

# 整形外科手術支援システム

Computer Assisted Orthopaedic Surgery

医学系研究科運動器医工学治療学

菅野伸彦

平成23年12月5日

臨床医工学融合研究教育センター  
「画像医学」

# 整形外科手術支援システム

Computer Assisted Orthopaedic Surgery

1. 整形外科とは
2. 画像の重要性
3. CAOSとは

# 整形外科とはどんな科？

## 整形外科が診療を行う範囲

整形外科とは、人体の運動器官の病気や外傷(ケガ)を取り扱う医学の一部門です。背骨・手・足など、全身の運動器官を造りあげている、骨・関節・筋肉・靭帯・腱・脊髄・神経の病気、外傷(ケガ)による損傷、手足などの先天性疾患(生まれつきの奇形など)を治療し研究する学問です。

## 診療の目標

単に病気やケガを治すだけでなく、運動機能を元に回復させることを目的とします。不幸にして、運動機能の回復が十分に得られなかったとしても、残った機能を最大限に活用して、元の状態に出来るだけ近く機能を回復させることも、整形外科の大きな役割です。勿論、リハビリテーション医療との協力が必要なこともあります。運動機能の障害だけでなく、痛みを主とする疾患(俗に神経痛・リウマチなどと言われる病気)の治療を行なうのも、整形外科の主要な仕事です。

## QOLの向上、健康寿命をのばすこと

## 整形外科には様々な治療法（保存的治療と手術的治療）

整形外科の治療は手術だけでなく、手術をしない保存的な治療も多く行なわれます。整形外科の手術には、さまざまな種類があります。

例えば、脊髄・脊椎に対する手術・神経の手術・腱の手術・骨の手術（骨接合術など）・関節の手術（人工関節置換術など）等々があり、時には切断された指や手足などの再接合術も行なわれることがあります。

