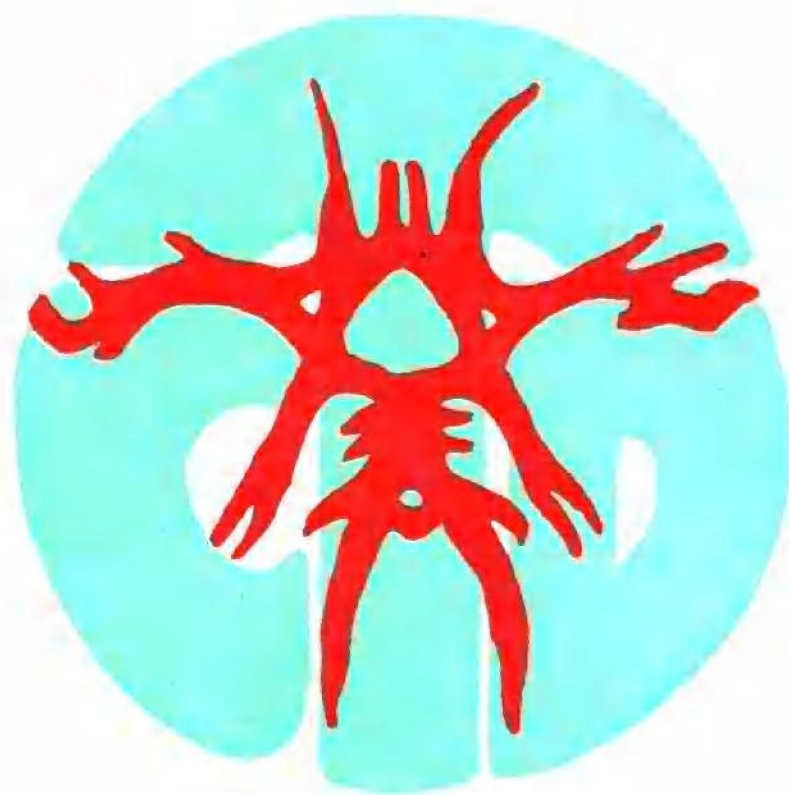


# 实用 经颅多普勒超声学

DOPPLER ULTRASOUND • 主编 焦明德 •

PRACTICE OF TRANSCRANIAL



北京医科大学中国协和医科大学联合出版社

1  
R445.1  
JMD

# 实用经颅多普勒超声学

## PRACTICE OF TRANSCRANIAL DOPPLER ULTRASOUND

主 编 焦明德  
副主编 于聪敏 康维强  
刘 战 韩丹春

北京医科大学中国协和医科大学联合出版社

[京]新登字 147 号

图书在版编目(CIP)数据

实用经颅多普勒超声学/焦明德主编. —北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社,1995

ISBN 7-81034-516-8

I. 实… I. 焦… II. 颅-疾病-多普勒诊断仪-超声波诊断-诊断学 IV. R445.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 06611 号

### 实用经颅多普勒超声学

主编 焦明德

责任编辑:常世襄 李宗彦 张忠丽

\*

北京医科大学  
中国协和医科大学 联合出版社出版

四方计算机照排中心排版

北京昌平精工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

\*

737×1092毫米 1/16 印张 16.75 彩插 2 页 千字 409

1995年6月第一版 1995年6月北京第一次印刷

印数:1—5000

ISBN 7-81034-516-8/R·514

定 价:23.80 元

## 编 著 者

- 焦明德 教授 (哈尔滨医科大学附属第二医院物理诊断科主任)  
韩丹春 教授 (山东医科大学附属医院神经内科)  
贺业春 教授 (医学博士(日本) 哈尔滨医科大学解剖学教研室主任)  
倪 江 教授 (哈尔滨医科大学生理学教研室主任)  
刘 战 主任医师 (南京市超声诊断会诊中心主任)  
康维强 副教授 (医学硕士 青岛市人民医院物理诊断科主任)  
曲松滨 副教授 (哈尔滨医科大学附属第一医院神经内科)  
刘春风 副教授 (医学硕士 苏州医学院附属第二医院神经内科)  
张源祥 副主任医师 (石家庄市第三医院内科主任)  
于聪敏 副主任医师 (哈尔滨市第一医院电生理室主任)  
张雄伟 副主任医师 (齐齐哈尔铁路中心医院神经内科)  
张广生 副主任医师 (沈阳军区总医院神经内科)  
潘旭东 讲师 医学硕士 (青岛医学院附属医院神经内科)  
姜恩子 讲师 医学硕士 (哈尔滨医科大学生理学教研室)  
严心宇 主治医师 (北京同仁医院神经内科)  
徐丹枫 主治医师 (哈尔滨医科大学附属第二医院物理诊断科)  
高庆春 主治医师 医学硕士 (中山医科大学附属第一医院 TCD 临床培训中心)

