

人体组织中的超声传播参量 B/A *

孙永臣 董彦武 仝杰 汤贞生

(陕西师范大学应用声学研究所) (西安医科大学第一附属医院)

1987年1月26日收到

本文应用相对测量方法,用水做参考介质,测量了人的心、肝、肾、脑、皮肤、肌肉、胃、淋巴结、乳腺癌、胆囊、恶性肿瘤、肝癌等正常与非正常离体组织的超声传播参量——非线性参量、声衰减及声速等。收集了已发表的各种组织的非线性参量数据,并作了比较,讨论了非线性参量与组织成份及声速之间的关系,认为非线性参量作为超声诊断的新参量,具有广泛的应用前景。

一、引言

近年来,研究生物媒质超声特性的学者们开始注意另一个特征参量——生物媒质的非线性参量,试图通过它对媒质进行更为完善的描述。非线性参量可能同衰减、吸收、声速、阻抗及散射等参量一样,在组织特性研究和超声诊断方面具有重要意义^[1]。一些作者证实了超声设备在诊断应用中的非线性效应^[2-3],另外一些作者则报道了他们测量的生物媒质中非线性参量的结果^[4-6]。Ichida等人提出并实施了非线性参量断层成像^[7]。Apfel曾给出了混合物的非线性参量的模型,并通过测得的密度、压缩率、及非线性参量等,求出了组织的成份(水,脂肪,蛋白质含量等)^[8]。这些工作,都使得非线性参量的研究成为超声组织特性研究的热门题目之一。

超声学的发展中有机理等基础研究和应用的研究,前者的研究经常落在后面。例如,A型与B型超声诊断设备和一些超声治疗设备已在医院广泛应用,但正常与病变组织的衰减与声速等有关特性仍不清楚,超声治疗机理的研究则更是远远不够,这些都有待今后继续深入研究。特别是一些能够表征人体组织特性的新参量的研究。

本文应用文献^[4]中描述过的相对测量方法,来测量人体组织的非线性参量 B/A ,旨在部份验证非线性参量作为组织分辨工具的可能性。并用本测得值与已发表的各种组织的非线性参量作互相比较。

二、样品与测量

样品从西安医科大学第一附属医院手术室取回后,在3—4小时内测完。因胎儿(7个月引产)的组织样品较多,所以有一些在测量之前存放于冰箱内,温度保持0°C,未作特殊的固定措施。另外,我们还测量了一些取自同一人体的正常与病变组织的非线性参量。测量方法见文献[4]。测量精度估计不低于5%。

三、测量结果与讨论

胎儿的心、肝、肾、肌肉、脑、皮肤等组织,从切下到测量时间不等。淋巴结和乳腺癌组织是从同一乳房的相邻部位取下的,恶性肿瘤取自于大腿,肝的正常与癌组织取自同一肝脏。同时,对萎缩性胃炎组织也进行了测量,结果列于表1,表中也列入了其他作者测出的一些生物

