



SHENGWU
YIXUEWULI
YANJIU

陈达 主编

生物医学物理 研究



科学出版社

www.sciencep.com

生物医学物理研究

陈 达 主 编

李 鲁 副主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书汇集了全国高校、科研院所从事生物医学物理研究科研人员的最新研究论文 50 篇。内容涉及生命基本过程研究、物质波生物效应、生物医学信号检测与分析、肿瘤治疗物理、医学成像物理、诊疗设备原理与技术、磁医学等领域的研究成果。可供从事本领域研究的教师、科研人员、研究生及相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

生物医学物理研究/陈达主编. —北京: 科学出版社,
2008.

ISBN 978-7-03-021799-8

I. 生… II. 陈… III. 生物物理学: 医用物理学—文集
IV. R312-53 Q6-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 060663 号

责任编辑: 谭宏宇 / 责任校对: 刘珊珊
责任印制: 刘 学 / 封面设计: 一 明

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

上海杨中印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2008 年 5 月第一次印刷 印张: 15 1/2

印数: 1 1 300 字数: 358 000

定价: 48.00 元

《生物医学物理研究》编委会

主 编：陈 达

副主编：李 鲁

编 委：(按姓氏笔画排序)

王 俊	王 蔚	宁新宝	刘文魁
刘宏清	孙润广	李 鲁	吴樟兴
吴 巍	沈建民	陈 达	陈其才
陈 颖	张 胜	金兴梅	赵建民
徐寅林	熊建平		

序

· 生物医学物理是研究生物医学乃至整个生命科学中物理现象的科学,也是一个由物理学、生物学、医学、农学等多种学科联合、交叉的综合性学科和领域。研究成果可为生物医学、农学等学科的教学、科研以及临床疾病诊断和农作物、家禽、家畜品种繁殖(育)等服务。

生命科学要以大科学模式构建,集生物、医学、物理、化学、电子、数学、计算机等不同学科的海内外一流人才,进行学科交叉研究。大科学需要大合作,包括学科间的合作以及广泛的国际合作,以便对整个生命体作系统性研究。生物与医学结合、生物医学与物理结合,是符合我国中医学系统论的观点,强调整体认识和调节人体生命活动。我国早在1990年就由来自各个学科的几百位专家教授经研讨命名了“生物医学物理学”这个新学科名称,这与国际上1991年《美国物理学会新闻》杂志对会议论文分类时,在生物物理学下面正式设立“医学物理学”和“生物医学物理学”两个交叉子学科不约而同。这是学科发展的需要,时代的需要。因此,我们从事的生物医学物理学学科研究肩负着这样一种大科学性质研究的历史使命。

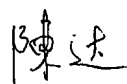
生物医学物理学是在整体或系统水平、细胞水平、分子水平和电子或量子水平上,研究生命物质的物理性质和生命现象的物理规律。其中包括:对基本生命过程机制的研究(核酸和蛋白质等生物大分子的晶体结构及溶液构象;蛋白质折叠机制和规律,它与疯牛病、老年症等疾病以及基因复制和重大遗传疾病的进化机制息息相关;膜的流动性、自由基与病理过程、致癌化合物的电子结构、药物疗效与结构关系等);对在医学、农学实践中的研究(X射线、CT、核磁共振成像、生物导弹、磁场和激光等在诊断、治疗和预防中的作用,物理因子对种子和鱼类的处理、光合作用的人工模拟、食物的保鲜、培育良种和提高抗病能力发挥作用等);21世纪中一些关键性前沿的课题研究(包括与之有关的感觉与认识、运动与行为控制、记忆与学习、生物医学信号非线性动力学分析、语言与思维,以及和分子及细胞水平相关的分子识别与应答、能量转换、细胞调节与识别、组织与形态发生,还提出结构分析、动力学测定、无损伤测定、运动功能测定、细胞微细结构测定等必需的技术手段开发研究课题等);研究

DNA、酶和蛋白质等分子的特性并利用基因工程生产生物计算机适用的 DNA、酶和蛋白质分子(DNA 计算机在美国已进行了原理性试验)。

研究的具体课题有:生命基本过程研究(生物系统的整合与定量化研究,生物大分子的相互作用,生物神经网络系统);物质波生物效应;生物医学信号检测与分析;肿瘤治疗物理;医学成像物理;诊疗设备原理与技术。

对生命科学的基础研究、应用研究、以及相关技术的开发,都离不开物理。生物医学物理将在生命科学的发展中起重要作用。

本书编辑了有关生物医学物理学内容的研究论文 50 篇。期望对本领域开展广泛而深入的研究发挥积极作用。



2007 年 12 月于南京

目 录

序

几内亚长翼蝠单个下丘神经元时程调谐及前掩蔽特性

..... 付子英 NG Bibikov 吴飞健 陈其才 (1)

乳腺 X 射线图像中提取乳腺区域算法的研究 陈 磊 张 凯 (9)

人体电磁辐射的数值模拟及温度仿真研究概述..... 梅 光 周晓明 杨 凯 (13)

