

The Visual Fatigue Relaxation Device of Rotating Double Wedge Prism

Der-Chin Chen^{1*}, Feng-Ming Yeh², Wei-Hsin Chen³, Der-Chang Chen⁴

¹Department of Electrical Engineering, Fengjia University, Taichung Taiwan

²Department of Optometry, Yuanpei University of Medical Technology, Hsinchu Taiwan

³Department of Optometry, Hsin Sheng College of Medical Care and Management, Taoyuan Taiwan

⁴Program of Optometry Science and Technology, Fengjia University, Taichung Taiwan

Email: ^{*}kanatasan.tw@yahoo.com.tw

Received: Feb. 15th, 2020; accepted: Mar. 3rd, 2020; published: Mar. 10th, 2020

Abstract

Two same wedge prisms rotate in opposite direction to produce linear scanning of incident light beam. The binocular line of sight continuously converges and diverges after being viewed directly at the ophthalmic eye chart of six meters by the two rotating wedge prisms after the period. The diopter of subjects was the stability and visual fatigue was eliminated. The research method uses the two rotating wedge prisms and six meters distant eye charts to carry on the eye exercise. The extraocular muscles of subjects were relaxed. Visual fatigue exercise sets the different training time according to the diopter of myopia. The effect of eye exercise may strengthen the extraocular muscles of eyeball to move coordination of ability. The ciliary muscle was improved for relaxation, accommodation and adjustment sensitivity. The adduction and pursues of the object gaze can be increased. After subject's vision passes through the eye exercise to reach the stability of visual acuity and the eye muscle to relax. Using this innovative method, the subjects will be free of atropine before optometry to relax the extraocular muscles. It can be used as one of the reference steps for optometrists before optometry in the future.

Keywords

Eye Exercise, Linear Scanning, Wedge Prism

旋转双楔形棱镜视觉疲劳放松装置

陈德请^{1*}, 叶丰铭², 陈伟新³, 陈德昌⁴

¹逢甲大学电机工程学系, 台湾 台中

²元培医事科技大学视光系, 台湾 新竹

³新生医护管理专科学校视光科, 台湾 桃园

^{*}通讯作者。

⁴逢甲大学视光科技, 台湾 台中
Email: kanatasan.tw@yahoo.com.tw

收稿日期: 2020年2月15日; 录用日期: 2020年3月3日; 发布日期: 2020年3月10日

摘要

两个相同楔形棱镜反向等速旋转, 使入射光束产生直线扫描。双眼视线经旋转双楔形棱镜直视六米处视标后并持续产生内聚与开散, 训练一段时间被检者达到屈光度稳定及消除视觉疲劳。研究方法使用旋转双楔形棱镜及远方六米处视标, 进行视觉训练, 使眼外肌放松。视觉疲劳训练依近视屈光度的高低设定不同的训练时间。旋转双棱镜将提升眼球六条眼外肌之协调能力、眼内睫状肌的放松与调节作用及调节灵敏度, 增加眼内外肌延展与收缩, 造成破坏融像后让影像重整, 如此能让影像维持在视网膜上六条眼外肌跟着运动。被检者的视力经过旋转双棱镜放松后, 度数将趋于稳定, 达到一般医生验光前习惯使用散瞳剂的方法。使用本创新方法, 将使受测者在验光前免用散瞳剂让眼外肌放松, 未来可做为验光师在验光流程前之参考步骤之一。

关键词

视力训练, 直线扫描, 楔形棱镜

Copyright © 2020 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

随着时代进步, 科技日新月异, 3C 产品普及率增加。现代人 24 小时除了睡觉外, 都离不开智能型手机与计算机, 所以眼睛每天都处于疲劳的状况, 如何使用物理方式来放松眼睛的疲劳来达到舒压, 使得验光屈光度更精准, 不会因为眼睛疲劳而造成假性屈光度数增加。

眼球眼内及眼外肌动作, 看近时睫状肌拉紧, 如同手臂力训练。同时拥有柔软且具有弹性的眼内外肌, 两者缺一不可, 缺其中一项将会造成视觉问题。如缺乏调节时会引起老视眼或视近等问题, 所以眼外肌的要求需既能快速放松也能迅速调节。

