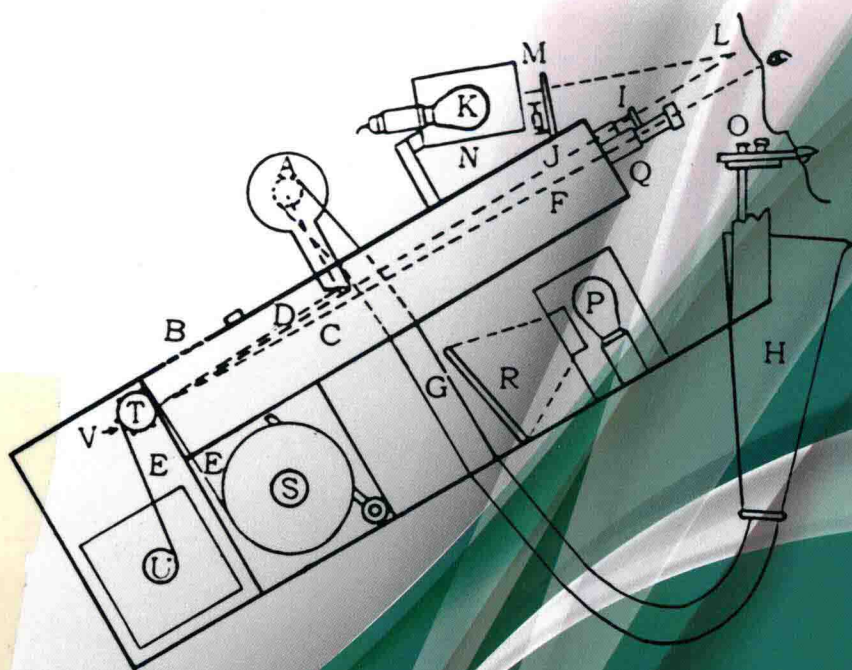


眼动分析技术 的基础与应用

闫国利 白学军 /编著

YANDONG FENXI JISHU DE JICHU YU YINGYONG



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

眼动分析技术 的基础与应用

闫国利 白学军 /编著

YANDONG FENXI JISHU DE JICHU YU YINGYONG



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

眼动分析技术的基础与应用/闫国利,白学军编著. —北京:
北京师范大学出版社, 2018. 7
(心理学研究方法丛书)
ISBN 978-7-303-22912-3

I. ①眼… II. ①闫… ②白… III. ①眼动-研究
IV. ①B842. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 240211 号

营销中心电话 010-58805072 58807651
北师大出版社高等教育与学术著作分社 <http://xueda.bnup.com>

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com
北京市海淀区新街口外大街 19 号
邮政编码: 100875

印 刷: 天津中印联印务有限公司
经 销: 全国新华书店
开 本: 787 mm×1092 mm 1/16
印 张: 20.75
字 数: 400 千字
版 次: 2018 年 7 月第 1 版
印 次: 2018 年 7 月第 1 次印刷
定 价: 68.00 元

策划编辑: 何 琳 责任编辑: 王星星
美术编辑: 李向昕 装帧设计: 李向昕
责任校对: 陈 民 责任印制: 马 洁

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58805079

前 言

眼睛是人类获取信息的主要渠道，通过眼睛获取资讯占比80%以上。人们如何选择信息，如何认识周围世界，是心理学研究的重要问题。记录眼睛的运动轨迹，可有效地揭示人对事物的认知加工过程。

眼动仪的问世和使用，极大地促进了人们对自身认知过程的探索 and 了解。眼动研究在我国的发展方兴未艾，涉及不同的研究领域，包括阅读心理学、学科教育、应用心理学等。目前，越来越多的高校和科研单位购置了眼动仪，但是眼动仪的利用率还比较低，其中一个重要的原因是不了解仪器的使用方法，也不了解眼动仪器在心理学不同领域的应用，这在很大程度上限制了仪器的使用。鉴于此，本书以眼动分析技术为主题，分为两部分，第一部分是基础，主要讨论了仪器的操作和使用，第二部分是应用，主要概述了眼动仪在不同领域的研究成果。

为了便于阅读，每章开始都有导读。为了增加趣味性，每章最后有历史拾贝、延伸读物、名著选读栏目。此外，为了让读者能够掌握书中的重点，我们还在每章后面提供了思考题。

纵观全书，本书有如下几个特色：

(1) 实用性强。本书对两个系列眼动仪的操作要点、分析指标选用和数据分析进行了说明，图文并茂，直观形象。同时，对眼动研究有关的范式和实验设计进行了说明，对初次接触眼动仪的学习者具有一定的帮助。

