



# 医学生需要的物理学 知识与能力

Physical knowledge and technology  
for medical students

【一个外行的班门弄斧】

严钰锋

医学实验教学中心

2016.12.03

第一张X光照片：

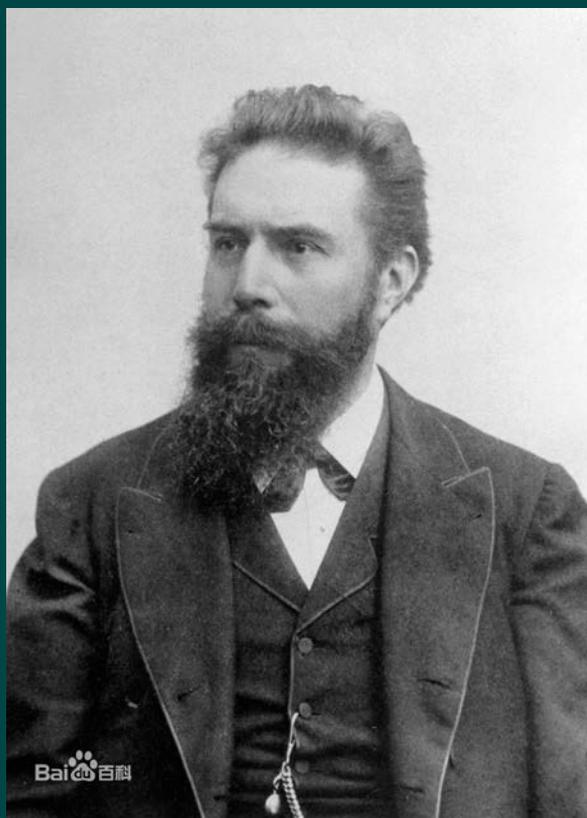
The first X-ray photo of Mr. Röntgen



# 第一个诺贝尔物理学奖

## The first Nobel prize in Physics

年份	获奖者	国籍	获奖原因
1901年	威廉·康拉德·伦琴 Wilhelm Conrad Röntgen	德国 German	“发现不寻常的射线，之后以他的名字命名”（即X-Ray，又称伦琴射线，并用伦琴做为辐射量的单位）



# 第14、15个诺贝尔物理学奖

## The 14<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> Nobel prize in Physics

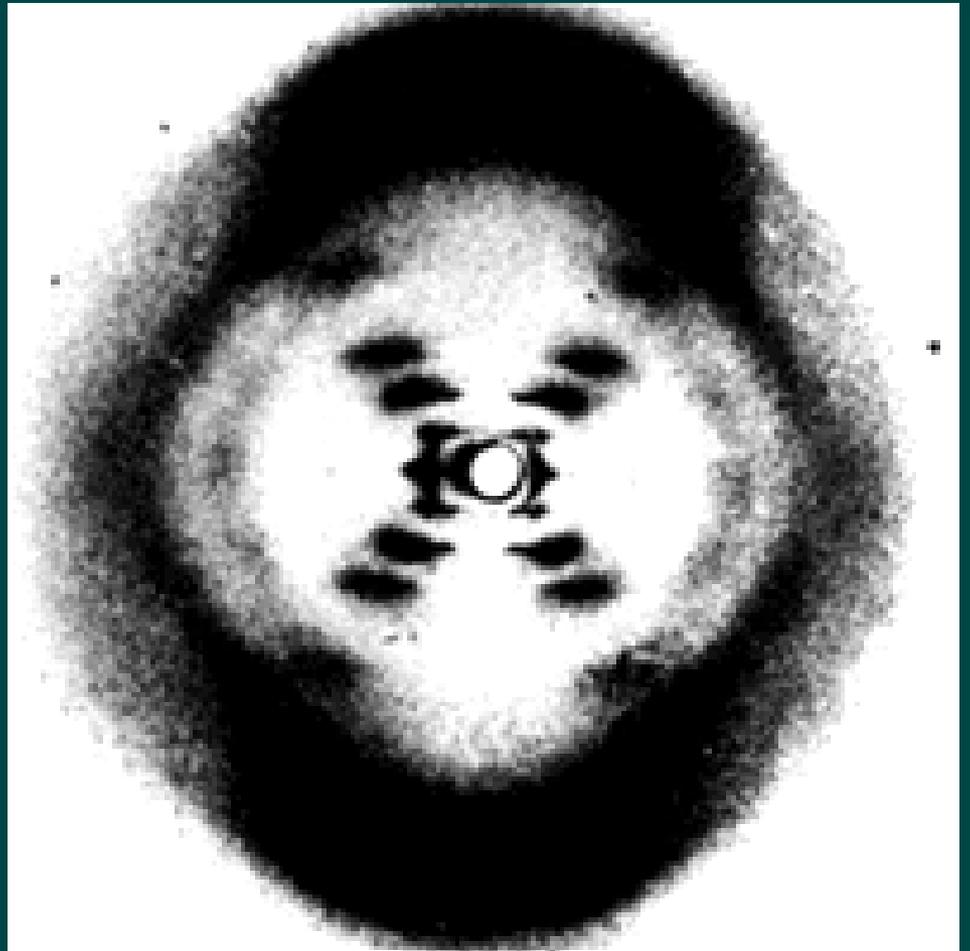


年份	获奖者	国籍	获奖原因
1914年	马克斯·冯·劳厄	德国	“发现晶体中的X射线衍射现象”
1915年	威廉·亨利·布拉格	英国	“用X射线对晶体结构的研究”
	威廉·劳伦斯·布拉格	英国	

富兰克林  
Rosalind Franklin (1920-1958)

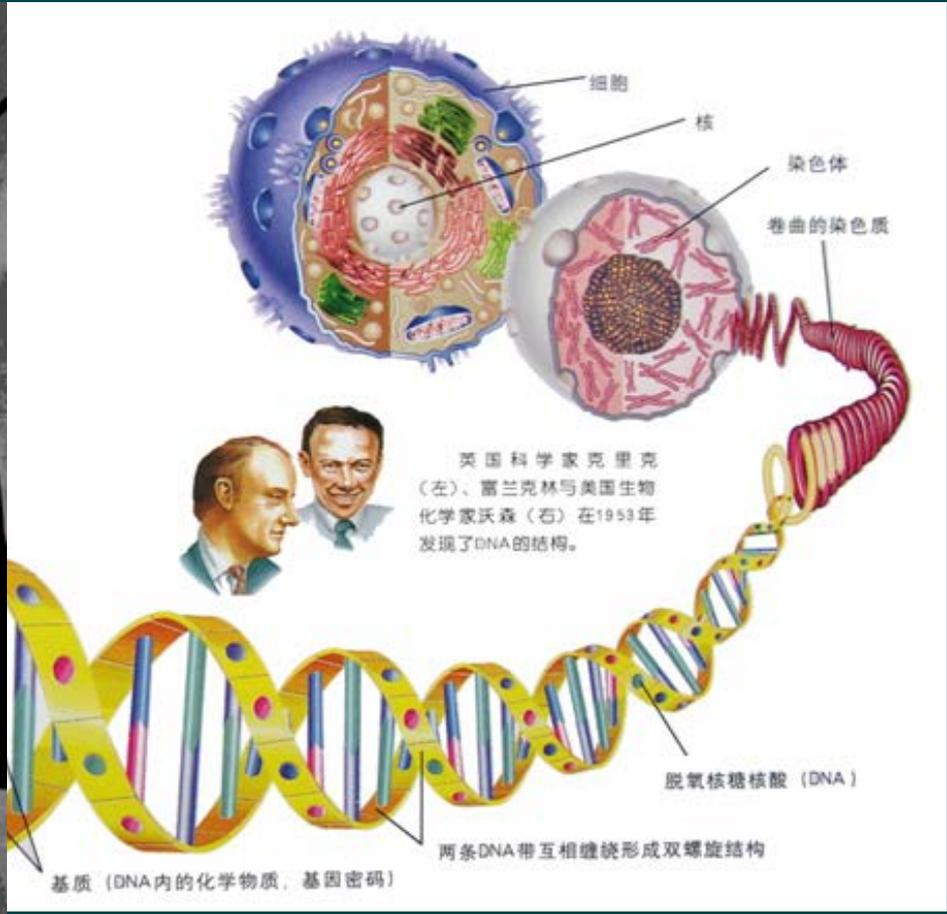


DNA双螺旋结构的  
X光衍射照片



Watson和Crick, 1953年发现:

DNA双螺旋结构





## 第14、15个诺贝尔物理学奖

### The 14<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> Nobel prize in Physics

年份	获奖者	国籍	获奖原因
1914年	马克斯·冯·劳厄	德国	“发现晶体中的X射线衍射现象”
1915年	威廉·亨利·布拉格	英国	“用X射线对晶体结构的研究”
	威廉·劳伦斯·布拉格	英国	

## 第53个诺贝尔生理学或医学奖

### The 53<sup>th</sup> Nobel Prize in Physiology or Medicine

年份	获奖者	国籍	获奖原因
1962年	弗朗西斯·克里克	德国	发现DNA核酸分子的双螺旋结构及其对生物中信息传递的重要性
	詹姆斯·杜威·沃森	英国	
	莫里斯·威尔金斯	英国	



# 医学生需要的物理学 知识与能力

Physical knowledge and  
technology  
for medical students

# 物理学 physics

- ◇ 力学 mechanics
- ◇ 热学 thermology
- ◇ 光学 optics
- ◇ 声学
- ◇ 电磁学
- ◇ 原子物理学
- ◇ .....



物理学					
研究领域	▪ 力学	▪ 热学	▪ 声学	▪ 光学	▪ 电磁学
	▪ 凝聚态物理学	▪ 固体物理学	▪ 等离子体物理学	▪ 分子物理学	▪ 原子物理学
	▪ 原子核物理学	▪ 粒子物理学			
基础理论	▪ 经典力学	▪ 连续介质力学	▪ 热力学	▪ 统计力学	▪ 电动力学
	▪ 相对论	▪ 量子力学			
交叉学科	▪ 天体物理学	▪ 生物物理学	▪ 物理化学	▪ 材料科学	▪ 电子学
	▪ 非线性物理学	▪ 计算物理学			

### 物理学·包含学科

15 理论物理学	▪ 1510:数学物理	▪ 1520:电磁场理论	▪ 1530:经典场论
	▪ 1540:相对论与引力场	▪ 1550:量子力学	▪ 1560:统计物理学
	▪ 1599:理论物理学其他学科		
20 声学	▪ 2010:物理声学	▪ 2020:非线性声学	▪ 2030:量子声学
	▪ 2040:超声学	▪ 2050:水声学	▪ 2060:应用声学
	▪ 2099:声学其他学科		
25 热学	▪ 2510:热力学	▪ 2520:热物性学	▪ 2530:传热学
	▪ 2599:热学其他学科		
30 光学	▪ 3010:几何光学	▪ 3015:物理光学	▪ 3020:非线性光学
	▪ 3025:光谱学	▪ 3030:量子光学	▪ 3035:信息光学
	▪ 3040:导波光学	▪ 3045:发光学	▪ 3050:红外物理
	▪ 3055:激光物理	▪ 3060:应用光学	▪ 3099:光学其他学科
35 电磁学	▪ 3510:电学	▪ 3520:静电学	▪ 3530:静磁学
	▪ 3540:电动力学	▪ 3599:电磁学其他学科	
40 无线电物理	▪ 4010:电磁波物理	▪ 4020:量子无线电物理	▪ 4030:微波物理学
	▪ 4040:超高频无线电物理	▪ 4050:统计无线电物理	▪ 4099:无线电物理其他学科
45 电子物理学	▪ 4510:量子电子学	▪ 4520:电子离子与真空物理	▪ 4530:带电粒子光学
	▪ 4599:电子物理学其他学科		
50 凝聚态物理学	▪ 5010:凝聚态理论	▪ 5015:金属物理学	▪ 5020:半导体物理学
	▪ 5025:电介质物理学	▪ 5030:晶体学	▪ 5035:非晶态物理学
	▪ 5040:液晶物理学	▪ 5045:薄膜物理学	▪ 5050:低维物理
	▪ 5055:表面与界面物理学	▪ 5060:固体发光	▪ 5065:磁学
	▪ 5070:超导物理学	▪ 5075:低温物理学	▪ 5080:高压物理学
	▪ 5099:凝聚态物理学其他学科		
55 等离子体物理学	▪ 5510:热核聚变等离子体物理学	▪ 5520:低温等离子体物理学	▪ 5530:等离子体光谱学
	▪ 5540:凝聚态等离子体物理学	▪ 5550:非中性等离子体物理学	▪ 5599:等离子体物理学其他学科
	▪ 6010:原子与分子理论	▪ 6020:原子光谱学	▪ 6030:分子光谱学



# 医学 medicine

- ◆ 临床医学clinical medicine（含口腔医学、儿科学.....）
- ◆ 基础医学 basic medicine
- ◆ 预防医学、公共卫生管理
- ◆ 法医学
- ◆ 护理学
- ◆ 药学
- ◆ .....



# 医学生 medical students



- ◆ 临床医学 clinical medicine
  - ◆ 基础医学 basic medicine
  - ◆ 预防医学
  - ◆ .....
- 
- ◆ 本科生、硕士生、博士生
  - ◆ 八年制本硕博连读



# 临床医学本科阶段的物理学

physics course of medical students

- ◆ 普通物理学（实验） 通识教育必修  
(五年制第1年，八年制1-2年)
- ◆ 医用物理学（实验） 通识教育选修

# 临床医学本科阶段的医学

Stages of medical students

- ◆ 基础医学2年（五年制2-3年，八年制3-4年）
- ◆ 临床医学2年（五年制4-5年，八年制5-6年）



# 医学生需要的物理学 知识与能力

Physical knowledge and technology  
for medical students

限定：

临床医学专业

本科学习阶段

基础医学和临床学习2个阶段

# 医学本科阶段的医学

different areas of medicine

- ◇ 基础医学
- ◇ 临床医学
  
- ◇ 形态学（解剖学、组织胚胎学、病理学...）
- ◇ 功能学（生理学、病理生理学、药理学...）
- ◇ 生物化学、细胞生物学、分子生物学...
  
