



生物医学工程

Biomedical Engineering (BME)

川北医学院 医学影像学院

2016年09月05日

第一章 生物电磁学

Bioelectromagnetics

本章内容

1. 概述
2. 生物电现象（重点）
3. 电磁波的医学应用
4. 生物磁现象
5. 电磁辐射的安全性

第1节 概述

1.1 生物电磁学的定义

1.2 生物电磁学的研究范围

1.3 生物电磁现象

1.1 生物电磁学的定义

- 生物电磁学是研究生物体电现象和磁现象以及生物电磁的应用的一门学科。
- 生物电磁学是建立在膜生物物理学基础之上的侧重于从宏观角度研究生物电现象和生物磁现象。
- 现代生物电磁学在很多方面都已深入到细胞级甚至是分子级的研究水平。

1.2 生物电磁学的研究范围

- 外界电磁波（场）与生物体的相互作用

主要包括生物组织的介电特性、各层次的生物学效应及其作用机理、生物电磁剂量容许暴露限值、生物医学中的应用及用于生物和医疗的辐射系统等。

Bioelectromagnetics

- 生物体自身产生的电磁现象

主要包括电磁现象的产生机理，电磁信号的测量、处理和应用等。 Bioelectromagnetism

1.3 生物电磁现象

●生物电现象

一种生理现象，与机体的新陈代谢密切联系。一旦生命停止，电现象随之消失。

心电、脑电、肌电、其它生物电

●生物磁场现象

电荷的运动产生磁场，凡能产生电现象的部位同时会产生磁现象。

心磁、脑磁、肌磁，含生物磁性材料的组织（如脾脏）

第2节 生物电现象

2.1 心电图（重点）

2.2 脑电图

2.3 肌电图

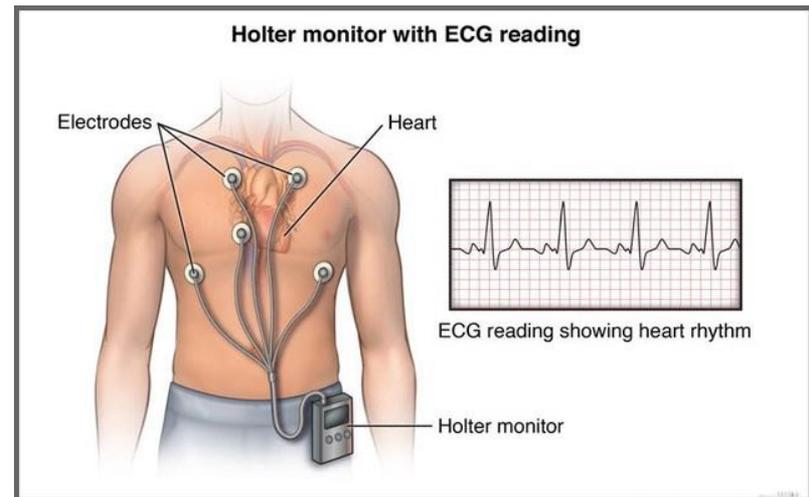
2.4 其他生物电及多道生理记录仪

2.1 心电图 (ECG)

- 人体组织是容积导体，心肌细胞兴奋时，心电偶形成心电场，使人体体表各点均具有一定的电位

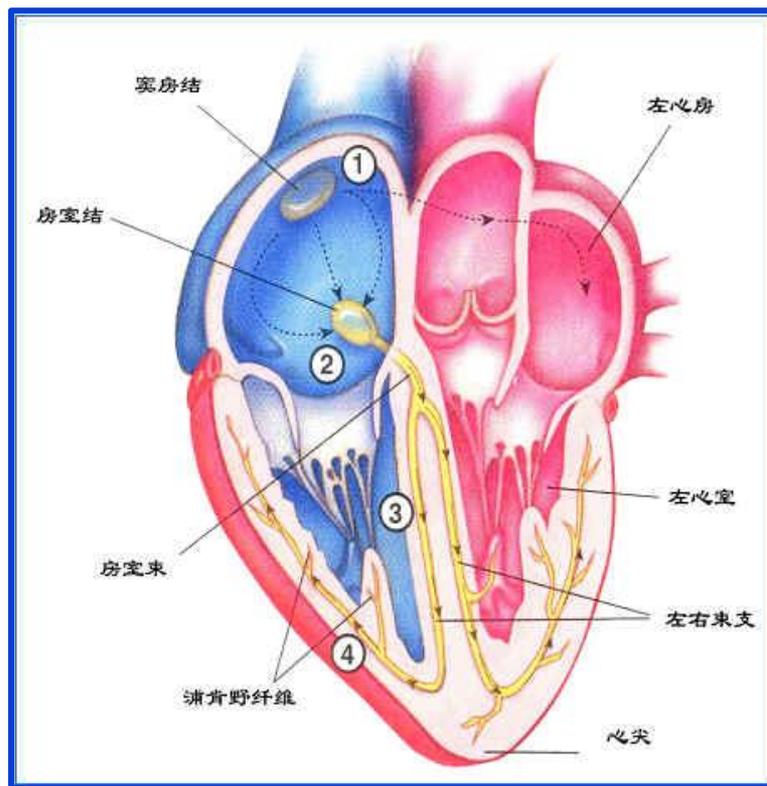
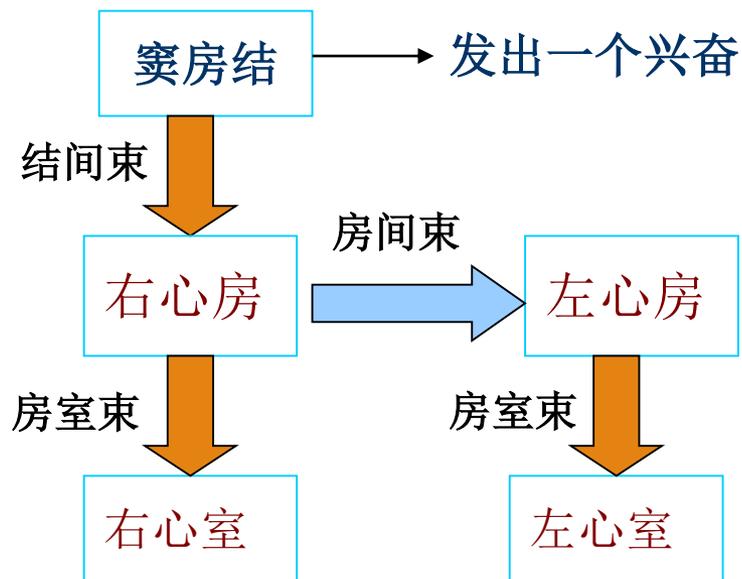
用心电图机记录下随心动周期而变化的电位差波形即为心电图。Electrocardiogram (ECG)

- 大量细胞组成的生物组织—生物电信号源。
- 在体表检测电位的变化，可以反映体内的生理功能。



2.1 心电图 (ECG)

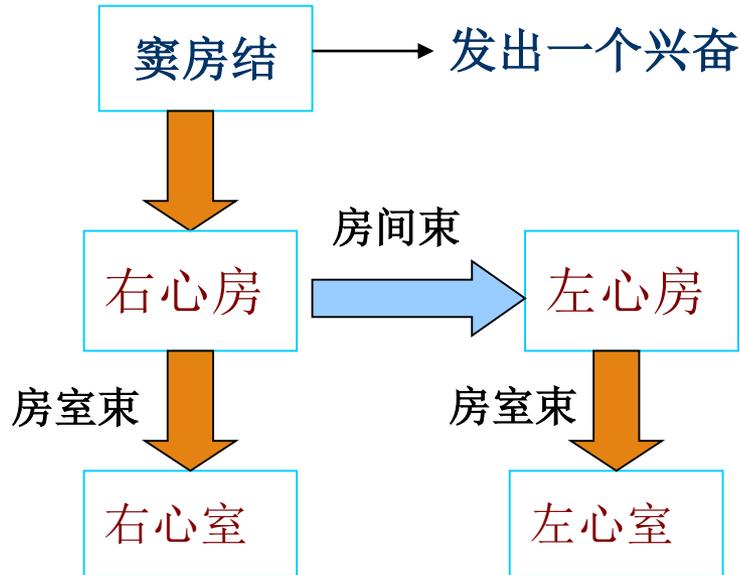
●心脏电生理活动过程



心脏传导系统示意图

2.1 心电图 (ECG)

●心脏电生理活动过程



◆人体组织是左右心房几乎同时兴奋（只存在一个很短的时间间隔）

◆心房、心室的兴奋表现为心收缩，向外射血过程。

2.1 心电图 (ECG)

- 心脏电生理活动过程

- ◆ 正常心脏兴奋的起源点在窦房结
- ◆ 心脏肌肉的活动完全受电活动控制
- ◆ 电活动沿神经纤维传送到心脏，心脏开始在某些点上收缩，然后逐渐使整个心脏收缩
- ◆ 此过程非常快而且相当准确
- ◆ 该活动可通过固定在皮肤上的电极获得

2.1 心电图 (ECG)

● 心电产生

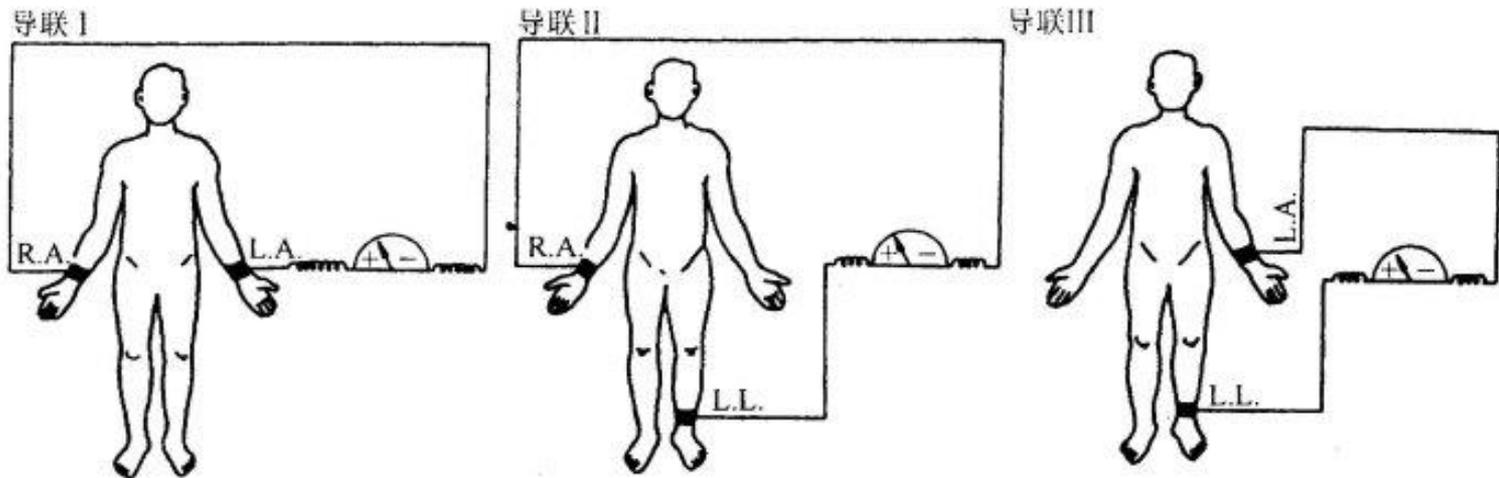
- ◆ 无数心肌细胞的电活动组成
- ◆ 所有心肌细胞产生的微弱电流汇合形成心电流
- ◆ 电流传送至全身各个部位，由于各部位距离心脏的远近不同，电流方向和身体角度不同，以及身体不同部位的导电介质不同，不同体表部位的电位变化不同
- ◆ 体表任意两点与电流计两端连接，可观察到电流计指针随心脏搏动而出现规律性的偏转

2.1 心电图 (ECG)

- 体表心电图的电极导联

心电图机的两个电极同时放在人体表面任意两点。

三种标准导联方式

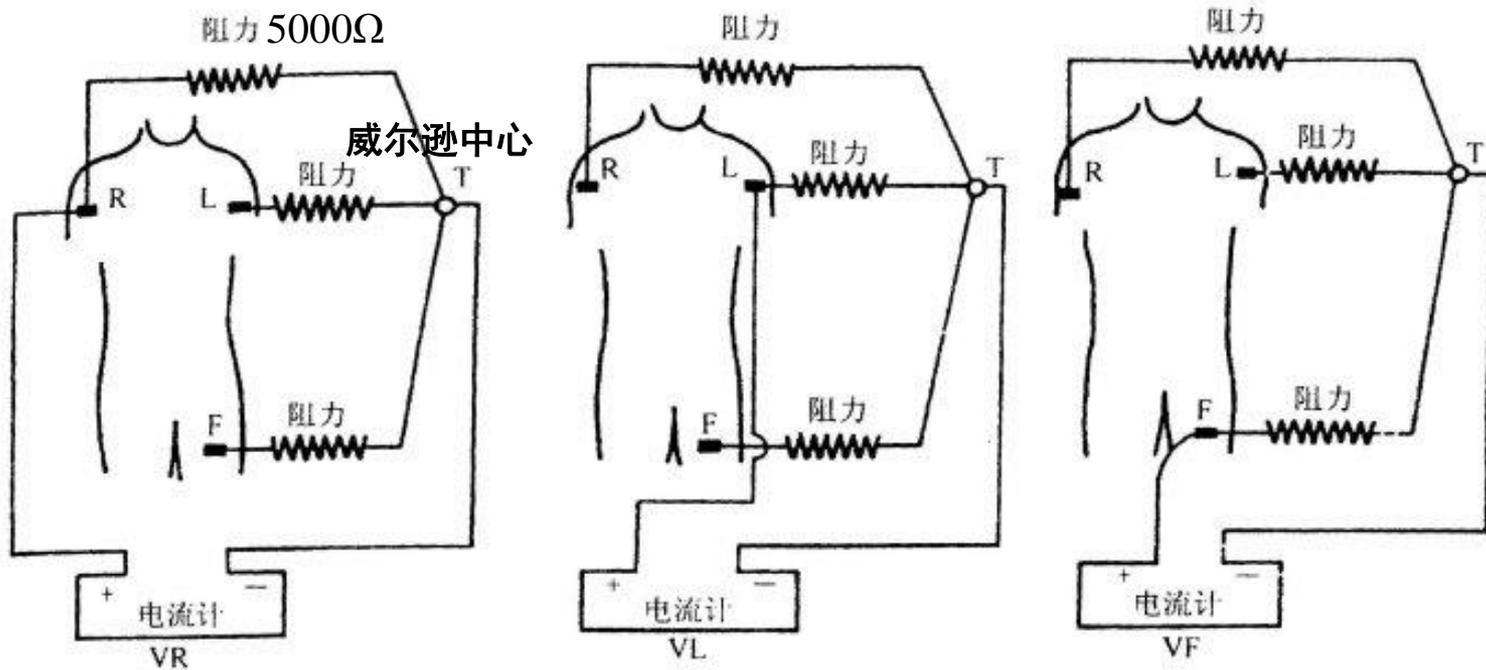


标准导联又称**双极肢体导联**，反映**两个肢体之间的电位差**。

2.1 心电图 (ECG)

- 体表心电图的电极导联

单级肢体导联

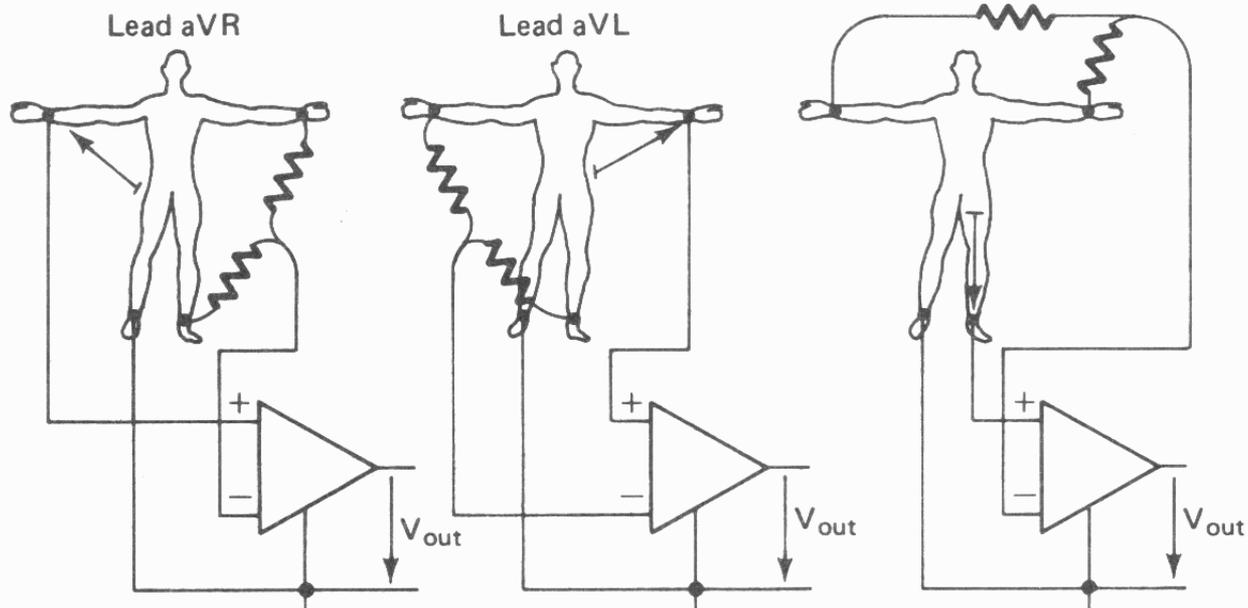


2.1 心电图 (ECG)

- 体表心电图的电极导联

改进的加压单级肢体导联

(Augmented) Unipolar limb leads



心电图形不变，心电信号幅度增加50%，被广泛采用。

2.1 心电图 (ECG)

