



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

◇ 主 编 吴乐正

◇ 副主编 吴德正 黄时洲
罗光伟 龙时先

临床 多焦视觉电生理学

*Clinical Multifocal Visual
Electrophysiology*



北京科学技术出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

临床多焦视觉电生理学

Clinical Multifocal Visual Electrophysiology

北京科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

临床多焦视觉电生理学 / 吴乐正主编. — 北京: 北京
科学技术出版社, 2004.5
ISBN 7-5304-2898-5

I. 临… II. 吴… III. 视觉-电生理学 IV. R770.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 010567 号

临床多焦视觉电生理学

主 编: 吴乐正
责任编辑: 李金莉
责任校对: 黄立辉
责任印制: 臧桂芬
封面设计: 世纪白马
版式设计: 樊润琴
图文制作: 樊润琴
出 版 人: 张敬德
出版发行: 北京科学技术出版社
社 址: 北京西直门南大街 16 号
邮政编码: 100035
电话传真: 0086-10-66161951(总编室)
0086-10-66113227 0086-10-66161952(发行部)
电子信箱: postmaster@bjkpress.com
网 址: www.bjkpress.com
经 销: 新华书店
印 刷: 精美彩色印刷有限公司
开 本: 889mm × 1194mm 1/16
字 数: 480 千
印 张: 15.75
版 次: 2004 年 5 月第 1 版
印 次: 2004 年 5 月第 1 次印刷
ISBN 7-5304-2898-5/R · 726

定 价: 150.00 元



京科版图书, 版权所有, 侵权必究。
京科版图书, 印装差错, 负责退换。

纪 念

我国临床视觉电生理学的启蒙者

陈耀真教授 毛文书教授

主编简介 Editor-in-Chief



吴乐正，现为中山医科大学眼科教授，博士生导师，海伦·凯勒国际防盲会顾问，亚非眼科学会委员，中华医学会眼科学会视觉生理学组组长，《国际代谢、儿科与全身病眼科学杂志》、《中华眼科杂志》等编委。1957年中山医科大学医疗系本科毕业，1962年同校眼科研究生毕业。1979~1982年为美国斯坦福大学、霍普金斯大学及美国医学科学院眼科研究所访问学者及研究科学家等。曾任中山医科大学中山眼科中心副主任、眼科研究所所长、眼科教研室主任、首届卫生部眼科学实验室主任、《中华眼科杂志》副总编辑、《眼科学报》总编辑。德国慕尼黑路易·马克西梅兰大学眼科医院（1986，1991）、巴西圣保罗大学（1996）等客座教授，国际临床视觉电生理学会委员（1990~2002），第28届国际临床视觉电生理学术会议主席（1990），第1届国际热带亚热带眼科学学术会议主席（1994），第12届亚非眼科大会主席（2000）。

主要从事视觉生理、视觉补偿和眼黄斑疾病的研究及诊治。先后建立我国临床视觉生理实验室、低视力实验室。参与创建中山眼科中心。培养博士及硕士研究生。著有《人工视觉》（1980）、《视网膜电图学》（1989）、《眼病微量元素临床及实验研究》（1990）、《现代眼科门诊手术指南》（1995）、《临床视觉电生理学》（1999）、《眼部症状的鉴别诊断》（1999）、《光明使者》（2001）、《Advances in Ophthalmology》（2003）等书。先后应邀到访五大洲35个国家及地区。曾获国家级教学成果优秀奖（1989），卫生部（1987，1992）、国家教委（1988，1990，1992）等科技进步奖，广东省自然科学奖（1996）；并获国际奖项：美国防盲研究会奖（1981），世界眼科基金会杰出服务奖（1982），第13届亚洲—太平洋地区眼科学会杰出贡献奖（1991），美国视光学学会及神经视光学康复学会贡献奖（2000）等。