(2) 涵盖面广。本书结合眼动仪的优势，总结了其在多个领域的应用成果，包括阅读心理学、场景知觉和视觉搜索、学科教育、特殊教育领域，还包括广告、消费与用户体验领域以及航空交通心理学和运动心理学领域，对从事眼动研究的相关学者具有一定的参考价值。

(3) 趣味性浓。为了丰富本书的内容，本书在每章后面增加了介绍眼动研究领域重要人物和名著的版块，提高了可读性，扩展了读者的课外知识。

本书的参编人员都是从事眼动研究的教师或者研究生，他们都具有博士学位，也都有阅读的眼动研究方面的经验。参编人员有：

第一章，闫国利、孟珠；第二章，孟珠、闫国利；第三章第一节，白学军、王永胜；第三章第二节，刘妮娜；第四章，仝文；第五章第一节，王永胜；第五章第二节，于秒；第六章，王霞；第七章第一节，刘敏；第七章第二节，韩映虹、陈阳阳；第八章，刘璐；第九章，宋子明；第十章，刘志方；第十一章，刘妮娜。

在此，对各位作者的辛勤工作表示由衷的感谢。张莉博士负责了全书的校对工作，对本书的格式、内容和形式进行了认真的完善和修改，并整理了每章的历史拾贝和名著选读两个版块。她为本书的撰写、编辑倾注不少心血，在此，我也向她表示感谢。

最后，要感谢北京师范大学出版社的编辑何琳同志，她为本书的出版做了大量工作，也针对本书提出了非常重要的建议。没有她的大力协助，也就没有此书的顺利出版，我们对她的付出也表示深深的谢意。

虽然我们对书中的内容进行了认真的校对，但是不足之处在所难免，请广大读者不吝赐教。如果发现有什么错误，请发邮件至 psyygl@163.com。如果能够为广大初学者提供一些帮助，我们的目的也就达到了。最后，衷心祝愿我国的眼动研究事业蓬勃发展，欣欣向荣！

闫国利 白学军

天津师范大学心理与行为研究院

目 录

CONTENTS

- 第一章 眼动的生理基础与基本模式 /1
 - 第一节 眼动的生理基础 /1
 - 第二节 眼动的基本模式 /4
- 第二章 眼动记录方法与技术 /14
 - 第一节 传统眼动记录方法 /14
 - 第二节 当代眼动记录方法 /17
 - 第三节 眼动记录技术的发展趋势 /29
- 第三章 常用眼动仪的操作与数据处理 /37
 - 第一节 EyeLink 系列眼动仪的操作与数据处理 /37
 - 第二节 Tobii 系列眼动仪的操作与数据处理 /55
- 第四章 眼动研究的实验设计基础 /98
 - 第一节 眼动研究常用的实验范式 /98
 - 第二节 眼动研究常用的实验设计 /117
- 第五章 眼动分析技术在阅读心理学中的应用 /133
 - 第一节 阅读中的基本问题 /133
 - 第二节 阅读中的词汇加工 /151
 - 第三节 句子加工的眼动研究 /156
 - 第四节 语篇加工的眼动研究 /167
- 第六章 场景知觉与视觉搜索 /189
 - 第一节 场景知觉的眼动研究 /189
 - 第二节 视觉搜索的眼动研究 /204

第七章 眼动分析技术在学科教育中的应用 /215

第一节 眼动分析技术在数学、语文、英语中的应用 /215

第二节 眼动分析技术在学前教育中的应用 /224

第三节 眼动分析技术在多媒体教学中的应用 /231

第八章 眼动分析技术在特殊教育中的应用 /243

第一节 学习困难儿童的眼动研究 /243

第二节 自闭症谱系障碍儿童的眼动研究 /246

第三节 注意缺陷多动障碍儿童的眼动研究 /254

第四节 听力障碍者的眼动研究 /257

第五节 阅读障碍儿童的眼动研究 /263

第九章 眼动分析技术在广告心理学、消费心理学与用户体验中的应用 /279

第一节 眼动分析技术在广告心理学中的应用 /279

第二节 眼动分析技术在消费心理学中的应用 /289

第三节 眼动分析技术在用户体验中的应用 /292

第十章 眼动分析技术在航空交通心理学中的应用 /301

第一节 驾驶中的认知过程的眼动测量 /301

第二节 驾驶中的心理状态的眼动测量 /304

第三节 眼动分析技术在航空交通心理学中的具体应用 /305

第十一章 眼动分析技术在运动心理学中的应用 /311

第一节 研究范式——专家-新手范式 /311

第二节 研究对象的具体化和刺激材料的生态化 /314

第三节 研究手段的多元化——眼动与脑电指标的结合 /320

第一章 眼动的生理基础与基本模式

导 读

眼睛是人体重要的感官。当物体的影像刺激视网膜时，人便产生视觉。经由视觉信息的输入，人才能感知到苹果的颜色、光影的明暗、雪花的形状、雨滴的大小以及芭蕾舞者的舞姿等，获得对机体的生命活动具有重要意义各种信息。阅读便是一种从视觉材料中获取信息的过程。那么，在复杂的阅读过程中，眼睛是如何运动的呢？又有哪些眼睛的构造使这些眼动形式得以实现？