散瞳剂使睫状肌得到放松, 瞳孔无法收缩, 造成近距离阅读困难与怕光, 调节灵敏度几乎等于零的问题, 在安全与视觉质量考虑上与验光配镜行为学有些相违背。目前验光所只能用云雾法来使睫状肌放松做验光及配眼镜, 本研究开发一种创新方法, 在验光配镜前使用旋转双楔形棱镜视觉疲劳放松法进行视力训练, 达到调节放松。这是一种创新的验光方法, 研究成果可作为未来验光师在验光流程中不可欠缺一个的项目。

视觉意识之觉产生, 是从两眼相互竞争开始, 所以产生视觉斗争, 斗争后大脑会以一眼为主要讯号来源, 利眼就因此而来, 利眼可以经由训练后转换成另一眼, 进阶训练学习后便可产生双眼视融像, 训练适用对象有弱视儿童、调节性近视及斜视, 有两种方式如闪烁红光训练及旋转棱镜光栅训练[1]-[5]。

本创新为一种简单且有效的方法, 不用药也能轻松达成放松调节眼肌的方法, 使得配镜屈光度数不至于过度矫正, 达到最大正度数最佳视力值(MPMVA), 以及改善斜视斜位引起头部歪斜的问题, 更能有

效的防止近视度数增加[5] [6] [7] [8]。正常双眼视力可提供正常生活不可少的感知技能如深度感知和立体视觉。学龄前儿童任何视觉刺激的丧失都可能导致斜视、近视及弱视或视网膜对应异常，从而损害双眼视力。斜视处理分手术性与非手术性方式，非手术性目的是使眼球和大脑参与的运动，透过视力训练恢复或发展正常的双眼视力技能，可使用各种各样的工具和装置来达到。由参考文献使用旋转楔形棱镜[5] [6] [7] [8]，训练3个月后，证实可改善斜视斜位，眼睛渐渐回到正常人眼位，看物体头部可以减少歪斜。患有近视的学童经过训练后。可以控制近视屈光度数不再增加或减少。本研究创新方法旋转双楔形棱镜装置可使视觉疲劳放松，提高视觉质量，打破现今验光流程，让验光配镜能得到更正确与客观的检查及更符合健康观念的验配，以维持国人视力的健康。

2. 基本原理

2.1. 双眼视觉

双眼视(binocular vision)，或称两眼视，是物体影像聚焦落在两眼视网膜对应点上(中央小凹)又称固视，需经由视觉系统整合作用与共同精确协调运动行为，完成单一两眼视的视觉机转，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，简单的说就是当两只眼睛视力完美协调一致，这称为正常双眼视觉。正常机能的双眼视功能包含了调节力、内聚、外展及动眼能力，然而这些机能可以经由视觉训练使之增强，基础架构可以分为三大机转：感觉机转，整合机转，及运动机转。

视觉有赖于完整视觉路径，将眼内接受器的信息传送大脑。要有正常视觉，眼睛必须运动使视野内物体能精准聚焦于每一眼的双眼视区接受器上，否则会发生双视觉(复视)，眼运动由涉及脑干与大脑皮质中心，需良好的中枢神经系统来控制。眼球意志性眼运动可分两种为聚焦(vergence)与共轭(conjugate)。当眼睛在远物与近物之间移动时，就会发生聚焦眼动(vergence movement)。当移动从远而近时，眼睛会聚合于一点；若从近而远，则出现开散。当双眼向相同方向运动时，即往右、左、上或下移动时，就会发生共轭眼动(conjugate movement)。负责保持双眼聚焦于同一物体上的六对眼外肌肉是由凝视中心来控制。