Singularity Spectrum Analysis on Melancholia's EEG Signals

..... Zhang Sheng Wang Wei Yu Shuibao (17)

控制参数对相干共振现象的影响..... 余 光 易 鸣 甘 妮 唐 军 贾 亚 (22)

信号分子涨落与被调节分子涨落关系的定量研究

..... 易 鸣 余 光 唐 军 甘 妮 贾 亚 (27)

人体 ECG 信号的多重分形特性 杨小冬 宁新宝 庄建军 (30)

超声协同臭氧处理化纤废水的研究

..... 邱潇潇 周卓晟 翟 琦 浦跃朴 尹立红 吴晓歌 吴 巍 (34)

磁性纳米微粒及其在生物学中的应用..... 楼恩平 张 胜 (38)

大鼠心电检测系统的设计..... 霍铖宇 宁新宝 卞春华 庄建军 (42)

不同功率低频超声辐射血管内微泡产生生物效应的对比研究

..... 翟 琦 邱潇潇 浦跃朴 尹立红 吴晓歌 吴 巍 (45)

外磁场临床应用的几个问题..... 金兴梅 阮中中 钱 农 虞美云 (49)

基于 AT91SAM7S64 USB 接口的 8 通道心电数据采集系统设计

..... 吴旭辉 何爱军 宁新宝 (52)

粗粒化对去趋势波动分析的影响

..... 徐寅林 宁新宝 H. Eugene Stanley Plamen Ch. Ivanov (57)

He - Ne 激光照射对培养肺腺癌 A549 细胞生长的影响研究 阮中中 陈 钢 (63)

基于自发脑电的脑控键盘技术..... 王 蔚 (67)

单胺类神经递质与机体情绪反应..... 成 良 廖晓梅 陈其才 (71)

高压静电提高种子活力的数显电导仪研究..... 熊建平 林军伟 方运良 (75)

快速型室性心率失常发作前心率变异性信号的动力学特征

..... 庄建军 宁新宝 霍铖宇 杨 希 (80)

超声辐射对太湖铜绿微囊藻时间-抑制作用的比较研究

..... 邱潇潇 冯圆圆 翟 琦 浦跃朴 尹立红 吴晓歌 吴 巍 (85)

脉冲磁共振序列成像..... 黄笃之 谢襄彤 周达林 孙宝刚 (90)

钙离子通道簇间耦合效应对细胞钙离子信号的影响

..... 唐 军 易 鸣 马 军 于 光 甘 妮 贾 亚 (96)

如何预防手机电磁辐射危害·····	刘文魁	杨旭明	(100)
近红外光谱监测加速度暴露后脑血氧饱和度的变化·····	孙佳石	陈宝玖	于 涛 (103)
声刺激模式对 CF/FM 蝙蝠下丘神经元恢复周期的影响 ·····	唐 佳	付子英	吴飞健 陈其才 (107)
声信号时程和强度对普通伏翼蝠下丘神经元恢复周期的影响 ·····	王 欣	罗 峰	吴飞健 陈其才 (113)
一种基于径向基概率神经网络的脑机接口模式识别方法 ·····	沈广泽	司峻峰	宁新宝 (115)
人体血液和组织器官葡萄糖含量荧光检测研究·····	汤飞飞	钱志余	(119)
核磁共振成像理论教学的 Matlab 仿真实现 ·····	汪红志	张学龙	武 杰 许红玉 (124)
心电图 ST 段的多尺度熵研究 ·····	王 俊	马千里	司峻峰 宁新宝 (132)
金属离子诱导淀粉样 β 蛋白构象转变·····	李文飞	王 骏	王 炜 (137)
心电无线遥测系统研究与开发·····	赵正平	陈 蕴	钱久春 (139)
核磁共振弛豫过程的特性及其应用·····	刘 聪	任朝辉	汪红志 张学龙 (144)
位移电流纵向分量激发的磁场为零·····	熊建平	陈庆金	(156)
基于 NMR 进行食品含水量测定的理论分析 ·····	任朝辉	刘 聪	汪红志 张学龙 (162)
检测重金属的超微电极阵列传感器研究·····	李 毅	蔡 魏	高小明 王 平 (168)
细胞阻抗传感器及其生物医学应用研究 ·····	胡朝颖	肖丽丹	王 君 朱 斯 王 平 (172)
辣椒素和溶液酸化活化 TRPV1 通道诱导大鼠滑膜细胞死亡 ·····	胡 芬	孙文武	杨文修 (176)
基于快慢时间尺度正反馈耦合的基因开关的性能优势 ·····	张小鹏	成 章	刘 锋 王 炜 (182)
质膜微囊内陷的研究进展·····	董维权	孙润广	(186)
金银花中绿原酸提取工艺比较·····	韩 涛	孙润广	(191)
金属离子对 LB 膜的结构及稳定性的影响 ·····	蓝永康	刘志存	孙润广 (197)
柴胡多糖的研究现状和进展·····	李 岱	张 静	孙润广 (202)
党参多糖硫酸化衍生物的制备及抗氧化活性研究 ·····	任丽靖	张 静	刘志存 孙润广 (206)
超声波在中草药多糖研究中的应用·····	王 博	孙润广	张 静 (210)
脂筏微区超分子聚集体单层膜相变行为的研究·····	王海龙	孙润广	(214)
系统科学在生物物理研究中的应用·····	杨 谦	孙润广	(220)
黄芪多糖的研究现状·····	张 静	孙润广	(228)
Na^+ 对 SM/PC/Chol/GM1 模拟脂筏结构的影响和原子力显微镜观察 ·····	张 明	韩 旭	孙润广 (232)
猪肝线粒体 $\text{F}_1 - \text{ATPase}$ 的提纯及其结构的原子力显微镜研究 ·····	朱华泽	孙润广	刘 田 (236)