在本章中，首先我们描述了眼睛的构造，主要包括眼球壁和内容物两部分，眼球壁又分为三层，视网膜在最内层。当光线落在视网膜上时感光细胞会发生变化，最后经由大脑皮层产生视觉。然后我们介绍了与眼动有关的三对眼肌。最后我们讨论了眼动的三种基本模式，分别是注视、眼跳和追随运动。这三种眼动模式的共同使用有助于人们完成对视觉信息的有效提取与加工。

第一节 眼动的生理基础

一、眼睛的构造

人眼球的形状类似于一个球状体，其直径大约为 23 cm，眼球的构造见图 1-1。

(一) 眼球壁

眼球壁分为三层，最外层是纤维膜，中层是血管膜，内层是视网膜。

最外层的纤维膜厚而坚韧，外层前 1/6 主要由透明无血管的结缔组织构成，这层透明组织叫角膜。光线从角膜进入眼内。眼球外层的其余部分是不透明的巩膜。纤维膜起着保护作用。

眼球壁的中层是血管膜，位于巩膜内面。血管膜又分为脉络膜、睫状体和虹膜三部分。脉络膜位于眼球壁的后 2/3，其主要功能是供给眼球营养，吸收眼球内散射的多余光线。睫状体的前方连接虹膜根，后与脉络膜相连。虹膜为血管膜

的前部，是圆盘状的薄膜，中央有一圆孔，叫瞳孔，是光线进入眼球的通路。瞳孔借助虹膜的括瞳肌和缩瞳肌来放大和缩小，借此控制进入眼内的光量。

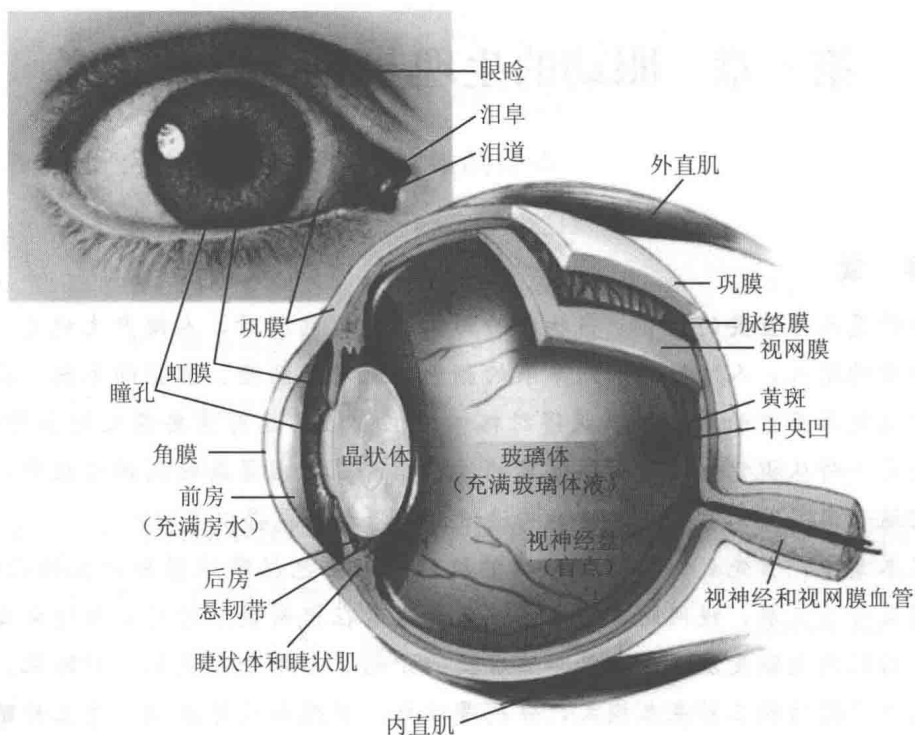


图 1-1 人眼眼球构造图(右眼)

视网膜是眼球壁的最内层。视网膜由三层神经细胞组成，第一层是光感受细胞，主要包括锥状细胞和棒状细胞。锥状细胞接受强光及色光刺激，主要在白天视物时起作用；棒状细胞对弱光很敏感，在暗光环境中起作用。从图 1-2、图 1-3 中可以看出，锥状细胞主要分布在视网膜的中央凹附近，越靠近网膜边缘，锥状