## 序

经颅多普勒超声 (Transcranial Doppler Ultrasonography, TCD) 技术, 自 1982 年问世以来, 由于开创了无损伤性脑部血流动力学检测的新纪元, 而深受临床医学家的重视。我国自 1987 年引进 TCD 技术后, 在短短的六年时间里, 无论是基础理论研究还是临床应用, 都取得了长足的进步, 成绩斐然。由于专业技术队伍发展迅速, 亟需一部理论与实践并重、简明易懂、条理清晰、图文并茂的专著, 以供 TCD 专业人员和临床医师学习和参考之用。以中国超声医学工程学会颅脑诊断专业委员会副主任委员、哈尔滨医科大学附属第二医院物理诊断科主任焦明德教授为主编, 由国内十几位基础医学家和临床医学家集体编写的《实用经颅多普勒超声学》, 恰是这样一部实用性强的 TCD 专著。它集中了近年来国内外文献资料的精华, 再加上编著者的实践经验和体会, 从不同侧面, 多层次地介绍了 TCD 的基础理论、检测技术、临床应用和综合评价。内容新颖、全面, 叙述清晰、具体, 较系统地、完整地反映了 TCD 的现状和发展趋势, 有助于开阔眼界, 更新知识, 启迪思维。因此, 我乐于向读者推荐! 我期望它成为青年医师的良师, 中年医师的益友, 对 TCD 研究者也有所裨益, 为推进我国 TCD 事业的发展作出应有的贡献!

解放军总医院神经内科主任医师、教授  
中国超声医学工程学会颅脑诊断委员会  
主任委员 曹起龙

于北京

1993. 5. 30.

## 前 言

自 1982 年 Aaslid 博士与德国 EME 公司共同研制并开发出世界上第一台经颅多普勒 (TCD) 仪以来,开创了无创性脑血管疾病诊断技术的新纪元。TCD 技术提供的脑血管血流动力学参数和反映的脑血管功能状态,成为影像诊断技术显示的脑血管形态学变化的重要佐证,两者相辅相成,并驾齐驱。

随着 TCD 仪器性能的逐渐提高,检测技术的日臻完善,应用范围的不断扩大和诊断经验的总结与积累,经颅多普勒超声学迅速发展成为超声医学的一个重要分支,特别是它具有设备简单、无射线辐射、检查快速、反映客观、费用低廉、可重复检测、床边检测和手术中监护等特点,在脑血管疾病的诊断中,成为首选的检查方法。

为适应经颅多普勒超声诊断工作迅猛发展的需要,在同行们的建议与鼓励下,由哈尔滨医科大学附属第二医院倡议,邀请国内十多名专家、学者,参考国内外有关文献资料,结合自身的临床经验,共同编写了这部《实用经颅多普勒超声学》。

专著的功能之一,是使繁忙的医师花费极少的时间就能掌握某一系统的疾病知识,并从中获得启发。为此,本书力求言简意赅、条理清晰、图文并茂,对每一疾病均按病因病理、临床表现、经颅多普勒超声诊断的特点和临床意义的顺序,进行较为系统地介绍,查阅方便,节省时间,实用性强。因此,本书可作为超声医师、临床医师、影像诊断医师和医科学生的学习和参考用书。

本书在编写过程中,得到编著者们所在单位领导的鼓励和支持,得到有关专家的指导,并得到香港维迪电子有限公司的大力支持和协助,在此深表谢意!

本书蒙中国超声医学工程学会颅脑诊断专业委员会主任委员、中国人民解放军总医院神经内科主任曹起龙教授垂青作序,使本书增添光彩,谨致谢意。

由于编者水平有限,书中错误或不足之处在所难免,敬请医学界前辈和广大读者不吝指正。

焦明德

一九九三年三月于哈尔滨医科大学

# 目 录

## 序

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
第一节 脑循环研究的发展简史.....	( 1 )
第二节 多普勒超声的发展概况.....	( 2 )
第三节 经颅多普勒超声的应用范围.....	( 3 )
第四节 TCD 技术在国内的应用概况 .....	( 4 )
第五节 对 TCD 技术的评价 .....	( 5 )
<b>第二章 多普勒超声的技术原理</b> .....	( 6 )
第一节 超声波的物理性质.....	( 6 )
第二节 多普勒效应.....	( 10 )
第三节 脉冲式多普勒与连续式多普勒.....	( 15 )
第四节 频率分析和显示.....	( 18 )
第五节 多普勒超声诊断仪.....	( 23 )
第六节 血流动力学基础.....	( 25 )
<b>第三章 脑动脉的应用解剖</b> .....	( 39 )
第一节 颈内动脉系统.....	( 40 )
第二节 椎-基底动脉系统 .....	( 48 )
第三节 脑动脉的侧支循环.....	( 52 )
第四节 脑动脉造影的解剖分段.....	( 57 )
第五节 脑动脉的组织结构及神经分布.....	( 59 )
<b>第四章 脑循环的生理与病理生理</b> .....	( 63 )
第一节 脑血流的自动调节.....	( 63 )
第二节 脑血流的神经体液调节.....	( 66 )
第三节 脑功能与脑血流.....	( 73 )
第四节 脑代谢与脑血流.....	( 75 )
第五节 颅内压与脑血流.....	( 76 )
第六节 脑循环的病理生理.....	( 79 )
<b>第五章 经颅多普勒超声的检测技术及正常参考测值</b> .....	( 84 )
第一节 经颅多普勒超声诊断仪的操作规程.....	( 84 )
第二节 超声窗.....	( 89 )
第三节 颅内动脉的检测鉴别.....	( 92 )
第四节 功能试验.....	( 93 )

