

生物电介质物理学的进展

甄炳炼 陈志雄

(华中工学院固体电子学系)

由于生命科学的迅速发展及其与物理学之间的相互渗透,一门处在生物学、医学与电介质物理学之间的边缘学科——生物电介质物理学的雏形正在形成。

自七十年代末以来,由于时域波谱学(time domain spectroscopy)方法用于生物体系的测量研究,使生物电介质物理学有了很大的发展。由微型计算机控制的时域波谱仪能够迅速、无损伤和连续地对生物细胞、组织和器官进行测量,在很大程度上降低了测量的误差,提高了测量数据的精确度和可靠性,使人们对电磁波在生物组织中的传播规律、电磁波与生物组织的相互作用以及生物组织的介电性能等方面有了进一步的了解。生物电介质物理学的研究成果应用到医学方面,给疾病的诊断和治疗带来新的工具和手段,从而把一部分物理学家、生物学家和医学家的注意力吸引到这个十分活跃的领域中来。下面仅就其中的几个主要方面作简要介绍。

一、生物电介质的压电效应和热释电效应

早在四十年代初即已发现生物组织具有压电效应和热释电效应。但是,由于这些效应比较微弱,当时对它作深入的实验研究还存在着困难,因而进展缓慢。其后,随着物理学、电子技术和实验技术的发展,在五十年代初观测到人骨具有压电效应,引起许多研究者极大兴趣,使这方面的研究工作又重新活跃起来。

1941年, Martin 首先在木材和毛发中观测到压电和热释电现象。1951年, Bazhenov 再次证明了木材具有压电性。1956年, Fukada 报

道了苧麻和丝织纤维组织中的压电效应。1954年, Yasuda 报道了在骨上施加机械压力时产生电势的现象,随后他确认这一现象就是类似于晶体中的压电效应。与此同时, Bassett 也观测到了骨中的压电效应。

六十年代中期, Shamos 等对生物组织的压电效应进行研究,发现许多生物的软组织也和硬组织一样具有压电效应^[1]。他们发现人体前臂皮肤、猪背部皮肤、猫颈部皮肤以及脚板胼胝等软组织具有不同程度的压电性,还再一次证明了骨的压电性,但是在牙齿的珐琅质中却未观测到压电性。他们认为硬组织中的压电效应可能是由纤维分子而不是由矿物相的成分所引起;压电性是生物组织的基本性质,在生物组织中可能普遍存在,只是在有些组织中这个效应太微弱,现有的测量手段还无法进行观测。

在生物组织压电效应的研究中,以对骨的研究为最活跃,主要原因是科学家试图从这一研究中了解生物电的本质,以便为用电疗法治疗骨折和进行骨形变矫正术提供理论依据。

对离体或活体的小片骨、条骨和全骨施加弯曲力或压缩力,都表现出压电效应。当弯曲应力作用于条骨时,观测到的峰值电压一般有0.5—5mV。应力在骨上感生的压电信号,除了与应力的大小和持续时间有关以外,还依赖于样品的几何形状、取向、化学态以及电极的尺寸、位置等。

关于骨中压电效应的起因,迄今仍然是一个引起争论的问题。归纳起来,有四种主要的论点^[2]: (1)骨胶质中氢键的畸变或它们紧密的键合; (2)水分子在应力作用下重新取向; (3)低对称性的磷灰石矿物质结构缺陷; (4)应力使骨胶质的自发极化改变。大多数学者赞成后

一种论点。Lang 和 Arthenstaedt 分别证实了骨内呈现网络偶极矩，它是骨胶质中自发极化的根源，当应力作用于骨基体上时，骨胶质的自发极化发生变化，从而出现压电现象。

目前已发现木材、毛发、骨、杜鹃花和一些昆虫都具有热释电效应。但生物中的热释电效应更微弱，实验研究也更困难，研究工作进展不大。但科学家们预见到，随着对生物材料的热释电和压电效应的深入研究，将有可能对人体的生物电现象以及生物组织的生物电现象得到更深刻的认识。