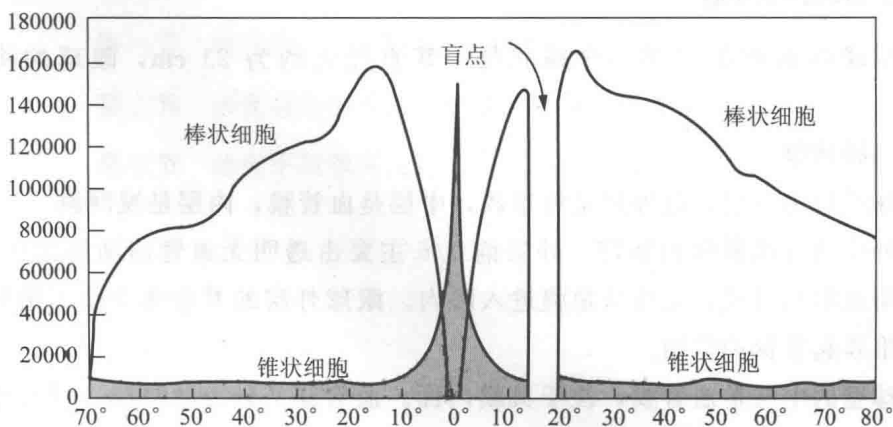


图 1-2 锥状细胞和棒状细胞分布图

细胞越少；相反，棒状细胞在网膜上中央凹附近少，在离中央凹 20° 的地方最多。锥状细胞在中央凹处单位面积内有 1800 个，到离中央凹 25° 处只剩下几十个了；而棒状细胞在中央凹处完全没有，到离中央凹 20° 处则增加到 1800 个。两种感光细胞的数量、分布及功能见表 1-1。视网膜的第二层是双极细胞和其他细胞，第三层是节状细胞，与双极细胞连接。

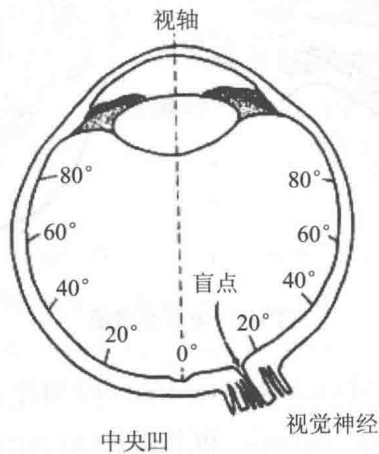


图 1-3 视网膜

(资料来源: Coren, Ward, & Enns, 1994)

表 1-1 两种感光细胞的数量、分布及功能 (Myers, 1992)

	锥状细胞	棒状细胞
数量	600 万	1200 万
分布	网膜中心	网膜边缘
在暗光线下的灵敏度	低	高
对颜色的灵敏度	高	低

(二) 内容物

眼内容物包括房水、晶状体和玻璃体，三者都是透明的，具有屈光作用。人是如何看到物体的呢？外界物体的光线透过角膜穿过瞳孔，经房水、晶状体和玻璃体折光装置的折射落在视网膜上，穿过视神经纤维的节状细胞、双极细胞，引起锥状细胞和棒状细胞的变化，之后这两种感光细胞又反过来影响双极细胞和节状细胞，从而引起视神经纤维的冲动，沿着视神经通路传到大脑皮层中枢，最终引起视觉。

