

SHIJUE RENZHI ZHONG DE YANDONG
LILUN JI SHIZHENG YANJIU

视觉认知中的 眼动理论及实证研究

隋雪高敏 向慧雯 著



科学出版社

辽宁省青少年健康人格培养协同创新中心(2016)资助

国家留学基金项目(201608210288)

辽宁省自然科学基金项目(201602460)

辽宁省教育厅一般科研项目(L201683659)

SHIJUE RENZHI ZHONG DE YANDONG

LILUN JI SHIZHENG YANJIU

视觉认知中的 眼动理论及实证研究

隋雪高敏向慧雯著



科学出版社

北京

内 容 简 介

阅读过程中的眼动研究得到越来越多的研究者的关注,中文阅读的眼动研究逐渐深入,中文的一些独特语言特性得到眼动研究者的关注与解释。

本书基于眼动的生理机制、基本理论等,分析了阅读过程中的眼动行为,介绍了阅读中眼动研究的基本理论和基本范式,并分析了常用眼动指标的含义。本书从不同角度介绍了笔者进行的一些眼动研究,也介绍了国外的几个眼动研究。最后提出了中文阅读过程中的眼动模型的构建。

本书可作为眼动相关实验课程授课教师的参考用书,同时也可作为心理学专业研究生进行眼动实验研究的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

视觉认知中的眼动理论及实证研究 /隋雪,高敏,向慧雯著. —北京:科学出版社,2018.6

ISBN 978-7-03-057625-5

I. ①视… II. ①隋… ②高… ③向… III. ①眼动-研究 IV. ①B842.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第122141号

责任编辑:孙文影 王志兰/责任校对:何艳萍

责任印制:张欣秀/封面设计:润一文化

联系电话:010-64033934

E-mail: edu_psy@mail.sciencep.com

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第一版 开本:720×1000 B5

2018年6月第一次印刷 印张:15

字数:246 000

定价:89.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

笔者从 2001 年开始接触眼动研究，学习如何进行眼动实验，那时能够拿到的参考资料就是仪器使用说明书和一些相关研究的文献。不同研究使用的方法有很大差异；眼动指标的选择也经常变化。对于刚刚开始学习与探索这个领域的人来说，学习和研究效率很低。如果能有一本书对研究进行介绍与说明，解释研究范式与指标，会大大缩短最初的探索过程。基于这种想法，经过多年的努力，笔者有了写一本眼动研究方面的书的想法。

2015 年，笔者开始酝酿如何把理论和自己的实验研究结合起来，并开始进行本书的框架构建。笔者希望读者能从书中学到眼动研究的有关知识，了解我们在实验研究中取得的成果与存在的不足，也能从一些国外研究中获得研究经验。笔者在书中用 4 章的内容介绍眼动研究的理论，用 5 章的内容介绍笔者团队的阅读过程中的眼动研究成果，用 1 章内容介绍国外的研究，用 1 章内容进行中文阅读眼动模型的构建。

2016 年初，笔者开始了本书的撰写工作，随后笔者的研究生也参与进来，我们对每部分内容进行了详细讨论。本书各章节分工如下：第一章，高敏；第二章，向慧雯、徐迩嘉；第三章，万鹏；第四章，李琳；第五章、第六章，李昱霖、隋雪；第七章，王晓彤、隋雪；第八章，徐迩嘉、隋雪；第九章，高敏、胡欣灼、隋雪；第十章，向慧雯、方娴、任晓倩；第十一章，隋雪。全书的校对、统稿由隋雪、高

敏、向慧雯完成。

本书得到了辽宁省青少年健康人格培养协同创新中心的资助，非常感谢常若松教授的支持。本书写作与完成时恰逢笔者在英国莱斯特大学做访问学者，因此非常感谢国家留学基金管理委员会的资助。本书得以顺利出版，要感谢科学出版社的大力支持，非常感谢孙文影编辑的辛勤工作，她提出了很多有价值的修改意见，提高了本书的质量。本书也是笔者的研究生花费大量时间跟笔者一起完成的，非常感谢所有参与的研究生！

