

利用脑波讯号做双眼不等视配镜优化

陈德请¹, 张朝凯^{2*}, 陈荣燊³, 彭国益⁴, 庄盛发⁵

¹逢甲大学电机工程学系, 台湾 台中

²台湾诺贝尔医疗机构, 台湾 台北

³亚洲大大学视光学系, 台湾 台中

⁴优视眼镜公司(西屯店), 台湾 台中

⁵逢甲大学视光科技硕士在职学位学程, 台湾 台中

Email: *chaokai@ms17.hinet.net

收稿日期: 2021年5月7日; 录用日期: 2021年5月21日; 发布日期: 2021年6月3日

摘 要

屈光参差(Anisometropia)是用眼习惯引起晶体调节力与眼肌内聚力不同, 因聚焦造成视网膜上影像清晰度程度不同所致。本研究利用脑波讯号与视觉生理反应之间的关系, 量测视觉清楚与模糊的脑波讯号变化, 分析脑波专注与放松曲线作为不等视配镜进行优化。双眼视差-2.50 D的受检者在配镜与验光时, 分别使用脑波量测、Worth4-dot视标法及视标红绿分离法检测。配戴-1.50 D眼镜时, 三项测试数据趋向实验设定的期望值, 受检者获得很好的融像(Fusion)及立体视觉(Stereopsis), 最适合的配镜处方。本创新方法利用脑波讯号检测视觉不等视(anisometropia), 无需经由受检者主动感受反应, 由脑波之专注与放松曲线经判别即可获得最佳验光与配镜数据, 并与其它两种方法具一致性, 证实脑波辅助不等视验光技术为可行。

关键词

调节力, 不等视, 融像

Measurement of Anisometropia with Brain Waves

Der-Chin Chen¹, Chao-Kai Zhang^{2*}, Rung-Shen Chen³, Kuo-Yi Peng⁴, Sheng-Fa Zhung⁵

¹Department of Electrical Engineering, Feng Chia University, Taichung Taiwan

²Taiwan Nobel Eye Institute, Taipei Taiwan

³Department of Optometry, Asia University, Taichung Taiwan

⁴U.S Optical Company, Taichung Taiwan

⁵Professional Master's Program of Optometry Science and Technology, Taichung Taiwan

Email: *chaokai@ms17.hinet.net

Received: May 7th, 2021; accepted: May 21st, 2021; published: Jun. 3rd, 2021

*通讯作者。

文章引用: 陈德请, 张朝凯, 陈荣燊, 彭国益, 庄盛发. 利用脑波讯号做双眼不等视配镜优化[J]. 眼科学, 2021, 10(2): 33-49. DOI: 10.12677/hjo.2021.102004

Abstract

Anisometropia is caused by the difference of crystal lens accommodation and ocular muscle cohesion caused by eye habit. It is caused by the difference in the sharpness of the image on the retina caused by focusing. In this study, the relationship between brain wave signals and visual physiological response was used to measure the changes of brain wave signal with clear and blurred vision, and concentration and relaxation curves of brain wave was analyzed as optimize anisometropia prescriptions. When the anisometropia -2.50 D subject is equipped with spectacles, brain-wave measurement, worth4-dot visual standard method, and visual standard red-green test are used to perform the refraction and ophthalmic dispensing of anisometropia. According to three method's test data, when the anisometropia -2.50 D subject wears -1.50 D glasses, the fusion, stereo vision and anisometropia correction effects are the most suitable prescriptions for the subject. This innovative method uses brainwave signals to detect anisometropia. It does not require the subject to actively feel the response. From the brainwave attention and meditation curve can be discriminated to obtain the best prescriptions data. The experimental results also meet the original expectations, which prove that the brainwave assisted optometry technology is feasible.

Keywords

Power of Accommodation, Anisometropia, Fusion

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

双眼视(Binocular vision)是物体影像聚焦落在两眼视网膜对应点上, 又称固视, 对应点中央小凹大小约 0.35 mm, 需经由视觉系统整合作用与共同精确协调运动行为, 完成两眼视的视觉机转, 并具视觉空间感、视觉分析及视动整合形成立体感知的视觉。当两只眼睛视力完美协调一致, 这称为正常双眼视觉。双眼视觉的正常机能包含调节力、内聚(Convergence)、发散(Divergence)及动眼能力, 这些机能可以经由视觉训练使之增强。双眼视基础架构可以分为三大机转。感觉系统(Sensory system)接受外界视觉的刺激, 运作包含视觉系统在眼球解剖生理上的发育性、生理性成因及神经传导至大脑视觉皮质的影像形成等。整合系统(Integrative system)将感觉机转汇整之视觉信息, 融合形成单一视觉知觉区。运动系统(Motor system)控制眼睑的闭合, 进入眼睛的光量, 眼睛的屈光特性以及眼睛的运动[1]。不等视的定义为无论是在单一主轴或是两个主轴两眼屈亮度不等, 一八六七年 Kaiser 首先将屈亮度不等命名为屈光参差, 其类型有: 一眼正视(Emmetropia)与一眼远视(Hyperopia)、近视(Myopia)或散光(Astigmatism); 双眼屈光不正(Refractive error), 但屈亮度数不同的种类亦有所不同。低于 1.50 D 的屈光参差属于生理性, 国外将双眼屈亮度相差 1.00 D 以上的称为屈光参差。屈光参差性弱视是双眼屈光参差(Binocular anisometropia)较大, 同一物体在双眼视网膜(Binocular retinal)成像大小不等, 融合困难, 视皮质中枢抑制屈光不正较大眼睛, 其易形成弱视眼。单眼近视、远视及散光造成屈光参差[2]。两眼屈光绝对相等比较少见, 多数人都表现出一定量的屈光参差, 普遍存在屈亮度微小差异。眼睛发育过程中, 如果两眼发展不同, 就可能引起屈光参差。除发育因素外, 创伤和其他疾病也可能引起屈光参差。屈光参差大多是先天性, 常合并面部发育不对称。屈光参差大者会严重影响视功能, 破坏双眼视功能, 导致斜视(Strabismus)及弱视发生。发生年龄越小, 对视功

能影响会越来越严重。少年儿童的屈光参差要早期发现,建议六岁前检查视力,如出现屈光参差要尽早配镜矫正,不可忽略不戴眼镜[2]。用眼习惯引起的调节力与集合力不同步及视网膜上清晰度程度不同导致屈光参差。本研究首先进行屈光参差成因的分析与处理方法,再进行脑波量测屈光参差设计与建立量测系统。研究方法系利用脑波讯号与视觉生理反应之间的关系,量测视觉清楚与模糊的脑波讯号变化,分析脑波专注与放松曲线作为不等视配镜优化。从量测数据可以得知受检者的融像与配戴舒适度,完成矫正左右不等视现象。不等视矫正方法以框架眼镜与隐形眼镜为主,其次角膜塑型镜及屈光手术。框架眼镜矫正不等视最大的不足是产生的棱镜效果,这样眼向上和向下看时,产生不适或融像时出现复视。对于非共同性不等像,即垂直或是水平性不等像及斜性不等像,只能通过框架眼镜进行矫正。

