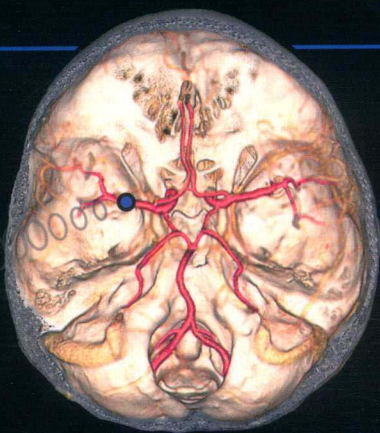


# 经颅多普勒超声 入门与提高

Introduction and Improvement of Transcranial Doppler

主编 / 黄艾华 王佳楠 张雄伟



人民卫生出版社

# 经颅多普勒超声 入门与提高

Introduction and Improvement of  
Transcranial Doppler

主 编 黄艾华 王佳楠 张雄伟  
编 者 (以姓氏笔画为序)

王佳楠 (火箭军总医院)

刘 浩 (火箭军总医院)

孙东华 (火箭军总医院)

何冬若 (齐齐哈尔医学院附属第二医院)

张雄伟 (火箭军总医院)

侯 备 (火箭军总医院)

侯宝莲 (火箭军总医院)

徐 芳 (火箭军总医院)

徐春颖 (北京市中西医结合医院)

徐亮禹 (北京悦琦创通科技有限公司)

黄 玲 (火箭军总医院)

黄艾华 (火箭军总医院)

人民卫生出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

经颅多普勒超声入门与提高 / 黄艾华, 王佳楠, 张雄伟主编.  
—北京: 人民卫生出版社, 2018  
ISBN 978-7-117-26084-8

I. ①经… II. ①黄… ②王… ③张… III. ①多普勒诊断仪—  
脑超声波检查 IV. ① R651.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 028609 号

人卫智网	<a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	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	<a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

## 经颅多普勒超声入门与提高

主 编: 黄艾华 王佳楠 张雄伟  
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](mailto:pmph@pmph.com)  
购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830  
印 刷: 中国农业出版社印刷厂  
经 销: 新华书店  
开 本: 889 × 1194 1/32 印张: 6  
字 数: 150 千字  
版 次: 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 版第 1 次印刷  
标准书号: ISBN 978-7-117-26084-8/R · 26085  
定 价: 40.00 元  
打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto: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)

## 序



1803年11月29日,在奥地利的萨尔茨堡(Salzburg)出生了一位改变脑血管病历史的人物克里斯蒂安·安德烈亚斯·多普勒(Christian Andreas Doppler),这位后来成为世界知名的物理学家、数学家和天文学家的才子和医学并无任何关联。然而,在1842年,年仅39岁的多普勒推导出当波源和观察者有相对运动时,观察者接收到的波频会改变,这就是著名的多普勒现象。多普勒的原意是通过这一原理解释双星颜色的变化,然而他没有想到这个现象在天文学之外发挥了更大的效用。

辐射的波长因为波源和观测者的相对运动而产生变化。在运动的波源前面,波被压缩,波长变得较短,频率变得较高[蓝移(blue shift)]。在运动的波源后面,产生相反的效应,波长变得较长,频率变得较低[红移(red shift)]。波源的速度越高,所产生的效应越大。根据光波红/蓝移的程度,可以计算出波源循着观测方向运动的速度。恒星光谱线的位移显示恒星循着观测方向运动的速度。除非波源的速度非常接近光速,否则多普勒位移的程度一般都很小。所有波动现象(包括光波)都存在多普勒效应。

将多普勒效应用于医学诊断有很长的历史,在脑血管病诊断中,经颅多普勒超声的发明和应用是脑血管病诊断的一个创举,为临床带来的丰富脑血流及其调节的信息,解决了许多过去无法

