

视皮质假体中多路信号的无线传输*★

王丽萍, 彭承琳, 侯文生, 王 星

Multichannel signal wireless telemetry technology for visual cortex prosthesis

Wang Li-ping, Peng Cheng-lin, Hou Wen-sheng, Wang Xing

Bioengineering
College, Chongqing
University,
Chongqing 400044,
China

Wang Li-ping★,
Master,
Bioengineering
College, Chongqing
University,
Chongqing 400044,
China
qingqian_69@163.
com

Correspondence to:
Peng Cheng-lin,
Professor, Doctoral
supervisor,
Bioengineering
College, Chongqing
University,
Chongqing 400044,
China

Supported by: the
National High
Technology Research
and Development
Program of China
("863" Program), No.
2007AA042300

Received: 2010-06-23
Accepted: 2010-09-06

Abstract

BACKGROUND: Wireless signal telemetry system participates in the information exchange inside and outside visual cortex prosthesis. In order to enable prosthesis to effectively stimulate by multi-targets in the intended region, a variety of diverse extracorporeal stimulative signals are needed.

OBJECTIVE: To propose a design proposal of a wireless simultaneous-signal transmission system.

METHODS: The proposal can transmit simultaneous signal in one channel using the technology of Frequency Division Multiplexing. The whole system design is divided into extracorporeal transmission circuit and intracorporeal receiving circuit and the latter adopts passive design to reduce the harm of energy supply to the implants. As providing the specific circuit design, we analyze the factors affecting transmission efficiency and validate its feasibility by multisim simulation experiment.

RESULTS AND CONCLUSION: The multichannel signal wireless telemetry system can be applied to the part of signal transmission of various implantable prostheses, which employs passive design to reduce the harm of energy supply to the implants. Preliminary simulated experiments showed the feasibility of this system, which exhibits a wide range of promising applications.

Wang LP, Peng CL, Hou WS, Wang X. Multichannel signal wireless telemetry technology for visual cortex prosthesis. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(48): 9024-9028. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 信号无线传输系统担任着视皮质假体内体外信息交互的任务, 为了使假体能够对刺激区域进行多靶位的有效刺激, 需要从体外传输进来多个不同的刺激信号。

目的: 提出一种多路信号无线传输系统的设计方案。

方法: 利用频分复用技术, 能够在单一通道上完成多路信号的传输, 整个系统设计分体外发射电路和体内接收电路两部分, 且接收电路采用无源设计, 减少了供能给植入体带来的危害。在给出具体设计电路的同时, 对影响系统传输效率的因素做了进一步分析, 通过 Multisim 仿真实验验证其可行性。

结果与结论: 该多路信号无线传输系统可以扩展应用到各类植入式假体的信号传输部分, 并且采用体内无源设计, 避免了为电路供能给人带来的伤害, 通过初步的仿真实验证明该系统具有可行性, 具有广泛的应用前景。

关键词: 视皮质假体; 多路信号; 无线传输; 频分复用; Multisim; 医学植入物

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.48.023

王丽萍, 彭承琳, 侯文生, 王星. 视皮质假体中多路信号的无线传输[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(48):9024-9028. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

重庆大学生物工程
学院, 重庆市
400044

王丽萍★, 女, 山
东省招远市人, 汉
族, 重庆大学生物
医学工程学院毕
业, 硕士, 主要从
事生物医学信号
检测与处理、微系
统技术研究。
qingqian_69@
163.com

通讯作者: 彭承
琳, 教授, 博士生
导师, 重庆大学生
物医学工程学院,
重庆市 400044

中图分类号:R318
文献标识码:B
文章编号:1673-8225
(2010)48-09024-05

收稿日期: 2010-06-23
修回日期: 2010-09-06
(20100515002/GW·A)

0 引言

目前基于神经电刺激的视觉功能修复主要可以分为3种^[1-2]:视网膜修复、视神经修复和视皮质修复。图1显示了视皮质假体的视觉修复原理。

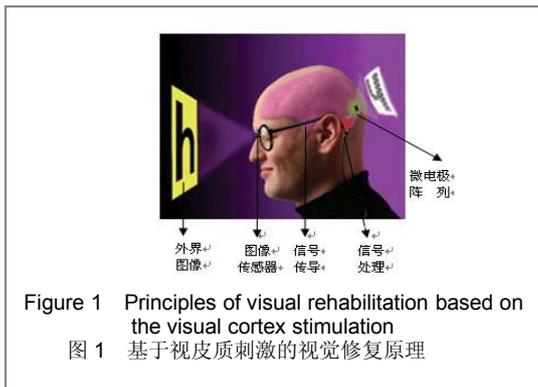


Figure 1 Principles of visual rehabilitation based on the visual cortex stimulation
图1 基于视皮质刺激的视觉修复原理