隋 雪

2018年5月18日

目 录

前言

第一章 眼动的生理机制 / 1

第一节 眼球的基本结构与功能 / 1

第二节 眼动的生理机制 / 9

第三节 视觉神经通路 / 13

第二章 眼动的基本理论 / 20

第一节 眼动控制理论 / 20

第二节 早期和中期眼动控制模型 / 21

第三节 眼动控制模型的发展 / 30

第三章 眼动研究的基本范式 / 52

第一节 自步速阅读范式 / 52

第二节 移动窗口范式 / 55

第三节 边界范式 / 59

第四节 消失文本范式 / 61

第五节 其他范式 / 64

第四章 眼动研究的基本指标 / 74

第一节 眼动指标的定义及分类 / 74

第二节 眼动的时间指标 / 76

第三节 眼动空间指标 / 82

第四节 眼动中的瞳孔直径 / 85

第五节 使用眼动指标应注意的问题 /86

第五章 词汇特征对阅读过程中眼动的影响 /88

第一节 汉语词汇的基本划分 /88

第二节 量词对阅读影响的眼动研究 /90

第三节 词汇特性对阅读过程眼动的影响 /92

第六章 阅读类型对阅读过程中眼动的影响 /95

第一节 精读和速度过程的眼动差异 /96

第二节 阅读类型对阅读眼动过程影响的分析 /99

第七章 面孔识别的眼动研究 /101

第一节 面孔识别的基本过程 /101

第二节 面孔识别的影响因素 /105

第三节 面孔情绪识别的基本过程 /107

第四节 面孔加工策略对眼动模式的影响 /118

第八章 位置信息及语境预测性对双字词识别的影响 /133

第一节 位置信息及语境预测性的以往研究 /133

第二节 位置信息对词汇加工早期的影响 /135

第三节 语境预测性对词汇位置信息加工影响的眼动研究 /138

第四节 位置信息与预测性的相加效应论述 /144

第九章 默读和出声阅读的副中央凹预视效应 /147

第一节 默读和出声阅读的基本问题 /147

第二节 实验1：副中央凹预视信息的影响 /151

第三节 实验2：副中央凹预视信息的提取时间的影响 /158

第四节 两个实验的综合逻辑 /163

第十章 国外经典阅读眼动研究介绍 /166

第一节 手写体句子阅读的眼动研究 /166

第二节 发展性阅读障碍儿童在反向眼跳和预测性
眼跳任务中的眼动行为 /177

第三节 复合词的经验影响加工：一个关于英语复合词的

眼动调查 /184

第十一章 中文阅读过程眼动模型构建 /194

第一节 中文阅读眼动行为的含义 /194

第二节 中文阅读眼动过程模型 /203

第三节 中文阅读眼动过程模型的验证 /205

参考文献 /208

后记 /229

第一节 眼球的基本结构与功能

眼睛是人体非常重要的感觉器官，是外界信息进入人脑的主要通道，人 90% 左右的知觉信息是通过眼睛获得的。因此，对眼睛的结构和功能的研究有助于理解人类的信息加工过程。如果眼睛受到损伤，会导致信息传递不通畅，信息加工受到严重阻碍，个体的学习、工作、生活都会受到极大影响。眼睛有大有小，也有许多不同的类型，如桃花眼、瑞凤眼、柳叶眼、杏眼、狐狸眼、龙眼、丹凤眼等。无论你的眼睛属于哪种类型，眼球肯定是由眼球壁和眼球内容物构成的近似球形的结构。本节重点介绍眼球的基本结构和功能。

