

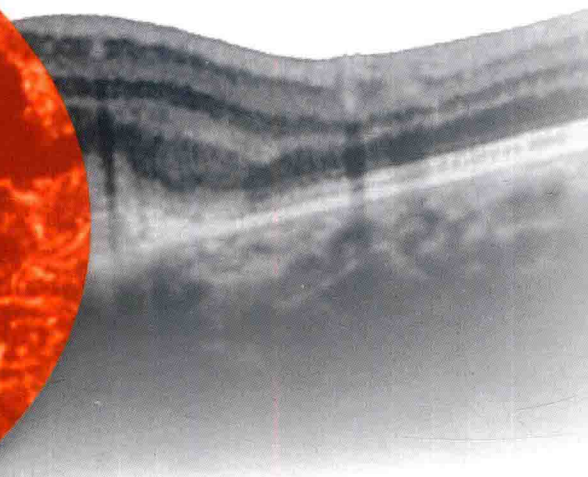
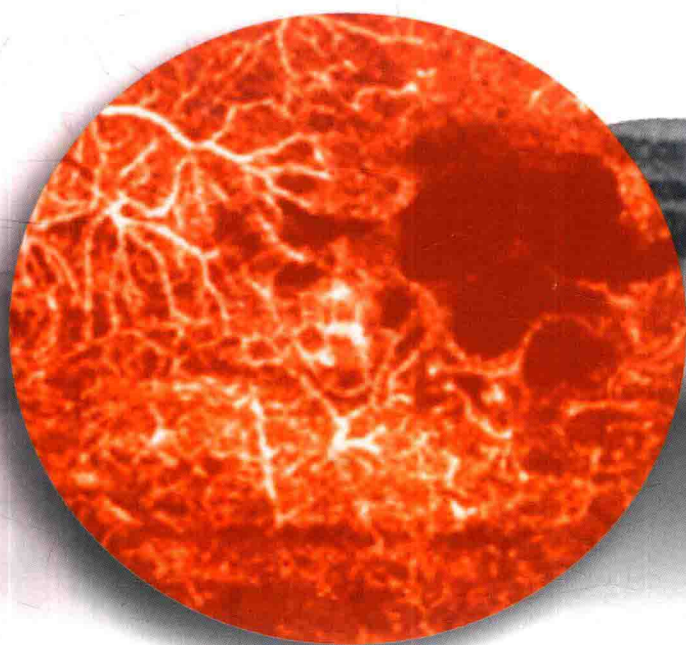
Practical Handbook of OCT Angiography

OCT

血管成像实用手册

主编 Bruno Lumbroso
David Huang
Eric Souied
Marco Rispoli

主译 王 康



人民卫生出版社



JAYPEE

Practical Handbook of OCT Angiography

OCT 血管成像实用手册

主编 Bruno Lumbroso, MD
David Huang, MD, PhD
Eric Souied, MD, PhD
Marco Rispoli, MD

主译 王 康

译者 罗丽华 曾司彦

审校 魏文斌 王艳玲

人民卫生出版社

Practical Handbook of OCT Angiography by Bruno Lumbroso, David Huang, Eric Souied & Marco Rispoli

The original English language work has been published by:

Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd. New Delhi, India

Copyright© 2016. All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

OCT 血管成像实用手册/(意)布鲁诺·伦布罗索(Bruno Lumbroso)主编;王康主译. —北京:人民卫生出版社,2017

ISBN 978-7-117-25281-2

I. ①O… II. ①布…②王… III. ①眼病-影象诊断-手册 IV. ①R770.43-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 245205 号

人卫智网 www.ipmph.com 医学教育、学术、考试、健康,
购书智慧智能综合服务平台
人卫官网 www.pmph.com 人卫官方资讯发布平台

版权所有,侵权必究!