视皮质修复是通过旁路已经发生病变的视网膜和视神经, 利用MEMS技术研制的一种外电刺激的神经假体, 利用置于硬脑膜外或颅骨外的微电极阵列刺激视皮质, 从而达到视觉修复的目的。

首先, 体外的图像传感器采集图像信息, 将该信息传递至信号处理器, 进行处理、编码成电信号, 通过能量与信号传递装置传送到体内植入部件, 使微电极阵列产生电脉冲刺激视皮质以产生视觉。其间信号传递装置作为视皮质假体的重要组成部分, 主要是完成体内植入部分与体外装置间的信息交互。采用多通道无线传输与有线、单一通道传输相比具有以下优点:

无需外接导线、无感染风险。以往的生物体植入装置采用有线传输, 创伤面积大, 而且需在体内安装电池为其工作电路供电, 不但需

要手术更换电池, 且有发生电池泄露的危险。而采用射频通信原理进行传输的方法却无上述顾虑, 只需从体外对给初级线圈供能的电池进行定期更换和充电即可, 安全系数比较高。

采集图像不同部位的数据, 进行多路信号传输, 能够增强刺激电极阵列与所采集图像间的空间方位对应, 最终提高空间分辨率, 从而增强刺激信号内容的独立性与丰富性, 并对多靶位进行有效刺激, 使患者产生更加形象的光幻视。

关于植入式多路信号无线传输的方法已经有一些相应的研究理论, 如蒋琦等^[3]采用时分复用技术对多路神经控制信号进行并行传输的方法; 郑小林等^[4]利用多个线圈对组成一一对应关系进行多路信号传输, 即每路信号都有其独立的发射电路(含发射线圈)和接收电路(含接收线圈); 前者需要在体内植入单片机协同工作, 后者采用的线圈比较多, 所以两者在尺寸上都难以满足植入式装置微型化的要求。此外, 还有利用数字芯片进行电路设计的论著^[5-6], 上海交通大学任秋实^[7]的课题组就提出将无线射频收发芯片CC1100运用到视网膜假体的信号传输中, 但需可编程逻辑器件对射频芯片进行控制, 这无疑增加了系统的复杂性。

由于射频芯片需可编程逻辑器件协同工作, 电路构造繁复, 不适合视皮质假体的植入环境, 而模拟射频传输可以通过微细加工来缩小电路尺寸, 并且设计的针对性比较强, 因此, 鉴于视皮质假体的一些特殊要求, 如植入面积非常小, 传输效率要求高等, 本文拟采用模拟射频传输技术进行系统设计, 为了进一步减少植入部分的尺寸, 本文提出了一种在单一通道上实现多路信号无线传输的系统设计方案, 即利用一组收发线圈完成多路信号的传输。该方案以两路信号为例, 采用频分复用原理, 在体外的发射端将两路信号用振幅调制的方式分别调制到不同频率的载波上, 再经合路器合成一路信号进行发射, 在体内采用无源的带通滤波器将两路信号分开, 再通过二极管峰值包络检波最终解调出所需的两路信号, 实现了体内的无源设计。

1 系统设计原理

1.1 两路信号无线传输系统 本文以两路信号为例, 采用基于电磁感应原理的射频载波技术来进行设计, 利用频分复用技术使系统能够在单一通道上完成两路信号的传递, 整个系统分体外发射装置和体内接收装置两部分。

频分复用是指按照频率的不同来复用多路信号的方法^[8]。在频分复用中, 信道的带宽被分成若干个相互不重叠的频段, 每路信号占用其中一个频段, 因而在接收端可以采用适当的带通滤波器将多路信号分开, 从而