一、眼球壁

（一）外层

1. 角膜

角膜（cornea）是眼睛正前方的透明部分，以圆顶形覆盖在眼睛的表面。尽管角膜看起来是透明的，似乎缺乏实质内容，但实质上它是由一群高度组织的细胞和蛋白质组成的。与身体中大多数其他的组织不同，角膜中没有血管，可以避免角膜受到感染。角膜从眼泪和房水（眼睛前部的液体）中获取营养。角膜必须保持透明以准确地折射光线，甚至是微小血管的存在也会干扰这个过程。想要看得清晰，角膜的所有层面都必须是透明的。

角膜组织由五个基本层面组成，每一层都有重要的作用。

1) 上皮细胞层

上皮细胞 (epithelial cell) 层是角膜的最外层区域, 大约占角膜厚度的 10%。上皮细胞的主要功能包括: 第一, 阻止外来的杂物 (如灰尘、水和细菌) 进入眼睛或者其他角膜层。第二, 为从眼泪中吸收氧气和细胞营养提供了一个光滑的平面, 然后将这些营养分发到角膜的其他部分。上皮细胞分布了成千上万个微小的神经末梢, 这使得角膜对疼痛非常敏感。部分上皮细胞用来固定和组织它们自己, 担当基础的作用, 因此被称为基底膜。

2) 前弹力层

前弹力层 (bowman layer) 是位于上皮细胞基底膜下面的透明薄片组织, 它由蛋白质纤维也就是所谓的胶原蛋白组成。前弹力层一旦受到损伤, 愈合后会形成疤痕。如果这些疤痕比较大且集中在前弹力层中心, 会造成部分视力丧失。

3) 基质层

基质层 (substrate layer) 位于前弹力层下面, 占角膜厚度的 90% 左右。基质层主要由 78% 的水和 16% 的胶原蛋白组成。基质层内不包含任何血管。胶原蛋白使角膜更有强度、弹性, 也使角膜的形式更加固定。胶原蛋白独特的形状、排列方式和间距是角膜透明、折射光线的必要条件。

4) 后弹力层

后弹力层 (descemet's membrane) 位于基质层下面, 后弹力层很薄, 但却是很强壮的组织。在应对感染和损伤的时候充当保护屏障的作用。后弹力层由胶原纤维 (不同于基质层) 组成, 由位于它下面的内皮细胞产生。与前弹力层不同的是, 后弹力层损伤后是可以再生的。

5) 内皮层

内皮层 (endodermis) 是角膜的最内层, 非常薄。内皮细胞是保持角膜透明必不可少的部分。内皮层的主要任务是储存从基质层流出来的过多的液体, 没有内皮层的储存作用, 基质层就会充满水, 最终变得模糊、不透明。在一个健康的眼球中, 流入角膜的液体与离开角膜的液体应该达到一个平衡状态。一旦内皮层由于疾病或者创伤受到损害, 它将永远不能复原。如果有许多的内皮细胞被损害, 那么离角膜水肿和失明也就不远了, 此时角膜移植是唯一的治疗方法。

通过以上内容, 我们已经对角膜的结构有了一个整体的了解。角膜像玻璃一样光滑而透明, 却又强壮而耐用。角膜在整个眼球中起什么作用呢? 首先, 角膜可以防止细菌、灰尘或其他有害物质进入眼睛的其他部分, 起到保护的作用。角膜是一道屏障, 细菌来袭时, 角膜会全力阻止, 情况严重时, 会自己受伤, 出现角膜炎。其次, 角膜作为眼睛的最外层镜头, 就像一个窗口, 控制和集中光线进

入眼内。眼睛聚焦能力的 65%~75%是角膜贡献的。具体来说,当光照射到角膜上时,角膜将光线折射到晶状体,晶状体进一步聚焦,使光聚焦在视网膜上,然后光传感细胞将光转变成视觉。如果想要看得清楚,光线必须由角膜和晶状体聚焦到视网膜上,视网膜将光线转换成脉冲信号通过视神经发送到大脑,大脑将其解释成图像。这个折射过程类似于用相机拍照片。眼睛的角膜和晶状体相当于照相机的镜头,视网膜则相当于胶卷。如果图像不能聚焦,那么胶卷上会收到一个模糊的图像。最后,角膜也起到了过滤器的作用,能够屏蔽一些具有破坏性的紫外线波长。如果没有角膜的这种保护,晶状体和视网膜会非常容易受到紫外线的伤害。