2. 基本原理

屈光参差代表眼睛发育的一个独特例子,其中具有相同遗传背景,并且看似受到相同环境影响的两只眼睛屈亮度可以个别不对称地生长而产生明显不同的屈光不正。早期对动物和人类的视觉研究都显示,屈光不正很大原因取决于眼轴的长度,而眼的生长则受视觉经验的影响。虽然有证据显示在屈光不正发展的遗传影响,特别是近视,现在是普遍接受的是环境因素,如近距离工作及户外活动也引起很重要作用[3]。经大量研究与调查结果,整个人类生命各个阶段屈光参差的患病率和严重程度随着年龄成长显示从儿童早期到较大年龄所观察到的典型变化。在婴儿期,屈光参差的患病率降低,之后在整个儿童期和较高年龄组中,屈光参差症的患病率都有所增加。屈光参差的大小变化也遵循类似的趋势,眼球间屈亮度差大于或等于 1.00 D,或轴向长度不对称大于 0.3 mm。在所有年龄段,0.00 D~0.75 D 为所观察到的屈光参差的典型范围。经研究发现屈光参差的患病率和严重程度通常会随着年龄而增长,在整个儿童期至成年期稳步增加,并且近视或散光屈光不正也会增加。儿童时期屈光参差的变化与另一只眼睛之间的轴长不对称变化有关。

2.1. 不等视

不等视又称屈光参差是指两只眼睛的屈光力不相等,导致眼睛聚焦不均。近视、远视、散光都是可以相对于单眼而言的,如果双眼在一条或者两条子午在线的屈光力存在差异时,称为屈光参差。屈光参差的患者通常在一只眼睛中看到一个较大的图像,而在另一只眼睛中看到一个较小的图像,这会使他们的视线模糊。结果,一只眼睛屈光力可能变得比另一只眼睛更弱,这可能促使大脑偏向于更强壮的眼睛。图 1 所

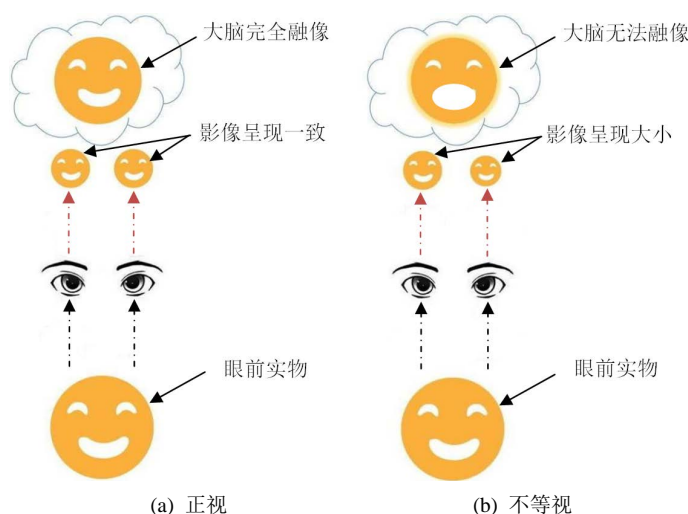


Figure 1. Schematic diagram of emmetropisation and anisometropia [4]

图 1. 正视与不等视示意图[4]

示为等视与不等视示意图, 图 1(a)所示当两眼屈亮度相差在人类生理阈值内, 大脑可以完全融像。图 1(b)所示当两眼屈亮度相差超过人类生理阈值以上, 大脑无法融像。

一位受检者右眼屈光力 0.00 D, 左眼眼屈光力-2.25 D, 双眼观看 40 cm 处物体, 两眼各往鼻侧偏移 5 mm, 此时右眼棱镜效应为 0; 左眼棱镜效应为 1.125^{Δ} , 将造成不等视或屈光参差效应, 如图 2 所示。一般来说人比较能接受 BI 棱镜度, 其次 BO, 垂直棱镜接受度最低。很多情形下, 由于一眼视力良好, 虽然另一眼视力逐渐低落, 但受检者不自觉视力障碍, 不等视的症状就很容易被忽略。未矫正的不等视经常会导致弱视, 特别一眼为远视时。这种情况多发生于高度屈光参差时, 为了避免或补救屈光不正度数高的眼球不至于发生弱视, 必须及早将其屈亮度加以矫正。成人大都有容许不等视的能力, 也较能强迫适应矫正眼镜的不适应感。唯一要注意的是因矫正眼镜引起的不等像、棱镜效应的不舒服感觉, 这些矫正眼镜也常会引起屈光不正。轻度屈光参差, 一般不影响双眼立体视觉, 但屈光参差超过一定程度后, 则其一眼可看清目标, 另一眼则视物模糊, 失去双眼影像融合能力, 无法形成立体视觉。理论上认为, 屈光参差大于 2.50 D 时, 双眼在视网膜上的影像差大于 5%, 双眼影像发生融合功能丧失, 无法形成立体视觉。但实际上, 由于人自身存在差异, 人可忍受的屈光参差可以达到将近 6.0 D, 还可以形成良好的立体视觉。

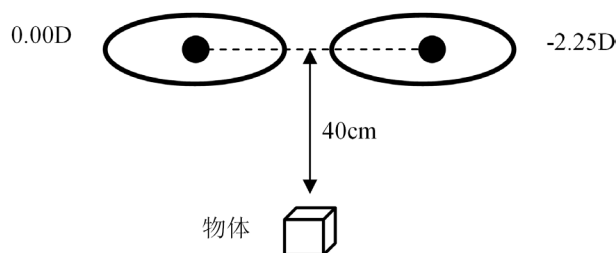


Figure 2. Near distance's prism effect of anisometropia

图 2. 不等视近距离棱镜效应

图 3 所示为人眼立体视觉[5], 当观看前方物体, 右眼与左眼单独对物体在视网膜上成像, 即右眼影像与左眼影像, 然后会对两只眼睛的成像进行处理, 把两个影像进行融合, 以使我们看到的更立体更清晰。当一只眼睛看不清楚物体, 那么它在视网膜上的成像模糊, 这样就会影响双眼的融像功能, 影响立体视觉等。

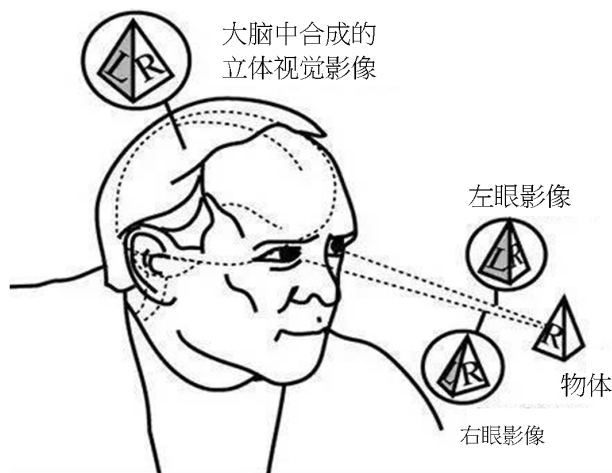


Figure 3. Stereopsis [5]

图 3. 立体视觉[5]

2.2. Worth4 Dot 视标法

Worth4 dot 的四个光点运用红、绿色滤光片分离双眼视觉。由于四点红、绿颜色互补，戴红色滤光片的眼睛看不到绿色光点，所以右眼只能看到上面红色光点和下方圆形所呈现的红色光点。戴绿色滤光片的眼睛看不到红色光点，因此左眼可以看到左右绿色光点和下方圆形所呈现的绿色光点。在平面融像检测前被检者双眼先做屈光全矫正，再配戴红、绿滤光片的眼镜，右眼为红色滤光片、左眼为绿色滤光片。受检者注视前方三十三公分或六公尺处 Worth4 dot 视标做量测。上方视标为一个红色光点，左、右相对为各一个绿色光点，下方则为一个白色光点(黄色灯泡光)，各厂家图案并没有统一标准规格，主要是上下左右的位置颜色是统一标准。图 4 所示为 Worth4-dot 视标图样。