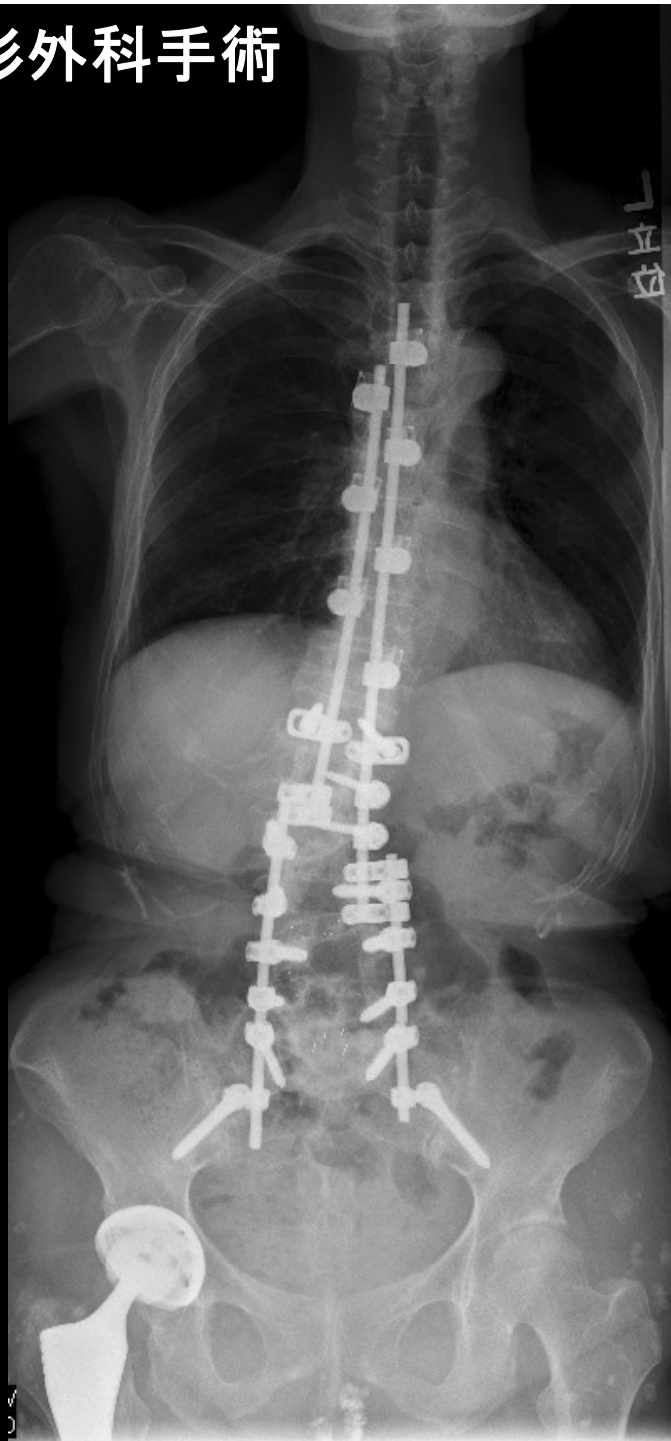
## 整形外科という名前（混同が多い）

テレビや映画等で、“接骨医”などと表現されていることがありますが、これは誤りです。骨折治療は整形外科の中の一分野であり、整形外科医というのが正しい表現です。

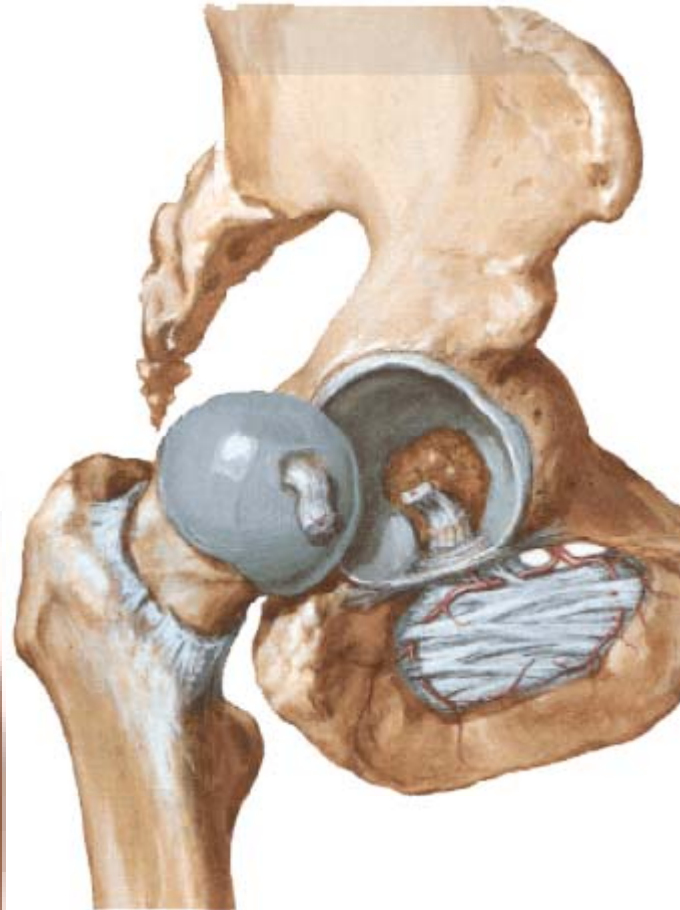
整形外科という診療科は、整骨院（接骨院）とは全く異なります。整骨院は柔道整復師という人達が行なっている施術所のことです。整形外科は当然のことながら医師が行なう診療科です。

整形外科はよく形成外科や美容外科と混同されます。形成外科は体の醜形（生まれつきのもやヤケド・ケガなど）を治すのを主たる目的とする医学の一分野です。美容外科は、主として形成外科医が行なう顔面醜形を改善する診療科です。