图字号:01-2017-0396

OCT 血管成像实用手册

主 译:王 康

出版发行:人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址:北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编:100021

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线:010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷:北京画中画印刷有限公司

经 销:新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:8

字 数:190 千字

版 次:2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号:ISBN 978-7-117-25281-2/R·25282

定 价:90.00 元

打击盗版举报电话:010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

作者名单

Ala El Ameen MD
Department of Ophthalmology
Centre Hospitalier Intercommunal de Creteil
Université Paris Est Créteil
Creteil, France

Luca Di Antonio MD PhD
Retina Fellow
Department of Ophthalmology
University G d'Annunzio of Chieti-Pescara, Italy

Vittorio Capuano MD
Department of Ophthalmology
Centre Hospitalier Intercommunal de Creteil
Université Paris Est Créteil
Creteil, France

Salomon Yves Cohen MD
Department of Ophthalmology
Centre Hospitalier Intercommunal de Creteil
Université Paris Est Créteil
Creteil, France

Eliana Costanzo MD
Department of Ophthalmology
Centre Hospitalier Intercommunal
de Creteil
Université Paris Est Créteil
Creteil, France

Adil El Maftouhi OD
Centre Rabelais, Lyon
XV XX Hospital
Service du Pr C. Baudouin
Paris, France

Simon S Gao PhD
Postdoctoral Fellow
Casey Eye Institute
Oregon Health and Science University
Portland, USA

David Huang MD PhD
Peterson Professor
Department of Ophthalmology
Professor, Biomedical Engineering
Casey Eye Institute

Oregon Health and Science University
Portland, USA

Yali Jia PhD
Research Assistant Professor
Casey Eye Institute
Oregon Health and Science University
Portland, USA

Jean François Le Rouic MD
Department of Vitreo Retinal Surgery
Clinique Sourdille, Nantes, France

Bruno Lumbroso MD
Director, Centro Italiano Macula
Former Director
Rome Eye Hospital, Rome, Italy

Leonardo Mastropasqua MD PhD
Professor and Head
Department of Ophthalmology
University G d'Annunzio of Chieti-Pescara
Center of Excellence
National High-tech Center (CNAT) and Italian
School of Robotic Surgery in Ophthalmology
Italy

Alexandra Miere MD
Department of Ophthalmology
Centre Hospitalier Intercommunal de Creteil
Université Paris Est Creteil
Créteil, France

Pascal Peronnet MD
Clinique Sourdille
Nantes, France

Michel Puech MD FRSC
Explore Vision
VuExplorer Institute
Paris, France

Maddalena Quaranta-El Maftouhi MD
Centre Ophthalmologique Rabelais
Lyon, France

Giuseppe Querques MD PhD
Head

Medical Retina and Imaging Unit
Department of Ophthalmology
University Vita Salute
San Raffaele Scientific Institute
Milan, Italy

Marco Rispoli MD
Staff Ophthalmologist
Department of Ophthalmology
Ospedale Nuova Regina Margherita
Centro Italiano Macula
Rome, Italy

Maria Cristina Savastano MD PhD
Centro Italiano Macula

Rome, Italy

Oudy Semoun MD
Department of Ophthalmology
Centre Hospitalier Intercommunal de Creteil
Université Paris Est Créteil
Creteil, France

Eric Souied MD PhD
Professor and Head
Department of Ophthalmology
Centre Hospitalier Intercommunal de Creteil
Université Paris Est Créteil
Créteil, France

中文版序(一)

能为我的中国同事提供《OCT 血管成像实用手册》我感到非常荣幸。无创性 OCT 血管成像仅在两年前开始临床应用,并在世界各地迅速传播。OCT 血管成像比荧光素和 ICG 血管造影更安全、更容易、更快且更便宜。虽然目前临床医生还没有指出这一技术可以代替造影剂血管造影技术。但世界各地的临床经验表明,由于其可帮助临床医生了解组织结构和血流, OCT 血管成像将很快取代其他的技术,帮助医生治疗大多数视网膜和脉络膜血管疾病。当没有荧光素血管造影时, OCT 血管成像也很有帮助。在偏远地区或农村,当没有条件使用荧光素血管造影时(因为 FFA 是有创的,故在医院中应用更好), OCT 血管成像可望解决这一问题。