几内亚长翼蝠单个下丘神经元 时程调谐及前掩蔽特性

付子英¹ NG Bibikov² 吴飞健¹ 陈其才¹

¹ 华中师范大学生命科学学院, 武汉 430079

² N N Andreyev Acoustical Institute of Federal Science Center of Russia,
Schverniki st. 4, Moscow, 117036, Russia

摘要: 在自由声场条件下, 以强度为神经元阈上 5 dB, 时程为 2, 4, 10, 20, 35 ms, *PR* 分别为 0.5, 1, 2, 3.3 Hz, 观察和记录 *PR* 对神经元时程调谐特性的影响, 然后固定 *PR* 为 1 Hz, 探测声的时程为 10 ms, 掩蔽声和探测声 onset 间隔为 50 ms, 改变掩蔽声时程, 研究具有时程调谐特性神经元的前掩蔽特性。实验共记录声敏感神经元 89 个, 结果发现: ① 随着 *PR* 的增加, 神经元的时程调谐类型由长通或者全通型向带通、短通型转变, 大多数神经元关键带带宽变窄 ($P < 0.001$); ② 前掩蔽的效果与神经元的时程调谐特性无关, *R* 值随着时程的增加而增加 ($P < 0.001$)。文中探讨了 *PR* 对时程调谐特性影响的行为学意义以及具有时程调谐特性神经元前掩蔽效应形成的可能机理。

关键词: 脉冲重复率; 时程调谐; 前掩蔽; 下丘神经元

1 引言

声音的时程是一个重要的时相特征参数, 听觉神经元的时程选择性在声音的识别, 特别是语言、动物间的通讯, 以及蝙蝠的回声定位中扮演着重要角色 (Covey and Casseday, 1999; Dai and Wright, 1995; Dai and Wright, 1999; Hafter et al., 1993; Popper and Fay, 1995; Shannon et al., 1995; Wright and Dai, 1994)。目前的研究表明, 下丘 (inferior colliculus, IC) 中央核是一个具有时程选择性的听觉结构。根据时程调谐曲线, 下丘神经元表现出短通、带通、长通以及全通四种时程选择性 (Brand et al., 2000; Casseday et al., 1994; Casseday et al., 2000; Covey et al., 1996; Jen and Feng, 1999; Jen and Schlegel, 1982; Jen and Wu, 2005; Jen and Zhou, 1999; Wu and Jen, 2006; Zhou and Jen, 2001)。全细胞膜片钳记录显示声敏感性神经元存在声诱发的兴奋性和抑制性突触后电流, 对应现象 Casseday 等人提出了时程选择性的理论解释。这个理论包括三个部分: ① 神经元首先接受抑制性输入, 并且抑制性输入持续在整个声时程中; ② 兴奋性输入是瞬时的, 并且一般滞后于抑制性输入; ③ 时程调谐特性是兴奋性和抑制性输入在空间和时间上相互作用的结果 (Casseday et al., 1994; Covey et al., 1996; Ehrlich et al., 1997; Guang-Di Chen, 1998)。前掩蔽最早发现于心理声学, 目前人们认为前掩蔽是外周听觉结构的非线性和高级听觉中枢结构线性整合的结果, 但神经适应的结果也不能排除 (Andrew J. Oxenham, 2001)。蝙蝠是一种生物声纳动物, 当它们处于不同飞行状态时, 其发声脉冲重复率 (pulse repetition rate, *PR*) 实验中也称为刺激脉

冲呈现率(pulse presentation rate, PRR)也不同,为避免发声与回声之间在时间上的重复和干扰乃至前掩蔽,每个声脉冲的时程应随 PR 的变化而改变,因此,听中枢神经元如何因不同重复率而进行时程调谐? 本文在几内亚长翼蝠的下丘神经元上观察和记录了不同 PR 下单个神经元的时程调谐特性,并分析了具有时程调谐特性的神经元的前掩蔽效应。

