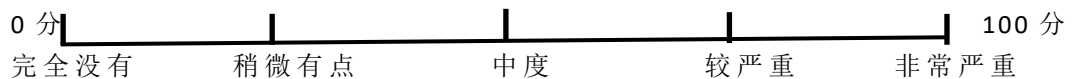
Q7： 你感觉眼睛有重影现象吗？（Double Vision）



Q8： 你的眼睛会感觉干涩吗？（Dryness）



Q9： 你现在感觉头疼吗？（Headache）



附录 II：视力表及转换依据

表中的“小数记法”是为广大医务工作者普遍地使用的国际标准，也是本次实验被试视力初始数据所保存的格式；右边的“五分记法”也被称为对数视力表，为我国独创的视力记录法，同时也是本次实验进行视力数据统计时所采用的最终格式。

小数记法		五分记法
0.1	E W 3	4.0
0.12	W E M E	4.1
0.15	M E W 3	4.2
0.2	E M 3 W E	4.2
0.25	W W E M 3	4.4
0.3	E M 3 W E	4.5
0.4	M W 3 E W 3	4.6
0.5	3 M E 3 W E	4.7
0.6	E W 3 M E W	4.8
0.7	3 E M W M E 3	4.85
0.8	E 3 W W M W E	4.9
0.9	3 E M W 3 E W M	4.95
1.0	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	5.0
1.2	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	5.1
1.5	· · · · · · · ·	5.2

参考文献：

- 王育良, 李凯, 刘彦,等. 眼视光学[J]. 2008.
- 王勤美. 屈光手术学(供眼视光学专业用)[M]. 人民卫生出版社, 2004.
- Misawa T, Shigeta S, Nojima S. [Effects of video games on visual function in children].[J]. Nipponseigaku Zasshi, 1991, 45(6):1029-34
- Li R W, Ngo C, Nguyen J, et al. Playing Video Game Improves Visual Acuity and Visual Attention in Adult Amblyopia - A Potentially Useful Tool for Amblyopia Treatment[J]. 2008.
- Gibbs P. Visual fatigue induced by optical misalignment in binocular devices: application to night vision binocular devices[C]Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 2015:286–288.
- Green C S, Bavelier D. Action-video-game experience alters the spatial resolution of vision[J]. Psychological Science, 2007, 18(1):88-94.