

临床经颅多普勒超声学

CLINICAL
TRANSCRANIAL
DOPPLER
ULTRASONOGRAPHY

西康經濟發展戰略

王德勝

四川省社會科學院

成都

（四川省社會科學院）

临床经颅多普勒超声学

CLINICAL TRANSCRANIAL
DOPPLER
ULTRASONOGRAPHY

张雄伟 陈尔东 吴积垆 编著

人 民 卫 生 出 版 社

(京)新登字 081 号

内 容 提 要

经颅多普勒超声(TCD)学是一门新兴的学科。本书根据国内临床的实际需要,以作者自己的实践和体会为基础,参考国内外大量资料,系统地介绍了 TCD 的基础理论,操作技术与临床应用,是一部论述经颅多普勒超声的专著。

全书共 19 章,分别对 TCD 的物理学原理、生理解剖基础、检测技术与方法、正常参考值、生理与病理条件下的脑血流动力学变化、脑血管疾病及其它有关疾病的 TCD 表现与评价进行了深入的讨论。内容丰富新颖,基础紧密结合临床,图文并茂,实用性强,是 TCD 专业工作者与神经内外科医师必备的有价值的参考书,也适用于超声医学、生理学及其它临床学科研究人员阅读。

临床经颅多普勒超声学

张雄伟 陈尔东 吴积桐 编著

人民卫生出版社出版
(北京市崇文区天坛西里 10 号)

齐齐哈尔铁路印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 451 千字

1993 年 3 月第 1 版 1993 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

印数:00 001—5 000

ISBN7—117—01926—3/R·1927 定价:24.50 元

序 言

1982年挪威学者鲁恩·艾斯里德(Rune Aaslid)建立了经颅多普勒超声(transcranial Doppler ultrasonography, TCD)技术,为临床与科研提供了能无创地检测脑部血流动力学的新方法。TCD具有仪器轻便可移动,操作方便,重复性好等特点,深受临床欢迎。十年来,在TCD的基础研究、仪器、检测技术及临床应用等方面都有显著的发展。我国引进TCD的短短几年中,也已获得可喜的成就,应用日益广泛。目前TCD已成为了解脑血流生理学与病理生理状态下血流动力学变化的重要手段。

张雄伟医师等根据国内临床与科研工作的实际需要,收集了国内外大量资料,结合他们自己的工作经验与体会,经两年潜心钻研,编写了这本书,弥补了目前国内缺乏TCD专著的缺憾。全书共十九章,分别对多普勒超声的基本原理,TCD的物理学与生理学基础,生理与病理条件下的脑血流动力学变化及其TCD表现,TCD技术与正常参考值,TCD对重要脑血管病的诊断价值,外科手术和颅高压的TCD监测,TCD在儿科和其它疾患中的应用等作了较系统的介绍和深入的讨论。既包含了十年来国内外TCD工作的基本内容与技术成就,又反映了当前TCD的新进展与学术水平。内容丰富翔实,基础紧密结合临床,文字深入浅出,有相当的实用性。作为一名神经病学工作者,我愿意向读者推荐本书,相信它能成为TCD工作者,有关临床各科医师与医技工作人员的忠实朋友与助手,并对TCD在我国的进一步推广与发展起有益的作用。

曹起龙

1993年1月14日

前 言

经颅多普勒超声(TCD)作为无创检测脑底动脉血流动力学状态的可靠方法,已经成为脑血管疾病及其它有关疾病诊断、监护与科研的重要手段。然而,TCD问世毕竟只有短短的10年,与其它超声技术相比还相当年青。我们自1988年引进TCD仪后,深感自己在理论与实践两方面的不足。几年来,通过不断学习,探索与实践,逐渐加深了对TCD技术及其临床应用的了解,积累了一些经验与资料,萌发了编写本书的愿望。希望本书能对有关临床与TCD工作者有所帮助。