OCT 血管成像的解释与荧光素血管造影有所不同。该手册详尽介绍了如何迅速入门、分析并解释图像的简单方法,并明确地说明了诊断的步骤。

这些图像都是以 Optovue AngioVue OCT 来获得并记录的,这是一种既可靠又容易使用的仪器。OCT 血管成像技术最初是在 Angiovue 实现的,并由 Optovue 商业化。定量软件能快速简便地测量出无血流区和血管密度。本手册附有精美图片、解剖结构和功能 OCT 的常用数值,旨在指导 OCT 血管成像日常工作。

我要感谢 David Huang,他是 OCT 的共同发明人之一,也是 OCT 血管成像 SSADA 技术的共同发明人。也要感谢 Marco Rispoli,眼科影像专家和先驱。

感谢北京友谊医院眼科副教授王康博士的帮助,他发起了这个项目。如果没有他的热情和支持,这本中文手册就不会成书。

感谢人民卫生出版社的高质量工作。

Bruno Lumbroso

Preface to the Chinese edition of the Practical Handbook for OCT Angiography

It is for me a great pleasure to have the Practical Handbook for OCT Angiography made available to my Chinese colleagues. Noninvasive dyeless OCT Angiography clinical use began only two years ago, and it is spreading rapidly all over the world. OCTA is safer, easier, faster, less expensive than Fluorescein and ICG Angiography. Although it is not yet indicated by all clinicians as a substitute for Dye Angiography, everyday clinical worldwide experience suggests that this technology will soon replace other techniques for most retinal and choroidal vascular disorders as it allows clinicians to study both tissue structure and blood flow. The use of OCT Angiography is also helpful when Fluorescein Angiography is scarcely available. In remote locations, in smaller or rural practices, far from Imaging Centers, when Fluorescein Angiography poses problems as it is invasive and is better performed in hospitals, OCT angiography can solve logistic problems.

OCT Angiography interpretation is new and different from Fluorescein Angiography. Our manual illustrates a logical and simple method of analysis and interpretation of OCT Angiography imaging, clearly stating the easy steps required to reach a diagnosis.

The images were recorded with Optovue Angio Vue OCT, an instrument both reliable and easy to use. OCTA technology was first implemented in Angiovue and commercialized by Optovue. The quantitative software gives a fast and easy measurement of the drop-out areas and the vascular density. Illustrated with drawings, structural and functional OCT figures, this manual intends to teach OCT Angiography interpretation for routine everyday use.

I want to thank David Huang with whom I had the honor to write this Handbook. He is one of the co-inventors of OCT, and co-inventor of SSADA technology of OCT Angiography. Thanks also to Marco Rispoli, expert and pioneer in Ocular Imaging.

I acknowledge the help of Kang Wang MD, PH. D, Associate Professor of ophthalmology, Beijing Friendship Hospital, who initiated this project. Without his enthusiastic energy and support, this Chinese Handbook would not have become a reality.

I thank the Publisher People's Medical Publishing House for its high quality contribution.

Bruno Lumbroso

中文版序(二)

尽管 OCT 血管成像已经以某种形式存在了近 10 年,但被其缓慢的速度和狭小的视野所阻碍。为了克服这些局限性,Yali Jia 和我本人在 2012 年开发了分频谱振幅去相干血管成像 (split-spectrum amplitude-decorrelation angiography, SSADA) 技术提高了血管成像的效率。

幸运的是,Optovue 公司决定开发基于 Avanti 高速频域 OCT 系统的 SSADA 产品。该产品于 2014 年在中国和欧洲迅速发展。从那时起,我有幸与一些开拓者合作,将这项新技术转化为临床实践。其中最主要的是 Bruno Lumbroso 教授,他是一名才华横溢的临床医生和教师,通过许多会议、讲座和书籍不知疲倦地教授许多临床医生如何使用 OCT、en face OCT 和 OCT 血管成像。这本手册是 Bruno Lumbroso 博士和其他临床医生日常如何使用这项新技术的最新总结。我很乐意帮助大家共同编辑这本书,并做出一些技术性的解释。

如果你还没有在临床实践中使用 OCT 血管成像,现在是时候开始了。这种新的 3D 血管造影技术比荧光素血管造影更快、更便宜,也更好。因为它是完全无创的(无需注射造影剂),它可以用于筛选疾病和监测治疗效果。我相信你会很喜欢这项新技术和这本书的。