# 整形外科手術



# 股関節の構造



**76y.o. female**

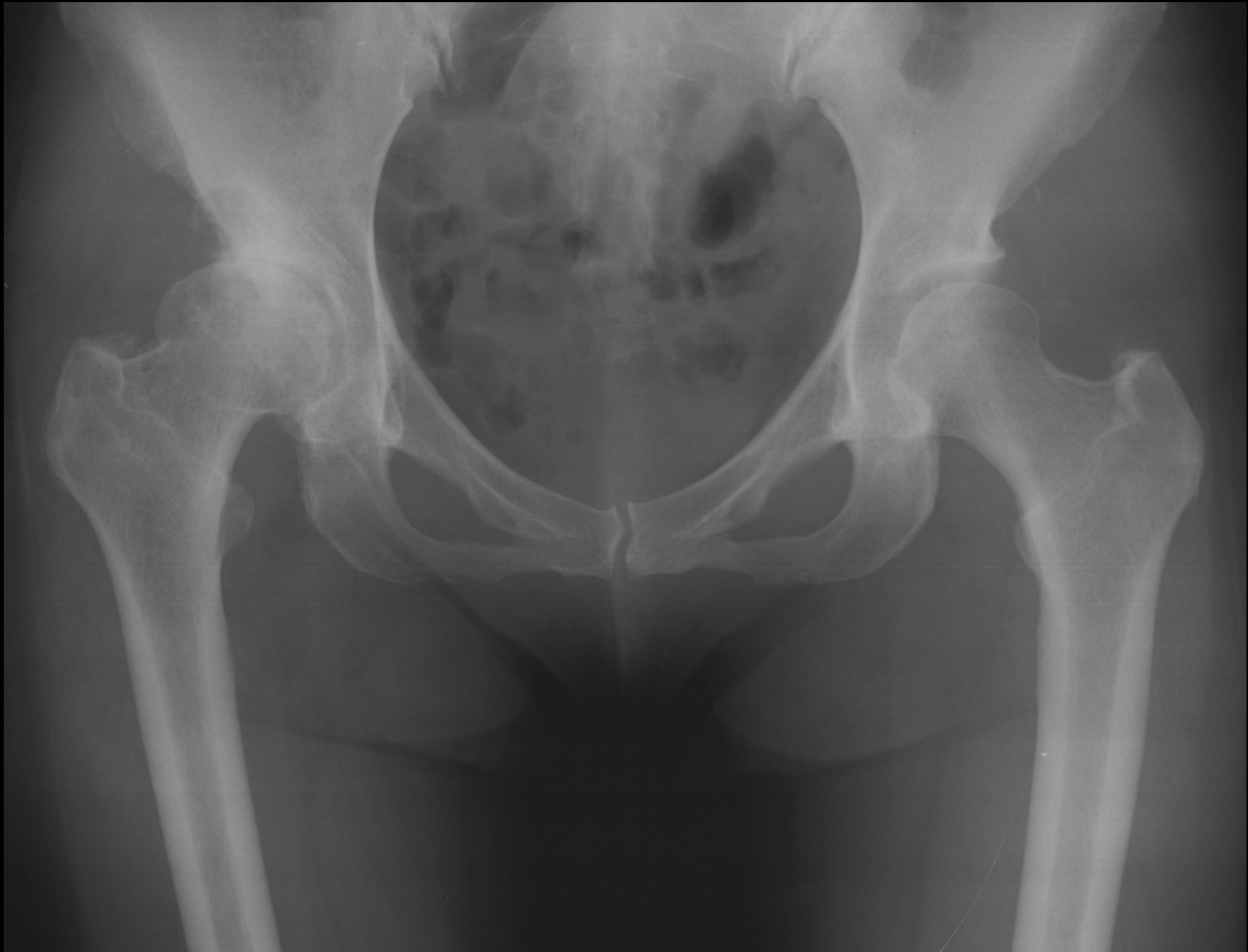


ORIF





# 変形性股関節症



# 日本では股関節形成不全が多く、年齢とともに変形性股関節症（軟骨変性と関節変形）に進行



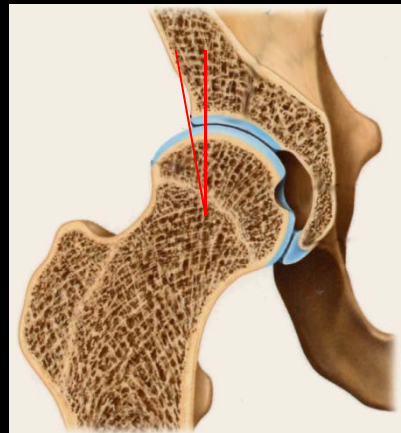
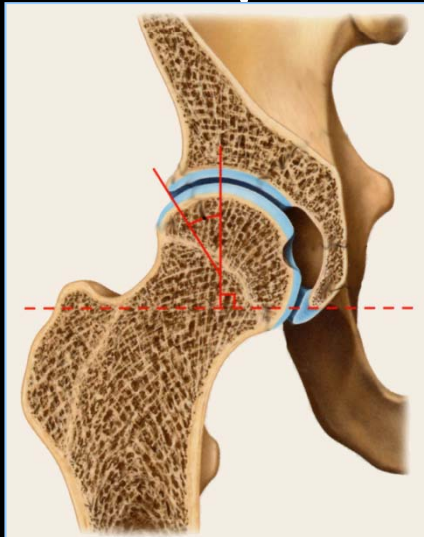
正常