- 体表心电图的电极导联

单级肢体导联比双极导联更具有有一定的优越性，能单纯的记录出探察电极下那一部分心肌的电位活动。如对心肌缺血、损伤、坏死的定位诊断等有很大帮助。

- ◆ aVR导联面对右室腔，反映了右心腔的电位变化

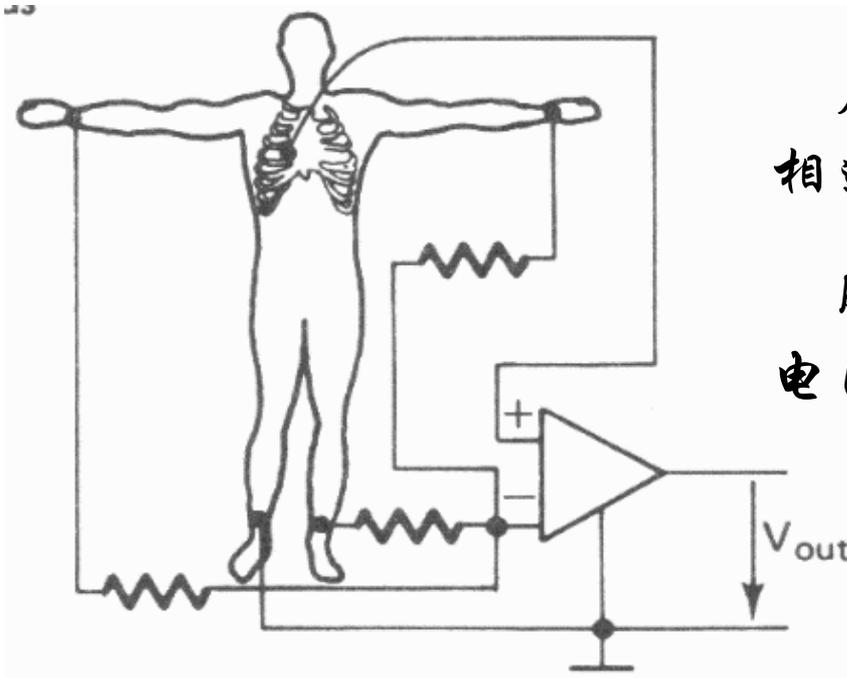
- ◆ aVL导联面对左室高侧壁，反映出高侧壁心电变化

- ◆ aVF导联面对下壁，反映下壁心肌的电位变化。

2.1 心电图 (ECG)

- 体表心电图的电极导联

胸导联



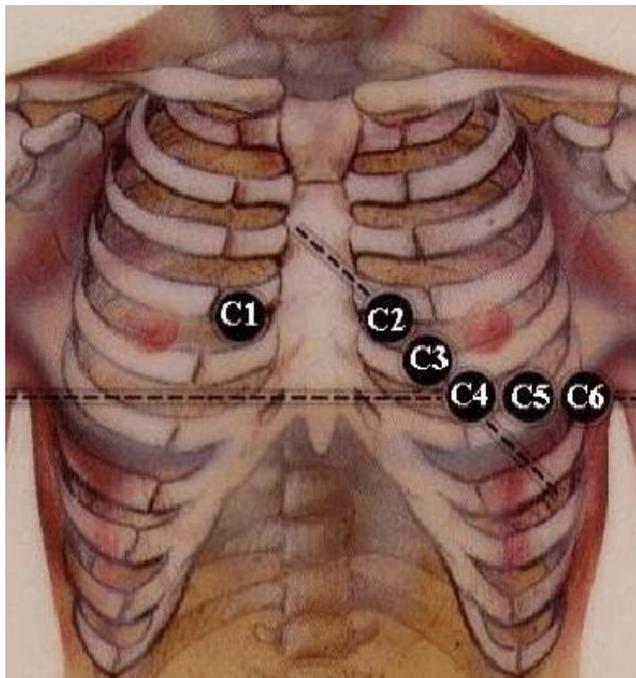
左、右上肢和左下肢电极
相连，与心电图极负极连接。

胸前一定部位的电极与心
电图正极连接

2.1 心电图 (ECG)

● 体表心电图的电极导联

胸导联



V1: 胸骨右缘第四肋间

V2: 胸骨左缘第四肋间

V3: V2与V4连线的中点

V4: 左锁骨中线与第5肋间交点处

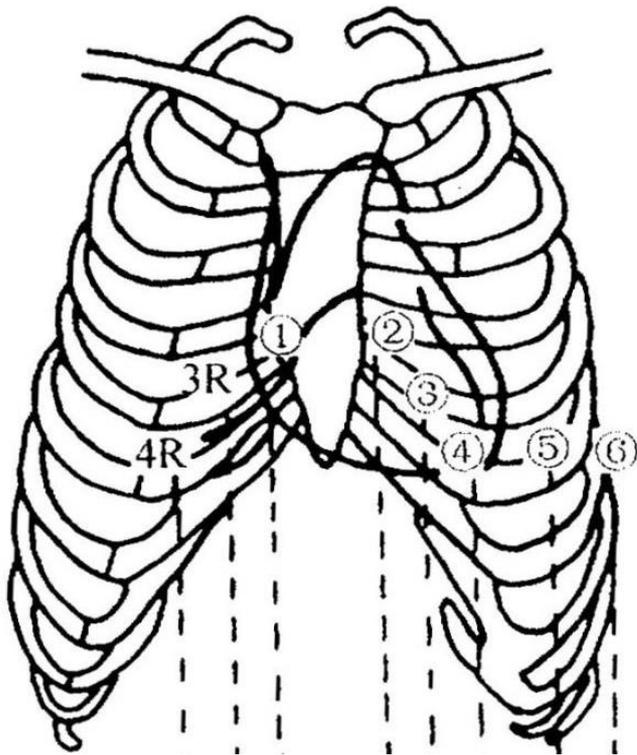
V5: 左腋前线与V4同一水平

V6: 左腋中线与V4同一水平

2.1 心电图 (ECG)

● 体表心电图的电极导联

胸导联



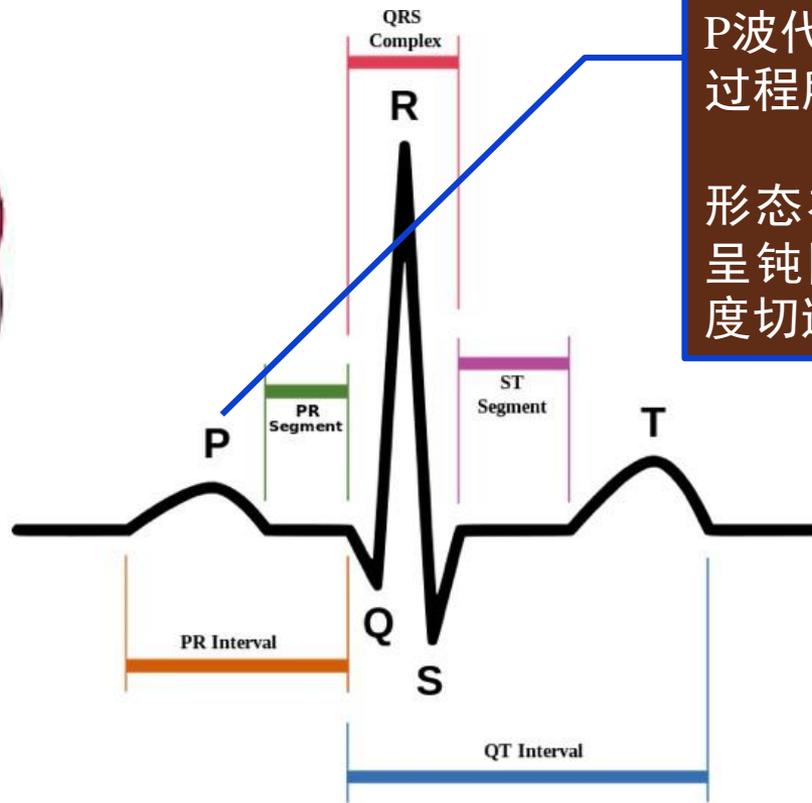
V1、V2导联比较单纯地反映探索电极下面右心室的电位变化

V3导联介于左、右心室之间，反映的是“过渡区”的电位变化

V4、V5、V6反映探索电极下左心室的电位变化

2.1 心电图 (ECG)

● 心电图波形

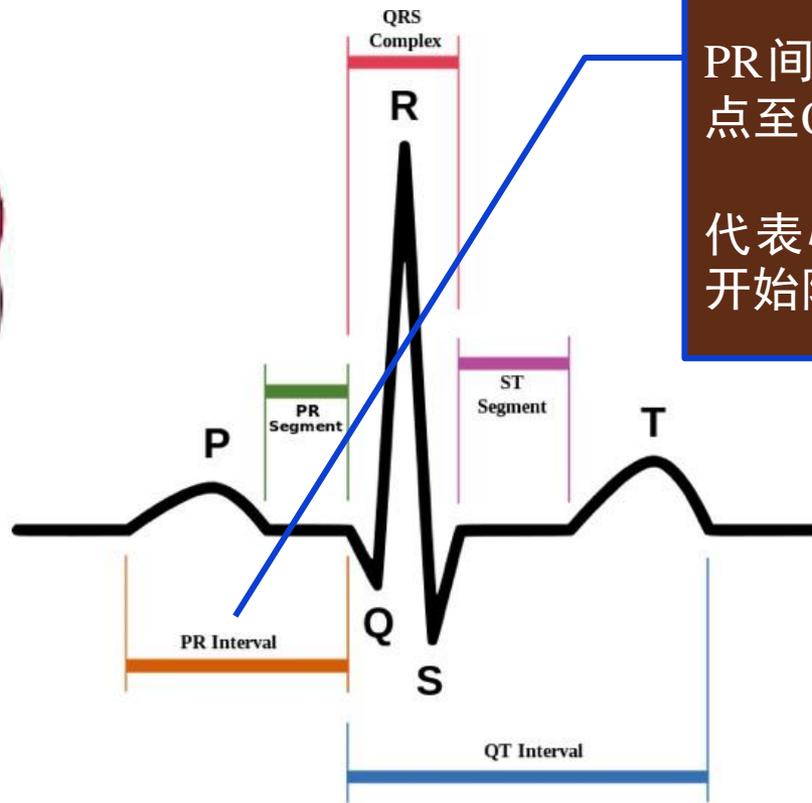


P波代表左右心房兴奋除极过程所产生的电位变化

形态在大部分导联上一般呈钝圆形，有时可能有轻度切迹。

2.1 心电图 (ECG)

● 心电图波形

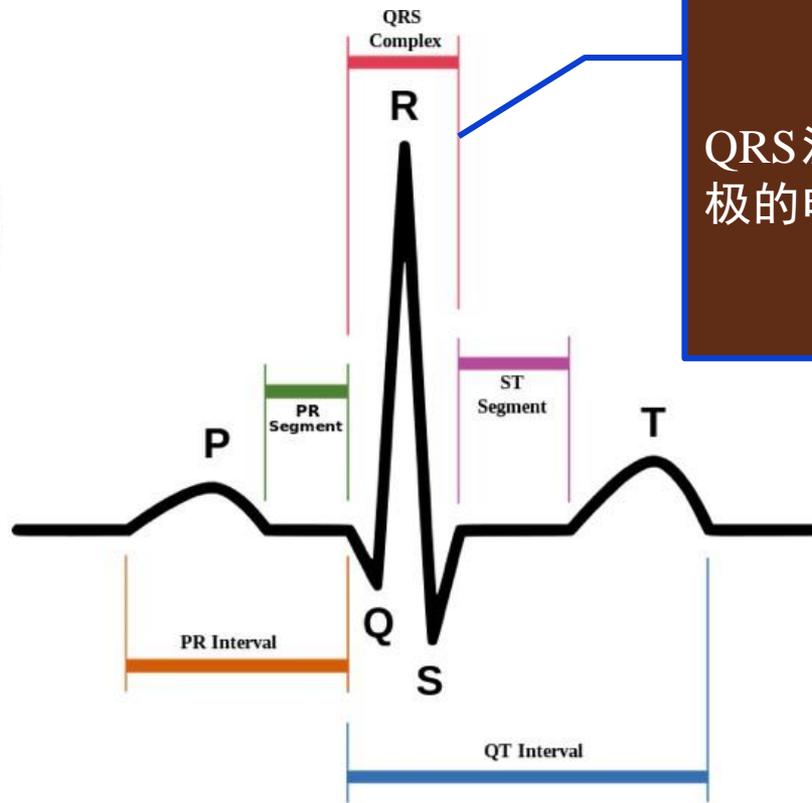
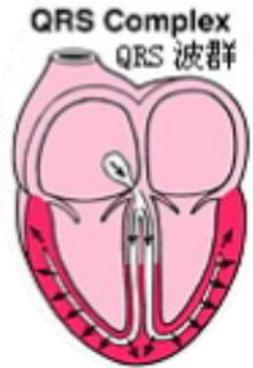


PR间期：指是从P波的起点至QRS波群的起点。

代表心房开始除极至心室开始除极的时间。

2.1 心电图 (ECG)

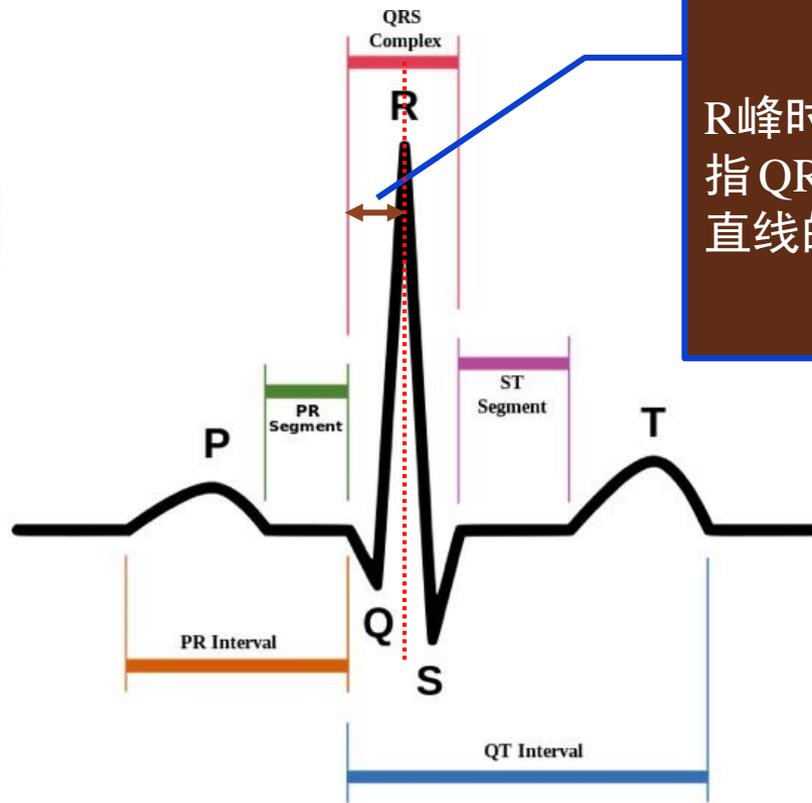
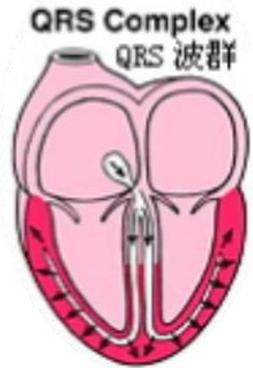
● 心电图波形



QRS波群，代表心室肌除极的电位变化。

2.1 心电图 (ECG)

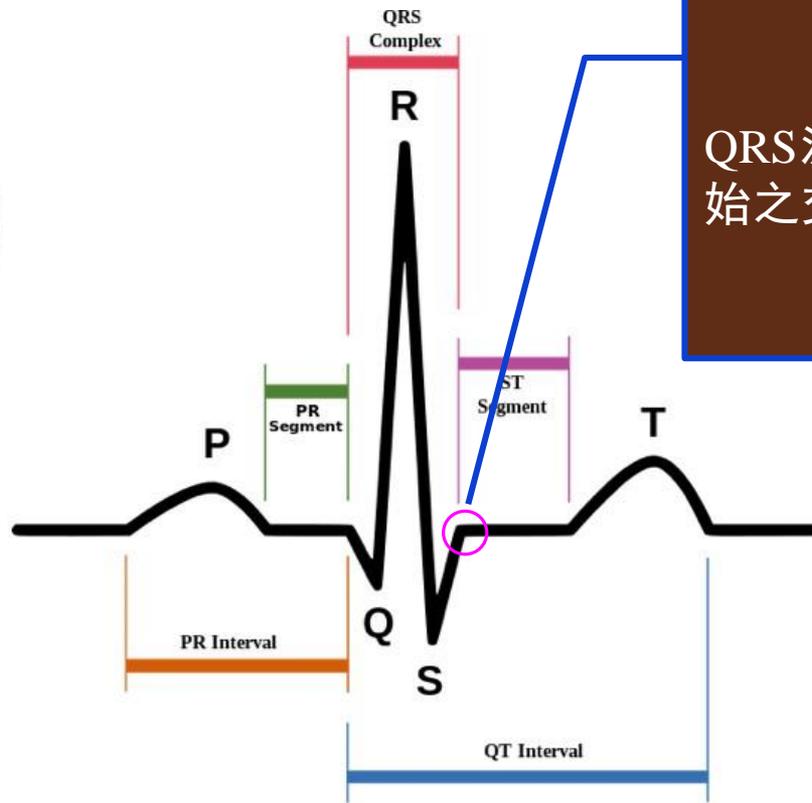
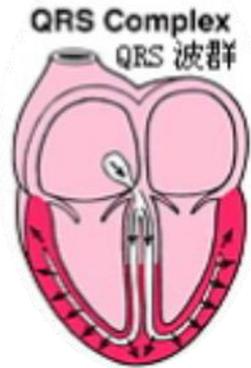
● 心电图波形



R峰时间 (R peak time) : 指QRS起点至R波顶端垂直直线的间距。

2.1 心电图 (ECG)

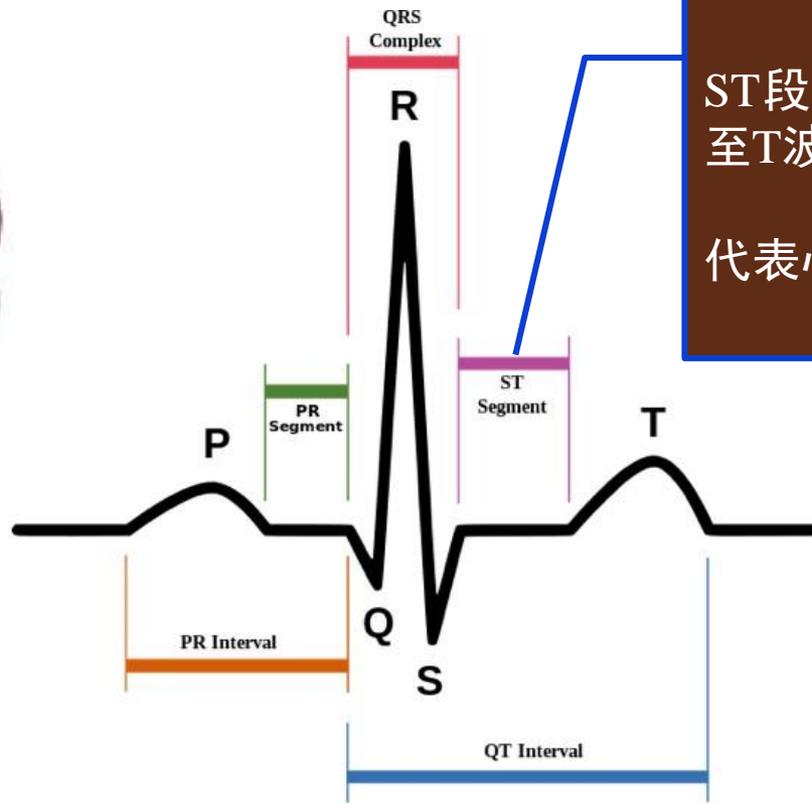
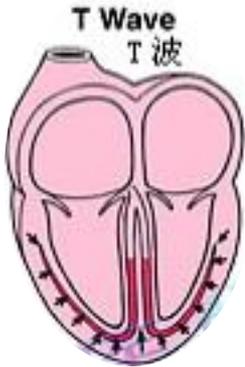
● 心电图波形