2 材料和方法

2.1 动物手术和电极制备

5 只健康的几内亚长翼蝠(*Miniopterus magnater*)被用于本实验,体重 $13.0 \sim 17.3$ (14.9 ± 2.2)g,雌雄不拘。手术时用戊巴比妥钠(Nembutal, $45 \sim 50$ mg/kg b. wt.)腹腔注射麻醉,头顶正中切开头皮,暴露头顶颅骨,除去表面的肌肉和结缔组织,并用 95%酒精棉球反复擦拭,使颅骨表面脱脂。将 1 根 1.8 cm 长的平头铁钉用 502 强力胶粘定在头顶颅骨上,并用牙科水泥加固,供记录时固定动物。用利针在下丘(inferior colliculus, IC)所在部位的颅骨上钻一个直径 $200 \sim 500$ μm 的小孔,并挑破脑膜,暴露 IC,以供插入微电极,维持动物于浅麻醉状态。临实验前,将单管玻璃微电极毛坯(外径 1.5 mm)在微电极拉制器(Bioscience Co, UK)上拉成单管微电极(尖端直径 <1 μm),管内灌注 2 mol/L 的 NaCl 溶液,阻抗 $5 \sim 10$ M Ω 。

2.2 声刺激系统和信号记录系统

自由声场刺激,喇叭固定于垂直方位即 Elevation 的 0 平面(该平面与动物鼻眼线保持同一水平)和水平方位(Azimuth)对侧 30° 。声刺激系统有函数信号发生器(GFG-8016G, Good Will Instrument Co., LTD)、短声发生器(自制)、声强衰减器(LAT-45, LEADER, Japan)、高频功率放大器(自制)和扬声器(AKG model CK50, 直径 1.5 cm, 1.2 g, 频响: $1 \sim 100$ kHz)。声刺激系统用声级计(B & K-2610, Denmark)和 1/4 英寸(1 英寸 = 2.54 cm)麦克风(4936, B & K)校正。玻璃微电极由微电极推进器(Kopf 640, USA)从 IC 表面垂直推进,神经元声反应动作电位引导至生物电信号放大器(ISO-DAM, WPI, USA)放大后,经模/数(A/D)转换输至计算机采样,32 次刺激的反应叠加并转换成刺激后时间直方图(post-stimulus-time histogram, PSTH)储存,供进一步分析处理。反应信号同时送至模拟示波器(PM3084, Fluke, USA)监视,至监听装置(AM9, GRASS, USA)监听。

2.3 声刺激和神经元声反应的记录

刺激声脉冲(信号)频率与神经元特征频率(characteristic frequency, CF)或最佳频率(best frequency, BF)相同,起落时间(rise and decay time)为 0.5 ms,时程(duration)分别为 2、4、10、20、35 ms, PR 分别为 0.5、1、2、3.3 Hz,即响应的短纯音间隔为 2 000、1 000、500、300 ms。实验中先用 PR 为 1 Hz、时程为 10 ms 的短纯音寻找声敏感性神经元,确定神经元的特征频率、最小阈值(minimum threshold, MT)和记录深度(depth)。接着,用神

神经元的 CF 声,强度为阈值上 5 dB(MT+5 dB),时程固定于 10 ms,测定神经元对不同 PR 的反应;再于不同 PR 条件下,测定神经元的时程调谐;最后,用神经元最佳频率声,PR 为 1 Hz,探测声时程为 10 ms,掩蔽声 onset 和探测声 onset 间隔为 50 ms,研究具有时程调谐特性神经元的前掩蔽效应。

2.4 数据分析

叠加神经元对 32 次声刺激的反应的刺激后时间直方图 (post-stimuli-time histograms, PSTHs),并用 Origin6.0 和 SigmaPlot2000 软件对实验数据作进一步处理和作图。配对 t 检验及单因素方差分析(One-way ANOVA)。

3 结果

在几内亚长翼蝠下丘共记录到 89 个声敏感神经元,其中有 70 个获得了时程调谐的数据,76 个获得了前掩蔽效应的数据。全部神经元的记录深度范围 679~2 375 ($1\,546.6 \pm 350.3$) μm ,特征频率范围 10.3~75.1 (33.32 ± 17.0) kHz,最小阈值范围 38~89 (63.6 ± 14.6) dB SPL。

3.1 PR 对时程调谐的影响

在做了 PR 对时程调谐影响测定的 70 个神经元中,54 个神经元获得了完整的数据。我们以最大发放数下降 50%作为标准,确定各个 PR 下时程调谐曲线的关键带(critical band),关键带的数值计算方法参见下面公式。结果观察到随着 PR 的增加,时程调谐类型由全通(all pass, AP)、长通(long pass, LP)向带通(band pass, BP)、短通(short pass, SP)转变。通过分析不同 PR 条件下神经元时程调谐的带宽,观察到带宽随 PR 增加而呈现 2 种变化类型,一种变化类型是绝大多数神经元随 PR 的增加,带宽逐渐变窄或下降[图 1A(a-5, a-6)](时程调谐变得锐化) ($P < 0.001$);另一种变化类型是极少数神经元随 PR 的增加表现出无规律变化[图 1B(b-5, b-6)]。