前股関節症

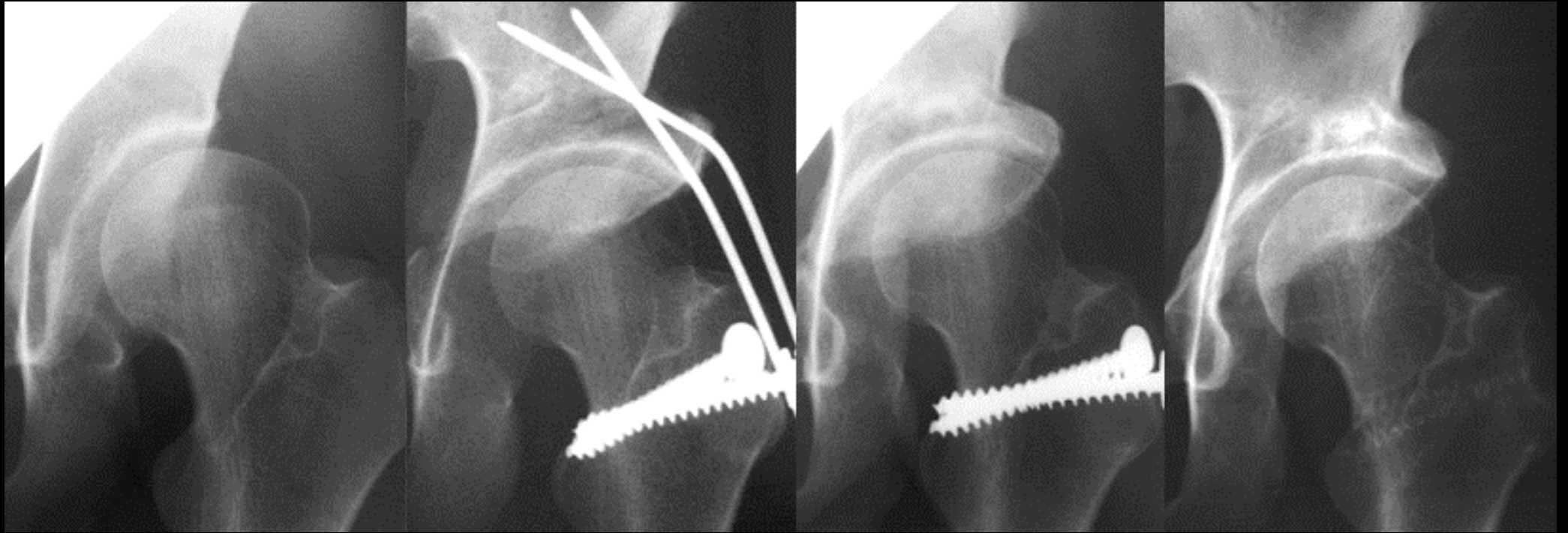
初期

進行期

末期



# Rotational Acetabular Osteotomy