二、眼动的生理机制

眼球在眼眶里，有三对眼肌控制眼球的运动，它们协调活动，控制着眼球的上、下、左、右方向的运动。三对眼肌的协调活动可使眼球以角膜顶端后方 13.5 mm 处为

中心转动，每对眼肌控制眼球在一个平面上转动，三对眼肌如图 1-4 所示。

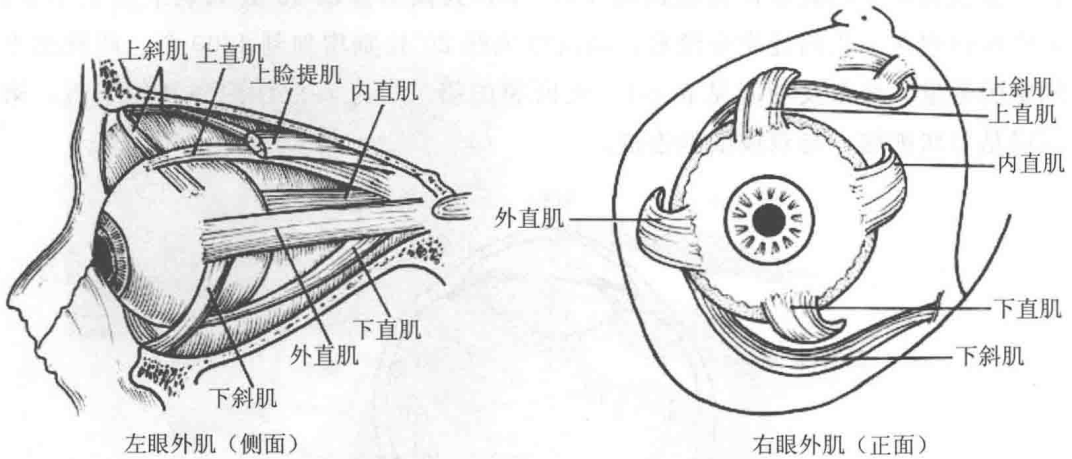


图 1-4 眼肌示意图

这三对眼肌为内直肌 (Medial Rectus Muscle) 和外直肌 (Lateral Rectus Muscle)、上直肌 (Superior Rectus Muscle) 和下直肌 (Inferior Rectus Muscle)、上斜肌 (Superior Oblique Muscle) 和下斜肌 (Inferior Oblique Muscle)。当内直肌和外直肌收缩时，眼球向内外方向转动；当上直肌收缩时，眼球向上内方向转动；当下直肌收缩时，眼球向下内方向转动；当上斜肌收缩时，眼球向下外方回转；当下斜肌收缩时，眼球向上外方回转。

眼球运动的范围约为 18° ，超过 12° 时就需要头部运动的帮助。两个眼球的活动是很协调的，它们总向同一方向运动。当头部固定不动时，用两眼追视一个出现在偏左前方或偏右前方的物体时，两眼的运动程度可能不同，但它们的差别也是极小的。所以，许多眼动仪往往只记录一个眼球的运动轨迹。

第二节 眼动的基本模式

人的眼动有三种基本模式：注视 (Fixation)、眼跳 (Saccade) 和追随运动 (Pursuit Movement)。为了看清楚某一物体，两只眼睛的运动方向必须保持一致，才能使物体成像在视网膜上。这种将眼睛对准对象的活动叫注视。为了实现和维持获得对物体最清楚的视觉，眼睛还必须进行跳动和追随运动。下面具体介绍这三种模式。

一、注视

注视的目的是将眼睛的中央凹对准某一物体。事实上，注视本身并不像它的

字面意义那样准确。当眼睛注视一个静止的物体时，它并不是完全不动的，而是伴有三种运动：漂移(Drift)、震颤(Nystagmus)和微小的不随意眼跳^①(Involuntary Saccade)。漂移是不规则的、缓慢的视轴变化。漂移经常伴有震颤。震颤是一种高频率、低振幅的视轴振动(Oscillatory Movement)。当眼睛对静止物体上的某一点的注视超过一定时间(0.3~0.5 s)，或当注视点在视网膜上的成像由于漂移而离中央凹过远时，微小的不随意眼跳就会出现。对于后一种情况，这种微小的不随意眼跳可以起到校正作用。但并不是所有的注视都伴有不随意眼跳，大多数的注视通常伴有漂移和震颤。当眼睛较长时间地注视一个静止物体时，就会伴有漂移、震颤和不随意眼跳。

(一) 漂移

视轴的漂移是道奇(Dodge)在1907年发现的。他认为没有固定不变的注视点，与其叫注视点，不如叫注视区(Fixation Field)。后来许多眼动研究都证实了漂移现象的存在。亚尔布斯(Yarbus, 1967)在实验中要求被试注视一个点，同时记录其眼动。研究人员可以十分清楚地看到漂移，见图1-5。图中记录的是被试注视某一个静止点时的眼动情况。可以看出，注视过程中的视轴漂移是一种不规则的运动。需要指出的是，在这个注视过程中，注视点的成像一直在中央凹上。

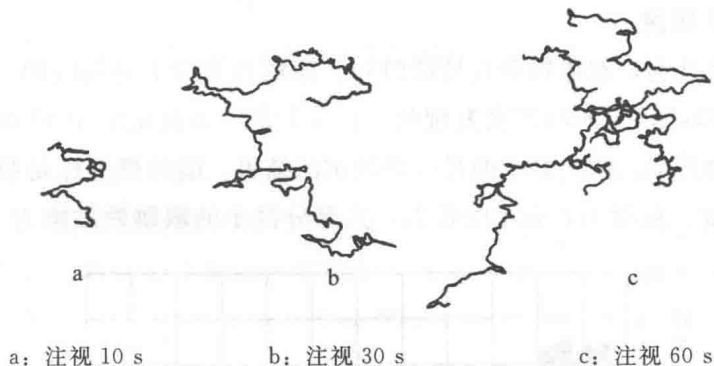


图 1-5 被试注视一个静止点时的眼动情况

(资料来源: Yarbus, 1967)

