

---

# 三维打印技术 在硬组织外科中的应用与创新

王成焘

上海交通大学

# 内容

---

- 1、三维打印技术的产生与应用
- 2、非金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 3、金属三维打印技术
- 4、金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 5、金属三维打印技术与未来硬组织外科植入物
- 6、人体组织器官的三维打印

# 内容

---

- 1、三维打印技术的产生与应用
- 2、非金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 3、金属三维打印技术
- 4、金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 5、金属三维打印技术与未来硬组织外科植入物
- 6、人体组织器官的三维打印

---



# 传统的制造技术

# 通过铸造或锻造获取机械零件的毛坯



铸造



锻造

# 通过切削加工制造机械零件



车削

减材制造



铣削



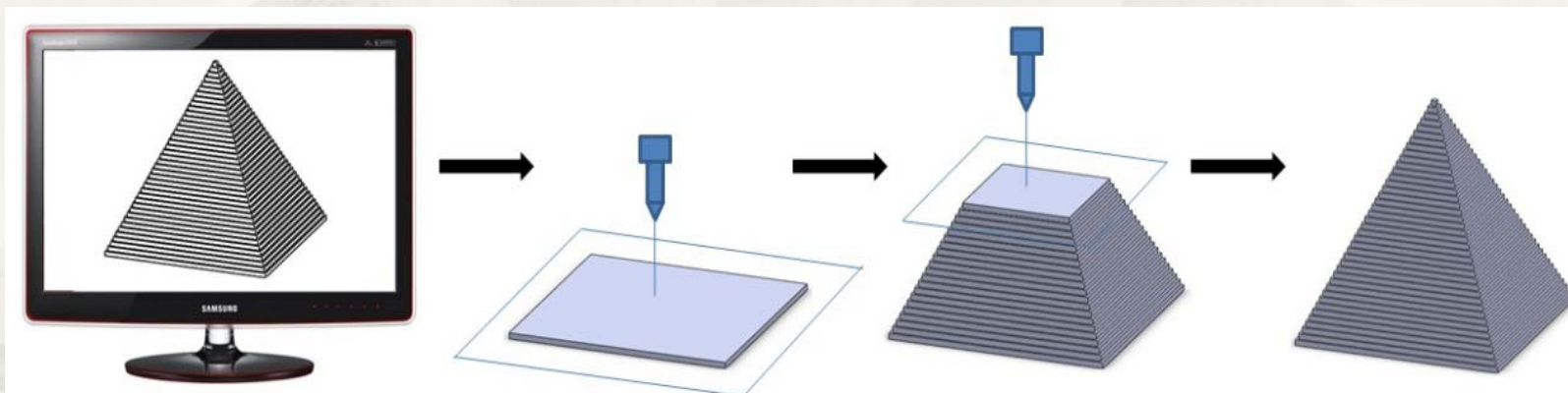
磨削

---

# 增材制造（三维打印）技术



# 基本原理



计算机中的物  
体三维设计

打印第一层

打印与叠加

成型后的  
物体

# 技术发展简史

---

3D三维打印技术产生于上世纪80年代。

1982年，美国的赫尔（C. W. Hull）完成了紫外光固化三维成型技术的试验，于1986年成立了3D Systems公司。

同一时期，美国的克伦普（S. Crump）提出了熔融沉积三维成型技术，于1989年创立了Stratasys公司。

美国麻省理工学院（MIT）于1993年开发了激光三维打印成型技术，成立了Z Corporation公司。目前被3D Systems公司收购。

在这一期间，以色列Objet公司、德国EOS公司等多家从事三维打印设备的制造商也相继出现。目前Objet公司被Stratasys公司收购。

---

近年来，上述公司相继开发出金属三维打印技术，可以按所需要的金属材料直接制作用于实际使用的机械零件。

出现了多家专门生产金属三维打印设备的企业，如瑞典的Arcam公司、德国的 SLM 公司和 Concept Laser公司等。

为三维打印技术全面进入制造领域创造了广阔的空间，而且引起全社会的关注。

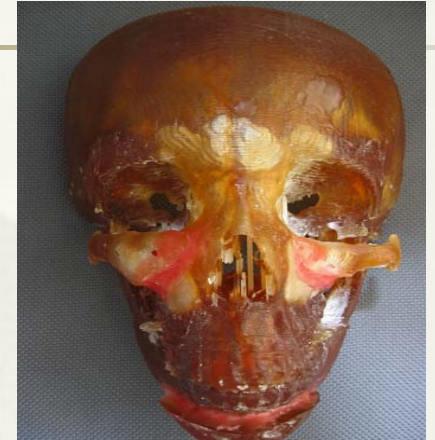
# 立体印刷术

## Stereo Lithography Apparatus, SLA

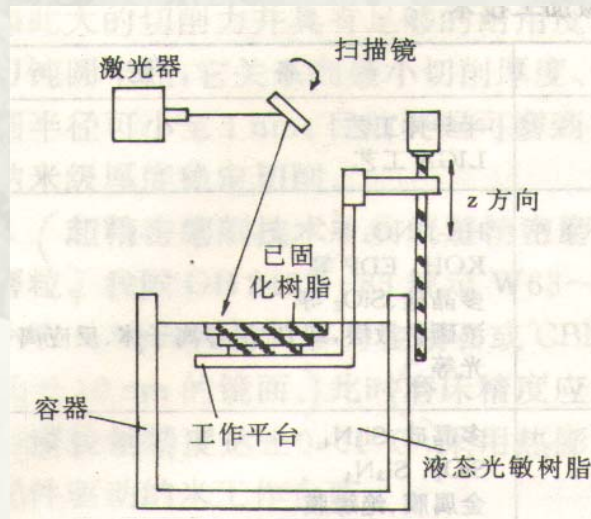


计算机模型

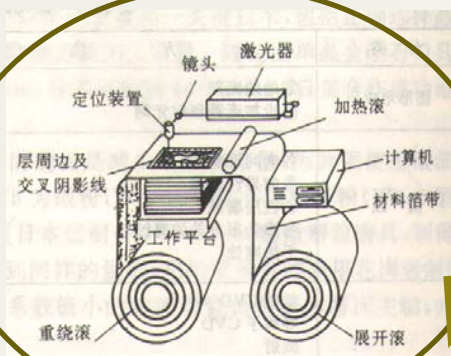
光固化成型



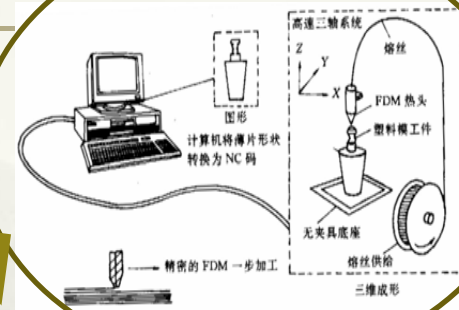
实物模型



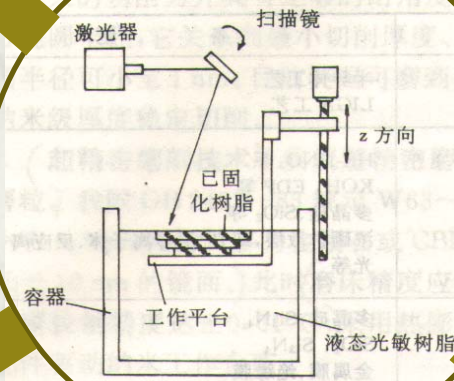
# 发散法创新思维



分层实体制造

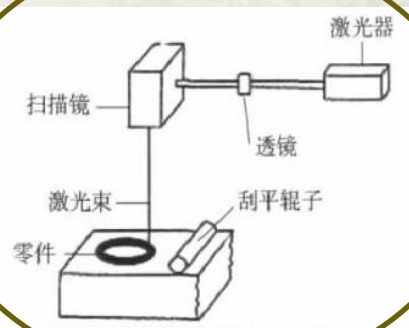


熔化沉积制造技术

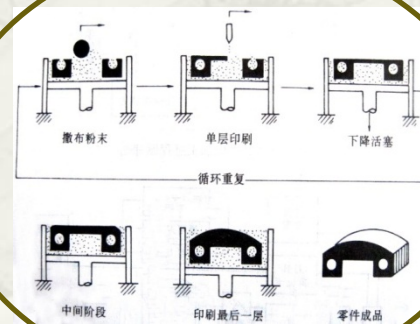


光固化成型

核心：打印一层材料



熔化沉积制造技术



三维印刷技术

# 1、产品造型设计



人体工效学设计



# 汽车造型设计



1: 1的内饰件设计原型



1: 1的车灯设计原型



1: 1的汽车外形设计



世界上首辆3D打印车身赛车

## 2、创意设计

快速制造产品创意设计原型

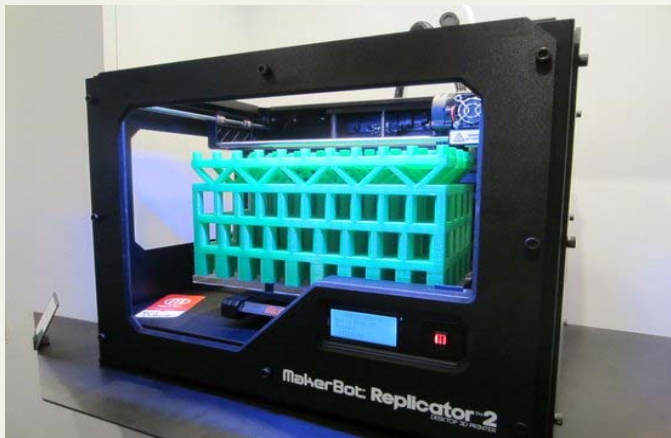


### 3、工业产品的结构优化设计

发动机排气管优化设计



## 4、建筑设计



英国开发的建筑3D打印设备



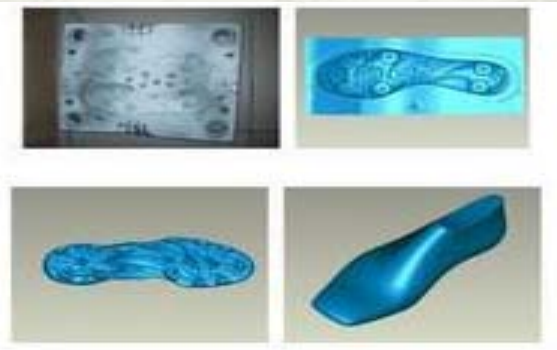
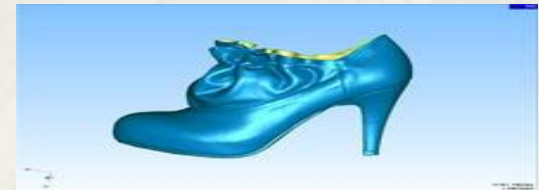
通过模型进行方案讨论



你可以定制你的房子—先做个模型看看

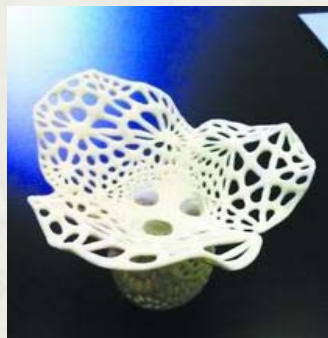


## 5、服饰设计



## 6、艺术品制作

个性化的饰品



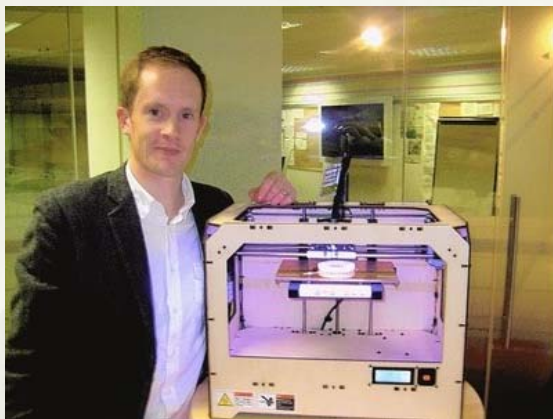
# 3D照相馆



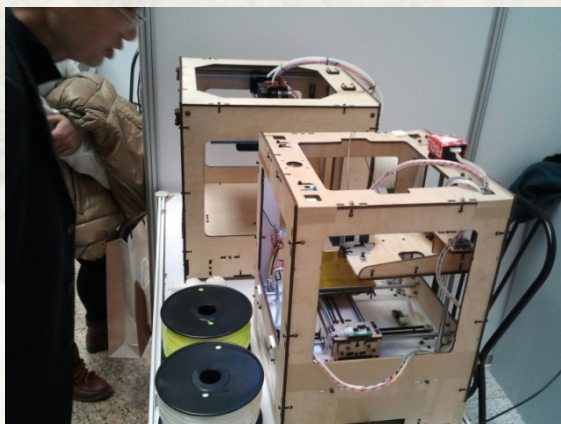
日本开发的腹中胎儿3D打印模型业务  
磁共振影像—三维建模—3D打印



## 7、3D打印进入学校教育



英国教学3D打印机产品



中国教学3D打印机产品



## 8、令人不安的应用—科技的双刃剑效果

### 打印枪支



位于美国得克萨斯州奥斯汀的“防务分销”耗费大约一年,用3D打印技术制造枪支。首支3D打印枪本月4日在奥斯汀试射成功。除击针为金属,枪支全部部件为塑料,由3D打印机分别打印完成。

威尔森将这款手枪称作“Liberator”，并计划发布这款手枪的 3D打印CAD文件。

美国国务院致信3D打印枪设计方“防务分销”的创始人科迪·威尔逊,要求他把3D打印枪设计图“从公共可获取渠道中移除”,直至他能够证明,在互联网提供设计图并且允许美国以外地区下载的做法没有违反武器海外贸易法规。



# 内容

---

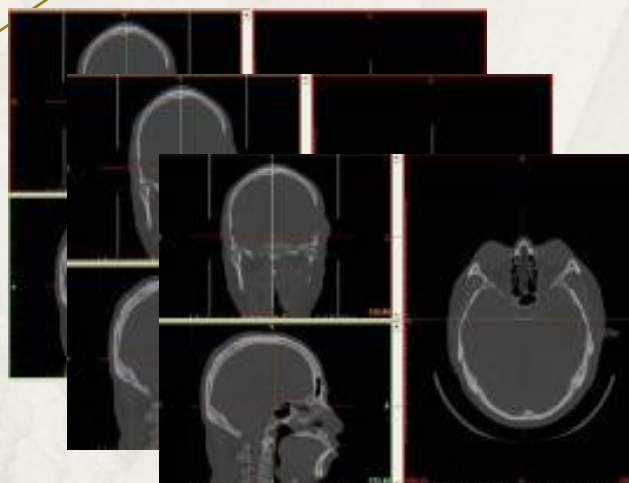
- 1、三维打印技术的产生与应用
- 2、非金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 3、金属三维打印技术
- 4、金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 5、金属三维打印技术与未来硬组织外科植入物
- 6、人体组织器官的三维打印

# 1、三维打印模型是患体信息的第三次提升

三维打印模型

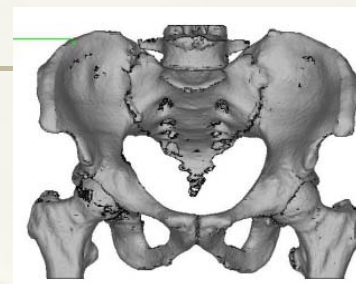
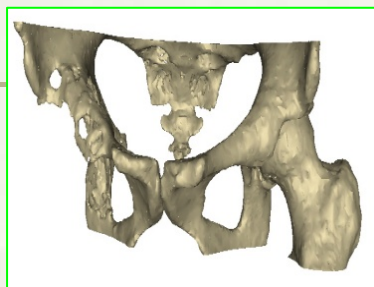
CT与MRI