由于经颅多普勒超声学涉及物理学、生理学、病理生理学与临床医学等多学科,TCD检测的可信性在相当程度上依赖于检测者的技术、经验与学识,因此本书力图用物理学与生理学原理简明地阐述TCD技术与临床的联系,着重讨论TCD表现的理论依据,TCD检测技术的基本方法与基本技能,生理与病理生理条件下脑血流动力学变化及其意义。此外,TCD诊断需紧密结合临床,为使TCD专业技术人员对疾病有整体了解,在各临床章节除介绍脑血流动力学特点,TCD表现及其临床意义或评价外,也扼要介绍病因、发病机理与临床表现。

本书参考了大量国内外文献,基本上反映了当前国内外TCD技术的进展与学术水平。全书共19章,插图199幅,所用的频谱图大部分为编者的资料。所有线条图均由本书作者之一陈尔东医师绘制,陈医师还精心设计了封面。书中的计量单位均采用法定单位。在表示两个以上单位相乘或相除所构成的组合单位时,我们采用了居中圆点的形式,以免混淆,例如以 $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 表示血流速单位。对于书中某些术语的英文原词的选用,在不同作者对同一词意的文字表达有所差异时,本着尊重原著的原则,本书未予统一。

在编写过程中,得到解放军总医院曹起龙教授的热情鼓励与指导,曹教授还为本书作序,在此谨致衷心感谢。

由于受实践经验、理论水平与写作能力的限制,本书一定存在不少缺点与谬误,敬请前辈与同道批评指正。

编 者

1993年1月15日

目 录

第一章 经颅多普勒超声的发展与应用现状	1
1.1 多普勒与多普勒原理	1
1.2 TCD 技术及其临床应用	2
1.3 TCD 技术的临床评价	2
第二章 声波与多普勒效应	6
2.1 波动	6
2.2 声波与声强	8
2.3 超声波的特性	9
2.4 声音的特性	12
2.5 多普勒效应	13
第三章 流体动力学基本原理	16
3.1 理想液体的流动	16
3.2 层流和泊肃叶方程	17
3.3 湍流和雷诺数	21
3.4 涡旋	22
3.5 血管弹性与弹性气室模型	23
第四章 经颅多普勒超声检测	
脑血流动力学状态的基本原理	27
4.1 TCD 探查的基本原理	27
4.2 TCD 测得血流速与实际血流速之间的关系	28
4.3 脉冲重复频率与距离选通	31
4.4 混 叠	32
4.5 频移信号显示	35
4.6 取样容积	40
4.7 杂音信号	41
4.8 与血流状态无关的因素对频谱分析和显示的影响	44
4.9 血流量及其相关指标的检测	47
4.10 波形分析	50
4.11 三维经颅多普勒超声	51
第五章 经颅多普勒超声仪的发展、性能与维护保养	55
5.1 TCD 仪的发展和性能简介	55
5.2 TCD 仪的维护保养	59

第六章	脑底动脉的应用解剖	61
6.1	脑动脉系的构成	61
6.2	颈动脉系	61
6.3	椎—基底动脉系	64
6.4	脑动脉的侧支循环	67
第七章	经颅多普勒检查技术	72
7.1	TCD 仪工作条件的选择	72
7.2	颅外颈动脉的检测	78
7.3	超声窗探查技术	78
7.4	脑底动脉的识别	83
7.5	功能与药物试验	91
第八章	经颅多普勒检测参数及正常参考值	100
8.1	检测参数及意义	100
8.2	正常参考值	103
8.3	TCD 正常参考值的评价	119
第九章	脑血流动力学的基本原理	123
9.1	脑血流量的影响因素和脑血管反应性	123
9.2	脑血流量的自动调节	128
9.3	脑血管狭窄对血流动力学状态的影响	132
9.4	脑血流的分布异常	134
9.5	脑动脉的脉动动力学特点	137
第十章	生理因素对脑血流的影响	143
10.1	年龄	143
10.2	二氧化碳分压	145
10.3	头位与体位	145
10.4	大脑皮质功能状态	147
10.5	生重与孕龄	148
10.6	血粘度	148
10.7	血压与心率	150
10.8	其它因素	151
第十一章	经颅多普勒检测结果的分析与报告	152
11.1	正常 TCD 的判断	152