2. 巩膜

巩膜(sclera)是眼球壁的最外层,呈乳白色。当你注视别人的眼睛的时候,就能够看到巩膜。巩膜的形状由它所包含的液体控制,就像装满了水的圆气球。巩膜粗糙而强壮,它的工作是保护眼球内部更敏感的部分,如视网膜和脉络膜。巩膜大约 0.03 英寸^①厚,当然除了附加在巩膜上的四个直眼肌,直眼肌的厚度不超过 0.01 英寸。每只眼睛的巩膜上面有六块眼部肌肉,其中有四块直眼肌,这六块眼部肌肉共同控制眼睛的运动。巩膜上面是巩膜外层。巩膜外层包含血管,这些血管在眼白的表面能够被看到,并且为巩膜提供氧气和营养物质。

角膜和巩膜都有胶原纤维。然而,角膜的纤维更薄(直径约 30nm)且是高度组织化的。巩膜的胶原纤维大小是可变的,但是更厚(直径大于 150nm)且没有被高度组织化。因此,角膜是透明的,而巩膜相对不透明。角膜大约占眼外层的 15%,剩下的部分都是巩膜。

(二) 中层

1. 脉络膜

脉络膜(choroid)位于视网膜和巩膜之间,呈暗褐色,由丰富的血管和色素细胞组成,为视网膜提供营养物质。黄斑和视神经前端依赖于脉络膜的血液供给。血管生长异常是导致黄斑变性的一个直接条件,这些血管开始于脉络膜,经过玻璃膜到达视网膜,被称为脉络膜新生血管。由于结构相对脆弱,这些血管有破裂或出血倾向,从而造成水肿。

其组织结构分为四层:脉络膜上层、血管层、脉络膜毛细血管层和玻璃膜。脉络膜的主要功能是营养视网膜外层及玻璃体,因为含有丰富的色素,所以脉

^① 1 英寸=2.54cm。

膜有遮光作用，使反射的物像清楚。同时对人的视觉系统起保护作用，并对整个视觉神经有调节作用。

2. 睫状体

睫状体 (ciliary body) 是眼球壁中膜的增厚部分，位于虹膜后方，通过晶状体悬韧带与晶状体相连，呈环状围于晶状体周围，形成睫状环，内表面有许多突出并呈放射状排列的皱褶，被称为睫状突，外表面有睫状肌，也就是平滑肌。肌纤维起于角膜和巩膜的连接处，向后止于睫状环。睫状肌受到副交感神经的支配，收缩时可以向前拉动睫状体，从而使晶状体韧带松弛，通过调节晶状体的曲度起到调节视力的作用。

3. 虹膜

虹膜 (iris) 位于眼球中层，血管膜的最前部，在晶状体的前方。虹膜中央有一个 2.5~4mm 的圆孔，称为瞳孔。虹膜有两种虹膜肌：括约肌和放大肌。虹膜能够通过虹膜肌调节瞳孔的大小，进而控制进入眼睛的光线的数量。括约肌呈环形排列，受副交感神经支配；放大肌呈放射状排列，受交感神经支配。当强烈的光线照射时，虹膜的括约肌使瞳孔收缩，从而减少光线的进入；而在黑暗中，虹膜的放大肌使瞳孔扩张，从而增加进入的光线。因为瞳孔越小越容易聚焦，所以当关注近处的物体时，瞳孔直径会减小；而关注远处的物体时，瞳孔直径会扩大。这种现象被称为视觉调节反射。我们通常所说的个体的眼睛的颜色实际上是指虹膜中色素的类型和数量。最常见的虹膜的颜色是棕色，最少见的是绿色。