QRS波群的终末与ST段起始之交接点称为J点。

2.1 心电图 (ECG)

● 心电图波形

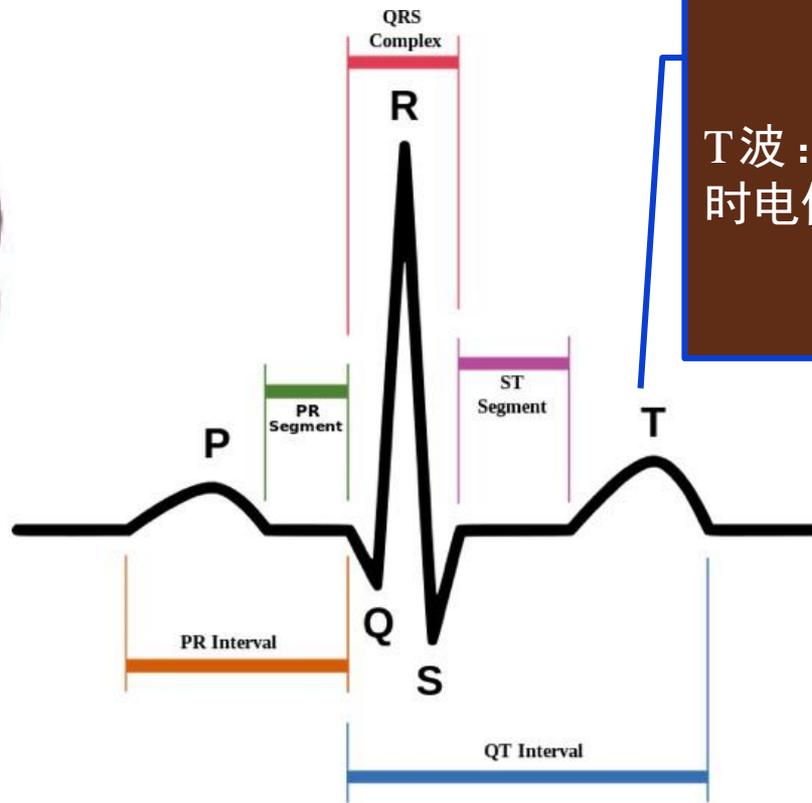
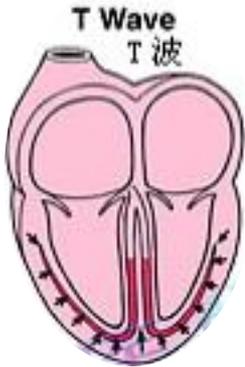


ST段：自QRS波群的终点至T波起点间的线段。

代表心室缓慢复极过程。

2.1 心电图 (ECG)

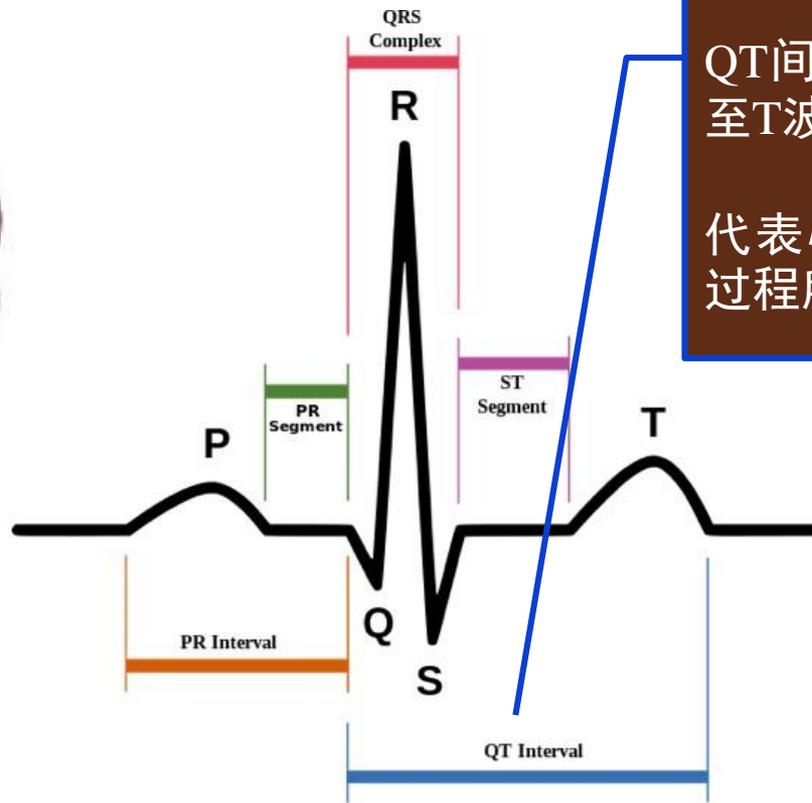
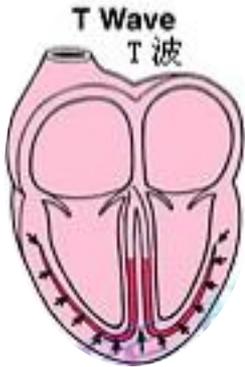
● 心电图波形



T波：代表心室快速复极时电位变化。

2.1 心电图 (ECG)

● 心电图波形



QT间期指QRS波群的起点至T波终点的间距。

代表心室肌除极和复极全过程所需的时间。

2.1 心电图 (ECG)

- 心电图波形

三种标准导联相应的正常心电图波形



2.1 心电图 (ECG)

- 心电图波形

加压单级肢体导联相应的正常心电图波形



2.1 心电图 (ECG)

- 心电图波形

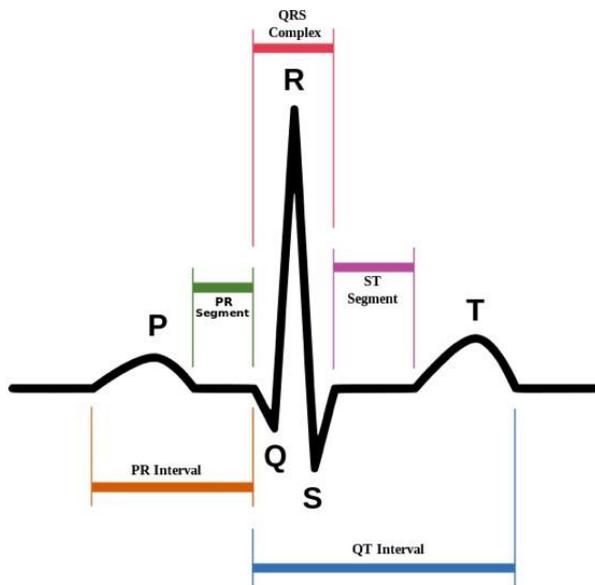
六种胸导联相应的正常心电图波形



2.1 心电图 (ECG)

●心电图波形

表 3-1 心电图各个波形的时间和幅度的典型值范围

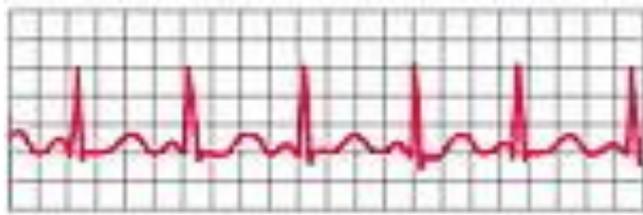


波形名称	电压幅度(mV)	时间(s)
P 波	0.05~0.25	0.06~0.11
Q 波	<R 波的 1/4	<0.03~0.04
R 波	0.5~2.0	—
S 波	—	0.06~0.11
T 波	0.1~1.5	0.05~0.25
P-R 段	与基线同一水平	0.06~0.14
P-R 间期	—	0.12~0.20
ST 段	水平线	0.05~0.15
Q-T 间期	—	<0.4

2.1 心电图 (ECG)

● 心电图波形

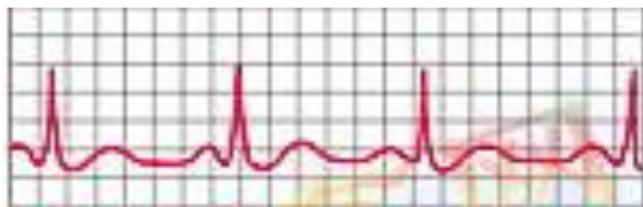
正常



快速心率



缓慢心率



期前收缩



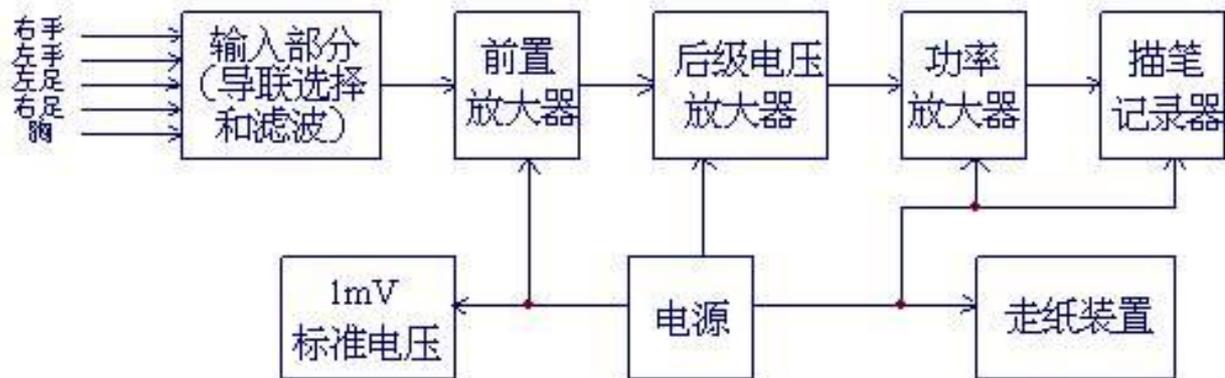
2.1 心电图 (ECG)

●心电图诊断仪

心电图机的基本结构

采用记录仪来描绘心电图的仪器叫心电图机。

五部分：输入电路、心电放大、心电测量、心电记录和电源供给

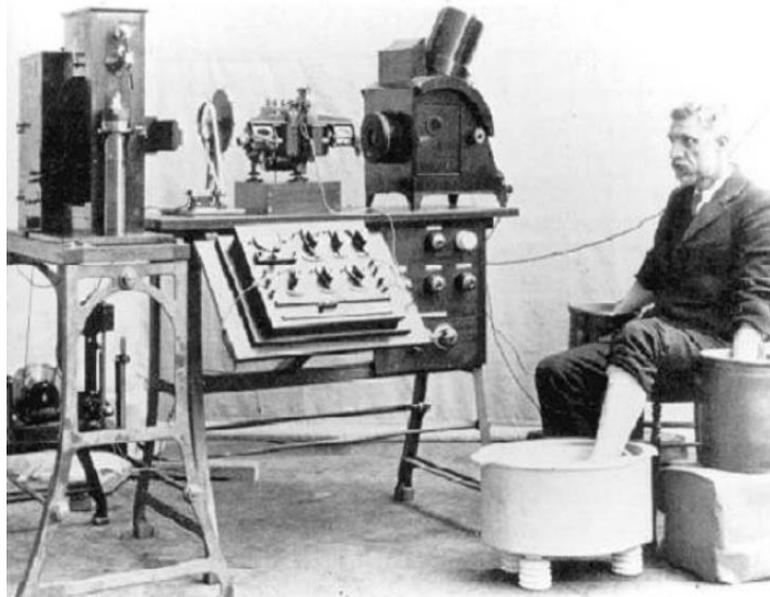


2.1 心电图 (ECG)

●心电图诊断仪

普通心电图机类型

两大类型：单通道心电图机和多通道心电图机



2.1 心电图 (ECG)

●心电图诊断仪

普通心电图机类型

单通道心电图机：

一次只能输出一种导联心电图波形。



2.1 心电图 (ECG)

●心电图诊断仪

普通心电图机类型

多通道心电图机：

同时输出多种导联心电图波形。

如二通道、三通道、四通道、
五通道、六通道、十二通道。



十二通道心电图机

2.1 心电图 (ECG)

- 心电图诊断仪

动态心电图机

Dynamic Electrocardiogram (DCG)

长时间监测、记录和储存心电图变化。

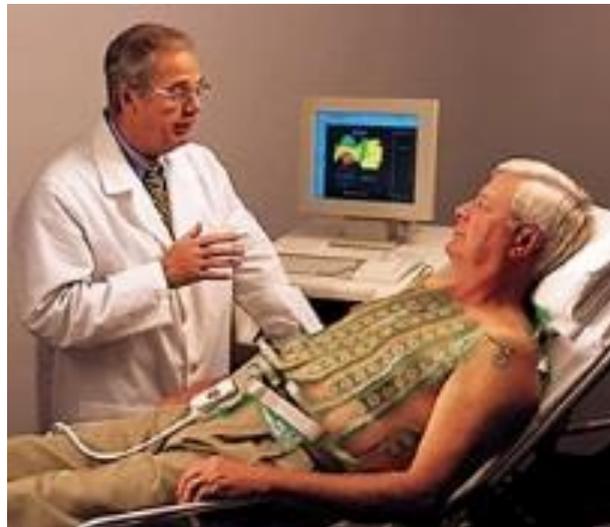


2.1 心电图 (ECG)

- 心电图诊断仪

心电地形图仪

使用电极阵列在体表几十到数百个点上检测心脏电活动。



2.2 脑电图 (EEG)

●脑电

◆正常人体**大脑神经细胞**数量达到150亿个。

◆自发脑电位 (Electroencephalogram, EEG)

大脑皮层的神经元具有生物电活动，因此**大脑皮层经常有持续的节律性电位改变**，称为自发脑电活动。临床上在头皮用双极或单极记录法来观察皮层的电位变化，记录到的脑电波称为脑电图。

◆诱发脑电位 (Evoked potential, EP)

在动物中将颅骨打开或以病人进行脑外科手术时，直接在皮层表面引导的电位变化，称为皮层电图。此外，在**感觉传入冲动的激发下**，脑的某一区域可以产较为局限的电位变化，称为脑诱发电位。

2.2 脑电图 (EEG)

● 脑电图的产生

大脑皮层由数以亿计的神经细胞具有自发脑电活动，宏观体现在大脑皮层具有电位变化（ $10\sim 100\ \mu\text{v}$ ）；由外界诱发（如电、光、声等刺激）也可引起脑电位的变化（经头皮引出 $0\sim 10\ \mu\text{v}$ ）。用电极在头皮上检测大脑皮层的电位变化，记录到的脑电波称为脑电图。



2.2 脑电图 (EEG)

●脑电图的医学用途

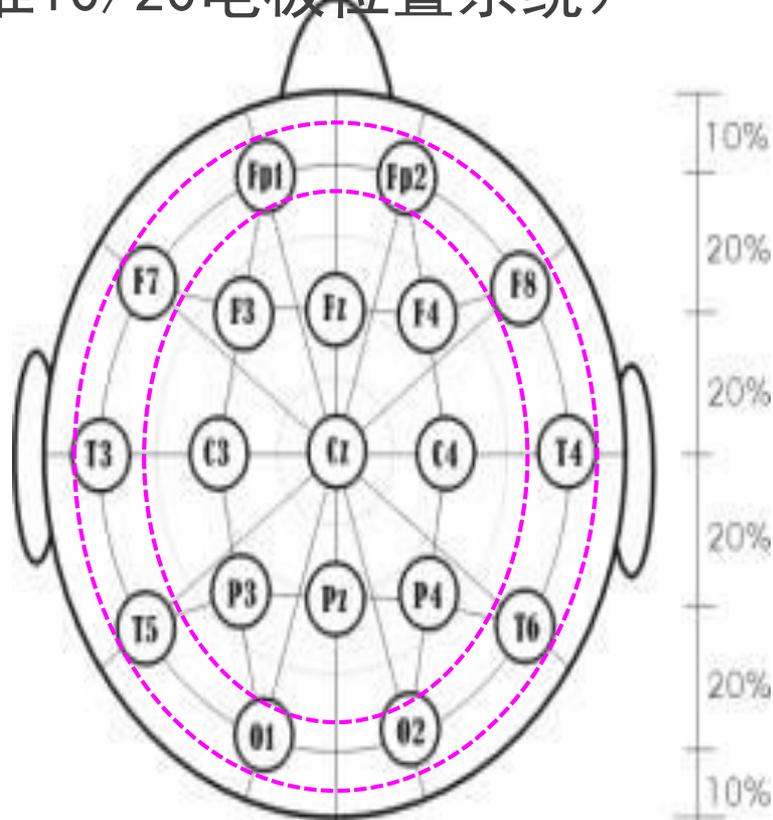
1. 癫痫：脑电图对癫痫诊断价值最大，可以帮助确定诊断和分型，判断预后和分析疗效；
2. 脑外伤：普通检查难以确定的轻微损伤脑电图可能发现异常；
3. 对诊断脑肿瘤或损伤有一定帮助；
4. 判断脑部是否有器质性病变，特别对判断是精神病还是脑炎等其他疾病造成的精神症状很有价值，还能区别癔病，诈病或者是真正有脑部疾病；
5. 用于生物反馈治疗。

2.2 脑电图 (EEG)