漂移速度差异很大，从每秒 $0'$ 至 $30'$ ^②。道奇还研究了被试在自由观看静止物体时漂移次数与漂移时间的关系。5名被试欣赏一幅画，图1-6是5名被试的2000次漂移的分布情况，该图的横坐标是漂移时间，纵坐标是漂移次数。

从图1-6中可以看出，当漂移时间超过0.20 s时，漂移的次数明显增加，而漂移时不随意跳动占注视总时间的3%。在自由欣赏一幅画时，不随意跳动占注

^① 亦称微眼跳(Microsaccade)，参阅瑞纳(Rayner, 1998)。

^② $1^\circ = 60' = 3600''$ 。

视总时间的 3%~5%。

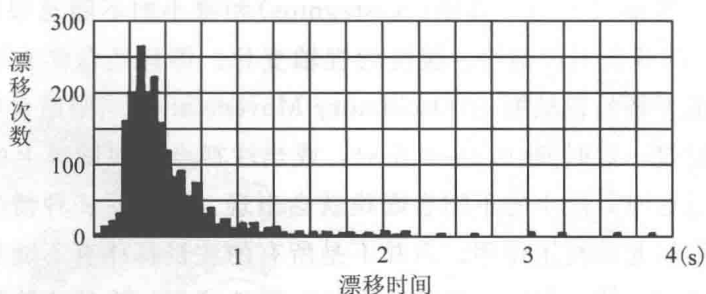


图 1-6 5 名被试的 2000 次漂移的分布情况

(资料来源: Yarbus, 1967)

(二)眼震颤

眼震颤的振幅很低但频率高,这使得眼震颤的记录变得很复杂。最早记录眼震颤的人是阿德勒和弗利格尔曼(Adler & Fliegelman, 1934),后来又有人(Ratliff & Riggs, 1950; Ditchbum & Ginsborg, 1953)对眼震颤进行了记录。正如前面提到的,漂移都伴有震颤,但这两种形式的眼动是独立的。亚尔布斯的研究表明:眼震颤的振幅为 $20''\sim 40''$,震颤的频率通常为每秒 $70\sim 90$ 次。

(三)不随意眼跳

许多研究者认为,双眼跳动在持续时间、振幅和方向上是相同的。微小的不随意眼跳是道奇(Dodge, 1907)首次发现的。图 1-7 是一名被试的 1000 次微小的不随意眼跳与振幅的关系。图上显示的是一名被试的结果。图的横坐标是眼跳幅度,纵坐标是眼跳次数。从图 1-7 中可以看出,大部分微小的眼跳的振幅为 $1'\sim 25'$ 。

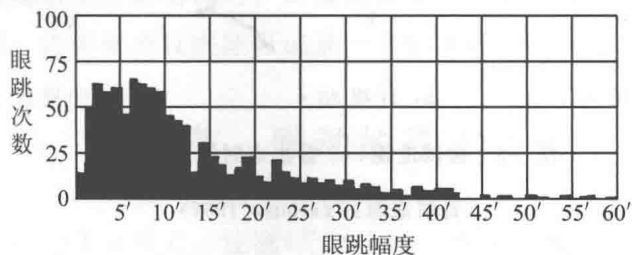


图 1-7 不随意眼跳与振幅的关系

以上介绍了眼睛在注视时产生的三种微小眼动。那么它们的作用如何?有关研究发现,这些微小的眼动在短时间内会影响视敏度。有人(Ratliff, 1952)做了如下实验:以 75 ms 的示速测验被试的视敏度,同时记录其眼睛的震颤。结果发现,视敏度越差,眼漂移的幅度越大,眼震颤的幅度也越大。

二、眼跳

(一)眼跳

眼跳是巴黎大学的贾瓦尔(Javal, 1878)教授发现的。眼跳的功能是改变注视点,使下一步要注视的内容落在视网膜最敏感的区域——中央凹附近,这样就可以清楚地看到想要看到的内容了。通常我们不容易觉察到眼睛在跳动,而觉得它在平滑地运动。例如,在阅读文章或看一个图形时,我们往往认为自己的眼睛沿着一行行的句子或物体的形状平滑地运动。事实上,我们的眼睛总是先在对象的一部分上停留一段时间,注视以后又跳到另一部分上,再对新的部分进行注视。图 1-8 是被试看一个圆圈的眼动轨迹。从图中可以看出,被试的眼睛并不做圆周运动,而沿直线跳动,中途有一些注视点。