此外，虹膜还有其他特点。虹膜的组织密度可以用来衡量人体的免疫力，它表现在肌肉弹性、抗病力、复原力及其他组织的再生能力。当人体免疫力不佳时，虹膜的纤维会呈现麻布袋似的疏松现象；若身体组织机能的免疫力强，则虹膜的纤维会像绸缎般紧密结合，代表此人身体健康。

虹膜具有唯一性，就像人的指纹一样，是独一无二的。也就是说每个虹膜所包含的信息都不相同，不仅同卵双胞胎的虹膜纹理信息不同，即使是同一个人左右眼的虹膜纹理也不会完全相同。而且虹膜在人的一生中都极其稳定，一般性的疾病也不会对虹膜组织造成损伤，更不会因职业等因素造成磨损。虹膜的这些特性决定了虹膜识别是人体生物特征识别中的最佳选择。1997 年，王介生成为中国第一个虹膜识别专利得到批准的申请人。如今，有些品牌的手机需要扫描虹膜进行屏幕解锁。因此，我们可以想象一下，在未来的世界里，我们不再需要随身携

带身份证明文件，因为眼睛虹膜测试系统将会全面普及。只要利用激光仪扫一扫你的虹膜，便可即时确认你的身份。你还可以利用这种系统在家中发布各种指令；出外购物亦不需带现金或信用卡；甚至处理各种商贸业务或出外远行也能够一扫了之。随着科技的迅猛发展，这些设想应该很快会变为现实，而不仅仅是存在于我们的想象中了。

（三）内层：视网膜

视网膜（retina）位于眼球壁的内层，是一层透明的薄膜，厚度约 0.5mm。视网膜的中心是视神经，一个椭圆形的白色区域，面积大约 3mm^2 ，因为这里没有感光细胞，这个区域通常被称为盲点。从盲点向太阳穴的方向是黄斑，黄斑直径约 1.5mm，黄斑的中心是中央凹，此处没有血管，只有大量的视锥细胞，这是眼睛感光最灵敏的地方，也是我们视觉最清晰的地方。每当我们注视某个物体时，眼球会不自觉地转动，让光线尽量聚焦在中央凹。中央凹周围约 6mm 的区域被称为中央视网膜，其外是周边视网膜。视网膜的边缘是锯齿缘，距离视网膜中心约 21mm。总体来看，视网膜是一个直径为 30~40mm 的圆盘。

视网膜由三级神经元、神经胶质细胞和血管组成。最外层为第一级神经元，称为光感受器细胞，是接受、转变光刺激的神经上皮细胞。光感受细胞有两种：一种是视锥细胞，主要集中在黄斑区，视锥细胞对光的敏感性较低，能感受强光，也能够分辨颜色，有精细的辨别力，在黄斑的中央凹处，形成中心视力；另一种是视杆细胞，分布在黄斑区以外的视网膜上，视杆细胞对光的敏感性较高，能感受弱光，无辨色功能，形成周边视力。第二级神经元为双极细胞，位于第一、第三级神经元之间，起联络作用。居于内层的为第三级神经元，是传导神经冲动的神经节细胞，其轴突汇集在一起形成视神经。视网膜相当于一架照相机里的感光底片，专门负责感光成像。当我们看东西时，物体的影像会通过屈光系统落在视网膜上。

以上介绍了视网膜的结构，下面介绍视觉刺激在视网膜上的传导过程。首先，视网膜最外层的神经元感光细胞（锥体细胞和棒体细胞）感受到光后，会将光量子能量转换成电信号，然后，通过化学突触向双极细胞发送一个相应于光强度的电信号。其次，双极细胞会将信号处理后经化学突触传递到神经节细胞，神经节细胞是唯一能将视网膜处理后的视觉信息编码为神经冲动并传输到脑的细胞。介于感光细胞和双极细胞之间有一水平细胞层，从光感受器接收信息，并反馈输出到光感受器，同时也输出到双极细胞，在这三种细胞间形成了复杂的突触联系网络层，作为外网状层。而内网状层，视觉刺激则是由双极细胞层—无足细胞层—神经节细胞层依次传递。最后，视觉信息再由神经节细胞向上传递到大脑。