* 国家自然科学基金资助项目

表1 各种生物组织的 B/A

组织	温度 (°C)	密度 (g/cm ³)	声速 (m/s)	衰减 (dB/cm/MHz)	非线性参量 B/A
胆囊(人)	26	1.0	1583.6	1.51	6.22
胆汁(猪)	24		1524		6.00 ^[4]
肝脏(人、猪、狗)					7.2-7.9 ^[1]
肝(人、胎儿)	17.3	1.022	1541.5	0.956	8.72
肝(猪)	26		1588	0.53	7.3 ^[4]
肝(猪)	24		1592		7.14 ^[4]
肝(牛)					6.88, 6.42 ^[11]
肝(人)	30	1.05	1573		6.54 ^[11]
肝(人)	26	1.054	1585.1	0.79	5.51
肝癌(人)	26	1.04	1580.6	0.53	5.3
肾脏(人、胎儿)	17.3	1.019	1513.5	0.80	8.98
肾(猪)	24		1554		7.1 ^[4]
肾(猪)	26		1569	0.50	6.9 ^[4]
肾(狗)					7.2 ^[11]
心脏(人、胎儿)	18	1.05	1529	0.81	5.8
心(猪)	24		1587		6.83 ^[4]
心(猪)	26		1572	0.61	7.1 ^[4]
肌肉(人、胎儿)	18	1.038	1547	0.28	7.43
肌肉(猪)	24		1574		7.55 ^[4]
肌肉(猪)					6.5 ^[11]
乳腺癌(人)	17	1.053	1522.5	0.51	9.11
淋巴结(人)	15.5	1.04	1513.8	0.58	8.21
脂肪, 脂肪组织					11.0 ^[11]
脂肪(猪)	26		1446	0.4	10.8 ^[4]
油脂(猪)	26		1455	0.5	10.4 ^[4]
皮下脂肪	24		1478		9.60 ^[4]
	25		1476		9.90 ^[4]
脂肪(人、乳房)	22	0.915	1481		9.206 ^[11]
	30	0.913	1477		9.909 ^[11]
	37	0.911	1436		9.633 ^[11]
脑(人、胎儿)	18.5	1.021	1516	0.295	6.55
脑(猪)	26		1550	0.6	5.9 ^[4]
皮肤(人、胎儿)	17.5	1.03	1537	0.31	7.87
萎缩性胃炎(人)	24.6	1.026	1555.8	0.89	5.75
恶性肿瘤(人)	24	1.023	1564.4	1.055	9.49

组织非线性参量的结果,以便比较。

由表1可以看出,正常与病变组织的非线性参量 B/A 确实是不同的。虽然这些差别不是很大。但各种不同组织之间却有明显差异(由表中所列胎儿的几种组织的 B/A 值可见)。乳腺癌及乳腺淋巴结具有较高的 B/A,表明它们可能有较高的蛋白含量,同时有很高的脂肪含量,这从速度的数据可以看出。恶性肿瘤(种类不明)的 B/A 很高,可能是因为内部结构改

应用声学

变所致。肝与肝癌的数据是例外,目前尚无法解释。

在前文中^[4],我们曾讨论了 B/A 与组织中蛋白质与类脂化合物含量之间的关系,并讨论了 B/A 与声速之间的关系。这后一关系,从本文表中的数据可以得到更为明确的验证。由 Hartman^[9] 的推导

$$B/A = \left[\frac{m+n+3}{3} - \frac{2(n+3)(m+3)}{3(m+n+3)} \right] + \frac{2(n+3)(m+3)(m\gamma u_0)^{1/2}}{9(m+n+3)} \cdot \frac{1}{c}$$

这里 m, n 是势能表达式 ($u = ar^{-n} - br^{-m}$) 内的指数, u_0 为 $T = 0$ 时液体的汽化热, r 为比热比。假如对不同组织来说, m, n, r, u_0 均大致相对,则上式可在不同组织状态下代表一种线性关系。从前文知道,实际上并不存在很好的线性关系,这可能是因为各种组织的内部结构以及其它因素不同,而有不同的 m, n, r 及 u_0 。由表1可见到,不同作者所测的同种组织的数据中,在脂肪的情况下, B/A 与声速倒数的线性关系明显,在肌肉,脑,肝和肾脏的情况下,也有类似的结果。肝的数据有一个例外(文献[5]的结果)。

四、结 论

各种组织的非线性参量表现出了明显的差异,而正是这些差异使得非线性参量可能作为诊断参量。它可能包含有组织结构,蛋白质及类脂化合物含量及其它信息。但是由于组织结构的复杂性,纯粹从 B/A 要获得完整的信息是麻烦的。前文^[4]已经指出了这一点,但从 B/A 仍可获得别的参量所不易获得的信息。

在大多数组织中, B/A 与声速的倒数成正比。在脂肪组织的情况,从类脂化合物的含量可以解释这种现象,因为脂肪声速低是因为类脂化合物含量高。而在其它组织的情况就不能这么解释了,因为 B/A 随蛋白质含量的增加而增加的同时,声速也会增加。因此, B/A 不仅与蛋白质及类脂物含量有关,且与其它更为复

