

# 基于现代数字图像处理技术对中间视觉对比度分辨率限制(阈值)的测定\*\*

赵媛<sup>1</sup>, 赵敏<sup>1</sup>, 谢正祥<sup>2</sup>

## Measuring the contrast resolution limits (threshold) of mesopic vision based on digital image processing technology

Zhao Yuan<sup>1</sup>, Zhao Min<sup>1</sup>, Xie Zheng-xiang<sup>2</sup>

### Abstract

**BACKGROUND:** In the optical field, the spectral luminous efficiency of eyes under scotopic vision photopic vision can be expressed as function values, but there is no uniform standard for mesopic vision.

**OBJECTIVE:** To measure simultaneous contrast resolution limits (threshold) of human mesopic vision in different colors background and to approach the influential factors about different colors or different grays.

**METHODS:** We selected 30 health volunteers who have normal corrected vision, no disease of the eyes and from 24 to 29 years of age, on MS WINDOWS operating system, and used modern digital image processing to measure.

**RESULTS AND CONCLUSION:** We have got contrast resolution limits (threshold) on seven kinds of background, including gray, red, blue, yellow, cyan, purple when gray level is from 30 to 60, and set up mathematic model. The measuring of simultaneous contrast resolution limits (threshold) of human mesopic vision suggests that they would change when different colors or different gray background. The simultaneous contrast resolution limits (threshold) is the minimal on gray background and the maximal on cyan background, as well as we set up corresponding mathematic models.

Zhao Y, Zhao M, Xie ZX. Measuring the contrast resolution limits (threshold) of mesopic vision based on digital image processing technology. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(26): 4841-4844.  
[http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

### 摘要

**背景:** 在光学研究中, 明视觉及暗视觉下眼睛的光谱光视效率均有相应的函数表示, 而中间视觉下的光谱光视效率函数至今没有统一标准。而在临床眼科学中, 也从未对中间视觉对比度分辨率做相应讨论。

**目的:** 测量不同颜色背景下中间视觉同时对比度分辨率限制(阈值), 并探讨不同颜色、不同灰度的背景对人眼对比度分辨率限制(阈值)的影响。

**方法:** 实验选取 30 名矫正视力正常, 无眼疾, 年龄 24~29 岁的健康受试者, 在 MS WINDOWS 操作系统环境下, 利用连续灰度变化的条纹模型进行测定。

**结果与结论:** 分别得出了灰度、红、绿、蓝、黄、青、紫 7 种特征背景灰度级在 30~60 之间的对比度分辨率限制(阈值), 并根据相关数据建立了数学模型。对人眼同时对比度分辨率限制(阈值)的测定表明, 在中间视觉条件下其值随背景灰度及颜色的变化而改变。在同一背景灰度级下, 灰度背景同时对比度分辨率限制最低, 青色背景的同时对比度分辨率限制最高。

**关键词:** 中间视觉; 同时对比度; 分辨率; 数字图像处理; 灰度; 色度

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.26.023

赵媛, 赵敏, 谢正祥. 基于现代数字图像处理技术对中间视觉对比度分辨率限制(阈值)的测定[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(26):4841-4844. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China; <sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China

Zhao Yuan★, Master, Physician, Department of Ophthalmology, First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China  
wing1982911@163.com

Correspondence to: Zhao Min, Professor, Department of Ophthalmology, First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China  
minzhao2002@yahoo.com.cn

Supported by: the National Natural Science Foundation of China, No. 30670536\*

Received: 2011-03-10  
Accepted: 2011-04-20

## 0 引言

中间视觉(mesopic vision)是介于明视觉和暗视觉之间的亮度水平, 按照人类视觉生理学, 在低灰度级上(如小于灰度级31)为暗视觉(scotopic vision), 属于视杆细胞的功能, 在高灰度级上(如大于灰度级63)为明视觉(photopic vision), 属于视锥细胞的功能。故当背景灰度在31~63之间时, 属于中间视觉的讨论范围<sup>[1-2]</sup>。中间视觉的研究之所以重要, 在于其有实际的应用价值, 如道路照明系统、海上作业、航空航天等。而关于人眼中间视觉对比度分辨率限制(阈值)的测定, 既往无类似报道, 特别是基于现代计算机数字图像处理技术的报道。

