

经颅多普勒 在神经外科的应用

主 编 徐绍彦 毕 杨
副主编 凌启柏

5.1

7

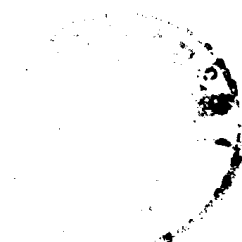
北京医科大学中国协和医科大学联合出版社

PSK
15

经颅多普勒 在神经外科的应用

Y5122/19

主 编 徐绍彦 华 杨
副主编 凌启柏



A0097801

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

内 容 简 介

经颅多普勒超声 (TCD) 技术是近十年来脑血管疾病研究中一项具有重大价值的新技术。本书系统地总结了我国自 1988 年引进该技术以来的临床应用及研究成果, 参阅并介绍了国内外 TCD 的有关文献。内容涉及: TCD 技术原理、脑血管解剖、脑循环与脑血流动力学等基础理论; TCD 检测技术及分析方法; 正常多普勒频谱、诊断和分析方法; TCD 在神经外科的临床应用, 包括脑血流侧枝循环功能、颈动脉病变、脑血管畸形与脑动脉瘤、蛛网膜下腔出血、锁骨下盗血、颅脑损伤、颅内压增高和脑死亡等的 TCD 检测, 以及心脑血管手术中 TCD 监测应用。各章内容丰富, 并附大量插图, 具有较高的临床应用价值, 可供神经外科、内科、影像诊断科及其他科室临床医师以及医学院校师生阅读和参考。

经颅多普勒在神经外科的应用

徐绍彦 华 杨 主 编

凌启柏 副主编

责任编辑: 林呈琯

*

北京医科大学 联合出版社出版
中国协和医科大学

四方计算机照排中心排版

唐山市胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 1/16 10.75 印张 249 千字 彩插 2 页

1993 年 11 月第 1 版 1993 年 11 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000

ISBN 7-81034-255-X/R · 255

定价: 14.90 元



经颅多普勒
在神经外科的应用

钱信忠
一九九二年十月

为提高我国脑血管
病的诊治水平，引进
新技术，开拓新领域，
奋力走创新之路。

陈敏章

一九九二年五月

序 言

脑血管疾病是一类严重危害人民健康的常见病、多发病，其临床诊断和治疗都比较复杂，也是当前很多国家的重点研究课题之一。

最近十年来发展起来的经颅多普勒（TCD）检测技术，因其能提供脑血管系统的血流动力学资料，已为脑血管疾病的诊断和研究领域开辟了新的途径。TCD 具有独特的优越性，在我国正在逐步推广并普及。实践证明，这是脑血管疾病研究中一项很有发展前途的新技术。

徐绍彦等同志编著的《经颅多普勒在神经外科的应用》一书，从基础到临床全面介绍了这一新技术，并参考国外文献，结合自己的经验，总结了近年来国内 TCD 的研究成果，内容翔实，应用性强。本书的出版，对进一步提高我国脑血管疾病的临床诊断和治疗的水平，将起到一定的作用。

钱信忠

1992 年 12 月

前 言

1982年挪威学者 Aaslid 将低发射频率与脉冲技术相结合,使超声波得以经颅骨进入颅内,直接获得了脑底血管的多普勒信号,这一技术称为无创伤性经颅多普勒超声 (Noninvasive transcranial Doppler ultrasound, TCD)。TCD 技术利用超声反射的频移信号组成灰阶频谱,提供了脑血管系统的血流动力学资料,为脑血管疾病的无创伤性诊断和研究开辟了新的途径。TCD 技术的出现标志着在无创伤性诊断和研究脑血管疾病方面取得了重大进展。近十年来, TCD 技术在国内的脑血管临床和研究中获得了极为迅速的发展。

我国自 1988 年开始引进这一技术,近几年, TCD 技术在我国迅速普及,积累了一些临床经验,取得了一些科研成果。然而,由于起步晚,时间短,目前国内尚处于初级阶段。为进一步推动 TCD 技术在我国深入广泛地发展,提供一些检测和监护技术、诊断标准、国内外临床应用和研究状况等资料,作者总结了近年从事的 TCD 研究结果,并参阅了国内外发表的数百篇文献,编写了这本《经颅多普勒在神经外科的应用》。本书共分十三章。第二、三、四章介绍了 TCD 有关的基础理论。第五章介绍了检测技术,正常多普勒频谱、诊断和分析方法。第六至第十三章介绍了 TCD 在神经外科的临床应用。本书附有百余幅示意图和频谱图,便于读者借鉴和对照。作为一本专业书,希望能对神经内、外科,超声诊断科,重症监护病房和手术室工作者有所帮助。