受检者使用红色滤光片来分辨红色光点视标，绿色滤光片来分辨绿色光点视标，再使用双眼来注视下方白色光点(黄色灯泡光)视标。主要可检测受检者的复视状况、单侧抑制或交替抑制以及双眼融像功能。正常双眼融像受检者的双眼会看到上方视标为一个红色光点，左、右相对为各一个绿色光点，下方视标则为一个白色光点(黄色灯泡光)会呈现红、绿色光点交杂，如图 5 所示。右眼抑制(Suppression OD): 受检者只会看到左、右及下方三个绿色光点，如图 6 所示。左眼抑制(Suppression OS): 受检者只会看到上、下方二个红色光点，如图 7 所示。

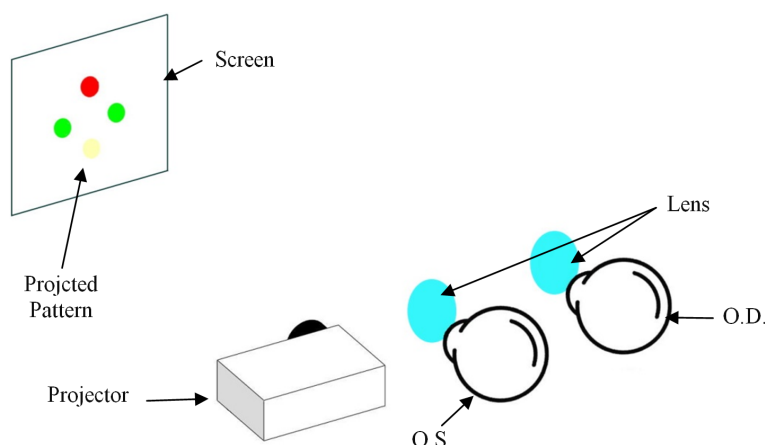


Figure 4. Test pattern of Worth 4 dot [4]

图 4. Worth 4 dot 测试图样[4]

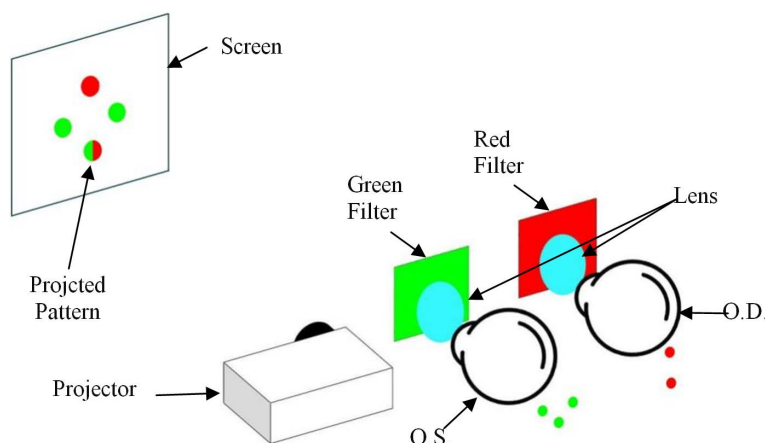


Figure 5. Worth 4 dot test-Binocular fusion [4]

图 5. Worth 4 dot 测试 - 双眼融像[4]

具复视受检者看到五个光点(二个红色光点跟三个绿色光点), 眼位偏离状况如下:

眼位向内偏离(Eso): 二个红色光点位于屏幕右侧, 三个绿色光点则位于屏幕左侧, 光点呈非交叉复视(Un-Cross diplopia)位置, 如图 8 所示。

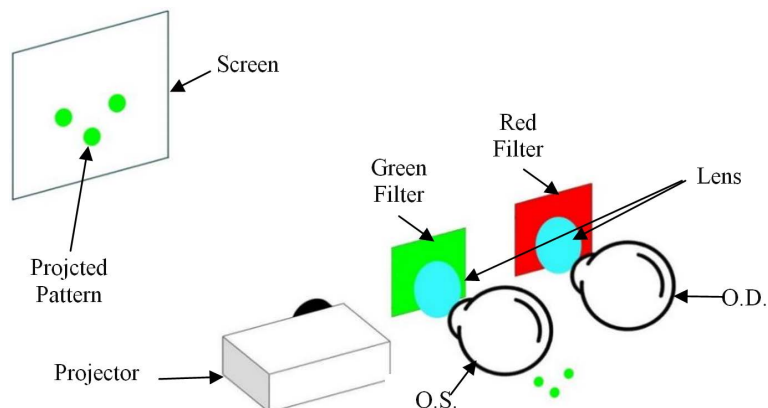


Figure 6. Worth 4 dot test-Suppression OD [4]

图 6. Worth4 dot 测试 - 右眼抑制[4]

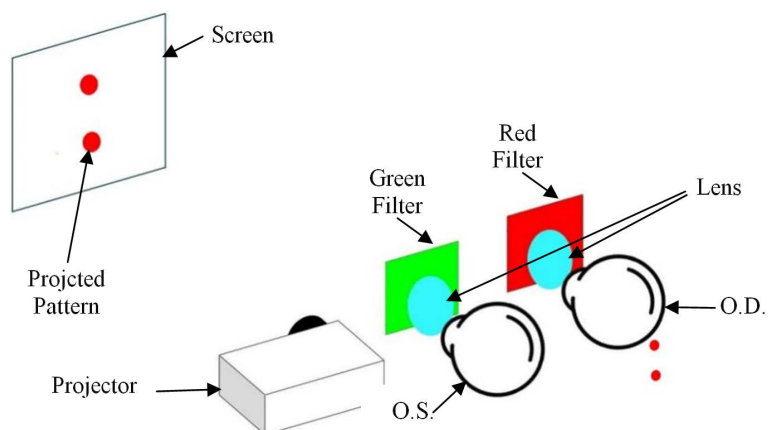


Figure 7. Worth 4 dot test-Suppression OS [4]

图 7. Worth4 dot 测试 - 左眼抑制[4]

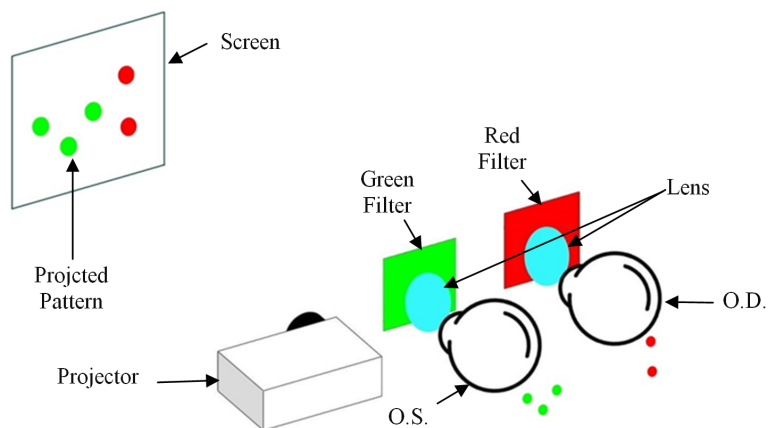


Figure 8. Worth 4 dot test-Eso case [4]

图 8. Worth4 dot 测试 - 眼位向内偏离[4]

眼位向外偏离(Exo): 二个红色光点位于屏幕左侧, 三个绿色光点则位于屏幕右侧, 光点呈交叉复视(Cross diplopia)位置, 如图 9 所示。右眼向上偏离(OD hyper): 二个红色光点位于屏幕下方, 三个绿色光点则位于屏幕上方, 如图 10 所示。左眼向上偏离(OS hyper): 二个红色光点位于屏幕上方, 三个绿色光点则位于屏幕下方, 如图 11 所示。