- ◇ 理论学习
- ◇ 实践（实验）学习



# 基础形态学科

morphology of basic medicine

- ◇ 解剖学（宏观大体）
- ◇ 组织胚胎学（围观切片）
- ◇ 病理学（病理解剖+病理组织）
  
- ◇ 生物化学、细胞生物学、分子生物学中的形态部分
  
- ◇ 大体形态、局部形态、器官组织形态、细胞形态、亚细胞形态、分子形态。。。





光学技术的发展

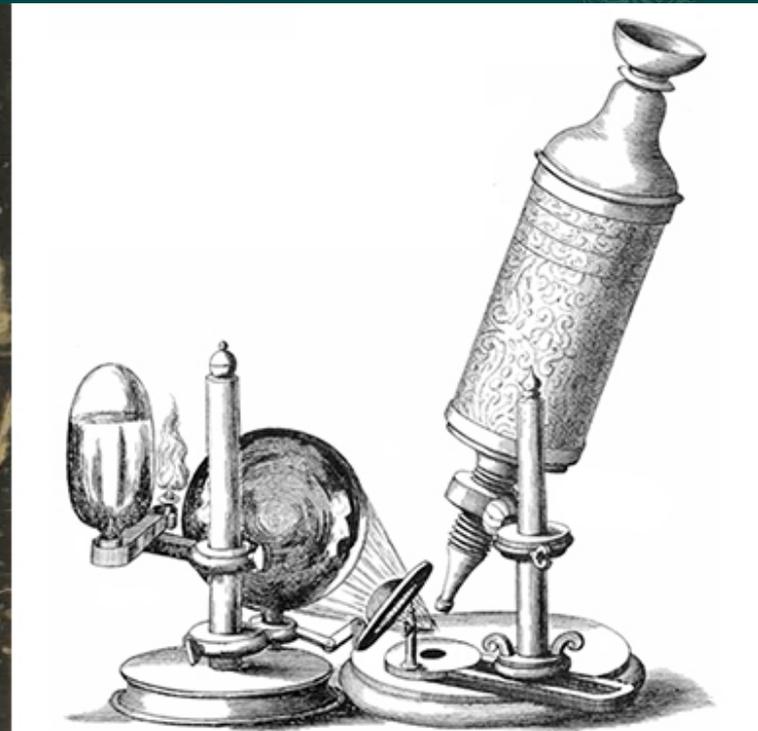
推动了形态学科的发展： microscope

显微镜的出现：使生命科学进入了细胞水平



世界上第一台显微镜，10倍

1590年由荷兰眼镜制造商Z. Janssen兄弟试制



1665年，英国物理学家罗伯特·虎克 (Hooke) 利用复式显微镜观察软木塞上某区域中的微小气孔发现了“细胞”，“细胞”一词就由此而来。

# 一系列更加先进的显微镜出现

## Different microscopes

暗视野显微镜 Dark field microscope

偏光显微镜 Polarizing microscope

干涉显微镜 Interference microscope

微分干涉差显微镜 Differential interference  
contrast microscope

相差显微镜 Phase contrast microscope

荧光显微镜 Fluorescence microscope

电子显微镜 Electron microscope

紫外光显微镜

近红外光显微镜

原子力显微镜

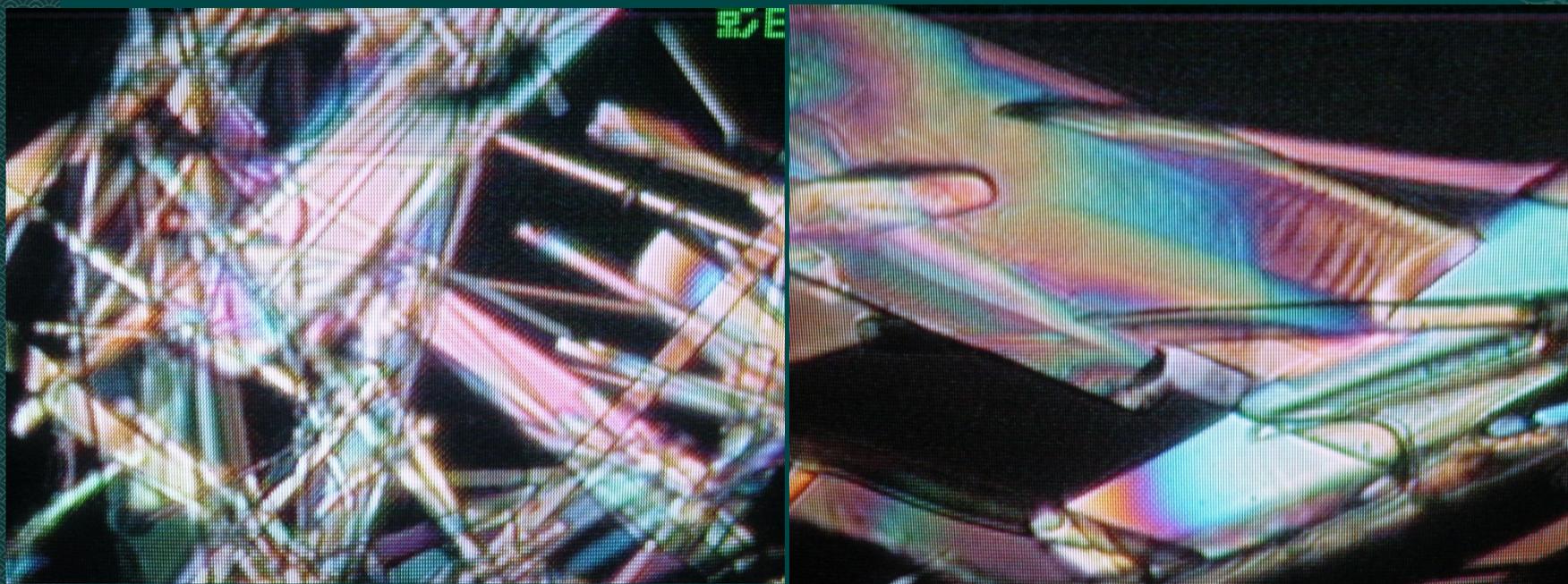


# 偏光显微镜 ( polarizing microscope)

用于检测具有  
双折射性的物质，  
如纤维丝、纺锤体、  
胶原、染色体等；

光源前有偏振  
片（起偏器），使  
进入显微镜的光线  
为偏振光，镜筒中  
有检偏器。





胆固醇液晶偏光显微镜照片  
类似油柱状组织结构

Photos taken by polarizing microscope

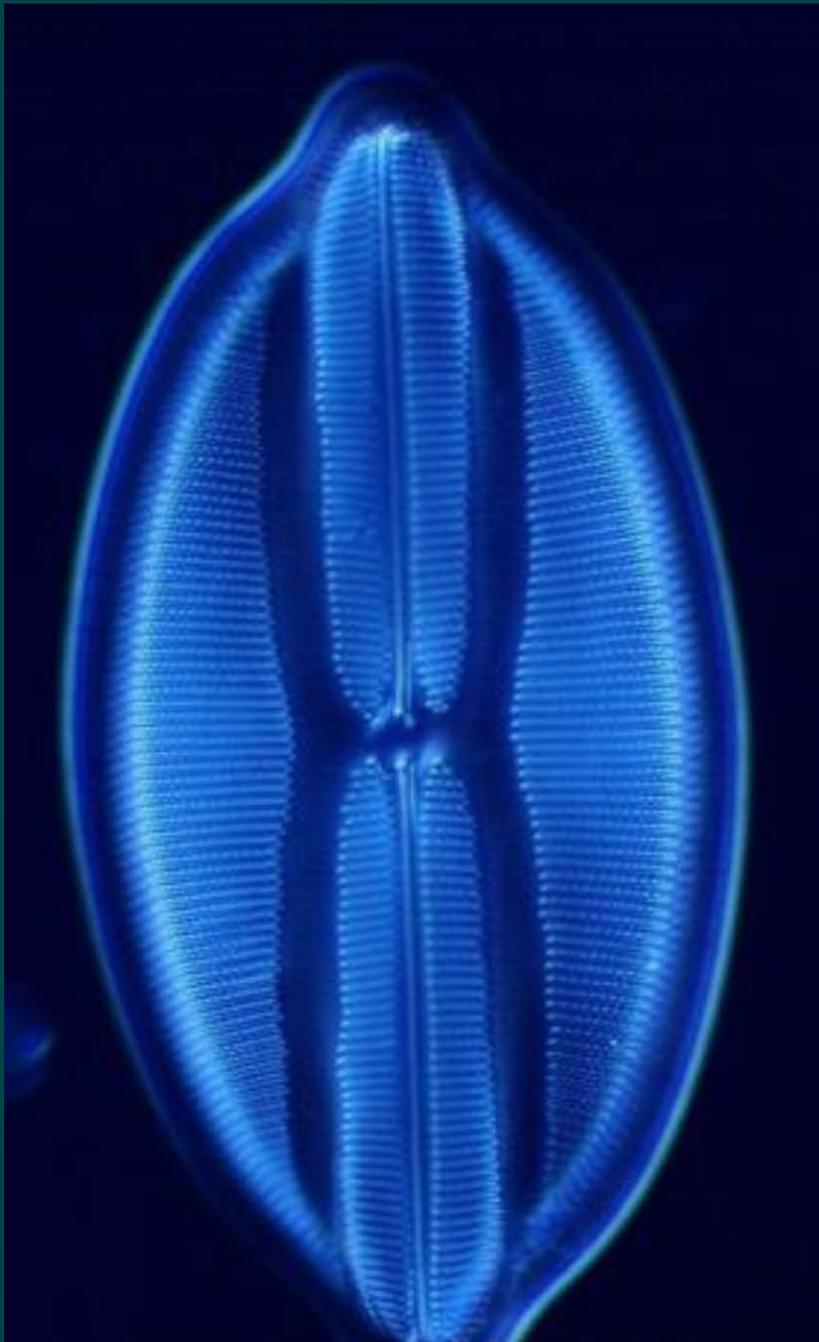
# 微分干涉差显微镜

differential interference

contrast microscope

能显示细胞结构的三维立体投影影像，立体感强，用于研究活细胞中较大的细胞器，与录像设备结合，可观察活细胞中的颗粒及细胞器的运动。





微分干涉差显微镜  
所示硅藻

Photo of diatom  
taken by DIC  
microscope



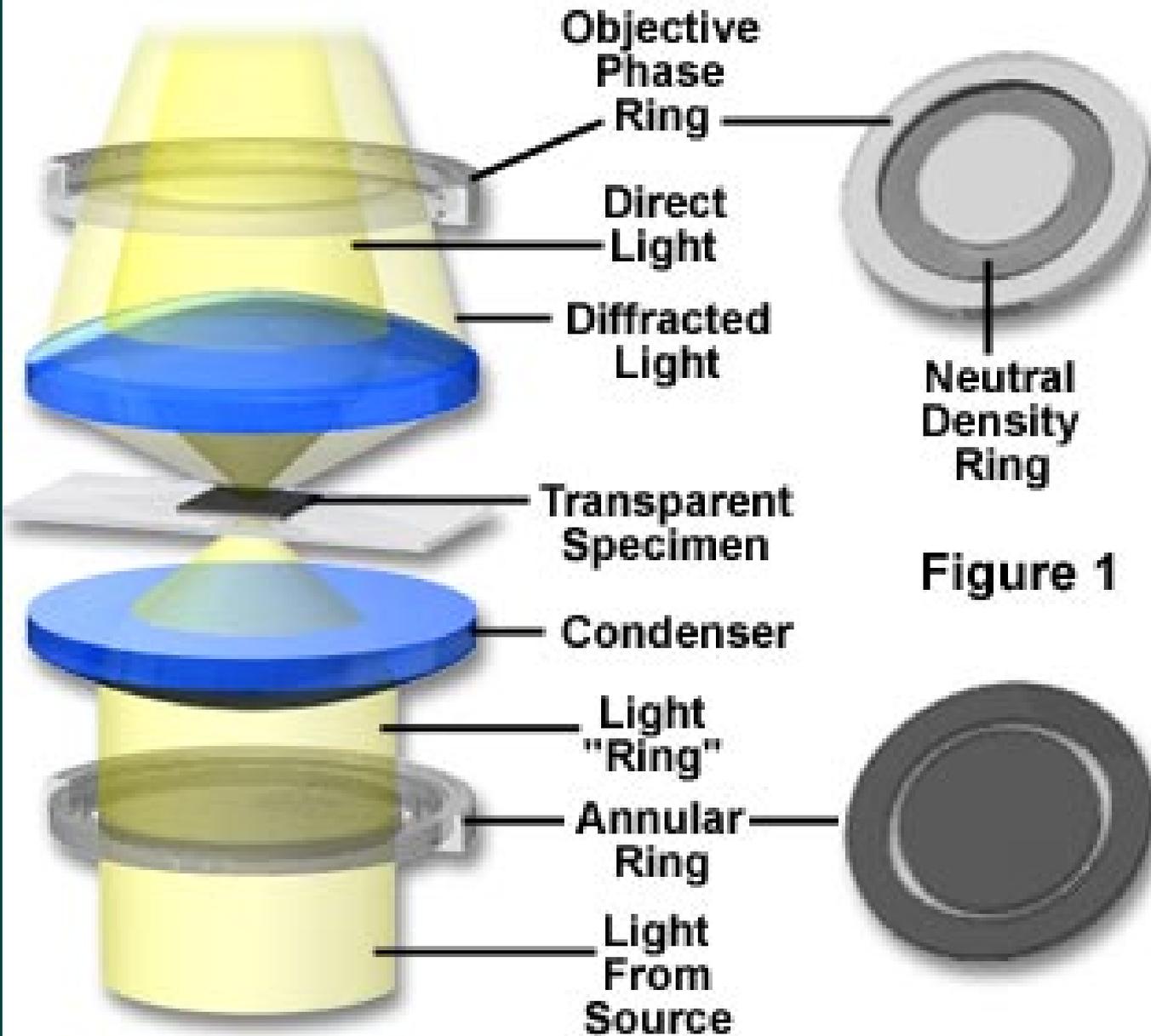
◇ 相差显微镜 (phase contrast microscope, PCM)

◇ 1953年获得诺贝尔物理奖，把透过标本的可见光（直射光和衍射光）的光程差变成振幅差，从而提高了各种结构间的对比度，使各种结构变得清晰可见。应用：观察未经染色的标本和活细胞。

