

A Study on the Measurement of Contrast Sensitivity in Adults with Sinusoidal Grating

Der-Chin Chen^{1*}, Feng-Ming Yeh², Yu-Chun Tseng³

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

²Department of Optometry, Yuan Pei University of Medical Technology, Hsinchu Taiwan

³Professional Master's Program of Optometry Science and Technology, Feng Chia University, Taichung Taiwan

Email: *kanatasan.tw@yahoo.com.tw

Received: Apr. 17th, 2020; accepted: May 1st, 2020; published: May 14th, 2020

Abstract

In this study, the resolution and physiological function of the eye vision system were measured by using the sinusoidal grating eye charts with different spatial frequencies and contrasts, and the measurement technology of contrast sensitivity function was established. In general, the visual acuity of the macula of the subject is tested with high contrast eye charts, which cannot objectively obtain the real response of the subject to the contrast sensitivity of the gradient black and white and the detail part of the object. The complete curve distribution of contrast sensitivity function of normal vision people is inverted "U" higher than inverted "U" means better, lower than inverted "U" means worse. In this experiment, 16 elderly subjects with a vision of 1.0 were selected. The contrast sensitivity test values of the subjects were low in the low, medium and high frequency areas of the inverted "U" band. It was analyzed that the reason was that with the age of the elderly, the optical characteristics of the refractive media of the eyes decreased, the ability of retinal resolution weakened and the photoreceptor cells gradually withered, which made it impossible to obtain the normal inverted "U" response.

Keywords

Contrast Sensitivity Function, Spatial Frequency, Vision Examination

正弦光栅用于成人对比敏感度量测之研究

陈德请^{1*}, 叶丰铭², 曾于钧³

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逢甲大学视光科技硕士在职学位学程, 台湾 台中

*通讯作者。

Email: kanatasan.tw@yahoo.com.tw

收稿日期: 2020年4月17日; 录用日期: 2020年5月1日; 发布日期: 2020年5月14日

摘要

本研究利用不同空间频率与对比度的正弦光栅视标, 量测眼睛视觉系统的分辨力与生理功能, 建立成人对比敏感度(Contrast Sensitivity Function)量测技术。一般视力检查采用较高对比度视标对受测者黄斑部做视力检查, 无法客观获得受测者对物体的渐层黑白与微细部分的对比敏感度真实反应。正常视力对比敏感度函数完整曲线分布为倒“U”型, 高于倒“U”型表示优, 低于倒“U”型为不佳。本实验选用视力1.0的16位老年人进行测试, 发现受测者对比敏感度测试值在倒“U”带区的低、中及高频区域都偏低。分析原因系老年人随着年龄增长, 眼睛屈光介质光学特性下降、视网膜解析能力减弱及感光细胞逐渐凋零, 致使无法获得正常倒“U”形反应。

关键词

对比敏感度, 空间频率, 视力检查

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. 简介

人类眼睛获得讯息过程中有 80%以上是靠视觉处理取得[1], 良好视觉功能不仅是中心视力达 1.0, 还应包括对不同空间频率的对比敏感度是否正常, 一般正常视觉检查中对比敏感度常常被忽略。有些特殊职业工作上更需要做对比敏感度检测, 例如飞行员、航海员[2] [3]。人们对事与物的察觉除了清晰外, 只以视力表检查视觉功能是不够完备, 还需包括不一样对比水平。随着科技进步人类寿命增长, 良好视觉功能质量对老年人更是迫切需要, 加上社会型态结构改变, 生育率下降, 未来多数老人即将面临独居生活, 视觉功能质量差将影响生活起居上的不方便, 如因视觉不良引起碰撞跌倒等因素, 进而造成家庭及社会医疗负担。透过视觉功能评估提早预防视觉引起的疾病, 提升身体与生活质量是未来急需目标, 个人觉得视觉质量比视力 1.0 重要。视觉功能其实是很复杂的, 近年来对比敏感度检查已被广泛用于评价视觉系统疾病上, 在视觉检查中是属形觉功能检查的一种, 它能快速地发现疾病引起的功能障碍, 具有早期诊断的意义。老年人在空间频率相比较之下, 中频率区域空间频率反应优于低频率区域与高频率区域, 表示视觉对比度及视敏锐度下降。证明对比敏感度随年龄的增长, 眼睛屈光介质功能减退, 造成老年人对比敏感度下降。

2. 基本原理

眼睛接收外部影像信息, 需经过屈光系统才能在视网膜上成像, 并透过视网膜感光细胞使产生化学反应, 经转化为电流, 最后电流集结到神经节细胞, 由视神经纤维汇集成束, 形成视神经, 再藉由视神经传导路径传到大脑皮质接收, 解读最后转变成视觉。视神经传导路径(Visual Pathway)依照解剖其构造包含七个部分如图 1 所示, 分别为视网膜(Retina)、视神经(Optic nerve)、视交叉(Optic chiasma)、视束(Optic

由睫状肌控制晶体厚薄度使产生看远近对焦能力。玻璃体(vitreous)无色凝胶状, 占总眼球 80%容量, 主要维持眼球的形状, 使光线通过倒影在视网膜上成像。视网膜(retina)眼球最内层, 视网膜上感光细胞利用光色素(photo pigment)吸收可见光提供清晰影像转换为神经冲动, 刺激视神经(optic nerve)传导到脑部阐释为视觉讯息。视网膜最后面有一个小窝, 没有血管称为黄斑部(macula), 这个小窝解剖学上称为黄斑中心窝(fovea central)是视神经最敏锐的部分。

2.2. 感光细胞功能与特性

感光细胞又分为杆状细胞(rod cells)和锥状细胞(cone cells)如图 3 所示[4] [5]。杆状细胞与锥状细胞各包含外段感光性化学物质与细胞核。表 1 所列为杆状细胞和锥状细胞的两种功能与特性比较表, 相关特性简述如下:

1) 杆状细胞功能负责暗视觉(scotopic vision)。杆状细胞的光色素称为视紫质(rhodopsin)是负责夜晚及周边视觉功能。杆状细胞与锥状细胞相比, 杆状细胞对光更加敏感对微弱亮光较容易看到, 因此极低照明下人类的眼睛仅依赖杆状细胞称为暗视觉, 对颜色无法辨别, 只有灰阶明暗上的差异。人类眼睛存在约一亿两千五百万杆状细胞, 在视网膜的周边无锥状细胞, 对周边视野部分有辨色困难。杆状细胞损伤会产生夜盲。