本书在编写过程中,曾蒙钱信忠、陈敏章部长的亲切关怀和鼓励,宣武医院凌晨医生,浙江医院李雅国、陈新宇医生提供了许多帮助。此外,还得到香港华骏公司的大力支持和协助,在此表示衷心的感谢。

徐绍彦

1992 年 12 月于杭州市浙江医院

编著者名单

(按姓氏笔划排列)

华 杨	首都医学院宣武医院
庄作民	浙江省人民医院
杨 莉	空军指挥学院门诊部
杨继东	浙江医院
姚作宾	浙江医科大学
袁树斌	成都军区总医院
徐绍彦	浙江医院
凌启柏	北京医科大学临床肿瘤学院

目 录

第一章 概述.....	(1)
第二章 经颅多普勒超声的技术原理.....	(3)
第一节 超声波的物理性质.....	(3)
第二节 多普勒超声检测血流速度的原理.....	(5)
第三节 脉冲多普勒和连续多普勒	(10)
第四节 频谱显示技术	(12)
第三章 脑血管解剖	(14)
第一节 脑动脉	(14)
第二节 脑静脉	(25)
第四章 脑循环与脑血流动力学	(30)
第一节 脑循环和脑血流的自动调节	(30)
第二节 脑血流动力学原理	(35)
第三节 病理状态下的脑血流动力学	(38)
第五章 检测和分析方法	(41)
第一节 脑血管颅外段	(41)
第二节 检测颅内血管的超声窗口	(44)
第三节 特殊试验	(48)
第四节 脑动脉的检测和识别	(49)
第五节 检测结果分析	(61)
第六章 脑血流自动调节和侧枝循环功能的检测	(70)
第一节 脑血流自动调节功能的检测	(70)
第二节 脑血管舒缩反应能力的测定	(74)
第三节 侧枝循环的检出和评价	(80)
第七章 颈动脉病变的 TCD 检测	(89)
第一节 颈动脉病变概述	(89)
第二节 颈动脉病变的检测方法	(90)
第三节 TCD 对颈动脉病变的检测特征	(91)
第八章 脑血管畸形与脑动脉瘤.....	(100)
第一节 动静脉畸形.....	(100)
第二节 脑动脉瘤.....	(109)
第三节 大脑大静脉畸形.....	(110)
第四节 颈内动脉海绵窦瘘.....	(110)
第九章 蛛网膜下腔出血.....	(115)
第一节 自发性蛛网膜下腔出血.....	(115)
第二节 继发性蛛网膜下腔出血.....	(120)
第三节 血管痉挛的鉴别.....	(121)

第四节	TCD 评价脑血管痉挛的意义	(123)
第十章	锁骨下动脉盗血	(126)
第十一章	经颅多普勒超声在颅脑损伤中的应用	(132)
第一节	TCD 在颅脑损伤中的应用	(132)
第二节	各类型颅脑损伤的 TCD 表现	(139)
第十二章	颅内压增高和脑死亡	(145)
第一节	颅内压增高	(145)
第二节	颅内循环停止和脑死亡	(148)
第十三章	经颅多普勒在心脑血管手术中的监测	(152)
第一节	颈动脉内膜切除术中脑血流的监测	(152)
第二节	体外循环手术中的监测	(156)
第三节	在其它方面的监测	(157)

第一章 概 述

本世纪 50 年代始, 国外许多学者试图用超声波技术检测脑组织和颅内血管疾病, 但是, 由于颅骨对超声波的严重衰减, 超声束难以通过颅骨进入颅内, 这些尝试均未能获得成功。1982 年挪威学者 Aaslid 将脉冲多普勒技术与低发射频率相结合, 使超声波得以穿透颅骨较薄的部位进入颅内, 直接描记到了脑底动脉的多普勒信号, 从而使测定脑底动脉的血流速度得以实现。这一技术称为无创伤性经颅多普勒超声 (Noninvasive transcranial Doppler ultrasound, TCD)。TCD 技术提供了脑血管系统的血流动力学资料, 为无创伤性诊断和研究脑血管病开辟了新的领域, 是近年来无创伤性诊断和研究脑血管病方面的重大贡献。