各类型时程调谐关键带带宽计算公式:

$$SP : D_B = X - 2$$

$$LP : D_B = 35 - X$$

$$BP : D_B = X_R - X_L$$

$$AP : D_B = 35 - 2$$

3.2 具有时程调谐特性神经元的前掩蔽效应

本实验共在 76 个声敏感神经元上测试了前掩蔽效应,68 个神经元获得了完整数据。实验数据表明不论该神经元的时程调谐类型为长通[图 2A(a-1)]、全通[图 2B(b-1)]、短通[图 2C(c-1)]或者带通[图 2D(d-1)],前掩蔽的效果都随着掩蔽声的时程增加而增加(表现为探测声发放数单调降低)。我们定义一个参数 R 来描述掩蔽效果。 R 的计算公

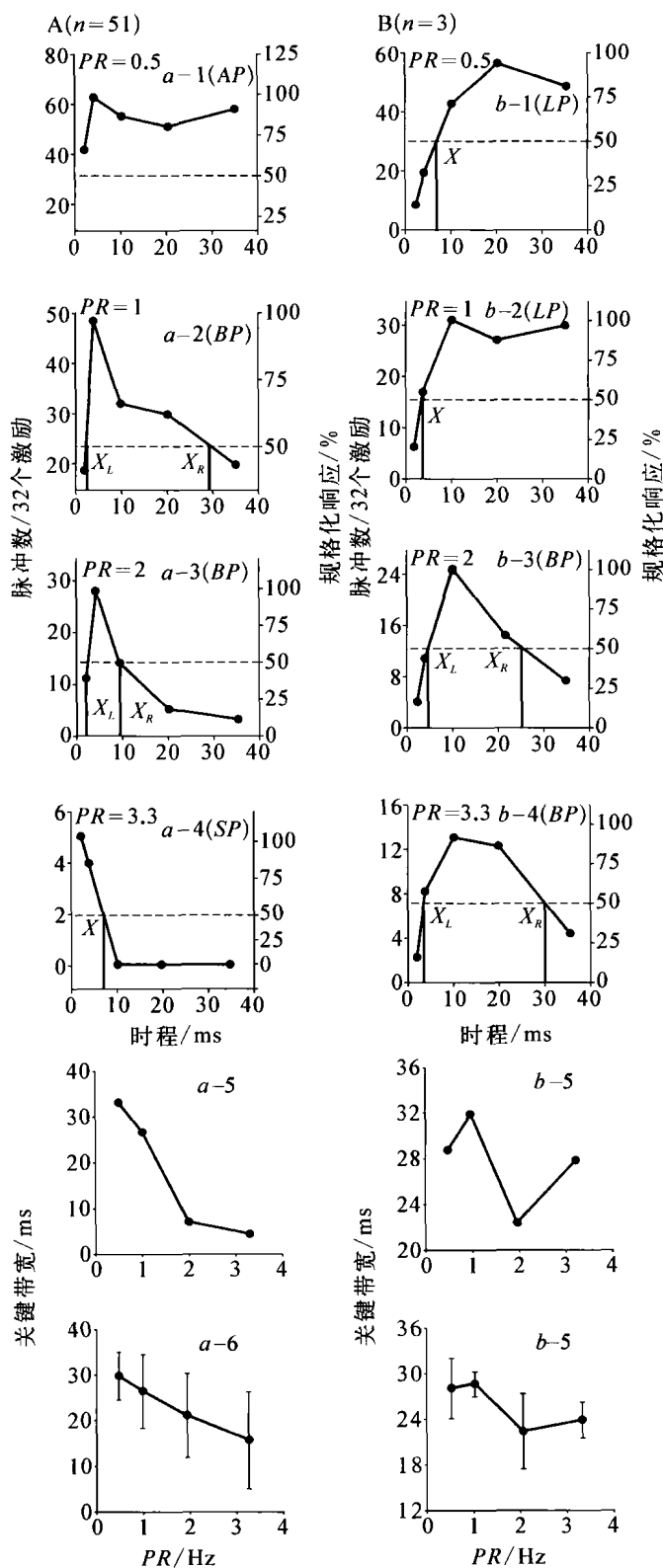


图1 PR 对神经元时程调谐的影响

A($a-1 \sim a-4$), B($b-1 \sim b-4$)是神经元在 PR 分别为 0.5、1、2 和 3.3 Hz 时的时程调谐曲线,图中虚线是以最大发放率下降 50% 作为标准,确定时程调谐的关键带(critical band)。A($a-5$)和 B($b-5$)为不同 PR 下的关键带宽, A($a-6$)和 B($b-6$)为该类型神经元在不同 PR 下的平均带宽。这两个(A、B)代表性神经元的记录深度(μm)、特征频率(kHz)和最小阈值(dB SPL)分别为 A: 28、68、1 745; B: 21、52、1 732。各样点上的垂直线为标准差。AP(all pass)全通, BP(band pass)带通, SP(short pass)短通, LP(long pass)长通。