解决的问题。但是,由于新技术的进步,很多新的、更复杂的检查方法掩盖了经颅多普勒超声,这项技术的临床应用并没有发挥应该有的作用。高端设备给生产厂家带来丰厚的利润,而简单的多普勒像是一个被富人家遗弃的孩子,在一些急功近利的地段厂商手中变成了胡乱和歪曲使用的挣钱工具。一时间,对这项检查产生了很多误解和误读,因此,规范和回顾本真成为这个领域不能忽视的任务。呼吁更多的规范培训和教材,这本书就是为此应运而生的。

感谢国内一大批专家为经颅多普勒超声的公平地位做的不懈努力,感谢火箭军总医院神经内科各位同仁对这个领域的贡献,感谢作者这么多年的积累和不放弃,你们的努力才是对那位在这个世界上只生存短短 49 年的石匠的儿子最好的纪念。

王拥军

2017 年岁末于北京

## 前言



在多模态影像评估技术高速发展的背景下,问世 35 年的经颅多普勒超声技术(transcranial Doppler, TCD) 仍然在脑血管病诊治过程中占有一席之地,足见其可靠的临床应用价值。国内应用 TCD 近 30 年,现已普及到全国各级医院。遗憾的是,在应用 TCD 技术的医院中,能完整进行脑供血动脉狭窄/闭塞检测、侧支循环/窃血评估的医院很少,能充分利用 TCD 完成急诊、重症、颈动脉围手术期各种监测的医院更屈指可数。国内很多医院的 TCD 操作不规范,对血流速度增快或减慢的原因轻易给出错误解释,以及 TCD 报告中“脑供血不足”、“脑动脉硬化”和“脑血管痉挛”等错误结论十分普遍,甚至有些中小医院的 TCD 已成为赚钱的工具。可喜的是,近十年来在很多脑血管病和 TCD 专家的共同努力下,这种状况正在逐渐改进,认真学习和研究 TCD 的临床医师逐年增加,越来越多的神经内外科、神经介入科、重症医学科配备了 TCD 仪器,2016 年发布了《中国脑血管超声临床应用指南》,中国 TCD 技术的提高和发展指日可待。

本书主编之一张雄伟教授从事脑血管超声已 30 年,有丰富的 TCD 专业培训和教学经验,分别于 1993 年、2010 年、2015 年主编了《临床经颅多普勒超声学》、《外周动脉疾病无创血流动力学检测技术》和《脑动脉狭窄及侧支循环评估与解读 - 经颅多普勒

检测技术》三部著作,均在人民卫生出版社出版。另两位主编黄艾华、王佳楠医生,十余年来对国内外 TCD 临床应用指南认真学习,规范 TCD 操作技术、分析和报告,积累了丰富的病例资料和经验。为了帮助 TCD 专业人员能快速入门,规范化检测、分析及报告,找准专业突破点获得提高,我们重新整理思路,打破传统写作体例,轻基础理论、重实际操作,历经一年多的时间完成此书。

本书共 2 篇 8 章。“入门篇”介绍了血流参数及仪器调节、颅外动脉检测、颅内动脉检测和 TCD 试验。“提高篇”介绍了 TCD 诊断脑供血动脉狭窄 / 闭塞及评估侧支循环、TCD 监测技术及其他临床应用、TCD 检测报告和 TCD 与人工智能。希望此书的出版能“帮 TCD 初学者入门,助有基础者提高”。

衷心感谢首都医科大学附属北京天坛医院王拥军教授一直关注国内 TCD 技术的发展,并为本书作序;感谢完成了大量临床检查并为本书的资料积累做了许多工作的神经内科、神经介入医学科、血管外科、重症医学科全体医技人员;感谢吴英杰设计师在本书绘图过程中做出的贡献。