David Huang

Preface to the Chinese edition of the Practical Handbook for OCT Angiography

Although OCT angiography has existed in some form for nearly 10 years, it was hampered by slow speed and small field of view. To overcome these limitations, YaliJia and myself developed the split-spectrum amplitude-decorrelation angiography (SSADA) algorithm in 2012 to improve the efficiency of angiography. We were fortunate that Optovue, Inc. decided to develop SSADA into the AngioVue product based on the Avanti high-speed spectral-domain OCT system. This product was developed very rapidly and launched in China and Europe in 2014. I have had the privilege to work with a number of pioneers since then to translate this new technology into clinical practice. Chief among them was Prof. Bruno Lumbroso, a talented clinician and teacher who had tirelessly taught many clinicians how to use OCT, en face OCT, and OCT angiography through his many conferences, lectures, and books. This handbook is the latest distillation of Dr. Lumbroso and other clinician's experiences in how to use this new technology day to day. I was happy to help co-edit this book and contribute some technical explanations.

If you have not used OCT angiography in your clinical practice yet, now is the time to start. This new 3D angiography technology is faster, cheaper, and better than fluorescein angiography. Because it is entirely non-invasive (no injection of contrast), it can be used on a routine basis to screen for diseases and monitor the efficacy of treatment. I believe you will enjoy this new technology and this book very much.

David Huang

中文版前言

《OCT 血管成像实用手册》一书经过断断续续近一年的努力,终于要和读者见面了。翻译这本书的起因,是源于我 2015 年在 UCLA 的 Doheny 眼科研究所作为访问学者期间的一个偶然想法。在 Doheny 图书馆里,我贪婪地、如饥似渴地阅读着大量我从来没有看到的英文原著。作为 OCT 的狂热粉丝, Bruno Lumbroso 和 David Huang 合著的 OCT 系列丛书是我关注的重点。在学习的过程中,一个念头突然闪现。对于这些我也并不算熟悉的概念,如 EN FACE OCT、OCTA,为什么我不能一边学习,一边翻译,并将之呈现给国内广大医生,让他们一起分享这些优秀的经典著作呢?抱着这一想法,我冒昧的写信给从未谋面的 Bruno 教授。出乎意料的是我的邮件得到 Bruno 教授的迅速回应,他不但肯定了我的想法,还建议让我翻译他 2016 年 5 月即将出版的新书——《OCT 血管成像实用手册》,因为这代表了 OCTA 的最新成果。在与 Bruno Lumbroso 教授的邮件往来中,我对这位老人日益敬重。对于我这样一个并不熟悉的中国年轻医生,他有求必应。其拳拳爱护之心,敦敦教导之意溢于字里行间。

在本书的翻译过程中,感谢同仁医院眼科魏文斌教授以及我科领导王艳玲教授的关心和指导。他们认真为书稿审阅,使得本书得以顺利完成。我的同事罗丽华医生和同仁医院曾司彦博士与我一起完成了本书的翻译。感谢 Optovue 公司亚太区技术总监周健先生为本书的关键技术做了大量认真校对,从而最大限度保证对原著涵义的保真。在此我也表示深深的感谢。

由于我们的能力所限,错误在所难免。希望读者批评指正。

最后,祝愿祖国的眼科事业蒸蒸日上,蓬勃发展。

王 康

2017 年 9 月

原著前言

经过 20 年对光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)的使用和认可,现今几乎每个眼科诊室都在裂隙灯旁都配备了 OCT。

近两年,功能性 OCT 血管成像已经在临床上应用并迅速传播,逐渐有取代有创的荧光素血管造影之势。这种全新的无创性检查技术更快、更容易且更便宜,可以多次重复使用,不会给患者带来任何安全隐患。

对于初学者而言,唯一的问题是 OCT 血管成像与荧光素血管造影不同,这是一种全新的产品和技术。图像的采集是一个重要的步骤,但是图像的解释是接下来更重要的一步。

由于眼科影像领域不断的技术进步和革新,促使眼科医生和技术人员的知识不断努力更新。本书即为帮助他们所著。

我非常荣幸与以下各位共同编写《OCT 血管成像实用手册》:

- David Huang, OCT 共同发明者之一,同时和 Yali Jia 也是 OCTA 技术分频幅去相干血管成像(split-spectrum amplitude-decorrelation angiography, SSADA)技术的共同发明者。
- Eric Souied,著名的临床医生,遗传学家、图像专家。
- Marco Rispoli, OCT 血管成像和眼部成像的专家和先驱。

Bruno Lumbroso

简介

《OCT 血管成像实用手册》一书详述了 OCT 血管成像技术,这是眼部成像的一次革命性进步。本书中我们提供了指南,告诉临床医生和技术人员如何循序渐进地了解 OCT 血管成像知识,如何解释并分析所采集的图像和数据,并提供了 OCT 血管成像领域的最新进展。

全新的、无创、无需造影剂的 OCTA,将在眼科日常工作中作为一种重要的诊断工具,补充并在一定程度上取代荧光素血管造影。OCTA 技术允许对视网膜内层和外层疾病进行定性和定量的研究,并以一种无创的方式对脉络膜新生血管(CNV)进行分类,分层突显其形态、血流特征。同时它为青光眼的研究提供了新的技术和临床信息。

本书将教授如何把每个图像详细分解为可识别的基本特征,然后结合综合数据,为诊断治疗提供帮助。

该书中的所有图像都是从 Optovue's Avanti 宽视野 OCT 硬件平台和 AngioVue OCTA 软件获得。Avanti 是一款具备血管造影所需的高速频域 OCT。AngioVue 软件结合高效的分频幅去相关血管成像(SSADA)算法,使得 3 秒内获得高质量的广域血管图像成为可能。同时配备一款非常有用的新软件,叫做血管分析软件(Angioanalytics),可对血管面积和密度图进行定量测量。通过与基线值进行定量比较,将有利于疾病的随访。

我们相信这本书将有助于眼科医师、技术人员快速入门,认识和理解 OCT 血管成像技术。

Bruno Lumbroso

David Huang

Eric Souied

Marco Rispoli

目 录

1	OCT 血管成像原理	1
•	OCT 血管成像	1
2	OCT 血管成像的解读	5
•	简介	5
•	解剖参考层面和血管成像分层	5
•	AngioVue 默认分层和显示	7
3A	OCT 血管成像血管层的量化	14
•	简介	14
•	血流面积	14
•	无血流面积(血管无灌注面积)	15
•	血流密度图	16
3B	OCT 血管成像应用的实际问题 and 伪影	20
4	正常视网膜及其血管结构的 OCT 血管成像	22
•	简介	22
•	视网膜血管网	22
5	糖尿病视网膜病变与 OCT 血管成像	26
•	简介	26
•	客观的定量分析	29
6	血管阻塞	31
分支或中央静脉阻塞		31
•	中央视网膜静脉阻塞和分支静脉阻塞	31
•	OCTA	34
视网膜动脉阻塞		37
•	简介	37
•	视网膜动脉阻塞:急性期	37
•	视网膜动脉阻塞:晚期	39

• 治疗	39
7 1 型、2 型和 4(混合)型脉络膜新生血管	41
• 简介	41
• 评估新生血管	42
• 1 型新生血管	42
• 2 型新生血管	45
• 3 型新生血管	47
• 4 型新生血管(混合型)	47
• 近视性新生血管膜	49
8 OCT 血管成像中 3 型新生血管特征	53
• 简介	53
9 年龄相关性黄斑变性以外的脉络膜新生血管疾病	58
退行性近视、中心性浆液性脉络膜视网膜病变(CSC)、多灶性脉络膜炎	58
• 退行性近视	58
• 血管样条纹并发的脉络膜新生血管	62
• 慢性中心性浆液性脉络膜视网膜病变	66
• 多灶性脉络膜炎相关的脉络膜新生血管	72
息肉样脉络膜血管病变	73
10 与年龄相关性黄斑变性无关的其他类型脉络膜新生血管	83
11 OCT 血管成像中视网膜下纤维化的特征	88
12 治疗后血流时间评估	93
• 治疗后的早期改变	93
13 视神经和青光眼	97
• 围绕视盘的 OCTA	97
• 视盘内部血管	99
• 总结	99
14 荧光素血管造影和 OCT 血管成像的比较	101
• 荧光素血管造影	101
• 总结	107
索引	108