2) 锥状细胞功能:负责明视觉(photopic vision), 人类眼睛视网膜内的锥状细胞约有七百万, 多数集中在视网膜中央中心窝(fovea)位置, 负责彩色视觉。锥状细胞分三种不同光色素接受器, 接收来自光谱中的红、绿、蓝波长的色光带, 吸收高峰值主要在 440 nm、540 nm、570 nm 处, 人类眼睛所见物体颜色, 由此三色组合成为视觉彩色范围。在明亮下出现色彩视觉称明视觉。锥状细胞功能下降或失去会产生色盲。

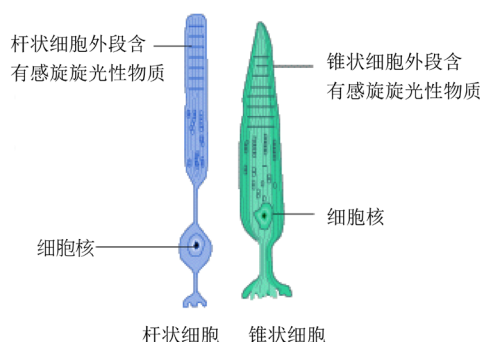


Figure 3. Types of photoreceptors

图 3. 感光细胞种类[4] [5]

Table 1. Characteristics of photoreceptors

表 1. 感光细胞特性

杆状细胞的特性	锥状细胞的特性
暗(夜晚)视觉	亮(白天)视觉
暗适应	亮适应
视敏锐度不佳	视敏锐度佳
暗视觉无色彩(黑白)	明视觉有彩色
集中在视网膜周边(一亿两千五百万个)	集中在中心窝(七百万个)

2.3. 视力检查

视力检查是眼睛最基本的视觉功能检查项目，它是测量眼睛对二维物体形状的分辨能力，代表视网膜上黄斑部中心窝对最小物体的成像能力。

视力(Visual Acuity)定义为眼睛侦测物体的存在及辨识分析物体形态和细部构造的能力，称为视力。视力在临床上常用一个实际的数字来表示，表 2 所列为分数与小数表示法。

Table 2. Visual representations of fraction and decimal
表 2. 分数与小数视力表示法

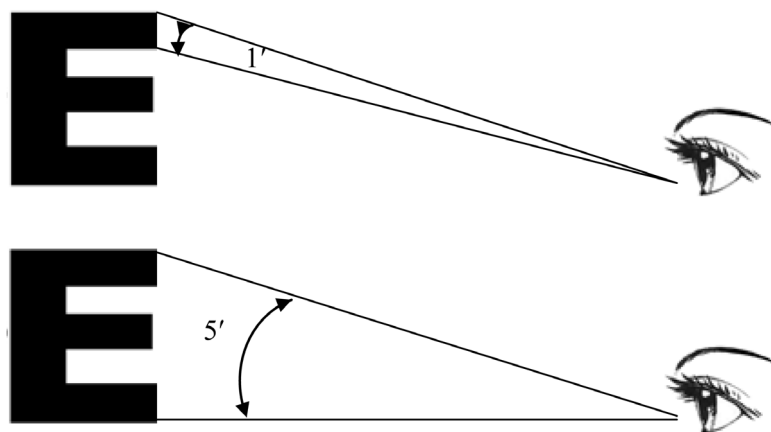
分数	小数
20/20	1.0
20/40	0.5
20/200	0.1

视力又分中心视力与周边视力简述如下：

1) 中心视力又称直接视力，是视觉机能最敏锐的视力，在视网膜黄斑部中心窝，视线方向之物体，眼睛能清晰辨识之视力。

2) 周边视力又称间接视力，视觉机能较差而且弱的视力，在黄斑部中心窝 5 度以外的视网膜部位。

眼睛判断物体影像清晰度，是受影像大小成像在视网膜上决定，物体大小与眼睛距离息息相关。眼睛与物体距离愈远，分辨率愈小，愈难分辨。在适当距离正常眼睛能辨识两点之间的最小解析角度称为视角。视力表中 1.0 视标就是以 1 分视角($1'$)为单位进行设计有效的检测视力，整个 E 字为 5 分视角，线宽 1 分如图 4 所示[6]。



(<https://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-psychophysics-of-vision/visual-acuity/>)

Figure 4. Visual angle

图 4. 视角[6]

最小可解析视角计算方法，用 5 分视角表示，20/40 是指视标设计距离为 40 英尺，而测试距离在 20 英尺处，其对应为 10 分角。E 字形状视标以一分视角制作，表 3 所列为最小视角与 E 字形状视标相关参数关系。

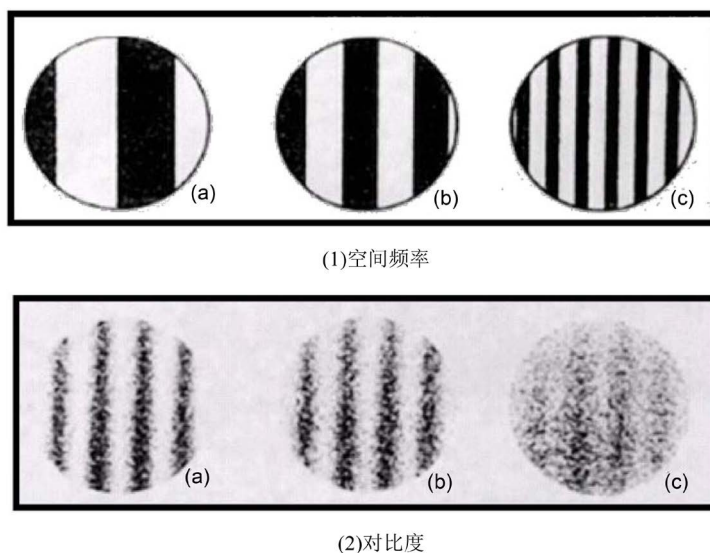
Table 3. Correlation parameters between E chart and minimum visual angle**表 3.** E 字视标与最小视角相关参数

最小视角	缺口宽度(mm)	总宽度(mm)	视标等级
1 分角	1.746	8.730	1.0
1.5 分角	2.619	13.095	0.67
2 分角	3.492	17.460	0.5
2.5 分角	3.365	21.825	0.4
5 分角	8.73	43.65	0.2
10 分角	17.46	87.300	0.1