11.2	异常 TCD 分析及临床意义	154
11.3	TCD 检查的应用范围,申请单的填写及注意事项	161
11.4	TCD 检查报告	164
第十二章	脑血管狭窄和闭塞	166
12.1	病因与发病机理	166
12.2	血流动力学改变	167
12.3	临床表现	168
12.4	脑血管狭窄的 TCD 表现	169
12.5	脑血管闭塞的 TCD 表现	170
12.6	TCD 检测脑动脉狭窄与闭塞的临床评价	175
12.7	脑梗塞的 TCD 表现及其临床价值	175
第十三章	脑血管畸形	179
13.1	发病机理与分类	179
13.2	脑动静脉畸形	180
13.3	大脑大静脉畸形	190
13.4	脑一面血管瘤病	191
第十四章	脑血管痉挛	194
14.1	病因与发生率	194
14.2	发病机理	195
14.3	血流动力学改变	196
14.4	临床表现	197
14.5	TCD 表现	198
14.6	TCD 的临床价值	205
14.7	重度颅脑损伤后脑血管痉挛的 TCD 表现	207
第十五章	偏头痛	209
15.1	发病机理	209
15.2	临床表现	210
15.3	TCD 检测技术及注意事项	211
15.4	发作间歇期的 TCD 表现及评价	211
15.5	发作期的 TCD 表现及评价	218
第十六章	颅内压增高与脑死亡	222
16.1	TCD 监护技术	222

16.2	颅内压增高	223
16.3	脑死亡	229
第十七章	外科手术的经颅多普勒超声监测	239
17.1	颈动脉内膜切除术	239
17.2	颈动脉结扎术	244
17.3	颅外—颅内动脉吻合术	245
17.4	体外循环	250
17.5	手术与麻醉	257
第十八章	经颅多普勒超声在儿科的临床应用	259
18.1	检测技术	259
18.2	正常儿童 TCD 基本特征	260
18.3	动脉导管未闭	262
18.4	红细胞增多症与贫血症	264
18.5	新生儿缺氧缺血性脑损伤	265
18.6	脑畸形	268
18.7	脑动脉狭窄或闭塞	270
第十九章	经颅多普勒超声在其它方面的应用	274
19.1	脑动脉硬化症	274
19.2	椎—基底动脉供血不全	275
19.3	脑动脉瘤	277
19.4	颈内动脉海绵窦瘘	279
19.5	神经原性直立性低血压	279
19.6	无脉病	280
19.7	右至左分流的先天性心脏血管病	281
19.8	镰状细胞病	282
19.9	脑膜炎	283
19.10	系统性红斑狼疮	284
19.11	缺血性视神经病	285
19.12	主动脉内球囊泵	285
附录 I ~ III	290
缩略语	293
参考文献	296

第一章

经颅多普勒超声的发展与应用现状

多普勒超声技术作为一种无创伤性检查方法,在现代医学中有着重要地位。与其它新技术的问世一样,从多普勒现象的发现到多普勒超声技术的不断完善,每一项新成就无不倾注着科学家们前赴后继的艰辛努力。回顾这一发展历程,不但可以使每天都在应用多普勒原理的临床医生领略科学家们对现代医学的贡献,也有助于我们以一种不断发展的观点来看待多普勒超声技术。本章简要回顾多普勒超声技术的发展过程,以及经颅多普勒超声问世 10 余年来的临床应用与评价。

1.1 多普勒与多普勒原理

1803 年 11 月 29 日克里斯琴·安德里斯·多普勒(Christian Andreas Doppler)生于奥地利的萨尔茨堡。1829~1833 年在他任维也纳综合科技学院高等数学助教期间,撰写了他的处女作《对平行理论的贡献》。1841 年多普勒成为布拉格技术学院数学和实用几何学教授。1842 年 5 月,他递交了著名的论文《关于双星和某些其它星体的有色光》。在这篇文章中多普勒回顾了光的波动理论以及英国科学家布拉德莱(Bradley)关于光行差的报告后提出,当观测者与光源呈相对运动时,观测者所接收的光源频率会发生改变。多普勒确立了一个根据频率变化计算光源或声源与观察者相对运动速度的公式,并以声音为例计算出 C 调改变 1/4 音高所需的速度。他提出,“经训练的人能分辨出几英尺·秒⁻¹,最多 8 英尺·秒⁻¹速度下音调的改变”。