式为: $R = (n_1 - n_2) / (n_1 + n_2)$, 式中 n_1 为神经元对掩蔽声的发放率, n_2 为神经元对探测声的发放率, 从公式中可以看出 R 在 -1 到 $+1$ 之间取值。从图 2 中可以看出随着掩蔽声时程的增加, R 值为单调增加[图 2A(a-2), B(b-2), C(c-2), D(d-2)], 且在较低掩蔽声时程时 R 值增加迅速。图 3 显示不同掩蔽声时程下的平均 R 值。从图中可以看出 R 值随着掩蔽声时程增加而增加 ($P < 0.001$), 当掩蔽声生成成为 35 ms 时, R 值接近为 1, 且标准差接近为 0 (即探测声已经几乎被完全掩蔽)。

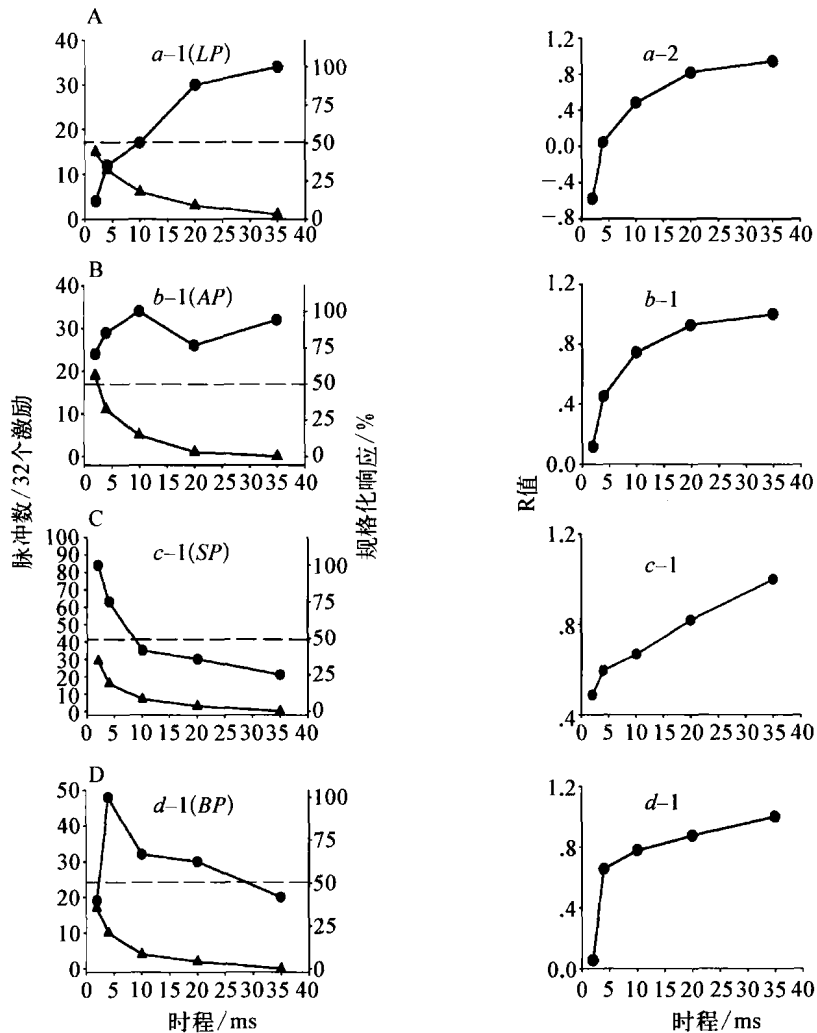


图 2 具有时程调谐特性神经元的前掩蔽效应

A(a-1), B(b-1), C(c-1), D(d-1)中实心圆圈代表掩蔽声的在各个时程下的发放率, 实心三角代表当掩蔽声时程变化时探测声的发放率, 虚线为掩蔽声最大发放率下降 50% 作为标准定义该神经元的时程调谐类型。A(a-2), B(b-2), C(c-2), D(d-2)为 R 值随掩蔽声时程增加的变化曲线。这 4 个(A、B、C、D)代表性神经元的记录深度(μm)、特征频率(kHz)和最小阈值(dB SPL)分别为 A: 2 038, 15, 70; B: 1 275, 33, 67; C: ; D: 1 745, 28, 68。AP(all pass)全通, BP(band pass)带通, SP(short pass)短通, LP(long pass)长通。

图 3 各样点上的垂直线为标准差,其上数值为被统计的神经元数。

4 讨论

4.1 PR 对时程调谐的影响

本实验观察到 IC 神经元随着 PR 的增加,时程调谐的类型由长通或者全通向短通、带通调变。我们以最大发放率下降 50% 作为标准,定义各个 PR 下时程调谐曲线的关键带,发现绝大多数神经元(51/54, 94.4%)的带宽随着 PR 的增加而单调减小 ($P < 0.001$)。蝙蝠在捕食等行为的不同时相发出的 PR 不同,当靠近