应用 TCD 技术可以通过颞骨检测颈内动脉终末段、大脑中动脉、大脑前动脉、前交通动脉、大脑后动脉和后交通动脉的血流速度; 通过眼窗可以获得眼动脉和颈内动脉虹吸段的血流信号; 通过枕骨大孔可以检测基底动脉、椎动脉颅内段和小脑下后动脉的血流速度。在颈部可以检测颈总动脉、颈外动脉和颈内动脉颅外段的血流速度。这样可以对颅内、外脑血管进行全面地检测和评价。

TCD 技术与脑血管造影、CT、磁共振 (NMR) 成像等影像技术不同, 它可以提供这些影像学检查所不能得到的重要的血流动力学资料。它们之间不能互相取代, 而是互补应用。目前, TCD 技术已经在神经外科、神经内科、手术室、急诊室、重症监护病房、冠心病监护室、矫形外科、心血管外科、超声诊断科和脑血管病研究中心等得到了广泛的应用。其应用范围主要有:

一、诊断

(一) 脑血管狭窄和闭塞 可以检出狭窄或闭塞的部位, 狭窄的程度和范围。如动脉粥样硬化、脑动脉炎、烟雾病等。

(二) 脑血管畸形 可以检出动静脉畸形 (供血动脉、畸形血管团和引流静脉), 大的动脉瘤, 颈内动脉海绵窦瘘和大脑大静脉畸形。

(三) 脑血管痉挛 可连续监测蛛网膜下腔出血以后脑血管痉挛的发生、发展和缓解, 以指导治疗和评价治疗效果。也可用于血管性头痛或偏头痛的诊断。

(四) 锁骨下盗血 可检出狭窄或闭塞的部位和盗血的途径。

(五) 颅内压增高和颅内循环停止。

二、机能评价

评价 Willis 环侧枝循环功能和脑血管舒缩反应贮备能力, 从而筛选出不适宜颅外/颅内旁路手术、颈动脉内膜剥离术患者和检出血流动力学高危病人。

为选择脑血管造影、手术时机和确定手术方案提供依据。评价外科手术的治疗效果。

三、危重病人和手术病人的脑血流监护

对脑血管意外, 脑外伤等危重病人进行长时间监护, 以发现脑血管痉挛、脑血流减少、颅内压增高和颅内循环停止。在脑血管手术、颅脑手术、心脏手术、心脏介入性检查和治疗时监测脑血流, 以发现脑血流减少或过度灌注, 检出气体或动脉粥样硬化斑块脱落栓子等。

四、病理生理和基础研究

观察和研究不同生理条件下的脑血流状况,如动脉血中二氧化碳分压和氧分压、交感神经张力、血压、脑功能活动等对脑血流的影响,航天和潜水时脑血流的变化情况。观察和研究各种病理情况的脑血流状况,如各种脑血管病、贫血、血粘度增高综合征、心衰、休克等的脑血流变化情况。也有人用于研究药物和其他治疗措施(如主动脉内气囊反搏)对脑血管的作用和对脑血流的影响。还可以应用 TCD 技术进行脑血管病的流行病学调查,中风预测和脑血管病人的长期随访等。

虽然 TCD 技术的出现仅有 10 年时间,但是引起了医学界的广泛重视,并得到了迅速的发展。目前,在国外有关 TCD 临床应用和科研文献日益增多,许多专著纷纷问世,如:《经颅多普勒超声》、《经颅多普勒在神经外科的应用》、《经颅多普勒的进展》、《经颅多普勒应用指南》、《经颅多普勒在儿科的应用》等。另外,在许多神经内、外科著作中也对 TCD 技术加以介绍和评价。自 1986 年在罗马召开第一届 TCD 国际学术交流会以后,至今已先后召开三届会议,TCD 技术在临床应用和科研方面都取得了很大进展。

我国自 1988 年开始引进 TCD 技术,从而开辟了我国超声医学应用的新领域。迄今国内有数百家医疗和科研单位开展了这一技术,并积累了许多宝贵经验。近年来,在北京、上海、广州、南京、西安、沈阳等城市分别举办了 TCD 讲习班和学术交流会。在全国脑血管病学术交流会、超声医学学术会和神经病学学术交流会上,均有关于 TCD 在临床和科研上应用的报道。近两年,在我国许多医学杂志上相继有关于 TCD 应用的论文发表。但是,由于我国开展这一技术较晚,尚处初级发展阶段,特别是在危重病例监护、手术中监护和对照研究方面与国外差距较大。