第五节	颈动脉的检测	(94)
第六节	正常参考测值	(95)
第七节	三维经颅多普勒超声的定位技术及临床应用	(98)
第八节	影响脑血管多普勒信号检出率的因素	(99)
<b>第六章</b>	<b>经颅多普勒频谱图的测量与分析</b>	<b>(101)</b>
第一节	经颅多普勒频谱图的构成	(101)
第二节	经颅多普勒频谱图的测量与分析方法	(103)
第三节	正常经颅多普勒频谱图的诊断标准	(107)
第四节	异常经颅多普勒频谱图的诊断标准	(108)
<b>第七章</b>	<b>脑动脉硬化症的经颅多普勒超声诊断</b>	<b>(117)</b>
第一节	病因与病理	(117)
第二节	临床表现	(118)
第三节	经颅多普勒超声诊断的特点	(119)
第四节	临床意义	(129)
<b>第八章</b>	<b>短暂性脑缺血发作的经颅多普勒超声诊断</b>	<b>(131)</b>
第一节	病因及病理	(131)
第二节	临床表现	(132)
第三节	经颅多普勒超声诊断的特点	(133)
第四节	临床意义	(139)
<b>第九章</b>	<b>脑动脉狭窄与闭塞的经颅多普勒超声诊断</b>	<b>(141)</b>
第一节	脑动脉狭窄与闭塞的病因和病理	(141)
第二节	脑动脉狭窄与闭塞的临床表现	(145)
第三节	脑动脉狭窄与闭塞的经颅多普勒诊断特点	(147)
第四节	临床意义	(158)
<b>第十章</b>	<b>蛛网膜下腔出血的经颅多普勒超声诊断</b>	<b>(161)</b>
第一节	病因与病理	(161)
第二节	临床表现	(162)
第三节	TCD 诊断特点	(163)
第四节	临床意义	(166)
<b>第十一章</b>	<b>血管性头痛的经颅多普勒超声诊断</b>	<b>(169)</b>
第一节	血管性头痛概述	(169)
第二节	病因与发病机理	(169)
第三节	临床表现	(170)
第四节	经颅多普勒超声的诊断特点	(172)
第五节	临床意义	(173)
<b>第十二章</b>	<b>脑动静脉畸形、脑动脉瘤、颈内动脉海绵窦瘘的经颅多普勒超声诊断</b>	<b>(175)</b>
第一节	脑动脉畸形的 TCD 诊断	(175)
第二节	脑动脉瘤的 TCD 诊断	(181)



第三节	颈内动脉海绵窦瘘的 TCD 诊断 .....	(186)
<b>第十三章</b>	<b>颅内压增高和脑死亡的经颅多普勒超声诊断</b> .....	(188)
第一节	颅内压增高 .....	(188)
第二节	脑死亡 .....	(189)
<b>第十四章</b>	<b>小儿经颅多普勒超声诊断</b> .....	(193)
第一节	小儿 TCD 的检查方法、生理性影响因素和正常值 .....	(193)
第二节	小儿脑血管病的 TCD 诊断 .....	(199)
第三节	小儿头痛及其它疾病的 TCD 诊断 .....	(202)
第四节	TCD 在儿科应用的展望 .....	(204)
<b>第十五章</b>	<b>其它疾病的 TCD 诊断</b> .....	(207)
第一节	糖尿病的 TCD 诊断 .....	(207)
第二节	高血压病的 TCD 诊断 .....	(208)
第三节	体位性低血压的 TCD 诊断 .....	(210)
第四节	镰状细胞病的 TCD 诊断 .....	(211)
<b>第十六章</b>	<b>脑血流自动调节功能和脑血管侧支循环功能的经颅多普勒     超声检测</b> .....	(212)
第一节	脑血流自动调节功能的经颅多普勒超声检测 .....	(212)
第二节	脑血管侧支循环功能的经颅多普勒超声检测 .....	(218)
<b>第十七章</b>	<b>经颅多普勒超声的监测技术</b> .....	(223)
第一节	监测技术的发展和现状 .....	(223)
第二节	监测技术的临床应用 .....	(226)
<b>第十八章</b>	<b>经颅多普勒超声的进展</b> .....	(245)
参考文献	.....	(248)