关于对比度, 不同的研究领域定义不同。有时间变化空间不变的分时对比度, 有同一时间不同空间的同时对比度。这篇文章只研究后者。

在感觉心理学(或称心理物理学)的奠基人Weber时代, 所用的对比度是分时对比度, 如同一位置的亮度或压强的增加引起的感觉变化。用于视觉, 就是观察点的亮变化( $\Delta L$ )与基准(变化前的)亮度( $L$ )之比, 称之为Weber对比度。后来把它扩展用于同时对比度的测量。对于相邻的亮、暗不同的两物体, 亮者的亮度为 $L_b$ , 暗者的亮度为 $L_d$ , Weber对比度表示为:

$$C_w = (L_b - L_d) / L_d \quad (1)$$

式中,  $C_w$ 表示Weber对比度。

Weber研究结果是: 感觉的增量与Weber

<sup>1</sup> 重庆医科大学附属第一医院眼科, 重庆市 400016;  
<sup>2</sup> 重庆医科大学生物医学工程研究室, 重庆市 400016

赵媛★, 女, 1982年生, 四川省绵阳市人, 汉族, 2010年重庆医科大学毕业, 硕士, 医师, 主要从事眼科临床医疗。现工作地址: 四川省绵阳市中心医院眼科。  
wing1982911@163.com

通讯作者: 赵敏, 教授, 重庆医科大学附属第一医院眼科, 重庆市 400016  
minzhao2002@yahoo.com.cn

中图分类号: R318  
文献标识码: B  
文章编号: 1673-8225 (2011)26-04841-04

收稿日期: 2011-03-10  
修回日期: 2011-04-20  
(20110310019/M · W)

成正比:

$$\Delta S \propto \Delta L/L \quad (2)$$

后来, 数学物理和心理物理学家Fechner在Weber的实验研究结果(2)式的基础上用数学方法推导出来著名的感觉定律:

$$S = K \log L \quad (3)$$

称为Weber-Fechner(感觉)定律或对数感觉定律。后来Stevens在《Science》上发表文章<sup>[3]</sup>, 引用了许多人的实验结果, 认为感觉定律应该是指数定律。

除了Weber对比度(分时对比度)外, 还有Michelson对比度<sup>[4]</sup>, 这就是一些经典生理学中引用的同时对比度(simultaneous contrast)<sup>[5-7]</sup>。假定视野中有相邻的亮度不同的两点(或两物体), 亮度分别为 $I_b$ 和 $I_d$ , 其对比度C定义为:

$$C = (I_b - I_d) / (I_b + I_d) \quad (4)$$

这样定义的对比度在视觉生理学中称为同时对比度(simultaneous contrast)。要指出的是, 这里的同时对比度是可观可测的物理对比度, 而不是心理感觉的视觉对比度。另外, 上述两种对比度的定义中, 亮度(灰度)差是核心, 没有灰度差, 就没有对比度。

根据现代计算机技术图像灰度的数字化表示, 这里采用Sanchez-Marín等<sup>[8]</sup>的意见, 将定义对比度为图像的不同像素点的亮度(灰度)差值。设图像中a像素点的灰度为 $g(x_a, y_a)$ , b像素点的灰度为 $g(x_b, y_b)$ , 则定义其对比度 $C(x, y)$ 为:

$$C((x_a, y_a), (x_b, y_b)) = |g(x_a, y_a) - g(x_b, y_b)| \quad (5)$$

式中 $|\cdot|$ 为取绝对值算符。这样定义的对比度是客观的, 与背景或目标的绝对灰度值无关。根据本实验, 在不同的背景(仅具有相对意义)灰度或颜色上, 人类能分辨的(物理)对比度是不同的。在某种颜色背景条件下, 每一个背景灰度上能分辨的最小对比度(灰度差), 称为人类视觉的对比度分辨率, 此值即为对比度分辨率阈值。对比度分辨率阈值越低, 对比敏感度就越高, 表明其视觉系统越敏感<sup>[9]</sup>。这里所测值均为以人类视觉为基础的心理物理测试结果, 更有利于指导实践应用。