1845 年年青的荷兰学者拜思巴劳特(Buys Ballot)为了检验多普勒的理论,在荷兰当时新建的铁路上用一辆机车头和一节平板货车先后做了两次实验。结果发现机车接近静止观测者时,观测者所听到的声音要比在机车上吹奏的音高半音,而机车离开时所听到的声音比吹奏的音低半音。证实了多普勒原理至少对于声波是正确的。直到 20 世纪初,才由贝洛普尔斯基(Belopolski)获得了多普勒原理也适用于光的实验证据。历经一个半世纪,多普勒原理现已广泛用于天文学、空中航行的地面测速、卫星跟踪、热核反应的控制以及医学领域,发展成为一种造福于人类的应用技术。

1.2 TCD 技术及其临床应用

1918 年法国物理学家朗之万(Langevin)在石英晶体中得到声振动,从而产生超声波,为超声波探查奠定了物理学基础。此后,超声探查技术很快应用于各个领域,多普勒超声技术也应运而生。

本世纪 50 年代,多普勒超声技术逐渐涉足于医学领域。1960 年里村等首先应用多普勒原理经皮测定了外周血管的血流速度,翌年弗兰克林(Franklin)也报告了类似的研究。1965 年宫崎和加藤应用多普勒超声测定了颈部血管的血流速。1966 年拉什默尔(Rushmer)等设计出第一台脉冲多普勒仪,克服了以往连续多普勒超声仪不能选择性地探测特定深度血管的血流特征的缺点。此后的一段时间内,虽然陆续有外科手术期间用多普勒超声观察颅内血管血流速以及通过婴幼儿头颅凶门来观察颅内血管血流速的报告,但颅骨对超声束所形成的天然屏障一直困扰着人们,并限制了多普勒超声技术在颅内血管探查方面的应用。

1982 年,挪威学者艾斯里德(Aaslid)利用低频超声波的良好穿透能力,建立了经颅探查颅内血管血流速的非创伤性检查方法—经颅多普勒超声技术(transcranial Doppler ultrasonography, TCD)*。这一方法利用脉冲式发射的 2 兆赫超声波,结合距离选通技术,能探测脑底大动脉的血流速,进一步拓宽了多普勒超声技术在医学领域中的应用范围。自 TCD 技术问世以来,TCD 仪的性能逐步改进,并逐渐向小型化、多功能和自动化方向发展。1986 年 EME 公司又推出彩色三维经颅多普勒仪,使 TCD 技术提高到一个新的水平。

国外 TCD 的临床应用较早,在检测技术,脑底动脉血流速正常值的测定,脑血管病和有关疾病的诊断与血流动力学监测,以及脑循环的基础研究等方面都取得了许多可供借鉴的经验。国内自 1988 年引进 TCD 技术以来,在 TCD 的临床应用和科研等方面做了大量工作,其中最突出的是针对国外报告的有关检测参数正常值不适用于国人,年龄分组也不够完善的状况,许多医院进行了正常值及其临床意义的调查,为 TCD 的推广铺设了坦途。各医院在运用 TCD 对脑血管病进行诊断与治疗监测方面也做了相当深入的临床研究。这些工作不仅显示了 TCD 技术在临床和科研工作中的重要地位,而且为 TCD 在我国的广泛应用奠定了基础。

1.3 TCD 技术的临床评价

1990 年,美国神经病学学会治疗学与技术评价小组根据 1982 年以来各地广泛应用 TCD 的经验,总结了这一新技术的临床价值。本节以该报告为基础,对 TCD 技术作简要的临床评价。

1.3.1 TCD 技术的特点

* 多普勒技术现已不仅仅是一种超声技术,但多普勒技术的经颅应用中仪器所发射的均是超声波。transcranial Doppler 一词已包涵了超声的含意,习惯上这一技术的名称缩写中未包括 ultrasonography。