# 第一章 绪 论

## 第一节 脑循环研究的发展简史

脑的血液循环如同体循环一样，具有重要的生理功能，如输送营养物质以维持脑的正常代谢与功能活动，排出脑代谢的产物，维持脑的内环境稳定等。由于脑是调节和控制全身各器官活动的中枢，一旦脑循环发生障碍，可导致脑功能紊乱，将严重地影响着全身各器官的功能。因此，脑循环的研究有着特殊的重要性，它不仅对认识脑的基本活动规律和特性有重要意义，而且可为临床医师加深认识脑血管病的发病原理和病理过程，以及对脑血管病的诊断、治疗、预后判定等，提供科学依据。

纵观脑循环研究的发展历史，大致可划分为五个时期，现将各时期代表性研究方法，简介如下：

### 一、第一个时期（1890~1944年）

（一）颅骨窗技术 通过颅骨窗观察和测量软脑膜血管口径的变化。它是一个间接指标，易受环境因素的影响。

（二）热温差法 用温差电偶连续测量脑表面或深部的血流变化，是半定量方法，对组织有一定损伤。

### 二、第二个时期（1945~1960年）

（一） $N_2O$ 法 根据 Fick 原理用惰性气体  $N_2O$  测量平均脑血流量和脑氧代谢率。需多次采血和较长的平衡时间；不能测量局部血流量。

（二）电磁流量计法 利用电磁感应的原理测量血流量。仅限于手术中使用。

（三）脑血管造影术 根据血管口径的变形、走行的异常和血管网的形成，可反映脑血管的形态改变。由于施术过程中存在着多种潜在性危险，故应用受限。

### 三、第三个时期（1961~1970年）

（一）同位素清除法（动脉注射法） 利用 Fick 原理向颈内动脉内注射放射性示踪剂，根据  $^{85}Kr$  或  $^{133}Xe$  从组织中的清除率，计算脑血流量，由于颈动脉要重复穿刺，又受颅外因素的影响，应用亦受限。

（二）同位素吸入法和静脉注射法 方法简便，测定的脑血流量有较高的正确性。但是，同位素用量大，尚受同位素再循环和颅外组织污染的影响。

（三）脑血液通过时间 又称脑血液同位素消净时间。是用血流速度来反映血流量。在一定范围内可作为脑血流的一个间接指标，况且受颅外血流的影响和复杂仪器的限制。

（四）脑阻抗血流图 能反映头部血容量的变化，是一个间接指标，而且受颅外血流和操作条件的影响。

### 四、第四个时期（1971~1980年）

（一）X-CT 根据组织密度变化、解剖结构的异常位置和血管内注射碘化物对比剂使

血管显像等，可显示脑血管的形态变化。

(二)  $\gamma$ 照相术 可连续记录多区域的局部脑血流量(rCBF)和局部脑血容量(rCBV)。但是，需行颈动脉穿刺，仪器亦昂贵。

(三)  $^{15}\text{O}$ 标记物法 用 $^{15}\text{O}$ 标记的水和红细胞，可测量人体局部脑血流量和脑氧代谢率(CMRO<sub>2</sub>)。但亦需行颈动脉穿刺，且 $^{15}\text{O}$ 来源受限。

(四) 数字减影血管造影术(DSA) 可清晰地显示颈部动脉和脑底动脉，它具有对比(密度)分辨率高、方法简便、实时显示、费用较低的特点。但是空间分辨率低，影像易重叠和出现运动性伪差等。

(五) 发射型计算机断层摄影(ECT) ECT分为单光子发射型计算机断层术(SPECT)和正电子发射型计算机断层术(PECT)两大类。

SPECT可以用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的红细胞研究脑的局部血流和计算局部血容量。

PECT可以用 $^{13}\text{NH}_3$ 观察脑的血流灌注情况。

(六) 核磁共振成像技术(MRI) MRI可显示脑的动脉和静脉，也可观测和计算血流。若在质子密度像上重叠一个彩色血流图像，则可在解剖学背景上进行生理学测定。

### 五、第五个时期(1981年~迄今)

自1982年TCD技术问世以来，为无创性脑循环研究和脑血管疾病的诊断开创了新纪元。它借助脉冲多普勒技术和2MHz发射频率，经特定的颅骨透声窗，直接描记颅内血管的多普勒信号，以获取脑底动脉的血流动力学参数，进而反映脑血管的功能状态，为脑循环的研究和脑血管病的诊断提供依据。特别是它具有设备简单、操作容易、安全无痛、无射线辐射、检查快速、反映客观、费用低廉、可重复检测、床边检测、术中监测等特点，便于推广应用。