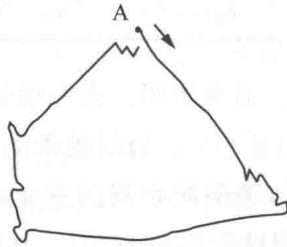


图 1-8 被试看一个圆圈时的眼动轨迹

(资料来源: Stratton, 1902)

阿尔布斯(Yarbus, 1967)也有类似的发现。他要求被试观看几何图形,如长方形、三角形、圆形和线段。观看时,要力求沿着图形的轮廓平稳地移动眼睛,不要跳跃地看,同时记录其眼动。实验结果发现,眼动轨迹由许多停顿和微小的眼跳组成,见图 1-9。而这些眼跳是个体意识不到的。

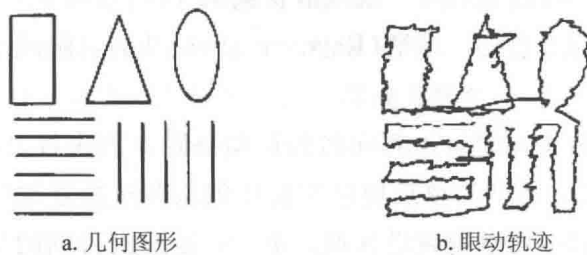


图 1-9 被试看几何图形时的眼动轨迹

(资料来源: Yarbus, 1967)

眼跳有两个特点:第一,双眼的每次跳动几乎是完全一致的;第二,眼跳的速度很快。有人(Gerathewohl & Strughold, 1954)研究了眼动速度,见表 1-2。

表 1-2 中的数据是几百次实验的平均结果。从表中可以看出：水平方向从 5° ~ 20° 的运动需要 35~96 ms，垂直方向从 5° ~ 20° 的运动需要 35~108 ms，倾斜方向从 5° ~ 20° 的运动需要 35~115 ms。倘若眼睛运动的距离较短，如 5° 、 10° 或 15° ，眼动方向对运动所需的时间影响不大，但当眼动距离较长时，运动的方向不同，花费的时间也不同。水平方向运动所需的时间较少，少于垂直方向和倾斜方向运动所需的时间。

表 1-2 眼睛运动不同距离所需的时间(ms)

眼动方向	眼动距离				
	5°	10°	15°	20°	25°
水平	35	65	84	96	104
垂直	35	63	84	108	—
倾斜(45°)	35	65	90	115	—

亚尔布斯(Yarbus, 1967)的研究表明：在一般知觉情况下，眼跳的距离通常不超过 20° 。最小的眼跳距离为 $2'$ ~ $5'$ 。当眼跳距离为 20° 时，其最快的速度为每秒 45° 。此外，眼跳的持续时间随眼跳距离的变化而变化，对于小于 1° 的眼跳，其持续时间为10~20 ms，当眼跳距离为 20° 时，其持续时间为60~70 ms。还有研究(Dodge & Benedict, 1915; Miles, 1924, 1929; Miles & Laslett, 1931)发现：眼跳速度随被试机体状态的改变而改变，想睡觉的时候或喝酒后，眼动速度会变慢。另有研究(Diefendorf & Dodge, 1908)提出，被试对边缘视觉刺激的眼跳平均反应时是195 ms，个人最低平均反应时是125 ms，最高是235 ms。

(二)眼跳潜伏期

在眼跳之前，个体需要时间去计划和实施它，这个时间就是眼跳潜伏期(Saccade Latency)。有研究表明，眼跳潜伏期为150~175 ms，眼跳的计划过程是与阅读的理解过程并行的。瑞纳(Rayner, 1998)认为，眼跳潜伏期有如下几个问题需要注意。

第一，计算眼睛在何时运动和向何处运动是独立的决策过程(Separate Decision Process)。第二，虽然简单反应时实验中的眼跳被描述成反射性活动，但也有证据表明认知过程会影响眼跳潜伏期。第三，眼跳潜伏期的增长通常会使目标定位的准确性增加。第四，当眼跳瞄准的目标包含两个联系密切的元素时，第一次的眼跳会落在两个元素中间的某个位置上；如果其中一个元素较长或强度较大(或较亮)，那么眼跳就倾向于落在更靠近这个元素的位置上。第五，当一个注视点先于一个目标的出现而消失时，潜伏期缩短。

以上介绍的内容主要是对成人的研究。但是，儿童眼动的特征和成人眼动的

特征有所不同。学龄前儿童在维持注视的过程中显示出频率较高的微小眼跳和漂移,眼跳潜伏期通常较长,并且当扫视一个场景时,学龄前儿童眼跳的准确性通常低于成人。然而,儿童、成人甚至是婴儿的注视时间频率分配图(Frequency Distribution of Fixation Durations)都是相同的。虽然老年人的注视时间频率的分配看上去和中年人的一样,但眼跳潜伏期是随着年龄的增长而增长的。