X光



患体信息的三个里程碑技术

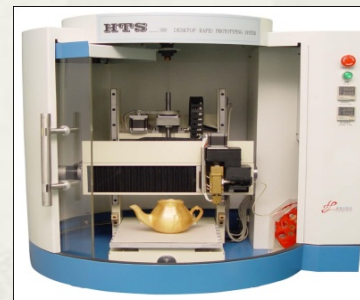
# 上海交通大学所拥有的快速成型设备



SLA快速成型设备



LOM快速成型设备



FDM快速成型设备



SLS快速成型设备



目前已提供 4000 件模型

# “麻花腿”患者病例

(上海市第九人民医院 骨科)



女, 19岁, 左下肢复合畸形  
(脂肪瘤后)

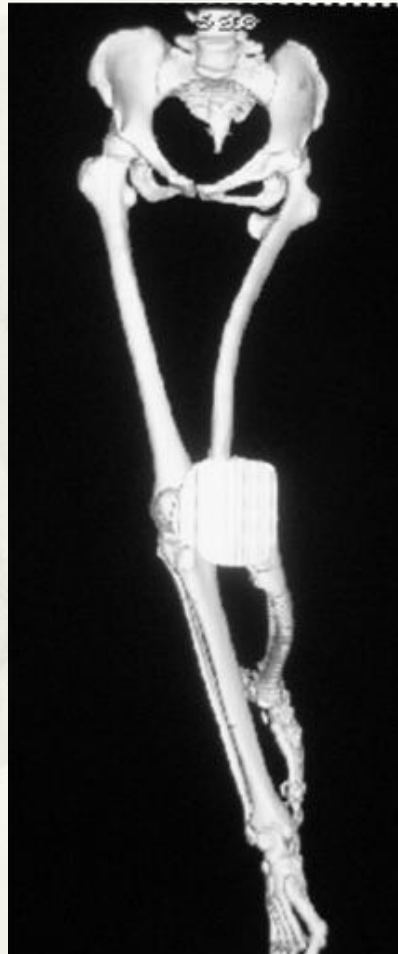


她这样生活了19年



# “麻花腿”患者病例

(上海市第九人民医院)



# 三维数模的拼接



常规的多层螺旋CT，受探测器宽度限制，无法对该病例一次性完整扫描只能分两段（2种体位）进行扫描。



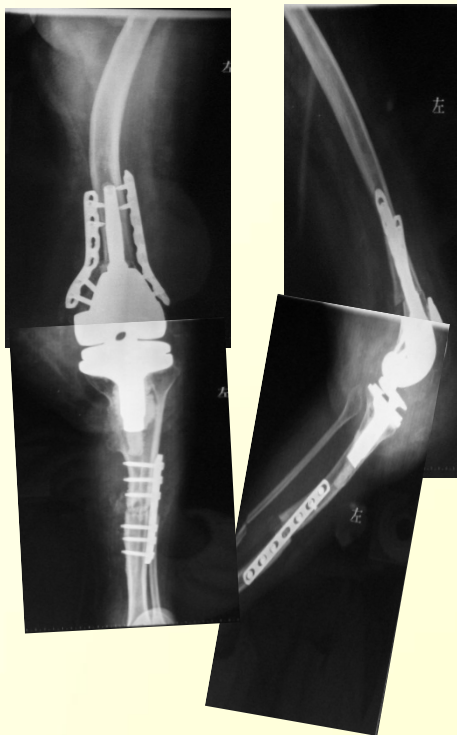
通过mimics软件（或cappois软件）建模生产面网格模型（STL格式）



导入Gemagic软件采用多点进行面配准，对两段数据中的重复区域按顺序采3个点进行配准，完成数据拼接。



术后2周



术后1月



第一次  
用双腿走路

术后11月

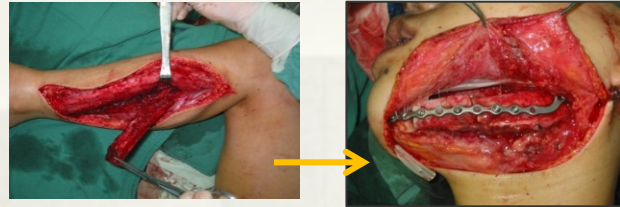


术后3年



# 腓骨重建下颌骨

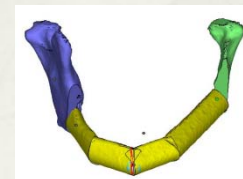
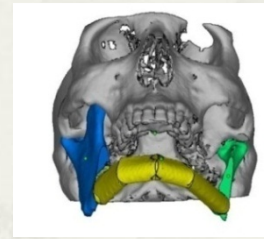
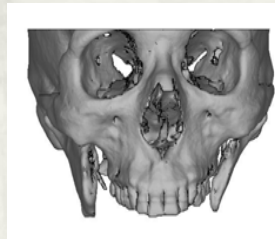
上海市第九人民医院手术，上海交通大学RP模型



利用自体腓骨重建下颌骨



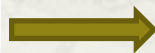
三维重建骨模型



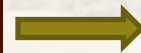
术前规划设计



九院病例术前



3D打印骨模型



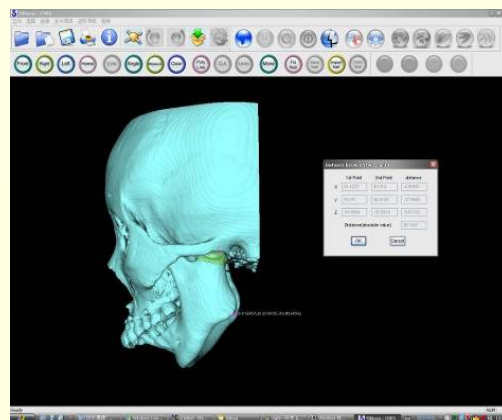
九院病例术后



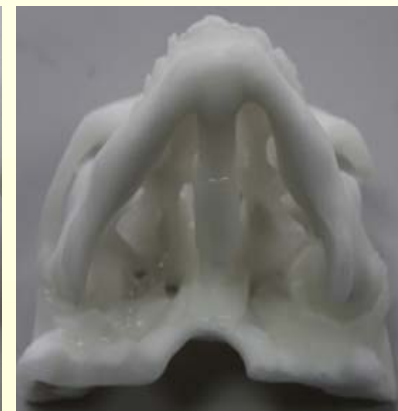
# 病例 颞下颌关节成型术



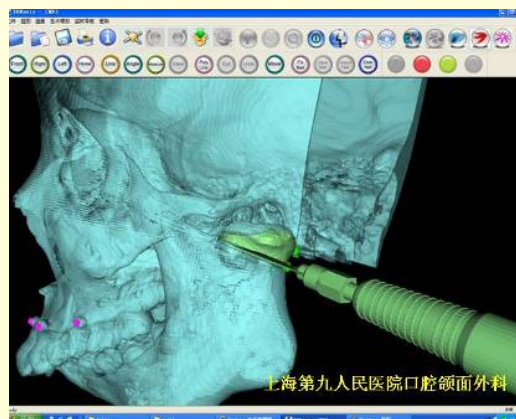
术前



术前规划



术后

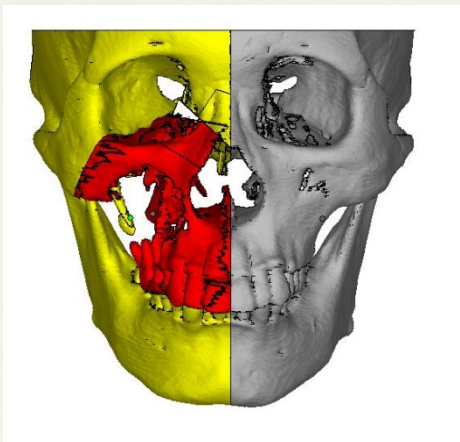


术中导航

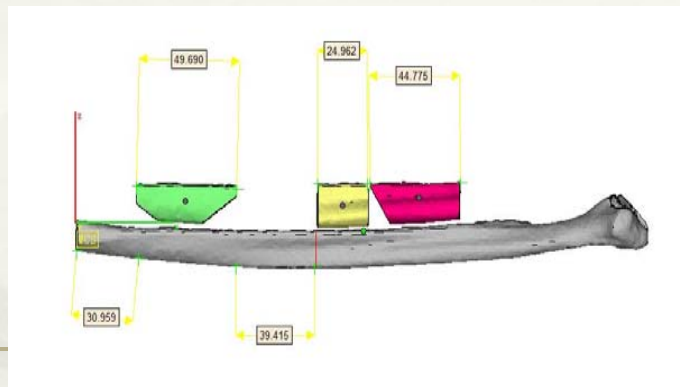


上海第九人民医院口腔颌面外科

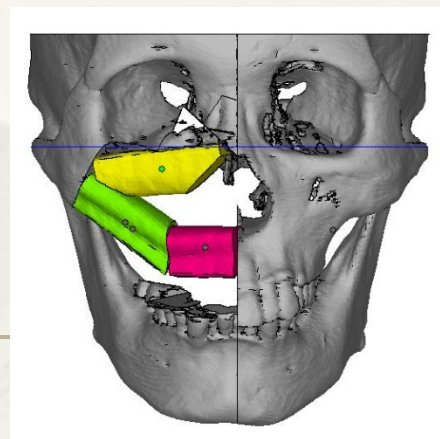
## 2、三维打印与精准手术



原型：红色为肿瘤切除区域

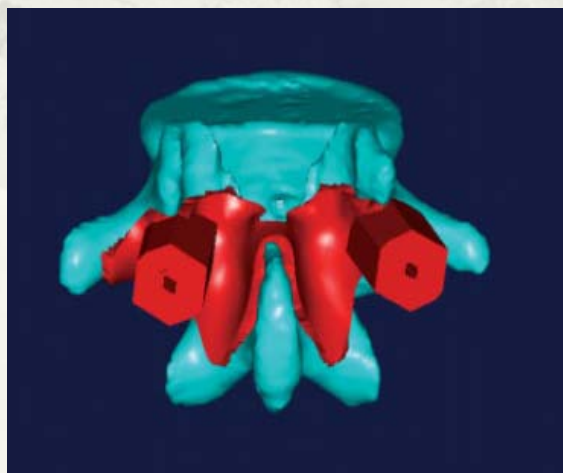
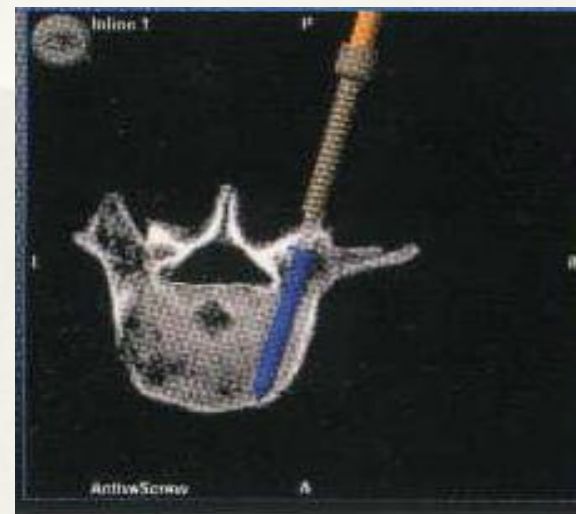
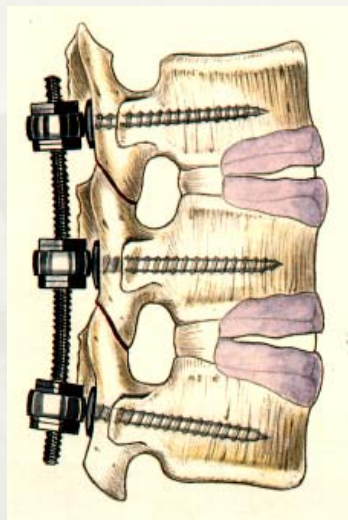


手术规划



腓骨重建  
上颌骨

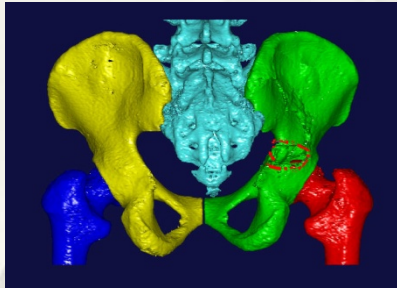
# 椎弓根钉植入术用导板



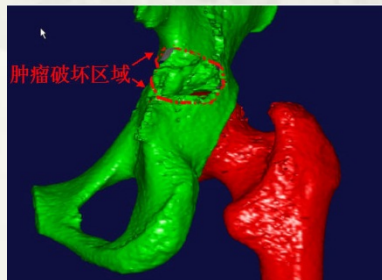
# 广州军区总医院骨盆局部重建病例



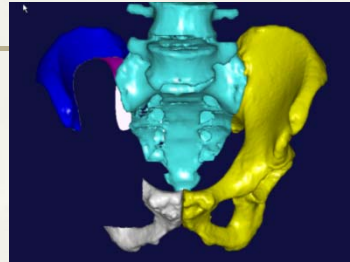
术前X线片



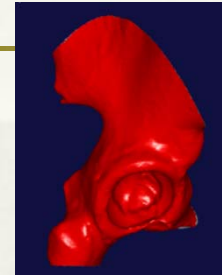
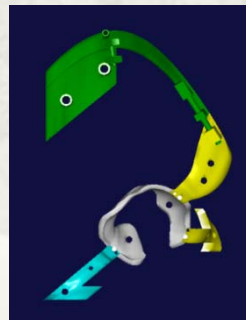
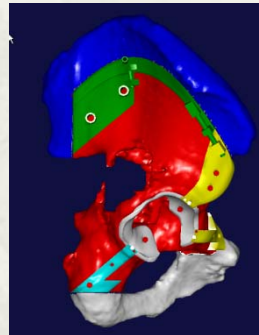
解剖模型



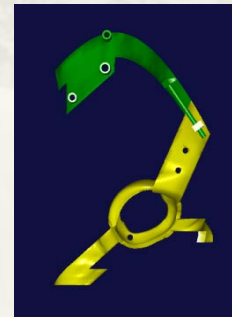
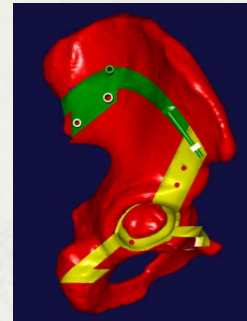
肿瘤骨性破坏范围