TCD 和脑血管造影是目前仅有的能反映有关颅内动脉血流状态的检查方法。前者提供受检动脉生理学与病理生理学状态的有关数据,后者则显示血管的解剖学形态,二者所提供的信息可以相互补充,但不能互相替代。TCD 通过检测脑底动脉的血流速和脉动性获得关于受检动脉血流动力学变化的资料,这一特点是其它反映脑血流量和脑代谢状态的检查技术所不能比拟的。除了无创性之外,经颅多普勒超声仪耗资不高,体积较小,便于移动,适用于床边检查与复查。因此 TCD 适用于检测生理和药理学刺激后脑血流速的变化,以及监测手术期间和脑血管病病程中脑血流动力学的改变。

与其它非创伤性技术一样,TCD 亦有技术上的局限性:(1)手控 TCD 检查需要检查者的耐心和熟练的技术;(2)大约 5~15%的病人一侧或两侧经颞窗探查不到脑底动脉,尤以老年人和黑人女性多见,这可能与颅骨结构、厚度和骨化程度上的差异有关;(3)约 10~20%的病人探查不到大脑前动脉交通前段和大脑后动脉,有时经枕窗也查不到基底动脉远端。因此在未作血管造影前脑底动脉的解剖学变异难于与血管病变相鉴别;(4)检查期间需病人合作,保持安静;(5)脑底动脉的绝对血流速度受年龄、红细胞压积、二氧化碳分压、心输出量、受检动脉供血的脑组织活性以及其它因素的影响;(6)TCD 检查时常需双侧比较,因此 TCD 对双侧对称性病变的诊断有一定困难;(7)有时对长段血管狭窄与流速增快的侧支供血动脉难于鉴别;(8)TCD 结果的正确判断不但要掌握脑动脉的解剖生理及脑血管病的病理生理学知识,往往还需结合病人的症状、体征、颅外颈动脉的超声和血管造影等资料。尽管有人尝试用经颅双功能多普勒技术来弥补 TCD 的不足,但目前尚未用于临床。

1.3.2 有肯定价值的 TCD 应用

TCD 通常并不用作缺血性脑血管病患者的过筛检查,但在某些情况下,TCD 对卒中的病因及治疗方法的选择可以提供有价值的信息。例如,蛛网膜下腔出血伴意识障碍者是否有血管痉挛,大脑中动脉供血区大面积深部梗塞者是否有主干狭窄的证据,颈动脉闭塞者是否有颅内的侧支供血,对于满足脑死亡临床指标者脑循环的终止有无客观依据,动静脉畸形经治疗后供血动脉血流速是否降低等等。美国神经病学学会治疗学与技术评价小组肯定的 TCD 应用有如下五方面。

(1)异常侧支血流的检测 TCD 用于探查颈动脉闭塞性疾病侧支血流时有良好的敏感性和特异性。颈内动脉狭窄或闭塞的病人中,同侧半球的侧支供血来源有几种方式,其中大部分可经 TCD 证实。例如,颈内动脉闭塞远端的侧支供血通常由对侧颈动脉系统经前交通动脉提供,此时同侧大脑前动脉交通前段可出现逆向血流。TCD 检查这一现象的敏感性达 94%。有时通过皮层吻合支提供侧支血流,同侧大脑后动脉血流速增快,对此 TCD 探查的敏感性为 86~88%。颈外动脉系统经眼动脉提供侧支供血给颈动脉虹吸部时,同侧眼动脉出现逆向血流,TCD 探查敏感性可达 100%。此外,TCD 对锁骨下动脉盗血现象的诊断亦有帮助,此时锁骨下动脉狭窄同侧的椎动脉颅内段远端可出现逆向血流。有些病人在心动周期的部分期间内基底动脉亦可见逆向血流。