曾获卫生部优秀回国留学人员（1990）、卫生部有突出贡献的中青年专家（1992）等荣誉称号。享受国务院政府特殊津贴（1991）。

副主编



吴德正 研究员



黄时洲 主任医师



罗光伟 副研究员



龙时先 助理研究员

编著者名单

吴乐正	吴德正	黄时洲	罗光伟
龙时先	梁炯基	陈长征	胡晓鹏

序 一

Foreword 1

视觉电生理学是现代眼科学的重要组成部分,它不仅以客观的无损伤的方法了解视功能,而且获得很多重要的视觉信息。半个多世纪以来,临床视觉电生理学在计算机等学科发展和推动下,建立起了视网膜电图、眼电图和视诱发电位等系列视觉生物电记录,成为现代眼科学的临床常规检查项目和视功能鉴定的重要方法。它也属于现今国际眼科学最活跃的学术交流领域之一。

临床视觉电生理学经历了几次突破性的进展。从全视野的视网膜电图测定到局部病灶的变化;从单一的视网膜电信号的提取到多种细胞水平的生物电测定,一直到最近发展起来的多焦视觉电生理技术,实现了同时测定多部位视觉电反应和予以同时对比及立体显示等新阶段。这标志着临床视觉电生理又上了新的高度,开创了临床视觉电生理的新领域。

虽然多焦视觉电生理技术至今还只有短短的10年,我国眼科医生及视觉生理工作者亦作了不少临床应用探索,但要真正掌握好这门新技术需要有比较全面的认识以指导正确使用,才能有益于为临床服务。

20世纪50年代,我国现代眼科学先驱陈耀真教授、毛文书教授以百折不挠献身眼科事业的精神,发展我国现代眼科学的基础学科。他们培养专业人才,千方百计建立各类研究室,他们的精神鼓舞和引导着年轻一代追随而上。中山大学中山眼科中心吴乐正教授及其同事们秉承陈耀真教授、毛文书教授的教导,不辞艰难,以严谨治学、勇于开拓的精神,努力实现他们的理想,大量开展临床视觉电生理的应用和研究,使之很快与国际接轨。在中国举办了第28届国际临床视觉电生理学术会议,就是生动的例子。

现在吴乐正教授与中山眼科中心视觉生理室同事们继续发挥他们的优势,以一支博士、硕士专业人才队伍,及时汇集临床多焦视觉电生理新技术实践中的经验和相继在国内外学术期刊上发表的资料,并结合这项新科学技术的原理、记录和结果分析等作较深入和广泛的论述及介绍。出版这本《临床多焦视觉电生理学》,不容置疑,它必将对提高临床应用多焦视觉电生理的认识和指导正确使用有积极意义。我也是陈耀真、毛文书教授20世纪40年代的学生,我希望借此机会让我们互勉,永远学习和弘扬他们的献身事业、一切为病人的崇高精神,并寄托对先人无尽的怀念。

李凤鸣

北京大学眼科中心

2003.8.17

序二 Foreword 2

4年前,我曾为吴乐正教授等主编的《临床视觉电生理学》作序。当时已评述过临床视觉电生理学在现代眼科学中的重要地位,而且实践证明临床视觉电生理对眼病诊断、治疗评估及预后判断等都有特定意义。作为深入阐述常规视觉电生理(ERG、EOG和VEP)的一本颇具特色的专业参考书,它对推动我国临床视觉电生理学的发展起着积极的作用。

现在,临床视觉电生理已进入了第三个阶段——多焦技术的应用。它从记录全视野视网膜电图等进展到可记录局部病灶变化后,又跨入了这样一个新时期,即在同样刺激条件下,短时间内同时记录了数百个部位视网膜区域的ERG或视觉系统多个部位的VEP。这不仅可以了解不同部位、病灶和非病灶区之间的区别或联系,得到可比性,而且还可以从其立体显示图上,直观到其间的表现。这是临床视觉电生理学又一里程碑性的突破。