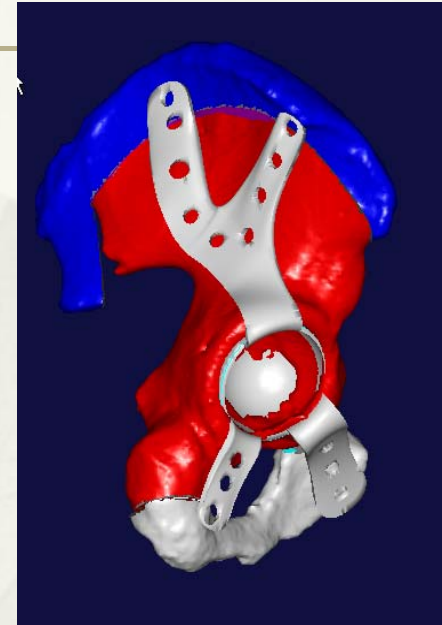
肿瘤切除范围



从异体骨截取镶骨



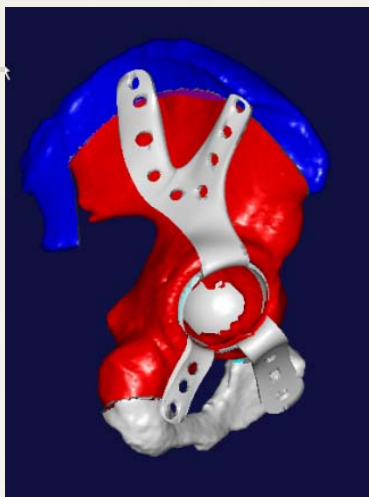
辅助切割模板



手术规划



## 广州军区总医院个性化骨盆重建手术



手术规划



骨盆假体实物



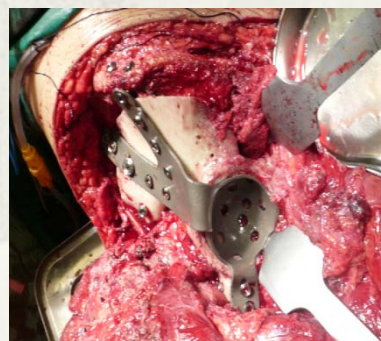
右髋部“Y”形切口



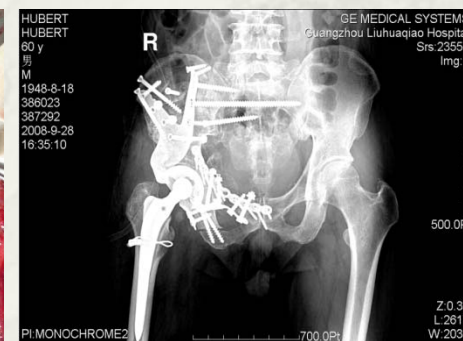
骨盆切除范围与  
规划完全一致



个性化骨盆假体  
与异体骨盆固定



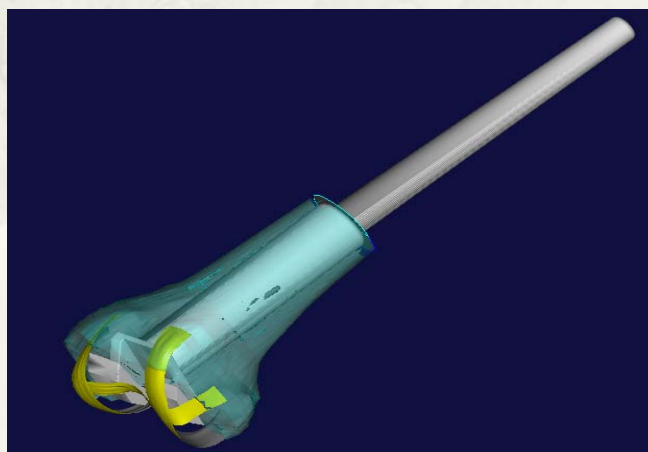
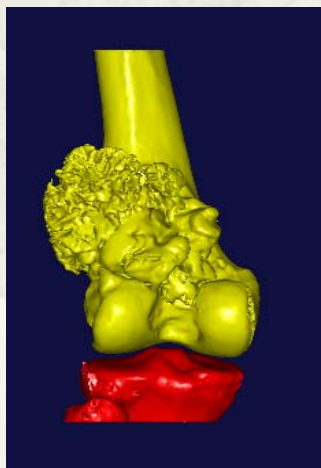
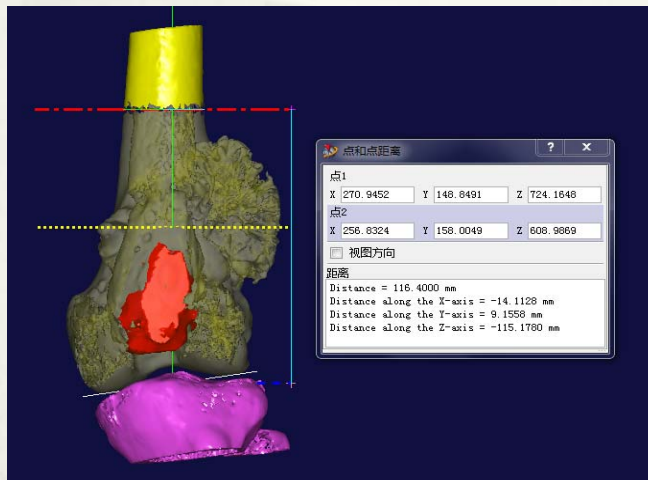
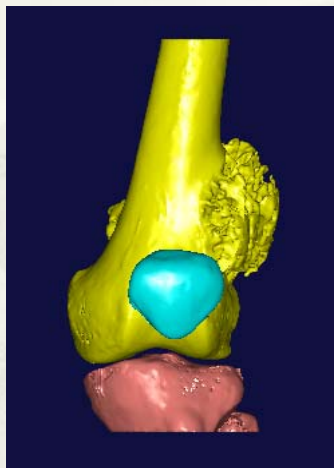
手术现场



术后X线片

# 案例：广州军区总医院股骨远端与膝关节重建病例（2010.9.1）

（手术设计与主刀—丁焕文教授）





安装辅助肿瘤切除模板



安装异体骨修剪模板



股骨下段、  
胫骨上段  
重建



修剪好的异体  
骨与假体组合



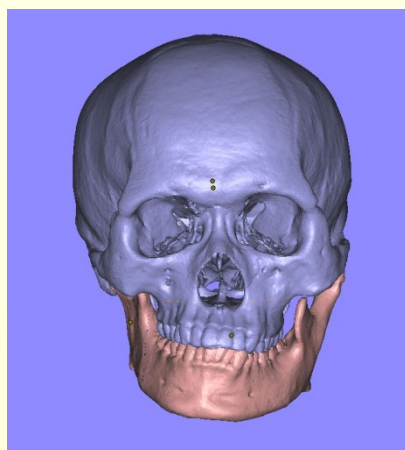
安装  
异体  
骨表  
面钻  
孔引  
导模  
板

异体  
骨孔  
内点  
状植  
入自  
体骨  
粒

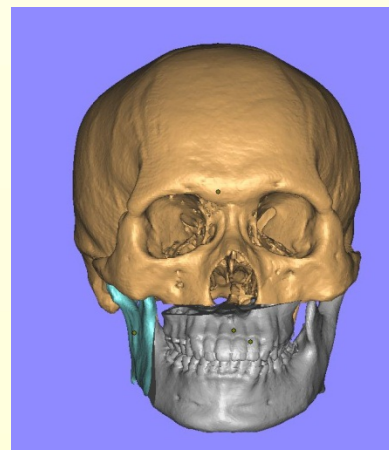
## 利用RP模板实现上、下颌精准整形外科手术



术前



术前重建



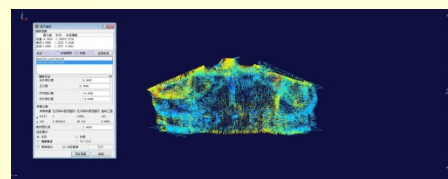
术前规划设计



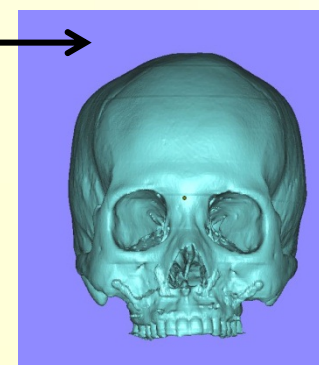
术后



上颌骨切割导板、中间和终末定位合板、  
下颌骨切割导板

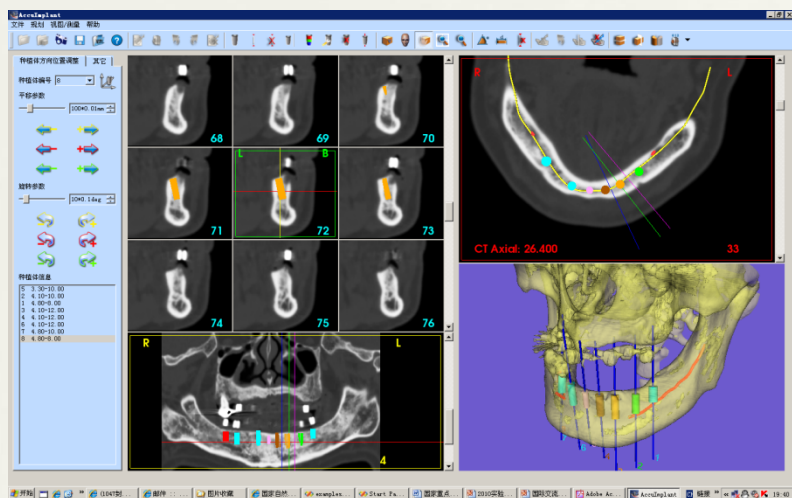


术前术后误差分析  
平均1.2mm

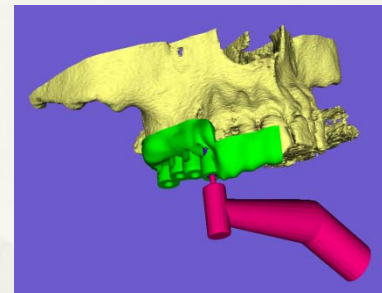
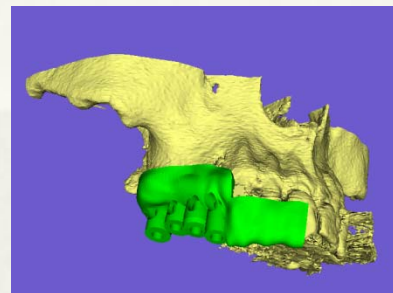


术后重建

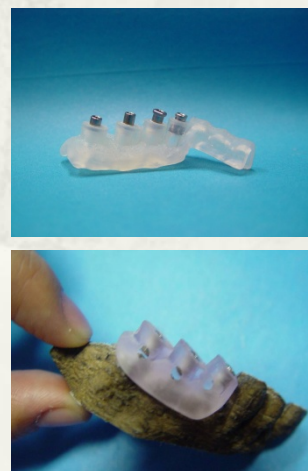
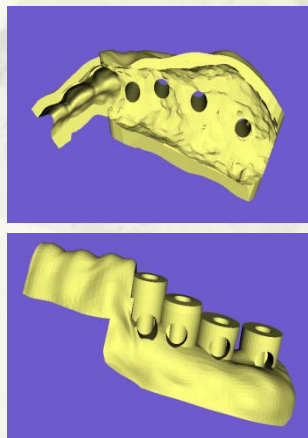
# 口腔种植模板CAD/CAM技术



规划软件



导向模板设计



导向模板三维模型

导向模板RP制造

导向模板

临床应用

# 隐形正畸牙套CAD/CAM技术



## \* 传统矫治器

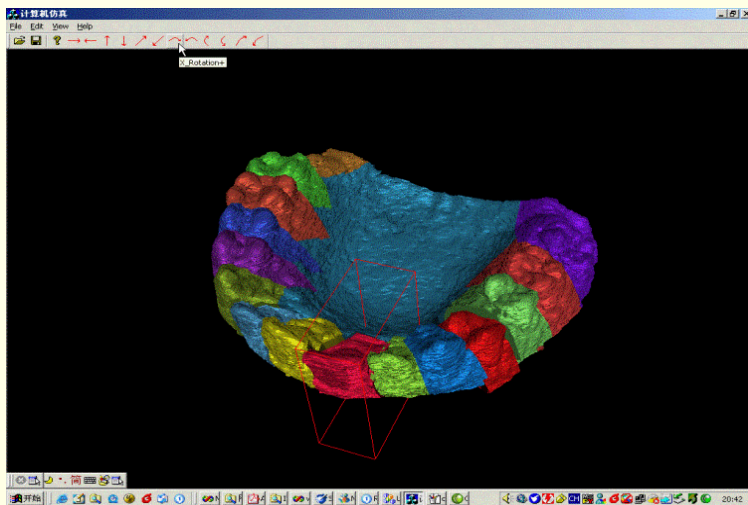
- \* 传统牙齿矫治一直采用固定式牙齿矫治器，方法是将一粒粒小豆豆黏在牙齿表面，再调校金属丝的宽紧来达矫治效果。



## \* 隐形牙套

- \* 矫形疗程通常以每两个星期为一个阶段，病人在每个阶段更换系列中不同的隐形牙箍，牙齿便会逐毫米移动，直到达至理想的位置。

# CAD/CAM 流程



牙列的图像处理与三维重建



制定正畸方案

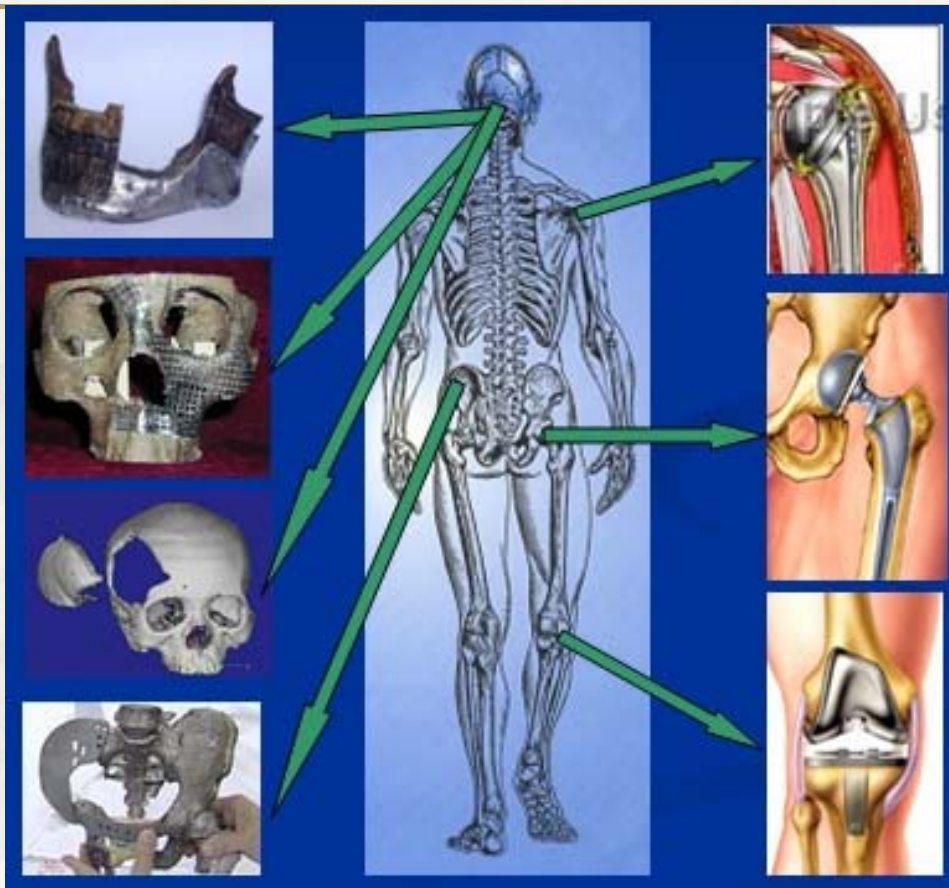
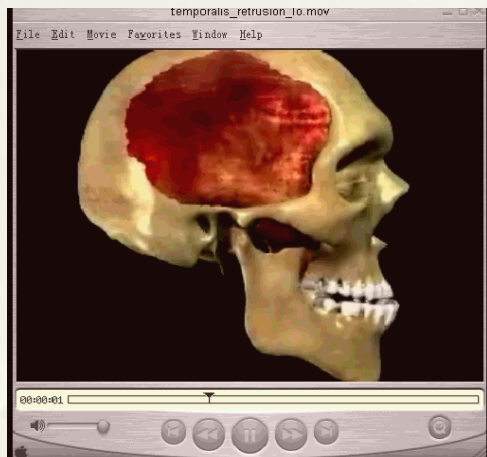