猎物或靶物时,PR 逐渐增加(Griffin, 1958; Simmons et al., 1979; Surlykke and Moss, 2000),蝙蝠的这种行为被认为有利于锐化其多参数回声的选择性和获得更多有关猎物的信息(Jen and Zhou, 1999; Jen et al., 2001, 2002; Zhou and Jen, 2002; Wu and Jen, 1996)。本研究发现随着 PR 的增加,不仅增强了下丘神经元的时程选择性,缩小了关键带带宽;而且由 PR 增加所致的每个声脉冲时程缩短,极大地减弱了发声对回声造成的前掩蔽,从而使神经元在高 PR 时对短时程的敏感性提高,这与蝙蝠的声纳行为相匹配。另外,还有少数神经元的关键带带宽随着 PR 增加表现为无规律变化 ($P > 0.01$),它们的生物学意义还有待于进一步研究来证明。

4.2 具有时程调谐特性神经元的前掩蔽效应

先前对神经元在前掩蔽条件下的放电率和恢复时间做了大量研究(Litovsky RY, Colburn HS, 1999; Brosch M, Schreiner CE, 1997; Finlayson PG, 1999)。本实验针对蝙蝠特有的发声重复率可改变的行为,研究具有时程调谐特性的单个下丘神经元的前掩蔽特性,分析神经元时程调谐与前掩蔽之间的关系,发现不论神经元的时程调谐属何种类型,受掩蔽程度均随掩蔽声时程的增加而增加 ($P < 0.001$),这说明听中枢内的神经抑制在前掩蔽过程中发挥着重要的作用。Casseday 等人利用全细胞膜片钳技术在清醒蝙蝠上记录到声敏感神经元在受到声刺激后存在兴奋性和抑制性输入,神经元首先接受抑制性输入,并且抑制性输入持续整个声时程,接着接受兴奋性输入,而兴奋性输入为瞬时性的。据此他们提出声敏感性神经元的时程调谐特性是这种兴奋性和抑制性输入在空间和时间上的整合而形成的(Casseday et al., 1994; Covey et al., 1996)。因此,当探测声或信号声时程不变时,随掩蔽声时程的增加导致产生的抑制性输入作用也延长,于是掩蔽效应随之增强,使神经元对探测声的发放率降低。

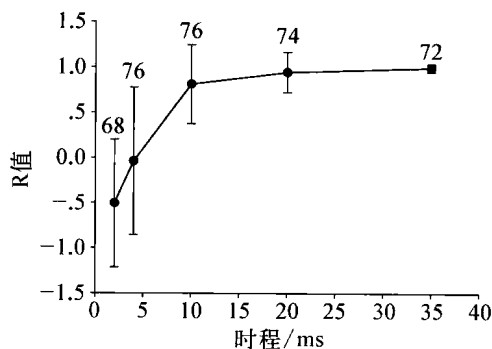


图 3 不同掩蔽声时程下的平均 R 值

参 考 文 献

- Brosch M, Schreiner CE. 1997. Time course of forward masking tuning curves in cat primary auditory cortex. J Neurophysiol, 77: 923~943.