2.4. 对比敏感度

由视觉敏锐度的观点,影响眼睛判别物体因素有两个:对比度和空间频率。对比度是物体本身颜色亮度和该物体背景颜色亮度的关系,空间频率是单位视角包含的线条数。图 5 所示为空间频率与对比度关系。

1) 空间频率由左(a)至右(c)频率越来越高, 2) 对比度由左(a)至右(c)线条边界对比清晰度越来越模糊[7]。

**Figure 5.** Relationship between spatial frequency and contrast sensitivity**图 5.** 空间频率与对比度关系[7]

一般视力表检查是检测眼睛的中心视力辨识能力,而对比敏感度是测量眼睛对空间物体大小与照明对比的敏感度,是一种形觉功能检查。对比敏感度视标是线形条纹,采用方波(square wave)或正弦波(sinusoidal wave),常用为正弦波,当受离焦和像差影响时正弦照明下条纹保持不变,图 6 所示分别为(a)方波与(b)正弦波。空间频率定义为每一度视角的周数(周/度),空间频率数值表示用条纹粗细。当条纹宽度越细,空间频率就越高;条纹越粗,则空间频率越低[8]。

每一个空间频率皆有“对比度临界值”,对比度临界值是指眼睛能够辨别最低对比度。在对比度比这临界值低时,条纹会形成均匀一片的灰色,使眼睛无法分辨条纹。对比度临界值的倒数就是对比敏感度值。当对比度敏感度临界值越低,对比敏感度数值越高,代表视觉系统越敏锐。最高对比度度是对比度在 100%时条纹边界最为清晰。

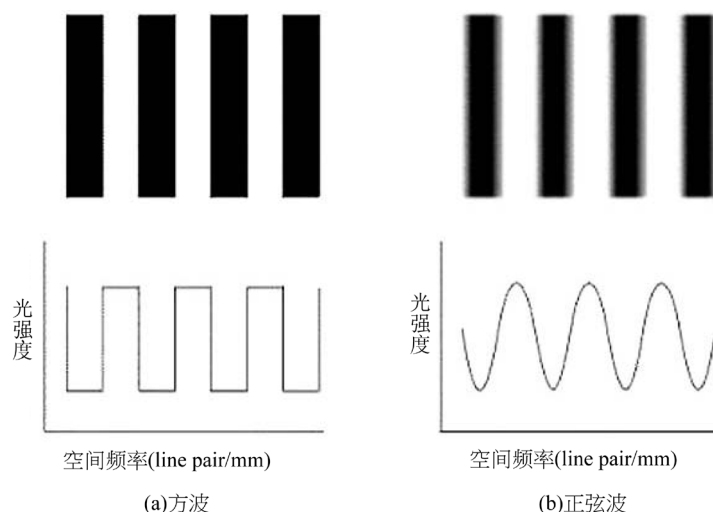


Figure 6. Square wave grating and sinusoidal wave grating with their luminance profile
图 6. 方波与正弦波光强度轮廓[8]

正常人眼睛对比敏感度函数的图形是呈现倒“U”形，最高空间频率位置在中间区域，最右边区域是“高频区域”主要反映视觉敏锐度情形，最左边区域是“低频区域”主要反映视觉对比度情形，中间区域是空间频率区，负责集中反应中心视力与视觉对比敏感度情况。正常人眼睛的中间频率区域对比敏感度值较高，因为眼睛的视觉系统活动主要依赖对比敏感度中频区域决定的。

眼睛视觉发展成熟后，视功能和对比敏感度随着年龄的增加有下降趋势，而且主要在高频区域明显下降。当年龄越增加，眼球屈光介质清晰度逐渐下降，视网膜解析能力与感光细胞的功能也在退化，光学系统中对比敏感度中、高频区域作用变得渐渐明显。一般对比敏感度在 20 至 30 岁时全频区域都很高，40 岁以后高频区域随着年龄的增加而下降，低频区域较不明显。图 7 所示为在相同空间条纹数时，视网膜解析能力，(a)图所呈现是低密度感光细胞矩阵，视网膜解析能力较高时，(b)图所呈现是高密度感光细胞矩阵[9]。

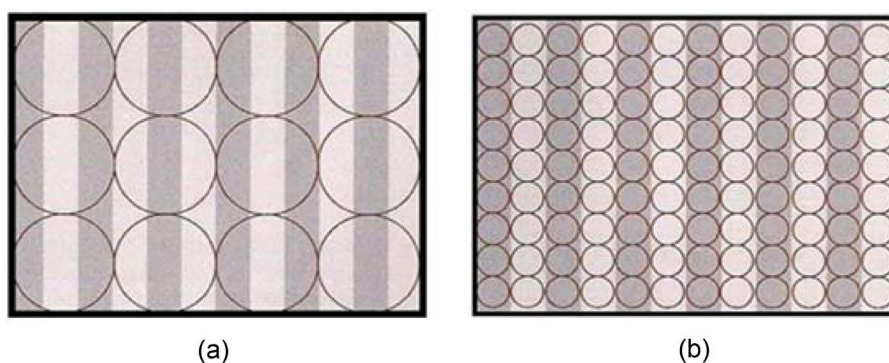


Figure 7. Retinal resolution
图 7. 视网膜解析能力[9]

对比敏感度定义为视觉系统能察觉对比度临界值倒数。对比敏感度=1/对比度临界值。对比临界值低，对比敏感度高，视觉相对好，此两样功能是相关联。在某一个空间频率，对比敏感度的视觉系统是一定的，相反，在另一个确定对比敏感度时，视觉系统有一定的空间频率分辨率，坐标图横坐标为空间频率，纵坐标为对比敏感度，以此绘出对比敏感度的函数。对比敏感度曲线比单一对比敏感度与视力能提供更多的讯息，由此去发现与视功能障碍和视觉相关疾病，图 8 所示为一对比敏感度检测曲线图[6] [10]。