随着经颅多普勒诊断仪在性能上不断提高,功能上日益完善和产品的不断更新换代,拓宽了其在诊断和研究的应用。如以我国引进较多的美国 MEDASONICS 公司产品为例,继 Transpect TCD 仪之后,1992 年又推出“脑血管病诊断系统-CDS”。该仪除增加了多普勒超声能量以外,又采用了“心电图同步信号平均技术”(ECG Synchronized signal averaging),大大提高了脑血管病检出率,并使多普勒频谱更清晰地显示出来。另外,增加了 24 小时或更长时间的监护软件,显示脑血流及二氧化碳分压等趋势变化,并有脑血流上下限、进入颅内栓子数目等多种参数报警,便于在手术中或对危重病人进行监测。此外,德国、法国、以色列等国的经颅多普勒诊断仪,产品也进入我国市场,为使用单位提供了更多的选择机会。

尽管 TCD 技术有了较为迅速的发展和广泛的应用,但是,由于其问世的时间较短,还有许多理论和临床应用问题需要进一步研究和探讨。例如,(1)有时难以得到理想的图像。(2)目前尚缺乏对正常和异常频谱形态统一的公认的判定标准和命名,尚未建立各种参数统一的正常值,某些参数的临床意义和应用价值尚有争论。(3)虽然积累了不少临床资料,但实验室工作尚未很好地开展,许多波形的产生机理和临床意义尚不清楚。(4)对照研究和临床资料相对较少,对一些检测结果尚不能作出满意的解释,还需要做大量的研究工作。(5)经颅多普勒仪器本身有待进一步发展和完善,特别是现有仪器不能估测局部脑血流量等的功能。

TCD 技术是一种无创伤性的检查手段,其操作简便,重复性好,可以对病人进行连续的,长期的动态观察。更重要的是它可以提供影像技术所检测不到的血流动力学资料,开辟了无创伤性诊断、监护和研究脑血管病的新领域。相信随着 TCD 技术在临床和科研上的广泛应用,经验的逐步积累,以及仪器的进一步改进和完善,TCD 技术在脑血管病的临床和研究中将会有更广阔的应用前景。

(徐绍彦)

第二章 经颅多普勒超声的技术原理

经颅多普勒 (Transcranial Doppler, TCD) 是利用超声波的多普勒效应来研究颅内大血管中血流动力学的一门新技术。

第一节 超声波的物理性质

一、声波的物理性质

声波是声源产生的振动通过弹性介质传播的一种机械波。在弹性介质中,各质点以弹性力彼此联系。如果介质中的某一点由于外力作用而离开平衡位置时,其周围的介质就有弹性力反作用于该质点上,两种力共同作用的结果,使该质点在平衡位置附近振动。这样,该质点的振动就以一定的速度由近而远地传播出去,形成机械波。机械波传到之处的质点以相同的位向开始振动,由这些点所连成的面称为波振面。波振面的位置随着时间向前推进。波在传播过程中,如果质点的振动方向与波的传播方向相一致,称为纵波。在纵波传播的过程中,由于先后开始振动的各质点间存在着位相差,所以形成了压缩区和稀疏区相间的波形。

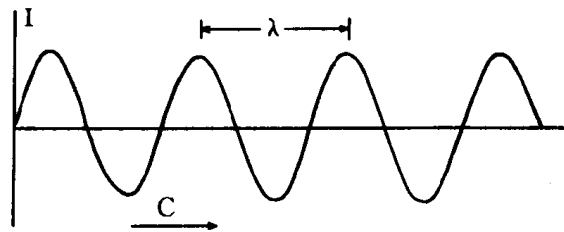


图 2-1 声波传播示意图

I: 声波的弹度; λ : 声波波长; C: 传播速度

声波传播的特性可以用正弦波加以描述 (图 2-1)。正弦波在基线上下的幅度代表声波压缩和稀疏的程度,即声波的振幅或强度。两个最大压缩区之间的距离称为波长。声波传播一个波长所需要的时间称为周期。声波在单位时间里传播的距离称为声速。声速 (C), 波长 (λ) 和周期 (T) 之间的关系为:

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

周期的倒数称为频率 (f)