(2)颅内动脉狭窄的检测 颅内动脉的病理性狭窄可造成狭窄段血流速增快与音频信号的特征性变化。而狭窄远端血流速以及流速波形的脉动性均有减低。TCD 对脑底动脉严重狭窄(>65%)的检测有肯定的价值,血管狭窄不足 50%时 TCD 不易诊断。

经颞或眶窗探查,有经验的医生可以检出血流动力学改变明显的颈内动脉虹吸部狭窄或闭塞,敏感性为73~94%。TCD检查大脑中动脉主干狭窄或闭塞的敏感性为75~100%。由于技术上的限制,TCD检查大脑中动脉分叉以远狭窄或闭塞的敏感性差。大脑前、后动脉的管腔和受声角的变异大,TCD诊断二者的狭窄也缺乏可信性。

TCD可证实椎动脉远端和基底动脉近端的明显狭窄或闭塞,但敏感性和特异性略低于前循环狭窄性损害。椎动脉远端的空间构型和颈部厚度有很大变异,常难准确确定椎-基底动脉连接处。不过如能证实椎动脉远端或基底动脉狭窄,不论其位置如何,均有助于治疗药物的选择。在小脑后下动脉起点以远的某支椎动脉闭塞时,椎动脉近端颅内段的血流进入小脑后下动脉,前者仍可保留有相对正常的血流速度和流速波形。

(3)血管痉挛的诊断 TCD最常用于蛛网膜下腔出血后血管痉挛的检查。TCD仪的便携和无创性特征,使其适用于重危病人的监护。定期复查有助于确定血管痉挛的防治措施和外科手术时机。据报告,痉挛血管血流速度增加的速率与迟发性脑缺血障碍的发展相关。除用于诊断外,TCD还是观察血管痉挛的发展过程以及钙离子阻滞剂对血管痉挛疗效的新方法。

TCD诊断蛛网膜下腔出血后血管痉挛的特异性高达98~100%,所以经TCD证实血管痉挛后不一定再行血管造影,医生可有把握地决定治疗和手术时机,但对阴性结果需加注意。

(4)动静脉畸形的评价 动静脉畸形是典型的高流速、低压力、低阻力的动脉旁路系统。这些血流动力学特征所引起的特征性TCD所见包括:平均和峰流速增快;湍流形成和脉动指数降低。通过检查这些特征性改变,TCD正确诊断动静脉畸形的敏感性为87~95%。但TCD不能查出位于皮层并由单支动脉供血的小的动静脉畸形。因磁共振诊断动静脉畸形的敏感性比TCD更高,国外的一些临床中心不常用TCD诊断动静脉畸形。无论如何TCD确实是一种相对价廉的诊断方法。通过TCD检测各种治疗前后供血与非供血动脉血流动力学改变,还有助于确定治疗计划、评定疗效并估计病人预后。

(5)脑死亡临床诊断的证实 国外多数医院常在终止生命支持疗法之前,用脑电图证实脑死亡的临床诊断。TCD亦能在床边于几分钟内完成疑诊脑死亡病人的检查,为器官移植赢得时间。脑死亡典型的TCD所见是舒张期逆向血流,小的尖锐收缩峰或无血流。一些研究已经证实,这些流速波型异常是由于颅内压超过脑灌注压所致,与核素扫描技术所证实的脑血流灌注的停止有关。

1.3.3 可能有价值的TCD应用

根据目前的文献,TCD对于脑肿瘤、脑部家族性和变性疾病、颅内感染和炎症、精神疾患以及癫痫的评价缺乏足够的敏感性和特异性。TCD在下列几方面的应用比较活跃,可能有应用价值。

(1)TCD对于揭示偏头痛时脑动脉的病理生理学改变很有前途。一些初步研究发现,某些偏头痛患者即使在间歇期也有血流速度增快,提示存在血管收缩因素。部分病人出现脑血管自主反应性异常。TCD在偏头痛诊断方面的应用前景较为宽广。