眼睛中视网膜上的感光细胞，只有中央小窝(fovea)有密度高的感光细胞，接受外界视觉信息约两度视角，若要得到清晰视觉，则眼睛必须不断的转动，视觉讯号方可若在中央小窝，此动作就需要六条眼外肌，精确协调转动运作，双眼若有一眼的眼外肌机制方生问题，则会产生斜视。注视眼前近距离的物体，将双眼的注视线(视轴)相互的往内旋转后聚集于物体上的机能称为辐辏(Convergence)。看近方时需用辐辏能力，视线从近方物往远方物看时则需有开散(Divergence)机能，开散的定义在双眼视目标时，两只眼睛的注视线(视轴)向外分离，或是从平行的方向朝外作相对性的转动，因而可使注视线在眼睛的后面交叉，在单眼视的情况下，注视线从正前方的位置上做出偏斜或是向外转动，更明确的说法是外展作用。故开散是集中于眼前一点的双眼视线，分散为左右的机能。开散的生理为由双眼外直肌的收缩而起的一种独立的眼球活动，不过只是依靠辐辏的冲击电流，也就是随着在收缩的内直肌弛缓而伸展的外直肌及其肌肉的弹性，使其恢复到第一眼位才引起的，尚未定论。两眼球的每一项运动，由每一条眼肌协力合作共同出力完成，两眼也必须协调一致运动才能达成动作，若其中一眼外肌协调出现了问题，将产生头与颜面位置产生改变，可由头部异常姿势检查初步判读哪条眼外肌异常。

睫状肌属于环状肌调节作用水晶体弯曲率与屈折力机制。睫状肌收缩时，悬韧带松弛，水晶体曲率增加屈折力增强。睫状肌舒张时，悬韧带紧绷，水晶体曲率减少曲折力减弱。睫状体连接悬韧带，悬韧带又连接着水晶体，水晶体的四周围以环状辐射方式，经由悬韧带与睫状体相连结，所以睫状体中的睫状肌是否收缩，决定无收缩能力悬韧带的张力，进而改变调节水晶体弯曲度。

人眼通过改变水晶体形状来改变屈光力，使物体聚焦在不同距离的机制称之调节(accommodation)。视力调节为眼睛屈光作调节，简单来说是为了注视物体能获得最大清晰度的视网膜影像的一种机制和过程。所谓调节就是为了正确地对远方的物体，和近处物体对正焦点的作用。

2.2. 旋转双棱镜[9] [10] [11]

双楔形棱镜(Risley Prism)是利用两个楔形棱镜互相对转控制光束转向，楔形棱镜结构是光学平板两边厚度不等厚，用于将光束偏离特定角度、或者成对用于光束转向应用及光束控制组件。单一楔形棱镜对入射光束角度的转折能力以屈亮度界定，一棱镜屈光表示在 1 公尺工作距离内将光束转折 1 公分。楔形棱镜顶角 α 、相对于斜边的入射角 Φ_i 、折射角 Φ_o 、玻璃折射率 n_g 及空气折射率 n_a ，且玻璃折射率大于空气折射率。这条出射光线的路径可由折射定律 $n_1 * \sin \theta_1 = n_2 * \sin \theta_2$ 求得。

$$\Phi_o \approx (n_g - 1) * \Phi_i \tag{2.1}$$

公式(2.1)的条件为楔形棱镜顶角非常小。这个公式为入射光垂直入射旋转棱镜第一个直角楔形棱镜光束折射结果。如果对这个楔形棱镜进行旋转，将产生一个圆形扫描。考虑另一情况光线由楔形棱镜斜边入射，如图 1 所示。

$$\Phi_p \approx \Phi_i / n_g \tag{2.2}$$

入射光束进入两个互相对转的楔形棱镜之后，将使出射光束形成两个同心环的图案如图 2 所示。设 $\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$ ，最后折射面离光轴的位移：

$$r_r = z * \tan(2 * \Phi_o) \tag{2.3}$$

两片楔形棱镜组合扫描装置称之 Risley Prism Scanner，两片楔形棱镜旋转扫描图案主要参数为楔形棱镜转速与旋转方向。图 3 所示分别为楔形棱镜 A 及 B 组合不同转速比与旋转方向所产生部分扫描图案，图中数值为相对速度比例值，负号代表反转。本研究扫描架构为两个楔形棱镜以反方向及一比一转速旋转，则可得到一直线扫描光束[9] [10]。