- 电极的安放位置（国际标准10/20电极位置系统）

(1) 测量眉毛和耳上方头围的下10%圈定出最外侧电极的位置。

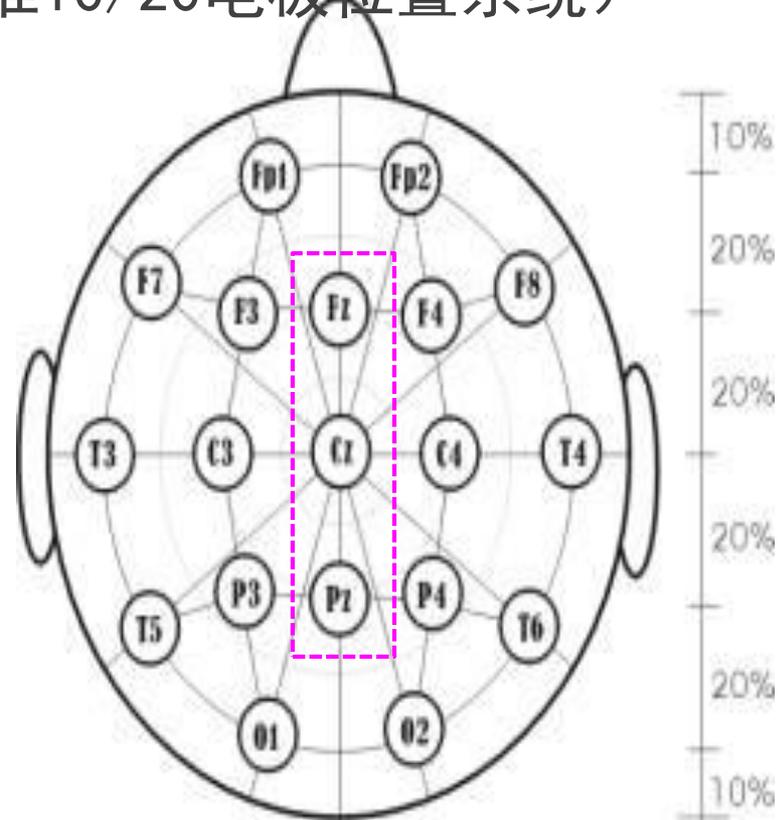
左右前额点FP1、FP2，前颞点F7、F8，中颞点T3、T4，后颞点T5、T6和枕点O1、O2。



2.2 脑电图 (EEG)

- 电极的安放位置（国际标准10/20电极位置系统）

(2) 前后方向的测量是以鼻根到枕骨粗隆连成的正中中线为准，在此线上有额中线点Fz、中央头顶点Cz和顶中线点Pz，在正中线上中点和前后20%处。

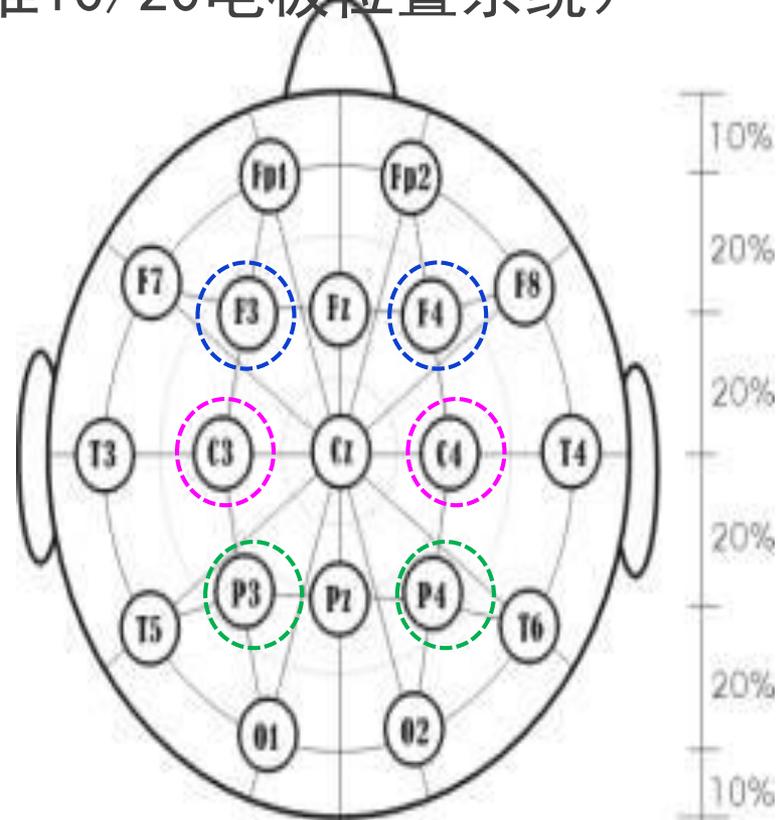


2.2 脑电图 (EEG)

● 电极的安放位置 (国际标准10/20电极位置系统)

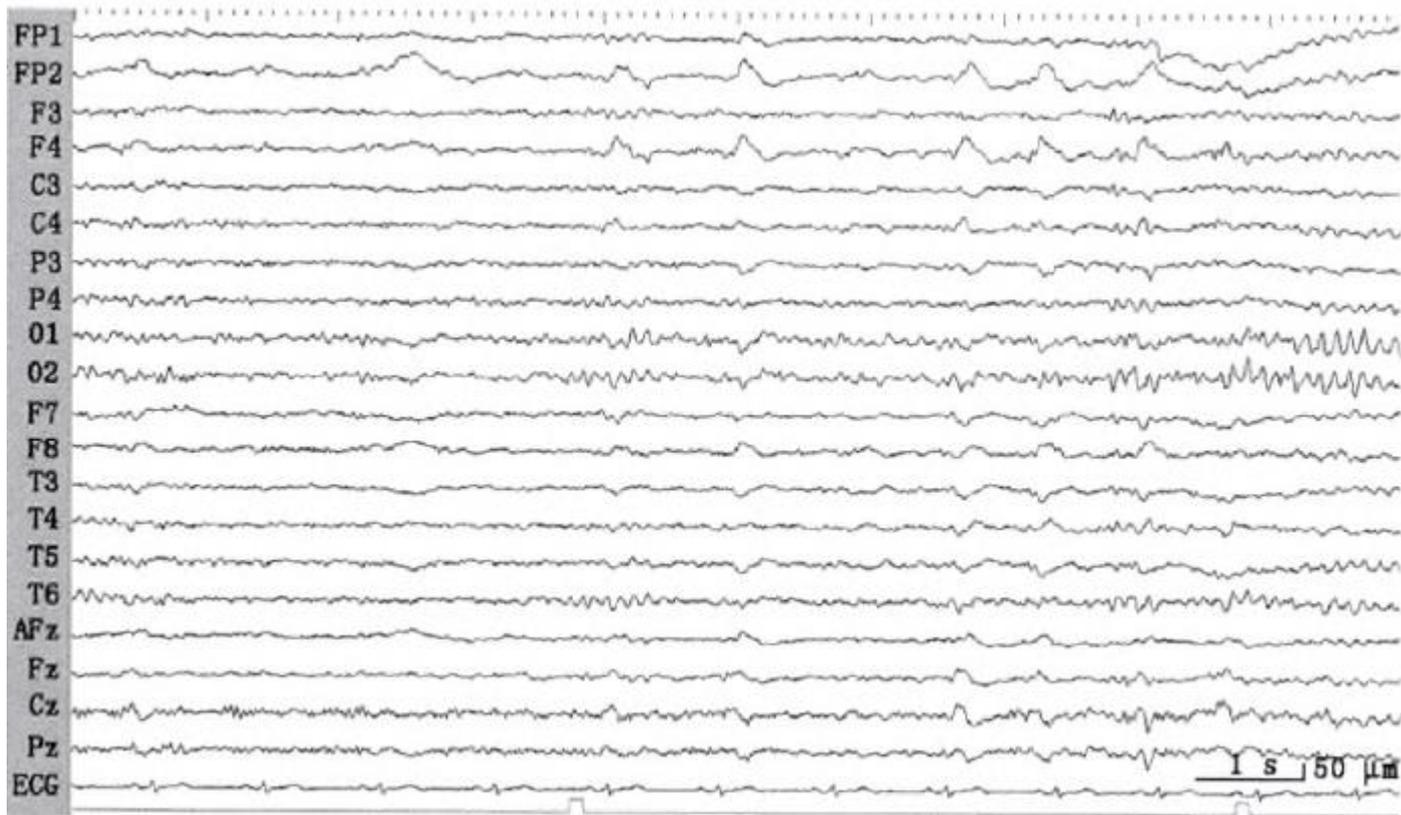
(3) 根据耳屏前凹径中央头顶到对侧耳屏前凹的测量结果, 可确定冠状线电极的位置, 如中央点(C3, C4)。

(4) 额点(F3, F4)位于前额和中央, 以及前颞和额中线电极的中间。顶点(P3, P4)位于中央和枕区, 后颞和顶中线电极的中间。



2.2 脑电图 (EEG)

- 电极的安放位置 (国际标准10/20电极位置系统)



2.2 脑电图 (EEG)

- 电极和电极帽

- ◆ 单级或双极导联
- ◆ 电极固定，与头皮接触良好
- ◆ 接触电阻应小于10 k Ω
- ◆ 采用交流方法测量
- ◆ 信号弱，对前置放大器要求高



2.2 脑电图 (EEG)

● 脑电波频率划分

类型	频率范围	峰值
γ	$> 31 \text{ Hz}$	$< 2 \mu\text{V}$
β	$13 \text{ Hz} \sim 30 \text{ Hz}$	$< 20 \mu\text{V}$
α	$8 \text{ Hz} \sim 13 \text{ Hz}$	$20 \sim 100 \mu\text{V}$
θ	$4 \text{ Hz} \sim 8 \text{ Hz}$	$< 150 \mu\text{V}$
δ	$0.5 \text{ Hz} \sim 4 \text{ Hz}$	$< 200 \mu\text{V}$

2.2 脑电图 (EEG)

● 脑电波频率划分

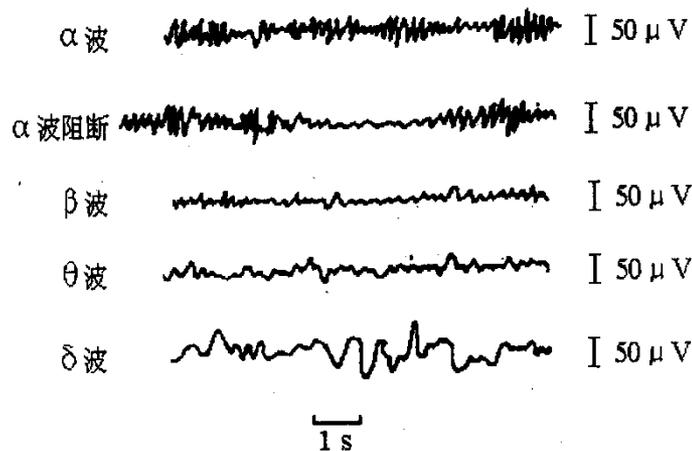
◆ α 波：可在头颅枕部检测到，休息但未入眠时出现，睁眼或入睡时消失。但个体差异大，约10%的正常人记录不到。

◆ β 波： β 波频率较高（约为 $>13\text{Hz}$ ），常见于紧张的精神活动期间， β 波的出现一般意味着大脑比较兴奋。

◆ θ 波：它是在困倦时，中枢神经系统处于抑制状态时所记录的波形。

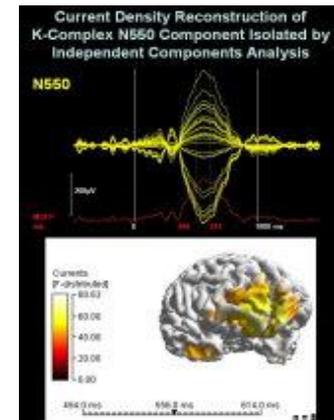
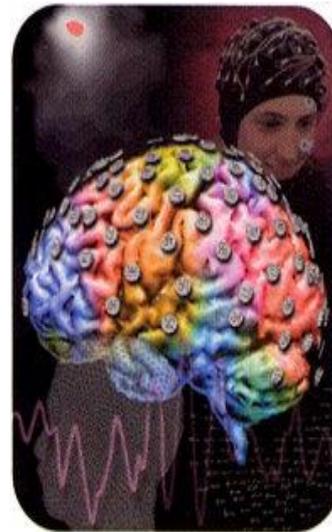
◆ δ 波：在睡眠、深度麻醉、缺氧或大脑有器质性病变时出现。

◆ γ 波：注意或感觉刺激引起的一种低幅高频波。



2.2 脑电图 (EEG)

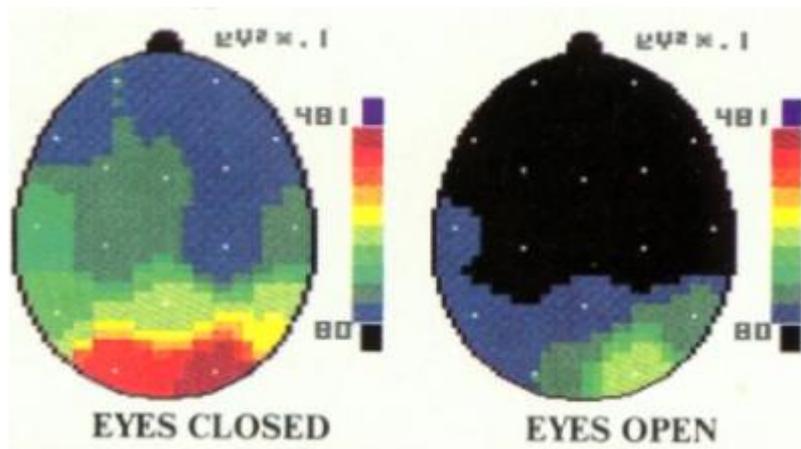
- 128导脑电图/事件相关电位 (EEG/ERP) 记录系统



2.2 脑电图 (EEG)

- 脑电地形图BEAM (Brain Electrical Activity Mapping)

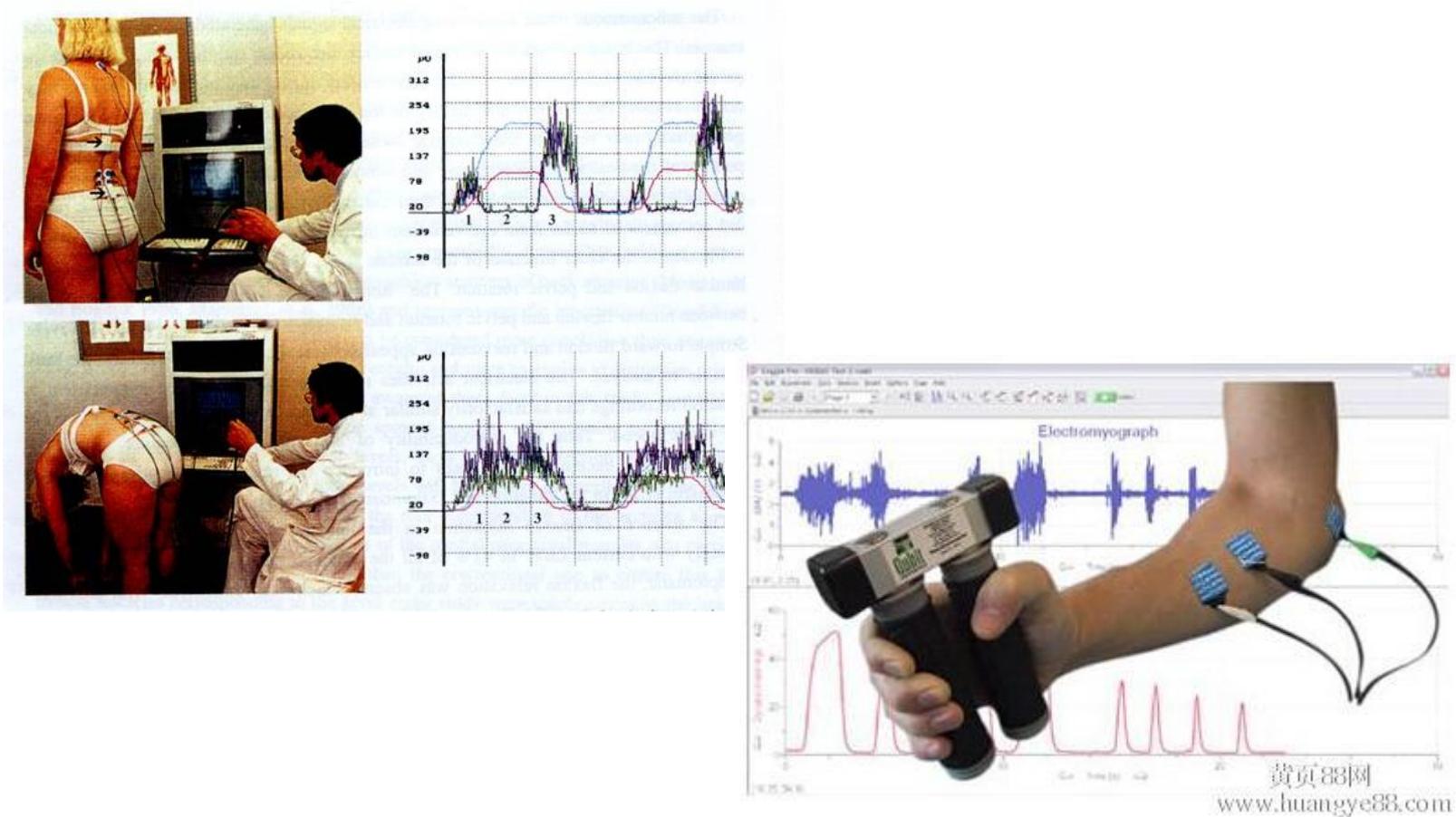
在脑电图技术基础上，用计算机对EEG信号进行二次处理，将曲线波形转变成能够定位和定量的彩色脑波图像。脑波的定量可用数字或颜色来显示，其图像类似二维CT平面，使大脑的变化与形态定位结合起来，更准确、更直观。



2.3 肌电图 (EMG)

- 兴奋和收缩是骨骼肌最基本的机能，也是肌电图形成的基础。
 - ◆ 肌电图能比较准确地反映神经损害和肌肉病变两方面的不同改变,并能很方便地将两类病变区别开来,患有肌肉无力、萎缩或其它某些情况,临床鉴别诊断有困难时,医师往往借助肌电图检查。
 - ◆ 运动神经细胞或纤维兴奋时,其兴奋向远端传导则通过运动终板而兴奋肌纤维,产生肌肉收缩运动,并有电位变化,这种电位变化就是肌电图的来源

2.3 肌电图 (EMG)



2.3 肌电图 (EMG)

● 异常肌电图

- ◆ 插入电位减少、消失或延长，反应肌肉萎缩。
- ◆ 纤颤电位，见于神经源性损害和肌源性损害。
- ◆ 正锐波，神经肌纤维变性后指标。
- ◆ 束颤电位，见于神经源性损害。