(2)脑血管外科病人的术前、中、后的监测,是TCD有应用前途的另一领域。多年来颈动脉内膜切除术和其它血管再通术期间,一直以局部脑血流量和脑电图监护来预测术

后发生缺血性损害的可能性,TCD可能有助于证实内膜切除术中合并高灌注综合征的病人。通过TCD证实的二氧化碳反应性异常,可以在颈内动脉闭塞的病人中选出一部分严重半球灌注异常和血管反应性减低的病人。颅外-颅内血管吻合术对这部分病人可能有益。TCD还有助于了解动静脉畸形术中和术后即刻血流动力学变化,并可能用于验证切除术后灌注压突破现象的假设。TCD在颈动脉狭窄或闭塞病人心肺转流术期间的应用尚待进一步研究。有报告提出,术后脑组织损害的发生与转流术期间脑循环的低灌注无关。

(3)TCD是监测颅脑损伤、颅内出血、脑肿瘤或低氧血症病人颅内压的理想方法。高血压时血流速和波形脉动性有相应改变,但这些变化与颅内压之间定量的相关关系尚无定论。

(4)TCD对于生理和药物刺激下脑血流动力学的改变,以及生理和病理状态下脑自动调节功能变化方面的研究也有一定价值。虽然TCD测得的大脑中动脉血流速与¹³³氙技术测得的半球脑血流量并不相关,但血流速和脑血流量对呼气末二氧化碳分压变化的反应却密切相关。

(5)TCD对于急性缺血性卒中发作后数小时内颅内动脉血流状态的评价亦有价值。

(6)TCD检查可能有助于深入理解各种病因所引起的脑血流动力学变化,这些病变包括镰状细胞病、烟雾病、动脉瘤、血管炎、神经原性直立性低血压、无脉病、脑一面血管瘤病等等。

TCD的问世仅10年多,许多临床应用仍处于萌芽和摸索阶段。随着现代科学技术的进步,这一技术一定会不断发展和完善。1846年多普勒在一篇关于拜思巴劳特实验结果的评论中曾预言:“在其它方法无能为力时,这一理论将作为一种深受欢迎的方法帮助天文学家去探索宇宙的奥秘”。可以相信,随着更广泛的临床应用,TCD技术也一定会成为我们了解颅内血管与脑血流状态病理生理学改变的有力助手。

(陈尔东 吴积炯)

第二章

声波与多普勒效应

波是振动传播的过程,也称波动。在振动传播的同时还伴有能量的传播,所以波也是一种能量传递形式。波可分为两大类。一类称机械波,如水波和声波。另一类为电磁波,如无线电波、光波、X射线和 γ 射线等。前者是机械振动在介质中传播的过程,后者是电磁扰动在空间传播的过程,即电磁场的传播过程。波按其传播方向与振动方向之间的关系,又可分为纵波与横波。声波的传播方向和振动方向相同,是一种在弹性介质中传播的纵波。本章主要介绍声波的基本特征与规律。

2.1 波 动

2.1.1 波动的形成

弹性介质中的各质点彼此是以弹性力相联系的。当有波源在弹性介质中振动时,邻近波源的质点受到外力作用而离开平衡位置,并将这一作用力向周围介质传播。与此同时,这些质点还受到周围介质的反作用力而恢复至原来位置。在这两种力的共同作用下,形成了弹性介质在平衡位置附近的振动。我们把振动位相相同的各点连成的曲面称做波面,把波的传播方向叫做波线。根据波面的形状可以将波分为球面波与平面波。在各向同性的介质中,波线总是与波面垂直。

2.1.2 简谐波的基本特征

物体在弹力的作用下,于平衡位置附近所作的周而复始的往返运动称简谐振动,这种振动所形成的波称简谐波。简谐波是最简单,最基本的波动方式,可以用一条正弦(或余弦)曲线来表示,也就是说波动的位移随时间按正(余)弦函数的规律变化(图2-1)。

波幅、波长、波的周期或频率以及波速是描述波动的重要物理量。在波动过程中,振动的介质质点离开平衡位置的最大距离称波的振幅,以 A 表示。简谐振动中正向和负向振幅大小相同。