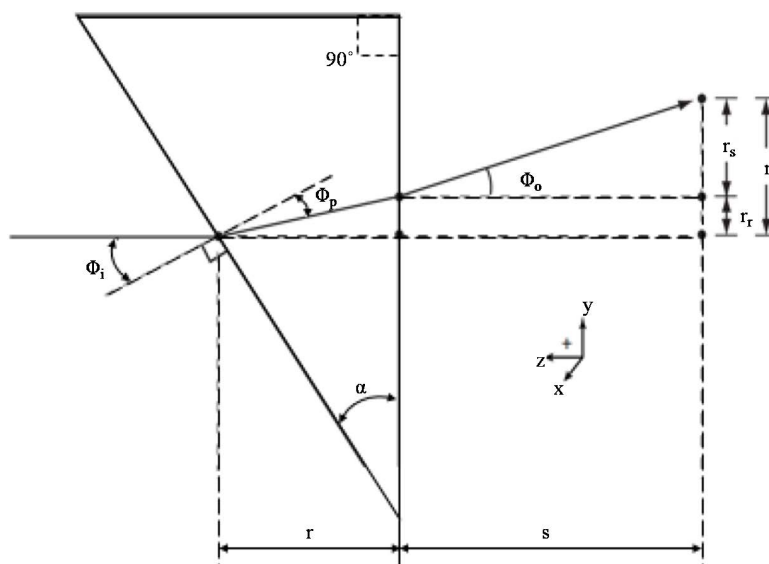


Figure 1. The wedge prism makes the beam of light incident on the inclined side steering

图 1. 楔形棱镜使入射于斜边出射光束转向

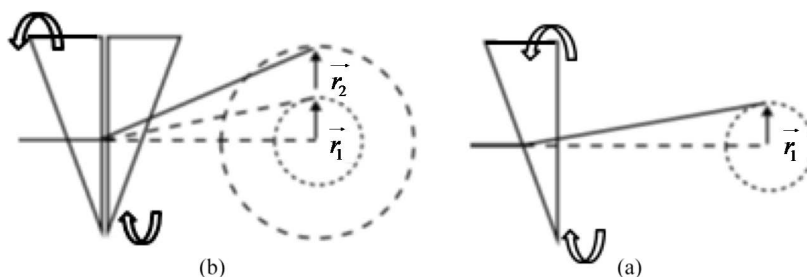


Figure 2. The maximum displacement of the incident beam caused by the rotation of two wedge prisms

图 2. 两片楔形棱镜旋转对入射光束所产生最大位移

图 2(a)所示单片楔形棱镜旋转扫描产生的图案为一圆形，图 2(b)所示两片楔形棱镜组合扫描所产生图案可以千变万化，其中。两片楔形棱镜组合扫描装置称之 Rislely Prism Scanner。两片楔形棱镜旋转扫描图案主要参数为楔形棱镜转速与旋转方向。图 3 所示分别为楔形棱镜 A 及 B 组合不同转速比与旋转方向所产生部分扫描图案，图中数值为相对速度比例值，负号代表反转。本研究扫描架构为两个楔形棱镜以反方向及一比一转速旋转，则可得到一直线扫描光束[9] [10]。

		楔形棱镜 A 转速(比例值)				
		0	1	2	3	4
楔形棱镜 B 转速(比例值)	0					
	-1					
	-2					
	-3					
	-4					

Figure 3. Two rotating wedge prism to produce scanning pattern

图 3. 两片楔形棱镜旋转产生扫描图案

3. 系统架构

全矫正的被检者戴上旋转双楔形棱镜视觉疲劳放松装置之后，注视前方六米处训练用视标，图 4 所示为其系统架构，包含被检者、视力训练机外框、两个楔形棱镜(Rislely Prism)及训练用视标。视力训练机外框及两个楔形棱镜(Rislely Prism)置于镜架上，镜架另设托盘拖住被检者下巴，使两眼视轴线为中心分别对应人的双眼视线及两个 Rislely Prism 光心。两个眼球训练时分别相对应 Rislely Prism 光心上，每一眼球训练区皆具有一可转动的 Rislely Prism。当双眼视线分别经两个双片楔形棱镜(RislelyPrism)折射，使双眼看到因折射而呈分开的左右眼影像。图 5 所示为双片楔形棱镜(Rislely Prism)组件，双片楔形棱镜排