制作牙列RP模型



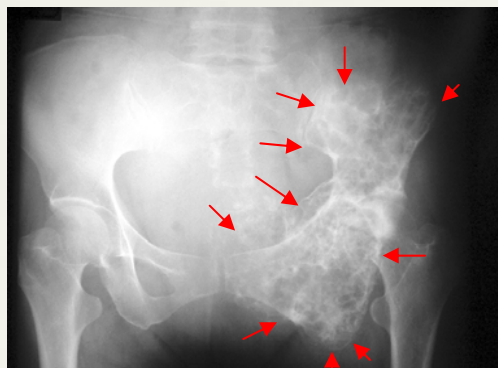
制作正畸牙套

### 3、三维打印与个体化植入物



很多骨科疾病须要通过因人定制的个体化植入物置换手术加以治疗，医疗个性化是21世纪医学发展的重要方向。

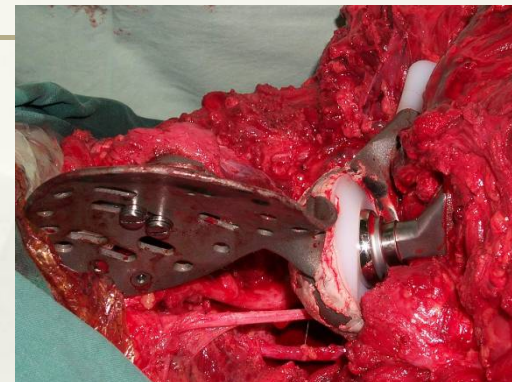
# 半骨盆置换——上海市第九人民医院手术



骨盆肿瘤



用3D打印模型试人工半骨盆假体



手术植入



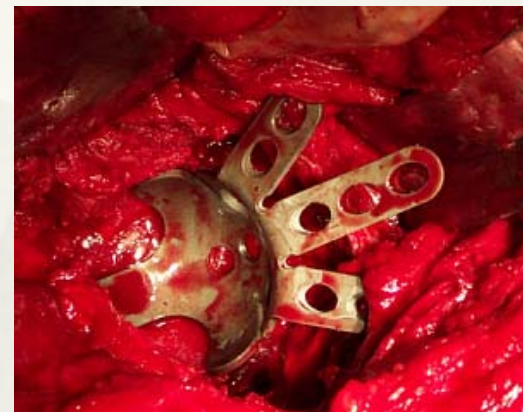
术后假体与患者骨骼完美结合



术后恢复正常活动功能

# 案例：上海瑞金医院进行的半骨盆的置换

(手术设计与主刀—杨庆铭教授)



术前X光片

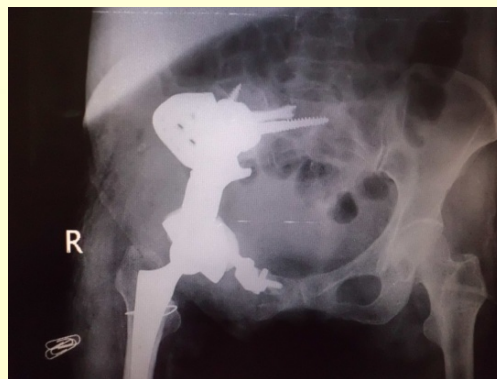
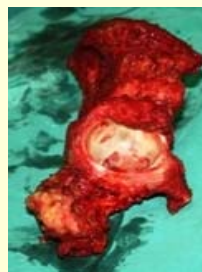
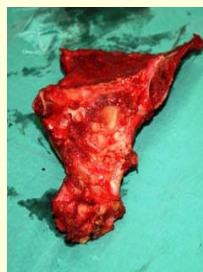


术后X光片



# 半骨盆置换

## ——上海市长海医院手术



# 颅颌面骨缺损修复手术

## 2003—2010 累计病例2500例

(交大——倍尔康)



术前

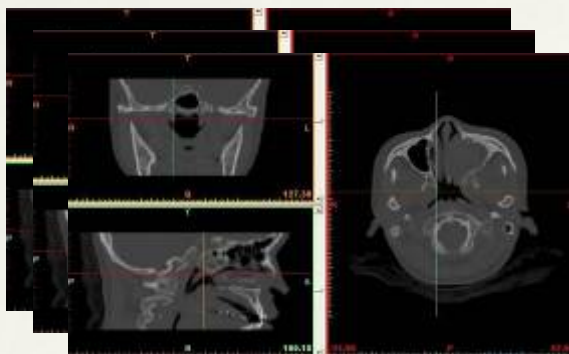


术后

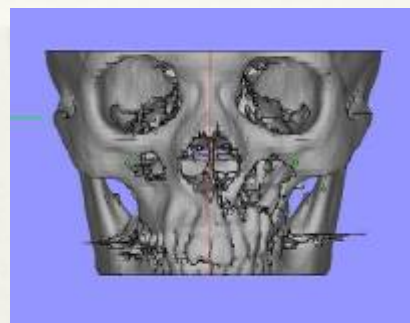


# 典型应用病例（上海市耳鼻喉科医院）

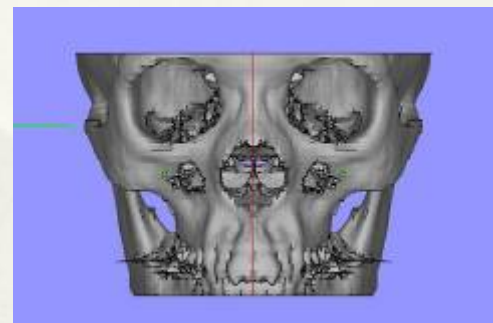
## 颌面修复



CT数据



术前患骨模型



修复方案数字模型



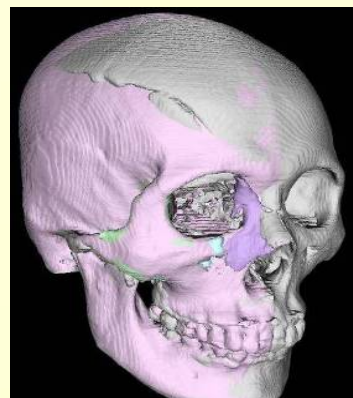
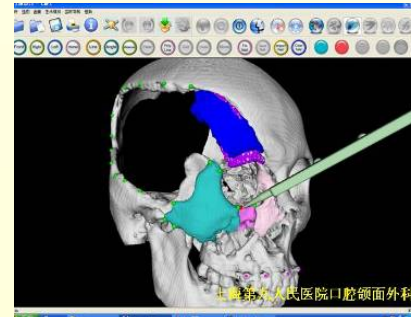
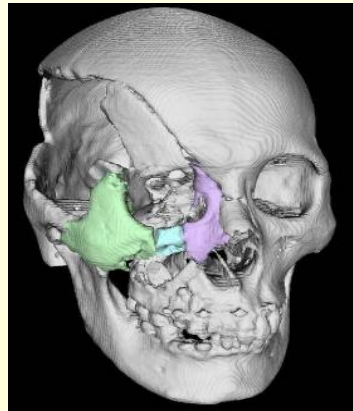
用于颌面修复的数字化人工骨



患者进行颌面修复后，保持面部原貌

# 复杂病例：骨折复位+颅骨大面积缺损修复

(上海市第九人民医院)

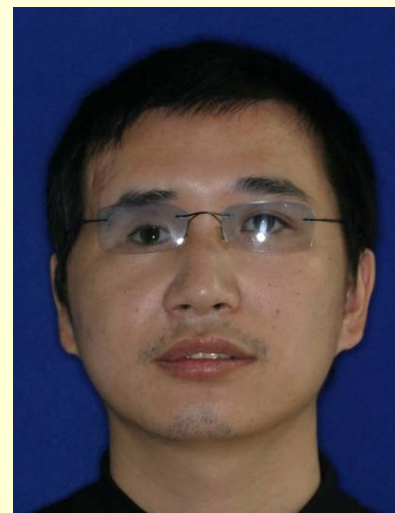


术前规划

第一次手术导航

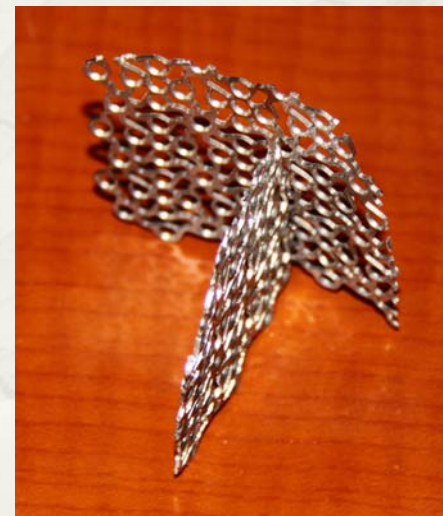
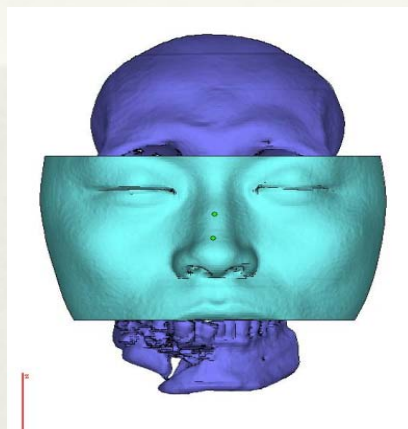
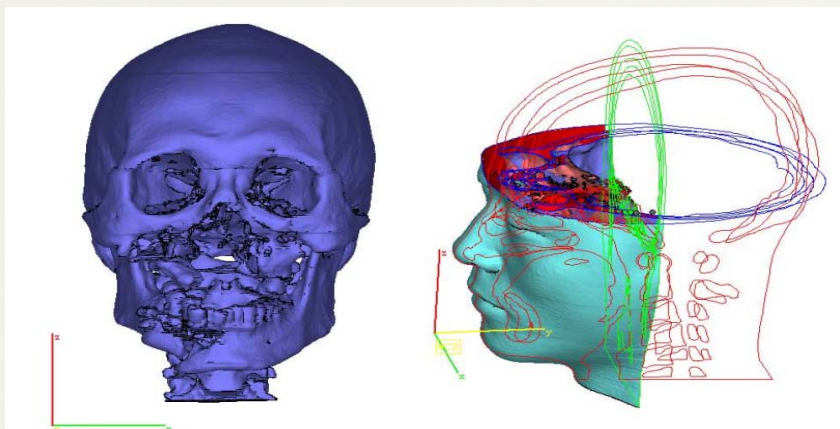


第二次手术



第二次术后

# 车祸至鼻缺损，3D打印重建鼻模型，激光焊接制作钛网鼻中隔



赝复耳—根据健康侧耳的测量数据，应用反求技术和快速成型技术设计制作缺损侧的仿生耳。（上海市第九人民医院）



---

临床应用近6000例  
2002. 1 —— 2013. 3

应用范围遍及全国30多个城市近40家医院

# 临床应用统计

---



|                   |        |
|-------------------|--------|
| 骨盆                | 300 例  |
| 髋关节               | 100 例  |
| 其它（规划与肩、肘、膝、踝关节等） | 250 例  |
| 骨科导板              | 50 例   |
| 整形外科              | 300 例  |
| 口腔颌面              | 600 例  |
| 五官科应用             | 300 例  |
| 颅骨修复中的应用          | 4000 例 |

# 内容

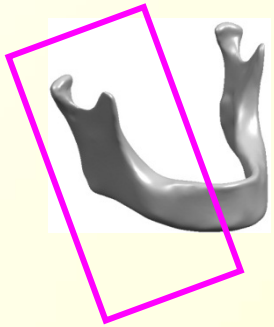
---

- 1、三维打印技术的产生与应用
- 2、非金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 3、金属三维打印技术
- 4、金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 5、金属三维打印技术与未来硬组织外科植入物
- 6、人体组织器官的三维打印

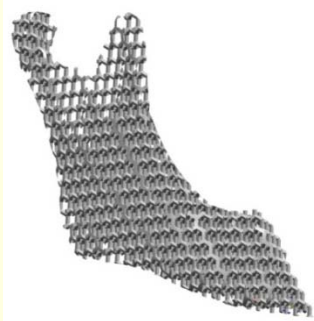
---

## 4、金属直接三维打印

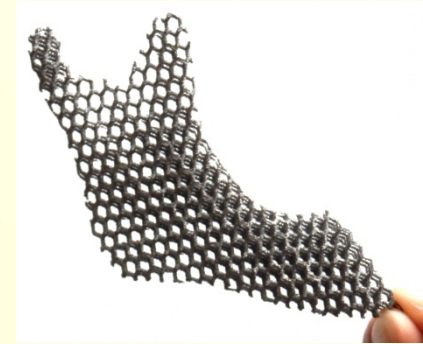
# 以电子束为能量源的选择性金属激光熔融 ( Electron Beam Melting, EBM )



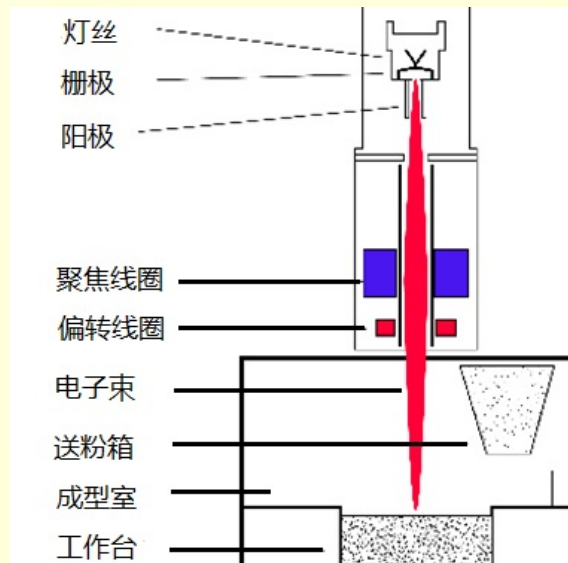
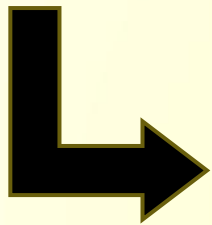
计算机模型