**Preop**

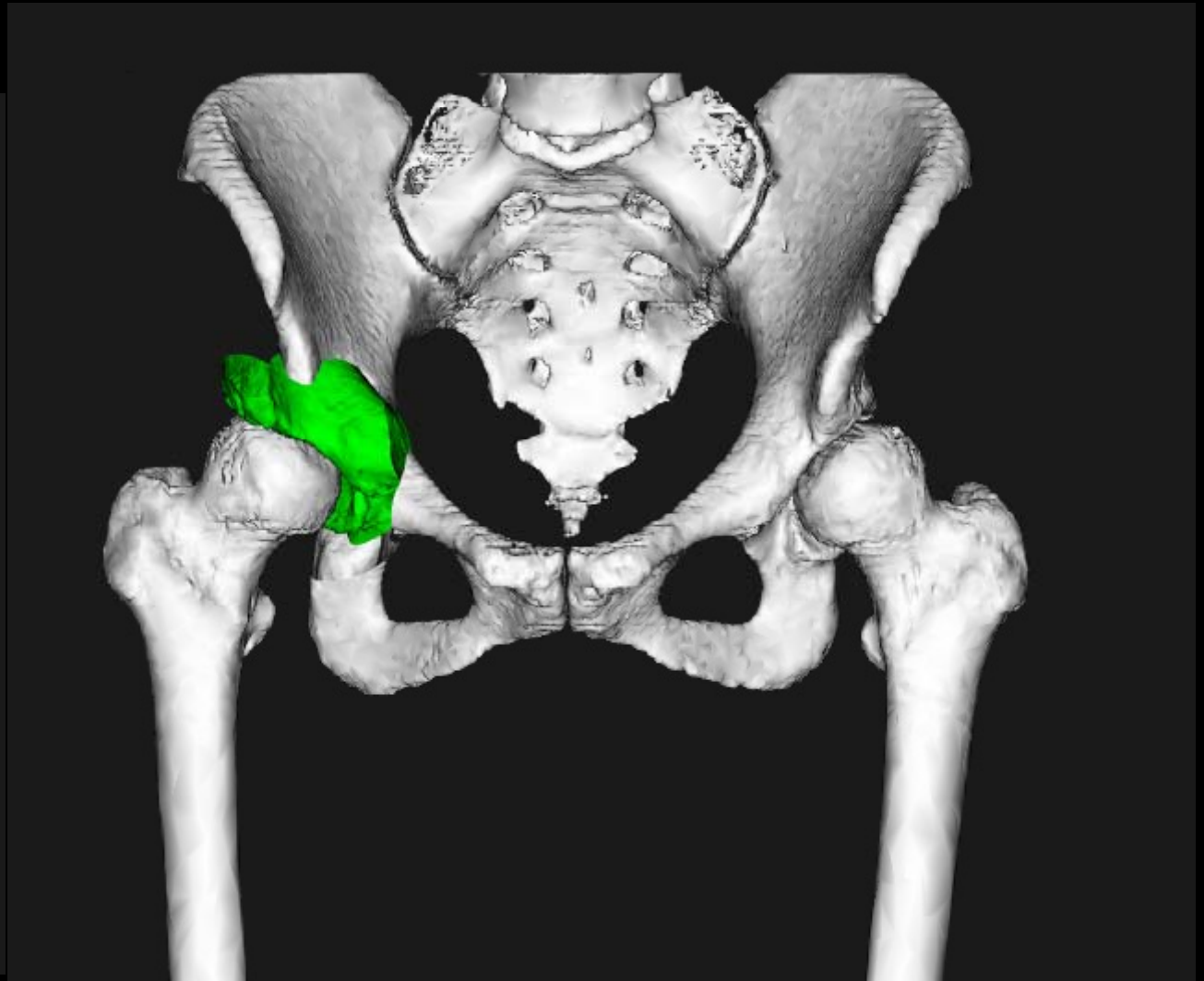
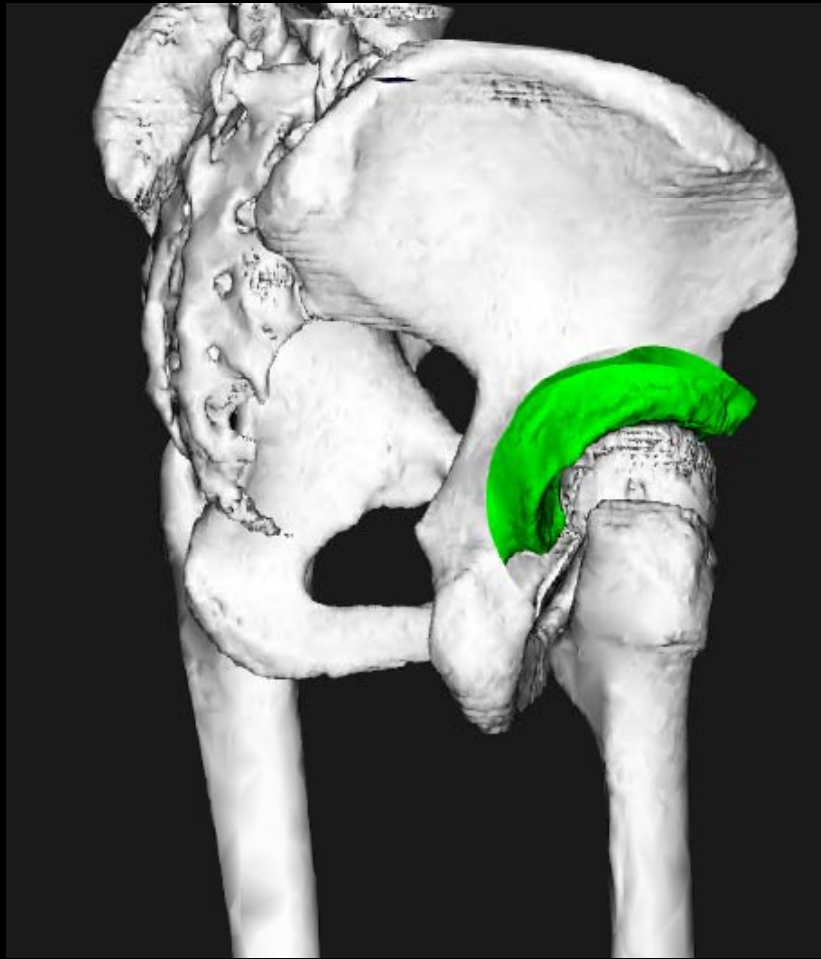
**1 wk**