(三)眼跳抑制

在眼跳过程中,眼睛对视觉输入的敏感性会降低,这种现象称为眼跳抑制(Saccadic Suppression)。由于眼跳时间很短,在眼跳过程中人们并不接收新的信息,即使有也只是模糊的影像,加上受到眼跳之前和之后视觉信息掩蔽作用的影响,人们在眼跳过程中通常意识不到任何模糊的效应(Brooks, Impelman, & Lum, 1981; Campbell & Wurtz, 1979; Chekaluk & Llewellyn, 1990)。并且研究发现,即使去除前后的掩蔽信息,人们在眼跳过程中仍接收不到新的信息(Riggs, Merton, & Morton, 1974),这表明存在一种中枢抑制机制在发挥着作用。

值得讨论的一个问题是,在眼跳过程中,认知加工活动是否会停止。一些使用简单任务的研究认为,部分认知活动受到眼跳的抑制,而欧文(Irwin, 1998)通过研究发现,在眼跳期间词汇加工过程并没有中止。不同的研究结果可能与所采用的任务类型有关,关于这一问题,目前普遍接受的观点是,尽管人们在眼跳过程中没有获得新的信息,但在大多数情况下认知加工仍在继续(Irwin & Carlson-Radvansky, 1996)。

三、追随运动

当我们观看一个运动的物体时,如果头部不动,为了使眼睛总是注视这个物体,眼睛就要追随这个物体移动。此外,还有一种眼球追随运动情况,即当头部或身体运动时,为了注视一个运动物体,眼球要做与头部或身体运动方向相反的运动。这时,眼球的运动实际上是在补偿头部或身体的运动,故这种眼动也称为补偿眼动(Compensatory Movement)。上述两种追随眼动的目的都是使被注视物体的成像落在中央凹。

眼球追随运动的过程是怎样的呢?假设一个被注视的物体开始运动,物体的影像便离开中央凹,这时,眼球跳动一次重新注视它。如果被注视的物体继续运动,眼球的跳动就变为追随运动。不过,追随运动很容易过快或过慢,因此需要眼跳进行校正,使追随运动回到目标上去。

图 1-10 是被试眼睛追随钟摆运动的三个记录。记录的摄影胶片是上下运动的。当眼睛向右侧追随钟摆时,追随运动并不是完全平稳的,而是伴有许多微小

的校正跳动(S)；当钟摆被挡住时，眼睛基本上处于停顿的状态(I)，追随运动被打断，视线落在后面；当钟摆再露出来时，眼睛就做出一次大跳动，再继续追随钟摆的运动。

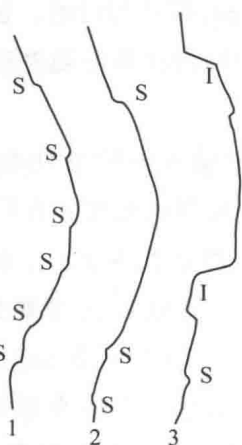


图 1-10 眼睛的追随运动

(资料来源: Dodge, 1907)

在追随运动中，眼球的运动速度和方向主要与所注视物体的速度和方向有关。但是当注视对象走得过远时，眼球追随到一定程度，就来一次跳动，把视线转回起点，再注视新的对象，继续追随。

有研究表明，当物体运动速度在 $50^{\circ}/s \sim 55^{\circ}/s$ 以下时，眼睛是以追随运动跟踪物体的；当物体的运动速度较快而看不清楚时，追随运动便有眼跳参与，因为单纯靠追随运动不能保证对物体的清晰知觉。被注视的物体运动速度较快时，如果眼跳的方向和速度与物体运动的方向和速度相一致，我们会看清物体。眼跳一次需要 $40 \sim 50 \text{ ms}$ ，约相当于 $300^{\circ}/s$ 的角速度。有时虽然眼跳速度比刺激物的速度快，但是在眼睛由追随运动变为跳动的时候，可能有一个阶段眼动的速度与物体运动的速度相一致，就可以为清楚地分辨物体创造条件，因为眼睛辨认简单的物体只需要几毫秒。

历史拾贝

谁发现了眼跳？

人们在阅读时，为了保持信息的连贯性，需要移动眼睛以获取新的内容，那么究竟人眼是以何种方式运动的，或者说人眼的主要运动方式是怎样的？这一问题在 19 世纪后期有了明确的答案。

眼跳这一概念的提出最初得益于眼动速度的研究。早在 1846 年，福克曼