综上所述，伴随着检查仪器的不断更新和研究方法的逐渐完善，脑循环的研究得以迅速发展。展望未来，随着脑研究各分支领域的不断深入扩展，互相促进和渗透，脑循环的研究必将进一步丰富中枢神经系统的基础理论，也将对脑血管病的临床实践作出新的、更大的贡献。

## 第二节 多普勒超声的发展概况

众所周知，早在1842年，39岁的奥地利的数学和物理学家克约斯琴·约翰·多普勒(Christoan Johann Doppler)首先发现“在连续介质中，当波源相对于接收体运动时，接收体所接收到的波的频率发生了变化，波源与接收体互相接近时，其频率增加；相反，两者相背离时则频率减少”这一著名的多普勒效应。其后不久，Baysballo又进行了声学研究，发现多普勒效应也适用于声波，为多普勒效应在生物医学中的应用奠定了基础。

多普勒超声技术应用于临床医学始自1956年，日本学者Satomura首先应用连续式多普勒技术探查了心脏的血流；1961年美国学者Rushmer、Frankin、Barker等用超声多普勒频移探测血流；1965年Miyazaki和Kata用多普勒超声检测了脑血管颅外段的血流速度；1967年Stegall等研制出血管内多普勒血流计，用于测量大血管中的血流速度；同年，McLeod等在动物实验中应用了过零检测的频率分析技术。1969年，瑞典学者Edler和Lindstrom应用世界上第一台市售的连续式多普勒超声仪(Doptone)，首次记录到正常二尖瓣和二尖瓣狭窄的血流频谱。

连续式多普勒技术只能记录频移信号，但无法确定信号的来源和进行定位探查。为克服此缺陷，1970年美国 Baker 和法国学者 Peronneau 领导的两个实验室，几乎同时报告了脉冲式多普勒的新技术。1975年，第一台市售脉冲式多普勒仪问世；但是，由于颅骨可使超声能量严重衰减（约80%），使用5~10MHz的探头，无法记录到颅内血管的血流速度。

1982年挪威物理学家 Rune Aaslid 运用其独特的设计方法，巧妙地使脉冲多普勒技术与2MHz发射频率相结合，使超声声束得以穿透颅骨较薄的部位，直接描记脑底动脉血流的多普勒信号，他与德国 EME 公司共同开发出世界上第一台经颅多普勒（TCD）仪—TC<sub>2</sub>—64型，开创了无创性脑血管疾病诊断技术的新纪元；TCD技术以获取的脑底动脉血流动力学参数，来反映脑血管的功能状态，成为影像诊断技术的重要佐证。1985年，EME公司生产出TCD监护探头，为心血管医师在手术中提供脑底动脉的重要监控指标；1986年又推出TC<sub>2</sub>—64B型多频TCD仪，具有2/4/8MHz探头，既可测量颅内血管，又可测量颅外血管；1987年再推出世界上第一台彩色三维TCD仪—Trans—scan，兼有频谱分析、彩色三维血管分布图和彩码标识血流变化等功能。1986年又开发出TC 2000S型智能化多功能TCD仪，具有频谱分析、彩码指示血管分布图、连续脑血管监护和数据贮存等功能。使TCD技术更好地适应医疗和科学研究的实际需要。

### 第三节 经颅多普勒超声的应用范围

TCD技术问世虽仅十余年，由于它具有简便、快速、无创伤、无射线辐射、实用性强等特点，得以在世界范围内迅速发展，有关TCD技术的临床应用和科学研究的文献报道与日俱增，TCD专著亦见增多。1986年在意大利的罗马召开了第一届国际TCD会议，1988年在奥地利的萨尔茨堡召开了第二届国际TCD会议。目前，TCD技术已在神经内科、神经外科、超声诊断科、心血管外科、矫形外科、影像诊断科、老年病科、重症监护病房、康复中心及手术中监护等广泛应用。其应用范围主要有：

#### 一、临床诊断

- (一) 诊断脑血管狭窄和闭塞 判定病变范围和程度。
- (二) 诊断脑血管痉挛 判定病变的部位和程度。
- (三) 诊断颅内动静脉畸形 判定病变的部位，检出供养血管，手术前后的评价，放射治疗前后的评价，以及动、静脉畸形的病理生理研究。
- (四) 诊断颅内动脉瘤 判定病变的部位和程度。
- (五) 诊断脑动脉硬化症 判定病变的部位和程度。
- (六) 诊断缺血性脑血管病 判定病变的部位和程度。
- (七) 诊断血管性头痛。
- (八) 诊断锁骨下动脉盗血综合征。
- (九) 探测颅内压增高。
- (十) 间接证实脑死亡。