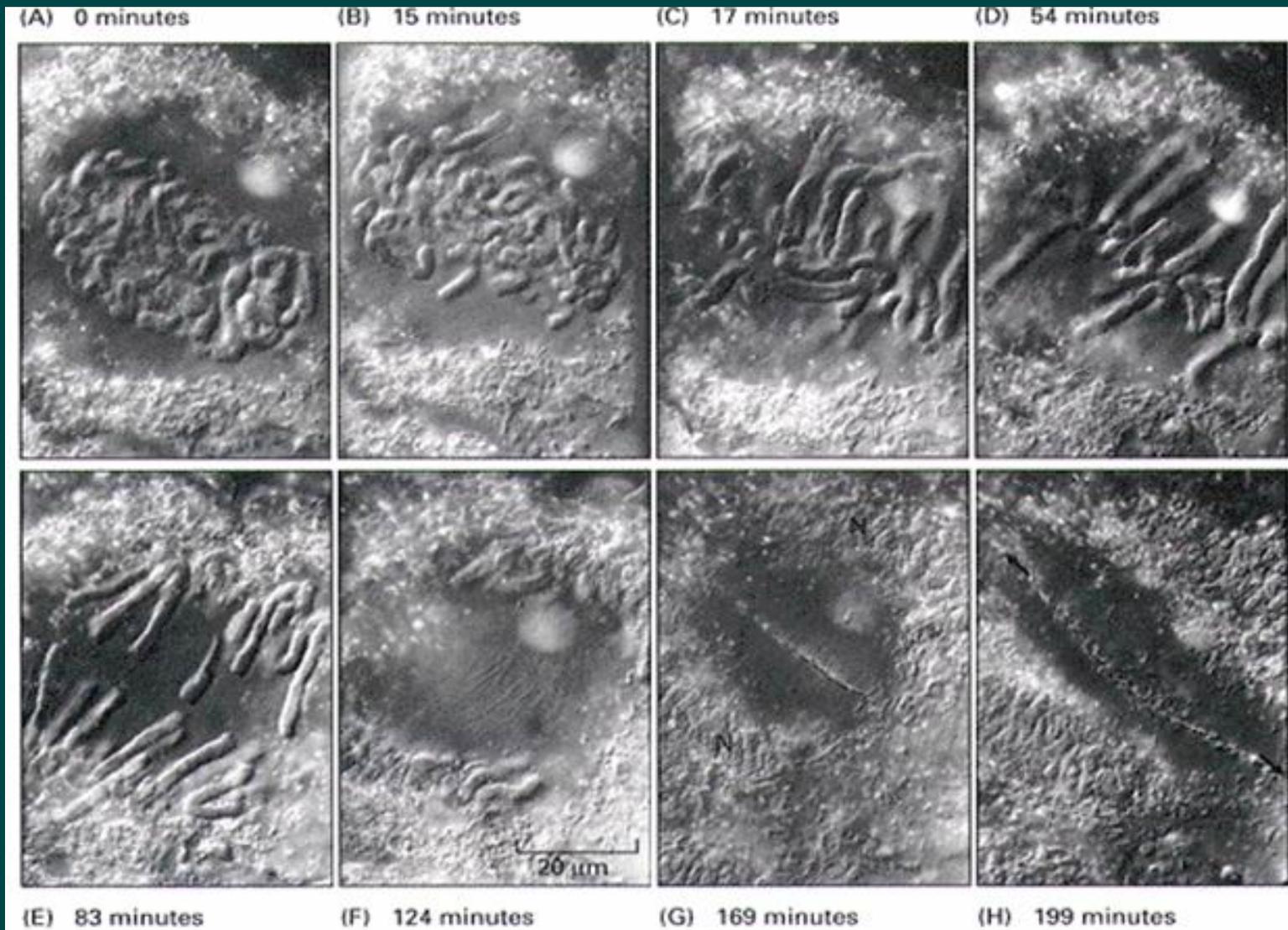
◇ 在构造上，相差显微镜有两个特殊之处。

环形光阑：位于光源与聚光器之间。相位板：物镜中加了涂有氟化镁的相位板，可将直射光或衍射光的相位推迟  $1/4\lambda$ 。

# Phase Contrast Light Pathways



# 用途：观察未经染色的玻片标本



# 荧光显微镜 Fluorescence microscope

## 优点:

- ◇ 检出能力高
- ◇ 对细胞的刺激小
- ◇ 能进行多重染色

## 用途:

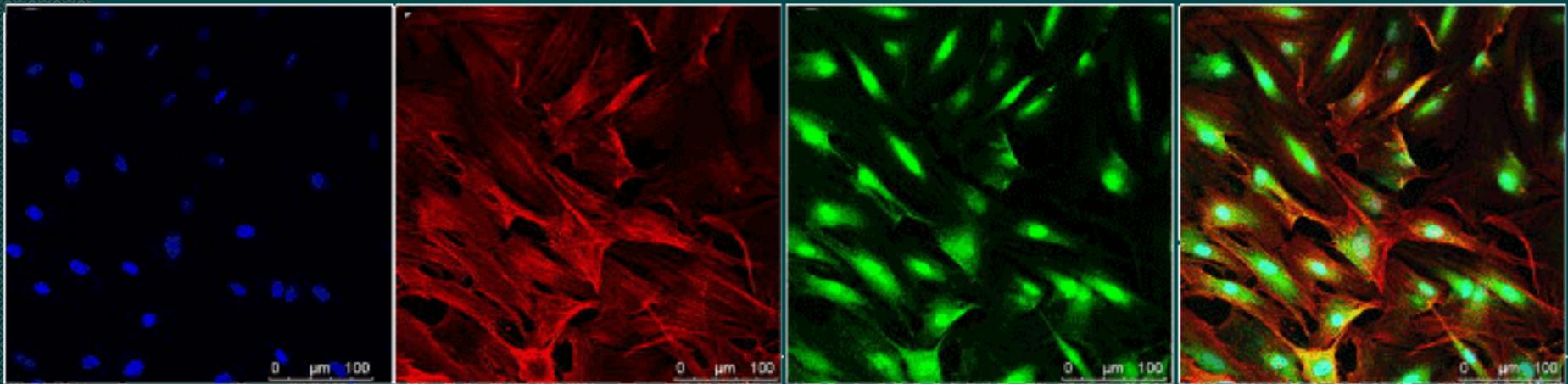
- ◇ 物体构造的观察
- ◇ 据荧光的有无、色调比较进行物质判别
- ◇ 发荧光量的测定对物质定性、定量分析





# 荧光显微镜照片

Photo taken by Fluorescence microscope



# 电子显微镜 (electron microscope)

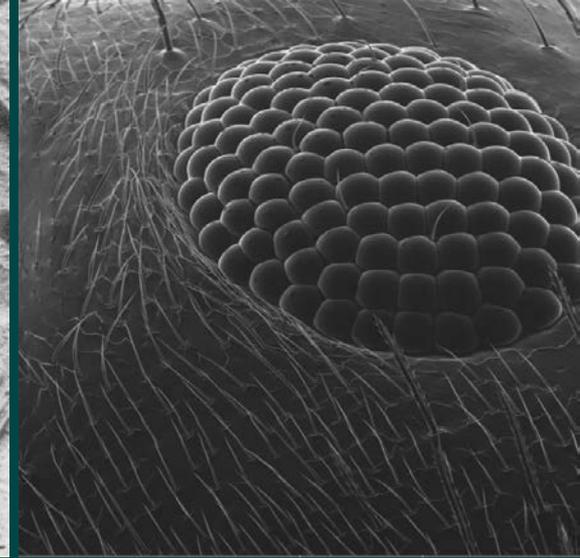
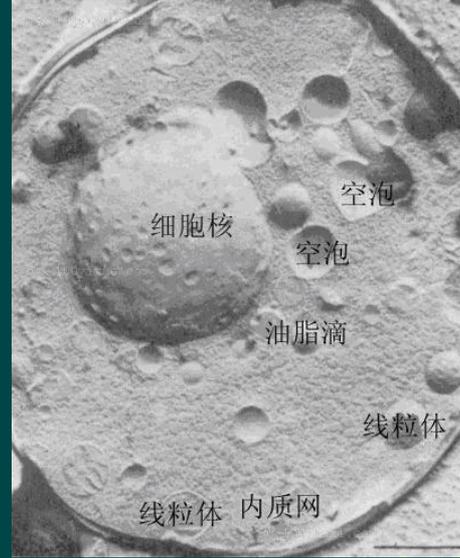


## 扫描电镜

Scanning electron microscope

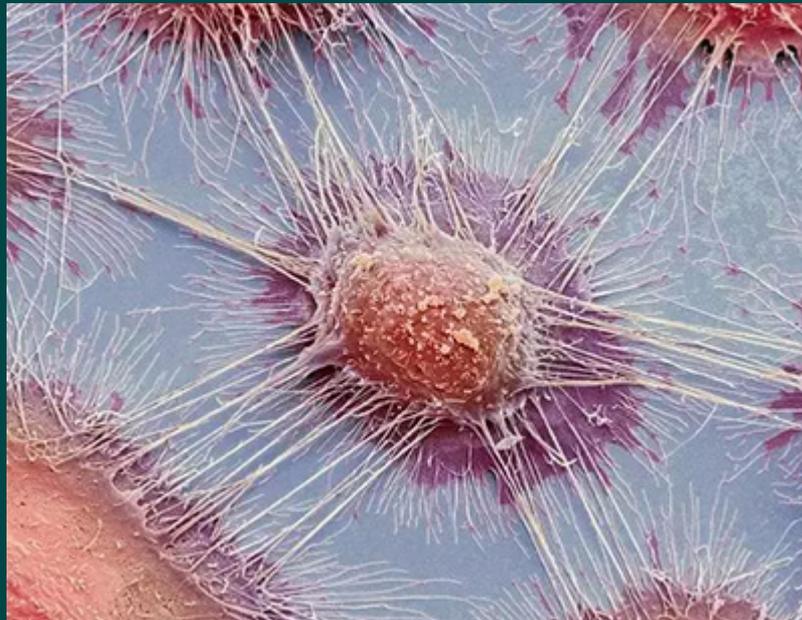
## 透射电镜

transmission electron microscope



## 彩色电镜?

Colorful?



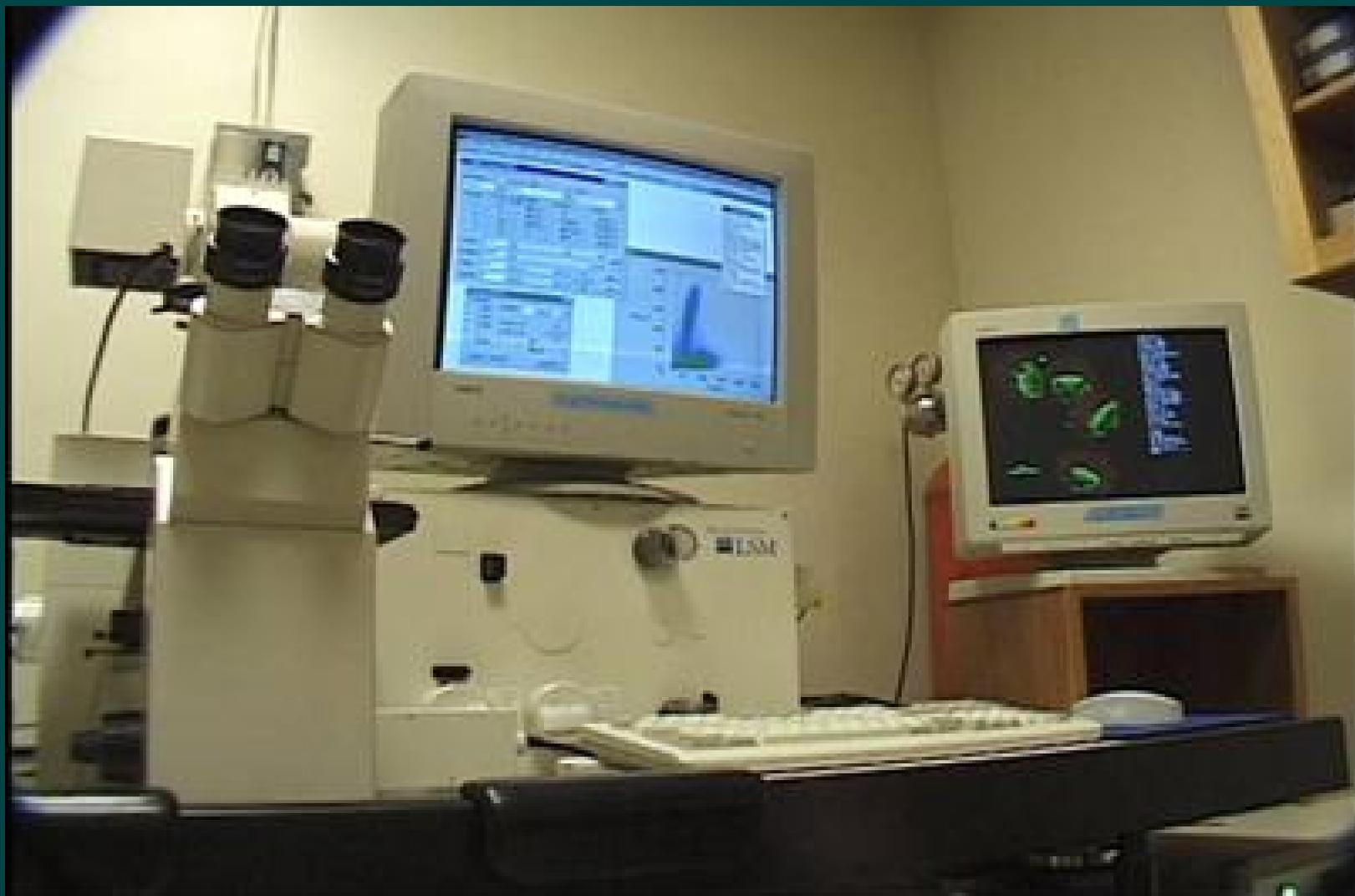


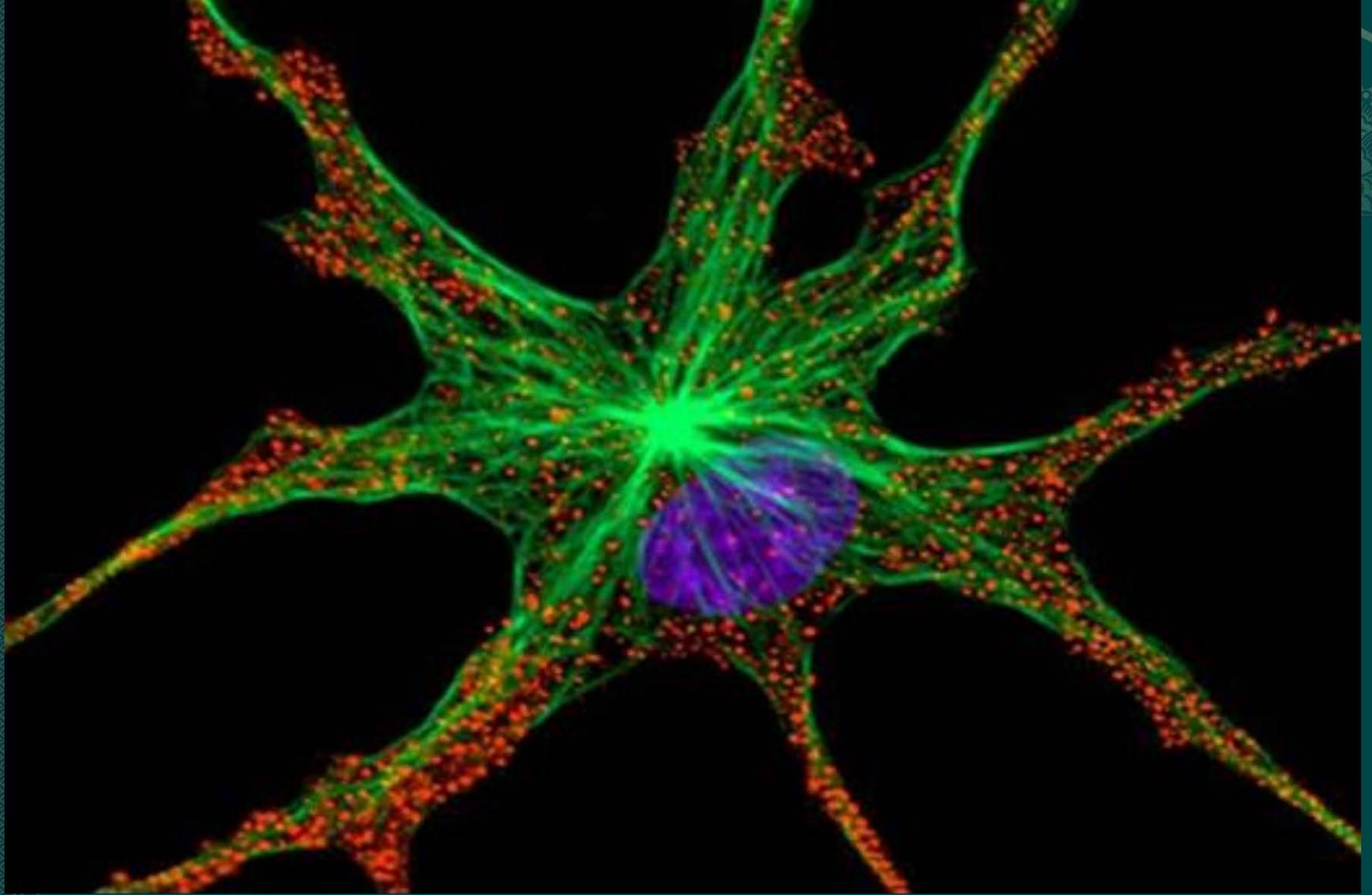
## ◆ 激光共聚焦扫描显微镜

(Confocal laser scanning microscope, CLSM)

- ◆ 可改变观察的焦平面，因而能进行“光学切片”，观察较厚样品的内部结构。将改变焦点获得的一系列细胞不同平面上的图像叠加后，可重构出样品的三维结构。
- ◆ 激光共聚焦扫描显微镜既可以用于观察细胞形态，也可以用于细胞内生化成分的定量分析、光密度统计以及细胞形态的测量。