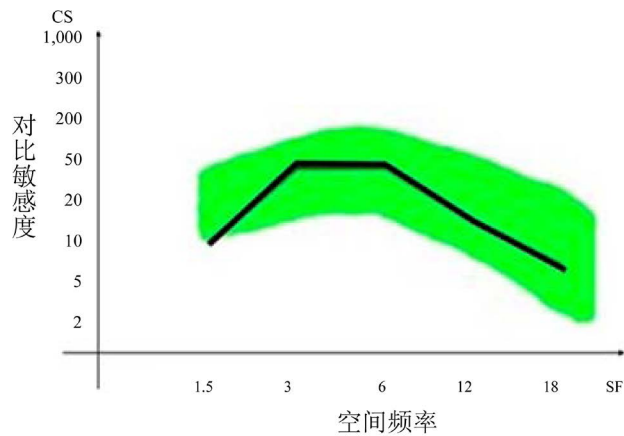


Figure 8. The relationship between contrast sensitivity and spatial frequency
图 8. 对比敏感度与空间频率关系[10]

对比敏感度以干涉条纹做检测，对比度最大时没改变对比度只改变空间频率即可测出视力。一般用能分辨最高空间频率的 1/30 周表示，Snellen’s 视力表示以分辨 1 分角时的视力为 1.0。1 分角定义为正常眼睛在适当距离两点之间所能分辨最小的解析角度(MAR)，若能辨认的空间频率为 30 周/度(c/d)，每条条纹所对应的 1.0 视角正好为 1 分角，所以可辨识最高空间频率的 1/30 即为视力表所对应视力。对比敏感度 Contrast Sensitivity Function 用公式来表示：

$$CSF = (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min}) \quad (1)$$

公式(1)中， L_{max} 表示亮度最大， L_{min} 表示亮度最小，单位是周期/度。将每个空间频率的对比敏感度链接起来能得到一个曲线，称为对比敏感度功能曲线，此功能曲线图是呈现倒“U”形。低空间频率代表眼睛可以判断出物体较大形状，高空间频率代表眼睛能够判断物体线条的边缘轮廓与较细微的部分，图 9 所示为对比敏感度标准曲线图检测范围，黑色线条是测出数值线型，绿色带状线型为对比敏感度正常检测范围。对比敏感度正常检测范围，量测数据在绿色带状范围为正常值，数据高于绿色带状表示优于正常值，低于绿色带状表示不佳。量测数据最高为 334，量测数据需再换算成百分比。

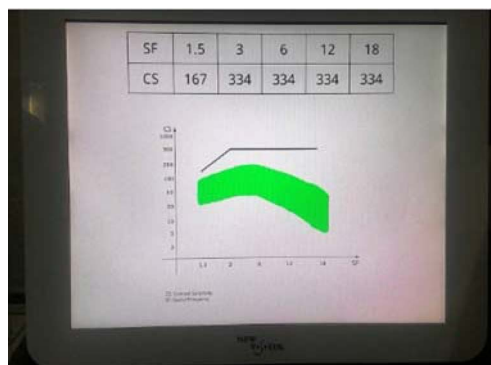


Figure 9. Contrast sensitivity test curve
图 9. 对比敏感度检测曲线图[11] [12]

3. 系统架构

本研究受测者系在视力完全矫正下做对比敏感度检测，一般人在中频率区域对比敏感度较高，低频区域尚可，高频区域敏锐度会因受测者近视度数以及散光度数高低不同有所差异性。老年人的空间频率

相较之下,中频区域空间频率比低频区域跟高频区域好,印证随着年龄的增长,眼睛屈光功能逐渐下降,进而使对比敏感度跟着下降。

系统架构包括综合验光仪 TAKAGI 型号 VT-5、计算机自动验光机 TOPCOM 型号 RM-8800 及液晶视力表机钩丰光学型号 C-901A。受测者在视力完全矫正下做对比敏感度检测。本液晶视力表机 C-901A 对比度变化范围 Contrast: 20%~0.3%, 五种空间频率(SF)分别为 1.5、3、6、12、18 c/d (周/度), 每一个空间频率的测试图上有三个线形正弦光栅选项, 记录受测者测试结果如图 10 所示。在量测当中将所有相关数据全部输入计算机。



Figure 10. System structure
图 10. 系统架构

3.1. 综合验光仪

综合验光仪用于屈光不正检查,所有的镜片皆内建在转轮系统中,综合的镜片收集系统,使验光师能有效轻松的替换各种镜片,让操作更方便。综合验光仪不仅可以用于屈光不正检查,还具有检查眼外肌的屈光不正检查,还具有检查眼外肌的功能,作为眼科视觉工作者的基本检查工具,其作用无可替代。将普通镜片箱内几乎所有的镜片都装入了它的转轮系统中,所以在临床操作上提供了比使用试镜架验光更有效、更快捷的镜片转换可能,通过简单的旋钮,很快转换需要的镜片,特别适合于进行复杂的主观验光。

3.2. 液晶视力表

由于显示器技术的迅速发展,以液晶屏幕为测试界面的视力表一出现,立刻被广泛应用。不仅计算机液晶屏的亮度、对比度和色彩可以根据需要进行调整,更重要的是视目标尺寸、类型、灰度和视标间距可以随心所欲地变化,甚至可以根据需要设置动态的视标。

本研究使用液晶视力表机型号 C-901A, 图 11 所示液晶视力表机系钧丰光学公司生产型号为 C-901A, 对比度变化范围在 20%~0.3%, 线条密度变化范围 18 c/d~1.5 c/d (周/度)。液晶视力表机特性检述如下:

- a) 液晶屏幕上可显示各种检查用视标及图形, 具有对比度测试在内的 16 项测试功能。
- b) 实时的随机更换视标功能。
- c) 视力检测值增加十进制的 0.7 和 0.9 两种。
- d) 视力检测具有低视力表功能。
- e) 视力检查仪适用于视力检查以及其他视觉功能的检。



Figure 11. Liquid crystal eye chart device
图 11. 液晶视力表机[13]

液晶视力表机规格简述如下:

- a) 屏幕可视面积为 17 吋 LED 液晶显示屏幕。
- b) 使用距离正常视力表: 2 M~7 M。
- c) 照度 175 ± 5 lux。
- d) 视标类型 E、C、字母、数字、图形、Allen Pics 图标对比度测试交叉双柱图 Cross cylinder。
- e) 视力单位五分制 5-Grade、十进制 Decimal、Log MAR、Snellen (ft)、Snellen (M)。
- f) 其他功能有对比度调节。

4. 实验方法与结果分析

有些受测者正常双眼视力 1.0 时, 还抱怨视力不好, 此时需进一步透过对比敏感度检查找出其他眼睛相关因素。

因小朋友眼球结构成长尚未完成, 表达能力及配合度不确定因子多, 在数据取得上较不客观, 未纳入做研究对象, 所以研究对象以成人与老年人为主。不分男性与女性采用分组分类为:

- a) 成人组: 21 岁到 64 岁为一组。
- b) 老年人组: 65 岁以上为一组。

4.1. 对比敏感度检查流程

对比敏感度检测流程, 受测者需先在暗室中做远方全矫正度数量测, 受测者与视标距离为 5 公尺(M)。请受测者需配戴全矫正眼镜, 测试环境照度 175 ± 5 lux 做对比敏感度检测。视标为对比敏感度视标, 受

测者与视标距离为 2 公尺，并教导受测者辨识视标线条方向做检测，记录结果。图 12 所示为对比敏感度检查流程，整个流程包括仪器准备与开始、E 字形视标与受测者距离 5 公尺、右眼远方视力测量、左眼远方视力测量、远方双眼视力平衡、远方全矫正视力、对比敏感度测试环境设定、受测者与正弦视标距离 2 公尺、受测者配戴全矫正眼镜、受测者注视正弦视标辨识方向、记录结果及结束。

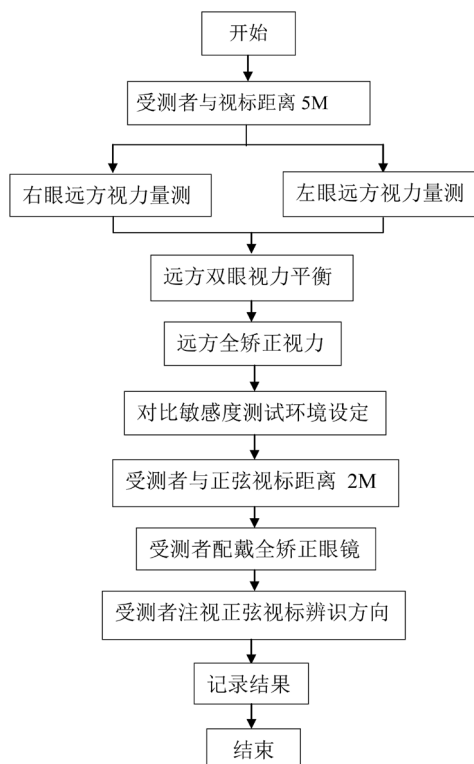


Figure 12. Flow chart of contrast sensitivity test procedure

图 12. 对比敏感度检查流程图

4.1.1. 远方视力检测

表 4 为所列实验相关设备与条件包括：综合验光仪型号 TAKAGI VT-5、液晶视力表机钩丰光学生产型号 C-901A、检测视标为 E 字形、测试距离 5 公尺(M)及环境设定为暗室。采用 E 字形视标，因 65 岁以上受测者有些是文盲，E 字形视标较容易理解与辨识。图 13 所示为远方视力检测配置。

Table 4. Distance visual acuity test conditions

表 4. 远方视力检测条件

使用仪器	综合验光仪型号 TAKAGI VT-5、液晶视力表机钩丰型号 C-901A
注视目标	E 字形视标
检测距离	5 公尺
环境设定	暗室

综合验光仪设定与环境设定，简述如下：

- a) 综合验光仪 TAKAGI 公司型号 VT-5：每次使用前须校正。
- b) 液晶视力表机钩丰公司型号 C-901A。

- c) 验光室光源为可调整式。
- d) 视力检查仪瞳孔位置设定为远用。
- e) 综合验光仪距离与受测者距离: 远用 5 M, 视力表字母可以单独分割使用的远方检查视力检查表。
- f) 单眼视力达 0.9, 双眼视力达 1.0 全矫正。

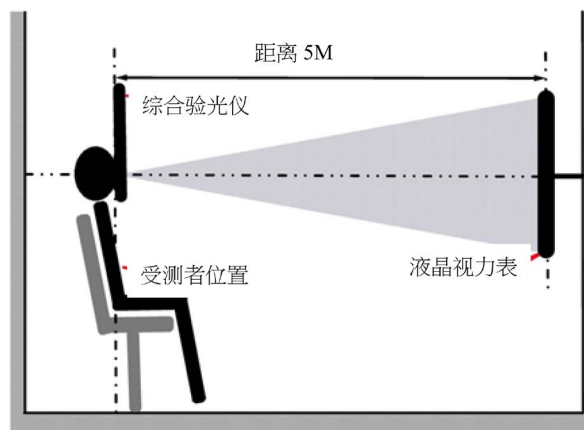


Figure 13. Distance visual acuity test

图 13. 远方视力检测

4.1.2. 测试环境设定

表 5 所列对比敏感度测试液晶视力表机与环境设定, 使用仪器为液晶视力表机及对比敏感度检测视标。检测距离 2 公尺及测试环境照度 175 ± 5 lux。

Table 5. Contrast sensitivity test environment setting

表 5. 对比敏感度检测环境设定

仪器	液晶视力表机钩丰公司型号 C-901A
视标	对比敏感度视标
检测距离	2 公尺
测试环境照度	175 ± 5 lux

液晶视力表机对比敏感度测试操作流程简述如下: 开始测试时, 每页画面中会出现三道对比度测试题, 对比度测试画面默认为空间频率 18 c/d 与对比(Contrast) 20%。依测试结果的准确率随机进行难易增减变化, 当画面下方出现<?>图示时, 则受测者需要做出线条方向的选择。测试时间依受测者辨识度快慢, 当测试完后, 将显示测试结果绘制图表, 图 15(c)中绿色带状部分表示正常对比度测试范围。

远方全矫正之下做对比敏感度检查, 检测条件如下:

- a) 视标: 对比敏感度线条 18 c/d, Contrast: 20%。
- b) 测试环境照度: 175 ± 5 lux。
- c) 对比敏感度视力表仪器距离与受测者距离 2 M。
- d) 受测者戴上远方全矫正眼镜做双眼测试。

检测方法说明如下:

a) 教导受测者如何辨识线条方向: 箭头向右边方向请受测者由左下方斜向往右上方方向比, 箭头向上请受测者由下方向往上方向比, 箭头向左边方向请受测者由右下方斜向左上方方向比。开始当视力表仪