多焦视觉电生理技术的出现确是高科技发展的成果,不失为视觉信息科学的新进展。作为这种新技术,我们应当更好地掌握它。然而只有经过很好的消化和吸收才能应用好这项新技术。这必须运用多学科的知识。可贵的是,我国现代眼科先驱陈耀真教授、毛文书教授的学生吴乐正教授遵循他们的教导,与中山大学中山眼科中心视觉生理室的同道们一起,建立了一支多学科人才梯队,从视觉科学、数理科学及计算机科学等多学科的相辉共映和交融中,促进互相研讨,得以准确地消化、吸收多焦视觉电生理技术。他们这种有特色的工作,促使我国此领域的研究很快与国际接轨,并在临床应用中很好地发挥作用。

对待现代眼科学发展中的新事物,我们永远要学习陈耀真教授、毛文书教授这样的先辈,他们总是虚心探讨、深入研究、不畏艰难、高瞻远瞩,努力探索为眼病患者服务的新技术,进而总结经验,丰富到专业知识中去。中山眼科中心视觉生理室同道继承二老的精神,工作勤奋、学风严谨,以顽强的拼搏精神和毅力,开创一个新局面,把临床多焦视觉电生理的推广应用引导到正确的规范中,并已在国内外学术刊物上发表不少论著,走在本学科领域的前沿,为国际同行所关注。

出版一本全面、系统阐述临床多焦视觉电生理原理、测试方法、临床应用和最新进展等内容的专著,将使眼科医生、临床视觉科学工作者又得到一部重要参考书,这有利于加深对它的认识和推动我国临床多焦视觉电生理学的应用发展。

本书的出版也是对我国现代眼科学的开拓者,临床视觉电生理学的启蒙者,一代宗师陈耀真教授、毛文书教授再次深情地缅怀。

袁佳琴

天津医科大学眼科中心

2003. 8. 18

前言

Preface

科学技术发展得如此迅速,临床视觉电生理学作为客观视功能测定的重要标志,又迈进了新的时代。

以视网膜电图(ERG)为例,1945年Karpe开创其临床应用时,相当一段时间是通过弥散光的投射以获得不同眼部疾患的视网膜电反应。它对于不少侵犯广大视网膜区域的眼病有了客观的无损伤的视功能测定。以后又通过变换不同的刺激方法、亮度、颜色、图形等得以更多地分析和了解各种视觉电反应的成分、电位特征、状况、变异和其间联系,为临床眼病的诊断、鉴别诊断、预后判断以及发病机制研究等提供有关信息。但临床医生们要求对局部的,或单独的视网膜病区视功能有进一步了解,借助于计算机科学的发展,经过应用叠加技术和改善信噪比,能记录到局部ERG。更进一步已不仅仅要求了解单个视网膜病灶区的变化,还希望获悉相邻的或尚未在形态学上显现病变的视网膜部位的视网膜状况、它们之间的联系及互比,也就是最近发展起来的多焦ERG。其意义在于它是在同样刺激条件下,同时测定不同视网膜区域或部位的视觉电反应,使之具有更好可比性的视网膜电图。它是视网膜电图测定的又一大进步。

临床多焦视觉电生理学被比喻为临床视觉电生理的革命性的第三代进展。

多焦视觉电生理是以一种特殊的刺激序列,刺激视网膜不同部位,应用一个电极的常规方法,记录多个不同部位的视网膜反应。由相关数学函数及快速变换原理,经计算机技术处理,能得到多至241个不同部位的视网膜电图波形,并以对应于视网膜各部位的反应密度描成三维图。因而临床多焦视觉电生理问世是高科技发展的体现。它对于严重威胁致盲的黄斑部及视网膜后极部病变、视路病变等具有重要意义。它亦是现代视觉科学中为临床提供更多客观视觉信息的检查方法。