2.4 其他生物电及多道生理记录仪

- 除心脏、脑和肌肉外，其他器官、组织都存在不同程度的电现象
 - ◆视网膜电图、眼电图及眼震电图。
 - ◆胃电图

2.4 其他生物电及多道生理记录仪

●眼电图（EOG）

- ◆目前只有使用较间接的方法，在内、外眦角皮肤上各置一氯化银电极，患者头部固定，眼注视一个在30度内作水平移动的红灯。因为眼球的电轴跟随眼球的转动而改变，所以内、外眦角电极的电位也不断变化，比较明、暗适应下的这种变化并将此电位加以放大及记录，即得眼电图。
- ◆EOG异常只表明视网膜第一个神经元突触前的病变，也即视网膜最外层的病变。它的价值是能较客观的反映出器质性病变。

2.4 其他生物电及多道生理记录仪

●胃电图（EGG）

- ◆胃轻瘫评估提示有胃动力障碍症状的患者（恶心、呕吐、餐后饱胀、餐后腹痛等）
- ◆检测改变胃肌电活动的药物疗效（止呕药、促胃肠动力药）
- ◆检测有胃肠道其他部位症状的患者，是否也存在胃运动功能异常

2.4 其他生物电及多道电生理记录仪

● 多道电生理记录仪

将几种电生理信号同步记录与显示的仪器称为多道电生理记录仪。



可测量生物电，血压，呼吸，肌张力，体温，肺功能，血液流速流量，有创和无创心输出量，细胞电位，皮肤电阻，脉搏容积，血氧饱和度，氧气或二氧化碳气体浓度，输出刺激。

MP150多道生理记录仪

第3节 电磁波的医学应用

3.1 电磁波

3.2 微波的生物学效应

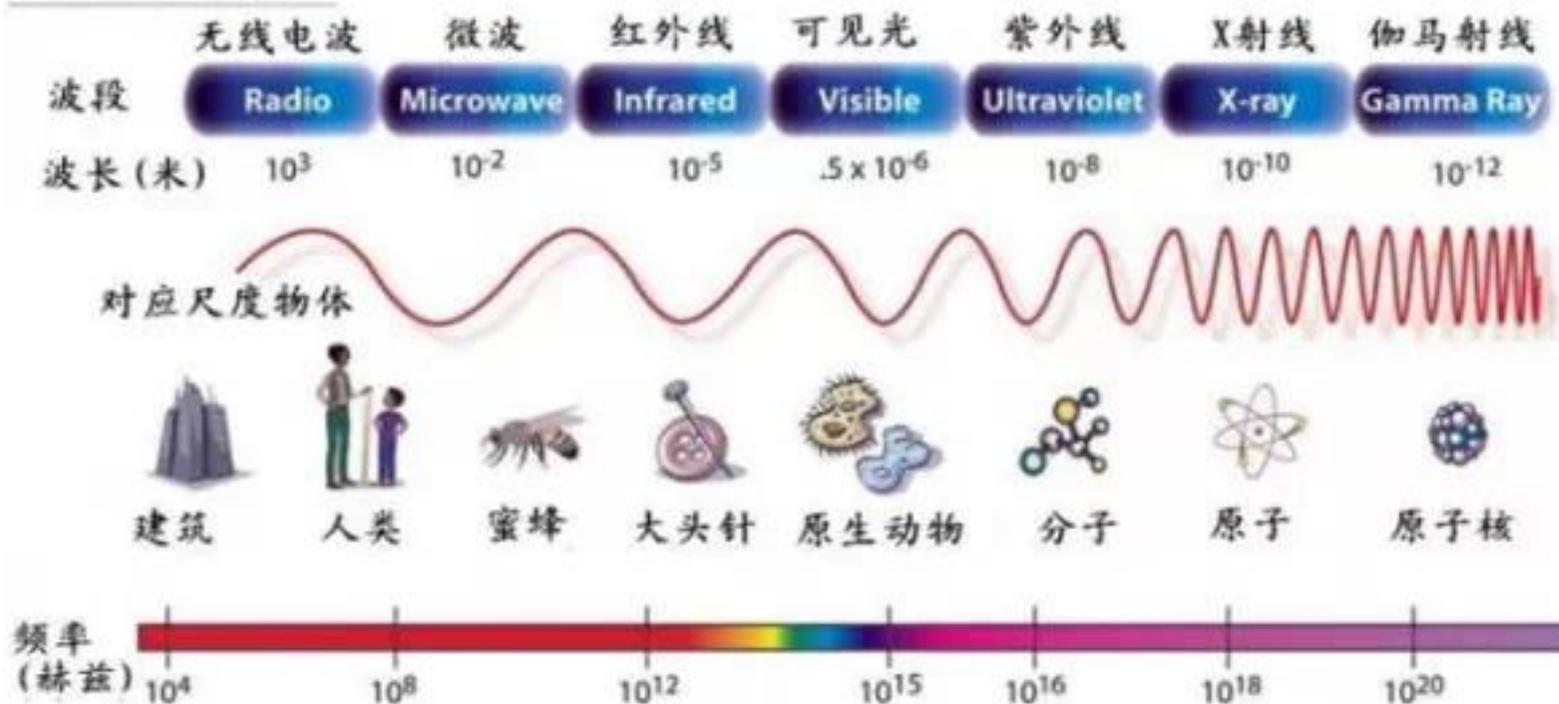
3.3 毫米波的生物学效应

3.4 红外线的生物学效应

3.5 激光的生物学效应

3.1 电磁波

电磁波谱



3.1 电磁波

电磁波产生机理与特性

	无线电波	红外线	可见光	紫外线	X射线	γ射线
产生机理	振荡电路中自由电子的振动	原子外层电子受到激发			原子内层电子受到激发	原子核受到激发
特性		热作用	使人类产生视觉	化学作用、荧光效应、杀菌消毒	穿透能力强	
应用	通信				工业探伤、医学透视等	

3.1 电磁波

- 电磁波的生物效应分类

- ◆ 热效应

电磁波伴有交变电磁场，会使物质的分子交替极化，导致往复弛豫运动，分子在运动中就会发生碰撞并与物质摩擦，就表现出了“热”现象。

与其它加热方式有本质区别。生物体内的有极分子碰撞生热；传导电流生热；介质损耗生热。

3.1 电磁波

- 电磁波的生物效应分类

- ◆ 热效应

传导电流生热：

生物体中存在能自由迁移的带电粒子（电子、离子或带电分子团），生物体在电场作用下能产生电流。

3.1 电磁波

- 电磁波的生物效应分类

- ◆ 热效应

介质损耗生热：

无极分子在外电场作用下，分子的正负电荷重心将发生相对移动形成等效电偶极子。电场撤去后正负电荷重心又重合在一起。

3.1 电磁波

- 电磁波的生物效应分类

- ◆ 非热效应

人体的器官和组织都存在微弱的电磁场，它们是稳定和有序的，一旦受到外界电磁场的干扰，处于平衡状态的微弱电磁场即将遭到破坏，人体也会遭受损伤。

这种影响经常发生在细胞与分子水平上。

3.1 电磁波

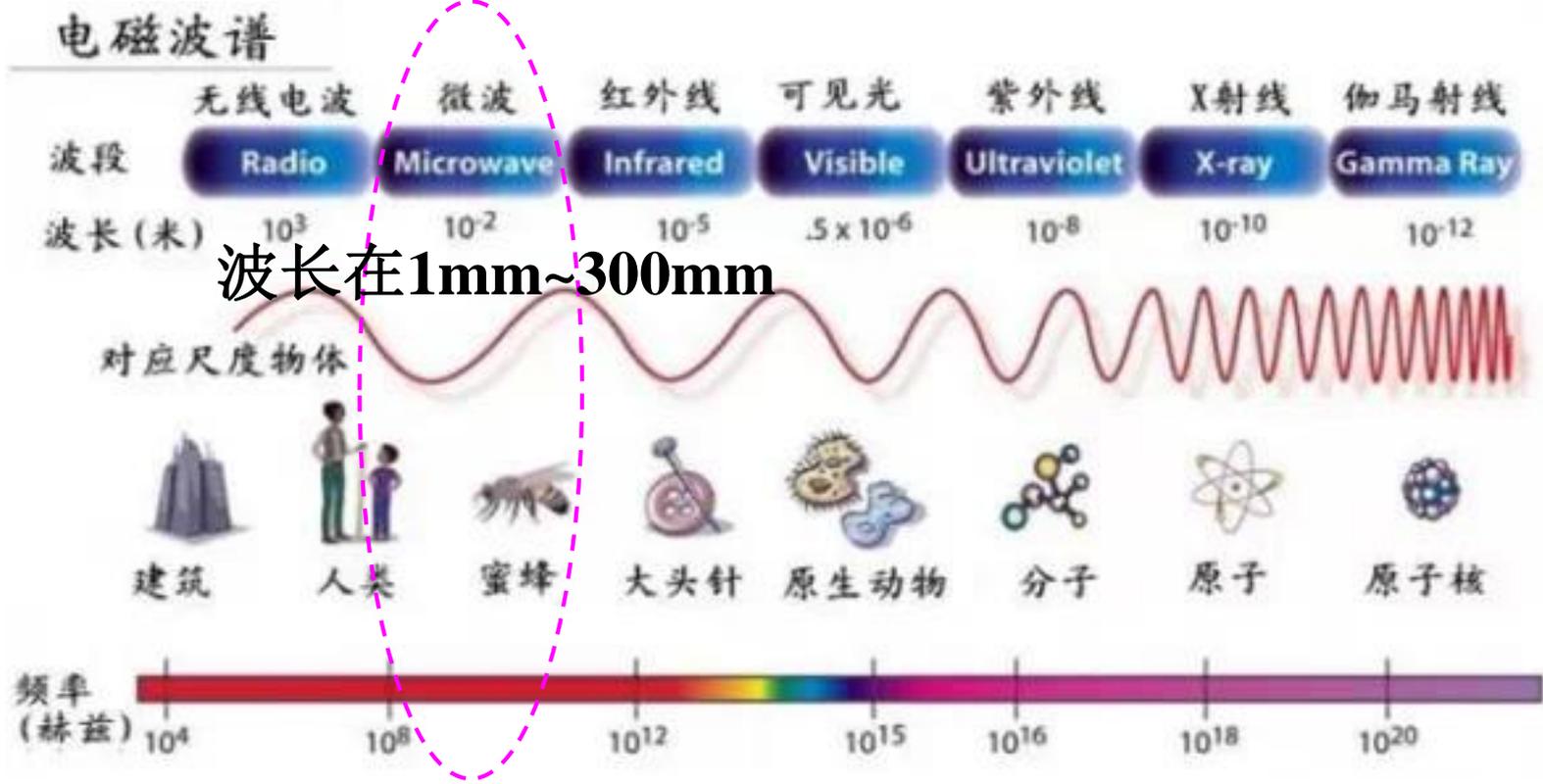
- 电磁波的生物效应分类

- ◆ 积累效应

电磁波对人体的伤害可以发生累积，久而久之会成为永久性病态，危及生命。

3.2 微波的生物效应

- 微波是指频率在300MHz至300GHz的电磁波。



3.2 微波的生物效应

- 微波的特点

- ◆微波辐射到物体上会发生显著的反射，传播特性同几何光学类似，具有直线传播。
- ◆微波能深入到物质内部，同物质发生相互作用产生热效应。

3.2 微波的生物效应

- 微波在生物组织中的传播

- ◆ 当微波照射到组织时，会引起组织的变化，同时，也必然会产生反射、折射和衰减。

- 1) 微波在均匀组织中的传播
- 2) 微波在平面分层媒质中的传播

3.2 微波的生物效应

- 微波在均匀组织中的传播

- ◆ 微波的电磁能量随着深度的增加而减少即衰减

当微波进入组织时，组织表面的能量密度是最大的，随着微波向组织的渗透，其能量呈指数衰减。

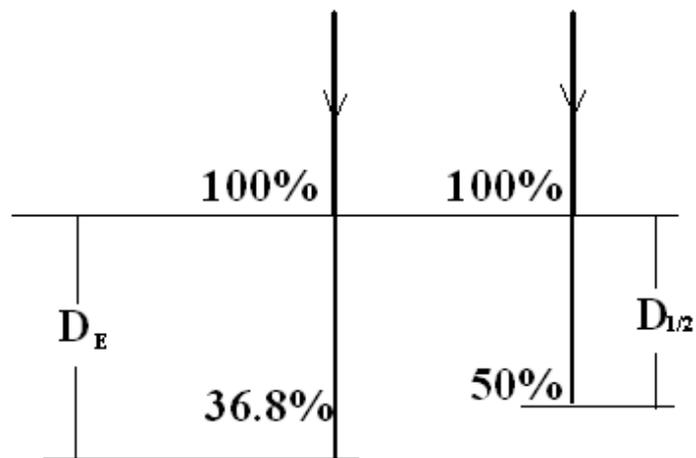
- ◆ 微波能量衰减的快慢与组织的介电特性有关

3.2 微波的生物效应

● 微波在均匀组织中的传播

◆ 1) 渗透深度为微波功率从物料表面减至表面值的 $1/e$ (36.8%) 时的距离, 用 D_E 表示, e 为自然对数底值。

$$D_E = \frac{\lambda_0}{\pi \sqrt{\epsilon_r} \tan \delta}$$

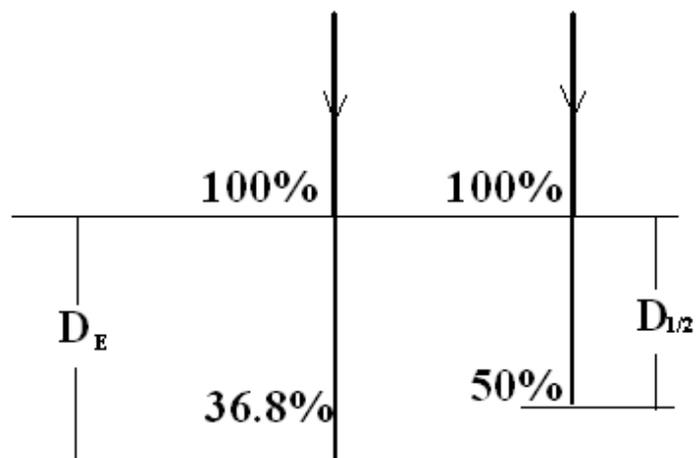


式中 λ_0 ——自由空间波长
 ϵ_r ——介电常数
 $\tan \delta$ ——介质损耗

3.2 微波的生物效应

● 微波在均匀组织中的传播

◆ 2) 微波功率从物料表面衰减到表面值的1/2时的距离，即所谓半功率渗透深度 $D_{1/2}$ 。



$$D_{1/2} = \frac{3\lambda_0}{8.686\pi\sqrt{\epsilon_r}\tan\delta}$$

式中 λ_0 ——自由空间波长
 ϵ_r ——组织的介电常数
 $\tan\delta$ ——介质损耗

3.2 微波的生物效应

● 微波在均匀组织中的传播

- ◆ 渗透深度随波长的增大而变化，换言之，它与频率有关，频率越高，波长越短，其穿透力也越弱
- ◆ 由于一般物体的 $\pi\sqrt{\epsilon_r} \tan \delta \approx 1$ ，微波渗透深度与所使用的波长是同一数量级的。
- ◆ 穿透深度也和物质的温度有关，随温度升高而加强。

$$D_{1/2} = \frac{3\lambda_0}{8.686\pi\sqrt{\epsilon_r} \tan \delta}$$

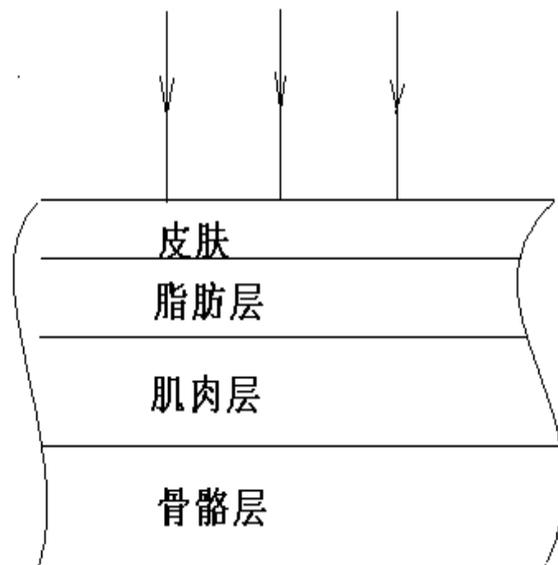
$$D_E = \lambda_0 / \pi\sqrt{\epsilon_r} \tan \delta$$

3.2 微波的生物效应

● 微波在平面分层媒质中的传播

◆ 生物组织是由多层不同的组织构成。由表及里有皮肤、脂肪、肌肉和骨骼。

◆ 假设生物组织是无限大的均匀组织，各组织又成平面分层，且每层是均匀的，但每层之间是不同的。

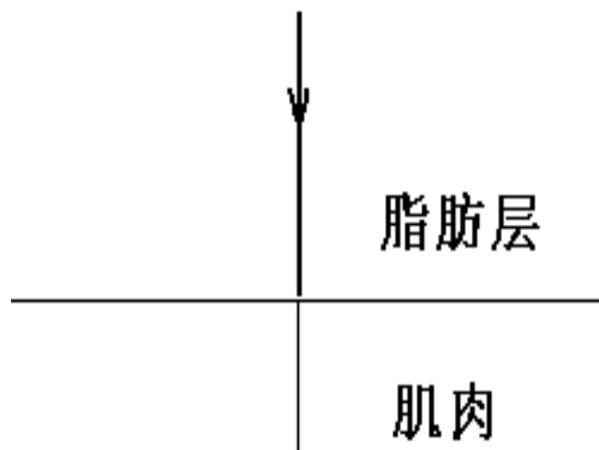


3.2 微波的生物效应

● 微波在平面分层媒质中的传播

◆ 微波在脂肪与肌肉产生热的比例接近1:1。

◆ 当平面波从脂肪层垂直入射到肌肉层时，在肌肉和脂肪边界两边的吸收功率不连续，出现一个突变点，当频率升高时透射深度降低，易造成脂肪层灼伤，因此，热疗中的微波频率不宜太高。



3.2 微波的生物效应

- 微波生物学效应

- ◆ 生物体受到微波照射后，在生物化学、生物物理、组织形态、生理功能、行为等方面发生变化的现象。微波生物效应可分为有益效应和有害效应两类。
- ◆ 两类效应都可以由微波热效应或微波的非热效应引起。