#### 二、机能评价

- (一) Willis环侧枝循环功能的评价 颈内动脉内膜剥脱术前钳夹效应的评价；阻塞疗法（栓塞、气球阻塞等）的术前评价；各种闭塞性疾患治疗实施前的估计。

(二) 脑血管外科手术前、后的评价。

(三) 选择脑血管手术的时机。

(四) 颅外血管闭塞性疾患对颅内动脉血流动力学影响的评价 ICA 明显狭窄、闭塞, 锁骨下动脉盗血, 颅外复合损伤等。

(五) 为脑血管造影术筛选病人及选择造影时机。

### 三、监护和随访

(一) 间断性监护和随访

1. 蛛网膜下腔出血所致血管痉挛。
2. 偏头痛发作时血管痉挛或过度灌注状态。
3. 急性脑中风、头部钝器外伤所致与时间相关的血流改变。
4. 脑底动脉阻塞后自发性或治疗性再疏通。
5. 阻塞性疾病抗凝治疗期间的血流变化。
6. 对高纬度地区及急性高山病患者的脑血流研究。
7. 任何可能影响脑血流的治疗时监护。

(二) 介入性神经放射学的连续监护

1. 急性血管活性药物试验。
2. 颈内动脉内膜剥脱术。
3. 心外科手术或其他心脏干涉。
4. 颅内压增高。
5. 进行性脑死亡。
6. 脑血管危象者。

### 四、功能试验

(一) 脑血管对  $\text{CO}_2$ 、乙酰唑胺、血压降低等的舒缩反应。

(二) 某一皮层区激活时血流速度的改变(如视觉区的光线及精神性刺激、乘车旅行等)。

### 五、动物实验时的监护及无创性辅助试验手段

### 六、空间实验中的应用

## 第四节 TCD 技术在国内的应用概况

国内自 1987 年引进 EME 公司的 TCD 诊断仪以来, 开辟了我国超声医学的应用新领域, 并迅速发展壮大。迄今, 国内已有 400 余家医院和科研单位应用了这一新技术, 有些地区已遍及省、市级医院, 并开始向县级医院发展。

在我国, 引进较多的仪器是德国 EME 公司的  $\text{TC}_2-64\text{B}$  型、Trans-scan 3D 型和 TC 2000S 型; 其次是美国 Medasonic 公司的 Transpect 型和 CDS 型; 其他国家的仪器引进较少。

我国应用 TCD 技术的特点是: 起步晚, 发展快, 应用广, 成效大。1989 年在上海、北京、哈尔滨等城市, 先后举办了 TCD 技术讲习班和学术交流会。其后, 在国内各地召开的神经病学、脑血管病学、老年病学、超声医学、医学影像学、生物医学工程学等学术会议上, 都有 TCD 技术在临床诊断和科研应用的论文报道; 近年来, 在国内各级医学杂志上发表了一批有关 TCD 技术应用的学术论文; 1991 年徐绍彦、陈保健、张聿武等编著的《经颅多普勒超声与

临床》一书问世,1993年张雄伟等编著的《临床经颅多普勒超声学》,以及本书的出版发行等;特别是1993年4月在南京召开了全国首届TCD学术会议,来自全国27省市的222名代表出席了会议,宣读和交流了262篇论文,总结了6年来TCD技术在国内应用的成果,明确了今后的努力方向;会议期间选举产生了中国超声医学工程学会颅脑诊断委员会,它将领导和推动TCD事业的发展,并开展国际间的学术交流活动。

随着TCD仪的不断引进,在国内逐渐形成了一支TCD专业技术队伍,一批中青年专家脱颖而出,他(她)们不仅作了大量的临床诊断工作,而且作了许多创新性研究,如诊断椎-基底动脉供血不足,诊断脑动脉硬化及其分级,搏动指数的扩展应用,过度换气诱发试验,供血指数的建立,频谱图波形的分析,频谱图计算机自动分析,估计脑血流量(ECBF)的测定,TCD诊断缺血性视神经病,对实验性蛛网膜下腔出血后脑血管痉挛的观察,颅内压增高后大脑中动脉舒张期血流受阻的实验研究,颅内压与脑循环血流动力学间的定量关系的实验研究等。

### 第五节 对TCD技术的评价

TCD技术是一种崭新的超声技术,实践证明它是神经血管学领域的一种实用技术,不论是用于临床诊断,还是用于科学研究,都有相当高的实用价值和广阔的开拓领域。它可以为数字减影(DSA)、X-CT、核磁共振成像(MRI)、正电子发射型计算机断层术(PECT)、单光子发射型计算机断层术(SPECT)、血小板闪烁扫描术(PSC)等现代影像技术,提供脑血管血流动力学参数,成为影像诊断的重要佐证,两者相辅相成,并驾齐驱。特别是TCD技术具有设备简单、操作容易、无创伤、无射线辐射、重复性好、可重复检测、床边检测和手术中监护等特点,是其他检测技术所不能比拟的。此外,它还能测量发生在10~30秒之内的脑血流变化,也是其他测量技术所不及的,它使任何能引起脑循环发生一过性或持续时间短暂变化的机械性操作或功能性刺激,得以观察。