在同一波线上位相差为 2π 的质点之间的距离,即一个完整波的长度称波长,以 λ 表示。在波动曲线中两波峰或波谷之间的距离就是一个波长。

波的周期是指波前进一个波长距离所需要的时间,用 T 表示。周期的倒数称波的频率,以 f 表示,即 $f=1/T$,单位是 秒^{-1} ,也称赫兹(Hz)。波的频率等于单位时间内波动前进

距离中完整波的数目。由波动的形成过程可知,经一个周期,质点作一次完全振动,波沿着波线传出一个完整的波形。所以波的周期或频率等于波源的周期或频率。波的周期或频率是由振动系统本身性质所决定的。当波在不同介质中传播时,它在各介质中的周期或频率不变。因为简谐波的位移改变符合正(余)弦函数的变化规律,所以常用角频率来描述波动的周期性变化。角频率以 ω 表示,其意义与频率 f 所同,与 f 和 T 的关系如下:

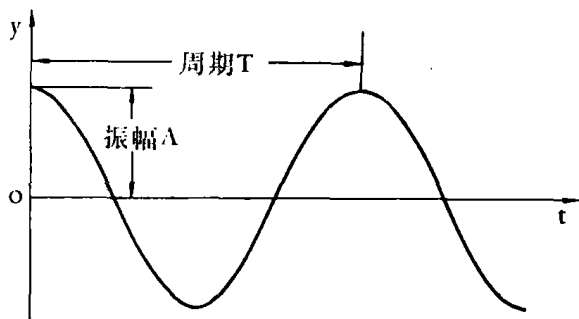


图 2-1 波动曲线

$$\omega = 2\pi f, \quad f = \omega/2\pi, \quad T = 2\pi/\omega \quad (2-1)$$

单位时间内振动所传播的距离称为波速,用 c 表示。在一个周期内波前进一个波长的距离,所以波速

$$c = \lambda/T \quad (2-2)$$

如以频率 f 代替 $1/T$,则

$$c = \lambda f \quad (2-3)$$

以上两式是波长、周期或频率与波速之间的基本关系式,它们具有普遍意义,适用于各类波动。图 2-2 说明了波长、频率与波速三者之间的关系。与波的频率不同,波速的大小与波源的性质无关,而取决于传播介质的性质。同一振动在不同介质中传播时,其波速不同。

2.1.3 波的合成与分解

前面描述了简谐波的基本性质,但实际存在的振动大多不是严格的简谐振动而是比较复杂的振动,所形成的波动也不再是简谐波而是复杂波。任何一个复杂振动都是两个以上具有一定频率、振幅和位相的简谐振动合成的结果,因此任一复杂波都可以看成是由若干简谐波叠加而成的。图 2-3 显示了频率之比为 1:2 的两个简谐波动的合成。可以看出,复杂波动仍是周期性运动,其频率与简谐波中的最低频率相等。

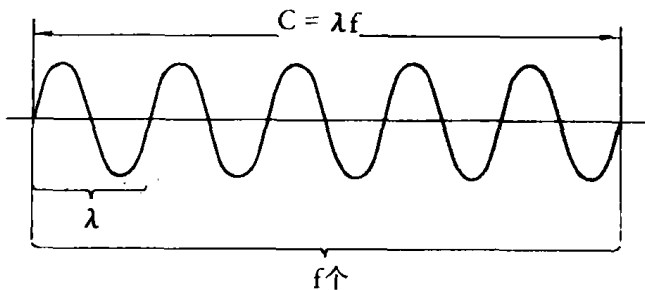


图 2-2 波长、频率与波速的关系

1809 年,法国数学家傅里叶(Fourier)首先证明,任何一个复杂波动均可分解为一系列基本和简单的正弦曲线。这种复杂的波动过程可以表示为若干个正弦函数和余弦函数之和,即

$$F(t) = A_0 + A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t + A_2 \cos 2\omega t + B_2 \sin 2\omega t + \dots \quad (2-4)$$

式中 $F(t)$ 表示傅里叶函数, A_1 、 A_2 和 B_1 、 B_2 为不同频率成分的振幅。由上式可见,傅里叶函数包括了一个常数项和一系列频率成倍数增加的简谐波动。从这些简谐波动中很容易求