列方式如图 2(b)所示。图 5(b)为正视图，正视图上刻度数值 0~20 代表棱镜度，一个棱镜度代表光线通过楔形棱镜后在一米处会偏移一公分，这个 Risley Prism 偏左与偏右最大棱镜度都是 20。

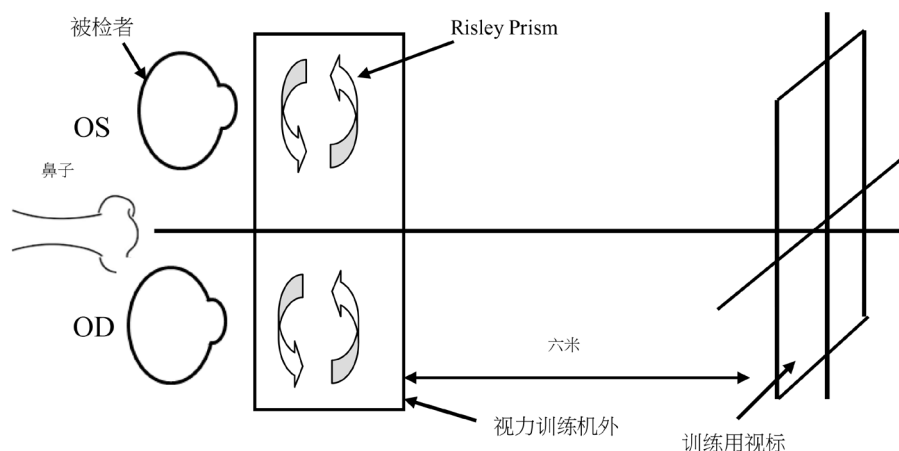


Figure 4. System structure

图 4. 系统架构

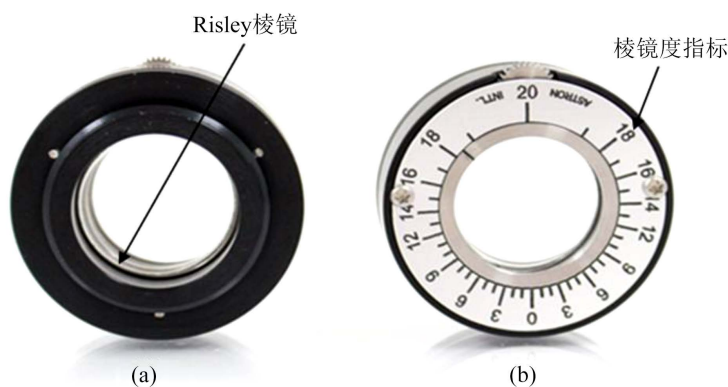


Figure 5. Two wedge prism

图 5. 双楔形棱镜

4. 实验结果与分析

实验项目包括：问诊初检、建立客户数据、眼外观检查、计算机验光(speedy-i)、基础验光(MPMVA)、视力值、调节幅度、棱镜(FP/NP)、调节灵敏度及瞳孔大小测试、记录验光数据、视标设定、视力训练、基础验光、记录验光数据、预约复检时间，及再次返回眼外观检查。实验操作流程如图 6 所示。视觉疲劳放松训练流程要点为训练原则先简单后复杂，视标由大渐渐变小，时间可以逐次增加，在微暗室环境下进行，被检者近距离为 2 公尺，最远可以达到 5 公尺，距离越远目标移动量越大，相对眼球转动量也越大，效果等同加大。整个训练流程共分 7 个步骤，简述如下：