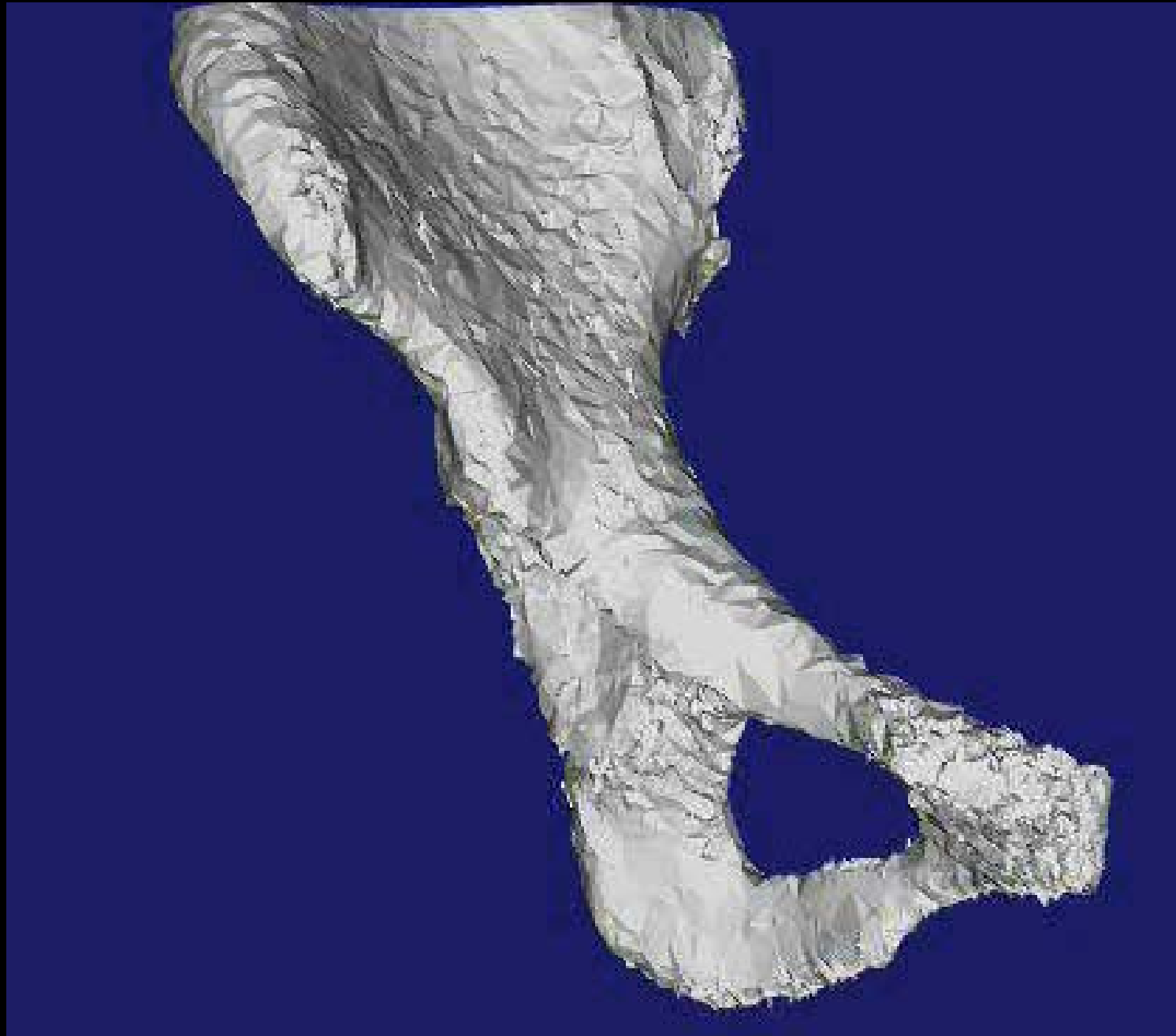
**6 months**

**10 