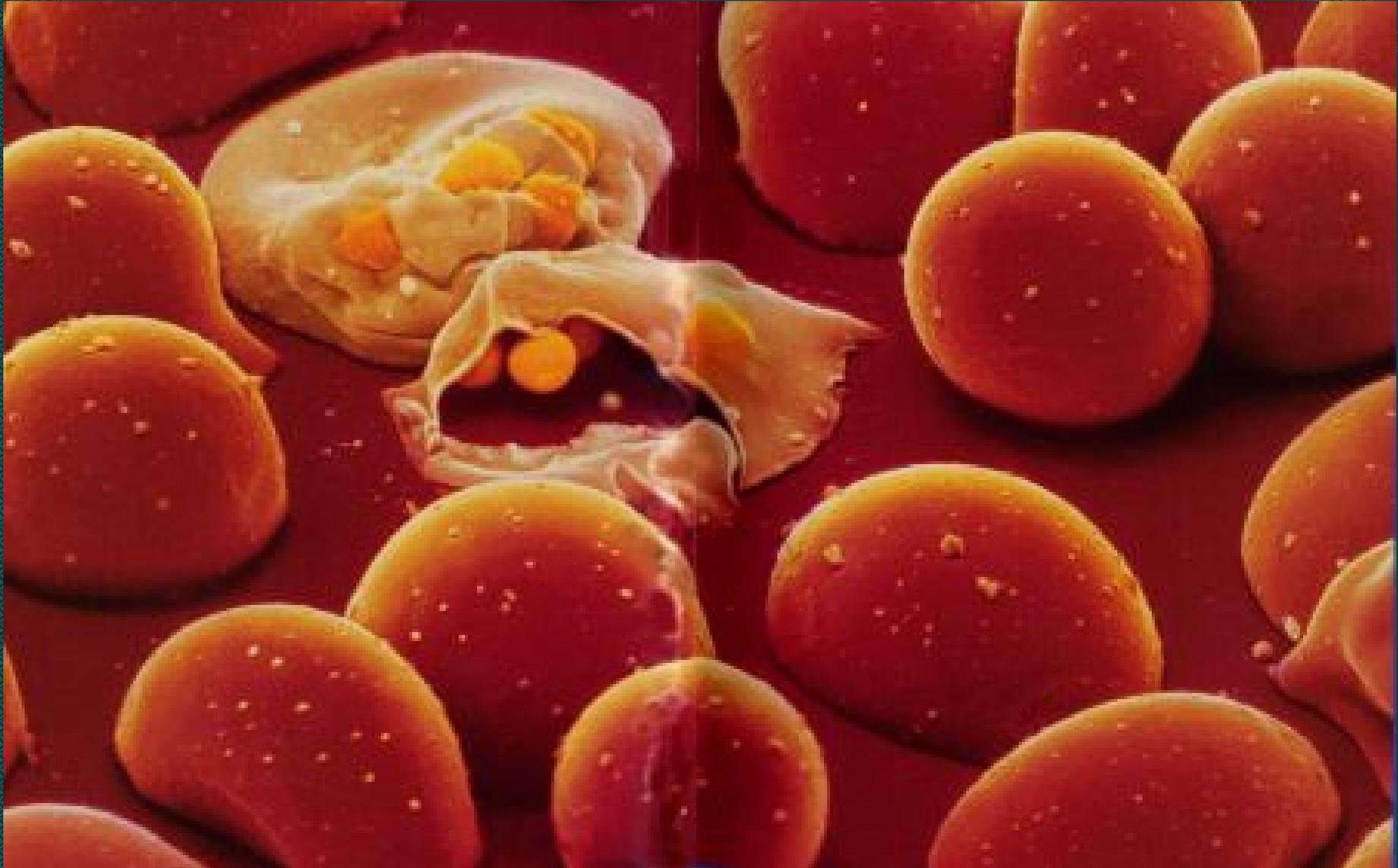
# ◆ 激光共聚焦扫描显微镜, CLSM





- ◇ 微管 (microtubule) : green
- ◇ 细胞核 (nucleus) : blue
- ◇ 微丝 (microfilaments) : red

# Broken red cells



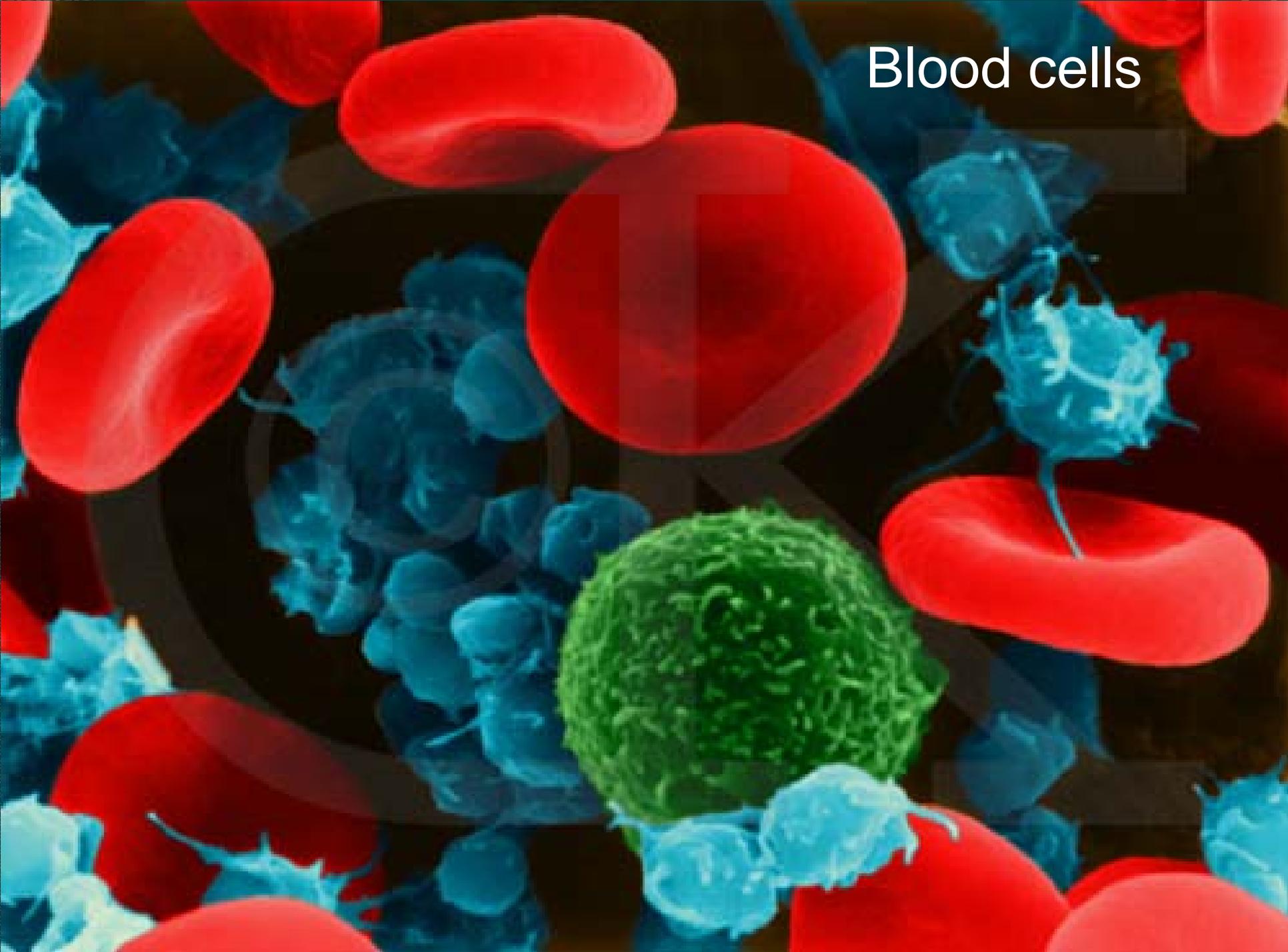
# 显微镜的发展趋势

trend of development

- ◆ 采用组合方式，集普通光镜、相差、荧光、暗视野、DIC、电镜，共聚焦等摄影摄像装置于一体。

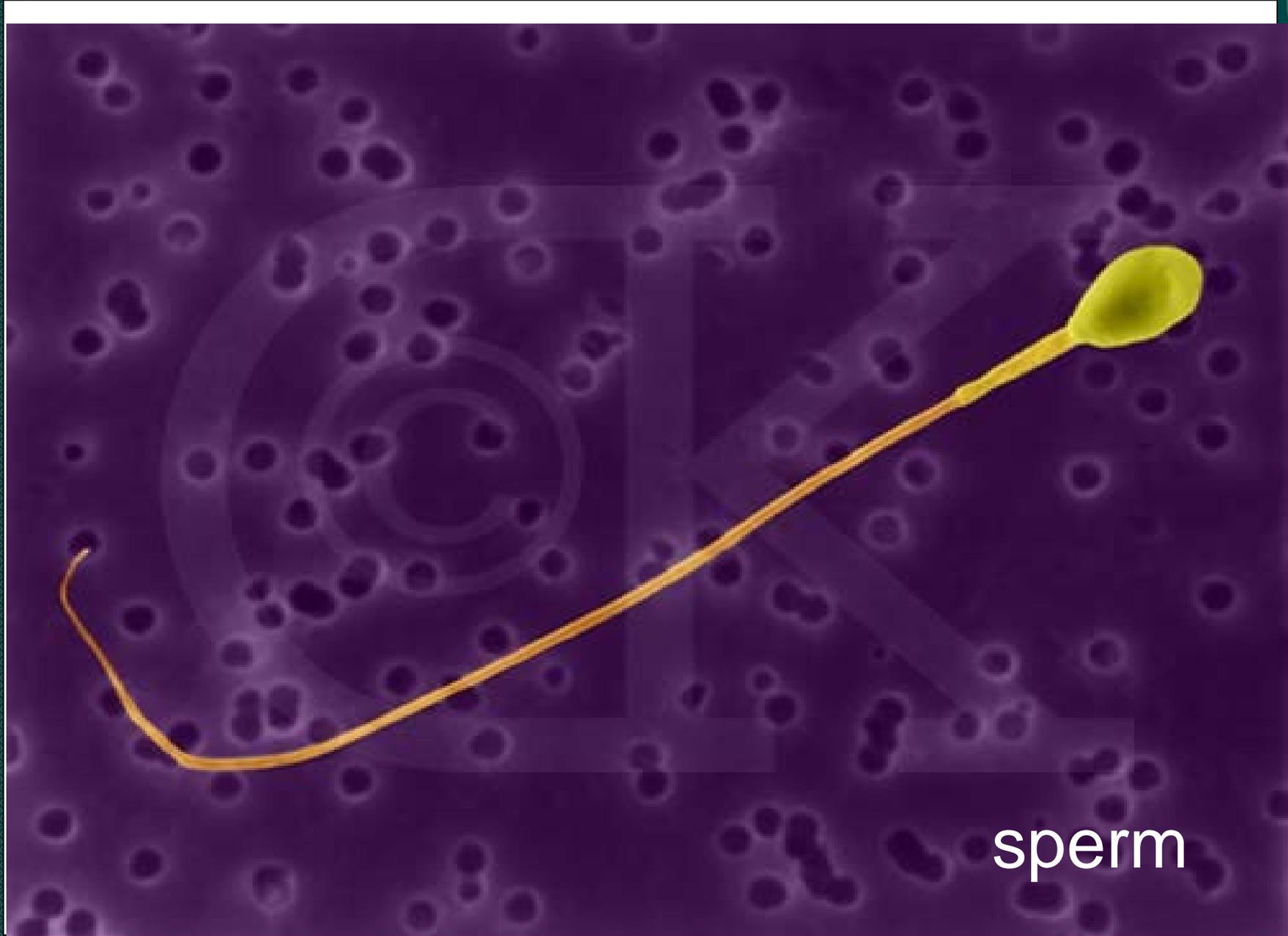


Blood cells

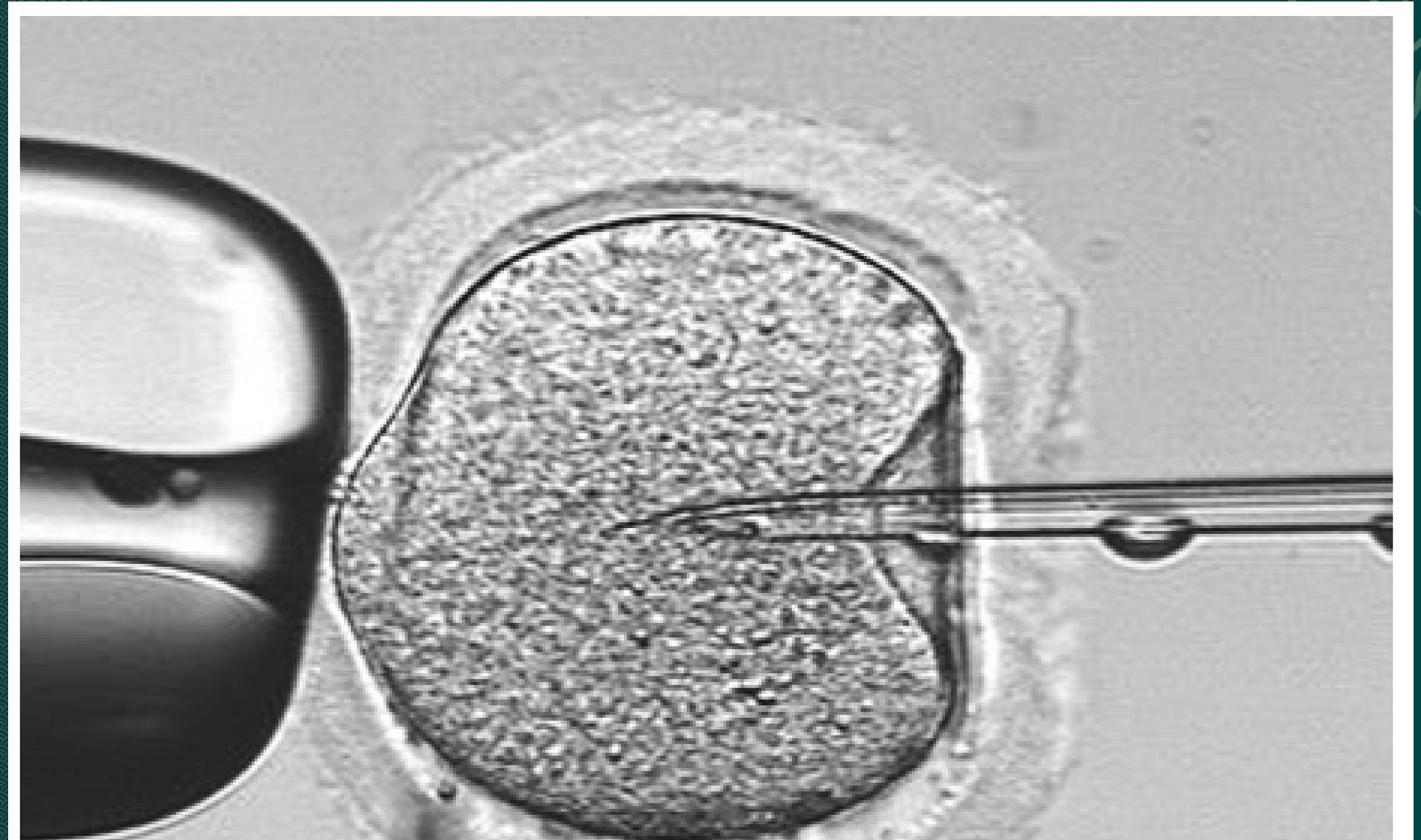


bacteria





sperm

A black and white micrograph showing an egg cell (oocyte) held in place by a large metal pipette on the left. A much smaller, thin needle is inserted into the cytoplasm of the egg cell from the right, performing an intracytoplasmic sperm injection (ICSI). The egg cell has a distinct outer membrane and a granular internal structure.