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

将式 (2) 代入式 (1), 得

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

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

从上式可知，频率表示在单位时间里声波在传播的距中所包括的波的个数。在多普勒超声技术中，超声波的发射源是探头 (Probe)，所以，探头的发射频率就是声波的频率。频率的单位为赫兹 (Hz)、千赫兹 (kHz)、兆赫兹 (MHz) 等。

从公式 (2-3) 可知，声速等于波长和频率的乘积。声速的大小取决于传播介质的特性。在人体组织中，超声波的传播速度为 1560m/s。在多普勒超声技术中通常把声速看作为常数。

二、超声波的物理性质

超声波是频率大于 20kHz 的声波。在经颅多普勒诊断仪器中，探头的频率范围是 2~10MHz。超声波具有声波所有的物理性质，同时又具有许多独特的性质。

超声波的产生主要是利用具有特殊物理性质——压电效应的晶体。当这些晶体受到外界压力或拉力时，晶体的两个表面将分别出现正、负电荷，即机械能转变为电能。反之，当晶体受到交变电场作用时，晶体将出现机械性压缩和膨胀，即电能转变为机械能。在经颅多普勒诊断仪中，就是利用压电晶体的这种物理性质作为超声波的发生器和接收器的。

由于超声波的波长较短，具有较强的方向性，形成超声束。超声束进入人体以后，在距离探头较近的一段区域内形成一条宽度与探头直径相近似的超声束，这一区域称为近场。在近场的远侧，声束逐渐加宽，这一区域称为远场 (图 2-2)。为了减少声束的扩散，常选用较低的频率和聚焦的方法。

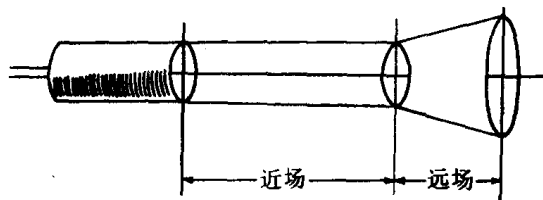


图 2-2 超声束的近场和远场

当超声波在传播过程中遇到两种不同的传播介质时，在介质的分界面将产生反射 (Reflection)，反射波的强度取决于两种介质声阻的差别。除传播介质的声阻差以外，反射波的强度还受入射角的影响。所谓入射角是指入射声束与反射界面的垂线之间的夹角。在超声影像学检查时，要求声束与组织界面尽可能地垂直，而在经颅多普勒检查时，则要求声束与血流方向尽可能地平行，这是经颅多普勒与超声影像学的一个重要区别。

超声波在传播过程中，如果遇到几何尺寸等于或小于超声波波长的反射物体时，部分超声波将改变方向，绕过这一物体并继续向前传播，这一现象叫做衍射 (Diffraction)。剩余能量的超声波将以这一物体为中心向空间各个方向发生散射 (Scattering) (图 2-3)，产生散射现象的物体称为散射体 (Scatter)。经颅多普勒所检测的目标 (声靶) 是脑血管中流动的血细胞。血细胞的直径明显小于超声波的波长，所以，血细胞作为散射体向各个方向散射超声波。这时，探头所接收到的反射波仅仅是来自血细胞的反向散射部分。这种特殊的超声反射不同于

发生在组织界面的一般反射。经频多普勒专门研究这些来自血细胞反射的微弱信号。血液中以红细胞数量占优势，所以，大部分反向散射信号来自红细胞，其次来自白细胞和血小板。

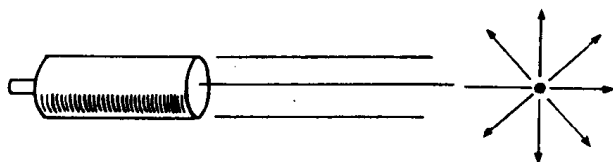


图 2-3 超声波在血细胞上散射示意图

第二节 多普勒超声检测血流速度的原理

一、多普勒效应 (Doppler effect)

1842 年奥地利学者克约斯琴·约翰·多普勒 (Christian Johann Doppler) 首先描述了一种物理学效应，后人为了纪念他，将这一效应称为多普勒效应。他在观察来自星球的光色变化时，发现当星球与地球相向运动时，光色向光谱的紫色端移位，表明光波的频率升高；而星球与地球背向运动时，光色向光谱的红色端移位，表明光波的频率降低。这种物理学现象被命名为多普勒效应。验证这一原理最早的实验之一是 Buys Ballot 用声波进行的。