二、人体电介质的研究及其在医学上的应用

对人体电介质性质的研究可分为三个方面：(1)细胞的介电性质；(2)组织和器官的介电性质；(3)整体的介电性质。目前，大量的研究工作集中在前两个方面。通过对细胞、组织和器官的介电性质的研究，使人们对生命的物质结构和活动规律增加了新的认识，从而推动了人体生理学和医学的发展。

过去曾对人体血液在射频下的介电弥散问题进行研究。近来 Laogun 等人研究了具有正常、变异和异常血红蛋白的血红细胞的射频介电性质^[3]，发现正常血红蛋白的血红细胞的射

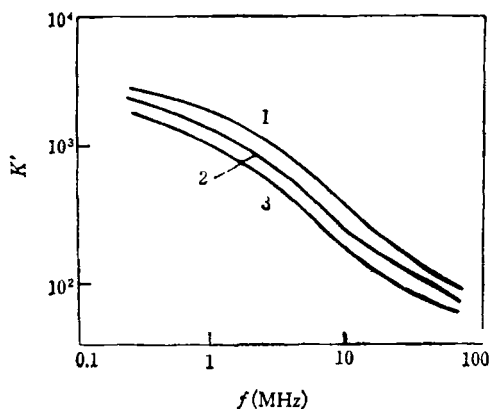


图 1

1. 正常血红蛋白的介电常数 K' 的频谱特性；
2. 变异血红蛋白的介电常数 K' 的频谱特性；
3. 异常血红蛋白的介电常数 K' 的频谱特性

频介电常数 K' (图 1) 和电导率 σ (图 2) 均与变异或异常血红蛋白的血红细胞的 K' 和 σ 有不同程度差别。他认为今后如能在定量上给出这一差别，则将可直接应用于临床诊断。

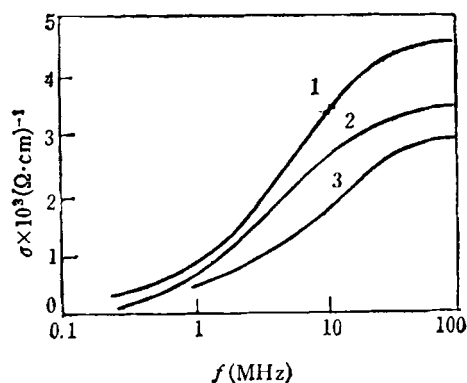


图 2

1. 正常血红蛋白的电导率 σ 的频谱特性；
2. 变异血红蛋白的电导率 σ 的频谱特性；
3. 异常血红蛋白的电导率 σ 的频谱特性

另一项有关血液电介质的研究是测量血清的介电常数。结果表明，正常人体血清蛋白的介电常数与在某些病理条件下血清蛋白的介电常数有较大的差别。估计通过大量的人体试验，并对数据进行分析处理，给出这一差别的定量值以后，这一技术也可用于临床诊断。

对生理学和医学较有影响的是关于骨的压电效应的研究。人体中能保留再生功能的只有骨头和皮肤等极少数组织，其它组织或器官的再生能力几乎都已退化。研究表明，具有再生能力的一般是能自发产生足够的生物电的组织。发现骨的压电效应，进一步证实这一结论的正确性。据此，临床上已采用充电疗法医治一些严重的骨折患者，利用外部电刺激的方法以补充其生物电的不足，促使骨组织再生^[2]。

近来，由于把高频和微波频段的时域波谱仪用于测量生物体的介电性质，使这方面的实验研究开展得非常活跃，从动物到人体以及从离体到活体的血液、皮肤、肝、心脏、骨、肌肉、眼睛和脑等一系列组织和器官都进行了测量^[3-6]。某些方面还积累了不少的临床试验数据。在高频和微波下对植物体的介电性质的研究，直接