器上出现红色<?>符号, 请受测者指出红色<?>符号上面线条方向, 当受测者所选择方向正确时, 视力表仪器上出现绿色<✓>符号。当受测者选择方向错误时视力表仪器上出现红色<×>符号。

b) 开始测试时, 每页画面中会出现三道对比度测试题, 图 14(a)对比度测试画面预设为 18 c/d Contrast: 20%, 之后随着测试结果的准确率随机进行难易增减, 当画面下方出现<?>图示时, 则受测者需要做出线条方向的选择如图 14(b)所示。

c) 受测者尽量辨识视力表机内线条方向, 至每一个画面测试结束为止。

d) 纪录: 打印数据。画面会显示出受测者最后测试出对比敏感度数据图, 如图 14(c) [13]。

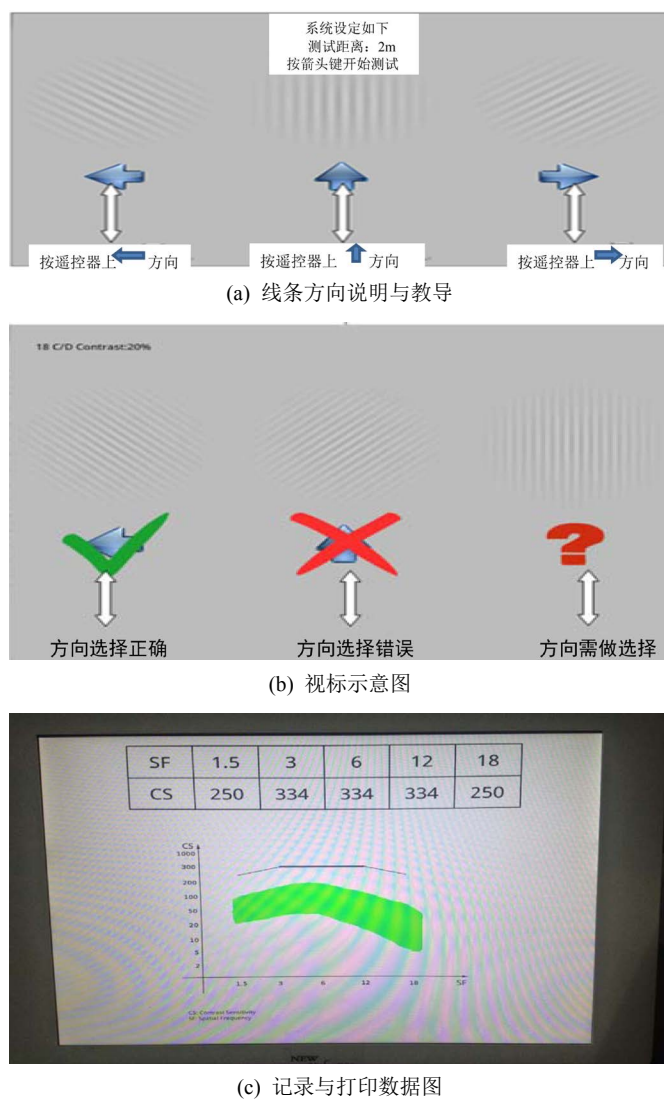


Figure 14. Operation process of contrast sensitivity measurement

图 14. 对比敏感度测试操作流程[13]

4.1.3. 对比敏感度检查过程

对比敏感度检查流程简述如下:

a) 图 15 所示为对比敏感度检查配置, 受测者采用坐着姿势, 靠在椅背上, 受测者与视力表仪器距离 2M 位置, 配戴最佳全矫正眼镜。

b) 教导受测者如何分辨视力表画面显示线条方向：当视力表画面显示线条方向出现箭头向右边方向，请受检者由左下方斜向往右上方方向比，箭头向上请受检者由下方向往上方向比，箭头向左边方向请受检者由右下方向斜向左上方向比。开始测试时，每页画面中会出现三道对比度测试题，之后随着测试结果的准确率随机进行难易增减，刚开始当视力表仪器画面上出现红色<?>符号请受测者指出红色<?>符号上面线条方向，当受测者所选择方向正确时，视力表仪器上出现绿色<✓>符号。当受测者选择方向错误时视力表仪器上出现红色<×>符号。当画面下方出现图示时，则受测者需要做出线条方向的选择。视力表机画面视标显示与受测者指示视标检查过程。

c) 视力表仪器遥控器由检查者按，预防受测者对遥控器不熟悉，指出方向与遥控器面板所指方向位置不同而影响数据误差。

d) 当受测者无法确定指出方向时，尽量鼓励受测者辨识视力表仪器上所显示线条方向，至每页面测试结束为止。记录每位受测者测量结果。

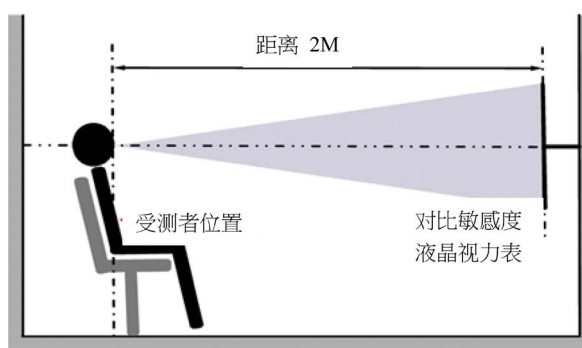


Figure 15. Contrast sensitivity measurement configuration
图 15. 对比敏感度测量配置

4.2. 依年龄做对比敏感度(CSF)分类测试与分析

参与对比敏感度检测之总人数有 34 位，成人组 18 位，老年人组 16 位。

受测者组别分类如下：

a) 成人组：21~64 岁单眼视力达 0.9，双眼视力 1.0 全矫正 18 位，男性与女性各 10 位与 8 位。

b) 老年人组：65 岁以上单眼视力达 0.9，双眼视力 1.0 全矫正 16 位，男性与女性各 10 位与 6 位。

对比敏感度检测成人组受测者有 18 位，表 6 所列为远方全矫正度数，表 7 所列为对比敏感度测试结果数据。

Table 6. Total correction diopter of eyes of subjects in adult group

表 6. 成人组受测者双眼全矫正屈光度

受测者	矫正度数(Diopter)		年龄
	右眼	左眼	
1	-1.25	-0.50	59
2	-7.25	-6.75	40
3	-5.25-2.00 * 20	-5.00-2.00 * 165	33
4	-3.25-0.50 * 10	-3.25-1.00 * 5	27
5	-6.00	-5.50-0.75 * 160	22
6	-7.50	-7.50	47