**卵胞浆内单精子显微注射**  
**ICSI (Intracytoplasmic sperm injection)**

# 基础功能学科

functional science of basic medicine

- ◇ 生理学 physiology
- ◇ 病理生理学 pathophysiology
- ◇ 药理学 pharmacology

生理学是功能学科的基础

诺贝尔医学与生理学奖



# 生理学 physiology



- ◇ 细胞的基本功能 basic function of cells
- ◇ 血液的功能 function of blood
- ◇ 血液循环 blood circulation
- ◇ 呼吸 respiration
- ◇ 消化和吸收 digestion and absorption
- ◇ 能量代谢和体温 metabolism and temperature
- ◇ 尿的生成和排出 urination
- ◇ 神经系统功能 nerve system
- ◇ 内分泌和生殖 endocrine and reproduction

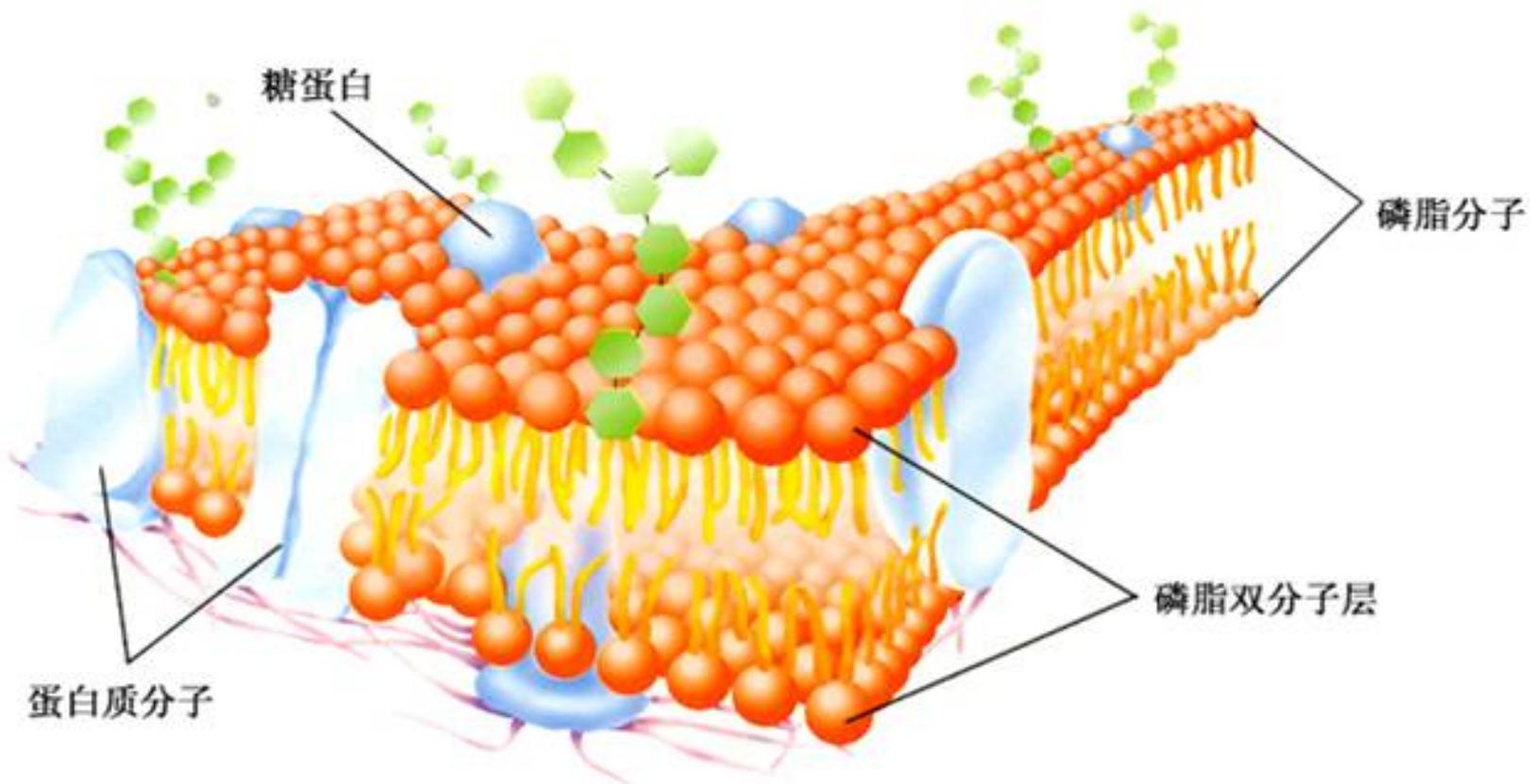
# 生理学中涉及物理学的内容

## physics inside physiology



- ◇ **细胞的基本功能** basic function of cells
- ◇ 血液的功能
- ◇ 血液循环
- ◇ 呼吸
- ◇ 消化和吸收
- ◇ 能量代谢和体温
- ◇ 尿的生成和排出
- ◇ 神经系统功能
- ◇ 内分泌和生殖

# 细胞膜的液态镶嵌模型



细胞膜的结构示意图



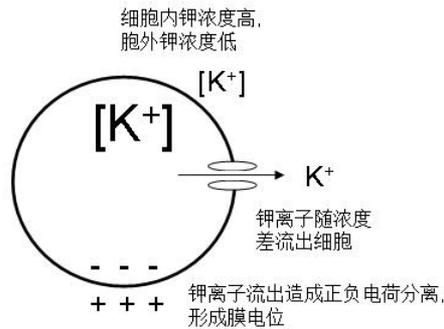
# 细胞的物质转运

- ◇ 渗透
- ◇ 单纯扩散
- ◇ 易化扩散
- ◇ 主动转运
- ◇ 出胞入胞

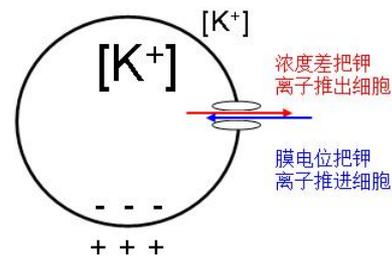
# 细胞膜的生物电活动

## ◆ 静息电位、钾离子平衡电位、能斯特方程

(rest potential,  $K^+$  equilibrium potential, Nernst equation)



Walther Nernst  
(1864-1941)



当膜电势和扩散势能相等时  
钾离子净流量为零

The Nernst equation

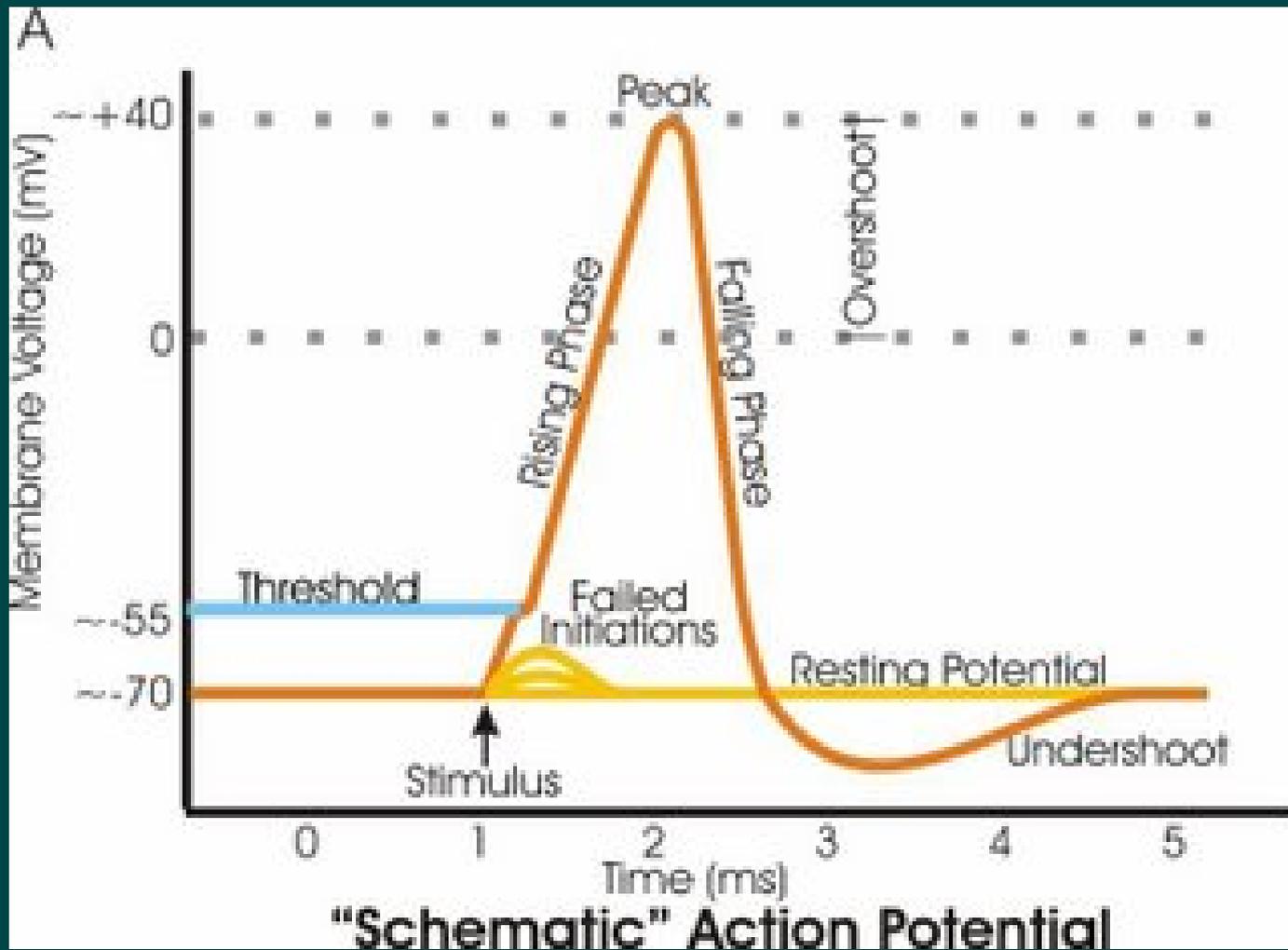
$$E_K = RT/ZF \ln [I]_o / [I]_i$$

Where:

R = gas constant  
T = absolute temperature  
Z = valence  
F = Faraday constant

# 细胞膜的生物电活动

## ◇ 动作电位 (action potential)





# 细胞膜生物电活动的研究手段

- ◇ 细胞外复合动作电位记录
- ◇ 细胞内动作电位记录
- ◇ 电压钳技术
- ◇ 膜片钳技术（单通道离子电流）

◇ ○ ○ ○ ○ ○ ○

- ◇ 生物信号采集与处理系统

放大器、引导电极、刺激电极、噪音、信噪比、50Hz干扰、高通滤波、低通滤波.....

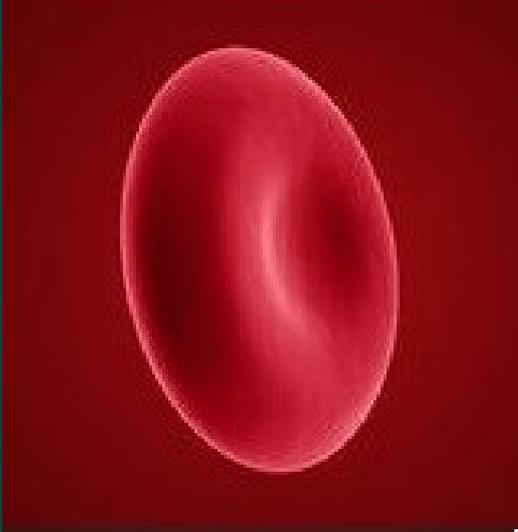
# 生理学中涉及物理学的内容

## physics inside physiology



- ◇ 细胞的基本功能
- ◇ **血液的功能 function of blood**
- ◇ 血液循环
- ◇ 呼吸
- ◇ 消化和吸收
- ◇ 能量代谢和体温
- ◇ 尿的生成和排出
- ◇ 神经系统功能
- ◇ 内分泌和生殖

# 红细胞 red cell



双凹碟形的红细胞有较大的表面积与体积比  
具有可塑变形性  
具有悬浮稳定性  
具有渗透脆性

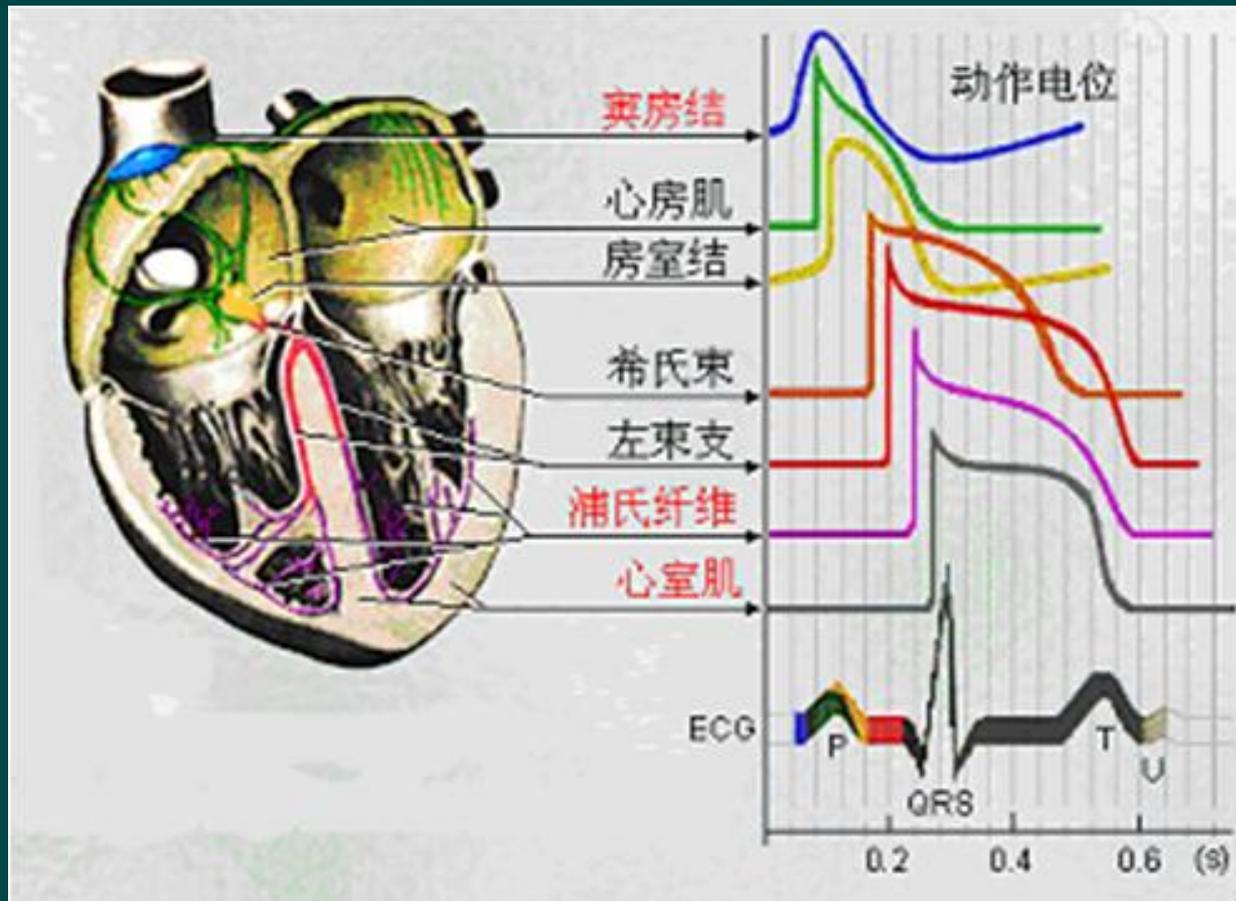
# 生理学中涉及物理学的内容

## physics inside physiology

- ◇ 细胞的基本功能
- ◇ 血液的功能
- ◇ **血液循环 circulation**
- ◇ 呼吸
- ◇ 消化和吸收
- ◇ 能量代谢和体温
- ◇ 尿的生成和排出
- ◇ 神经系统功能
- ◇ 内分泌和生殖