当然,TCD技术也不是完美无缺的。由于它问世时间较短,还有许多问题需要进一步研究和探索,诸如:

1. 各项测量参数的正常参考测值,需尽快统一标准。
2. 各项测量参数的临床意义和实用价值,尚需统一认识。
3. 如何应用流速估测局部脑血流量。
4. 应用TCD测定脑底动脉的管腔口径。
5. TCD与电生理检查的结合(如EEG、SEP等)。
6. 实现全机自动化,探头由电机驱动,自由选取采样点,自动绘出脑内血管图像。
7. TCD的空间实验方案的完善化。
8. 某些皮质区的功能性试验。

相信随着TCD仪的不断改进、检测技术的进一步完善和实践经验的逐渐积累,上述问题必将迎刃而解,TCD技术在脑循环的研究和脑血管疾病的诊断上,必将发挥更加重要的作用,亦将有着更为广阔的发展远景。

(焦明德)

## 第二章 多普勒超声的技术原理

经颅多普勒 (Transcranial Doppler, TCD), 是应用超声波的多普勒效应来研究脑底动脉血流动力学的新技术。因此, TCD工作者必须熟知TCD的技术原理, 才能更充分地发挥其作用。

### 第一节 超声波的物理性质

#### 一、声波的物理性质

频率在 20~20 000Hz (人耳听阈范围内) 的机械振动, 其能量在弹性介质中的传播, 称为声波。在相继的波上任意两个相邻的同相位点之间的距离, 称为声波的波长 ( $\lambda$ ); 当波向前移动等于一个波长时所需要的时间, 称为声波的周期 ( $T$ ); 在传播着声波的弹性介质中, 任一给定点在单位时间内所通过的波数, 称为声波的频率 ( $f$ )。波长、周期、频率三者的关系是:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (2-1)$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{\lambda}{C} \quad (2-2)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{C}{\lambda} \quad (2-3)$$

$$C = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (2-4)$$

式中  $C$  为声波的传播速度, 单位为  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 波长的单位为  $\text{mm}$ , 周期的单位为  $\mu\text{s}$ 。波长、频率、声速的关系, 见图 2-1。

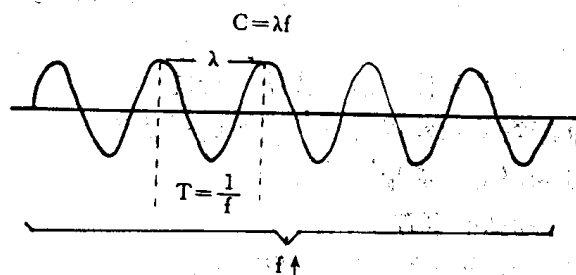


图 2-1 波长、频率、声速的关系

#### 二、超声波的物理性质

物体振动的频率超过了人耳听阈上限的声波, 称为超声波, 其频率范围为 20 000Hz~ $10^{13}$  Hz, 在 TCD 仪中, 探头的频率范围为 2~10MHz。

医用超声诊断仪所发射的超声波, 是以压电晶片作为振动源而产生的, 在人体内是以纵波的方式传播, 即在波动中, 质点的振动方向和波的传播方向互相平行。纵波在固体、液体和气体介质中均可传播。

##### (一) 超声的频率

医学诊断用超声频率的选择，主要根据受检脏器（或组织）的深度和病灶的大小。在人体内最高分辨率接近于声波的半波长，即  $1/2\lambda$ 。根据  $\lambda=C/f$  的公式，频率、波长、周期和最高分辨率的关系见表 2-1。

表 2-1 频率、波长、周期和最高分辨率的关系

频率 (MHz)	0.5	1.0	2.5	5.0	7.5	10	15
波长 (mm)	3	1.5	0.6	0.3	0.2	0.15	0.1
周期 ( $\mu$ s)	2	1	0.4	0.2	0.13	0.1	0.067
最高分辨率 (mm)	1.5	0.15	0.3	0.15	0.1	0.075	0.05

从表中可见，频率越高，分辨率越强；但是，频率高时，衰减大，穿透力低。

### (二) 声阻抗

声阻抗是表示介质声学特性的一个重要物理量，它反映了介质的密度和弹性。

声阻抗 (Z) = 密度 ( $\rho$ ) × 声速 (C)

人体正常组织的声阻抗，见表 2-2。

表 2-2 人体正常组织的声阻抗

组织、器官	密度 ( $g/cm^3$ )	声速 ( $cm \cdot s^{-1}$ )	声阻抗 ( $\times 10^5$ 瑞利)
血液	1.055	1570	1.656
大脑	1.038	1540	1.599
小脑	1.030	1470	1.514
脂肪	0.955	1476	1.410
软组织 (平均)	1.016	1500	1.524
肌肉 (平均)	1.074	1568	1.684
脑脊液	1.000	1522	1.522
颅骨	1.912	3860	5.571