3.2 微波的生物效应

- 微波的热效应

- ◆ 影响被加热物体温度升高的因素

- 微波电场强度、电场的相对方向；被加热组织的介电特性；物体的比热。

- ◆ 当微波电场方向与被加热生物体的外形的长轴平行时，加热效果最好。

3.2 微波的生物效应

- 微波的非热效应

- ◆ 生物体受到低功率的微波照射时，在不引起生物体温度明显升高的情况下所出现的生理、病理反应。

- ◆ 对大功率微波辐照，热效应占主导地位。对长时间、小功率微波辐射，一般非热效应占主导地位。

3.2 微波的生物效应

- 微波的非热效应

- ◆ 危害

- 长期受低功率微波照射易出现“神经衰弱症侯群”

- 引发心血管疾病、白内障、免疫降低

- ◆ 临床症状和病理变化还与微波的波形有关，用脉冲波辐射比用连续微波更加明显。

3.2 微波的生物效应

- 微波的医学应用

- ◆ 微波治疗

微波治疗疾病的原理比较复杂，仍处于研究中。主要是通过热效应和生物效应来实现。

热效应使局部产生一定的热量达到治病目的。

非热效应是利用特定频率和功率的微波照射人体穴位达到治疗目的。如通过微波治疗可增加白血球。

3.2 微波的生物效应

● 微波的医学应用

- ◆ 微波治疗炎症
- ◆ 微波治疗外伤出血
- ◆ 微波治疗内伤淤血
- ◆ 微波加热治疗肿瘤
- ◆ 微波针灸
- ◆ 微波手术刀

微波治疗仪



3.2 微波的生物效应

- 微波治疗恶性肿瘤

- ◆ 加热深度大、方向性好。通过聚焦，可得到很窄的微波束
- ◆ 人体组织局部吸收微波电磁能后所产生的热量不易散发到外部
- ◆ 在临床治疗时不需要任何的耦合剂
- ◆ 微波热疗安全可靠；定位准确，便于操作
- ◆ 设备价格低廉

3.2 微波的生物效应

- 微波治疗恶性肿瘤的基本原理

- ◆ 微波对肿瘤有选择性的加温作用。

- 皮肤癌组织中含水量为81.6%，正常组织的含水量为60.9%。在微波照射下癌组织的升温要比正常组织高，显现出微波对癌组织的选择性加温作用。

- ◆ 肿瘤组织的储热作用。

- 肿瘤血流量仅为周围正常组织血流量的2~15%，肿瘤组织通过血液循环引起的散热作用大大低于正常组织

3.2 微波的生物效应

- 微波治疗恶性肿瘤的基本原理

- ◆ 肿瘤组织的耐热性差

由于肿瘤组织的血供不良，局部组织营养缺乏和供氧不足等原因，无氧糖酵解作用增强，产生大量乳酸，致使肿瘤区组织处于低PH环境，使肿瘤细胞对热的耐受性降低。

临床上常使用 45.7°C 作为微波治疗温度。

3.3 毫米波的生物效应

- 毫米波是指频率为30~300GHz的电磁波，波长在1~10毫米。（处于微波波段的高频段）

3.3 毫米波的生物效应

- 毫米波的生物学特性

- ◆ 功率阈值特性: 毫米波产生生物学效应的功率密度阈值很低, $\geq 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。照射生物体表面产生的平均温升不会超过 0.1°C 。主要产生非热效应。

- ◆ 生物学效应的时间性和累积性: 辐射开始后需要经一定的时间才显现生物学效应。通常效应稳定所需的最佳辐射时间为一小时。在某些情况下, 需要辐射多次, 每次间隔一定时间。才能表现出效应, 即生物学效应的累积性。

3.3 毫米波的生物效应

- 毫米波的生物学特性

- ◆ 远位效应: 生命体受辐射时, 由于生物体有复杂的自我调节系统, 其内部进行能量和信息的传递、转换、加工等。辐射作用能够影响远离辐射局部的组织或器官, 即具有远位效应。例如, 照射小鼠背部皮肤可以观察到肝脏、骨髓及辜丸等部位的形态学变化等。

- ◆ 电磁辐射的信息作用: 毫米波辐射具有优越的信息作用, 可利用这种较强的信息作用调节机体的诸多功能。

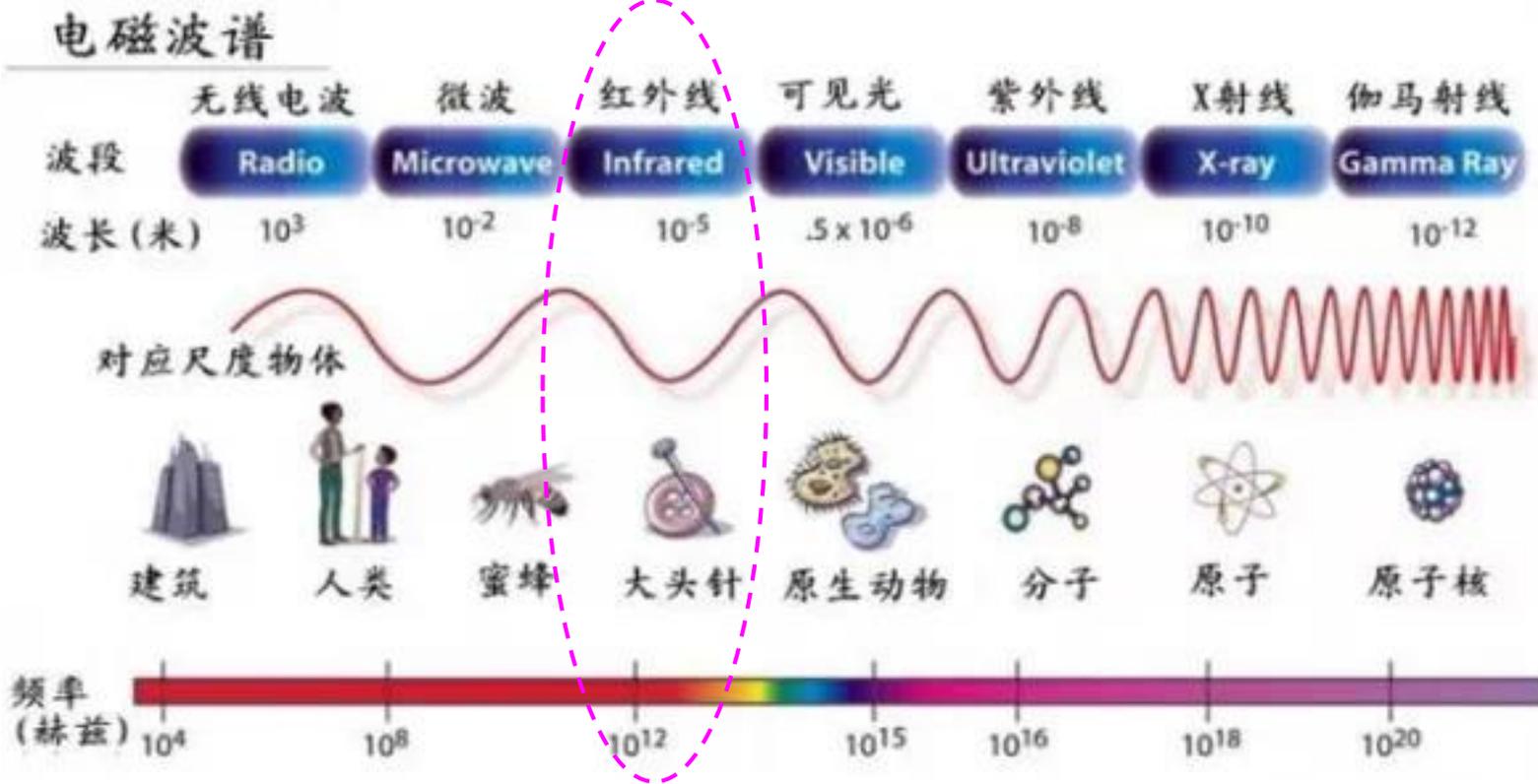
3.3 毫米波的生物效应

● 毫米波的医学应用

- ◆ 治疗心、脑血管系统疾病。临床观察发现毫米波辐射可以改善心肌收缩功能、增加心搏出量、降低心率，使心肌代谢正常化等。
- ◆ 治疗消化系统疾病。可以调节胃肠运动功能，缓解临床症状，缩短病程。
- ◆ 骨、关节、软组织等创伤的治疗，可以消炎、止痛、加速修复过程。
- ◆ 于肿瘤的辅助治疗。

3.4 红外线的生物效应

- 红外线波长在 $0.75 \sim 1000 \mu\text{m}$ 之间



3.4 红外线的生物效应

- 红外线分为三部分

近红外线,波长为 $0.75\sim 1.50\mu\text{m}$ 之间;

中红外线,波长为 $1.50\sim 6.0\mu\text{m}$ 之间;

远红外线,波长为 $6.0\sim 1000\mu\text{m}$ 之间.

远红外线已被广泛运用在医疗保健,主要利用的红外线的热效应

3.4 红外线的生物效应

●手持式红外测温仪又名便携式红外测温仪

一切温度高于绝对零度的物体都在不停地向周围空间发出红外辐射能量。物体的红外辐射能量的大小及其按波长的分布与它的表面温度有着十分密切的关系。因此，通过对物体自身辐射的红外能量的测量，便能准确地测定它的表面温度。

光学系统将其视场内的目标红外辐射能量聚焦在光电探测器上，并转变为相应的电信号。该信号经过放大器和信号处理电路，并按照仪器内置的算法和目标发射率校正后转变为被测目标的温度值。



3.4 红外线的生物效应

● 红外热成像

正常人体的温度分布具有一定的稳定性和特征性，机体各部位温度不同，形成了不同的热场。当人体某处发生疾病或功能改变时，该处血流量会相应发生变化，导致人体局部温度改变，表现为温度偏高或偏低。

根据这一原理，通过热成像系统采集人体红外辐射，并转换为数字信号，形成伪色彩热图，利用专用分析软件，经专业医师对热图分析，判断出人体病灶的部位、疾病的性质和病变的程度，为临床诊断提供可靠依据。

3.4 红外线的生物效应

● 红外热成像



3.4 红外线的生物效应

●红外线治疗仪

可穿过皮肤，直接使肌肉、皮下组织等产生热效应。加速血液物质循环，增加新陈代谢、减少疼痛、增加肌肉松弛、产生按摩效果等。红外线主要是由于其能从不同水平调动人体本身的抗病能力而治疗疾病。

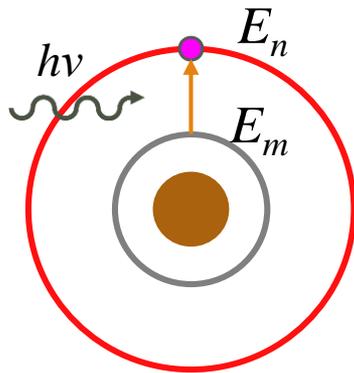


3.5 激光的生物效应

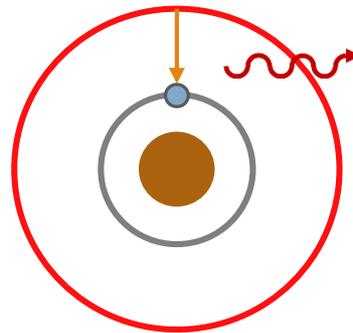
● 激光的产生

原子能级间的三种跃迁

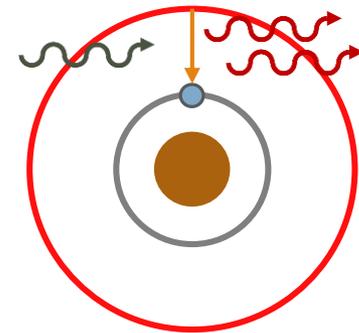
$$h\nu = E_n - E_m$$



吸收



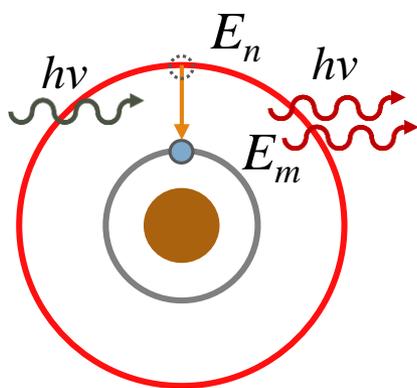
自发辐射



受激辐射

3.5 激光的生物效应

● 激光的产生



受激辐射

原子开始处于高能级 E_n ，当一个外来光子所带的能量 $h\nu$ 正好为某一对能级之差 $E_n - E_m$ ，则这原子可以在此外来光子的诱发下从高能级 E_n 向低能级 E_m 跃迁。这种受激辐射的光子有显著的特点，就是原子可发出与诱发光子全同的光子，不仅频率（能量）相同，而且发射方向、偏振方向以及光波的相位都完全一样。

这意味着原来光信号被放大这种在受激过程中产生并被放大的光，就是激光。

3.5 激光的生物效应

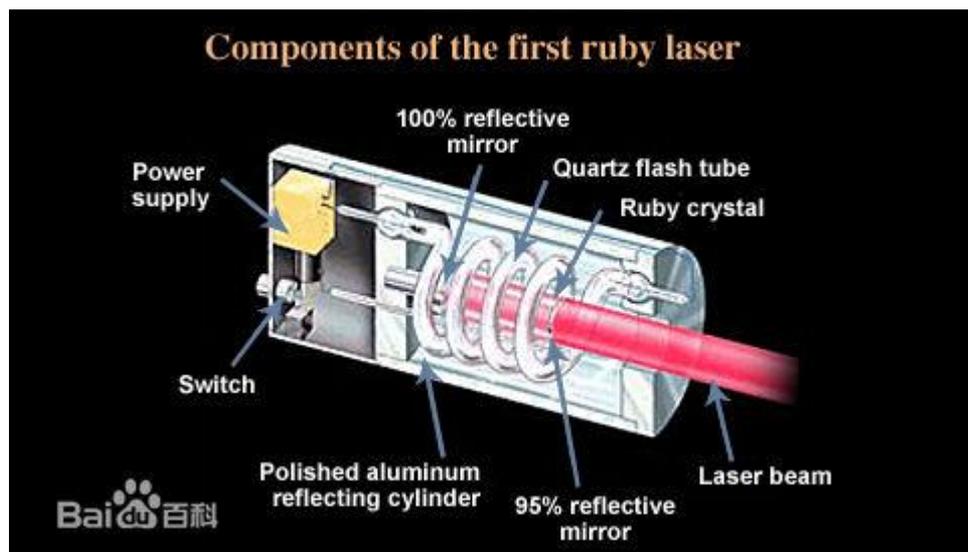
● 激光的产生

激光的产生必须选择合适的工作介质，可以是气体、液体、固体或半导体。在这种介质中可以实现粒子数反转，以制造获得激光的必要条件。现有工作介质近千种，可产生的激光波长包括从真空紫外到远红外，非常广泛。

3.5 激光的生物效应

● 激光的产生

红宝石晶体的基质是 Al_2O_3 ，晶体内掺有约0.05%（重量比）的 Cr_2O_3 。

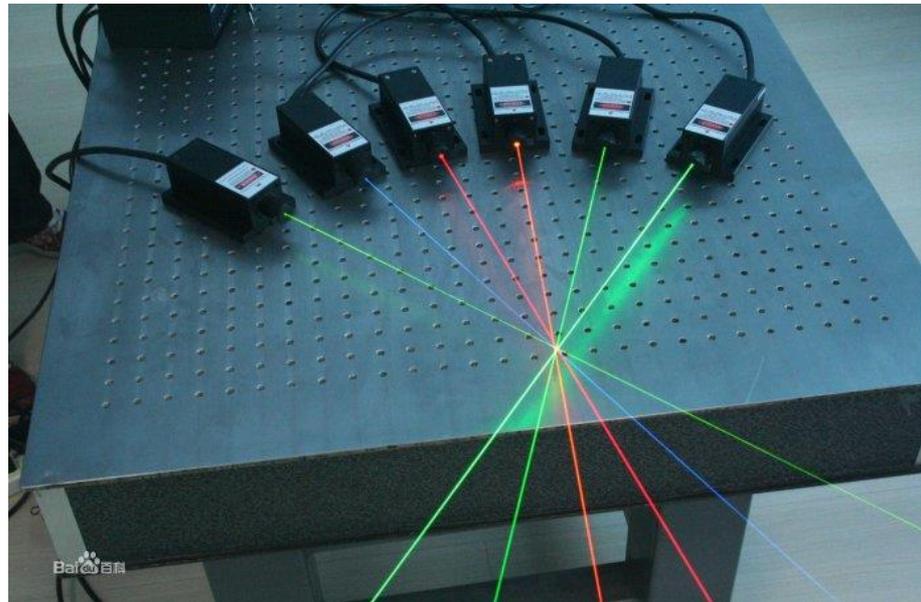


红宝石激光器

3.5 激光的生物效应

● 激光的产生

激光二极管，是用半导体材料作为工作物质的激光器。常用工作物质有砷化镓 (GaAs)、硫化镉 (CdS)、磷化铟 (InP)、硫化锌 (ZnS) 等。



半导体激光器

3.5 激光的生物效应

● 激光的特性

(1) 单色性

普通光源发射的光子，在频率上是各不相同的，所以包含有各种颜色。而激光发射的各个光子频率相同，因此激光是最好的单色光源。

3.5 激光的生物效应

● 激光的特性

(2) 方向性极好

几乎是一平行的光线，激光照射到月球上形成的光斑直径仅有1公里左右。即便是最好的探照灯，如将其光投射到月球上，光斑直径将扩大到1 000公里以上。

3.5 激光的生物效应

● 激光的特性

(3) 亮度极高

大量光子集中在一个极小的空间范围内射出，能量密度自然极高。激光亮度极高的主要原因是定向发光。能量密度自然极高。激光的亮度可比普通光源高出 10^{12} - 10^{19} 倍，是目前最亮的光源，强激光甚至可产生上亿度的高温。