已经研究过在明视觉和暗视觉的亮度条件下人类视觉对比度分辨率限制(阈值), 并建立了相应的数学模型<sup>[10]</sup>, 故本工作利用现代计算机数字图像处理技术测定人眼中间视觉的对比度分辨率限制(阈值), 以探讨其不同背景颜色及灰度下的变化规律并进行数学建模。

## 1 对象和方法

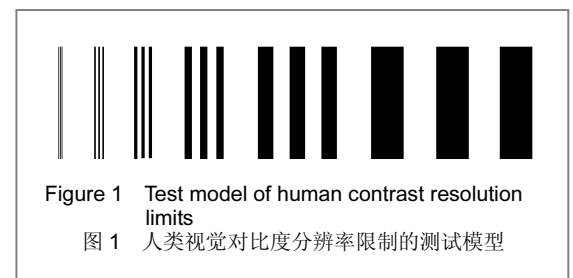
**设计:** 基于现代数字图像处理技术的临床观察实验。

**时间及地点:** 实验于2009-02/05在重庆医科大学生物医学工程研究室完成。

**对象:** 根据志愿原则(经伦理委员会同意, 受试者均签署了知情同意书)测试了30例青年志愿者, 其中男13人, 女17人, 年龄 $(24.27 \pm 2.20)$ 岁。矫正视力1.0以上。测试环境: 暗视野。

**方法:**

**人类视觉对比度分辨率测试模型:** 实验设计的人类视觉对比度分辨率的测试模型是2进制空间频率递增光栅样模型, 见图1。每一子条纹的宽度(从左到右)分别是:  $2^{-2}$ ,  $2^{-1}$ ,  $2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$ ,  $2^3$  mm, 空间频率分别是:  $20 \text{ cm}^{-1}$ ,  $10 \text{ cm}^{-1}$ ,  $5 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2.5 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1.25 \text{ cm}^{-1}$ ,  $0.625 \text{ cm}^{-1}$ 。



**测试方法:** 实验采用的测试方法不同于传统的正弦波条纹检查法、对比度视力表、计算机正弦条纹对比敏感度检查法、对比敏感度曲线等, 而是采用基于现代计算机数字图像处理技术的方法, 直接测试对比度分辨率限制。

**硬件设备:** 屏幕: 联想(LEGEND)17' CRT显示器。视觉舒适的亮度和对比度(40; 40)。

**测试条件:** 坐姿, 双眼与测试条纹在同一等高线上, 这是测试双眼综合的对比度分辨率。

**测试距离:** 令双眼处于明视距离(25 cm)。此时对于左起第三组条纹的视角约为 $0.23^\circ$ 。

**测试过程:** 按MS WINDOWS操作系统的RGB三基色表示方法, 将每种颜色的色度(chroma)分成0~255共256个色度级。当RGB的值相同时, 图像即表现为灰度图像。背景的灰度分成30, 35, 40, 45, 50, 55, 60共7个测试点。在每个目标条纹上一步变化一个灰度级, 直到受试者刚好看见有不同灰度的条纹为止。此时点击“show”图标, 在图的左上角分别示出背景与目标条纹的灰度级, 由此可算出灰度级差, 即为该背景灰度上的对比度分辨率。