步骤(1)：未使用旋转双楔形棱镜之前，使用计算机验光机记录被检者屈光度数。

步骤(2)：被检者使用旧的眼镜度数找到最高可看到最清楚视标，如图 7 所示。

步骤(3)：在使用旋转双楔形棱镜训练前先将 Risley Prism 刻度指标先归 0。

步骤(4)：注视最高可见视标先外旋到 15 棱镜度后，再内旋到 15 棱镜度，前后持续平稳缓慢的向外、向内共 10 次后停止。

步骤(5): 请受测者先休息一下, (或者一般受测者训练会头昏, 眼睛会不舒服)。

步骤(6): 使用计算机验光机测试被检者屈光度数并比对第一次记录, 如果度数稳定表示视觉疲劳已经放松, 如果没有则表示还没放松。

步骤(7): 再使用步骤(4)直到度数稳定为止。

被检者为 25 岁长时间使用智能型手机者, 训练前使用计算机验光仪测试显示视力屈光度不稳定, 经视觉疲劳放松训练后视力稳定, 训练效果非常好, 图 8 所示为实验结果, 训练时间 70 分钟。25 岁被检者训练前视力不稳定, 视力屈光度(Diopter)峰谷值为 1.00 D。训练后视力稳定, 峰谷值极近于 0.0 D。这位被检者为低度数的近视者, 其右眼与左眼屈光度分别为-2.25 D 与-1.00 D。

经以上初步实验结果本研究方法可行性相当高, 为规划视力训练实验操作流程测试条件, 挑选四位近视屈光度度数较 25 岁者高的进行实验。实验结果被检者视力屈光度(Diopter)不同, 训练时间也略为不同。表 1 所列为五位视力屈光度(Diopter)不同被检者所需训练时间, 近视屈光度数高者其训练时间需较长。