多普勒在解释这一原理时比喻这样一个例子：当人们驾驭一只小船顶风逆波前进时，如果船前进的速度和波浪前进的速度相等，在船上感到的波浪的频率是船静止时的二倍；反之，如果船顺风随波前进，而且两者速度相等，则船“骑”在波上前进，感觉到的波浪频率为零。多普勒效应适用于各种类型的波源和接收器之间的运动。在日常生活中经常可以遇到这样的事例。又如：当火车鸣笛由远向近驶来时，尽管笛声本身的音调即频率保持不变，但人们听到的笛声却逐渐变得尖锐，即频率升高；反之，当火车鸣笛由近向远驶去时，人们听到的笛声逐渐变得低钝，即频率降低。这种由于波源和接收器之间相对运动而引起的接收到的频率与发射频率之间的差值称为多普勒频移 (Doppler frequency shift)。

下面将对波源和接收器之间相对运动所产生的多普勒效应作一简要介绍。

假设波源和接收器对于介质相对静止，波源发射频率为 f_0 ，波长为 λ_0 ，波在介质中传播速度为 C ，接收器所接收的频率为 f_1 。由 (2-4) 式可知：

$$f_0 = \frac{C}{\lambda_0} \quad (2-5)$$

$$\lambda_0 = \frac{C}{f_0} \quad (2-6)$$

当波传播到接收器时，在单位时间里通过接收器的波的数目就是接收器所接收的频率 f_1 ，由式 (2-4) 可知：

$$f_1 = \frac{C}{\lambda_0} \quad (2-7)$$

上式说明，当波源和接收器对于介质相对静止时，接收的频率等于发射的频率，多普勒频移值为零，不产生多普勒效应。

(一) 假设波源对于介质静止, 而接收器以速度 V_1 向波源运动 (图 2-4), 波在单位时间里向前传播的距离为 C , 同时在这一单位时间里接收器又向波源移动了一段距离 V_1 , 这样, 接收器在单位时间里所接收的波数, 即接收的频率不再是 f_0 , 而是 $\frac{C+V_1}{\lambda_0}$, 即

$$f_1 = \frac{C+V_1}{\lambda_0} \quad (2-8)$$

将式 (6) 代入式 (8):

$$f_1 = \frac{C+V_1}{C/\lambda_0} = \left(1 + \frac{V_1}{C}\right) f_0 \quad (2-9)$$

由于 V_1/C 大于零, 所以 f_1 大于 f_0 。这说明当接收器迎向波源运动时, 接收频率大于发射频率, 产生多普勒效应。

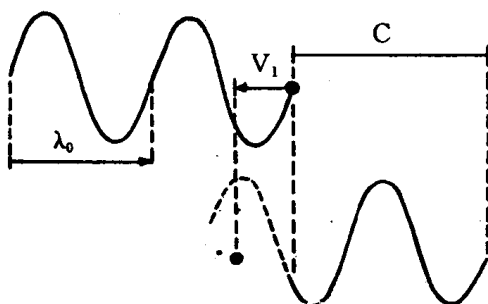


图 2-4 接收器 (实心圆点) 向波源运动时产生频移图解

图的下半部分显示经过单位时间以后波和接收器的位置。对接收器而言, 波移动的距离为 $C+V_1$; 而对于介质, 波移动的距离仅仅是 C 。这样, 在单位时间内接收器接收了 $(C+V_1)$ 的波, 接收器接收的频率为 $\frac{C+V_1}{\lambda_0}$

如果接收器以速度 V_1 背离波源运动时 (图 2-5), 接收器接收的频率 f_1 为:

$$f_1 = \frac{C-V_1}{\lambda_0} = \frac{C-V_1}{C/\lambda_0} = \left(1 - \frac{V_1}{C}\right) f_0 \quad (2-10)$$

由于 $\frac{V_1}{C}$ 大于零, 所以 f_1 小于 f_0 。这就是说当接收器背离波源运动时, 接收到的频率小于发射的频率。

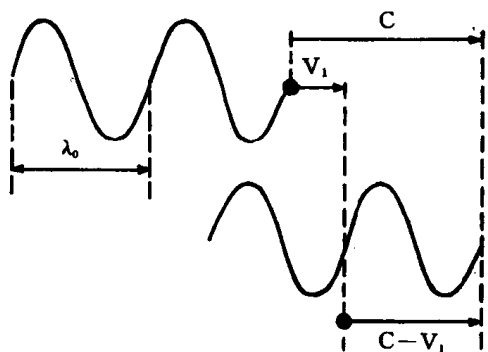


图 2-5 接收器 (实心圆点) 背离波源运动时产生频移图解

图的下半部分显示经过单位时间以后波和接收器的位置。对介质而言, 波的移动距离为 C ; 而对于接收器, 波的移动距离为 $C-V_1$ 。这样, 在单位时间里接收器接收了 $(C-V_1)$ 的波, 接收器接收的频率为 $\frac{C-V_1}{\lambda_0}$