(下转第8页)

语谱的上限频率要比气导的低一些。

三、试听验证

用可调带宽滤波器进行骨导语言清晰度试验也证明了上述结果。在前额部位,逐渐将150—5000 Hz 频带的高端切除,音节清晰度得分逐渐降低。当高端切除到1000 Hz 时,清晰度得分,前额仅为48%,头顶为52%,再把低端自150Hz 至400Hz 切除,清晰度也相应降低。当频带控制在250Hz—2100Hz 时,音节清晰度仍能保持在初始水平,即前额清晰度得分约为89%,头顶约为78%。听感效果窄带与宽带的差不多,沉闷感反而减少。这证实前额频谱的高端特性比气导的要差一些。

我们注意到头顶部位在不同带宽试验中,清晰度得分降低不象前额那样明显,它说明头顶的语谱比前额的更窄一些。

施加110dB 声级的粉红色噪声场进行试听比较,发现宽带150Hz—5000Hz 与窄带250 Hz—2100Hz 的清晰度得分基本一致,主观感觉窄频带的易听清语句(不费力)。

四、讨论

从听感效果上考虑频带宽度250Hz—2500Hz 最适宜。这是前额与头顶两部位都兼顾的频带宽度(若是腮部或喉头则频带将会更窄一些)。若从频谱包络均衡考虑,高端降低以后低频提高到400Hz,声音会发尖,清晰度虽

(上接第33页)

杂的结构变化有关。

参考文献

- [1] Dunn, F., Law, W., and Frizzell, L., 10th International Symposium on Nonlinear Acoustics, 1983, 22.
- [2] Rarker, K. J., *IEEE Trans.* **SU-32**(1985), 4.
- [3] Starritt, H. C., Perkins, M. A., Duck, F. A., and Humphrey, V. F., *J. Acoust. Soc. Am.*, **77**(1985), 302.
- [4] Sun Yongchen, Dong Yanwu and Zhao Hengy-

uan, Proceedings of IEEE 1985 Ultrasonics Symposium, 891.

没下降,自然度则明显不好。这可能是带宽过窄,包含的信息量减少太多的缘故。
所以,整机的工作频带不宜太宽。否则会使进入的噪声信号得到放大而影响清晰度。整机频响也不宜采用高频补偿电路,因为语言信号本身在高频端能量十分微弱,得到补偿的是高频噪声。对于语言清晰度来讲是弊多利少。从注意频谱包络均衡考虑,带宽为250Hz~2500Hz 是适宜的。但是,在低频噪声强的场合,不必过份强调均衡,应从实际出发,还是低端下限为300Hz 对抑制低频噪声有利,而且自然度无明显损失。注意到这点对高噪声环境下语言通信是有意义的。然而,也不宜频带太窄(象低频下限过高如400Hz)。频带太窄会把有用的语言信息人为地大量切除掉,同样也会明显地降低清晰度和自然度。

五、建议频带宽度

上述测试分析与讨论结果说明,气导语言通信系统的频带宽度300Hz~3400Hz 对骨导语言系统并不适宜。对骨导语言通信的频带宽度应定为300Hz~2500Hz 为宜,必要时也可定为250Hz~2500Hz。这样才符合骨导语言的特点。

参考文献

- [1] 管善群,电声技术基础,人民邮电出版社,1982年12月。
- [2] 林祥荣,电声技术,3(1988),53—60.
- [3] 林祥荣,电声技术,1(1988),1—10.

5] Sehgal, C. M., Bahn, R. C., and Greenleaf, J. F., *J. Acoust. Soc. Am.*, **76**(1984), 1023.

- [6] 龚秀芳,冯岩,石涛,叶式公,科学通报,31(1986),1104.
- [7] Ichida, N., et al., *Ultrasonic Imaging*, **5**(1983), 295.
- [8] Apfel, R. E., *J. Acoust. Soc. Am.*, **79**(1986), 148.
- [9] Hartmann, B., *J. Acoust. Soc. Am.*, **65**(1979), 1392.