恢复出所需要的信号。

图2所示的是利用频分复用设计的两路信号无线传输系统原理图。

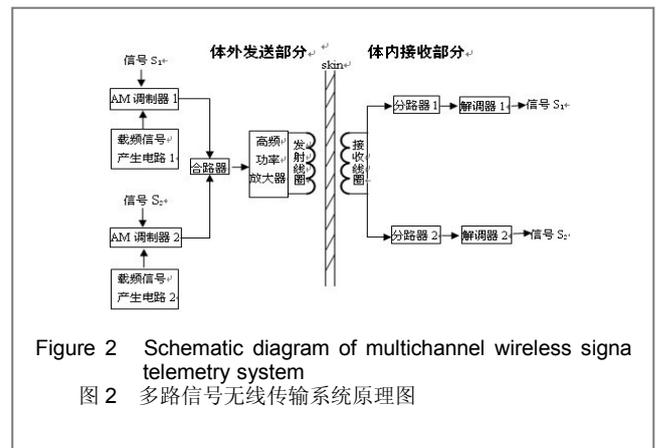


Figure 2 Schematic diagram of multichannel wireless signal telemetry system

图2 多路信号无线传输系统原理图

体外的发射电路由AM调制器、载频信号产生器、合路器、高频功率放大器以及发射线圈组成, 体内的接收电路由分路器和解调器组成。体外的两个AM调制器分别将处理过的采样信号调制到两个不同频率的载波上, 载波频率由载波信号产生电路提供, 调制后的信号由合路器组合成可以通过无线信道传输的复合信号, 经高频功率放大器放大后由发射线圈发射出去。在接收端接收线圈耦合发射线圈发射过来的磁信号, 并感应出与载波频率一致的高频电信号, 再采用分路器将复合信号分开, 通过解调器解调最终恢复成原来的信号。

为了使发射信号能够满足体内刺激的需要, 在复合信号与发射线圈之间放置了一个高频功率放大器以提高系统的发射功率, 并且采用接收线圈与电容并联构成并联谐振, 目的是抑制其他信号的干扰。由于植入环境的限制, 体内采用无源的电路设计, 在减少元件发热对人体组织损伤的同时也缩小了体内装置的体积和质量。

1.2 多路信号传输的实现 多路信号传输可以由两路传输扩展得到, 只需在体外再并行放置几组载波信号产生电路和调制电路即可, 电路的构成相同, 只是载波信号的频率有所差异, 然后再通过加法器将几路信号合成为一路信号进行发射, 在体内通过相应的带通滤波器再将各路信号分开。

这样构成的多通道信号无线传输装置只需一组发射线圈和接收线圈, 明显减少了植入部分的尺寸, 而且各部分电路的设计相同, 只需分配给各路信号不同的频段, 就可以很方便的在单一通道上实现多路信号的传输。

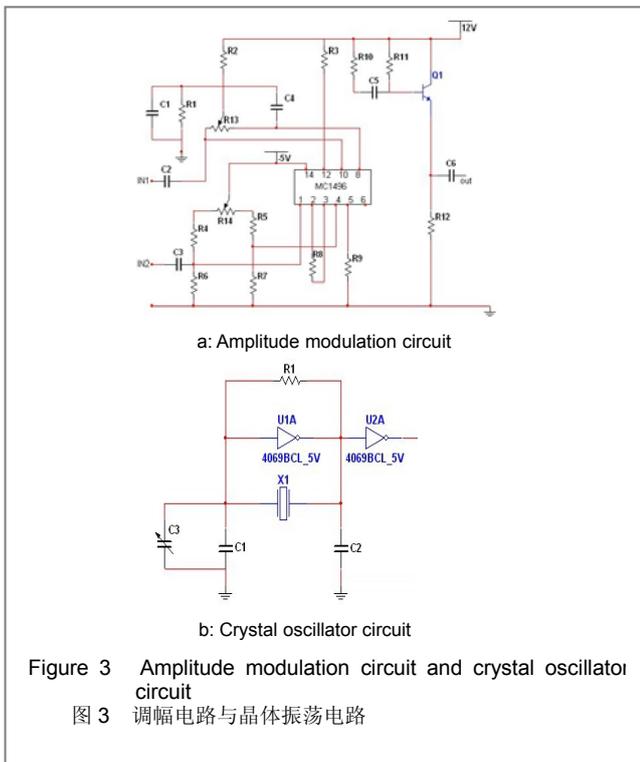
2 电路设计

下面是各部分电路的具体设计方法及相应问题。

2.1 AM调制器与载频信号产生电路 该部分电路是

用来完成传输信号调制功能的,即将待传送的两路信号 S1、S2 分别用调制器电路调制到高频载波上以供无线传输。采用振幅调制的方式来获得普通调幅波,这是因为对应的体内检波电路可以采用二极管峰值包络检波,实现体内的无源设计。图3a是由模拟乘法器MC1496构成的普通调幅电路,其中IN1为载波信号输入端,IN2为调制信号输入端。