回顾半个世纪以来临床视觉电生理不断繁荣和深化的历史,从中看到这一精彩的互相衔接的发展过程。我国眼科同道及临床视觉电生理工作者从20世纪60年代起努力与国际接轨,中间克服巨大磨难,进而立于国际临床视觉电生理之列。现在,不少医学院校和重要眼科诊疗单位正应用着多焦视觉电生理这项新技术,但要正确掌握好它,更好发挥其临床应用价值,必须要对多焦视觉电生理有较好的认识和了解,这对于临床医生或单纯技术人员有很大难度,也是难以避免的薄弱环节。中山大学中山眼科中心视觉生理室的同道们发挥了这样一支以眼科学、生物物理学、物理学、电子学和计算机科学等多学科专业人才组合的潜力,从知识的结合和交融中,更快地消化和吸收这门充满科技含量的新技术,使之更好地为临床应用。

多焦视觉电生理技术的创始人 Sutter 博士，1994 年带着这项新技术访华，近年又多次访华，他在与我国同道们作较细致的面对面交流中，深有感触。这也是陈耀真教授、毛文书教授在半个世纪前为我国现代眼科学发展所作的设计和指引的科学道路的验证。尽管这些面对新鲜事物的设计和努力曾遭到过挫折，但毕竟以无比旺盛的生命力，给学科发展带来极大的益处。

由于“Multifocal Visual Electrophysiology”尚未有统一的中文译名，因此本书在附录中将有关的专业名词作“中、英文对照”列出，并在书中统一使用。同时关于“Multifocal”的中文翻译，有学者认为宜译作“多局部”，这一点仍留作继续研讨。

1989 年，我们出版了《视网膜电图学》，10 年后，1999 年我们又出版了《临床视觉电生理学》，现在正如大家共感的伴随着我们临床视觉电生理学向前迈出的新步子，《临床多焦视觉电生理学》出版了。我们将继承前辈为眼科事业拼搏一生的精神，以献身于现代眼科学的发展为鞭策，与时俱进，更望读者对本书不足之处，不吝指正，让我们共同面对知识不断发展和更新的挑战。并以此寄托我们对前辈永志不忘的深切怀念。

吴乐正

中山大学中山眼科中心

2003.12.6

目 录

Catalogue

第一章	视觉电生理的基本概念	1
第一节	视觉电信号的产生和传递	1
第二节	临床视觉电生理记录技术的发展	4
第三节	临床多焦视觉电生理	6
	一、多焦视网膜电图	6
	二、多焦视诱发电位	6
第二章	多焦视觉电生理的原理	10
第一节	互相关函数	12
第二节	伪随机m序列	15
第三节	一阶函数核和二阶函数核	17
第四节	曲线图产生及测试参数的确定	20
	一、峰峰值	21
	二、均方根	21
	三、数量积	21
第五节	二维和三维图产生	22
第六节	扫描延迟的修正	24
第七节	提高信噪比	24
	一、伪迹剔除	25
	二、空间平均	25
	三、滤波	25
第三章	多焦视觉电生理的测试仪器及记录技术	27
第一节	刺激系统	27
	一、CRT 发送系统	27
	二、数字多聚硅投射系统	28
	三、激光扫描检眼镜	30

第二节	电极	31
第三节	放大器	32
第四章	多焦视网膜电图记录的影响因素	35
第一节	刺激转换和分析系统	35
第二节	不同记录方式和刺激参数的影响	38
	一、电极	38
	二、刺激光强度和平均亮度	39
	三、环境和背景光亮度	40
	四、对比度	40
	五、刺激频率	41
	六、六边形数量和记录时间	42
	七、通频带	42
	八、伪迹剔除的影响	42
	九、其他因素	43
第三节	眼的生理和病理因素影响	43
	一、固视	43
	二、年龄	44
	三、瞳孔大小	45
	四、视力和屈光不正	45
	五、不对称性	45
	六、眼的明适应和暗适应状态	46
	七、屈光间质	46
	八、不同测试时间的影响	47
	九、其他因素	47
第五章	正常人多焦视网膜电图	49
第一节	正常人多焦视网膜电图的特点	50
	一、正常人多焦视网膜电图曲线平均显示	50
	二、正常人多焦视网膜电图波描记阵列显示	56
	三、多焦视网膜电图的二维和三维图	57
第二节	正常人多焦振荡电位	60
	一、概述	60
	二、多焦振荡电位的正常值	60
	三、多焦振荡电位的起源	65