由于受实践经验、理论水平与写作能力的限制,本书如有错误和不足之处,恳请读者和同仁批评指正。

黄艾华 王佳楠 张雄伟

2017 年 12 月于北京

火箭军总医院

# 目录



## 入门篇

第1章 血流参数及仪器调节 .....	3
1.1 血流参数 .....	3
1.2 仪器调节 .....	13
1.3 M-模应用 .....	15
第2章 颅外动脉检测 .....	22
2.1 常规颅外动脉检测 .....	22
2.2 特殊颅外动脉检测 .....	30
第3章 颅内动脉检测 .....	40
3.1 经颞窗检测动脉 .....	40
3.2 经枕窗检测动脉 .....	51
3.3 经眼窗检测动脉 .....	57
第4章 TCD 试验 .....	63
4.1 颈总动脉压迫试验 .....	63
4.2 束臂试验 .....	66
4.3 发泡试验 .....	68
4.4 脑血管舒缩反应性试验 .....	71



## 提高篇

<b>第 5 章 TCD 诊断脑供血动脉狭窄 / 闭塞及评估侧支循环</b> .....	77
5.1 脑供血动脉狭窄的血流动力学 .....	77
5.2 TCD 评估脑动脉侧支循环 / 窃血 .....	80
5.3 颈内动脉重度狭窄 / 闭塞 .....	103
5.4 大脑中动脉重度狭窄 / 闭塞 .....	109
5.5 椎动脉重度狭窄 / 闭塞 .....	114
5.6 基底动脉重度狭窄 / 闭塞 .....	118
5.7 颈总动脉重度狭窄 / 闭塞 .....	123
5.8 锁骨下动脉重度狭窄 / 闭塞 .....	126
<b>第 6 章 TCD 监测技术及其他临床应用</b> .....	130
6.1 微栓子监测 .....	130
6.2 诊断和监测自发性蛛网膜下腔出血血管痉挛 .....	134
6.3 判断脑血流循环停止 .....	136
6.4 TCD 监测溶栓及超声助溶 .....	139
6.5 颈动脉内膜剥脱术围手术期监测 .....	143
6.6 颈动脉支架成形术围手术期监测 .....	149
6.7 功能性经颅多普勒超声 .....	154
<b>第 7 章 TCD 检测报告</b> .....	158
7.1 常规 TCD 检测报告 .....	158
7.2 侧支循环 / 窃血评估报告 .....	164
7.3 TCD 试验报告 .....	168
7.4 TCD 监测报告 .....	169
<b>第 8 章 TCD 与人工智能</b> .....	174
8.1 智能医疗 .....	175
8.2 专家智能辅助诊断系统设计 .....	175
8.3 专家智能辅助诊断系统的临床应用 .....	178
<b>中英文名词对照</b> .....	182

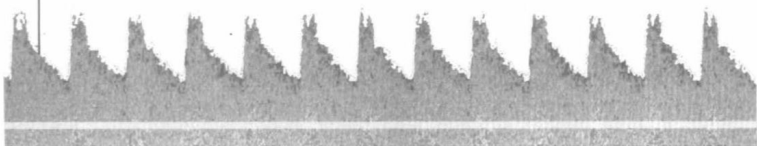
# 入门篇



## 帮 TCD 初学者入门， 助有基础者提高

1982年, Rune Aaslid 及其同事将经颅多普勒超声 (transcranial Doppler, TCD) 应用于临床, 随着应用领域的不断拓宽和 TCD 仪功能的不断发展, TCD 已成为研究脑血管病病因、发病机制、治疗观察和预后判断不可或缺的工具。如果您想学好这门技术, 快速入门, 请记住这八句口诀:

动脉解剖最重要, 血流动力掌握牢,  
血管检测要精准, 血流参数分析好。  
亲自上机要做到, 各项试验不能少,  
检测结论应客观, TCD 入门再提高。





# 第 1 章

## 血流参数及仪器调节



### 1.1 血流参数

#### 1. 血流速度

血流速度指红细胞在血管管腔中流动的速度,单位  $\text{cm/s}$ 。血流速度包括收缩期峰值血流速度(systolic velocity,  $V_s$ )、舒张期血流速度(diastolic velocity,  $V_d$ )和平均血流速度(mean velocity,  $V_m$ ) (图 1-1)。