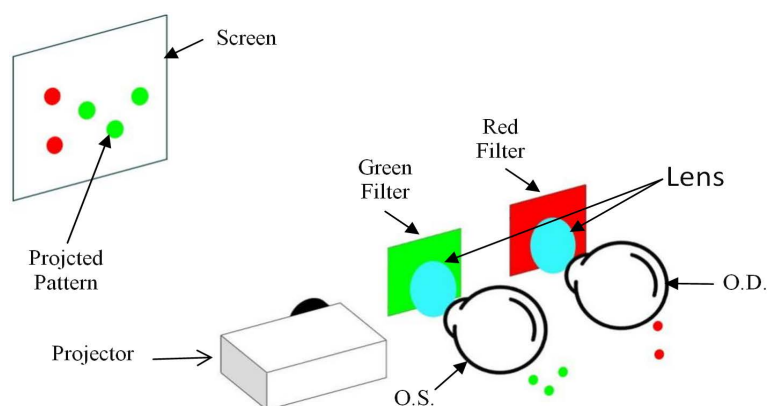


Figure 9. Worth 4 dot test-Exo case [4]
图 9. Worth4 dot 测试 - 眼位向外偏离[4]

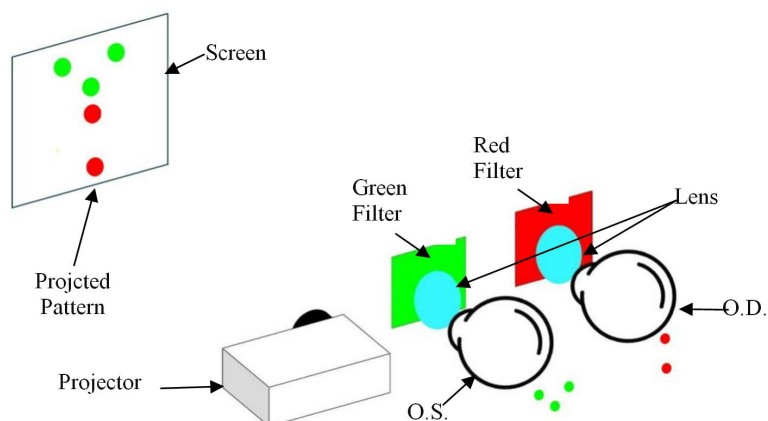


Figure 10. Worth 4 dot test-OD hyper [4]
图 10. Worth 4 dot 测试 - 右眼向上偏离[4]

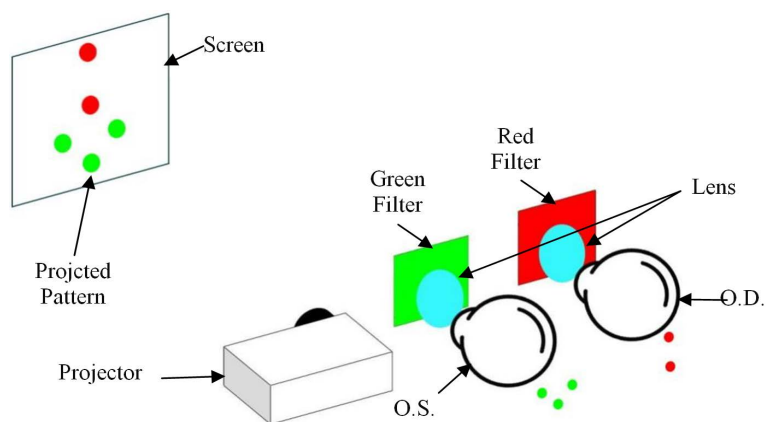


Figure 11. Worth 4 dot test-OS hyper [4]
图 11. Worth4 dot 测试 - 左眼向上偏离[4]

2.3. 脑电波

生物讯号是一种基于人体生理反应的回馈，再经由特殊仪器的感测而取得的一种讯号，生物讯号分为许多种类，最为常见的如血压、心跳及 EEG 等经常运用在医学界的生理讯号。脑波可以分为 δ (Delta)、 θ (Theta)、 α (Alpha)、 β (Beta)、 γ (Gamma) 波，各别代表着一种脑波频率。这五种脑波频率并非可以稳定的持续出现且被量测，特别是相邻类型的脑波更是常常相互交错的出现在脑电波图中，也因此不同的学者对于这五种脑波频率范围的定义会有些许的误差。 δ 波是频率为 1~4 Hz 的慢速、高振幅脑波，此波出现时，人体正处于无意识状态的深度睡眠，无梦、无知觉，与睡眠质量有直接的影响。 θ 波是频率为 4~8 Hz 的脑波，此波主潜意识，意识属于「中断」状态，而且对外界的信息刺激呈高度接受。 α 波是频率为 8~13 Hz 的慢速波，当人的意识清醒，身体处于放松状态时， α 波属于优势波；在清醒、运动、焦虑时则减少。 β 波是频率在 13~30 Hz 的快速、低振幅波，是清醒时呈现的脑波状态，与思考、焦虑、运算、注意力有关。 γ 波是频率在 36 Hz 以上的高频率波，与睡眠的快速动眼期(Rapid Eye Movement)有关，若人在 REM 期间觉醒，其脑波即为 γ 波。因为高频率的因素，使得人在此状态下会精神饱满且保持警觉。脑波讯号各波段特性的综整如表 1 所列。[6]

Table 1. Characteristics of each band of brain wave signal

表 1. 脑波讯号各波段特性

| 类型 | 频率范围 | 意义 |
|------------------|----------|---|
| δ (Delta) | 1~4 Hz | 无意识、深度睡眠状态 |
| θ (Theta) | 4~8 Hz | 梦境或冥想时，属于潜意识的波，能触发深层的记忆和情绪。 |
| α (Alpha) | 8~13 Hz | 专注力下降、身体放松、神游四方、放空、闭眼但清醒 |
| β (Beta) | 13~30 Hz | 专注于思考、推理，注意力集中在外在的感官世界刺激上，或是压力大、心情紧张、不自在、忧虑等。 |
| γ (Gamma) | 36~44 Hz | 提高意识专注在某件事情，特别出现在人脑受到多重刺激时，或是与短期记忆相关的认知行为。 |

本研究使用 NeuroSky 公司开发可移植性高的无线式单点式脑波捕获设备做为脑波量测，并将所侦测到的 α 、 β 波用来识别受测者目前的精神状态是否为放松或是专注。脑波讯号生理状况的说明如下：

(a) Alpha(α)波

α 波是频率为 8~13 Hz 的慢速波，当人的意识清醒，身体处于放松状态时， α 波属于优势波。本研究以侦测到的 α 波用来识别受测者的放松度。

(b) Beta(β)波

β 波是频率在 13~30 Hz 的快速、低振幅波，是清醒时呈现的脑波状态，与思考、焦虑、运算、注意力有关。而高频率的 β 波会使情绪亢奋、焦虑，许多镇定剂如八比妥酸盐(Barbiturate)之类都是藉由减低 β 波来达到镇定效果。本研究以侦测到的 β 波用来识别受测者的专注度。经过视觉生理反应运算过后的值(Attention、Meditation)所表示的意义如表 2。因此本研究将专注以 Attention 数值衡量；放松以 Meditation 数值衡量。

Table 2. State characteristics of brain wave visual physiological response

表 2. 脑波视觉生理反应状态特性

| 视觉生理反应指数 | Attention | Meditation |
|----------|-----------|------------|
| 80~100 | 注意力高 | 放松度高 |
| 60~80 | 比中等注意力略高 | 比中等放松度略高 |
| 40~60 | 注意力中等 | 放松度中等 |
| 40 以下 | 分散注意力 | 情绪激动或异常 |