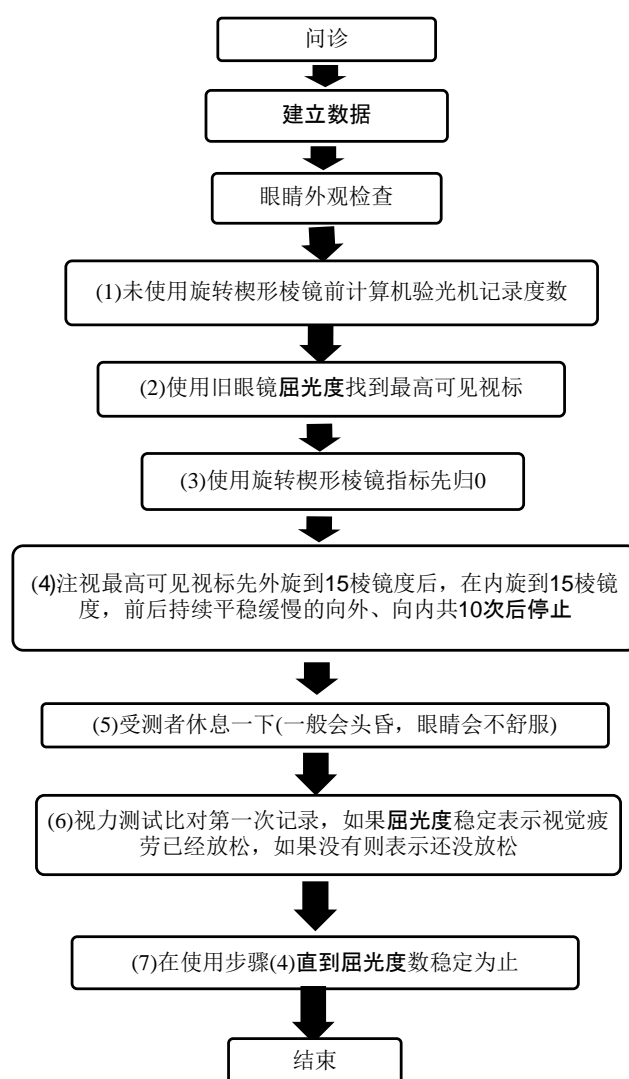


Figure 6. Experimental operation flow chart

图 6. 实验操作流程

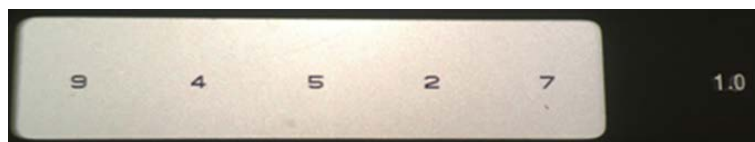


Figure 7. The clearest visual chart
图 7. 最清楚视标

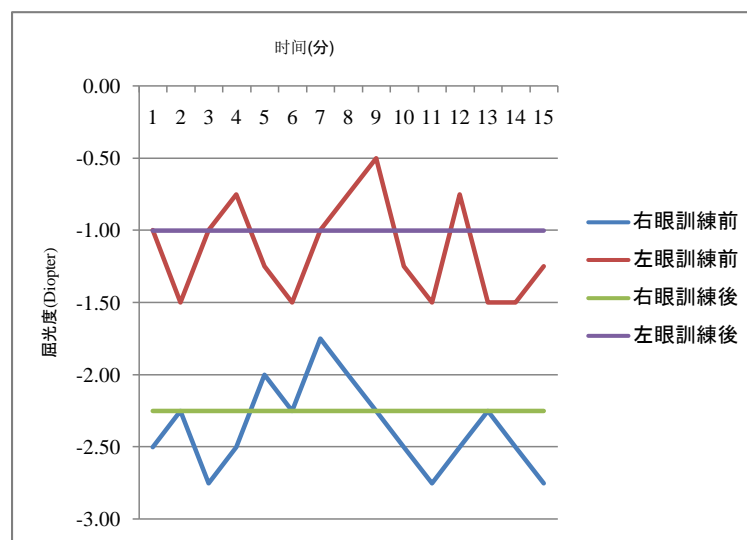


Figure 8. Test value of visual fatigue relaxation visual training for 25-year-old subjects
图 8. 25 岁被检者视觉疲劳放松视力训练测试值

进一步确认使用旋转楔形棱镜装置训练后达到视觉疲劳放松可靠性，30 位被检者继续进行测试。表 2 所列这 30 位被检者实验结果，训练后屈光度呈现稳定，皆能百分之百获得疲劳放松效果。

Table 1. Exercise time for five subjects with different diopters of refractive power
表 1. 五位屈折力屈光度(Diopter)不同被检者所需训练时间

编号	视力放松前屈光度(diopter: D)		视力放松后屈光度(diopter: D)		备注
	右眼	左眼	右眼	左眼	
1	-2.75~-1.75	-1.50~-0.50	-2.25	-1.00	训练时间 70 分钟
2	-3.75~-4.75	-2.75~-3.75	-4.25	-3.25	训练时间 70 分钟
3	-4.75~-5.75	-4.25~-5.50	-5.25	-4.75	训练时间 70 分钟
4	-5.25~-6.25	-5.25~-6.25	-6.00	-5.75	训练时间 70 分钟
5	-7.00~-7.75	-7.00~-7.50	-7.50	-7.25	训练时间 70 分钟

5. 结论

本研究利用旋转双楔形棱镜进行双眼会聚与开散训练，达到消除视觉疲劳。研究方法使用旋转双楔形棱镜及配合目视远方六米水平视标。被检者双眼视线个别经旋转双楔形棱镜后镜直视六米处视标后不断产生会聚与开散，使眼外肌放松达到消除视觉疲劳。依近视屈光度的高低，设定不同的训练时间，以获得训练效果。旋转双棱镜目的是使眼球六条眼外肌之协调能力、眼内睫状肌的放松与调节作用及调节

灵敏度, 增加眼内外肌延展与收缩, 造成破坏融像后让影像重整, 如此能让影像维持在视网膜上六条眼外肌跟着运动。被检者因视觉疲劳视力屈光度不稳定, 眼球视力经过旋转双棱镜放松后, 屈光度会达到稳定值, 与一般医生验光前习惯使用散瞳剂的方法效果一致。实验显示中, 本研究可在验光前做有效眼外肌放松, 未来可作为验光师在验光流程前之参考步骤之一。

Table 2. Diopter test values of 30 subjects before and after visual exercise of visual fatigue relaxation
表 2. 30 位被检者视觉疲劳放松视力训练前后屈光度(Diopter)测试值