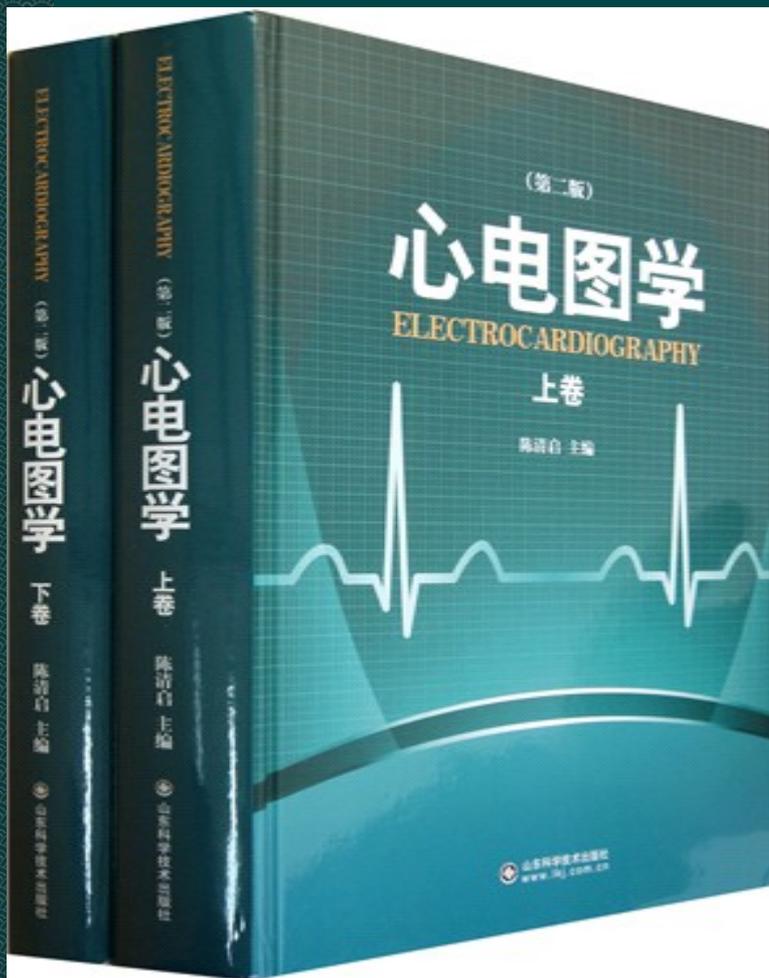


# 心脏的生物电活动



不同心肌纤维的动作电位、动作电位的传导、体表心电图

# 心电图相关理论和技术



正极

负极

接地

无干电极

导联

心电向量图

心电轴、导联轴

容积导体



# 血压相关

心脏的间歇性泵血

心室收缩力、前后负荷、搏出量、做功量

流体力学

血液粘稠度

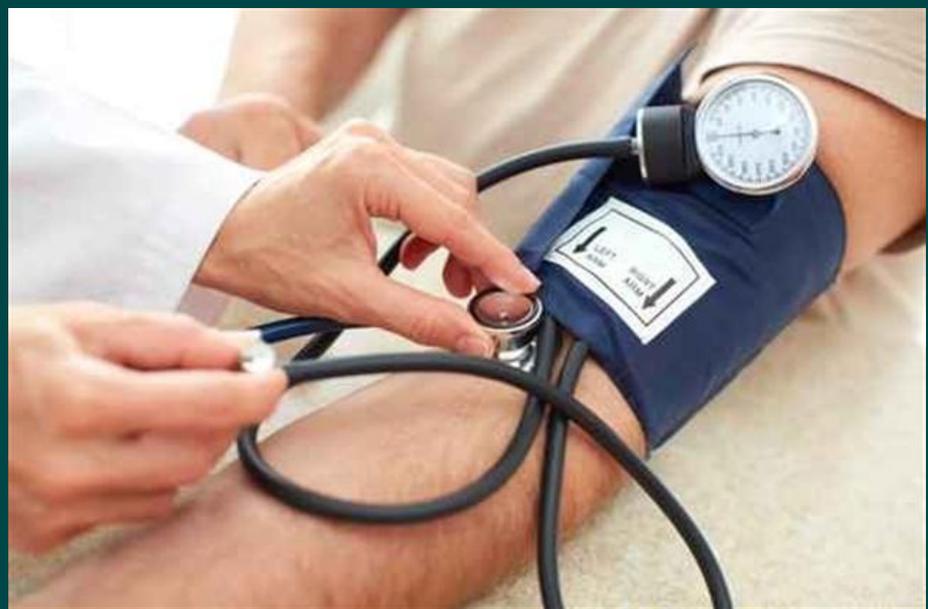
血管弹性

单向阀瓣膜

静水压

肌肉泵

大气压

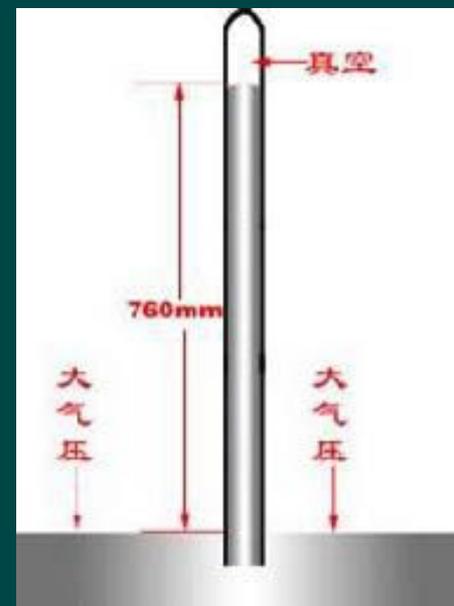


# 血压相关

- ◇ 大气压 = 760mmHg
- ◇ 人体正常血压 = 90-120/60-90 mmHg

问题:

- ◇ 人体血压 < 大气压 ?
- ◇ mmHg 是什么物理量的单位 ?



# 血压研究相关技术

## technology related to BP measurement

间接法测血压： 血压计工作原理

直接法测血压： 压力换能器

换能器的定标scaling

换能器的调零zero setting



商牛 @ntmed 安特医疗

### 压力传感器

Disposable Pressure Transducer

深圳市安特高科实业有限公司

**用途 Application:**

- 有创血压 Invasive Blood Pressure
- 膀胱压 Urodynamic
- 子宫压 Intrauterine Pressure
- 颅压 Intracranial Pressure
- 等体内生理压力测量 Other Physiological Pressure measurement

CE 0123  
Powered by DIVTrade.com

# 生理学中涉及物理学的内容

## physics inside physiology

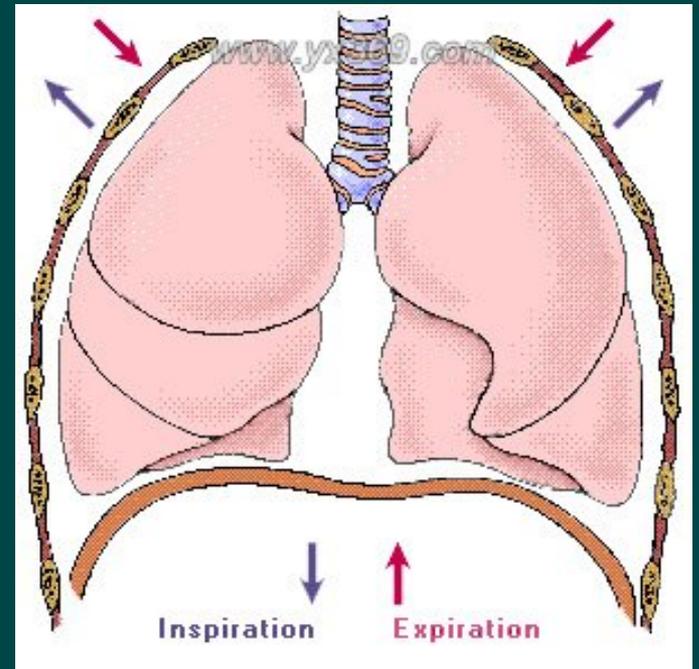


- ◇ 细胞的基本功能
- ◇ 血液的功能
- ◇ 血液循环
- ◇ **呼吸 respiration**
- ◇ 消化和吸收
- ◇ 能量代谢和体温
- ◇ 尿的生成和排出
- ◇ 神经系统功能
- ◇ 内分泌和生殖

# 肺通气pulmonary ventilation

胸膜腔内压和大气压  
胸膜腔负压形成机制  
弹性回缩，弹性阻力  
表面活性物质和表面张力  
肺顺应性

.....





# 呼吸研究相关技术

technology of respiratory research

呼吸流量测定：流量换能器

膈肌/膈神经放电：放大器

胸廓运动：张力换能器

肺活量测定：流速换能器

.....



# 生理学中涉及物理学的内容

## physics inside physiology



- ◇ 细胞的基本功能
- ◇ 血液的功能
- ◇ 血液循环
- ◇ 呼吸
- ◇ **消化和吸收** digestion and absorption
- ◇ 能量代谢和体温
- ◇ 尿的生成和排出
- ◇ 神经系统功能
- ◇ 内分泌和生殖

# 平滑肌的兴奋和收缩

action potential and contraction of smoothmuscle

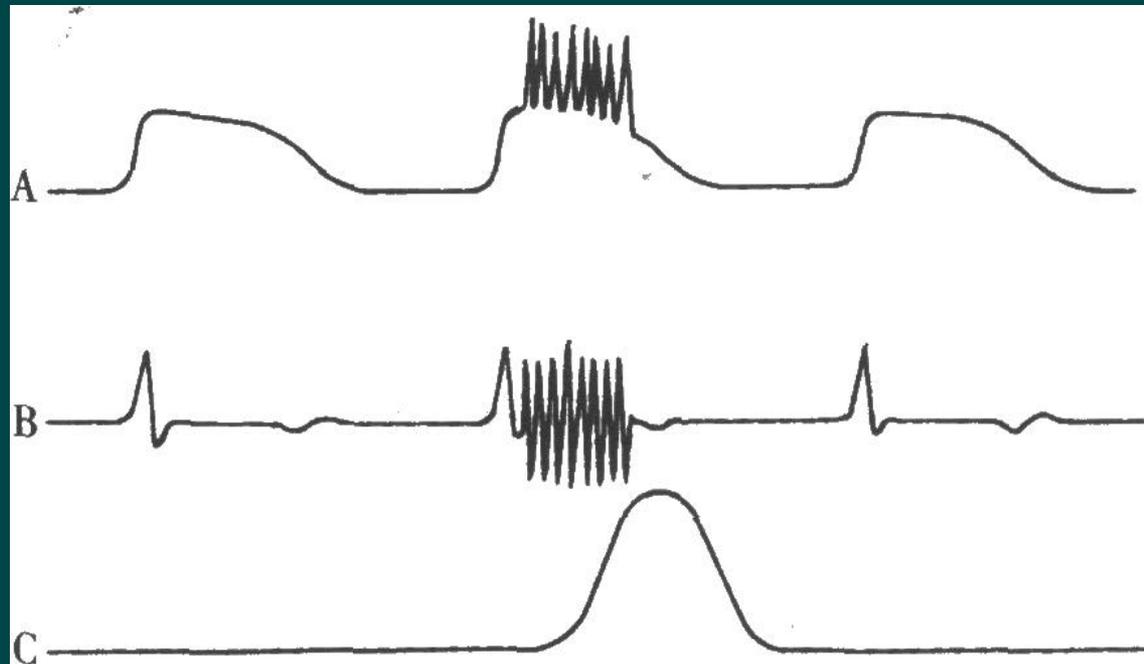


不同的肌肉：电活动不同

不同的肌肉：动力学不同

动作电位  
(AP)

细胞内记录

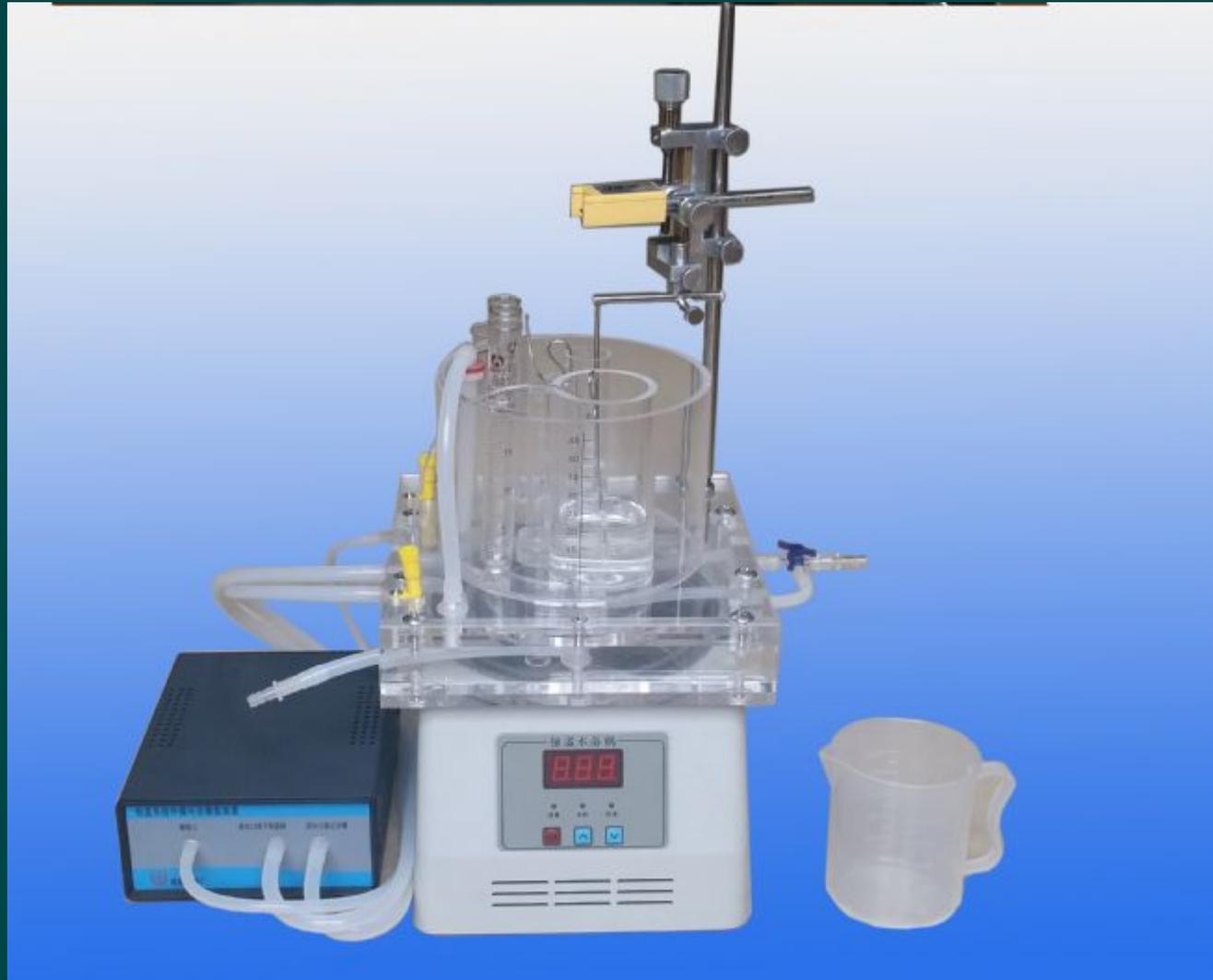


机械收缩

(contraction)

# 离体肠段张力测定

isolated intestine segment experiment



# 生理学中涉及物理学的内容

## physics inside physiology



- ◇ 细胞的基本功能
- ◇ 血液的功能
- ◇ 血液循环
- ◇ 呼吸
- ◇ 消化和吸收
- ◇ **能量代谢和体温 metabolism and temperature**
- ◇ 尿的生成和排出
- ◇ 神经系统功能
- ◇ 内分泌和生殖