第三节	正常人多焦视网膜电图的报告	66
一、	多焦视网膜电图打印图概述	66
二、	平均显示中图像处理参数改变对图像显示的影响	69
三、	波描记阵列显示中图像处理参数改变对图像显示的影响	70
四、	二维和三维图	71
五、	三维图中图像处理参数改变对图形显示的影响	73
六、	平均显示图描述	74
七、	波描记阵列显示图描述	75
八、	二维和三维图描述	76
第四节	其他	77
一、	多焦视网膜电图一阶函数核小波	77
二、	多焦视网膜电图二阶函数核	77
三、	多焦视网膜电图与全视野视网膜电图的比较	78
四、	多焦视网膜电图的 on 和 off 反应	78
五、	多焦视网膜电图反应与离心度关系	78
六、	多焦视网膜电图和视野的比较	79
第六章	黄斑病变的多焦视网膜电图	81
第一节	老年黄斑变性	82
一、	临床特征	82
二、	多焦视网膜电图	83
第二节	视网膜前膜	85
一、	临床特征	85
二、	多焦视网膜电图	86
第三节	黄斑囊样水肿	86
一、	临床特征	88
二、	多焦视网膜电图	88
第四节	黄斑裂孔	90
一、	临床特征	90
二、	多焦视网膜电图	90
第五节	中心性浆液性脉络膜视网膜病变	92
一、	临床特征	92
二、	多焦视网膜电图	93
第六节	其他黄斑病	94
一、	光中毒性黄斑病变	94
二、	局灶性隐匿性外层视网膜病变	95
三、	氯喹性视网膜病变	95
四、	多发性短暂性白点综合征	96

第七章	视网膜脱离的多焦视网膜电图	99
第一节	临床特征	99
第二节	多焦视网膜电图	100
	一、视网膜脱离术前 mfERG	100
	二、视网膜脱离术后 mfERG	102
	三、视网膜脱离复位术后黄斑区光学相干断层成像(OCT)改变与mfERG的关系	102
第八章	遗传性视网膜病变的多焦视网膜电图	108
第一节	原发性视网膜色素变性的多焦视网膜电图	108
	一、临床特征	108
	二、多焦视网膜电图	109
第二节	先天性视网膜劈裂症的多焦视网膜电图	112
第三节	Stargardt 病的多焦视网膜电图	114
第四节	其他类型视网膜变性的多焦视网膜电图	116
第九章	糖尿病性视网膜病变的多焦视网膜电图	119
第十章	青光眼的多焦视网膜电图	125
第一节	概述	126
	一、人眼高眼压及青光眼的多焦视网膜电图	126
	二、动物实验性青光眼的多焦视网膜电图研究	127
第二节	青光眼多焦视网膜电图与视野及神经纤维的相关研究	128
第三节	节细胞反应的研究	129
	一、mfERG 鼻颞侧变异现象及意义	129
	二、视神经乳头成分理论及其临床意义	134
第四节	多焦视网膜电图一些特殊刺激方式的应用	136
	一、慢 m 序列结合全屏闪光 (global flash) 刺激	136
	二、低对比度刺激	137
	三、30Hz 闪烁刺激	137
	四、mfERG 振荡电位与青光眼	138
	五、多焦视诱发电位 (mfVEP)	138