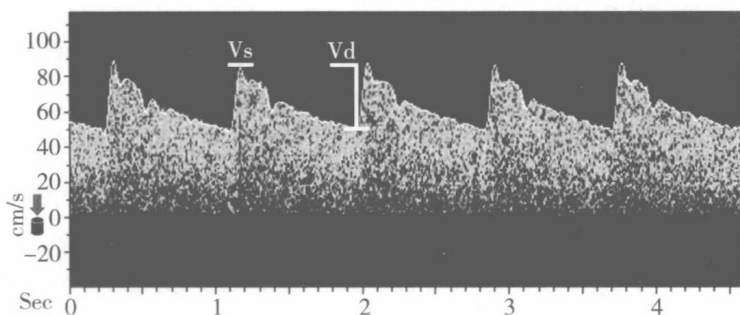


图 1-1 收缩期峰值血流速度( $V_s$ )和舒张期血流速度( $V_d$ ),平均血流速度( $V_m$ )= $(V_s+V_d \times 2)/3$

许多生理因素可导致血流速度的变化,见表 1-1。血流速度增快或减慢的原因很多,其血流特征各不相同,见表 1-2、表 1-3。

**表 1-1 生理因素对血流速度的影响**

生理因素	血流速度改变
年龄	6~10 岁期间血流速度增快,此后减低
性别	10 岁以后,血流速度女性高于男性
PCO <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub> 增高,血流速度增快
MAP	MAP 增高,血流速度增快
HCT	HCT 减低,血流速度增快

注:PCO<sub>2</sub>:二氧化碳分压;MAP:平均动脉压;HCT:血细胞比容

**表 1-2 血流速度增快的原因及血流特征**

原因	血流特征
动脉狭窄	受检动脉局限性血流速度增快,频谱紊乱有涡流形成并伴有粗糙或高调杂音
侧支代偿	血流速度增快但频谱形态正常。见于某支动脉重度狭窄/闭塞后参与侧支循环形成的动脉,例如 ACA-A1 段、PCA-P1 段和 P2 段、BA 和 VA
AVM 供血动脉	血流速度明显增快,PI 指数 <0.5,血流频谱呈“高流速低阻力”,多见于 MCA、ACA、PCA
SAH 后血管痉挛	颅内受检动脉血流速度非局限性增快,多见于 MCA、ACA、PCA。SAH 后 4~10 天为血管痉挛发生的高峰期,需动态监测
头痛	一支或几支动脉非局限性血流速度增快,需动态观察
颅外原因	全部颅内受检动脉非局限性血流速度增快,多见于重度贫血、甲状腺功能亢进等

注:AVM:动静脉畸形;ACA:大脑前动脉;PCA:大脑后动脉;BA:基底动脉;VA:椎动脉;MCA:大脑中动脉;PI:搏动指数;SAH:蛛网膜下腔出血

表 1-3 血流速度减慢的原因及血流特征

原因	血流特征
近端动脉重度狭窄或闭塞	远端受检动脉出现“低流速低阻力”的低钝血流频谱,常见于一侧 ICA 起始段重度狭窄/闭塞后的同侧 ICA 虹吸部、TICA、MCA 和 ACA;BA 重度狭窄后的双侧 PCA
远端动脉重度狭窄或闭塞	近端受检动脉血流速度减慢,以舒张期血流速度减慢明显,搏动指数增高,呈“低流速高阻力”血流频谱。常见于 ICA 起始段重度狭窄/闭塞后的同侧 CCA
动脉发育不良	受检动脉血流速度减慢,血流频谱正常。多见于 ACA-A1 段、VA 颅内段和 PCA-P1 段
动脉次全闭塞	远段受检动脉探及多条血流信号,其中一条血流速度明显减慢, $V_s < 50\text{cm/s}$ ,呈“低平血流信号”,多见于 MCA-M1 段
SubA 窃血	VA 颅内段血流速度减慢,伴窃血频谱。多见于同侧 SubA 起始部重度狭窄/闭塞

注:ICA:颈内动脉;TICA:颈内动脉终末段;MCA:大脑中动脉;ACA:大脑前动脉;BA:基底动脉;CCA:颈总动脉;VA:椎动脉;PCA:大脑后动脉;SubA:锁骨下动脉; $V_s$ :收缩期峰值血流速度