3.5 激光的生物效应

- 激光的特性

- (4) 相干性好

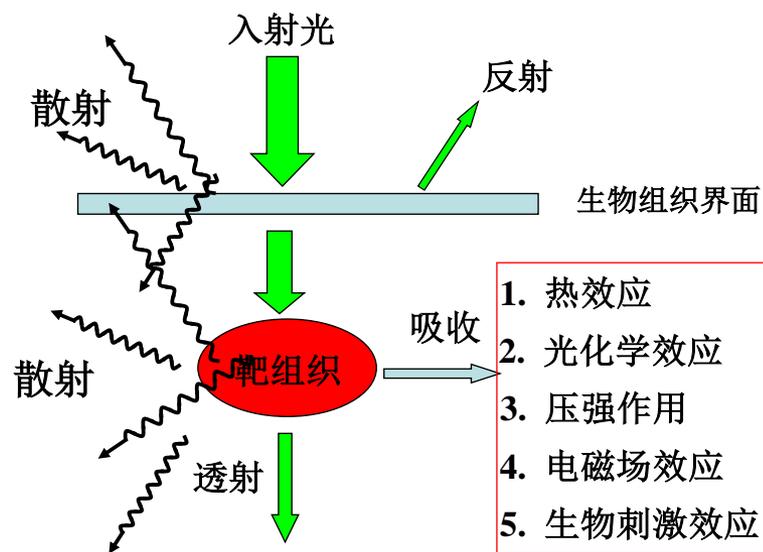
- 相干波必须具有相同的频率和恒定的相位差。激光为定向单色光束，相干性好。

3.5 激光的生物效应

● 激光的生物效应

激光的生物效应有：
热效应、光化学效应、压强作用、电磁场效应和生物刺激效应。

激光与生物组织相互作用原理图



3.5 激光的生物效应

● 激光的热效应

激光照射生物组织后，光能转化为热能而使组织温度升高。当功率足够大时，数毫秒内即可使组织温度升高到 $200\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，使蛋白变性、凝固，甚而碳化、气化，这是激光刀和切割的基础。

热效应的强弱与激光的功率密度、照射面积和照射时间有密切的关系，也与生物组织对光的吸收率、比热、热导率有关系。

3.5 激光的生物效应

- 激光的光化学效应

光可以激发组织中的大分子产生荧光或磷光等现象，一些物质可以在激光的辐照下辅助治疗疾病。

3.5 激光的生物效应

● 激光的压强效应

当激光束焦点上的能量密度达到 10^{12} 兆瓦/厘米² 时带来的压力约为 40 克/厘米²，这将给生物组织造成相当可观的一次压力作用。热效应引起组织急剧地热膨胀也会产生的压力作用，称为二次压力作用。由压力效应引起的组织损伤，则可波及到远离受照区的部位。

例如，用红宝石激光照射小鼠头部时，发现头皮轻度损伤，颅骨和大脑硬膜并无损伤，而大脑本身却大面积出血，甚至造成死亡。

3.5 激光的生物效应

- 激光的电磁场效应

光在能力聚集时会形成强大的电场，激光的这种高强度电场可以产生很多生物效应。

3.5 激光的生物效应

● 激光的生物刺激效应

较低能量的激光辐照下能促进一些疾病的康复。

在生物场理论分析中认为，机体是一个巨大的晶体，是结构复杂的导电区，膜电导区中的代谢过程，能维持一定的自由电荷密度。激光的共振作用下将使生物等离子体恢复稳定，使之回到正常能层。这个理论尚无定论，但临床效果明显。

3.5 激光的生物效应

● 激光治疗技术

1. 激光手术

利用高功率密度的激光束对病灶实施凝固、气化和切割。

2. 弱激光治疗

利用低功率密度的弱激光进行理疗照射或针灸治疗。

3. 激光介入性治疗

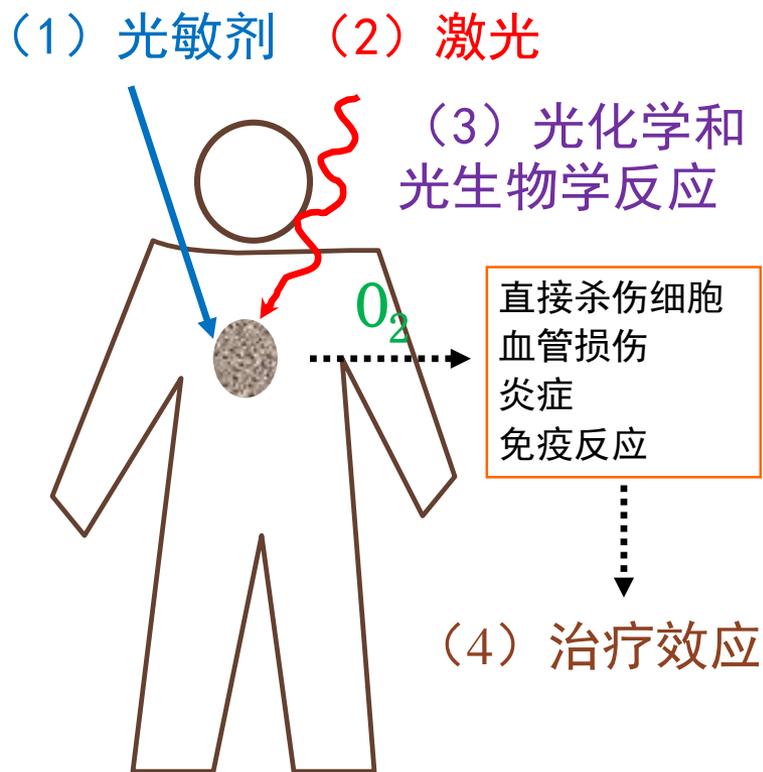
介入设备辅助下的激光手术治疗。

4. 激光光动力学疗法

3.5 激光的生物效应

● 激光光动力学疗法(photodynamic therapy, PDT)

特定波长的激光照射使组织吸收的光敏剂受到激发，而激发态的光敏剂又把能量传递给周围的氧，生成活性很强的单态氧。单态氧和相邻的生物大分子发生氧化反应，产生细胞毒性作用，进而导致细胞受损乃至死亡。



第4节 生物磁现象

4.1 生物磁场的来源

4.2 生物磁场检测特点

4.3 生物磁测量

4.4 磁场的生物学效应

4.1 生物磁场的来源

- 大至地球、月球、太阳及星际空间，小至组成物质的分子、原子、电子和质子、中子等，均具有磁性。地球上的一切生物都处于地磁场之中。

4.1 生物磁场的来源

● 生物磁场的来源

(1) 生物电流产生

各种生物电活动都伴随微弱的生物磁场。如心磁场, 脑磁场, 肌磁场等

(2) 生物顺磁性材料产生的感应场

生物活组织内某些物质具有一定的磁性。例如肝, 脾内含有较多的铁质就具有磁性, 它们在地磁场或其它外界磁场作用下产生感应场。

4.1 生物磁场的来源

● 生物磁场的来源

(3) 生物体本身含有的磁性物质产生的磁场

由于生物生存环境原因，某些具有强磁性的物质如含铁尘埃，磁铁矿存在于生物体内，这些物质在地磁场或外界磁场作用下被磁化，产生剩余磁场。

4.1 生物磁场的来源

● 生物顺磁性材料

人体中所含元素：碳、氢、氧、氮、硫、磷、氯、钠、钾、钙、镁、铁等和一些微量元素都具有磁性核。

多数过渡金属离子具有顺磁性（3d 或 4d 族的过渡离子）。 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 等等。含有这些过渡金属离子的蛋白或酶也具有顺磁性。如血红蛋白、铁蛋白。

4.1 生物磁场的来源

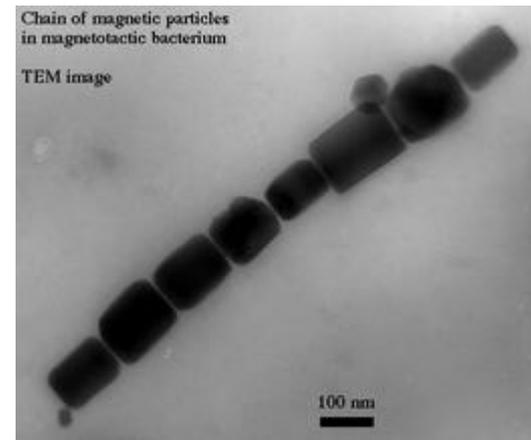
● 生物磁性物质

生物体中发现有微量 Fe_3O_4 和 Fe 等强磁性物质存在。它们在生物的定向导航中起着重要作用。

趋磁细菌在体内自身合成纳米磁性颗粒—磁小体（主要成分为 Fe_3O_4 和 Fe_3S_4 ），在外磁场的作用下能作定向运动。

初步的研究结果表明，在鸽子的颅骨下方的前脑中具有长约 $0.1\ \mu\text{m}$ 的针状磁铁。

也曾发现在某些人的鼻窦骨的表层下约 $5\ \mu\text{m}$ 处有一层铁质层，估计与人的第六感觉有关。



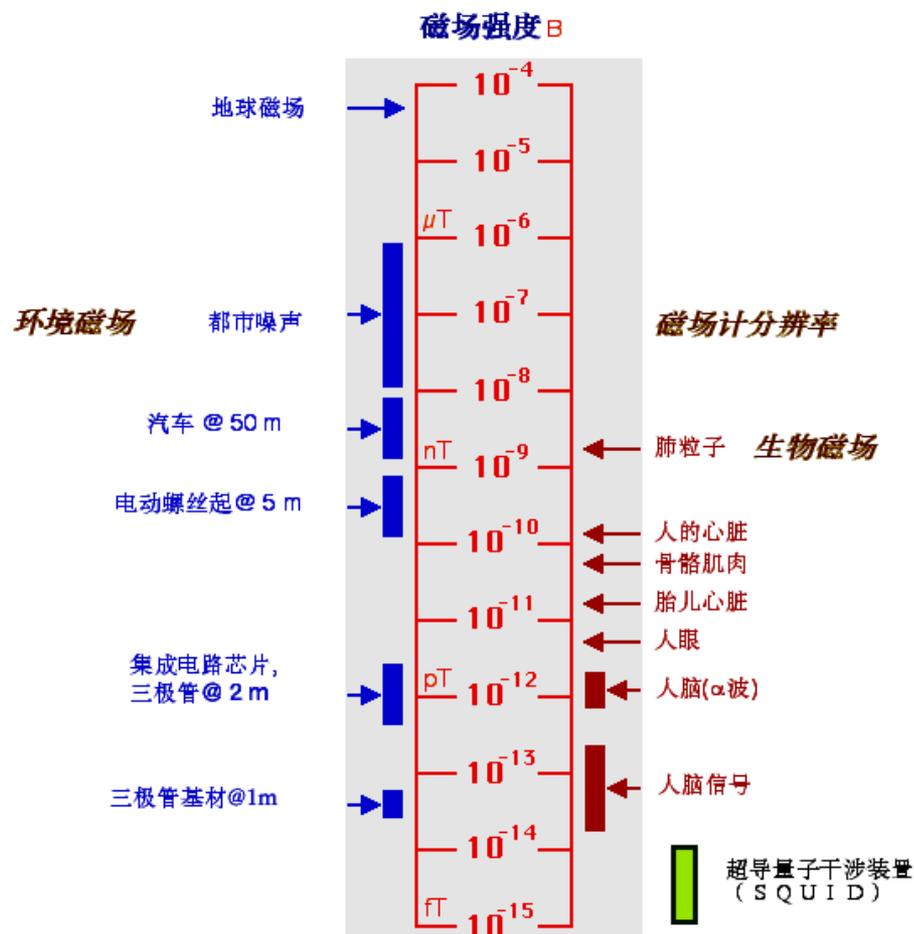
磁小体的TEM

4.2 生物磁场检测特点

- 生物磁场的测量具有一些不同于生物电测量的特点：
 - 1) 生物磁场的探测器可以不与生物体接触，也避免了电极接触引起的电磁干扰；
 - 2) 生物磁测量能同时得到恒定的和交变的磁场数据；
 - 3) 磁探头可以在空间改变位置和方向，获得磁场的三维空间分布；
 - 4) 通过测量体外的磁场分布，可以了解体内强磁性物质的含量和分布，有助于诊断和检查某些职业病。

4.3 生物磁测量

- 一般情况下，生物磁场远低于地磁场，难于进行观测和研究。



4.3 生物磁测量

- 超导量子干涉仪 (Superconducting quantum interference device, SQUID)

超导量子干涉仪是一种磁通传感器，能测量微弱磁信号的极其灵敏的仪器。可以测量出 10^{-11} 高斯 (10^{-15} T) 的微弱磁场，仅相当于地磁场的一百亿分之一，是进行超导、纳米、磁性和半导体等材料磁学性质研究的基本仪器设备。



4.3 生物磁测量

- 运用高灵敏度的磁强计能成功的测量人体和生物磁场

名称	磁场强度 (T)
肺部	$10^{-7} \sim 10^{-9}$
腹部	$< 10^{-10}$
心脏	$10^{-10} \sim 10^{-11}$
骨骼肌	$\sim 10^{-11}$
眼部	$10^{-12} \sim 10^{-13}$
脑部	$10^{-12} \sim 10^{-14}$

4.4磁场的生物学效应

- 产生磁场生物效应的条件

- (1) 磁场阈值

生物受到磁场和磁场梯度作用时，它们的强度必须超过某一数值（阈值），才能引起生物效应。不同的生物或生命现象具有不同的磁场阈值。

4.4磁场的生物学效应

●产生磁场生物效应的条件 生物或生命现象的阈磁场效应

对磁场敏感的现象	B (T)	对磁场梯度敏感的现象	dB/dx (T/m)
泥蜗牛的取向	1.5×10^{-4}	阻止人的肿瘤转移	6
人的磁闪光效应	0.02	抑制细菌生长	23
家兔的中央神经系统	0.08	引起水芹背磁性	50
大麦的生长	0.1	小鼠的致死效应	50
小鼠胚胎的吸收	0.3	果蝇的致死效应	60
小鼠的发育延迟；血液变化；伤愈合；病理变化；阻止肿瘤转移	0.4	抑制肿瘤生长	100

4.4磁场的生物学效应

- 产生磁场生物效应的条件

(2) 磁场场型和频率

磁场大体上可分为恒定磁场和交变磁场。恒定场还要考虑磁场的均匀度。

雌性小鼠在均匀磁场中体重减轻较大，而在不均匀磁场中减轻较小。

人眼的磁闪光效应只在变化磁场中出现。

4.4磁场的生物学效应

- 产生磁场生物效应的条件

(3) 磁场矢量

磁场强度和磁场梯度都具有大小和方向，是矢量。

磁场作用的过程中，方向和大小发生变化可使生物效应削弱甚至抵消。

4.4磁场的生物学效应

- 产生磁场生物效应的条件

(4) 磁场的滞后效应

磁场引起的生物学效应并不在施加磁场后立刻发生；同样在去掉磁场后，磁场生物效应也不是立刻消失。

4.4磁场的生物学效应

- 产生磁场生物效应的条件

(5) 磁场的累积效应

当作用磁场强度超过阈磁场时，作用时间越长，生物效应越显著，表现出累积效应。如用阈磁场和作用时间的乘积表示磁作用剂量，则磁生物效应与磁作用剂量正相关。

4.4磁场的生物学效应

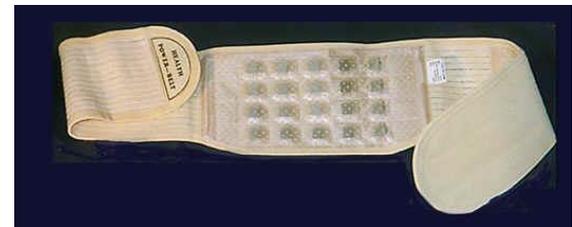
- 磁场引起生物效应的物理因素

- (1) 磁场的强度
- (2) 磁场的均匀性和梯度
- (3) 磁场的场型
- (4) 磁场的方向
- (5) 磁场的作用范围
- (6) 磁场的作用时间

4.4磁场的生物学效应

●磁疗

利用磁场治病，我国已有两千多年的历史。利用磁场的生物效应，已制成多种磁疗仪器。简单的有磁石穴位粘帖胶布、磁化水杯、磁枕、磁性腹带等。



4.4磁场的生物学效应

●磁疗

特点：安全、方便、无痛苦。

依据：中医经络理论，在人体经穴处施加磁场。

作用：活血化淤、镇静止痛、消肿消炎、安神降压等。

疗效：高血压、神经衰弱、各种疼痛性疾病乳肌劳损、扭挫伤、骨质增生、类风湿关节炎等。

4.4磁场的生物学效应

●心磁场与心磁图

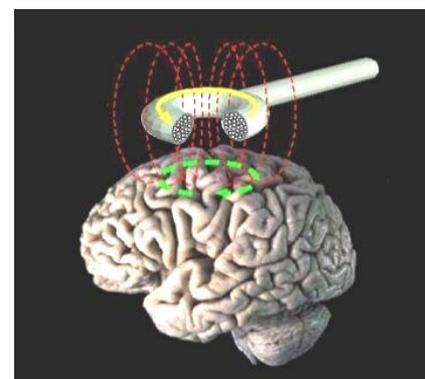
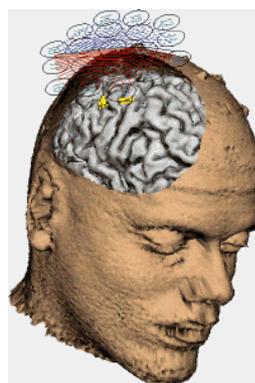
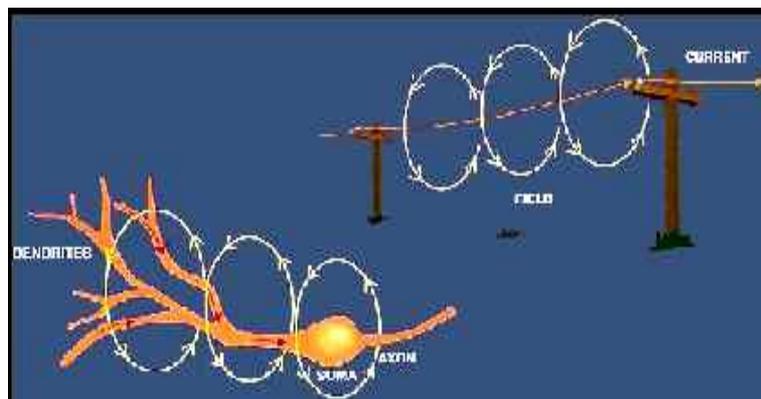
心肌的兴奋→心脏电场
→体外（心）磁场。在体外
测定胸部周围磁场变化，记
录下来就是心磁图。心磁图
与心电图一样，用P波、QRS
波群、T波、和S—T段命名。