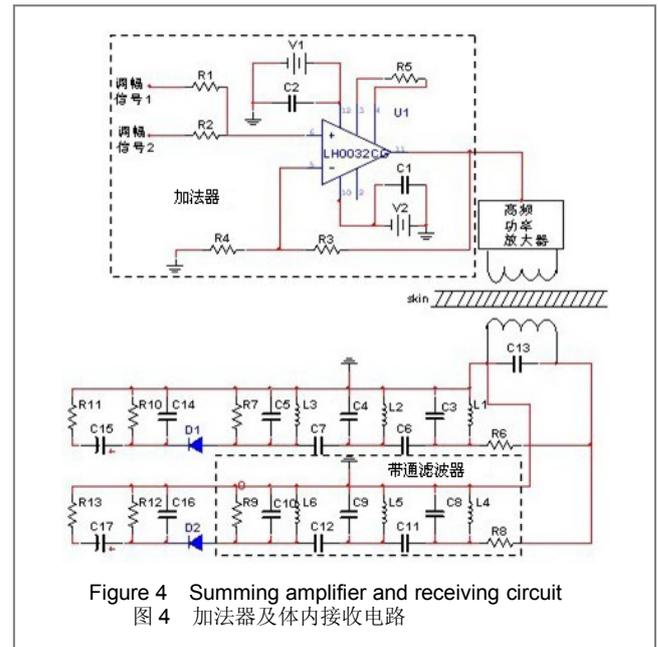
高频载波由载频信号产生电路给出,这里作者采用晶体振荡电路来产生高频电磁波。图3b所示的电路是工作于并联谐振状态的CMOS门电路晶体振荡器,电路利用负反馈电阻R₁接在反相器U1A的输入与输出端,使CMOS反相器的输入电位在启闸值附近,将其偏置在线性放大区,构成放大器,其工作原理与晶体管放大电路相同。晶体等效为一个电感L_x,与外接的电容C₁和C₂构成三点式LC振荡器,通过外接的可调电容C₃可对振荡电路产生的频率进行微调。



为了提高发射电路的性能,可适当提高原边的工作频率,从而使原边处的能量能够更远距离地传输。然而若磁场的频率过高,磁场的能量就很容易被人体组织吸收,不仅影响了能量传输的效率,而且会给人体带来高频辐射伤害。经过综合分析和比较,把高频磁场的频率范围确定在1~10 MHz,在本文中为了避免两路信号的频率取的过于接近而产生相互干扰,最终将两路载波频率分别定在3 MHz和5 MHz。

2.2 合路器及分路器 合路器的作用就是将两路调制后的AM信号组合成一路复合信号,采用加法器来实现。主要构件有运算放大器和电阻电容,结构比较简单,电

路如图4虚线框中所示



由于传输的两路已调信号都是高频信号,所以通用型的运算放大器在这里已经不再适用。FET高速LH0032运算放大器具有很高的转换速率,可达500 V/μs,并且单位增益带宽也很理想,所以用在这里对两路已调信号进行相加放大非常合适。

分路器即带通滤波器,作用是将接收线圈耦合感应出的复合信号再分成两路,采用的是两个不同频段的带通滤波器。为了实现体内的无源设计,这里自主设计了由电感和电容构成的三阶巴特沃斯电容耦合谐振式带通滤波器,具有结构简单、Q值高等特点,并且电路中采用的电感值相等,避免了实际电路制作中由于电感值相差很大而对带通滤波效果产生的不利影响。电路如图4虚线框中所示,其中R₆=R₇, R₈=R₉, C₆=C₇, C₁₁=C₁₂; C₃=C₅, C₈=C₁₀; L₁=L₂=L₃, L₄=L₅=L₆。

2.3 解调电路 体内的解调电路采用二极管峰值包络检波器(图4虚线框),不需要工作电压就可以很方便的完成普通调幅波的检波功能,同时还因有隔直电容的存在而使电路实现了交直流信号的分离。C₁₄和R₁₀、C₁₆和R₁₂组成峰值检测器,C₁₄和C₁₆分别通过D₁和D₂充电,通过R₁₀和R₁₂放电,这样就能够输出所需信号的包络。C₁₅和C₁₇是隔直流电容,对于低频检波信号输出可视为短路。R₁₁和R₁₃是后级负载电阻。