## 2. 搏动指数

搏动指数 (pulsatility index, PI) 是评价血管阻力及脑血流灌注状态高低的指标,计算公式:  $PI = (V_s - V_d) / V_m$ , 颅内动脉 PI 正常参考值 0.65~1.1。搏动指数可反映脑血管的弹性或顺应性,主要受收缩期与舒张期的差值影响。收缩期与舒张期的差值增大,PI 指数增高,反映脑血管阻力增大、脑血流灌注下降;收缩期与舒张期的差值减小,PI 指数降低,反映脑血管阻力减低、动静脉短路、脑血流过度灌注等。正常情况下,颅内动脉远端阻力小,因此颅内动脉的搏动指数低于颅外动脉和外周动脉,见图 1-2。

年龄对搏动指数有影响,见图 1-3。常规 TCD 检测时搏动指数变化的原因及血流频谱特征,见表 1-4。

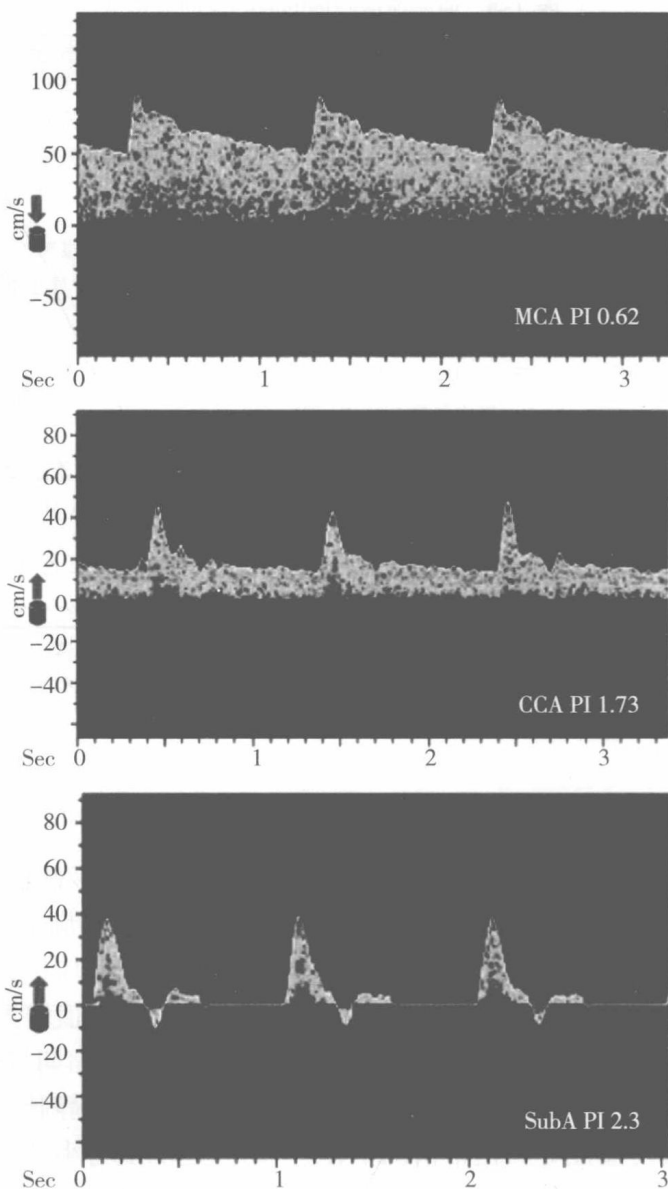


图 1-2 颅内、颅外及外周动脉血流频谱及搏动指数比较  
MCA: 大脑中动脉; CCA: 颈总动脉; SubA: 锁骨下动脉; PI: 搏动指数

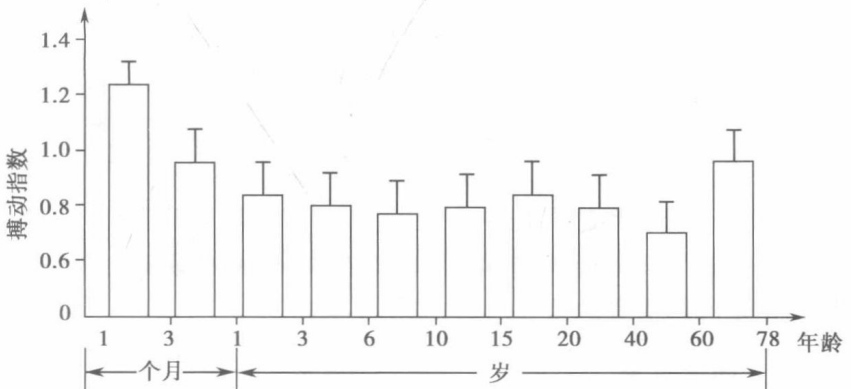


图 1-3 年龄与搏动指数的关系

表 1-4 常规 TCD 检测搏动指数变化的原因及血流频谱特征

搏动指数变化	原因	血流频谱特征
颅内受检动脉 PI 指数 >1.1	多见于老年及高血压患者,反映脑血管阻力增大	血流频谱呈高阻力型
受检动脉较对侧同名动脉 PI 指数增高,血流速度减慢	狭窄动脉近端血管血流改变,例如:ICA 严重狭窄或闭塞后同侧 CCA 血流改变	血流频谱呈“低流速高阻力”型
颅内受检动脉 PI 指数 <0.65, 血流速度正常	不能确定	血流频谱呈低阻力型
颅内受检动脉较对侧同名动脉 PI 指数减低,血流速度减慢	狭窄动脉远端血管血流改变,例如:ICA/CCA 重度狭窄或闭塞后 MCA、ACA 的血流改变	血流频谱呈“低流速低阻力”型