反复测量3次取其最小值。测试界面见图2。图中示灰度背景下背景灰度为35, 左上角读出的条纹对比度为24(35~59)。

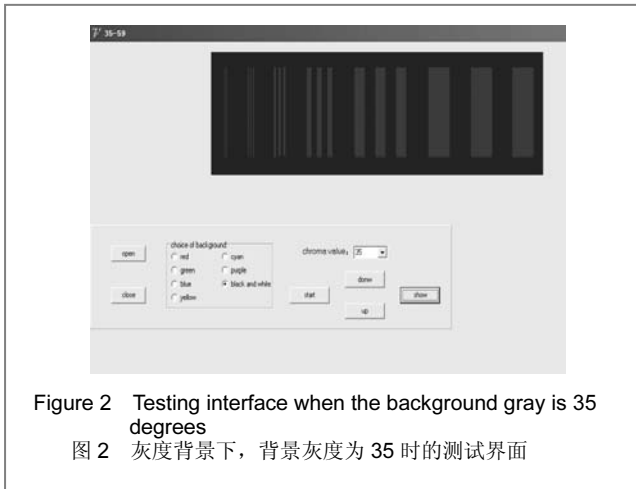


Figure 2 Testing interface when the background gray is 35 degrees

图2 灰度背景下, 背景灰度为 35 时的测试界面

测试开始前, 先点击“open”按钮, 打开测试模型文件, 再选择背景颜色(红、绿、蓝、黄、青、紫、灰度)。然后点击“start”按钮开始进行测试, 初始态条纹灰度与背景相同(图中为35灰度级)。然后点击“up”按钮, 即每次增加条纹一个灰度级。在测试过程中可分别点击“up”或“down”改变目标条纹的灰度, 使之达到恰能分辨的状态。最后点击“show”按钮, 在图的左上角读出数据。

## 2 结果

2.1 测量结果 表1给出了30名矫正视力正常的年轻人, 在不同的背景颜色下, 对比度分辨率和对比度敏感性随基准(背景)灰度变化的测试结果。

表1 对比度分辨率随背景灰度(/色度)的变化  
Table 1 The change of Contrast resolution with background gray (/chroma) ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=30$ )

| Color  | Gray level |            |            |            |
|--------|------------|------------|------------|------------|
|        | 30         | 35         | 40         | 45         |
| Gray   | 3.89±0.99  | 2.73±0.64  | 1.82±0.42  | 1.55±0.62  |
| Red    | 18.83±1.91 | 14.41±1.59 | 11.71±1.30 | 9.37±0.93  |
| Green  | 29.62±4.81 | 26.7±4.24  | 24.57±3.89 | 21.99±4.49 |
| Blue   | 14.25±1.73 | 11.38±1.37 | 9.38±1.10  | 7.82±1.36  |
| Yellow | 36.03±6.16 | 30.75±3.21 | 27.84±2.65 | 24.89±3.78 |
| Cyan   | 41.31±5.53 | 36.93±6.61 | 34.06±4.46 | 31.15±4.55 |
| Purple | 23.11±4.45 | 20.00±3.63 | 16.85±2.06 | 14.85±2.81 |
| Color  | Gray level |            |            |            |
|        | 50         | 55         | 60         |            |
| Gray   | 1.44±0.49  | 1.41±0.55  | 1.37±0.54  |            |
| Red    | 8.55±1.18  | 7.17±1.06  | 5.73±1.34  |            |
| Green  | 20.43±2.86 | 18.47±2.57 | 16.21±2.60 |            |
| Blue   | 6.49±1.10  | 5.59±0.99  | 4.31±0.74  |            |
| Yellow | 22.05±1.84 | 19.15±2.36 | 17.30±3.88 |            |
| Cyan   | 27.73±4.84 | 26.24±3.70 | 25.01±2.84 |            |
| Purple | 12.09±2.28 | 10.91±1.18 | 9.01±1.14  |            |