David Huang, Yali Jia, Simon S Gao

光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT) 已成为眼科诊疗标准的一部分,它以微米级别的分辨率呈现眼前节、视网膜以及视盘的横断面和三维图像。结构 OCT 提高了临床医生发现和监测视网膜血管性疾病中液性渗出的能力,却无法直接观察毛细血管的丢失和病理性血管生长(新生血管形成)。而这正是两种主要的致盲性疾病,即年龄相关性黄斑变性和糖尿病视网膜病变的主要血管变化。目前,临床上诊断此类视网膜和脉络膜的血管性病变主要靠眼底荧光血管造影和吲哚菁绿血管造影。为了克服传统结构 OCT 不能直接提供血流信息的缺陷,人们研发了多种 OCT 血管成像的方法。

OCT 血管成像

多普勒 OCT 血管成像是最先被用于血流识别和测量的方法^[1-6]。由于多普勒 OCT 只对平行于 OCT 探测光束的运动敏感,而对于多数垂直于 OCT 探测光束的视网膜和脉络膜血循环,其成像能力明显不足。另一种方法是基于散射光斑的 OCT 血管成像,其优于多普勒技术的原因在于能够利用散射光斑随时间的变化,同时对于横向和轴向的血流信号具有相似的敏感度。基于振幅^[7-9]、相位^[10]或振幅和相位的联合^[11]变化的各种成像方法也就此出现。

分频幅去相干血管成像

我们研发了一种基于振幅的成像方法

即分频幅去相干血管成像(split-spectrum amplitude-decorrelation angiography, SSADA)。SSADA 算法可通过测量相邻 OCT 扫描断面反射信号的振幅变化来检测管腔内的血流运动。去相干是用来量化变异值的数学函数,只要信号强度强于光电噪声,函数就不受平均信号强度影响。SSADA 的创新点在于经过处理后的 OCT 信号如何增强了血流的探测,同时减少因眼球轴向运动所产生的噪点。算法将 OCT 图像分成多个光谱带,因此增加了图像的可用帧数。与原图像相比,每帧新图像轴向分辨率降低,这可减少因眼后部轴向搏动所造成的影响。同时,较低的分辨率也转化为较宽的相干栅,来自诸如血细胞移动颗粒的反射信号可透过它与临近的组织结构产生相干信号而增强了散射光斑的对比度。此外,每个光带均会形成一个不同的散射光斑模式及独立的血流信息。当多个光带的频幅去相干图像结合在一起时,血流信号就会增强。相较于全频幅方法,SSADA 运用 4 倍分频谱,将信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)提高了 2 倍,这相当于缩短了 4 倍的扫描时间^[12]。最新版本的 SSADA 甚至实现了大于 4 倍的分频,进一步增强了血流检测的信噪比。下例显示的是应用 70kHz, 840nm 商用频域 OCT 获得的黄斑区视网膜血循环 en face 血管图像(图 1.1A ~ 图 1.1H),运用 SSADA 获得了清晰连续的毛细血管网和噪点较少的中心凹无血管区(foveal avascular zone, FAZ)图像。

因 OCT 血管成像生成的是三维数据, 血流信息的分层和 en face 图像的呈现可减少数据的复杂性, 利于呈现如传统血管造影的视角。如图 1.1 所示, 视网膜血管图像(图 1.1B ~ 图 1.1D)显示了内界膜(internallimiting membrane, ILM)至外丛状层(outer plexiform layer, OPL)间的去相干或血流信息。横断面分层结构 OCT 图像(图 1.1E)可直接对

应于 OCT 血管成像(图 1.1F 和图 1.1G)。en face 血管图像是由投射特定深度的最大横向去相干信号或血流值, 生成代表该组织层面内最快流速的管腔所产生。在正常眼中, 视网膜血管图像表现为围绕 FAZ 的血管网。视网膜和脉络膜层可进一步被细分, 从而为血管病变的诊断参数提供更多信息。此部分将在第二章中详述。