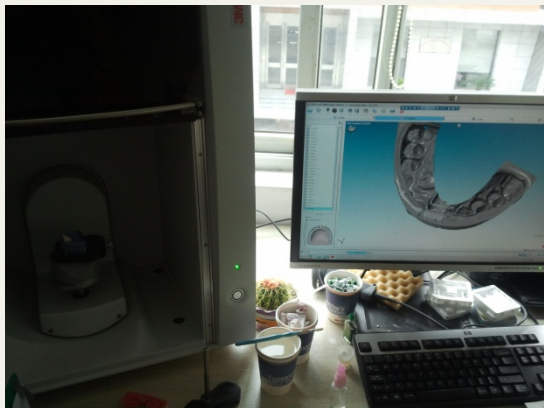
对铺粉选择性电子束粘结



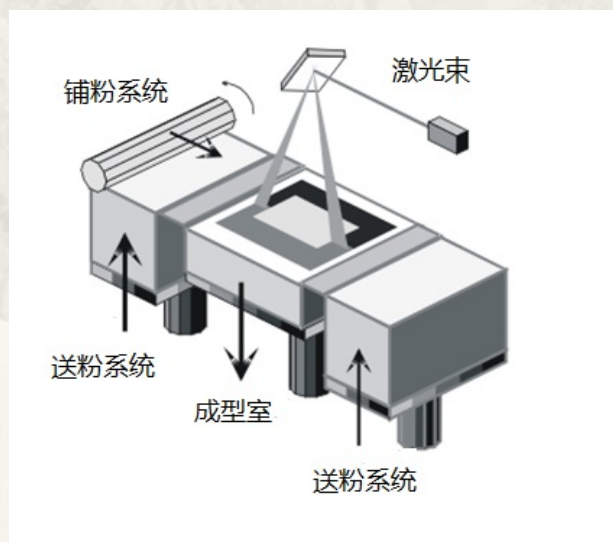
实物



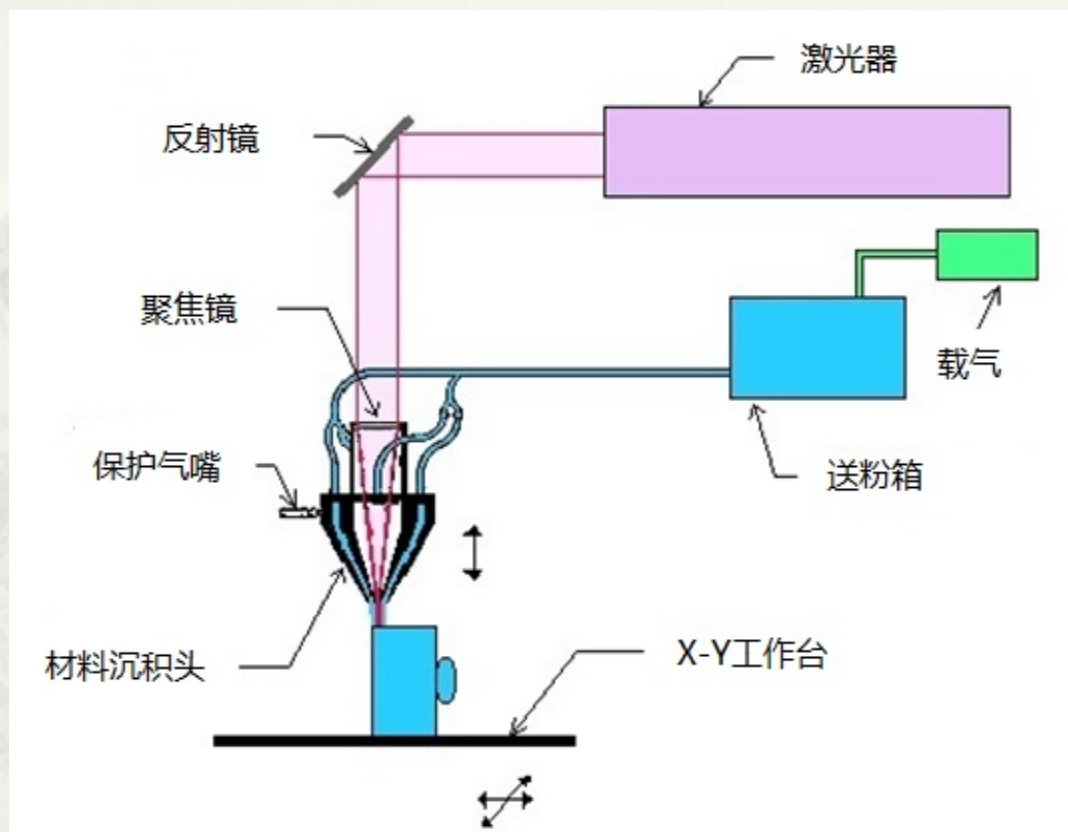
# 以激光为能量源的选择性金属激光熔融 ( Selective Laser Melting, SLM )



对铺粉选择性激光粘结



# 激光工程化近净成形技术， Laser Engineered Net Shaping —— LENS



美国Sandia国家实验室开发

能够实现钛合金、不锈钢和镍基合金等金属材料的三维打印

# 航空航天工业的核心技术



形状复杂，内部充满冷却通道的涡轮发动机叶片是航空航天领域核心制造技术

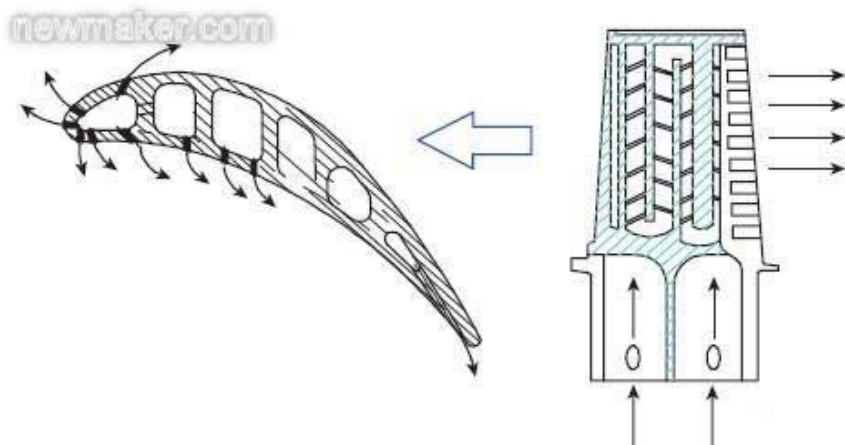


图2 气膜冷却的发动机涡轮叶片



# 直接制造形状复杂的金属机械零件

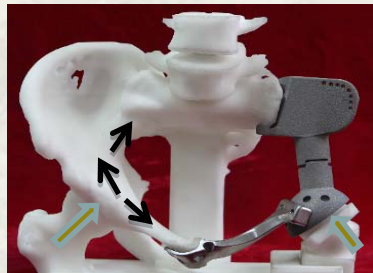


# 内容

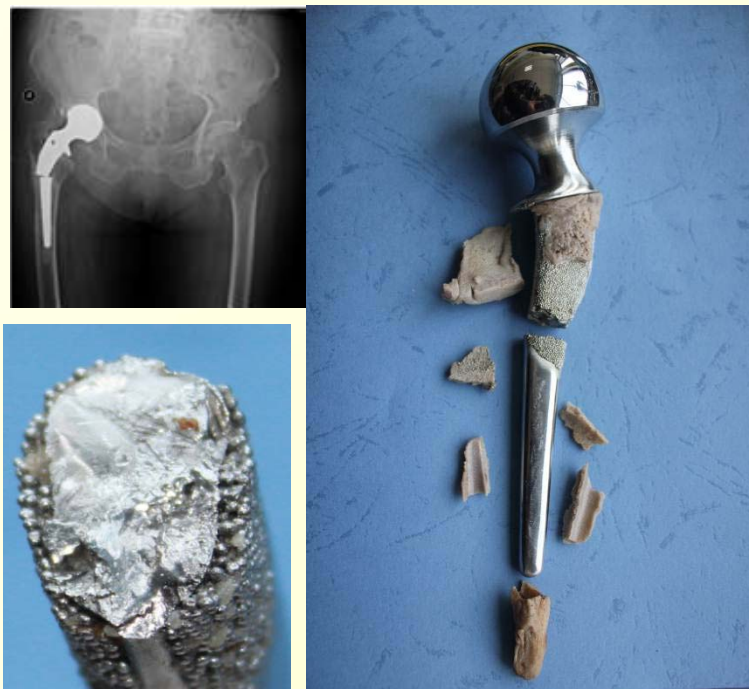
---

- 1、三维打印技术的产生与应用
- 2、非金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 3、金属三维打印技术
- 4、金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 5、金属三维打印技术与未来硬组织外科植入物
- 6、人体组织器官的三维打印

# 个体化骨科植入物制造技术的革命

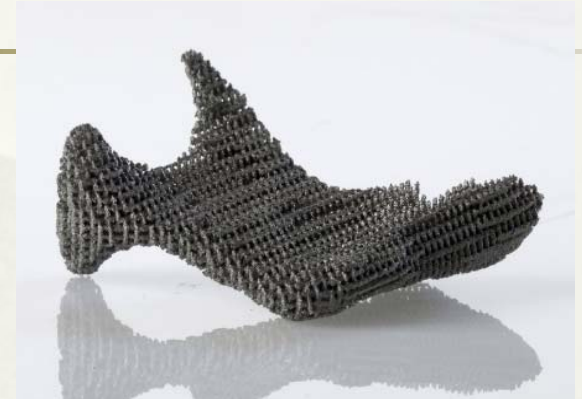
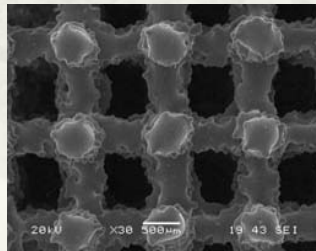
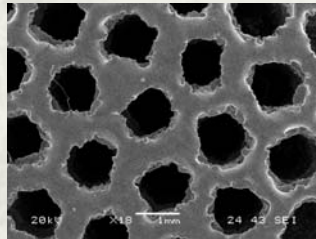


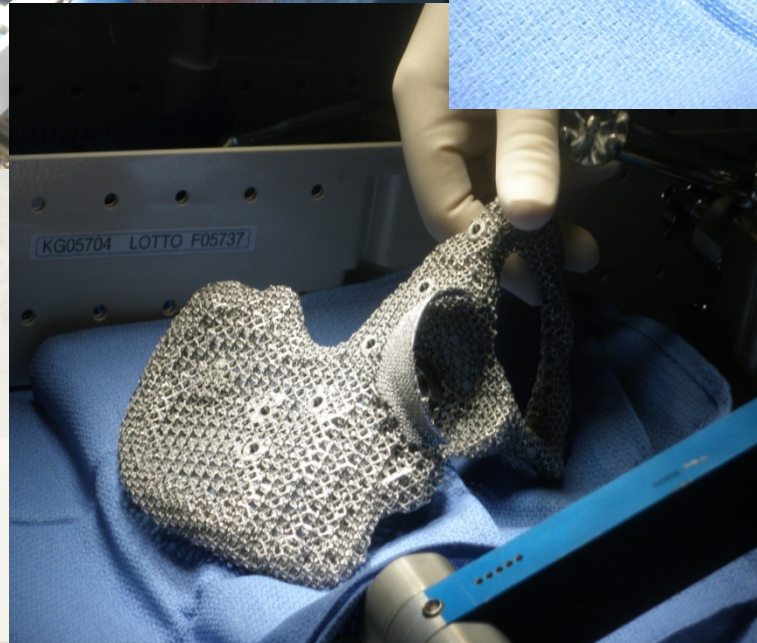
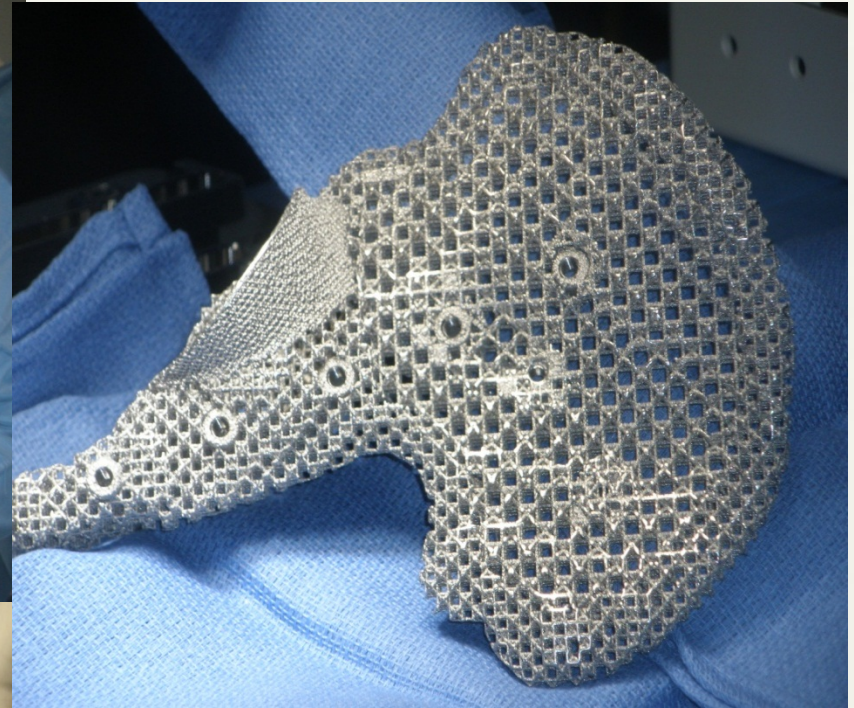
# 使多孔生物学固定表面制造瓶颈迎刃而解

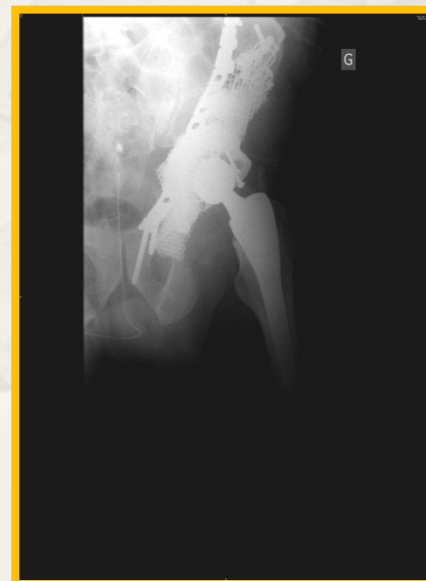
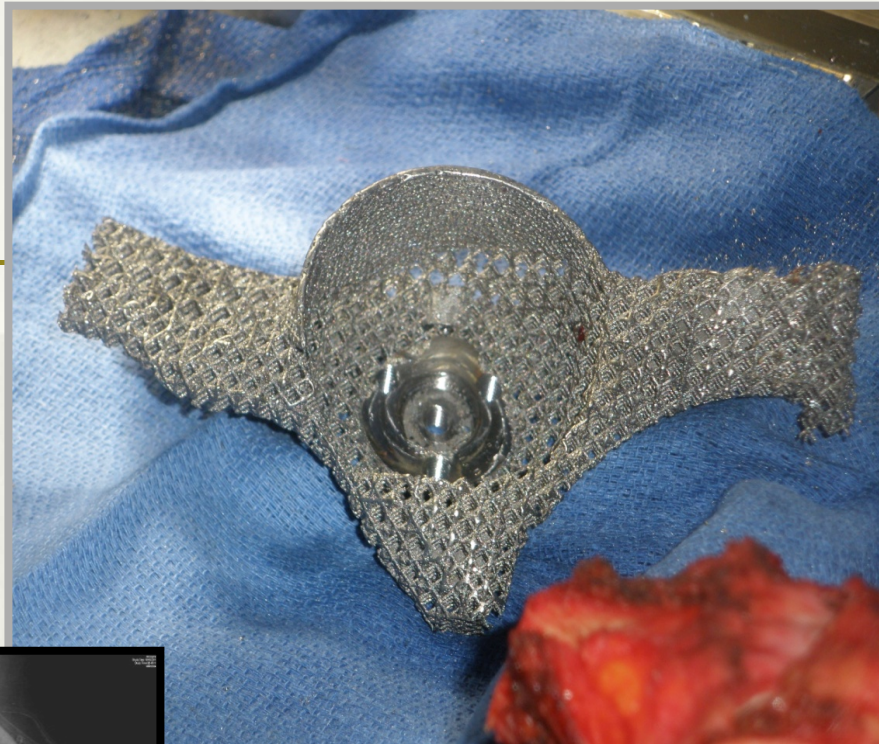
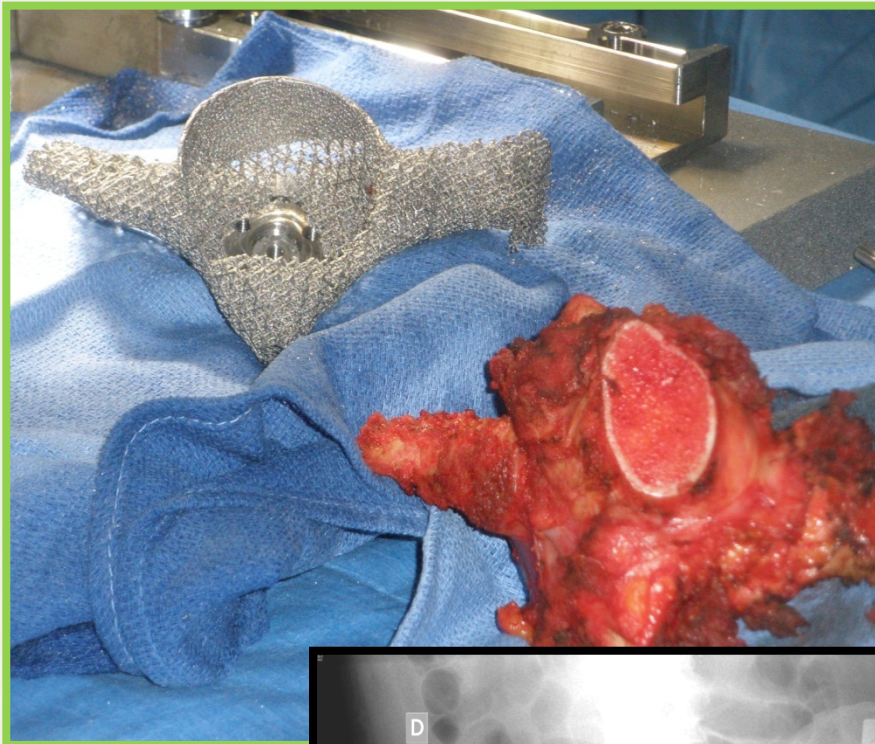