上文提到视网膜对光最敏感的区域是黄斑的中心——中央凹区域。黄斑很小，直径约 1.5mm，黄斑的中心中央凹区域更小，直径约 0.5mm。换句话说，视野中心 5°视觉角度范围为黄斑区域，1.5°视觉角度范围为只有锥体细胞的中央凹区域。除此之外的黄斑区域为副中央凹。中央凹区域的视敏度最高，距离中央凹越远，视敏度越低。当你在屏幕上阅读一个句子的时候，眼睛注视的那个字位于你的中央凹，如果你不移动眼睛，想要识别当前注视的字两边的字是非常困难的。可以试着看一下，你能注视到当前注视点（也就是处于中央凹的字）右边或者左边几个字？这就是现在许多阅读的眼动研究关注的一个焦点问题：副中央凹信息的提取。个体最多能提取多大范围的副中央凹信息，这些信息是在何时被提取的，都是当前研究者非常关注的问题。目前，已有眼动研究发现，拼音文字的知觉广度（是指一次注视所能获得的信息的范围）为当前注视点左侧 3~4 个字母到右侧 14~15 个字母（Rayner, 1975, 2009）。闫国利等（2011）的研究表明，中文阅读中的知觉广度为当前注视点左侧 1 个汉字到右侧 2~3 个汉字。可见，视野范围具有不对称性，注视点右边的视野范围更大，左边的相对要小，这是什么原因造成的？是因为注视点左边的信息对阅读没有太大的作用了，还是由我们的阅读方式（从左向右）造成的？这些问题还有待进一步考察。

二、眼球内容物

（一）房水

充满前房、后房的透明液体叫房水（aqueous humor）。前房位于角膜和晶状体之间。后房位于虹膜后面，是睫状体和晶状体赤道部之间的环形间隙。房水由睫状体产生，经过瞳孔，进入前房，最后通过小梁网（trabecular meshwork）排出眼球。房水总量为 0.25~0.3ml，主要成分是水。房水的主要作用是为角膜和晶状体提供氧气和营养物质，也具有维持眼内部压力的功能。如果眼睛的房水系统工作正常，房水生成量应该正好等于房水的排出量。眼内压在一天内的不同时间是不一样的，但一般都保持在安全范围内。如果房水过多，或者排不出去，就会造成眼内液体增加而导致眼内压力升高。眼压升高会损害视神经，使视野变小，最终导致失明。这种眼内压力升高的眼病就是青光眼。此外，房水还具有一定的折光功能，它与角膜、晶状体、玻璃体共同组成了眼球折光系统。

（二）晶状体

晶状体（crystalline lens）是一个双凸透镜状的富于弹性的透明组织，内无血管。它位于虹膜、瞳孔之后，玻璃体之前，借晶体悬韧带与睫状体联系。晶状体

后表面的凸度大于前表面的凸度，后表面中央叫后极，前表面中央叫前极，显露于瞳孔中央。前后两面交界处叫赤道。成人晶体的直径为 9~10mm，厚 4~5mm。

晶状体最重要的功能是根据距离的不同改变眼睛的焦点，如当你的视线从起居室的电视移动到手里的报纸时，眼睛的焦点就会发生改变，以使眼球聚光的焦点能准确地落在视网膜上。那么这个过程是怎样实现的？晶状体通过悬韧带与睫状体相连，当你想要集中在近处的物体时，睫状体的肌肉收缩，此时悬韧带松弛，晶状体直径缩小，同时变厚，从而使视敏度增加。随着年龄的增加，晶状体的调节能力会降低，人到 45 岁时，若想要达到正常阅读的视力，没有矫正眼镜或者隐形眼镜的帮助是很难实现的。如果视网膜相当于照相机里的底片，那么晶状体就像照相机里的镜头一样，对光线有屈光作用，同时也能滤去一部分紫外线，从而保护视网膜。晶状体是重要的屈光间质之一，由于晶状体内没有血管，它所需的营养来自房水，如果房水的代谢出了问题，或晶状体囊受损，晶状体会因为缺乏营养而变得混浊，原本透明的晶状体就会成为乳白色，变得不透明，最终影响视力，这就是人们所说的白内障。