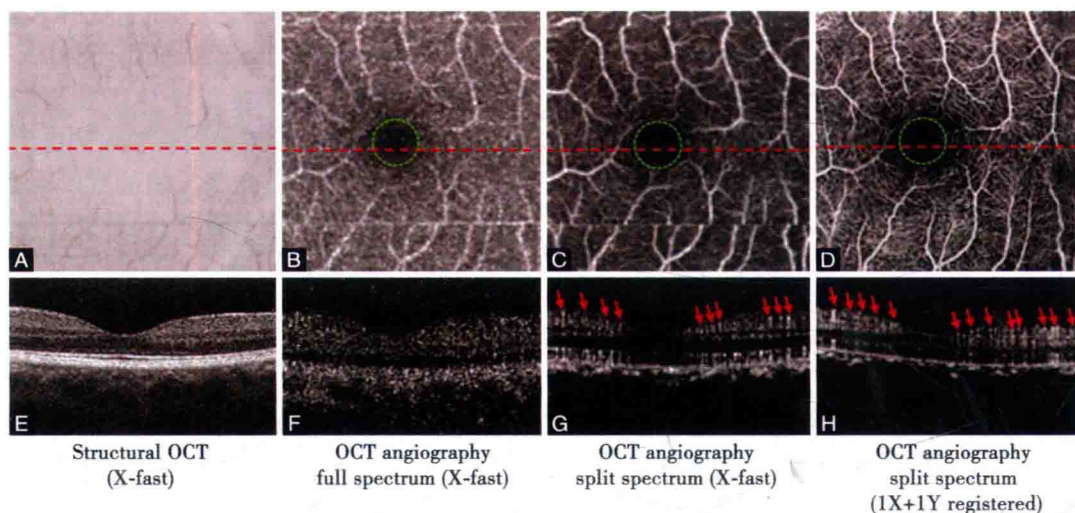


图 1.1A ~ 图 1.1H 结构 OCT(A, E)和应用全频幅(B, F)、分频幅(C, G)以及由一个快速 X(X-fast)和快速 Y(Y-fast)扫描后、经三维校准后得到的分频幅平均血管图像(D, H)的三者对比。en face 最大去相干血流投射图显示 FAZ 内(绿点圆圈内)的噪点较少;与标准全频幅算法(B)相比,应用分频幅算法(C)得到的旁中心凹血管连续性更好,横断面血管图像(B 和 C 中横跨红色虚线的扫描)显示的视网膜血管形态(G 中的红色箭头)更清晰;与标准算法(F)相比,SSADA 算法噪点更少(G);由于快速扫视运动的伪影显示为水平伪影线(B, C),此伪影和其他运动伪影可通过三维校准算法去除。经快速 X 和快速 Y 扫描校准去除运动误差,再将快速 X 和快速 Y 的扫描融合成三维 OCT 图像,由此得到无伪影的连续微血管网(D);两者均匀且相互垂直的扫描也能去除运动伪影,进一步增加信噪比,使得更多的视网膜小血管清晰可见(D 中的微血管网, H 中的红色箭头)

缩写: OCT, 光学相干断层扫描

去相干和流速的关系

为了确定 SSADA 算法中去相干或血流信号与流速的关系, 我们进行了模拟实验^[13]。研究表明 SSADA 对于轴向和横向血流均敏感, 而轴向分量敏感度略高。临床上视网膜 OCT 成像时 OCT 探测光束大致与血管系统垂直, 因此 SSADA 信号可被认为在实际操作中不受探测光束入射角的微弱差异的

影响。此外, 去相干在限定范围内与流速呈线性关系, 更高的去相干值意味着更高流速, 这一范围取决于 SSADA 测量的时间间隔。当使用 70kHz 频域 OCT 时, 每个横断面 B 扫描有超过 200 个 A 扫描, 即使在毛细血管水平、约 0.4 ~ 3mm/s 的最慢速血流也能被 SSADA 检测到^[14, 15]。在有更快流速的大血管中, SSADA 信号会达到最大值(饱和效应)。