人工关节的多孔表面

# 多孔钛人工骨







# 金属牙冠

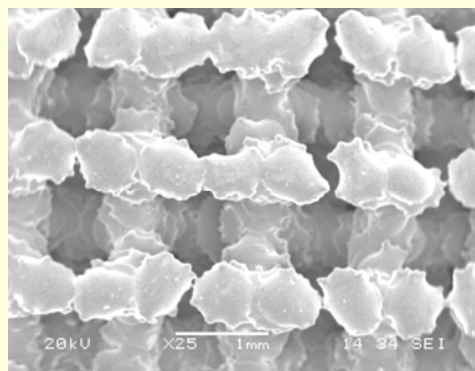
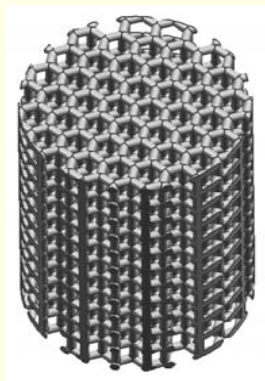


# 内容

---

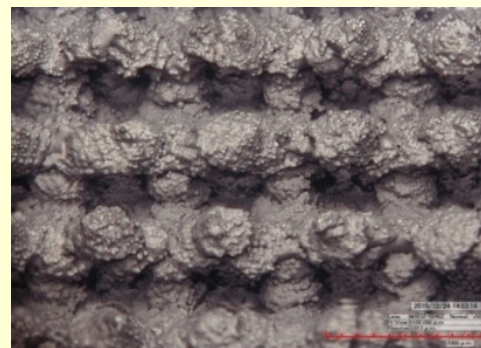
- 1、三维打印技术的产生与应用
- 2、非金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 3、金属三维打印技术
- 4、金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 5、金属三维打印技术与未来硬组织外科植入物
- 6、人体组织器官的三维打印

# 生物涂层技术的研究



×25

第二代：类骨磷灰石

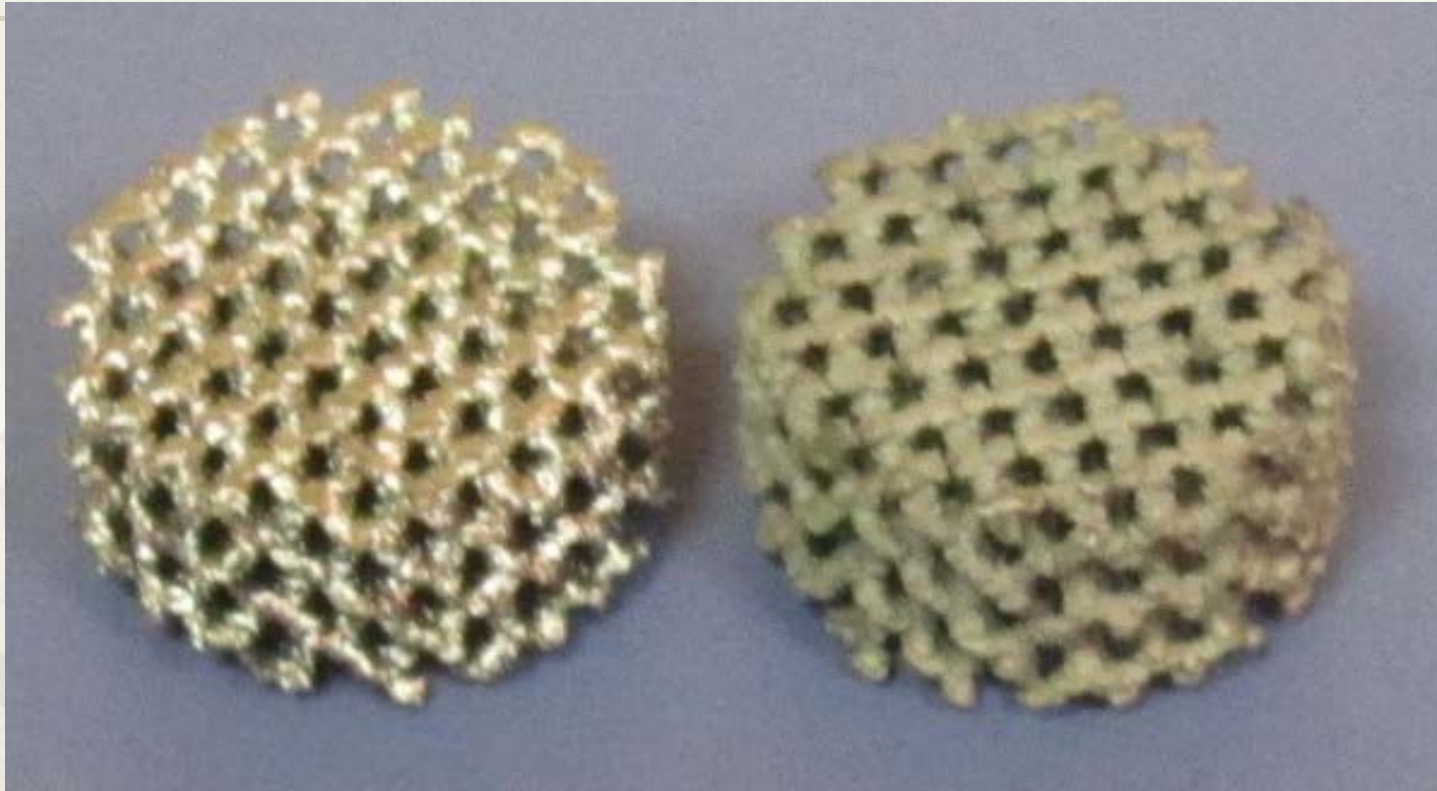


×50

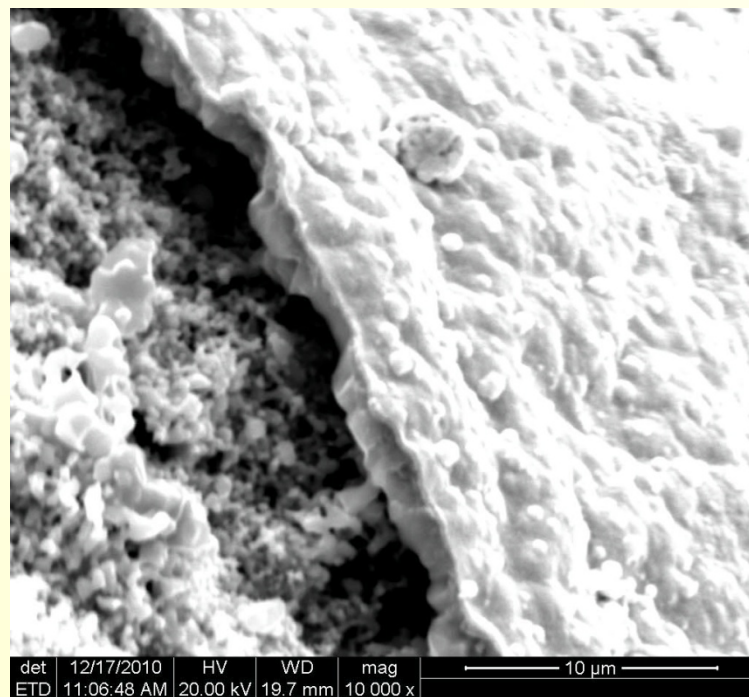
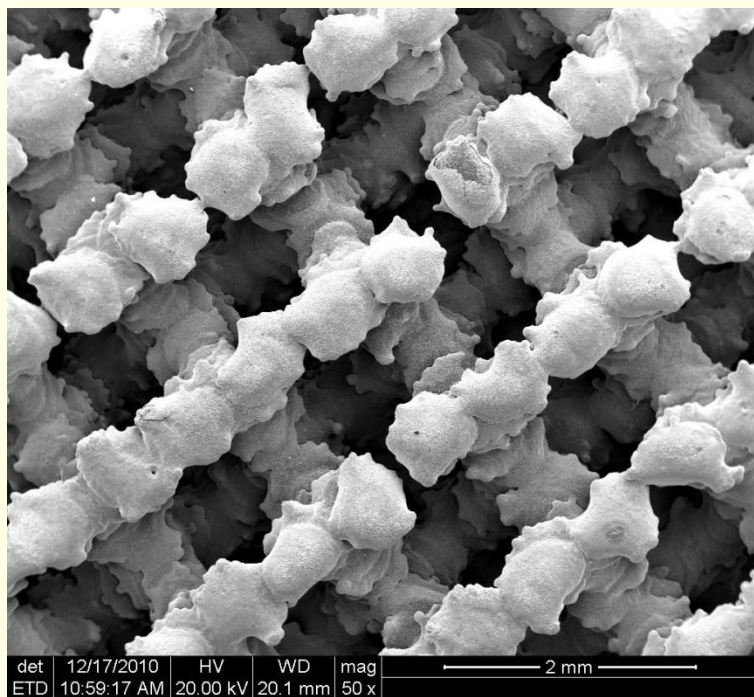
第三代：钽涂层

（与中科院沈阳金属研究所合作）

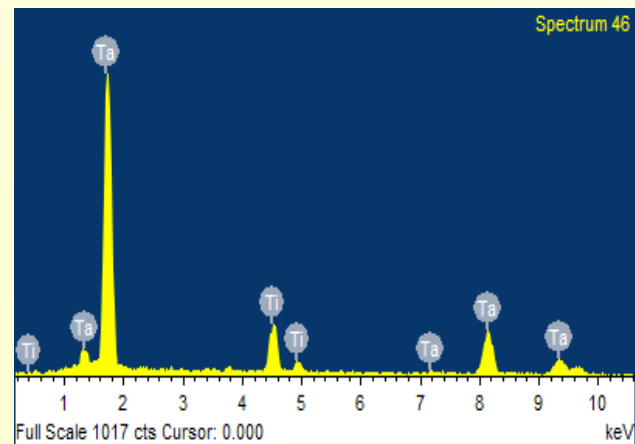
# 钽涂层表征



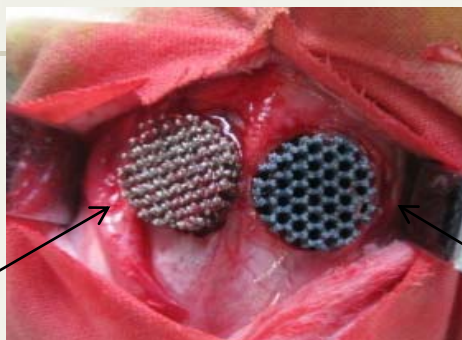
钽涂层前后多孔钛合金支架



钽涂层多孔支架SEM照片，涂层厚度约3 $\mu\text{m}$

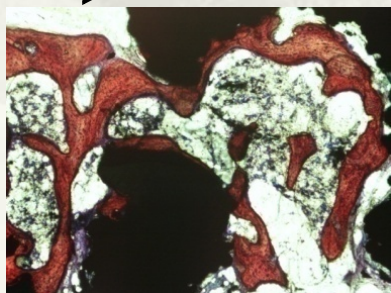


# 未来的具有早期承载能力的个体化人工骨

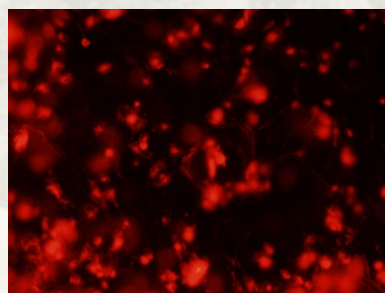


正交结构

蜂窝结构

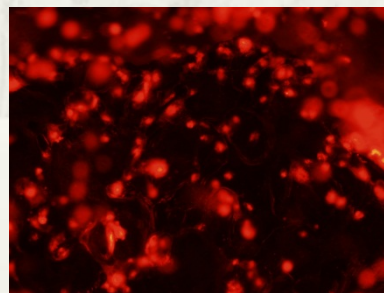
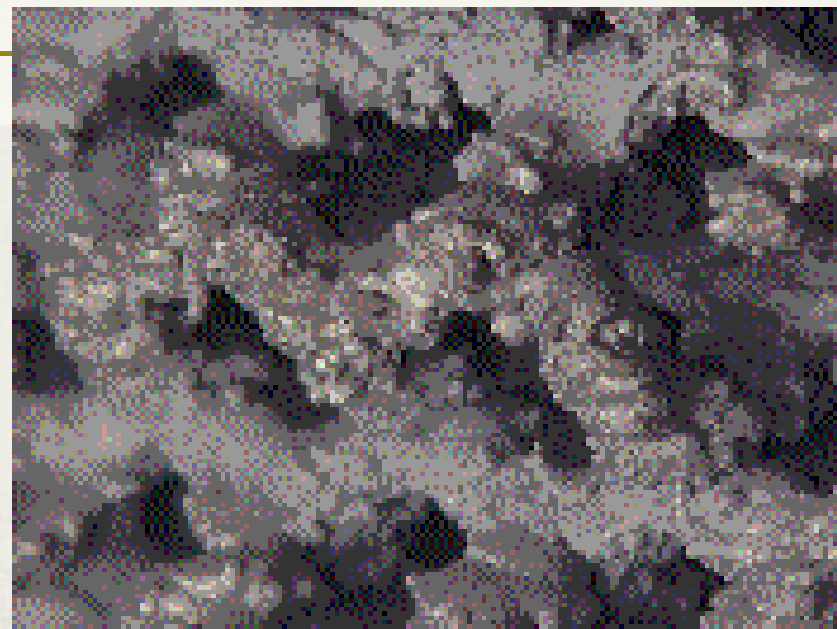