（三）玻璃体

玻璃体（vitreous body）为无色透明的胶状物质，位于晶状体后面，充满晶状体后面的空腔。玻璃体并不是玻璃，它是半固体，呈胶状。玻璃体内没有血管和神经，它所需的营养来自房水和脉络膜，因而代谢缓慢，无再生能力，若有缺损，将由房水来填充。玻璃体和晶状体、房水、角膜等一起构成了眼的屈光间质，并且对视网膜和眼球壁起支撑作用，使视网膜与脉络膜相贴。在外伤或手术中，一旦发生玻璃体丢失，就容易造成视网膜脱落。

综上，眼的屈光系统由眼球壁的角膜，眼球内容物的房水、玻璃体和晶状体构成。眼的屈光和调节是由眼的屈光系统来完成的。其中角膜和晶状体的屈光作用较大。眼睛不同于任何光学折射系统，眼睛的焦点能在一定范围内自动调节，从而使远近不同的物体的成像都能落到视网膜上，这被称为眼的调节。如果安静状态的眼的折光能力正好把 6m 以外的物体成像在视网膜上，那么来自近于 6m 的物体的光线将是呈不同程度辐射状的，它们在折射后的成像位置将在主焦点，即视网膜的位置之后；由于光线到达视网膜时尚未聚焦，因而物像是模糊的，由此也只能引起一个模糊的视觉形象。但正常眼在看近处的物体时也十分清楚，这是由于眼在看近物时已进行了调节，使进入眼内的光线经历较强的折射，结果也能成像在视网膜上。人眼的调节亦即折光能力的改变，主要是靠晶状体形状的改变。这是一个神经反射性活动，其过程如下：当模糊的视觉形象出现在视区皮层时，由此引起的下行冲动经锥体束中的皮层—中脑束到达中脑的正中

核，再到达发出动眼神经中副交感节前纤维的有关核团，最后再经睫状神经节到达眼内睫状肌，使其中中环行肌收缩，引起连接于水晶体囊的悬韧带放松。这样就促使水晶体由于其自身的弹性而向前方和后方凸出（以前突较为明显），使眼的总的折光能力较安静时增大，使辐射的光线提前聚焦，也能成像在视网膜上。物体距眼球愈近，到达眼的光线辐散程度愈大，因而也需要晶状体作更大程度的变凸。调节反射进行时，除晶状体的变化外，同时还出现瞳孔的缩小和两眼视轴向鼻中线的汇聚，前者的意义在于减少进入眼内光线的量（物体移近时将有较强光线到达眼球）和减少折光系统的球面像差和色像差；两眼汇聚的意义在于看近物时物像仍可落在两眼视网膜的相称位置。人眼看近物的能力，亦即晶状体的调节能力是有一定限度的，这取决于水晶体变凸的最大限度。随着年龄的增加，水晶体自身的弹性将下降，因而调节能力也随年龄的增加而降低。眼的最大调节能力可用白天它所能看物体的最近距离来表示，这个距离或限度称为近点。近点愈近，说明晶状体的弹性愈好，亦即它的悬韧带放松时可以作较大程度的变凸，因而使距离更近的物体也能成像在视网膜上。例如，8岁左右的儿童的近点平均约为8.6cm，20岁左右的成人约为10.4cm，而60岁时可增大到83.3cm。