综合上述两种情况：

$$f_1 = (1 \pm \frac{V_1}{C}) f_0 = \frac{C \pm V_1}{C} f_0 \quad (2-11)$$

当接收器迎向波源运动时，上式取正号；当接收器背离波源运动时，上式取负号。

(二) 假设接收器对于介质相对静止，而波源以速度 V_0 迎向接收器运动（图 2-6）。在单位时间里波向前传播的距离为 C ，同时波源跟在波的后面作同向运动，在单位时间里前进的距离为 V_0 。这样，本来分布在距离 C 上的波现在分布于 $(C - V_0)$ 的距离内，相当于把波长压缩了。当波传到接收器时，波长不再是 λ_0 ，而是 $\frac{C - V_0}{f_0}$ 了，因此，接收器所接收的频率为：

$$f_1 = \frac{C}{\lambda} = \frac{C}{C - V_0} = \frac{C}{C - V_0} f_0 \quad (2-12)$$

上式中， $(C - V_0)$ 小于 C ，所以 f_1 大于 f_0 。这说明波源迎向接收器运动时，接收的频率大于发射的频率。

假设波源以速度 V_0 背离接收器运动（图 2-7），则接收的频率为：

$$f_1 = \frac{C}{C + V_0} f_0 \quad (2-13)$$

由于 $(C + V_0)$ 大于 C ，所以 f_1 小于 f_0 。这说明当波源背离接收器运动时，接收的频率小于发射的频率。综合上述两种情况：

$$f_1 = \frac{C}{C \pm V_0} f_0 \quad (2-14)$$

当波源迎向接收器运动时，上式取负号；当波源背离接收器运动时，上式取正号。

二、多普勒超声检测血流速度原理

在经颅多普勒诊断仪中，使用同一个换能器（探头）作为超声波的发射器和接收器，这样的结构检测出来的频率变化，则是由于反射物（血细胞）位置移动所引起的。

当探头发射超声波时，探头为波源，发射的频率为 f_0 ，运动速度为零。血细胞接收超声波为接收器，当其以速度 V_1 迎向探头运动时，从式 (2-9) 可知，血细胞接收的频率 f_1 为：

$$f_1 = \frac{C + V_1}{C} f_0 \quad (2-15)$$

当超声波入射到血细胞表面时，部分超声波由血

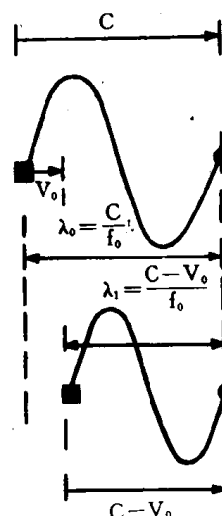


图 2-6 波源（实心方标）迎向接收器运动时产生频移图解

图的下半部分显示经过单位时间以后，波源和波的位置（说明见正文）。

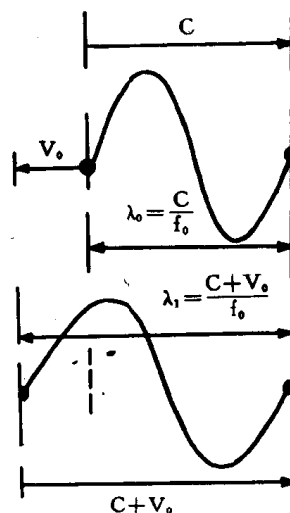


图 2-7 波源（实心方标）背离接收器运动时产生频移图解

图下半部分显示经过单位时间以后波源和波的位置。当波源发出波以后，在单位时间内波向前传播的距离为 C ，同时波源作反向运动，移动的距离为 V_0 。这样，本来分布在距离 C 的波，现在分布在距离 $C + V_0$ 的距离内，相当于把波拉长了，其波长为 $\frac{C + V_0}{f_0}$ 。