Continued

7	-7.00-2.00 * 180	-4.25-2.50 * 180	46
8	+0.50	+0.25-0.50 * 80	26
9	-3.25-1.00 * 1.00	-3.25-2.00 * 100	51
10	-1.00-0.50 * 10	-1.00-1.00 * 110	58
11	-2.00	-2.00	45
12	+0.25	+0.25	55
13	-8.25-1.00 * 90	-8.50	53
14	-7.00	-6.25-0.75 * 150	44
15	-6.50-0.75 * 40	-4.75	44
16	-0.75-3.00 * 10	-1.75-3.25 * 170	35
17	-5.00-1.25 * 155	-5.00	32
18	+0.75	+0.75	63

Table 7. Measurement data of contrast sensitivity in adult group

表 7. 成人组对比敏感度测量测数据

受测者	空间频率(cpd)					
	1.5	3	6	12	18	
1	12.5	25	33.4	16.7	10	
2	5	16.7	33.4	33.4	3.4	
3	16.7	33.4	33.4	33.4	5	
4	5	16.7	33.4	33.4	12.5	
5	10	25	33.4	16.7	12.5	
6	5	33.4	33.4	25	16.7	
7	3.4	16.7	12.5	25	12.5	
8	2.5	16.7	16.7	25	12.5	
9	12.5	33.4	33.4	33.4	10	
10	5	16.7	33.4	16.7	5	
11	5	12.5	33.4	33.4	25	
12	16.7	33.4	33.4	33.4	25	
13	5	25	25	25	3.4	
14	10	25	25	10	2.5	
15	10	10	25	12.5	5	
16	12.5	33.4	25	25	5	
17	16.7	33.4	33.4	16.7	10	
18	12	12	25	10	10	

对比敏感度是属形觉功能检查，正常状况下眼睛对中频区域对比敏感度辨识能力最敏感，低频区域与高频区域辨识能力较不敏感。图 16 所示为 18 位成人组对比敏感度检测出数据分析图。

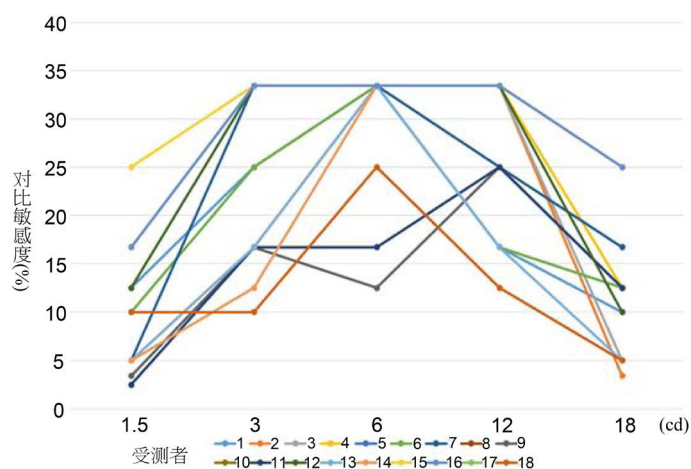


Figure 16. Contrast sensitivity measurement data of adult group
 图 16. 成人组对比敏感度(CSF)检测数据

由数据显示, 18 位成人受测者对比敏感度检测出数据在绿色带状区域正常范围内, 有些数据比绿色带状区域高出许多, 在屈光介质视网膜分辨率与感光细胞功能良好。中间频率 6 c/d 区域, 对比敏感度检测数据最高值 33.4 有 10 位, 正常状况下眼睛对中频区域线条轮廓最容易分辨区域。16 位绿色带状呈现倒“U”形。整个视觉系统屈光介质、视网膜成像清晰上呈现良好。只 9、11 号绿色带状没呈现倒“U”形状。

7 位受测者中, 7 号视力全矫正后没散光度数, 6 位全矫正后皆伴随散光度数。高度的屈光不正、高度散光与双眼不等视, 使整个视觉对比度与敏锐度对判断较小型物体与大型物体辨识能力变得不好没呈现倒“U”形状。

造成对比敏感度下降因素, 虽随年龄增加眼睛屈光介质变低, 视网膜成像清晰度跟着下降。由 1 号检测出数据比其他受测者数据低发现, 有高度屈光不正、高度散光与双眼不等视, 是造成对比敏感度数据下降因素。引用近视眼 LASIK 术后黄斑区视网膜厚度和对比敏感度分析文献[9]发现, 高度近视患者常在矫正视力 1.0 和传统的眼科检查如裂隙灯、眼底镜发现异常的情况下出现视功能的改变, 对比敏感度检测出数据常呈现下降, 以高频区域为主, 中频区域亦可出现异常, 尽管目前对其确切原因尚未明了, 但极可能与黄斑部视网膜的早期损害有关。

年龄超过 50 岁以上有 6 位, 图 17 所示分别为 1 至 6 号, 由年龄与正常绿色带状范围比较, 在低、高频区域变化较大。4 位 6 c/d 数据为 33.4, 5 与 6 号 6 c/d 数据检测出比较底在 25。由 1.5 c/d、18 c/d 做比较, 5 号 1.5 c/d 为 5、18 c/d 为 3.4 与 2、4 号呈现倒“U”形状是往下移。

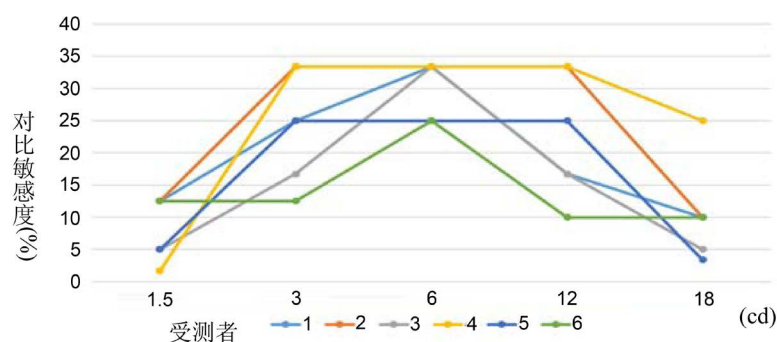


Figure 17. Contrast sensitivity measurement data of subjects over 50 years old
 图 17. 50 岁以上受测者对比敏感度(CSF)量测数据

50 岁以上低度近视与散光受测者 6 c/d 数据最高值 33.4 有 4 位, 1、9、10、12 号。1.5 c/d 与 18 c/d 数据低于 50 岁以上没高度近视与高度散光受测者, 只 2、4 号呈现倒“U”形。