你可能遇到过这种情况，长时间近距离地看书写字之后，再看远处的物体时，看到的景象就会模糊。这是因为长时间近距离地看书会导致晶状体的肌肉总是处于紧张状态，时间长了，肌肉就会疲劳，从而失去调节能力。肌肉不能放松，导致晶状体的弯曲程度不能改变，透过晶状体形成的图像就不能落在视网膜上了。外界物体发射或反射出来的光线，经过眼的屈光系统后，在视网膜上形成清晰的物像，这种视力被称为正视。非正视是指屈光不正，也就是当眼不调节时，外界光线不能准确地聚焦在视网膜上。具体来说就是，平行进入眼睛的光线经折射后使物像落在视网膜前面，这种现象被称为近视；反之，若物像落在视网膜后，则称为远视。而角膜表面曲度的改变使得角膜各子午线的屈折率不一致，从而使经过这些子午线的光线不能聚集于同一焦点，光线不能准确地聚焦在视网膜上形成清晰的物像，这种情况在临床上称为散光。屈光不正多多少少会给我们正常的生活带来不便，所以当屈光不正时，我们可以通过佩戴一些合适的镜片来矫正。比如近视可以通过佩戴适当焦度的凹透镜，使光线在进入眼睛之前先经过凹透镜的适当发散，再经过眼睛折射恰好在视网膜上形成清晰的像。远视则需要佩戴凸透镜，使平行光线先经过凸透镜的适当汇聚，再透过眼镜折射到视网膜上。散光的矫正方法就是佩戴适当焦度的柱面透镜。

在这里要特别注意的是，在利用眼动仪进行各种眼动研究的时候，必须保证被试的眼睛视力正常或者矫正后正常，否则得到的数据就是不准确的。为什么被

试视力不正常，得到的数据不准确？这要从眼动仪视线追踪的基本原理说起。人眼的注视点（也就是人眼落在屏幕上的位置）由头的方位和眼睛的方位两个因素决定。目前研究者将视线跟踪技术按其所借助的媒介分为以硬件为基础的和以软件为基础的两种。首先，以硬件为基础的视线跟踪技术的基本原理是利用图像处理技术，使用能锁定眼睛的人眼摄像机，通过摄入从人眼角膜和瞳孔反射的红外线连续地记录视线变化，从而达到记录分析视线跟踪过程的目的。以硬件为基础的方法需要用户戴上特制的头盔或者使用头部固定支架，对用户的干扰很大。视线跟踪装置有强迫式与非强迫式、穿戴式与非穿戴式、接触式与非接触式之分，其精度为 $0.1^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 。其次，以软件为基础的视线跟踪技术是先利用摄像机获取人眼或脸部图像，然后用软件实现图像中人脸和人眼的定位与跟踪，从而估算用户在屏幕上的注视位置。因此，视线跟踪技术需要通过眼睛所成的图像来判断眼睛所注视的位置，如果被试屈光不正，那么被试注视的实验材料将不能准确地落在视网膜上，也就不能通过眼动仪正确判断被试的注视点在屏幕上的位置，所以得到的实验数据就是不准确的。

第二节 眼动的生理机制

通过上一节的内容，我们对眼球的结构及其功能有了一定的了解，知道眼球是可以灵活运动的，因为眼球的运动，我们才能看到更大范围的景象。那么是什么使眼球能够如此灵活地运动？这一节我们就来介绍一下眼球运动的生理机制。

一、眼外肌

眼外肌（extraocular muscle）是附着于眼球外部的肌肉，与睫状肌、瞳孔放大肌和括约肌等眼内肌是相对的名称。眼外肌是控制眼球运动的横纹肌，共六对，每只眼睛有六条。按照眼外肌行走的方向可以分为直肌和斜肌。其中直肌有四条，分别为内直肌、外直肌、上直肌和下直肌；斜肌有两条，分别为上斜肌和下斜肌。

（一）内直肌和外直肌

1. 内直肌

内直肌（internal rectus muscle）位于眼球内侧，起始于眶尖部视神经孔周围的总腱环，向前止于眼球赤道前方巩膜的内侧面。内直肌由动眼神经支配，当内