# 能量代谢和体温 metabolism and temperature



能量守恒  
散热、降温  
红外成像



# 生理学中涉及物理学的内容

## physics inside physiology



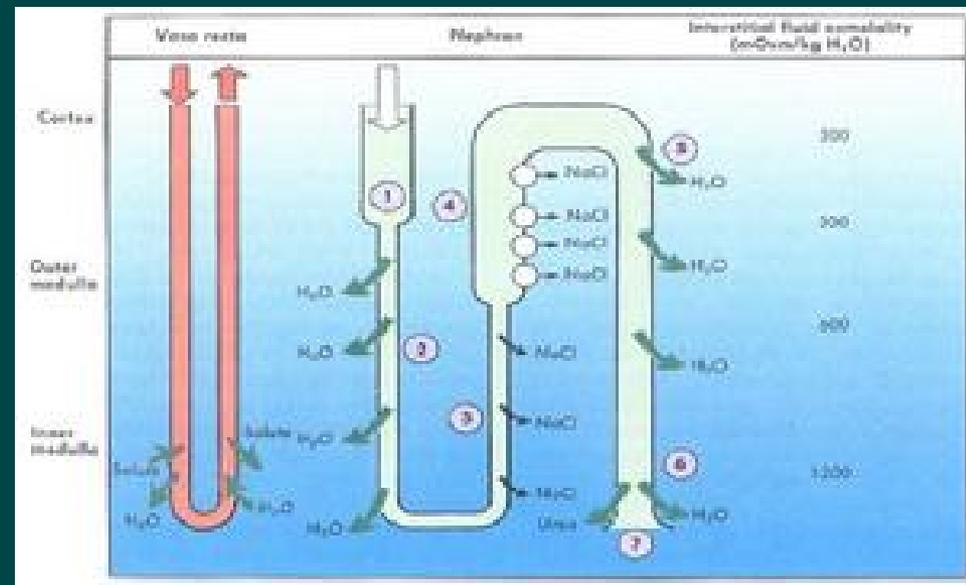
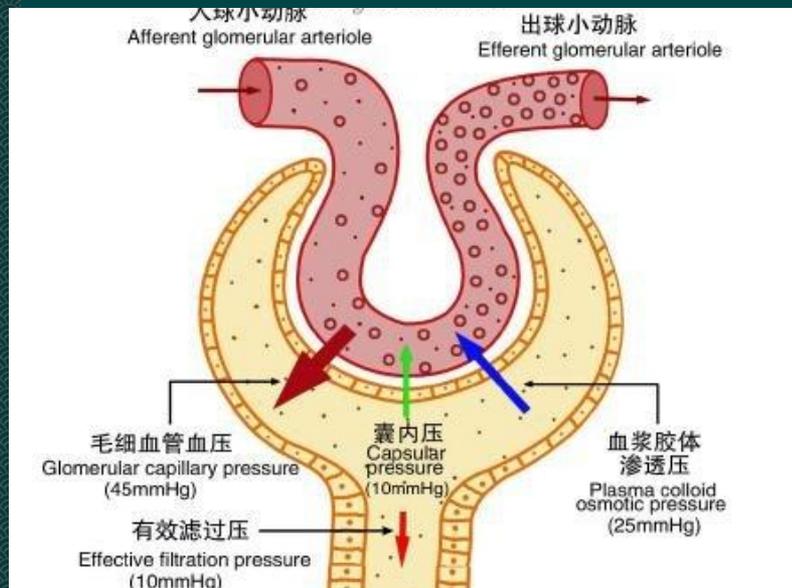
- ◇ 细胞的基本功能
- ◇ 血液的功能
- ◇ 血液循环
- ◇ 呼吸
- ◇ 消化和吸收
- ◇ 能量代谢和体温
- ◇ **尿的生成和排出**
- ◇ 神经系统功能
- ◇ 内分泌和生殖

# 三大环节：滤过、分泌、重吸收

有效滤过压

逆流交换

渗透浓度梯度



# 生理学中涉及物理学的内容

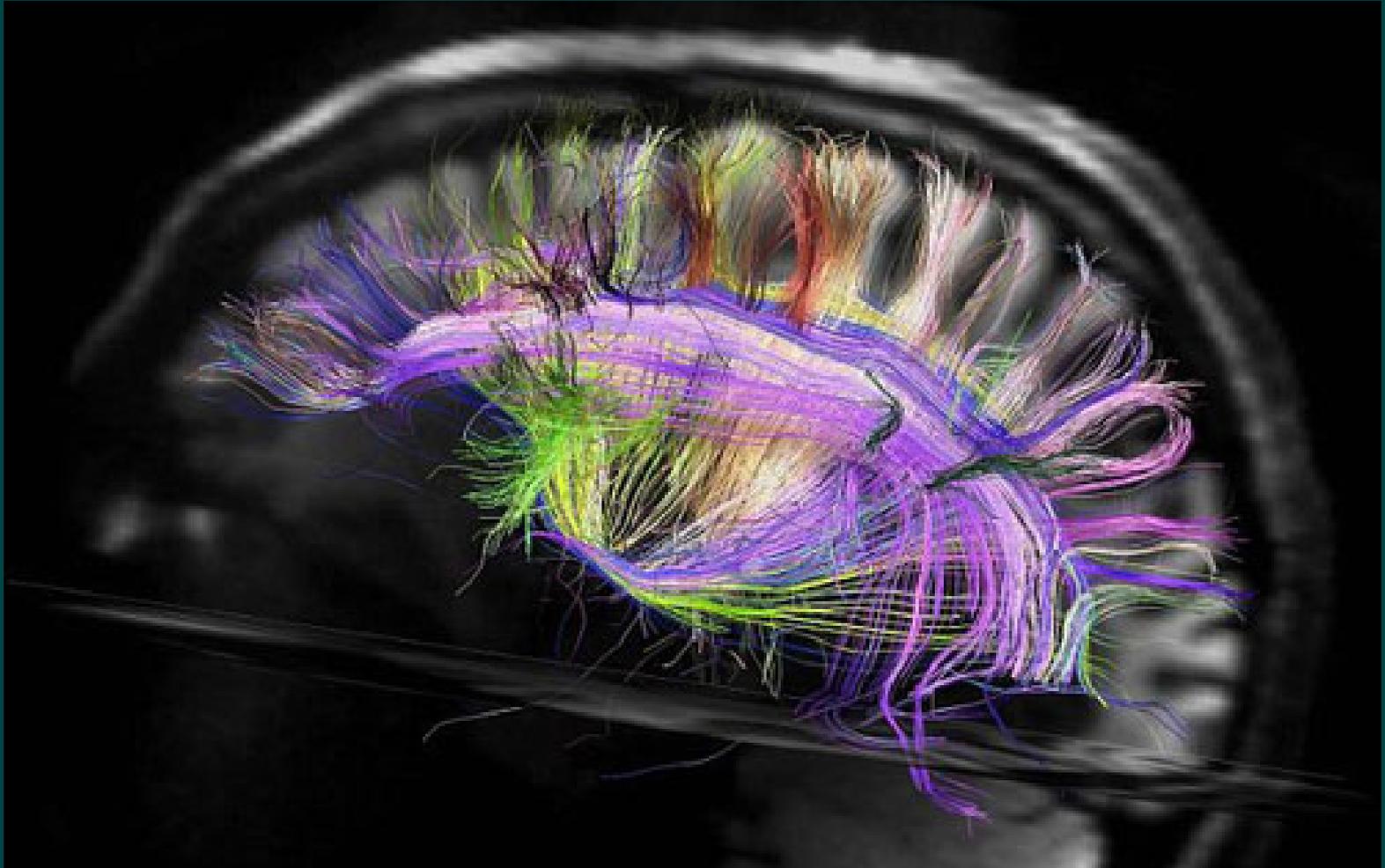
## physics inside physiology



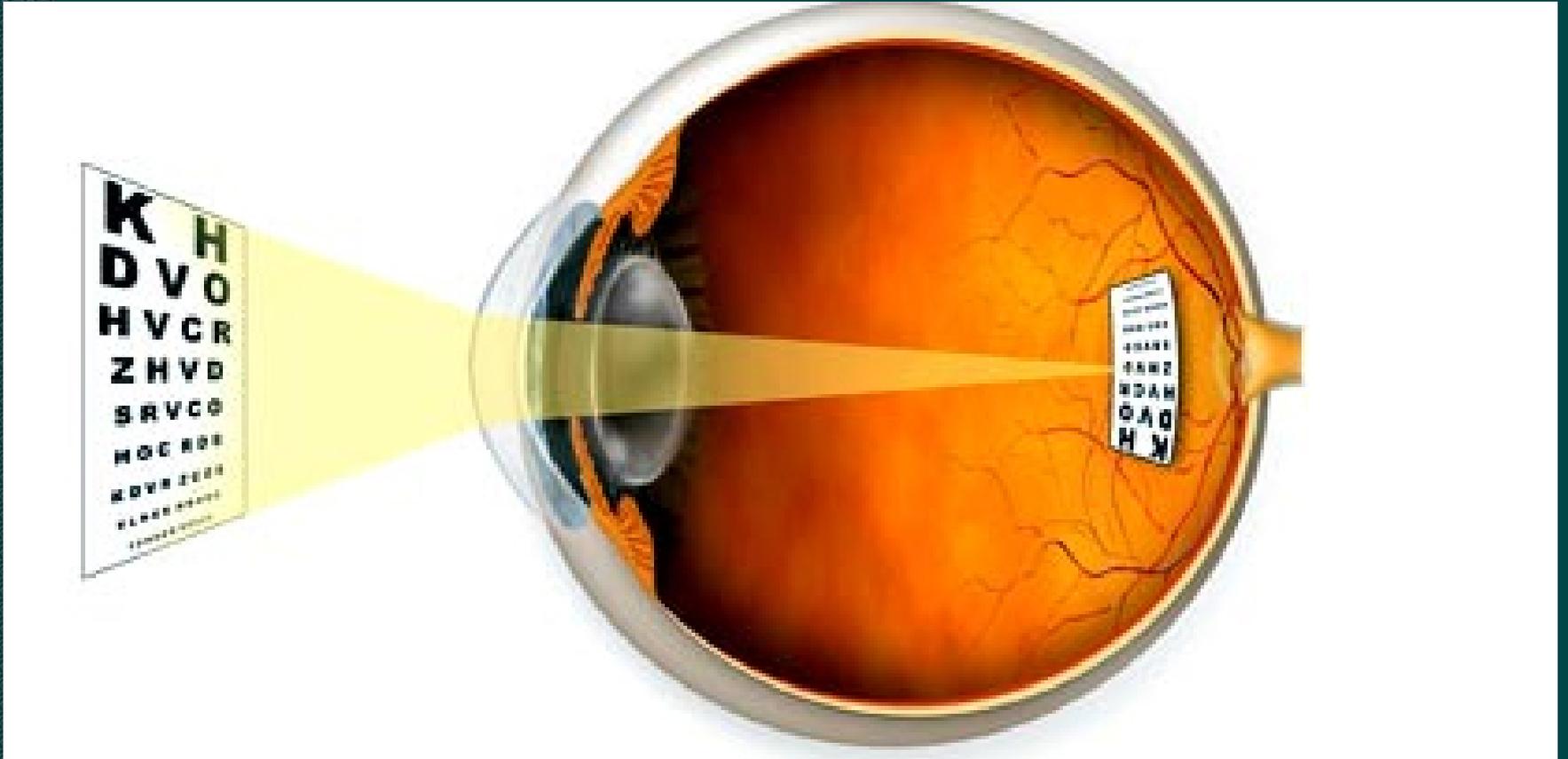
- ◇ 细胞的基本功能
- ◇ 血液的功能
- ◇ 血液循环
- ◇ 呼吸
- ◇ 消化和吸收
- ◇ 能量代谢和体温
- ◇ 尿的生成和排出
- ◇ **神经系统功能**
- ◇ 内分泌和生殖

神经的电缆特性

cable properties of nerve fiber



# THE EYE AND HOW IT WORKS



# 临床医学

## 3 stags of clinical medicine

- ◇ 诊断 diagnoses
- ◇ 治疗 therapy
- ◇ 康复 rehabilitation



# 临床医学-诊断diagnoses



- ◆ X射线透视 — X射线产生、传输、探测、穿透生物组织过程的吸收率不同而成像的原理 — 骨骼，异物，肿瘤，结核，结石，
- ◆ 听诊器 — 振动与波动
- ◆ 心电图，脑电图，肌电图、心电、呼吸监护仪 — 生物电信号的探测、信号处理与记录、计算机辅助分析

# 临床医学-诊断diagnoses

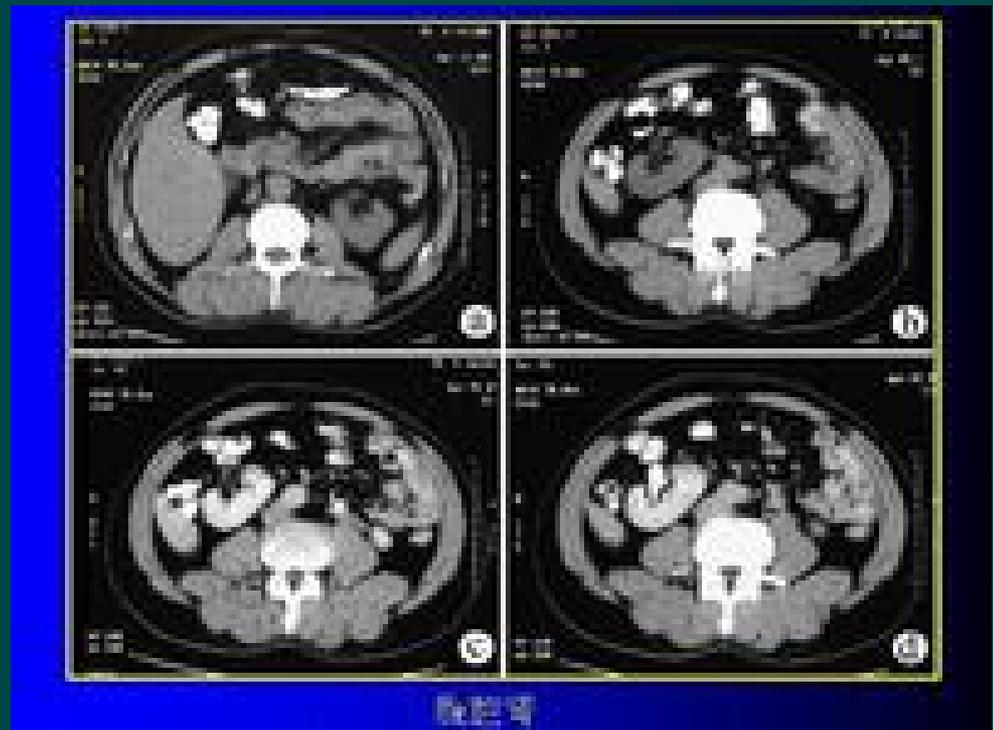


- ◆ 肺功能 — 光谱检测氧、二氧化碳等气体含量，对吸入与呼出气体的量与成分分析
- ◆ 血压计 — 压强、红外光传感
- ◆ 内窥镜 — 光纤全反射特性、光电；检查与治疗
- ◆ 药物及生物样品检测 — 原子分子吸收跃迁，高灵敏高分辨光谱分析
- ◆ 细菌、病毒检测 — 光学显微镜，电子显微镜成像，波的衍射效应
- ◆ 红外成像 — 红外产生、吸收、辐射与成像，肿瘤病变