序号	视力放松前屈光度(diopter: D)		视力放松后屈光度(diopter: D)		序号	视力放松前屈光度(diopter: D)		视力放松后屈光度(diopter: D)	
	右眼	左眼	右眼	左眼		右眼	左眼	右眼	左眼
1	-4.50~3.75	-3.75~2.75	-4.00	-3.25	16	-6.25~5.50	-8.00~7.25	-5.75	-7.50
2	-3.75~3.00	-3.75~3.00	-3.25	-3.25	17	-6.00~5.00	-5.75~5.00	-5.25	-5.50
3	-4.75~4.00	-5.75~4.75	-4.50	-5.25	18	-5.75~4.75	-6.50~5.25	-5.25	-6.00
4	-3.25~2.25	-3.50~2.25	-2.75	-3.00	19	-3.75~3.00	-3.25~2.50	-3.25	-2.75
5	-4.25~3.25	-5.25~4.25	-3.75	-4.75	20	-7.00~6.00	-7.50~6.25	-6.50	-7.25
6	-2.50~1.75	-2.00~1.25	-2.00	-1.75	21	-4.25~3.25	-3.50~2.50	-4.00	-3.25
7	-3.50~2.50	-3.25~2.00	-2.75	-2.50	22	-1.75~1.25	-2.25~1.25	-1.50	-2.00
8	-2.50~1.75	-2.25~1.00	-2.00	-1.50	23	-4.75~3.75	-5.75~4.75	-4.25	-5.25
9	-5.75~4.75	-5.50~4.75	-5.25	-5.25	24	-4.50~3.50	-4.75~3.75	-4.25	-4.25
10	-4.25~3.50	-4.50~3.00	-3.75	-4.00	25	-5.00~4.25	-6.50~5.25	-4.50	-6.00
11	-3.50~2.75	-2.25~1.75	-3.25	-1.50	26	-3.50~2.00	-2.75~1.25	-2.50	-2.50
12	-5.75~4.75	-3.25~2.00	-5.25	-2.50	27	-3.75~2.50	-3.25~2.25	-3.25	-2.75
13	-2.25~1.25	-2.75~2.00	-1.50	-2.25	28	-4.00~3.25	-4.00~3.00	-3.75	-3.50
14	-4.25~3.25	-4.25~3.50	-3.75	-3.75	29	-5.25~4.50	-4.75~3.25	-4.75	-4.25
15	-3.75~2.50	-3.50~2.75	-3.00	-3.00	30	-3.25~2.25	-2.50~1.50	-2.75	-2.25

参考文献

- [1] Joshi, H., Retharekar, S., Rairikar, S., Shyam, A. and Sancheti, P. (2017) The Effect of Eye Exercises on Visual Acuity and Refractive Error of Myopics. *International Journal of Therapies and Rehabilitation Research*, **6**, 249-254. <https://doi.org/10.5455/ijtr.000000274>
- [2] Emoto, M., Niida, T. and Okano, F. (2006) Repeated Vergence Adaptation Causes the Decline of Visual Functions in Watching Stereoscopic Television. *Journal of Display Technology*, **1**, 328-340. <https://doi.org/10.1109/JDT.2005.858938>
- [3] Gosewade, N.B., Shende, V.S. and Kashalika, S.J. (2013) Effect of Various Eye Exercise Techniques along with Pranayama on Visual Reaction Time: A Case Control Study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, **7**, 1870-1873.
- [4] Lin, C.-C. and Chen, P.-L. (2013) Improvement of Visual Acuity in Children with Anisometropic Amblyopia Treated with Rotated Prisms Combined with Near Activity. *International Journal of Ophthalmology*, **6**, 487-491.
- [5] <http://mypaper.pchome.com.tw/hauhau925/post/1321884495>.
- [6] <http://mypaper.pchome.com.tw/hauhau925>.
- [7] 邱振恒. 旋转光学棱镜在视觉系统训练上的应用[D]: [硕士学位论文]. 台中: 逢甲大学, 2009.
- [8] 黄咏洸. 多功能眼肌调节与放松仪在双眼视觉训练之研究[D]: [硕士学位论文]. 台中: 逢甲大学, 2017.
- [9] Amirault, C.T. and DiMarzio, C.A. (1985) Precision Pointing Using a Dual-Wedge Scanner. *Applied Optics*, **24**, 1302-1308. <https://doi.org/10.1364/AO.24.001302>

- [10] Virgil-Florin, D. and Schitea, A. (2018) Laser Scanners with Rotational Risley Prism: Exact Scan Patterns. *Proceedings of the Romanian Academy, Series A*, **19**, 53-60.
- [11] Risley Prism Scanner Application Note, Thorlabs Inc.