颅内受检动脉 PI 指数 <0.5, 血流速度明显增快	动静脉畸形(AVM)供血动脉	血流频谱呈“高流速低阻力”型

注:AVM:动静脉畸形;ACA:大脑前动脉;MCA:大脑中动脉;CCA:颈总动脉;ICA:颈内动脉;PI:搏动指数



### 3. 血流方向

血流方向是血管内红细胞相对于探头的运动方向,通常将朝向探头的血流信号定义为正向血流,血流频谱位于基线上方;背离探头的血流方向定义为负向血流,血流频谱位于基线下方;当超声束位于血管的分支处或血管走向弯曲时,可以检测到双向血流频谱。每一支动脉均有其正常的血流方向,因此血流方向也是识别正常颅内血管的重要参数,见图 1-4。

### 4. 血流频谱

血流频谱反映血液在血管内流动的状态,也反映了血管阻力及脑血流灌注状态的高低,是判断颅内外动脉血流动力学正常与否的重要指标之一。正常 TCD 频谱的外周形态近似直角三角形,占据一个心动周期(收缩期和舒张期),收缩期有两个峰,即收缩 1 峰和收缩 2 峰(S1 峰和 S2 峰),S1 峰 > S2 峰,S2 峰之后为舒张峰(D 峰)。正常情况下,血液在血管内流动呈规律的层流状态,处于血管中央的红细胞流动最快,周边逐渐减慢。因此,正常频谱周边显示为明亮的(如红色或粉黄色)色彩以表明流速高的细胞运动状态,中间接近基线水平为相对低流速状态,显示为蓝色“频窗”的层流频谱,见图 1-5。

病理状况下,血流失去正常层流状态时,血流频谱形态也会发生相应的改变,见表 1-5,见图 1-6。

### 5. 声频信号

超声波探测流动的血液时所采集到的声音称为声频信号。多普勒的声频信号反映了血流的特征,音调的高低取决于频率的高低,而声音的强度反映信号振幅的大小。声频信号分为正常声频和杂音,正常声频信号比较柔和,杂音信号强度往往比正常声频信号强,听起来像在血流信号的基础上又附加有额外音,血流