3 系统传输效率讨论

在整个系统中传输效率η_T主要包括两大部分,即体外高频功率放大器的效率η_{PA}和体内线圈耦合传输效率k,并且有η_T = η_{PA} × k。

3.1 线圈耦合传输效率 线圈耦合传输效率受线圈的

参数设计、耦合方式、距离等因素的影响。这里采用紧耦合的连接方式，其耦合效率可以达到系统的要求。发射线圈和接收线圈的尺寸通过以下计算得到：

N 匝空心圆环线圈产生的磁通式为：

$$NI = \frac{2|B|(r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}{\mu_0 r^2} \quad (1)$$

式中 r 为线圈的半径， l 为测量点到线圈中心的距离。用上式对 r 求偏导，

$$\frac{\partial NI}{\partial r} = \frac{2|B|(r^2 + l^2)^{\frac{1}{2}}(r^2 - 2l^2)}{\mu_0 r^3} \quad (2)$$

$$\text{令 } \frac{\partial NI}{\partial r} = 0, \text{ 得 } r = \sqrt{2}l.$$

因此求出发射线圈的最优半径是发射线圈与接收线圈距离的1.414倍。

发射线圈与接收线圈之间的距离 D 也会影响系统的传输效率，实验证明随着 D 的增加输出电压成下降趋势。

3.2 高频功率放大器 高频功率放大器用于发射电路的末级，作用是将直流输入功率转换为交流功率输出，即对高频已调波信号进行功率放大，以提高发射信号能量，然后经过发射线圈将其耦合辐射到体内的接收线圈，保证在一定区域内的接收电路可以接收到满意的信号电平，同时输出中的谐波分量应该尽量小，以免对相邻信道的通信形成干扰，因而要求功率放大器的输出功率大、效率高。

由于这里传送的信号是高频信号，并且要在较宽的通带内使功率放大器增益相对稳定，所以采用的电路是由甲类、丙类两级功率放大器组成。甲类功率放大器的输出信号作为丙类功率放大器的输入信号，丙类功率放大器作为发射电路末级功率放大器以获得较大的输出功率和较高的效率。具体设计方法见庄海军关于高频功率放大器设计方法的文章^[9]。

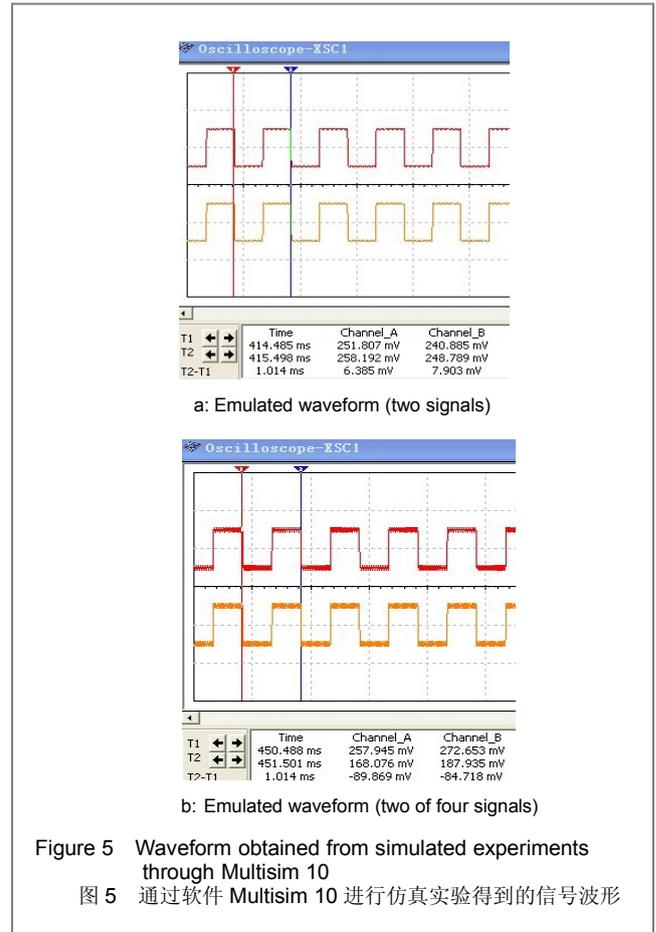
此外线圈的绕制方式、各种失配放置方式以及趋肤效应^[4]、各组线圈之间的互感等都会对系统的传输效率构成影响，郑文浩^[10]在文献中通过对系统互感耦合模型的分析，得出通过增加线圈品质因数和互感可以增加系统传输效率的结论。由于影响传输效率的因素很多，在设计时必须综合考虑各方面因素才能达到理想效果。