# 临床医学-诊断diagnoses



- ◆ X断层扫描成像 (CT)—X射线, 半导体, 计算机

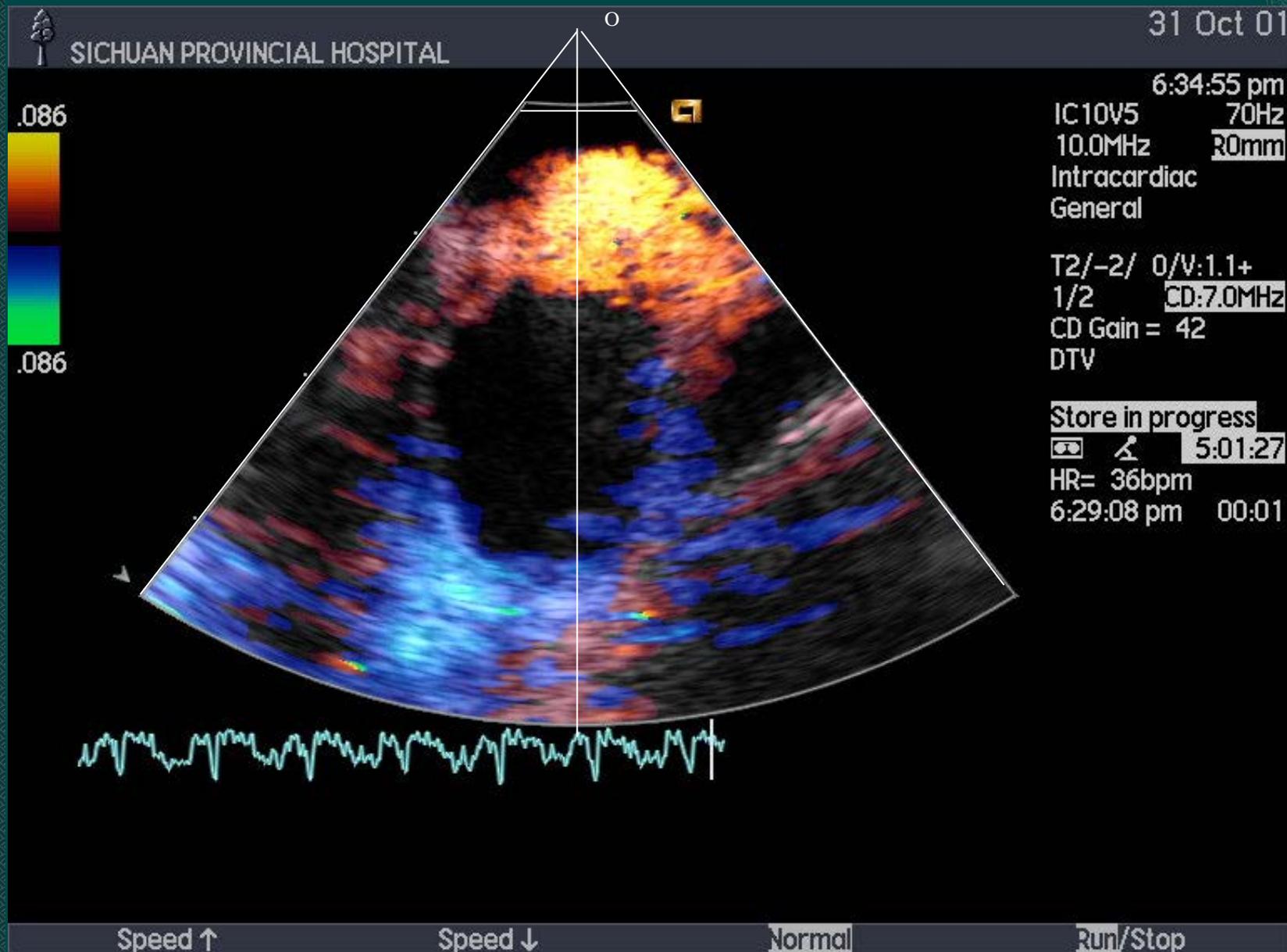


# 临床医学-诊断diagnoses

超声波成像——超声，多普勒效应，计算机——超声波产生、传输、成像，穿透生物组织产生的吸收率不同，运动物体对超声波频率产生的多普勒效应而成像——胚胎，心功能，脑功能，肝组织等实质性脏器及液体的情况，血流速度与流量



# 临床医学-诊断diagnoses



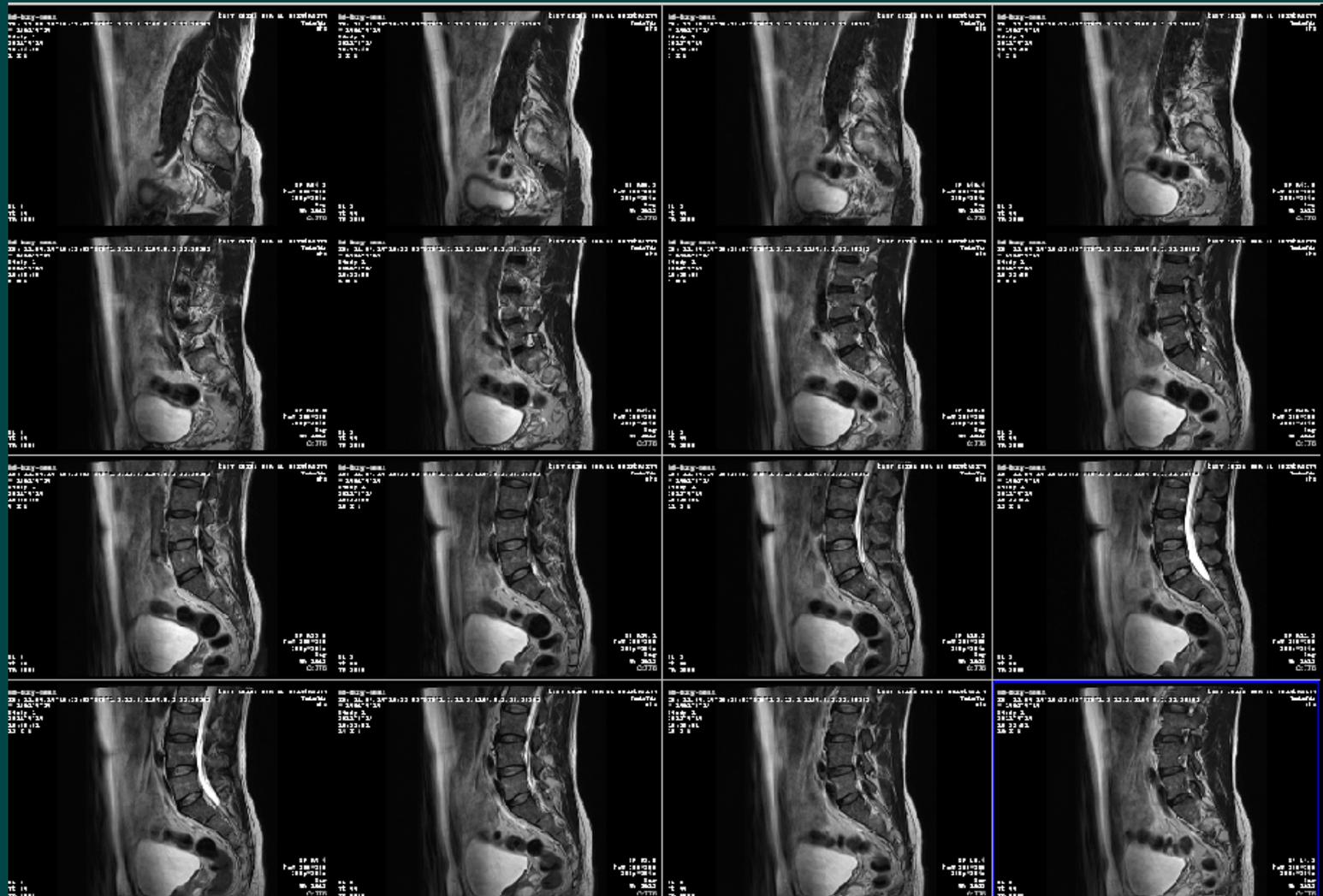
# 临床医学-诊断diagnoses



3D ultrasound images

# 临床医学~诊断diagnoses

核磁共振成像(MRI)——核磁共振，半导体、低温物理、超导体，计算机



# 临床医学-诊断diagnoses

## 内窥镜—CCD成像系统



## 体内微型摄像系统—CCD成像，图像处理，无线电发射系统



吞下这颗“胶囊机器人”就可做胃镜、结肠检查。 美联社 摄

# 临床医学-治疗therapy



- ◆ 放射性治疗—镭，钴， $\gamma$ ，（放射性对细胞的杀伤作用）
- ◆ 物理治疗—光波（红外热效应），微波（高温对肿瘤细胞作用，消融），电场（心脏复苏，起搏）
- ◆ 激光—外科手术（切割，烧结，疏通），眼科手术（视网膜）
- ◆ 超声波—清洗，钻孔（口腔），排石（超声波的物理特性与效应）
- ◆ 低温—手术，降温，（热交换形式）
- ◆ 体外心肺循环系统
- ◆ 心肺功能监护

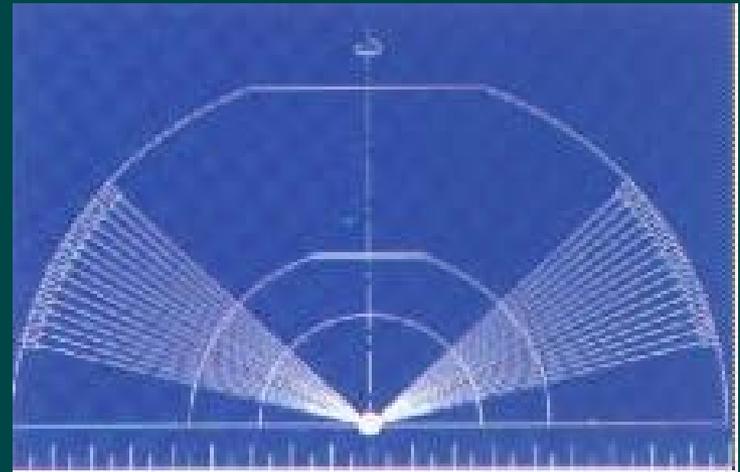
# 临床医学-治疗therapy



“ $\gamma$ 刀”治疗肿瘤

三维立体定位- 多束 $\gamma$ 射线聚焦-放射治疗

避免对正常细胞杀伤



# 临床医学-治疗therapy

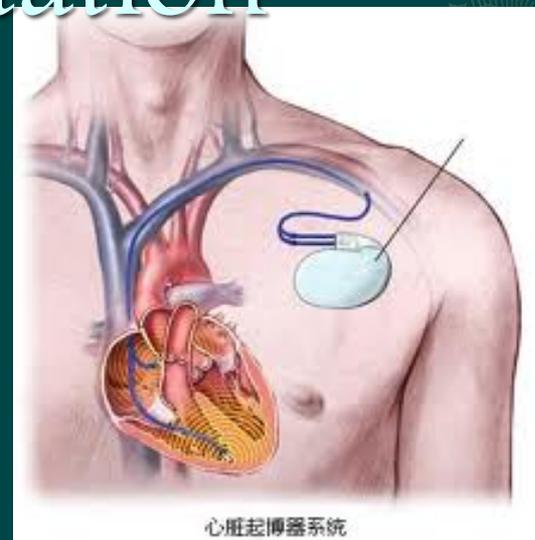


## 医院概况

上海市质子重离子医院，暨复旦大学附属肿瘤医院质子重离子中心，是一所集医疗、科研、教学于一身，以国际尖端肿瘤放射治疗技术——质子重离子放射治疗技术为主要治疗手段的现代化、国际化肿瘤中心，也是国内第一家配备质子重离子放射治疗设备的医疗机构。医院地处上海市浦东新区国际医学园区内，总占地150亩，建筑面积一期52,542平方米，共设床位220张，各类专业技术及管理人员200多名。

# 临床医学-康复rehabilitation

- ◆ 脑电，肌电检测与控制——假肢
- ◆ 心电起搏器——替代发出电脉冲，  
按需控制心脏起搏
- ◆ 人工心脏——替代心脏功能



- ◆ 人工耳蜗——听觉

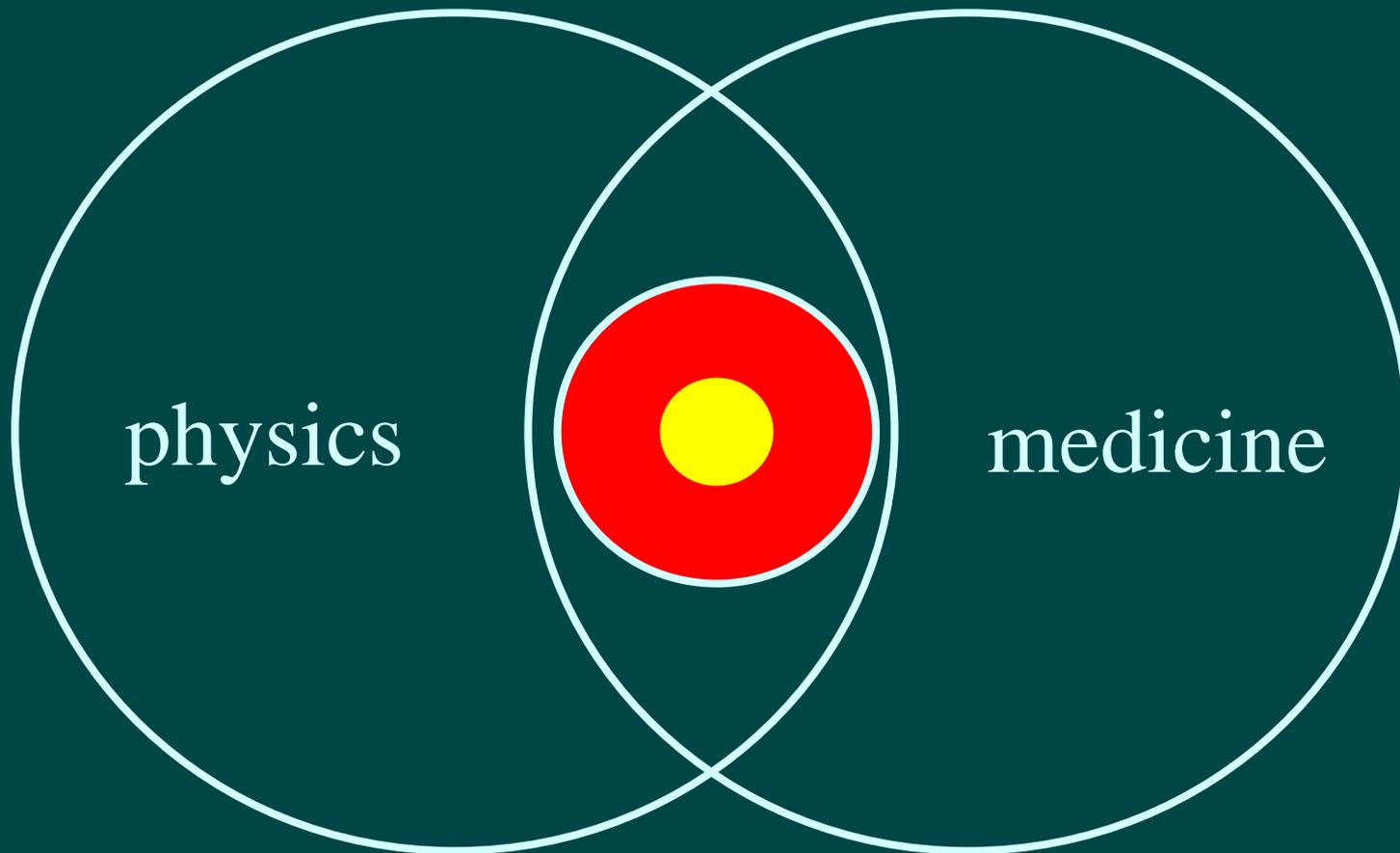


# 临床医学~康复rehabilitation



人工视觉——摄像机+集成电路图像处理  
+视觉神经系统

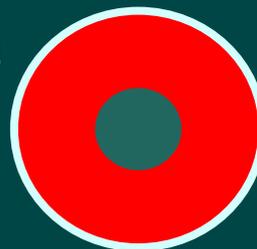




**Already known by students**



**Need to known**



**What we need to do**



谢 谢