50 岁以上归类在成人分组, 从年龄细分比较 4 号 3 c/d、6 c/d、12 c/d 数据最高值 33.4 呈现倒“U”形。与其他成人组受测者比较, 1.5 c/d 与 18C c/d 数据还是较低。

参与对比敏感度检测老年人有 16 位, 表 8 所列为对比敏感度测试数值, 图 18 所示为 65 岁以上老年人组受测者对比敏感度检测数据分析图。老年人对比敏感度随年龄增长会呈现下降趋势, 根据量测老年人数据, 发现在低、中与高频区域对比敏感度比成年人要低, 符合对比敏感度随着年龄的增长, 角膜的透明度逐渐降低, 水晶体调节能力及透光度下降, 玻璃体内的混浊物对光线的散射作用增强, 视网膜解析能力减弱, 感光细胞逐渐凋亡与整体视觉功能减退有关。16 位老年人组被检者在中间频率 6 c/d 区域最高值 33.4 有 2 位, 18C c/d 高频区域检测出 5 最高数据只有 2 位, 其他 15 位检测出数据都低于 5。1.5 c/d 低频区域检测 16.7 为最高数据只 1 位, 10 与 12.5 有 5 位, 其他 12 位检测出数据都低于 10, 老年人对比敏感度检测出数据在所有区域呈现皆较低。

Table 8. Contrast sensitivity measurement data of subjects over 65 years old
表 8. 65 岁以上老年人组受测者对比敏感度量测数据

受测者	空间频率(cpd)	1.5	3	6	12	18
1		2.5	16.7	12.5	1.7	0.5
2		5	12.5	25	3.4	1
3		3.4	3.4	5	25	3.4
4		10	16.7	25	5	1
5		2.5	16.7	12.5	5	1
6		2.5	16.7	12.5	1.5	5
7		12.5	12.5	33.4	5	3.4
8		3.4	5	5	1.7	0.5
9		2.5	5	5	1.7	1
10		12.5	2.5	16.7	3.4	0.5
11		5	12.5	12.5	12.5	10
12		2.5	12.5	16.7	3.4	1.3
13		5	5	5	2.5	1.7
14		2.5	16.7	12.5	1.7	0.5
15		5	12.5	25	3.4	1
16		3.4	3.4	5	25	3.4

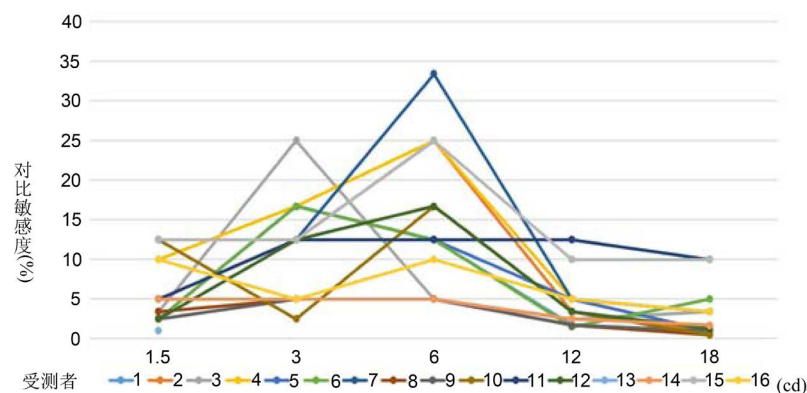


Figure 18. Contrast sensitivity test data of subjects over 65 years old

图 18. 65 岁以上老年人组受测者对比敏感度检测数据

5. 结论

在一般生活环境中高对比度的物体不多，使用视力表检查很难完全反应受检者的视觉功能。本研究利用不同空间频率与对比度的正弦光栅视标，建立成人对比敏感度(Contrast Sensitivity Function)量测技术。参与对比敏感度检测实验人数有 34 位，成人组 18 位，老年人组 16 位。类似人耳对声音倒“U”反应，正常状况人眼的对比敏感度在中频区域辨识能力最敏感，高与低频区域辨识能力较差。测试结果成人组 16 位呈现倒“U”形带状。随着年龄的增长，角膜透明度逐渐降低，水晶体调节能力及透光度下降，玻璃体内的混浊物对光线的散射作用增强，视网膜解析能力减弱，感光细胞逐渐凋亡，整体视觉功能减退。所以老年人组检测出结果没呈现倒“U”形。因测试样本数不足，未来做此量测研究者，用小样本统计作分析。

参考文献

- [1] 陈学志, 赖惠德, 邱发忠. 眼球追踪技术在学习与教育上的应用[J]. 教育科学研究期刊, 2010, 55(4): 39-68
- [2] 杨磊, 燕振国. 对比敏感度临床应用研究进展[J]. 中国眼耳鼻喉科杂志, 2011, 11(5): 331-333
- [3] 张海良, 游耀伟, 梁艳闯, 王雷. 民航飞行员对比敏感度调查与分析[J]. 国际眼科杂志, 2015, 15(9): 1668-1670.
- [4] 曾广文, 许淑芬, 关宇翔, 沈秉衡. 眼解剖生理学[M]. 台中: 华格那企业, 2009.
- [5] 苏俊峰. 眼睛解剖生理学及常见疾病概论[M]. 新北: 新文京开发出版股份有限公司, 2006: 21-25.
- [6] Kalloniatis, M. and Luu, C. (2007) Visual Acuity by Michael Kalloniatis and Charles Luu. <https://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-psychophysics-of-vision/visual-acuity/>
- [7] <https://www.futurity.org/eye-movements-contrast-1963352/>
- [8] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK11509/figure/ch25kallspatial.F14/>
- [9] Newell, F.W. (1996) Ophthalmology: Principles and Concepts (English). 8th Edition, Mosby, Maryland Heights, MO, 79.
- [10] Chung, S. and Legge, G.E. (2016) Comparing the Shape of Contrast Sensitivity Functions for Normal and Low Vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 57, 198-207. <https://doi.org/10.1167/iov.15-18084>
- [11] Contrast Sensitivity Background How Is It Different than the Big E-Chart? <http://www.vectorvision.com/contrast-sensitivity-background/>
- [12] 蔺波, 燕振国, 岳红云. 视觉环境与对比敏感度关系的研究进展[J]. 中国眼耳鼻喉科杂志, 2011, 11(4): 262-264.
- [13] 钧丰光学有限公司 C-901A 使用说明书[Z].