4 仿真实验

将两路载波信号的频率及幅值分别定为3 MHz，1.5 V以及5 MHz，1.5 V；调幅信号由函数信号发生器

给出，参数为1 kHz，1 V；加法器电路的电源为±12 V；两路带通滤波器的参数分别为：中心频率 $f_{01}=3$ MHz，带宽 $BW_1=100$ kHz，以及中心频率 $f_{02}=5$ MHz，带宽为 $BW_2=100$ kHz。

通过软件Multisim 10进行仿真实验，最后得到如图5所示的信号波形。其中图5a是两路信号同时传输时的仿真结果，图5b是四路信号同时传输时截取的其中的两路信号，经比较可以看出，并行传输的信号越多，相互干扰就越大。



仿真实验证明由于各通道间存在相互干扰，所以在不同的传输频段之间需要有一定的保护间隙，若加宽频率间隔，则使本来就十分拥挤的无线信道负担更重；若减少各频段的频率间隔，则各信道间的干扰就很难去除，容易使输出信号失真，这是频分复用技术的缺点所在。因此采用这种方法时需要合理的选择载波频率及保护间隙。

5 结论

如何为生物体植入式装置有效的传递能量和数据是近年来一个研究热点，而视皮质假体中信号的无线传输研究在国内尚属首次，本文针对视皮质假体，提出了一种行之有效的多路信号无线收发系统的设计方案，

利用频分复用技术可以很方便的在单一通道上实现多信号的传递, 并且采用体内无源设计, 避免了为电路供电给人体带来的伤害, 通过初步的仿真实验证明该系统具有可行性。但是在实际的电路设计中还需考虑很多具体问题, 如无线的信号传输有两个方面的内容, 不但要从体外传输刺激信号给体内的微电极阵列, 而且还要将体内假体的诊断信息输出到体外, 同时体内的视皮质假体的其他部分需要持续不断的电源能量。研究表明, 低频的射频能够有效的为假体提供电源能量, 而高速的数据通信却需通过高频的RF才能有效的进行传输^[11], 因此, 如何选择传输频带, 在双向的数据通信和能量供给之间找到平衡点就成为视皮质假体设计中的重点内容, 这些有待在后续工作中进一步研究。

4 参考文献

[1] Rao C.Chongqing:Chongqing Daxue.2006:2-3.
饶程.外层型CMOS人工视网膜芯片的研究[D]. 重庆:重庆大学, 2006:2-3.

[2] Li YH,Wu KJ,Cai XY,et al.Zhongguo Yixue Wulixue Zazhi. 2007; 24(5): 338-341.
李莹辉,吴开杰,柴新禹,等.视觉假体的发展与研究[J].中国医学物理学杂志,2007,24(5):338-341.

[3] Jiang Q,Zhao CY,Chen DY,et al.Zhongguo Shengwu Yixue Gongcheng Xuebao.2004;23(4):347-352.
蒋琦,赵春宇,陈大跃,等.神经信号经皮传输的电路设计与仿真实验[J].中国生物医学工程学报,2004,23(4):347-352.

[4] Zheng XL,Mou ZX,Hou WS,et al.Yiqi Yibiao Xuebao. 2009;30(5): 1110-1115.
郑小林,牟宗霞,侯文生,等.基于微线圈阵列的多道神经电刺激信号透皮传输的初步实验研究[J].仪器仪表学报, 2009,30(5):1110-1115.

[5] Ye XS,Gao B,Zhang YW,et al. Yiqi Yibiao Xuebao. 2007;28(2): 198-202.
叶学松,高波,张莹伟,等.基于PCI和DSP结构的多通道神经信号采集

系统的研制[J]. 仪器仪表学报, 2007,28(2):198-202.

[6] Zhou Y.Shanghai:Shanghai Jiaotong Daxue.2008:45-63.
周阳.人工视觉假体中能量与数据的无线传输装置研究[D]. 上海:上海交通大学,2008:45-63.