第十一章 多焦视诱发电位的记录技术 ····· 140

第一节 视觉刺激 ·····	141
一、刺激图形 ·····	141
二、刺激时序 ·····	143
第二节 信号的记录和分析 ·····	143
一、放大滤波系统 ·····	143
二、分析方法 ·····	144
第三节 多焦视诱发电位的记录电极及其安放 ·····	148
一、单极记录与双极记录 ·····	148
二、偶极子模型 ·····	148
三、多焦视诱发电位的枕部单通道单极记录 ·····	149
四、多焦视诱发电位的枕部单通道双极记录 ·····	150
五、多焦视诱发电位的枕部多通道双极记录 ·····	151

第十二章 正常人多焦视诱发电位 ····· 155

第一节 多焦视诱发电位的波形特性 ·····	155
第二节 多焦视诱发电位在不同离心度区域的比较 ·····	159
第三节 多焦视诱发电位的重复性 ·····	160
第四节 多焦视诱发电位的个体间变异 ·····	163
第五节 多焦视诱发电位的双眼间比较 ·····	166
第六节 年龄和性别对多焦视诱发电位的影响 ·····	167

第十三章 多焦视诱发电位的临床应用 ····· 170

第一节 青光眼 ·····	171
第二节 视路病变 ·····	175
一、视神经炎 ·····	176
二、其他视路病变 ·····	182
第三节 弱视 ·····	188
一、弱视多焦视诱发电位潜伏期随离心度的变化 ·····	188
二、弱视多焦视诱发电位振幅随离心度的变化 ·····	188
三、弱视多焦视诱发电位在鼻侧和颞侧视野的差别 ·····	189

第十四章 多焦视诱发电位检查与视野检查的区别与联系 191

第一节 关于客观视野	191
第二节 多焦视诱发电位检查与视野检查的相对优势	192
一、检查的可信性	193
二、多焦视诱发电位信号的大小	193
三、视功能损害的类型	194
四、视功能损害的定位和大小	194
五、多焦视诱发电位不同的潜伏期改变	194
第三节 发展与展望	195

第十五章 多焦视网膜电图动物实验研究 197

第一节 研究方法	197
一、麻醉与固视	198
二、屈光	199
三、眼球与瞳孔大小	199
四、记录前光适应状态	199
五、电极	199
六、刺激条件	200
七、实验设计和数据分析	200
第二节 动物实验研究	200
一、猴	200
二、鼠	205
三、鼯鼠	207
四、猫	207
五、猪	207
六、兔	208
七、鹰	208

附录 1 多焦视网膜电图基本指引 211

附录 2 早期老年黄斑变性的视杆细胞多焦视网膜电图 223

附录 3 术语：中英文对照表 233

第一章 视觉电生理的基本概念

第一节 视觉电信号的产生和传递

视觉系统生物电反应的研究跨越了最近2个世纪,从眼的视网膜到视路及最后在大脑视皮层所发现和记录到的一系列与视觉相关的生物电信号,构成十分有利于对视觉或视功能探讨的网络。它既包含了视觉电信号的发生,也包括了视信息的传递,又是视觉科学发展进程中迈向临床应用的重要步伐。

与临床视功能最密切相关的,也是广泛应用和关注的生物电反应信息,主要集中在视网膜电图 (electroretinogram, ERG)、眼电图 (electrooculogram, EOG)、视诱发电位 (visual evoked potential, VEP) 的测定。它们在临床视觉疾患的发病机制、早期诊断、治疗效应及预后判断等方面,有着重大的贡献,已成为当今眼科学不可缺少的组成部分。

早在1849年, Du Bois-Reymond首先在欧洲鲤鱼离体眼球的前后极间发现有电位差,即眼的静息电位 (standing potential) 也称为角膜-视网膜电位 (corneo-retinal potential)。相对于为负极的眼的后极部,角膜端记录的为正电位。1865年 Holmgren 在离体蛙眼发现受光照时电流计出现偏转,即有电反应。光照可使角膜端产生相对于眼后极部的更加