3. 系统架构

不等视检测装置包括远用视力表(Distance visual acuity chart)、他觉式计算机验光机(Auto-Refractor)、自觉式综合验光仪、验光试镜片组(Trial lens set)、试镜架、单极点脑波摄取模块及计算机等成, 如图 12 所示。受检者配戴试镜架注视远方视标, 调整试镜架屈亮度。经由单极点脑波摄取模块摄取脑波讯号, 将脑波讯号传达至个人计算机分析, 以了解受检者远方双眼状况, 最后使用 Worth4-dot 视标法检验以及红绿分离法来检测受检者融像、立体视觉以及不等视状况。使用相关仪器及其用途简述如下。

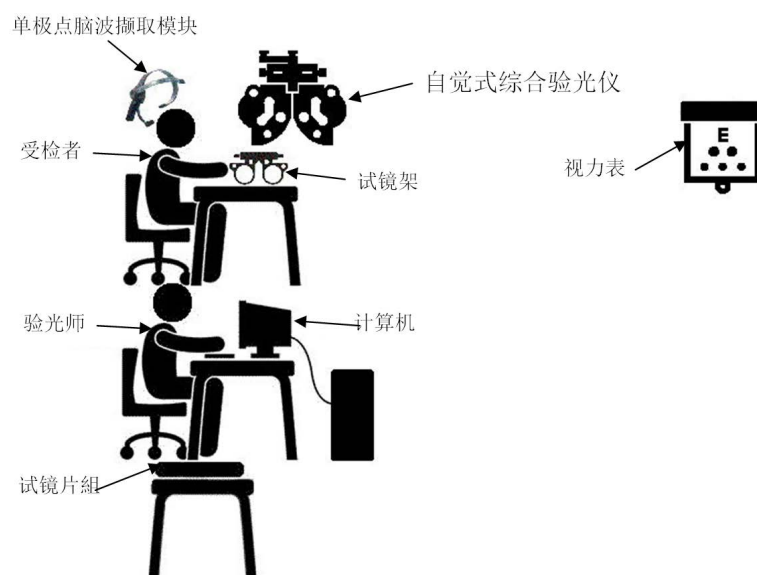


Figure12. The anisometropia test system structure

图 12. 不等视检测系统架构图

(a) 他觉式计算机验光机: 系采用近红外线为光源, 自动检测眼轴的长度来计算出受检者的屈亮度, 具备测量眼球角膜弧度(K 值)及曲率半径的功能。

(b) 自觉式综合验光仪: 验光盘中有各式球面、柱面、辅助镜片、棱镜忆及红及绿色滤光片。可检测受检者屈光矫正的度数, 也可以检测双眼视觉的相关功能。

(c) 验光试镜片组: 含各式镜片与试镜架, 受检者在完成所有的自觉式验光程序之后, 最后确认受检者是否适应新处方的工具。试镜架要可以符合受检者的瞳距及多方位的调整, 主要功能是试片可以保持受检者的顶点距离、倾斜度以及角度[7]。

(d) 远用视力表: 检测受检者辨识物体细微结构的视觉能力, 评估受检者被检眼的视觉功能, 或受检者的光学眼镜对于被检眼的矫正质量。六公尺视标为无限远, 受检者被检眼的调节和聚散的状况最小, 被检眼距离为六公尺的检测结果称为远用视力, 用于测视远用视力的设备称为远用视力表, 采用 Snellen “E” 字视力表[8]。

(e) 单极点脑波摄取模块: 调整试镜架上的屈亮度, 检测二组屈亮度的脑波专注及放松的曲线。

3.1. 验光仪器

他觉式计算机验光机采用近红外线为光源, 电子自动化技术进行调适视标, 客观方式自动检测眼球系统屈光异常度数。操作简单, 数秒即可获得受检者的验光结果。

验光时受检者需将头放正, 停止眨眼, 眼睛调节尽量放松, 计算机验光仪内置雾视功能, 使眼球放

松。受检者注视验光机内视标清晰时，自动调焦测量。做检测时，每次测量三次，作为验光时的初始参考值。

测试距离为六公尺，不同距离时字母大小由五分视角等比例缩放，正视眼的人可以分辨 Snellen 字母 1.0 视标。

测试距离六公尺是在眼内产生 $(-1/6)D$ 的入射聚散度。眼睛的景深大过这个值，不须用调节增加屈亮度来中和负的聚散度。距离太短会刺激调节，因此六公尺测试效果是无限远距离。

由于六公尺的目标对于注视眼所释放的调节和聚散情形已经很小，因此将测视距离为六公尺的视觉测试结果称为远用视力，用于测试远用视力的视标称为远用视力表。

视力(Visual acuity, V.A.)可以使用 Snellen 视力公式计算[9]，如图 13 所示。

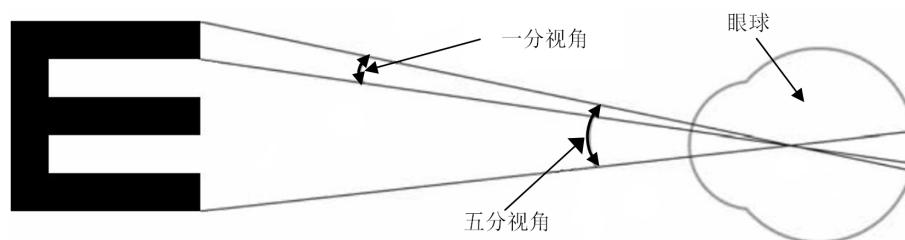


Figure 13. Test chart design principle

图 13. 视力表设计原理

综合验光仪各种屈光度量测主要由三个转轮控制，转轮系统配合各种球面镜片屈亮度数组合成一系列等效屈亮度。最靠近受检者的转轮是高屈亮度数，中间低屈亮度数，最前面负柱面镜片，可使镜片度数在一定间距增减。受检者眼睛要通过视孔观看，会产生机械性近视。其具有高度稳定性能满足检查所需之功能设定且更换镜片快速。在临床操作上比传统试镜架验光更为有效率。透过简单的旋钮快速的转换镜片，能减少受检者受到干扰，缩短检测时间。其功能不仅完备且检测快速，唯无法让受检者体验实际配戴结果。

3.2. 单极点脑波摄取模块

图 14 所示为额头式单极点脑波摄取模块，模块功能主要是监测受检者屈光测量期间之专注力与视力变化检测。传统式脑波仪使用过程复杂又费时，很不便利。将单极点脑波摄取模块的导电电极贴于受检者前额偏 Fp1 处，撷取的脑波讯号经信号处理后透过蓝牙接口传输至计算机(图 15)。将脑波中各种波型讯号利用视力专注值与放松值之方程式中计算。单极点脑波摄取模块有脑波侦测与信号处理两个单元，此二单元进行脑波侦测与信号处理。做双眼不等像检测时，受检者视觉被刺激，其脑波讯号即为受刺激脑部所产生的生物电流情形，透过信号处理与计算机运算，辅助量测并了解受检者目前视力的双眼融像及双眼不等像状态，是否单眼被抑制。

TGAM1 讯号处理芯片包含电源 3.3 V、接地(GND)、串行数据输出(TX)、串行数据输入(RX)、脑波讯号输入(EEG)、脑波讯号接地(GND)以及脑波讯号参考电位(REF)。接收脑波讯号后，处理芯片(TGAM1)所输出的封包数据系做为运算处理及后续控制。TGAM1 可透过该模拟/数字转换器，将脑波讯号由模拟讯号转换成数字讯号，再透过串行传输模式连续输出至该接收结构。

TGAM1 有脑波的撷取功能，其中包含了八个波段的脑波， δ (0.5~2.75 Hz); θ (3.5~6.75 Hz); α_L (7.5~9.25 Hz); α_H (10~11.75 Hz); β_L (13~16.75 Hz); β_H (18~29.75 Hz); γ_L (31~39.75 Hz); γ_H (41~49.75 Hz)。其中，专注值讯号系取自 γ_L (31~39.75 Hz) 及 γ_H (41~49.75 Hz) 两个波段组合，此两波段数值越大，专注度越高。放松值讯号系取自 β_L (13~16.75 Hz) 及 α_L (7.5~9.25 Hz) 两个波段组合，此两波段数值越大，放松度越高[10]。