与荧光血管造影和吲哚菁绿血管造影的比较

与作为视网膜血管影像的“金标准”——荧光血管造影或吲哚菁绿血管造影相比, OCT 血管成像具有其优势和不同之处。数秒钟内即可获取 SSADA 影像,且无需静脉注射造影剂;而荧光血管造影和吲哚菁绿血管造影则需要在数分钟内拍摄多幅图像,而且可能导致恶心、呕吐和罕见的过敏反应^[16]。OCT 血管成像快速无创的特性也意味着可施以更高的随访频率。

荧光血管造影中的荧光渗漏是血管异常的重要标志,如新生血管形成和微血管瘤。OCT 血管成像不使用荧光素,因此无法评价渗漏。OCT 血管成像利用基于深度和血管分布模式的其他方法来发现血管异常。脉络膜新生血管是一种位于视网膜色素上皮之上(Ⅱ型)或介于 Bruch 膜和视网膜色素上皮层之间(Ⅰ型)的独特血管形态。由于 OCT 血管成像中不存在造影剂渗漏和着染,所以毛细血管无灌注区和新生血管的边界和面积均可被更加精确测量。呈现于结构 OCT 中视网膜内和视网膜下积液可能提供类似液体渗漏的信息。由此,尽管 OCT 血管成像不能观察造影剂渗漏,但是它能从其他途径分辨血管异常,大大弥补这一不足。此外,传统的血管造影为二维图像,区分不同层面的血管异常较为困难,而 OCT 血管成像的三维特性则使其能够分层评估视网膜和脉络膜内的循环异常。

OCT 血管成像的局限性

OCT 血管成像也存在一些局限性。首先,血流投射伪影增加了分辨深层血管床 en face 血管图像的困难。浅层不断变化的血流投影伪影可导致深层、高反射层面 OCT 信号的改变。视网膜血流的投射伪影在高反射的视网膜色素上皮(retinal pigment epithelium,

RPE)上清晰可见,这些伪影可经软件处理去除。这种较为稀疏的投射伪影在深层视网膜可被有效去除,但脉络膜毛细血管层是交融融合的,它的投射伪影难以从脉络膜深层去除。第二个局限性是由于大血管中血流快速运动而导致的干涉条纹冲刷效应(interferometric fringe washout effect),所以大血管中的 OCT 结构和血流信号都会减弱,甚至丢失^[17]。这意味着视盘的视网膜中央血管和深层脉络膜大血管在 SSADA 中不能显示。第三, OCT 血管成像的扫描范围相对较小(3mm×3mm 至 6mm×6mm),更大范围高质量的血管成像尽管也能获取,但需要更快速的 OCT 系统,目前尚未上市^[18]。最后,因只有按解剖层次显示 en face 图像, OCT 血管成像才能最佳反映其病理改变,临床实际应用时需要有准确的分层软件,另外还需要能减少运动和投射伪影的后期处理软件。这些复杂算法的需求意味着 OCT 血管成像在可预期的未来依然有很大的提升空间。

扫频源 OCT 与频域 OCT 的比较

SSADA 算法最初应用在定制的 100kHz, 1050nm 波长的扫频源 OCT。为生成高质量的血管图像(图 1.2A),每个部位需要 8 次连续的横断面扫描,在拥有 200 个横断面的扫描模式下,每个断面使用 200 个轴向扫描。完整的血管扫描模式拥有 200×200 个横向位点,所以完成共 200×200×8 的轴向扫描时间为 3.5 秒。

商用 SSADA 程序采用的是 70kHz, 840nm 波长的频域 OCT 系统(RTVue XR Avanti, Optovue, Inc., Fremont, CA)。尽管该系统每秒所能获得的轴向扫描次数较少,但可在更短的时间(2.9 秒)生成更多横向位点的高质量血管图像(304×304,图 1.2B)。这一优势要归功于频域 OCT 系统较低的去相干噪点,在同一位置上只需连续 2 次断层扫描即可计算出一幅可靠的去相干图像。更