新骨与仿生涂层  
多孔钛形成直接连接

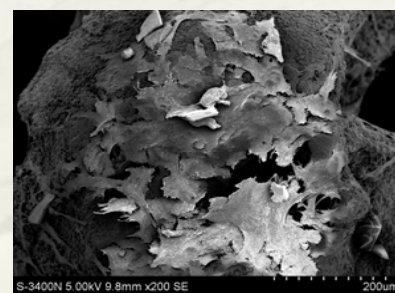


MSCs粘附于多  
孔钛合金支架

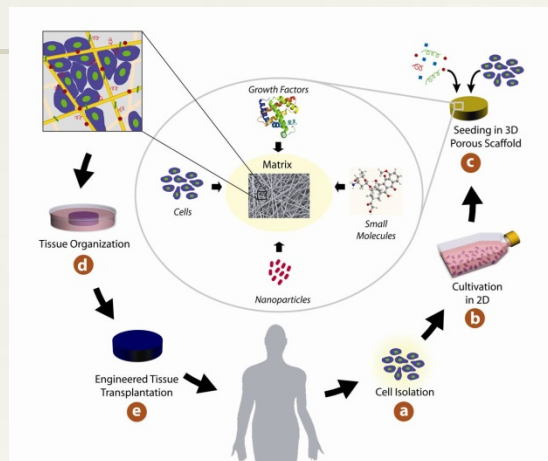
## 体外细胞培养



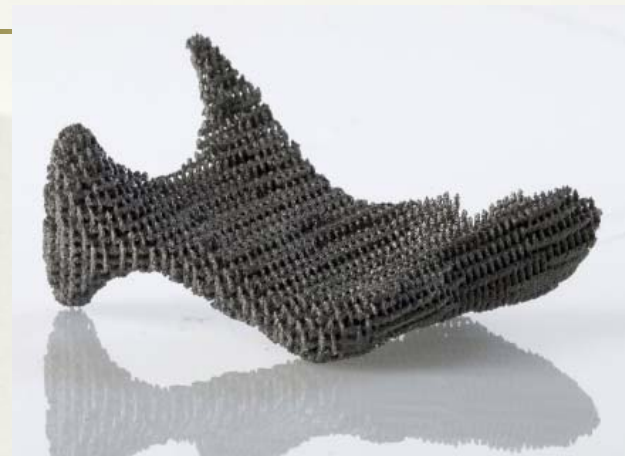
MSCs粘附于钽涂层多孔支架



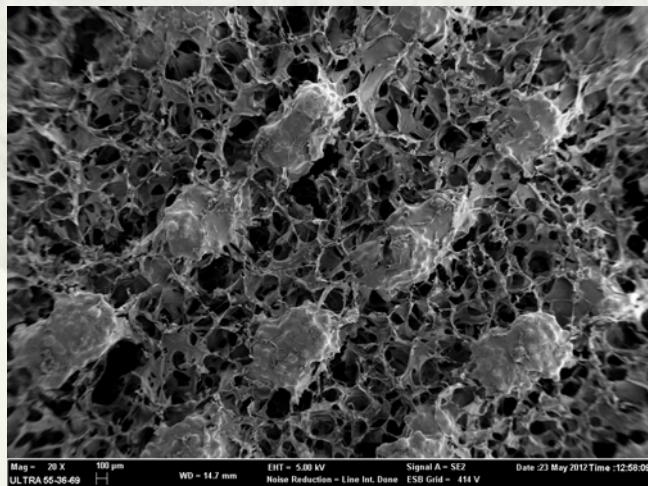
# 科学与发展方向——与组织工程相结合



组织工程



多孔钛合金承载体



多孔钛合金



聚合物/HA复合支架



干细胞/BMP

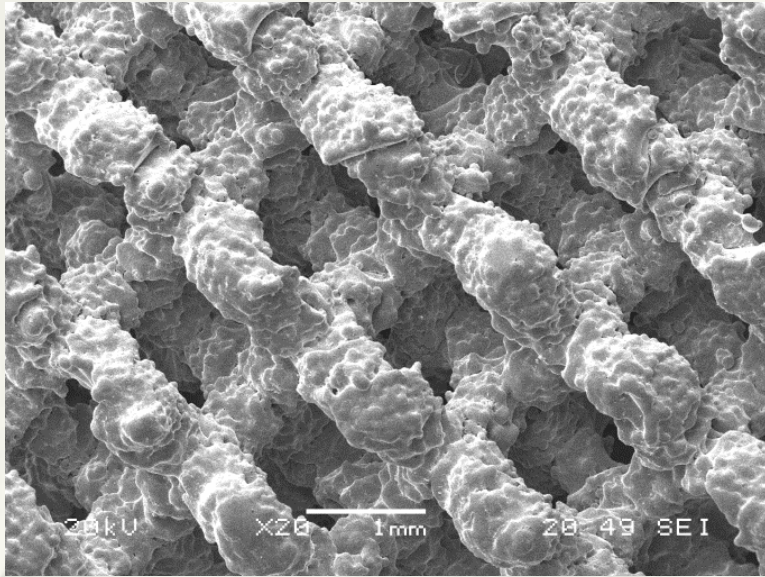
# 假体与肌肉等软组织的联结问题



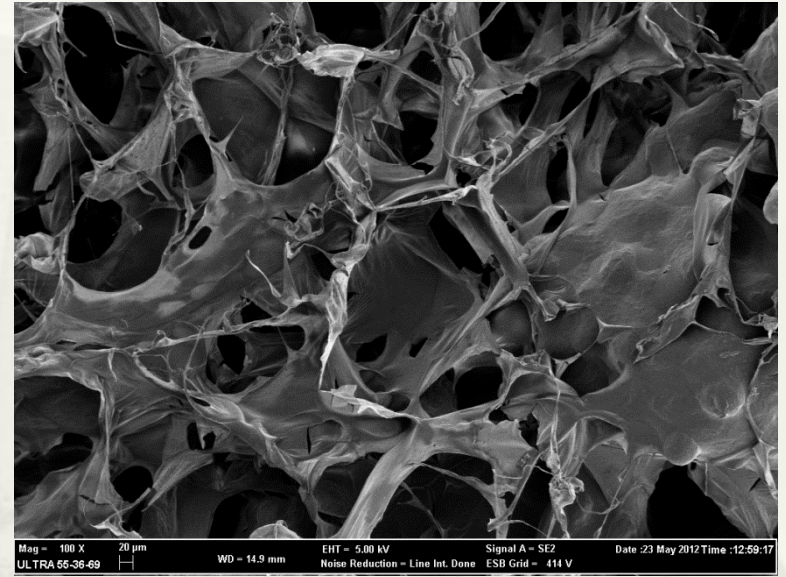
软组织摩擦  
减薄部位



# 复合多孔支架

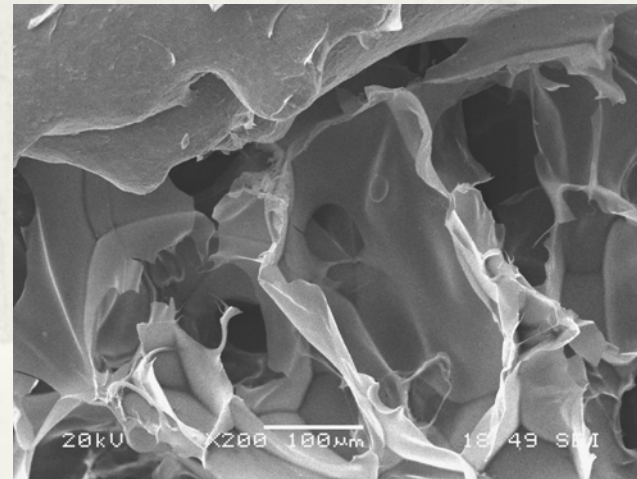
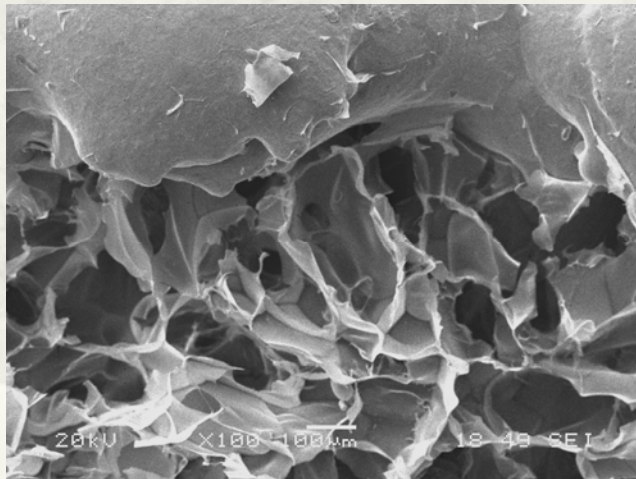
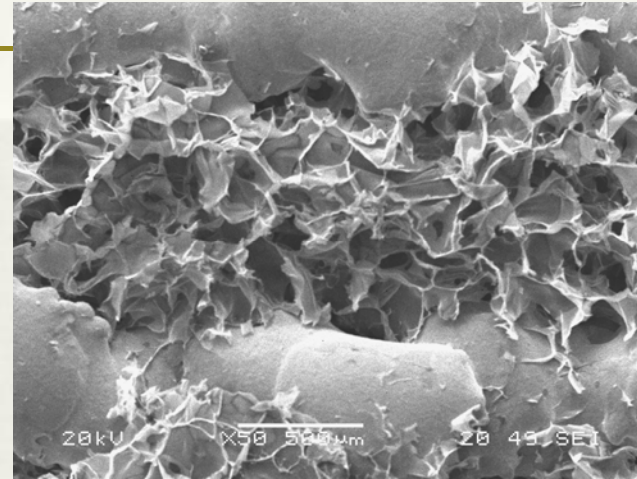
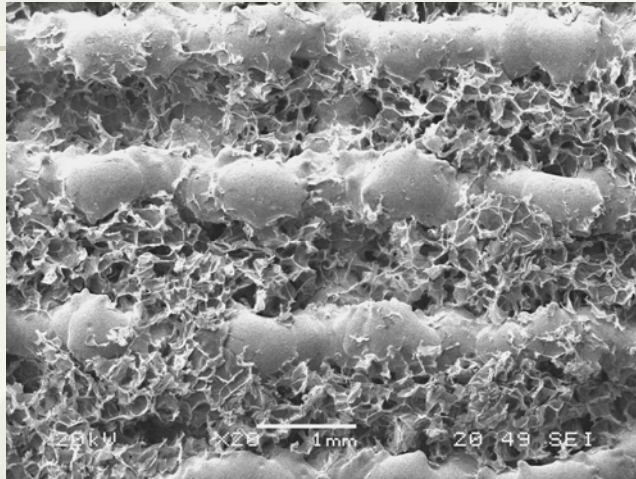


多孔钛合金支架



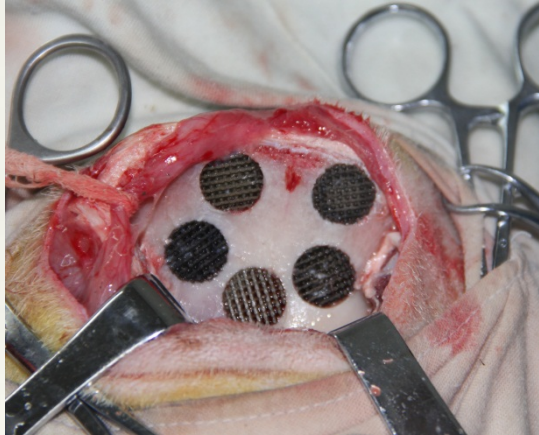
聚合物海绵

# 微观孔隙结构

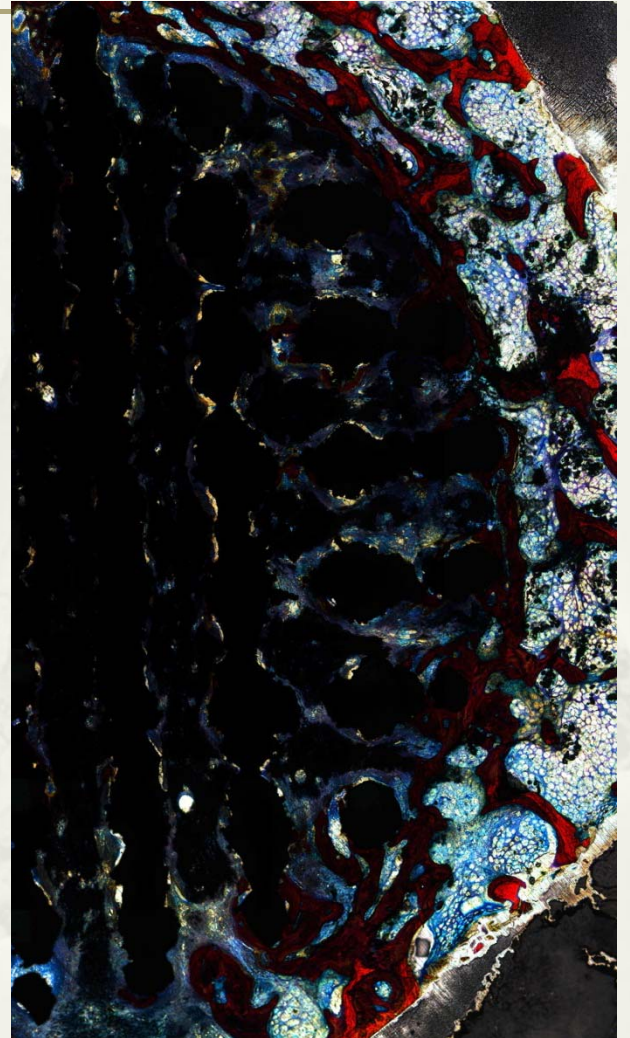
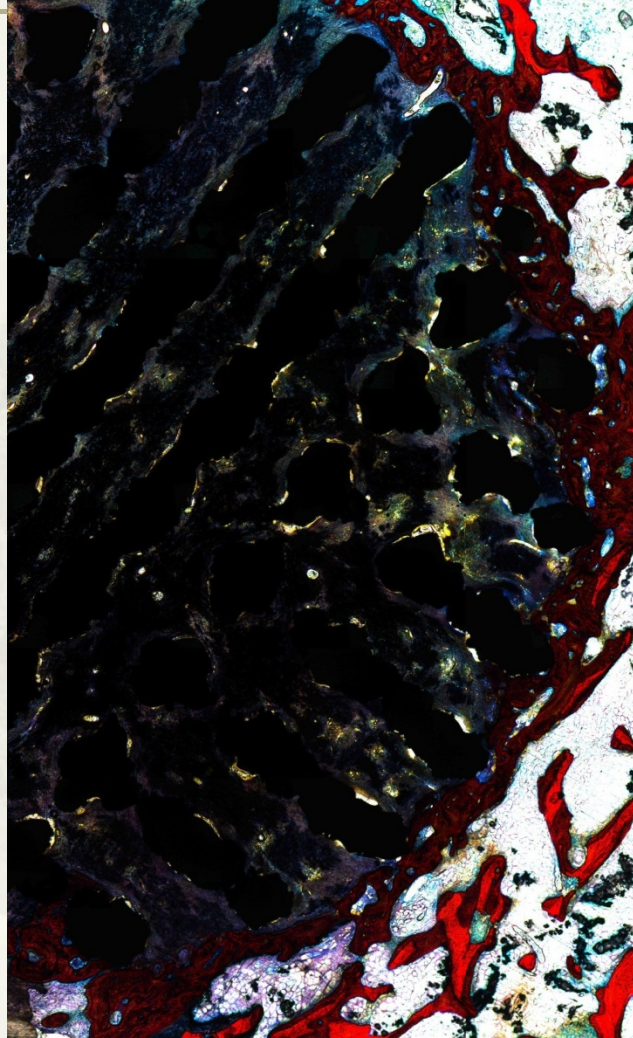