4.4磁场的生物学效应

●脑磁图

脑磁图是脑神经细胞的生物电流产生的磁场，在头部表面的检测结果。测量的是体内神经电流源引发的瞬间磁场。



4.4磁场的生物学效应

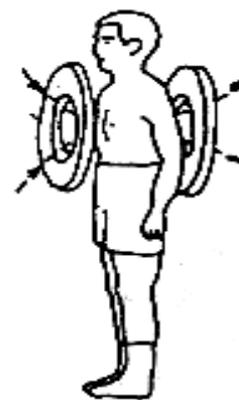
●肺磁场

多数粉尘具有磁性：肺内积蓄的粉尘在外部强的恒磁场下将被磁化。

把外加恒磁场撤去，肺内被磁化的粉尘产生的附加磁场仍然存在，经测定可推测粉尘的量和分布情况。



(1) 棒形磁石磁化法



(2) 线圈磁化法

肺内粉尘磁化法

第5节 电磁辐射的安全性

5.1 生物电磁剂量学

5.2 电磁辐射的安全标准

5.1 生物电磁剂量学

●生物电磁剂量学概念

剂量(Dose), 含意是给予的量。生物电磁剂量的意思就是电磁场(波)给予生物系统的电磁作用量。

生物电磁剂量学的任务就是要在电磁场(波)的生物学效应研究中给出量-效关系中的“量”。

具体说来：一是选取什么量作为电磁场(波)给予生物系统的作用量；二是用什么方法获得所选取的这一作用量。

5.1 生物电磁剂量学

●SAR值（Specific Absorption Ratio, 比吸收率）

SAR值指单位时间内单位质量的物质吸收的电磁辐射能量。国际上通常使用SAR值来衡量终端辐射的热效应。

以任意6分钟计时平均，每公斤人体组织吸收的电磁辐射能量（瓦）。

以手机辐射为例，SAR指的是辐射被头部的软组织吸收的比率，SAR值越低，辐射被脑部吸收的量越少。脑部部位的SAR标准值必须低于1.67瓦特，才算安全。

5.1 生物电磁剂量学

- 方法学上分为理论剂量学和实验剂量学

理论剂量学主要解决在电磁波照射下人体对电磁场能量的吸收及体内温度分布的理论分析和计算问题;

实验剂量学采用实验手段来测量。电测法和热测法

理论剂量学可自动化实现，在测量速度和通量方面优于实验剂量学，但真实性严重受限于理论模型和测量方法的准确性；实验剂量学的结果源于实验，真实性优于理论剂量学。但实现过程较繁琐，且实验模型和操作误差不可避免。

5.2 电磁辐射的安全标准

- 各国有关电磁辐射安全标准相差极大。反应对电磁辐射的生物效应认识不一致。

我国环保局制定的标准：

GB 8702-1988 《电磁辐射防护规定》

GB 9175-1988 《环境电磁波卫生标准》

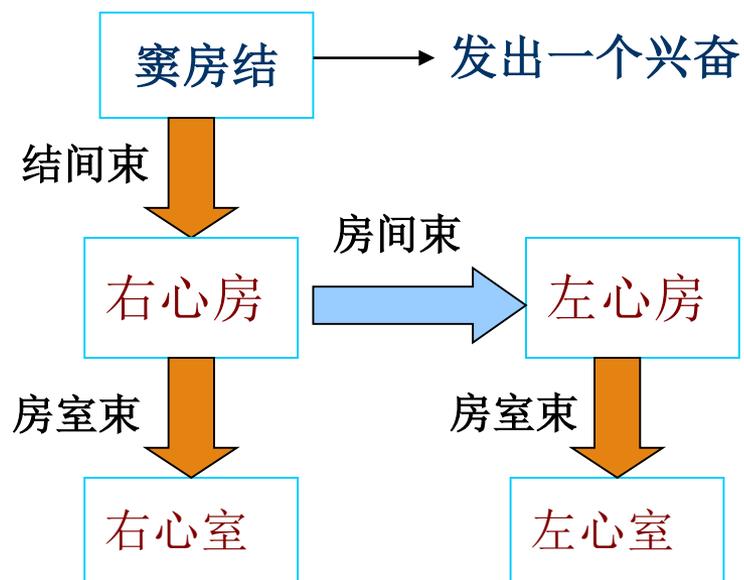
GB 8702-2014 《电磁环境控制限值》（最新标准）

国标GB 8702-88 《电磁辐射防护规定》中规定：

- ① 职业照射：在每天8h工作期间内，任意连续6min按全身平均的比吸收率（SAR）应小于0.1W/kg。
- ② 公众照射：在一天24h内，任意连续6min按全身平均的比吸收率（SAR）应小于0.02W/kg。

本章重点回顾

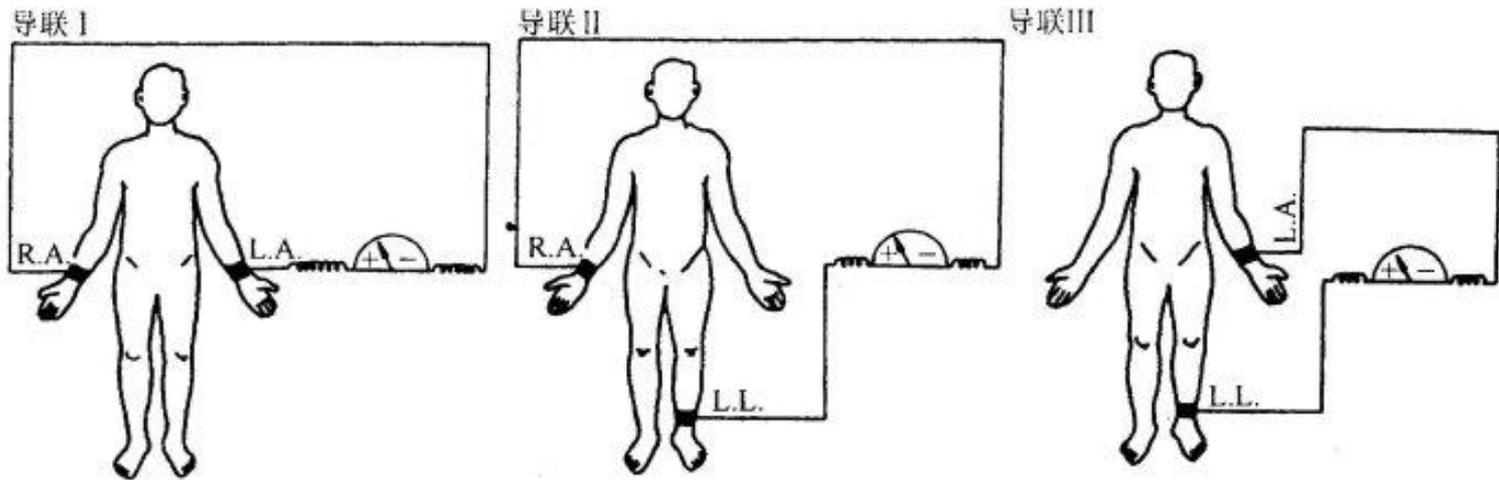
心脏电生理活动过程



- ◆正常心脏兴奋的起源点在窦房结
- ◆心脏肌肉的活动完全受电活动控制
- ◆电活动沿神经纤维传送到心脏，心脏开始在某些点上收缩，然后逐渐使整个心脏收缩
- ◆此过程非常快而且相当准确
- ◆该活动可通过固定在皮肤上的电极获得

体表心电图的电极导联

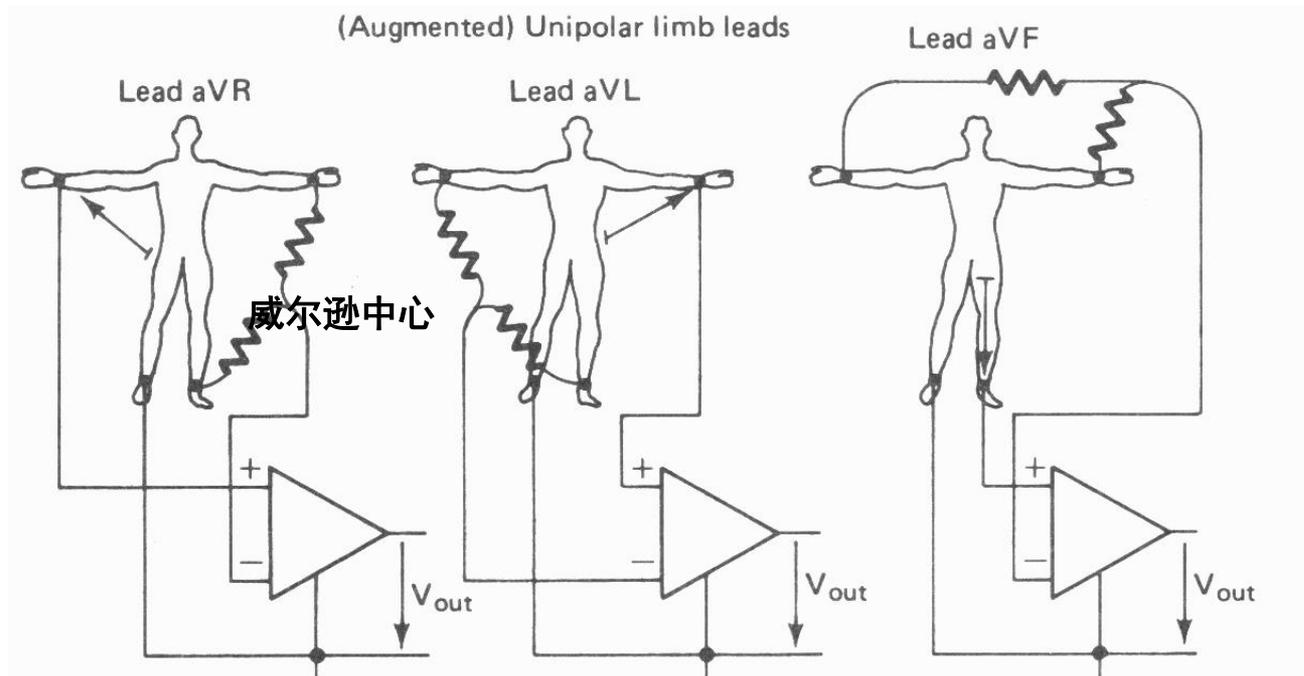
● 三种标准导联方式



标准导联又称**双极肢体导联**，反映**两个肢体之间的电位差**。

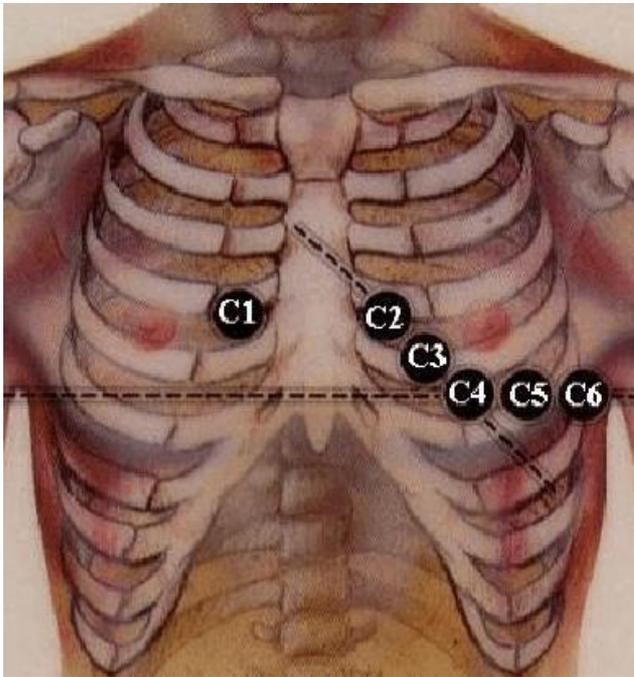
体表心电图的电极导联

●改进的加压单级肢体导联



体表心电图的电极导联

●胸导联



V1: 胸骨右缘第四肋间

V2: 胸骨左缘第四肋间

V3: V2与V4连线的中点

V4: 左锁骨中线与第5肋间交点处

V5: 左腋前线与V4同一水平

V6: 左腋中线与V4同一水平

心电图波形

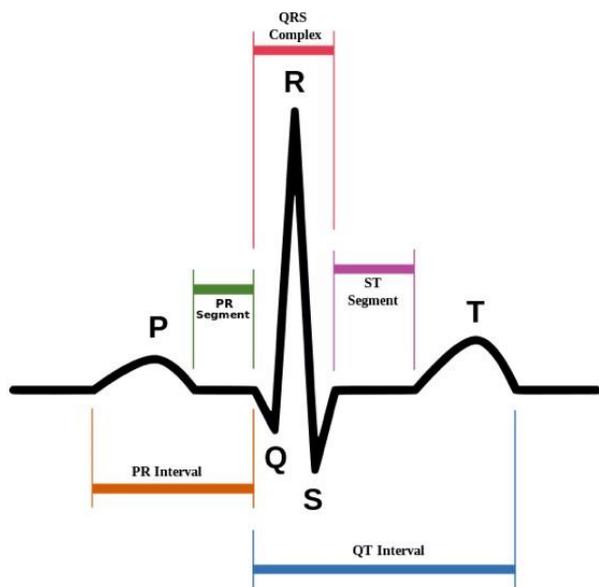


表 3-1 心电图各个波形的时间和幅度的典型值范围

波形名称	电压幅度(mV)	时间(s)
P 波	0.05~0.25	0.06~0.11
Q 波	<R 波的 1/4	<0.03~0.04
R 波	0.5~2.0	—
S 波	—	0.06~0.11
T 波	0.1~1.5	0.05~0.25
P-R 段	与基线同一水平	0.06~0.14
P-R 间期	—	0.12~0.20
ST 段	水平线	0.05~0.15
Q-T 间期	—	<0.4

电磁波的生物效应分类

◆热效应

电磁波伴有交变电磁场，会使物质的分子交替极化，导致往复弛豫运动，分子在运动中就会发生碰撞并与物质摩擦，就表现出了“热”现象。

与其它加热方式有本质区别。生物体内的有极分子碰撞生热；传导电流生热；介质损耗生热。

电磁波的生物效应分类

◆非热效应

人体的器官和组织都存在微弱的电磁场，它们是稳定和有序的，一旦受到外界电磁场的干扰，处于平衡状态的微弱电磁场即将遭到破坏，人体也会遭受损伤。

这种影响经常发生在细胞与分子水平上。

电磁波的生物效应分类

◆积累效应

电磁波对人体的伤害可以发生累积，久而久之会成为永久性病态，危及生命。

微波在生物组织中的传播

- 微波在均匀组织中的传播

- ◆ 微波的电磁能量随着深度的增加而减少即衰减

当微波进入组织时，组织表面的能量密度是最大的，随着微波向组织的渗透，其能量呈指数衰减。

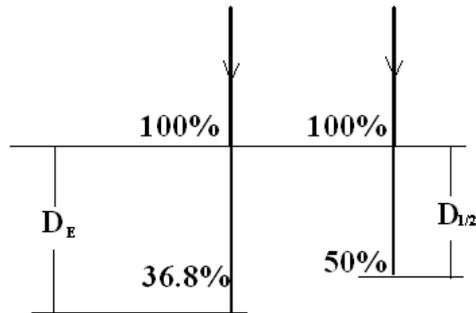
- ◆ 微波能量衰减的快慢与组织的介电特性有关

微波在生物组织中的传播

● 微波在均匀组织中的传播

◆1) 渗透深度为微波功率从物料表面减至表面值的1/e (36.8%) 时的距离, 用 D_E 表示, e为自然对数底值。

$$D_E = \frac{\lambda_0}{\pi \sqrt{\epsilon_r} \tan \delta}$$



◆2) 微波功率从物料表面衰减到表面值的1/2时的距离, 即所谓半功率渗透深度 $D_{1/2}$ 。

$$D_{1/2} = \frac{3\lambda_0}{8.686\pi \sqrt{\epsilon_r} \tan \delta}$$

式中 λ_0 ——自由空间波长
 ϵ_r ——介电常数
 $\tan \delta$ ——介质损耗

微波在生物组织中的传播

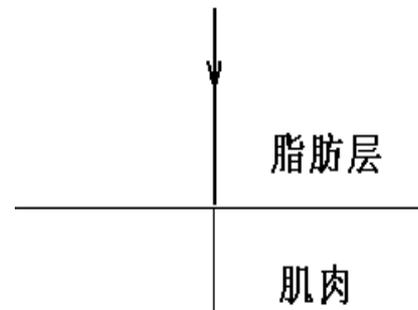
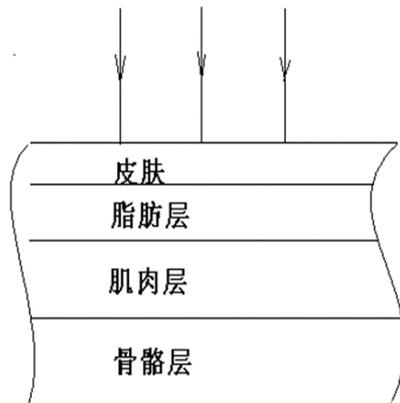
- 微波在均匀组织中的传播

- ◆ 渗透深度随波长的增大而变化，换言之，它与频率有关，频率越高，波长越短，其穿透力也越弱
- ◆ 由于一般物体的 $\pi\sqrt{\epsilon_r} \tan \delta \approx 1$ ，微波渗透深度与所使用的波长是同一数量级的。
- ◆ 穿透深度也和物质的温度有关，随温度升高而加强。

微波在生物组织中的传播

● 微波在平面分层媒质中的传播

- ◆ 长波段微波在脂肪与肌肉产生热的比例接近1:1。
- ◆ 当频率升高时透射深度降低，易造成脂肪层灼伤，因此，热疗中的微波频率不宜太高。



激光的特性

(1) 单色性

普通光源发射的光子，在频率上是各不相同的，所以包含有各种颜色。而激光发射的各个光子频率相同，因此激光是最好的单色光源。

(2) 方向性极好

几乎是一平行的光线，激光照射到月球上形成的光斑直径仅有1公里左右。即便是最好的探照灯，如将其光投射到月球上，光斑直径将扩大到1 000公里以上。

(3) 亮度极高

大量光子集中在一个极小的空间范围内射出，能量密度自然极高。激光亮度极高的主要原因是定向发光。能量密度自然极高。激光的亮度可比普通光源高出 10^{12} - 10^{19} 倍，是目前最亮的光源，强激光甚至可产生上亿度的高温。

(4) 相干性好

相干波必须具有相同的频率和恒定的相位差。激光为定向单色光束，相干性好。

生物磁场检测特点

- 生物磁场的测量具有一些不同于生物电测量的特点：
 - 1) 生物磁场的探测器可以不与生物体接触，也避免了电极接触引起的电磁干扰；
 - 2) 生物磁测量能同时得到恒定的和交变的磁场数据；
 - 3) 磁探头可以在空间改变位置和方向，获得磁场的三维空间分布；
 - 4) 通过测量体外的磁场分布，可以了解体内强磁性物质的含量和分布，有助于诊断和检查某些职业病。

SAR值

- SAR值 (Specific Absorption Ratio, 比吸收率)

SAR值指单位时间内单位质量的物质吸收的电磁辐射能量。国际上通常使用SAR值来衡量终端辐射的热效应。

以任意6分钟计时平均，每公斤人体组织吸收的电磁辐射能量（瓦）。