years**

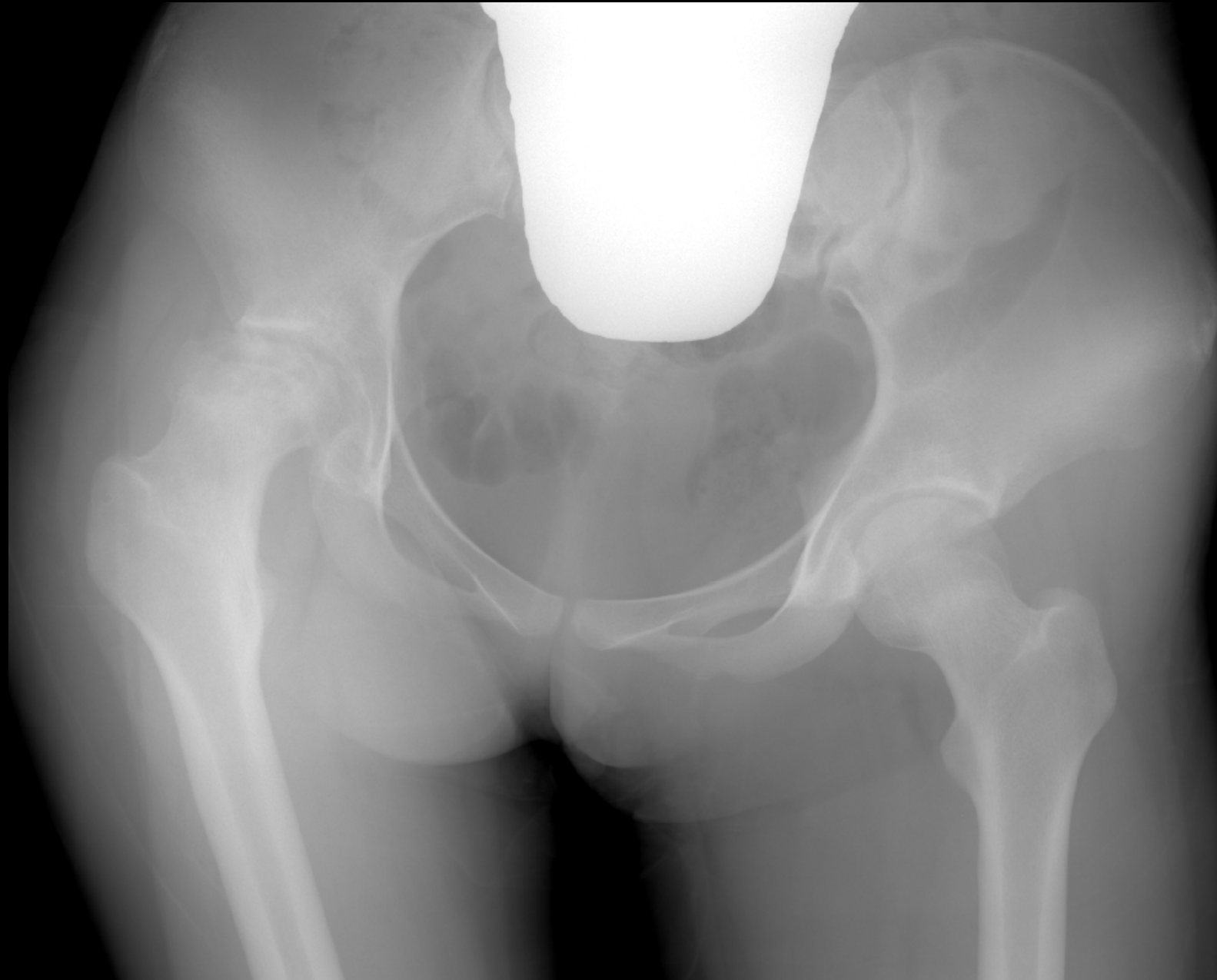
# CT scan