从表1中可以看出, 灰度背景的对比度分辨率限制最低。其次依次为蓝色、红色、紫色、绿色、黄色, 而青色背景下人眼的对比度分辨率限制最高。

2.2 数学模型 根据实验数据, 用统计学的方法建立数学模型, 见图3, 表2。

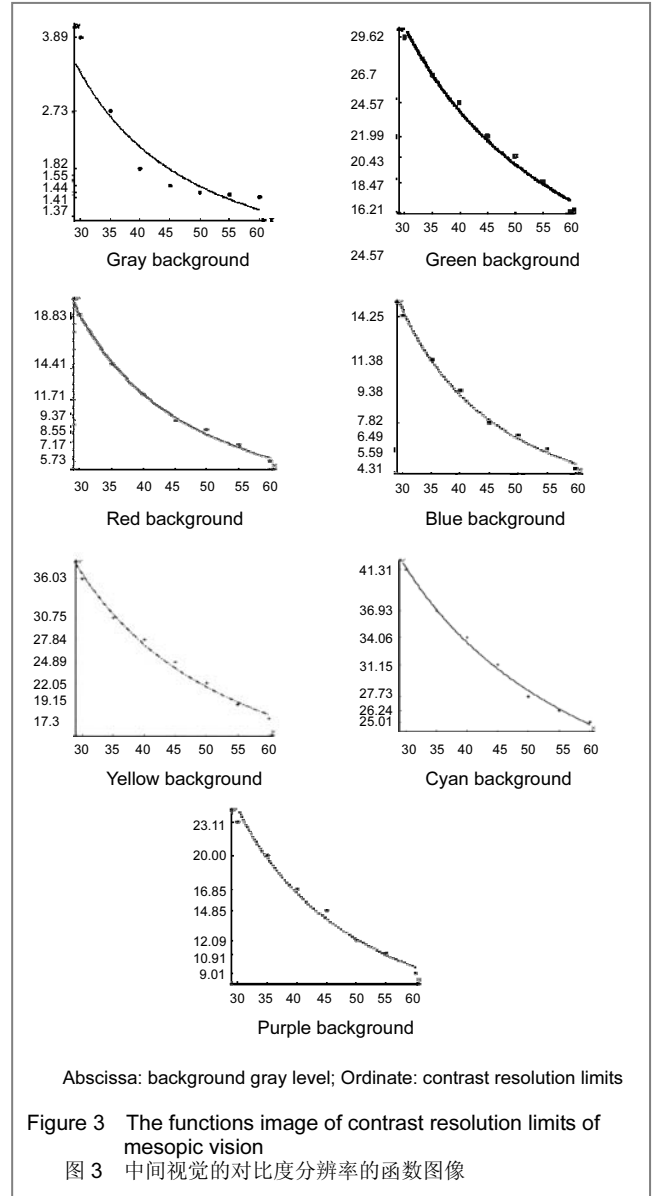


Figure 3 The functions image of contrast resolution limits of mesopic vision

图3 中间视觉的对比度分辨率的函数图像

表2 中间视觉对比度分辨率数学模型  
Table 2 The mathematical model of contrast resolution limits of mesopic vision

| Color  | Model                                              | Correlation coefficient * | Standard deviation * |
|--------|----------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Gray   | $575.858 \cdot 0 \cdot X^{-1.514}$                 | 0.885 4                   | 0.302 0              |
| Red    | $5 \cdot 015.701 \cdot X^{-1.642 \cdot 9}$         | 0.992 9                   | 0.269 4              |
| Green  | $531.819 \cdot 3 \cdot X^{-0.840 \cdot 7}$         | 0.981 1                   | 0.616 4              |
| Blue   | $4 \cdot 248.837 \cdot 3 \cdot X^{-1.666 \cdot 9}$ | 0.989 7                   | 0.290 2              |
| Yellow | $1 \cdot 285.715 \cdot 7 \cdot X^{-1.045 \cdot 3}$ | 0.990 0                   | 0.649 1              |
| Cyan   | $525.494 \cdot 3 \cdot X^{-0.746}$                 | 0.994 3                   | 0.423 3              |
| Purple | $2 \cdot 380.493 \cdot 7 \cdot X^{-1.348 \cdot 4}$ | 0.985 7                   | 0.649 1              |

\*Note: two statistical indicators of goodness of fit: Correlation coefficient and standard deviation of test data and predicted data