- Brand A, Urban A, Grothe B. 2000. Duration tuning in mouse auditory midbrain. *J. Neurophysiol*, 84: 1790~1799.
- Covey E, Casseday JH. 1999. Timing in the auditory system of the bats. *Annu. Rev. Physiol*, 61: 457~476.
- Casseday JH, Ehrlich D, Covey E. 1994. Neural tuning for sound duration: role of inhibitory mechanisms in the inferior colliculus. *Science*, 264: 847~850.
- Casseday JH, Ehrlich D, Covey E. 2000. Neural measurement of sound duration: control by excitatory-inhibitory interaction in the inferior colliculus. *J. Neurophysiol*, 84: 1475~1487.
- Covey E, Casseday JH. 1999. Timing in the auditory system of the bats. *Annu. Rev. Physiol*, 61: 457~476.
- Chen GD. 1998. Effects of stimulus duration on responses of neurons in the chinchilla inferior colliculus. *Hear Res*, 122: 142~150.
- Dai H, Wright BA. 1995. Detecting signals of unexpected or uncertain durations. *J. Acoust. Soc. Am*, 98: 798~806.
- Dai H, Wright BA. 1999. Predicting detectability of tones with unexpected durations. *J. Acoust. Soc. Am*, 105: 2043~2046.
- Ehrlich D, Casseday JH, Covey E. 1997. Neural tuning to sound duration in the inferior colliculus of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *J. Neurophysiol*, 77: 2360~2372.
- Finlayson PG. 1999. Post-stimulatory suppression, facilitation and tuning for delays shape responses of inferior colliculus neurons to sequential pure tones. *Hear Res*, 131(1-2): 177~194.
- Griffin DR. 1958. *Listening in the Dark*. Yale University Press, New Haven.
- Haftner ER, Schlauch RS, Tang J. 1993. Attending to auditory filters that were not stimulated directly. *J Acoust. Soc. Am*, 94: 743~747.
- Jen PHS, Feng RB. 1999. Bicuculline application affects discharge pattern and pulse-duration tuning characteristics of bat inferior collicular neurons. *J. Comp. Physiol. A*, 184: 185~194.
- Jen PHS, Schlegel P. 1982. Auditory physiological properties of the neurons in the inferior colliculus of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *J. Comp. Physiol. A*, 147: 351~363.
- Jen PHS, Wu CH. 2005. The role of GABAergic inhibition in shaping the response size and duration selectivity of bat inferior collicular neurons to sound pulses in rapid sequences. *Hear. Res*, 202: 222~234.
- Jen PHS, Zhou XM. 1999. Temporally patterned sound trains affect duration tuning characteristics of bat inferior collicular neurons. *J. Comp. Physiol. A*, 185: 471~478.
- Jen PHS, Wu CH, Luan RH et al. 2002. GABAergic inhibition contributes to pulse repetition rate-dependent frequency selectivity in inferior colliculus of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *Brain Res*, 948: 159~164.
- Jen PHS, Zhou XM, Wu CH. 2001. Temporally patterned sound trains affect intensity and frequency sensitivity of inferior collicular neurons of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *J. Comp. Physiol. A*, 187: 605~616.
- Litovsky RY, Colburn HS. 1999. The precedence effect. *J Acoust Soc Am*, 106: 1633~1654.
- Oxenham AJ. 2001. Forward masking: Adaptation or integration? *J. Acoust. Soc. Am*, 109: 732~741.
- Popper AN, Fay RR (Eds.). 1995. *Hearing by Bats*. Springer, New York.
- Shannon RV, Zeng FG, Kamath V, et al. 1995. Speech recognition with primary temporal cues. *Science*, 270: 303~304.
- Simmons JA, Fenton MB, O'Farrell MJ. 1979. Echolocation and pursuit of prey by bats. *Science*, 203: 16~21.
- Surlykke A, Moss CF. 2000. Echolocation behavior of big brown bat, *Eptesicus fuscus*, in the field and the laboratory. *J. Acoust. Soc. Am*, 108: 2419~2429.
- Wright BA, Dai H. 1994. Detection of unexpected tones with short and long durations. *J. Acoust. Soc. Am*, 95: 931~938.
- Wu M, Jen PHS. 1996. Temporally patterned sound pulses affect directional sensitivity of inferior collicular neurons of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *J. Comp. Physiol. A*, 179: 385~393.
- Wu CH, Jen PHS. 2006. The role of GABAergic inhibition in shaping duration selectivity of bat inferior collicular

- neurons determined with temporally patterned sound train. *Hear. Res.*, 215; 56~66.
- Zhou XM, Jen PHS. 2001. The effect of sound intensity on duration-tuning characteristics on bat inferior collicular neurons. *J. Comp. Physiol. A*, 187; 63~73.
- Zhou XM, Jen PHS. 2002. The role of GABAergic inhibition in shaping directional selectivity of bat inferior collicular neurons determined with temporally patterned sound trains. *J. Comp. Physiol. A*, 188; 815~826.

乳腺 X 射线图像中提取乳腺区域算法的研究

陈 磊 张 凯

扬州大学物理科学与技术学院,扬州 225002

摘 要: 本文介绍了一种在乳腺 X 射线图像中提取有效的乳腺组织区域的处理算法,利用时域处理和形态学处理相结合的方法,对乳腺 X 片图像进行处理,去除无用背景像素点,有效减少后期增强、分割处理的数据量。

关键词: 乳腺 X 射线图像;图像提取;时域;形态学

1 前言

目前乳房癌仍是世界妇女疾病中最难预防的一种,死亡率居第二位。乳腺癌的早期发现、早期诊断和早期治疗是改善预后的重要因素,而利用 X 片图像检查早期钙化点的方法在早期诊断中显得尤为重要^[1]。但 X 片图像中钙化点对比度低、尺寸小,人工检查存在较高的漏检率和误诊率^[2],因而有许多学者致力于研究利用计算机进行辅助检查、诊断,以提高诊断率。但对于所研究的数字乳房 X 片图像中,背景像素点、人工标记和 X 片边缘曝光形成的图像数据都是无效数据,在处理过程中增加了许多计算量。如果在对 X 片增强、分割前进行预处理,将非乳房区域点去除或加以标识,可以减少后期处理的工作量,提高处理效率。

S. Sentelle 在钙化点分割过程中用模糊 C 平均与多分辨率处理相结合的方法将乳房区域提取出来以减少后期处理的计算量^[3]。这种算法依赖于中心矩阵的初始取值和隶属度等值,需要重复计算,比较复杂。本文针对数字乳房 X 片中乳房区域的提取,提出了一种将时域处理和形态学处理相结合的方法,简单有效地将乳房图像提取出来。

2 算法介绍

以下是预处理算法的主要步骤,分为 5 步:

2.1 平滑线性滤波

对整幅图像(图 1)用平滑线性滤波器^[4]进行滤波处理。主要作用是:

- (1) 去除乳房图像内部噪声像素点;
- (2) 平滑乳房图像的边缘;
- (3) 去除背景区域中的噪声像素点。

对比平滑前后 X 片局部图像,如图 2(a)(b)所示(已作二值化处理),可看出平滑线性滤波的效果。