多孔钛合金/海藻酸盐复合支架

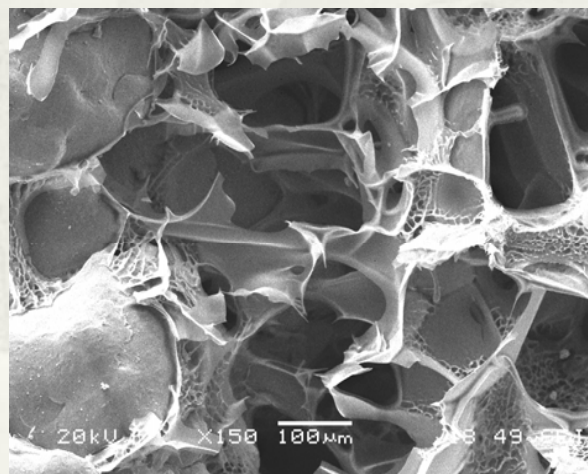
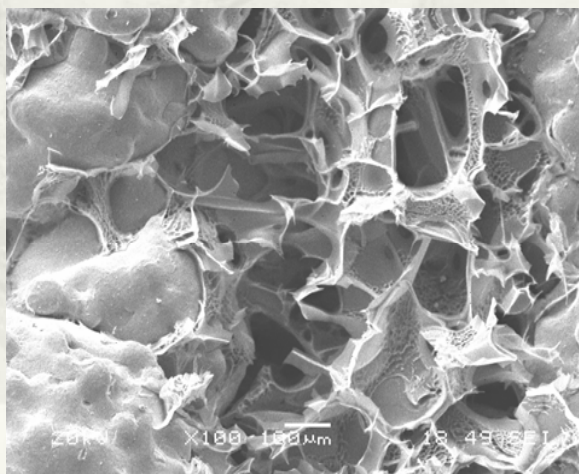
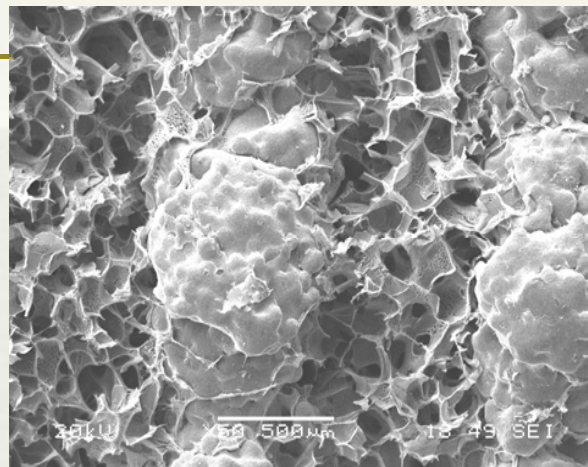
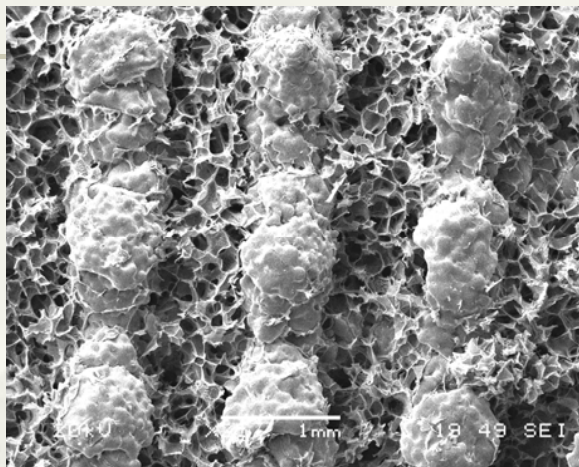
# 动物实验



羊髌骨缺损模型



# 微观孔隙结构



多孔钛合金/壳聚糖复合支架

# 内容

---

- 1、三维打印技术的产生与应用
- 2、非金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 3、金属三维打印技术
- 4、金属三维打印技术在硬组织外科中的应用
- 5、金属三维打印技术与未来硬组织外科植入物
- 6、人体组织器官的三维打印

---

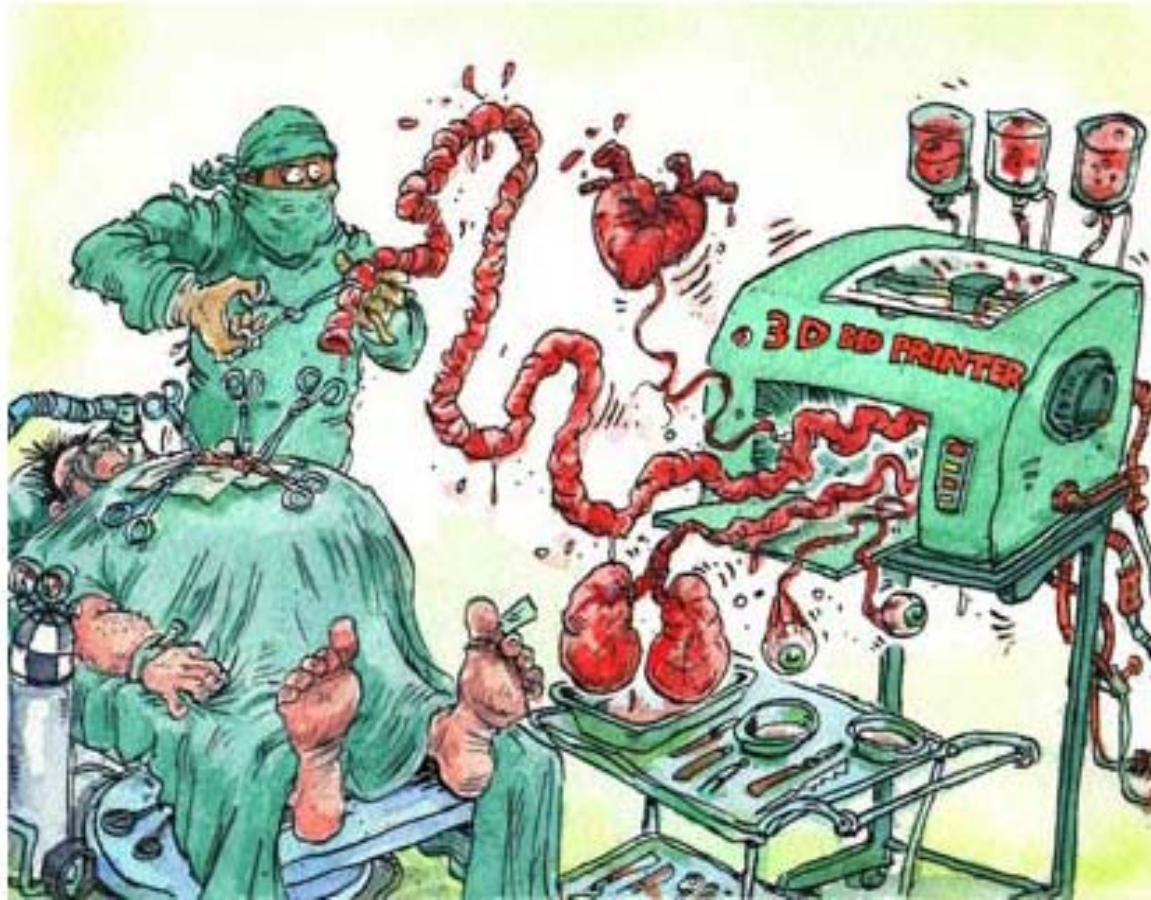


## 5、人体组织三维打印

# 根据患者需求制造人体组织和器官

Economist.com

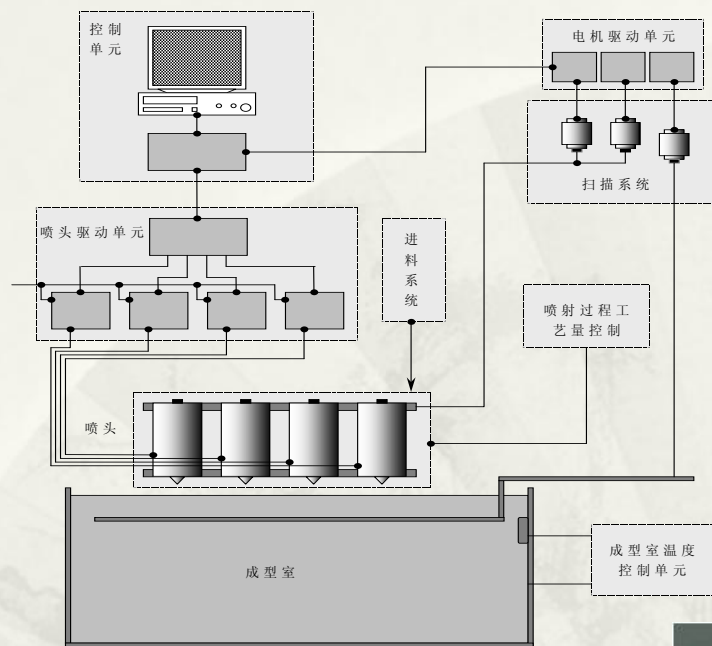
SCIENCE & TECHNOLOGY ration by David Simonds



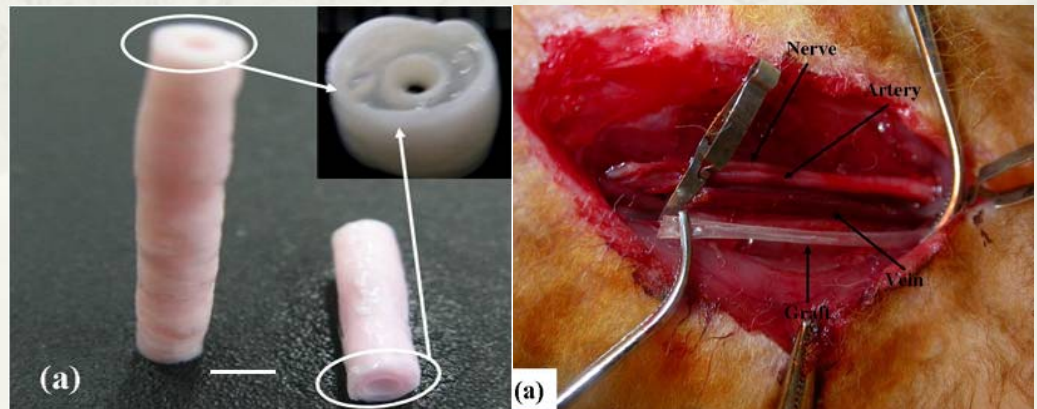
A machine that prints organs is coming to market

Feb 18th 2010, The Economist print edition

# 清华大学四喷头人体组织3D打印成形系统



国内外广泛开展人造肝、  
肾、血管、皮肤的研究

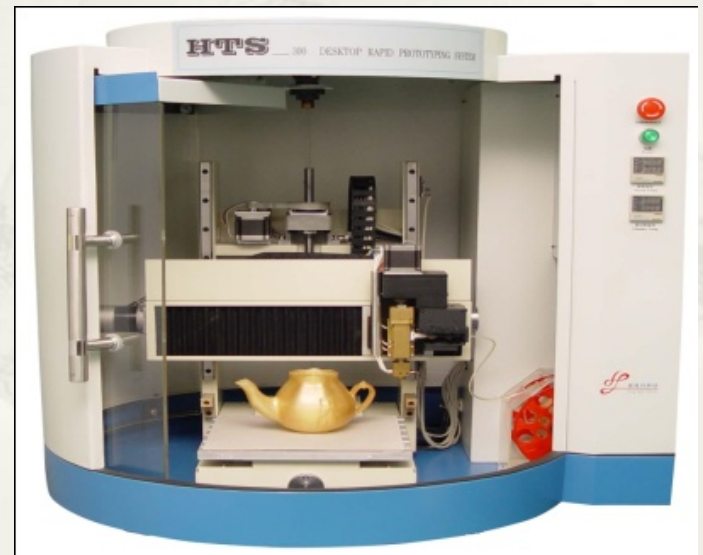
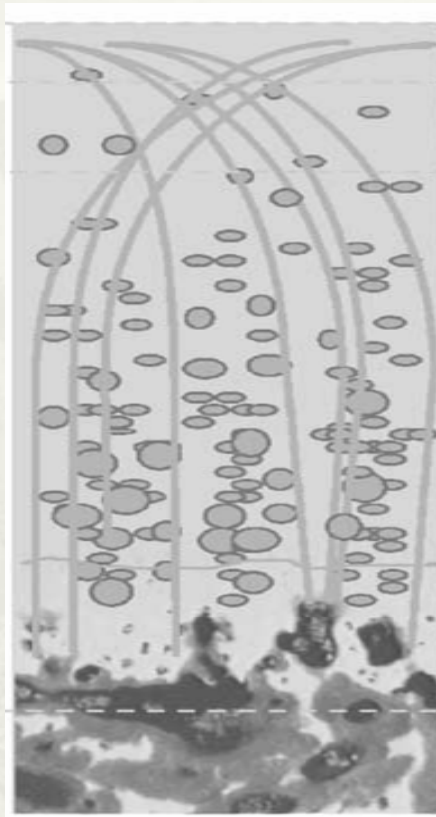
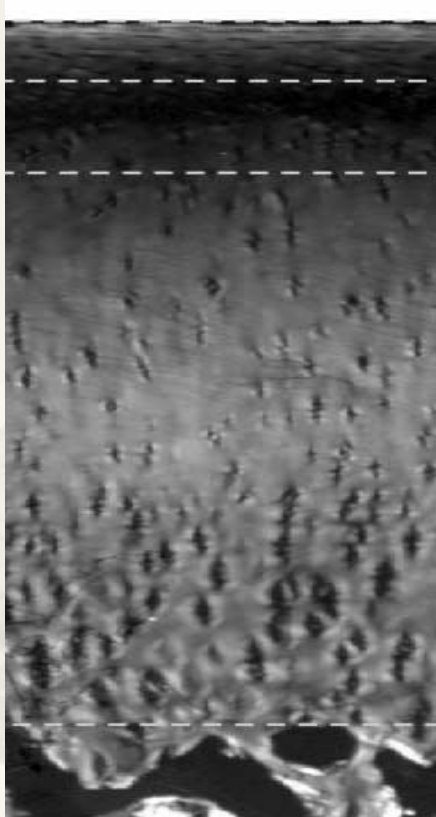


# 美国加州 Organovo 公司的科学家使用生物打印机 在实验室逐层打印出“微型肝脏”

---



# 用软骨细胞打印软骨



三维打印技术对未来医学的发展具有不可估量的作用，是推动21世纪医疗个性化的重要技术支撑。用三维打印技术制作人体组织的研究已经取得了可喜的进展，会逐步取得成功。

---

谢  
谢！