超声检查时回声水平的强弱，取决于构成界面的各种组织相互之间声阻抗差值的大小，差值越大，其回声水平越强，否则相反。

### (三) 超声波的发射与接收

1. 压电效应 经过人工极化过的压电陶瓷，在机械应力的作用下会在电极表面产生电荷；相反，若对压电陶瓷施加电场作用，则会产生应变。这种机械能转化为电能，或者电能转化为机械能的现象，称为压电效应。

当给予压电陶瓷一个与其极化方向平行的压力时，陶瓷将发生压缩变形，内部正负束缚电荷之间距离变小，极化强度也变小。此时，原来吸附在电极上的自由电荷，有一部分被释放而出现放电现象。相反，若陶瓷片沿极化方向拉长，片内正负电荷之间的距离变大，极化强度也变大。此时，电极上又吸附一部分自由电荷而出现充电现象。这种由于压力或拉力使压电陶瓷产生放电或充电的现象，称为正压电效应（俗称变形生电），用于超声波的接收。

若在压电陶瓷上施加一个与其极化方向相同的高频交变电场，由于电场的方向与极化强度的方向相同，所以电场作用使极化强度增大，陶瓷内正负束缚电荷之间的距离也增大。此时，陶瓷沿极化方向产生伸长变形。相反，若在陶瓷上加一个与其极化方向相反的高频交变电场，使极化作用减小。此时，陶瓷则沿极化方向产生缩短的变形。这种由于电场的作用使



压电陶瓷产生伸长或缩短的现象，称为逆压电效应（俗称磁致伸缩），用于超声波的发射。

2. 电-声转换 超声诊断仪的探头(换能器)中安装着具有压电效应性质的晶体片。由主机发出的高频交变电场，电场方向与晶体压电轴方向一致，压电晶片沿一定方向发生压缩和拉伸，当交变电场的频率大于 20 000Hz 时，即通过逆压电效应将电能转换为声能而产生超声波。

超声在介质内传播过程中，遇到不同声阻抗的界面，反射回来的声波到达压电晶片后，根据正压电效应的原理，将回声的机械能转变为电能，主机再将其转变为电信号，经过一系列处理后，在屏幕上显示图像。

#### (四) 超声场的特性

1. 指向性 换能器晶体片的直径 ( $R$ ) 大于传播介质内的超声波长 ( $\lambda$ ) 若干倍时，超声的能量集中于一个方向，类似平面波，成束状向前传播，称为束射性（或指向性）。

一般规律为： $R < \lambda$  时，无方向性； $R > 5\lambda$  时，方向性极差； $R = 10\lambda$  时，有一定方向性； $R > 20\lambda$  时，有良好的方向性。

超声的频率越高，波长越短，扩散角越小，指向性越好。

#### 2. 近场与远场

(1) 近场 换能器近端处的超声场，其声束宽度与换能器的直径相等，此区域称为近场。其长度与换能器直径的平方成正比，与超声波长成反比（图 2-2）。

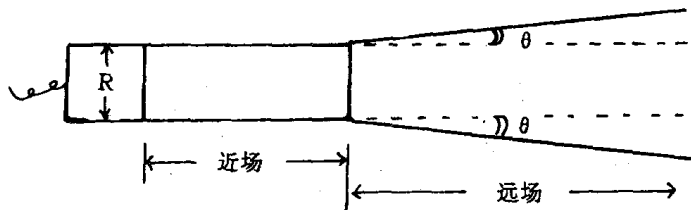


图 2-2 近场与远场  
 $\theta$  为扩散角， $R$  为换能器直径

近场区中虽然声强分布不均匀，但声束宽度接近相等且平行，反射的声强大，失真度小。

(2) 远场 在近场的远端，超声束因扩散角而扩散，此区域称为远场。在远场区内声强分布均匀，但声束扩散，反射的声强较弱，失真度高，横向分辨率较差。

#### (五) 超声的传播

超声在生物组织中传播时，可产生多种物理现象，其基础为组织的声阻抗。

1. 界面 两种声阻抗不同的组织相接触的面，称为界面。

(1) 大界面 凡界面的宽度大于声束直径的，称为大界面。其波束形成镜面反射，回声水平较强且与波束的入射角度有关（图 2-3）。

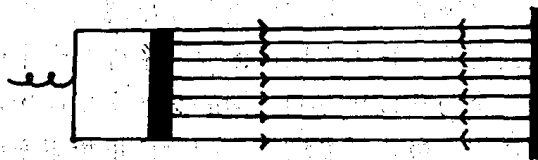


图 2-3 大界面（垂直入射时）