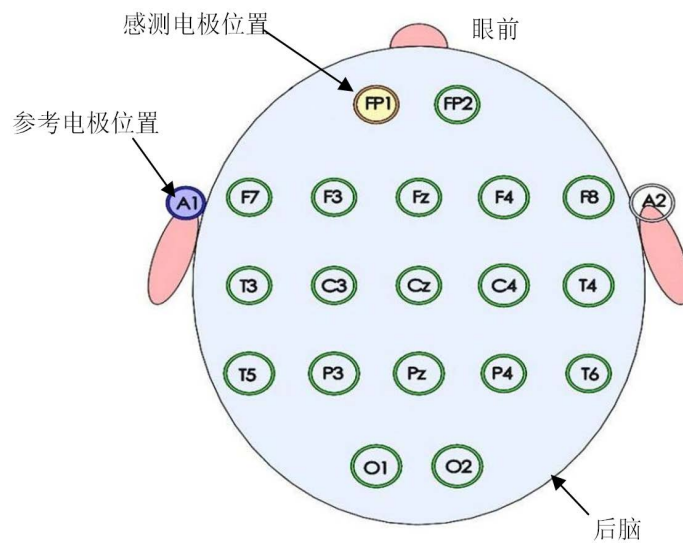


Figure 14. EEG electrode position

图 14. 国际脑波电极位置

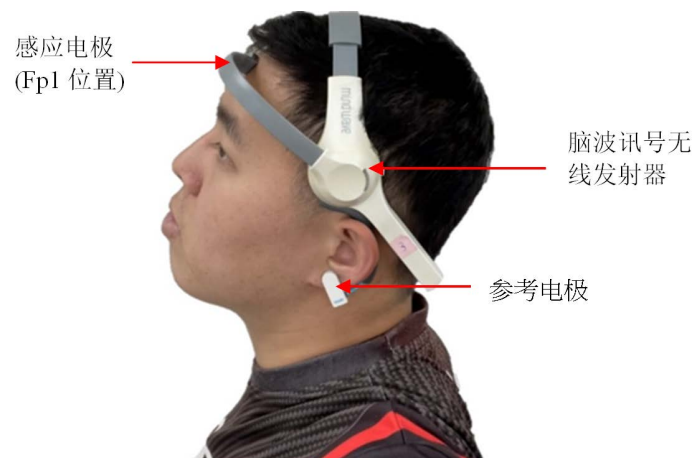


Figure 15. Sensing electrode is placed at Fp1 on the subject's forehead

图 15. 感应电极置于被检者额头 Fp1 位置

4. 实验结果与分析

4.1. 实验流程

脑波量测不等视的系统测试流程包括基础视觉验光、脑波检测、双眼不等像检测、融像检测与资料分析。脑波测试之后再使用其他双眼不等视检测方法做比对，确认不等视脑波信号可靠度，整个实验操作流程简述如下：

基础视觉验光检查流程中特殊测试项目说明如下：

他觉式自动验光机系做为基础视觉验光之用，所测得数据为验光初步起始点，与视网膜检影镜(Retinoscopy)的目的相同，检查时间短、速度快，减少受检者的疲劳感。

最佳视敏度(MPMVA: Maximum Plus to Maximum Visual Acuity)功能为当透过客观验光的方法，获得受检者的初始屈亮度数，再根据自觉式主观反应或判断，来确定受检者眼屈光的状况。其目的是受检者尽可能使用最低的镜片度数获得最佳的视力。

杰克森交叉圆柱镜(JCC: Jackson Crossed Cylinder)用途有三, 简述如下:

- (a) 精准的确定散光轴向和度数。
- (b) 互相垂直的强、弱主径在线有相同度数, 屈光度符号相反如 ± 0.25 D。
- (c) 强、弱主径线以红白点来表示: 红点为负轴正度数、白点为正轴负度数, 两轴之间为平光等效镜。

双眼视力平衡(Binocular balance)目的有二, 简述如下:

- (a) 双眼视觉平衡是指双眼调节平衡一致[11]。
- (b) 受检者在自觉式综合验光仪前, 因近物刺激调整所产生『辐辏性调整』; 其次是单眼视觉系统不易调整反应, 双眼注视时整个视觉系统较容易调整。

受检者获得基础视觉验光数据后, 进一步订定测试环境与条件的设定, 进行不等像脑波检测, 由量测数据即可做脑波信号「模糊至清楚」与「清楚到模糊」的统计图与分析。

本实验使用的仪器分别为他觉式自动验光机、自觉式综合验光仪与 Neuro Sky 单极点脑波撷取模块, 如图 16 所示。自觉式综合验光仪最大的特性在于使用方便且更换镜片快速, 利于操作增加准确度[12]。



Figure 16. Single pole brain wave capture module [12]

图 16. 单极点脑波撷取模块[12]

Snellen Chart 属于文字型视标适合受检者去阅读视标上的文字, 使大脑处于思考状态, 接受额外的刺激, 最终提升实验的可靠度。避免发生无法集中而涣散的问题, 选择视觉上较为明确的国际标准远用视力表视标, 并以受检者单眼最高视觉灵敏值(VA 值)为基础。

实验对象必须为近视患者并且近视度数须大于 -3.00 D, 且单眼视力须达 0.8 以上, 设定条件为确保实验中不会因实验对象的近视度不足而造成毫无明显的视觉差异性存在。

实验环境设定为微暗室与六公尺距离, 可避免睫状肌收缩, 排除调节力的介入。太亮环境会造成瞳孔缩小, 睫状肌收缩造成紧张, 并干扰脑波反应。实验包括脑波量测与 Worth4-dot 远用融像检测及红绿分离法检测。

本实验受检者双眼视差为 2.50 D, 双眼处方为右眼 4.00 D、左眼 6.50 D、男性、35 岁。依照矫正后数据, 分别使用 -1.50 D 及 -2.00 D 屈光度浅与屈光度深的做测试。脑波测试的时间设定三十秒, 眼睛动作为「张眼测试」、「闭眼休息」及「二次张眼测试」。测试过程简述分别如下: 受检者的基础视觉验光检查后的数据设定在自觉式综合验光仪, 配戴与启动额头式单极点脑波撷取器, 让受检者观看国际标准远用视力表, 以受检者最高视觉灵敏值(VA 值)为基础。

首先侦测受检者十秒「张眼测试」的脑波反应, 此时视觉呈现清楚状态。进入中间阶段的十秒「闭眼测试」的脑波反应, 此时视觉已呈现放松状态。再进入最后阶段的十秒「二次张眼测试」的脑波反应,

此时视觉再次呈现清楚状态。

4.2. 双眼不等视及远方融像量测

(a) 配戴-1.50 试镜片量测：依照矫正后数据，双眼视差设定-1.50 D 进行各种双眼不等视量测，简述如下。

(a.1) 脑波量测

脑波放松与专注反应曲线可以得知远方视觉状况，受检者在看国际标准远用视力表时，先采用受检者双眼各别的最佳视力处方来量测。受检者可看清楚国际标准远用视力表，但很快感到视力模糊，且看视标不易集中，无法达到双眼融像的目的。