促进了电磁波在农业方面的应用^[7]。

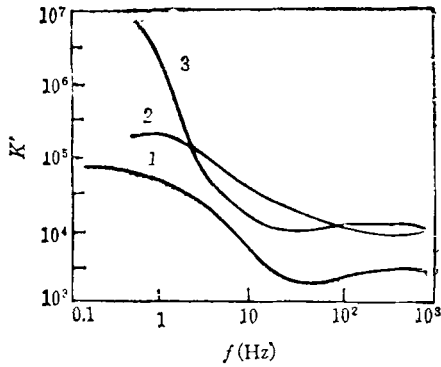


图3 活体的介电常数 K' 的频谱特性
1. 女性正常乳房; 2. 良性肿瘤乳房;
3. 恶性肿瘤乳房

英国研制成用微型计算机控制的 0.1Hz—100kHz 的波谱仪, 测量了人体的介电性质^[8]. 临床应用于测量女性正常乳房、良性肿瘤乳房和恶性肿瘤乳房的介电常数, 结果表明, 三者的介电常数 K' 的频谱曲线有明显差异 (图 3). 不久将能定量给出这种差异, 使之成为诊断疾病的有力工具. 用表面电极测量乳房的总电阻 R 表明, 正常乳房与病变乳房的总电阻频谱曲线有明显差异 (图 4). 利用这种简便方法诊断疾病颇受医生和病人的欢迎.

最近, 在人体总体水的测量方面又有新的

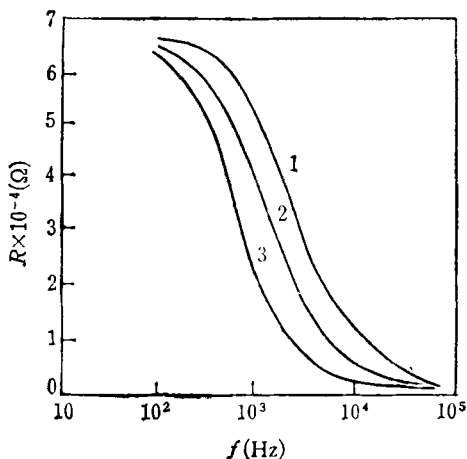


图4 活体的总电阻 R 的频谱特性
1. 女性正常乳房; 2. 良性肿瘤乳房;
3. 恶性肿瘤乳房

进展. 用微型计算机控制的阻抗测量仪, 能自动、连续地记录体内液体量的变化, 对危重病人人体的新陈代谢状况实现自动监护. 此法与传统的方法相比, 具有无损伤和迅速等优点. 不过, 生物阻抗测量的定标尚有待进一步研究.

三、生物电介质理论的研究

近来, 国外已将电介质物理学的基本理论用于研究生物电介质, 得到一些令人满意的结果.

对骨的压电效应的解释, 就是利用电极化理论的一个典型例子. 此外, 关于血红细胞的介电弥散, Laogun 等人借助德拜的极化模型, 认为血红蛋白存在的固有电矩, 在外电场作用下发生旋转或位移, 产生附加的极化效应, 从而对介电弥散有贡献. 他们还用 Cole-Cole 方程表述生物体的复介电常数, 用 Cole-Cole 图直观地表示生物体的介电弛豫^[3-6].

尽管如此, 目前生物体中的一些介电现象还未能得到完满的解释. 例如, 生物体的低频介电常数普遍较高, 有些竟可与铁电体的相比拟^[6], 其微观机制有待进一步研究.

鉴于生物电介质的介电性质对时间和环境十分敏感, 活体与离体、人体与动物的测量数据又有很大的差异, 因此要将电介质物理学的理论引用到生物电介质中进行系统的研究, 还存在不少困难. 但是, 从生物电介质物理学的现有成果可以预言, 它不仅将对生物学和医学产生深刻的影响, 而且也有可能对探索人体的特殊功能等问题提供一些线索. 因此需要物理学家、生物学家和医学家共同努力来开拓这一领域.

参 考 文 献

- [1] M. H. Shamos et al., *Nature*, **21**(1967), 267.
- [2] D. N. Ghista, *Applied Physiological Mechanics*, harwood academic publishers, New York, (1979), 181.

(下转第 741 页)