[7] Niu JH,Liu YF,Ren QS,et al.Zhongguo Kexue.2007; 37(10): 1354-1362.
牛金海,刘易非,任秋实,等.视觉假体:带给盲人光明的电子设备[J]. 中国科学, 2007,37(10):1354-1362.

[8] Feng YY.Gongcheng Jishu.2007; 6(3):65-71.
冯友谊.一种适合于实验教学的FDM传输系统的设计与实现[J].工程技术, 2007,6(3):65-71.

[9] Zhuang HJ.Dianzi Gongchengshi.2008; 34(11):33-34.45.
庄海军.基于软件仿真的高频功率放大器设计[J].电子工程师, 2008, 34(11):33-34,45.

[10] Zheng WH. Chongqing:Chongqing Daxue. 2008:15-18.
郑文浩.消化道定点击释药微系统的无线供能效率研究[D]. 重庆:重庆大学, 2008:15-18.

[11] Wang G, Liu W, Sivaprakasam M, et al.A dual band wireless power and data telemetry for retinal prosthesis. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2006;1:4392-4395.

来自本文课题的更多信息--

基金资助:“八六三”计划资助项目(2007AA042300)。

利益冲突:课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

课题的创新点:如何为生物体植入式装置有效传递能量和数据是近年来的一个研究热点,文章创新性研究了视皮质假体中信号的无线传输研究,并在国内尚属首次,立意新颖,为多路信号的无线收发提供了一种新的思路和方向。

课题评估的“金标准”:尚无相关评估金标准。

设计或课题的偏倚与不足:如何选择传输频带,在双向的数据通信和能量供给之间找到平衡点就成为视皮质假体设计中的重点内容,这些有待在后续工作中进一步研究。

假体松动与磨损微粒[®]: 本刊中文部

6 金属离子对单核/巨噬细胞细胞活性及其膜上RANK表达的影响

戴 闯(南昌大学第一附属医院骨二科, 江西省南昌市 330006)

推荐理由:金属离子诱导单核巨噬细胞RANK的表达变化未见相关报道。RANK是诱导单核/巨噬细胞向破骨细胞分化的重要调节因子,可通过抑制RANK的表达,从而抑制破骨细胞骨溶解为无菌性松动治疗带来新的靶点。

文章通过体外实验来探讨小鼠单核/巨噬细胞(RAW264.7)暴露在钴铬离子下对假体无菌性松动的影响。希望通过研制抑制单核/巨噬细胞表面RANK的表达药物,来阻断单核/巨噬细胞系细胞向破骨细胞样细胞转化的途径,从而延缓假体周围骨质溶解及减缓人工关节松动,延缓人工关节的使用寿命。见2010年4期669-672页。

7 以air pouch模型大鼠进行磨损微粒造成无菌性松动机制分析的可行性

陈 明(南昌大学第一附属医院骨科, 江西省南昌市 330006)

推荐理由:文章在前期实验的基础上,主要比较2种最常见磨损微粒, Ti-6Al-4V 和 UHMWPE在air pouch模型中所引起的生物学反应,借以分析运用air pouch 模型进行磨损微粒造成无菌性松动机制研究的可行性。

大鼠air pouch 模型能提供足够的组织进行免疫组织化学及分子生物学方面实验,方法简单、周期短、费用不高,但是它同样无法模拟关节置换病例的生物力学环境,今后还应该探索结合生物力学方法进行磨损微粒造成无菌性松动机制研究的可行性。见2009年26期5023-5026页。

8 磨屑与人工关节松动

李玉晶(辽宁省优抚医院矫形外科, 辽宁省沈阳市 110021)

推荐理由:人工关节置换后关节磨屑的产

生是导致人工关节松动,缩短人工关节使用寿命的重要原因。文章总结了磨屑导致人工关节松动的机制以及相关的防治方法,提示在今后的研究中应着重解决减少磨屑的产生、降低假体周围组织中的磨屑量的问题。除在人工关节制作中,选用生物相容性好、坚强耐磨的材料,减少磨损和磨屑外,更为重要的是提高手术技巧,改进假体与骨的锁配,增加假体早期稳定性,减少磨屑产生及在假体-骨界面的移动,从而防止界膜形成和骨吸收。见2008年48期9569-9572页。

详见: http://www.crter.org/Html/2010_11_23/2_64028_2010_11_23_137364.html