受检者双眼视差为-2.50 D，双眼处方为右眼-4.00 D、左眼-6.50 D、男性、35 岁。图 17 所示为量测结果说明如下：

A 区(1~10 秒)：受检者在看国际标准远用视力表时，先采用受检者原先双眼视差-2.50 D 的处方量测，双眼度数右眼-4.00 D，左眼-6.50 D，虽然可以看到视力表，但受检者很快感觉到视力模糊，且看视标不易集中。专注曲线稍高于放松曲线，无法达到双眼融像。

B 区(11~20 秒)：闭眼十秒休息时，专注曲线低于放松曲线，大脑因无看视力表，呈现放松。

同时更换成视差-1.50 D 试片等待进入 C 区量测。此时双眼度数调整为右眼-4.00 D，左眼-5.50 D。

C 区(21~30 秒)加上-1.50 D 远方加入度时，此时双眼度数为右眼-4.00 D，左眼-5.50 D，专注曲线明显高于放松曲线，受检者表示看得很清楚。双眼有达到融像，且不会造成视觉压力，图 18 连续量测 5 次脑波反应曲线平均结果。

(a.2) Worth4 dot 远用融像检测

受检者右眼-4.00 D 试片，左眼-5.50 D 试片，使用红色滤光片来分辨红色光点视标，绿色滤光片来分辨绿色光点视标，再使用双眼来注视下方白色光点(黄色灯泡光)视标。主要检测受检者双眼的复视、单侧抑制或交替抑制以及双眼融像的最终结果。

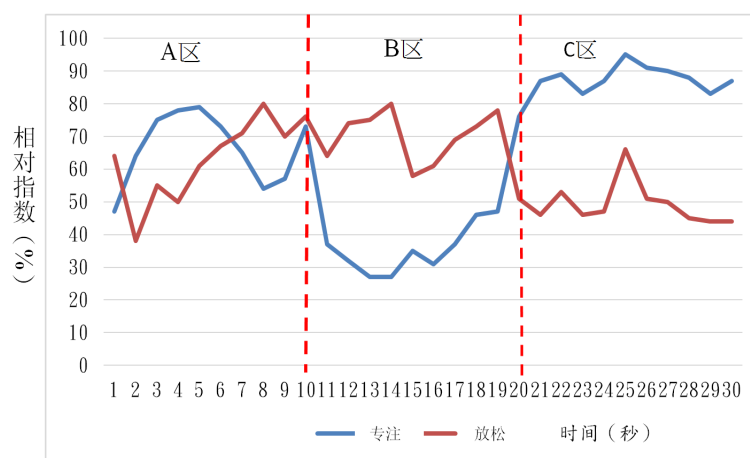


Figure 17. Brain wave response curve diagram of wearing -1.50 D trial lens
图 17. 配戴-1.50 D 试镜片脑波反应曲线图

Worth 4 dot 检测受检者的远方融像状况，受检者双眼看到上面视标为一个红色光点，左、右相对为各一个绿色光点，下方视标则为一个白色光点(黄色灯泡光)会呈现红、绿色光点交杂，红、绿闪烁速率差不多，绿色光点略红点微小。受检者达到双眼融像，如图 18 所示。

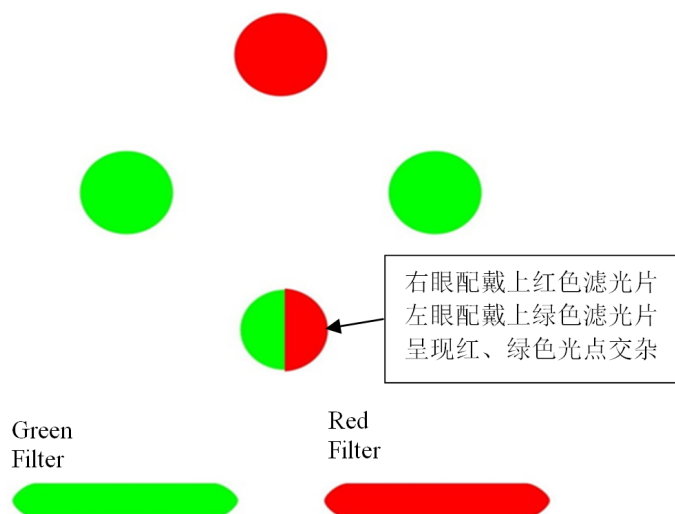


Figure 18. Worth4 dot fusion test result of wearing -1.50 D trial lens
图 18. 配戴 -1.50 D 试镜片 Worth4 dot 双眼融像测试结果

(b) 配戴 -2.00 D 试镜片量测：依照矫正后数据，双眼视差设定 -2.00 D 进行各项双眼不等视量测，简述如下。

(b.1) 脑波量测

受检者 35 岁男，双眼视差为 -2.50 D，双眼处方调整为右眼 -4.00 D、左眼 -6.50 D。

由脑波放松与专注反应曲线可以得知远方视觉表现状况，受检者在看国际标准远用视力表时，依旧采用受检者双眼各别的最佳视力处方来量测。

受检者表示可以看清楚国际标准远用视力表，但是很快就感到视力模糊，且看国际标准远用视力表不易集中，无法达到双眼融像。图 19 所示为量测结果说明如下：

A 区(1~10 秒)：受检者在看国际标准远用视力表时，先采用受检者原先双眼视差 -2.50 D 的处方来量测，此时双眼度数为右眼 -4.00 D，左眼 -6.50 D，虽然可以看到国际标准远用视力表，但是受检者表示很快就感觉到视力模糊，且看国际标准远用视力表不易集中。此时专注曲线稍高于放松曲线，但无法达到双眼融像。

B 区(11~20 秒)：闭眼十秒休息时，专注曲线低于放松曲线，显示大脑没有接收到“国际标准远用视力表”的讯号，呈现大脑放松。

同时更换成视差 -2.00 D 试片等待进入 C 区量测。

此时双眼度数调整为右眼 -4.00 D，左眼 -6.00 D。

C 区(21~30 秒)：加上 -2.00 D 远方加入度时，此时双眼度数为右眼 -4.00 D，左眼 -6.00 D，专注曲线明显高于放松曲线，受检者表示国际标准远用视力表看得很清楚。双眼有达到融像，且不会造成视觉压力，图 20 连续量测 5 次的结果。

(b.2) Worth4 dot 远用融像检测

受检者右眼 -4.00 D，左眼 -6.00 D，使用红色滤光片来分辨红色光点视标，绿色滤光片来分辨绿色光点视标，再使用双眼来注视下方白色光点(黄色灯泡光)视标。环境的设定与检测距离，分别是微暗室与六公尺的距离。主要检测受检者双眼的复视、单侧抑制或交替抑制以及双眼融像的最终结果。

检测目的是使用 Worth 4 dot 检测受检者的远方融像状况，当受检者表示双眼看到上面视标为一个红色光点，左、右相对为各一个绿色光点，下方视标则为一个白色光点(黄色灯泡光)会呈现红、绿色光点交杂，红色闪烁速率比绿色闪烁来得频繁，绿色光点则比红点较小。表示受检者虽右眼视觉强度较高，双眼虽有融像，但左眼仍有轻微抑制之情况，如图 20 所示。

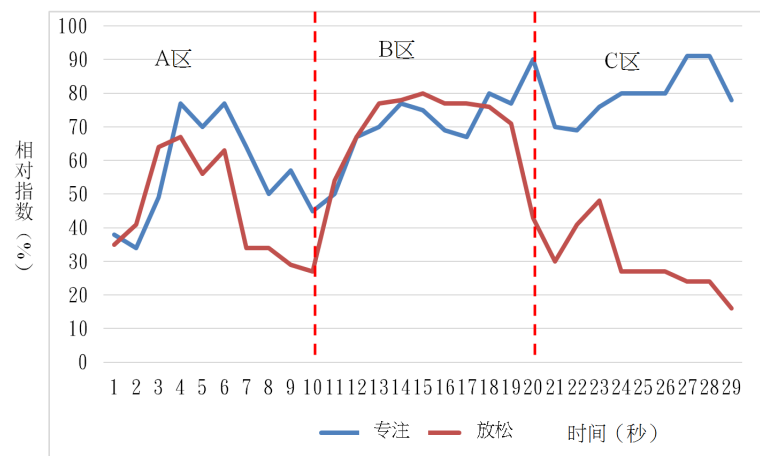


Figure 19. Brain wave response curve of wearing -2.00 D trial lens

图 19. 配戴-2.00 D 试镜片脑波反应曲线图

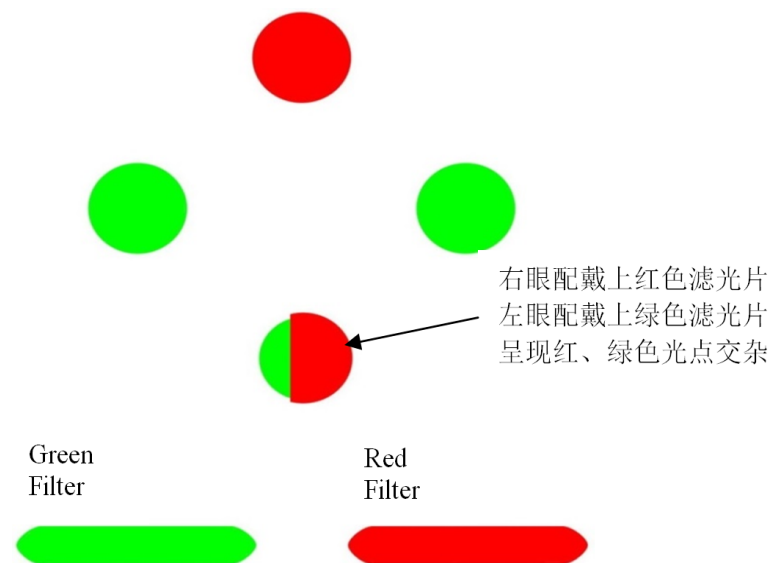


Figure 20. Worth4 dot fusion test result of wearing -2.00D trial lens

图 20. 配戴-2.00 D 试镜片 Worth4 dot 双眼融像测试结果

(c) 实验结果分析

身心放松的状态下，眼睛闭上休息，此时脑波所侦测到的是放松值上升，专注值下降与看近方物体看不清楚时的状态相同，脑波呈现放松值上升，专注值下降之状态。看近方时睫状肌用力，看清楚近方视标时，脑波呈现专注值上升，放松值下降。根据以上叙述，本实验以此反应状态作为脑波与视觉反应分析，表 3 所列为脑波视觉反应期望值。[10]

Table 3. Expecting value of brain wave visual response

表 3. 脑波视觉反应期望值

| 脑波反应 | 视觉状态 | 清楚 | 模糊 |
|------|------|----|----|
| | | | |
| 专注值 | | 上升 | 下降 |
| 放松值 | | 下降 | 上升 |

双眼视差为 2.50 D 受测者配戴不同屈光度试镜片进行测试, 脑波专注度与放松度指数的量测结果如表 2 所列。由表 2 数据可以发现配戴两种不同屈光度试镜片, 受测者专注度与放松度指数平均值的确相差很大。配戴-1.50 D 试镜片脑波专注度明显上升, 放松度下降, 说明受测者意志集中且视觉清晰。配戴-2.00 D 试镜片脑波明显放松度上升, 专注度下降, 说明受测者意志较不集中且清晰感较差。由以上分析获得结果双眼视差为 2.50 D 受测者配戴-1.50 D 试镜片为最适合的配镜处方。

本实验对象需为近视患者, 并且近视度数须大于-3.00 D, 且双眼视差-2.50 D 以上。正常案例受检者, 在实验过程中脑波的反应稳定及良好, 而且精神状态相当理想。实验时尽可能排除所有外在因素如干扰与睡眠不足及精神状况不差。这些因素将导致实验过程中专注力不足, 量测数据会产生误差。受检者实验测试获得脑波反应数据, 符合我们原先所设定的期望值。符合此实验条件的个案采样数量非常有限, 造成实验数不足, 为本实验缺点。脑波反应测试不需双眼视差受检者主动回报, 仅由专注与放松曲线的判断即可获得最佳配镜数据, 使脑波量测技术又再向前迈进。

5. 结论

通常测试不等像可用直接比较法, 也就是对同一目标, 轮流遮盖两眼, 准确度也相当高, 做主观的比较。视力检查(visual acuity)时所使用的试镜片会影响到放大率, 因此所有试镜片基弧与厚度必须保持一致。另一种检查方式可在其中一眼之前加入垂直棱镜, 制造垂直复影, 这样可同时比较双眼的影像大小。

本研究使用单点式脑波捕获设备进行融像测试, 其方式以专注与放松曲线做作为判断, 最后再使用 Worth4-dot 远用融像检测法比对测试, 完成不等像检查以确定最佳双眼融像, 达到最佳双眼视觉即可进行配镜。

未来的镜片设计如能达到相同的厚度、前表面曲率及镜片折射率, 却能拥有不同的度数, 以改善镜片对物体在眼内成像的放大率, 达到双眼视觉与双眼融像的最佳效果, 以及双眼立体视觉的舒适感, 改善双眼竞争导致大脑和眼睛协同运作之间的视觉失调问题, 也可避免屈光不正较重的那一眼被抑制, 沦为屈光参差性弱视的问题。

额头式单极点脑波撷取模块期待能设计只撷取脑波讯号的 γ_L (31~39.75 Hz) 及 γ_H (41~49.75 Hz) 两个波段, 以及讯号 β_L (13~16.75 Hz) 及 α_L (7.5~9.25 Hz) 两个波段, 则检测双眼融像能更单纯、快速、有效率, 不单只能检测不等像及双眼融像问题, 还能提供其他视力检查项目或运用在孩童、精神耗弱、低视力患者的重要参考值。

参考文献

- [1] 陈振豪. 双眼视机能异常-诊断与治疗[M]. 第 2 版. 新北: 合记图书出版社, 2011: 3.
- [2] 美国眼科学会. 临床光学[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2019: 403-405.
- [3] Rabin, J., Bradley, A. and Freeman, R.D. (1983) On the Relation between Aniseikonia and Axial Anisometropia. *Optometry and Vision Science*, **60**, 553-558. <https://doi.org/10.1097/00006324-198307000-00001>
- [4] 庄盛发. 利用脑波量测双眼不等像[D]: [硕士学位论文]. 台中: 逢甲大学视光科技硕士在职学位学程, 2020.
- [5] https://www.sohu.com/a/127054239_323700
- [6] 陈律文. 电子商务中商品推荐效果的脑神经科学研究[硕士学位论文]. 高雄: 国立中山大学信息管理学系研究所, 2016: 13-20.
- [7] 王朝达. 视光仪器学[M]. 新北: 新文京出版社, 2016: 89-107.
- [8] 瞿佳. 眼镜技术[M]. 新北: 新文京出版社, 2007: 11-35.
- [9] 美国眼科学会. 临床光学[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2019: 255-259.

- [10] 彭国益. 脑波应用于近方视力量测之研究[D]: [硕士学位论文]. 台中: 逢甲大学, 2020.
- [11] Carlson, N.B. and Kurtz, D. 视光临床实务: 眼睛检测步骤及操作技巧[M]. 台北: 美商麦格罗希尔国际股份有限公司台湾分公司, 2018: 138-156.
- [12] NeuroSky, Inc. (2015) Mind Wave Mobile: User Guide. NeuroSky, Inc., San Jose, CA..