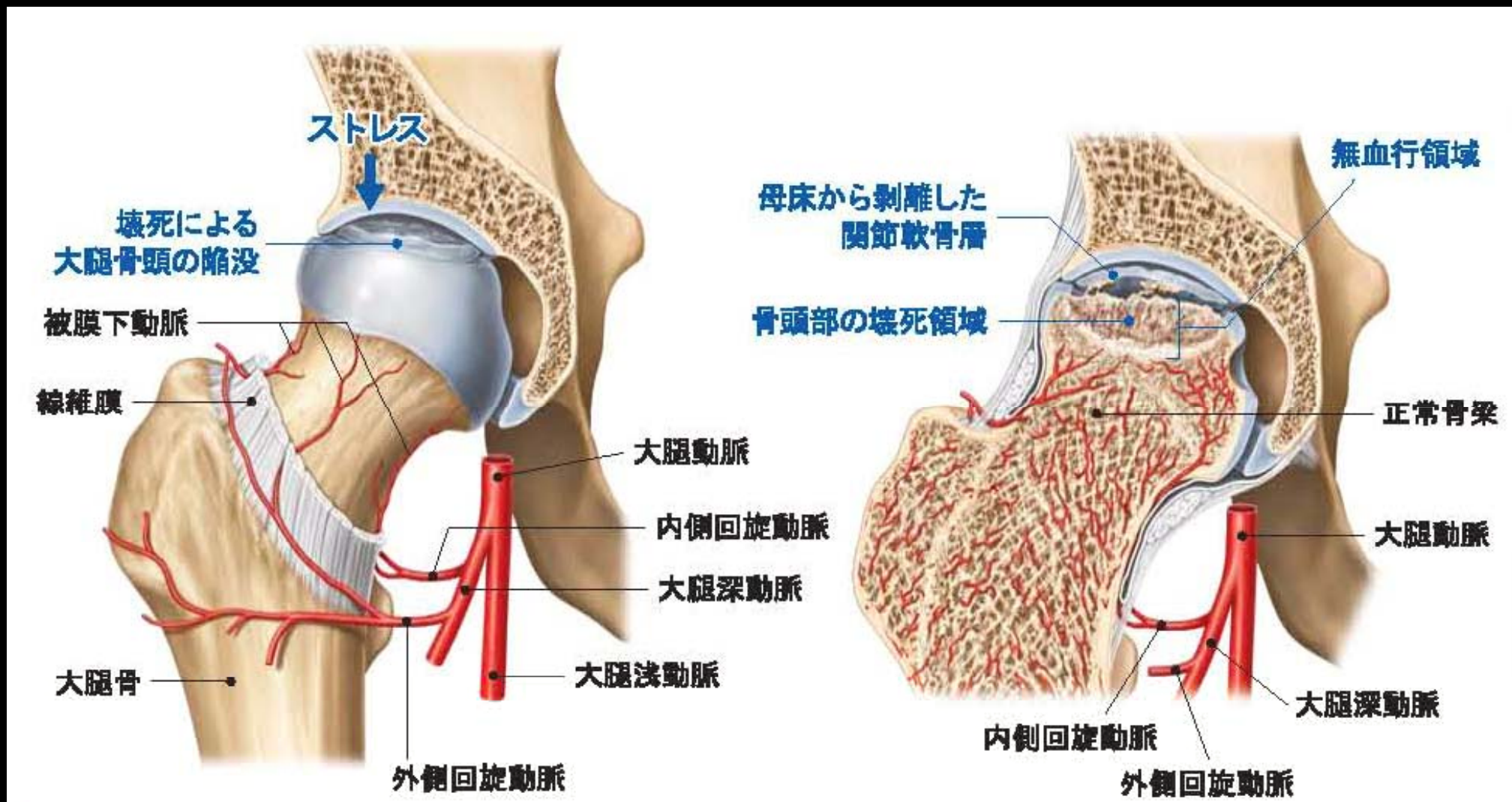




# 特発性大腿骨頭壊死症

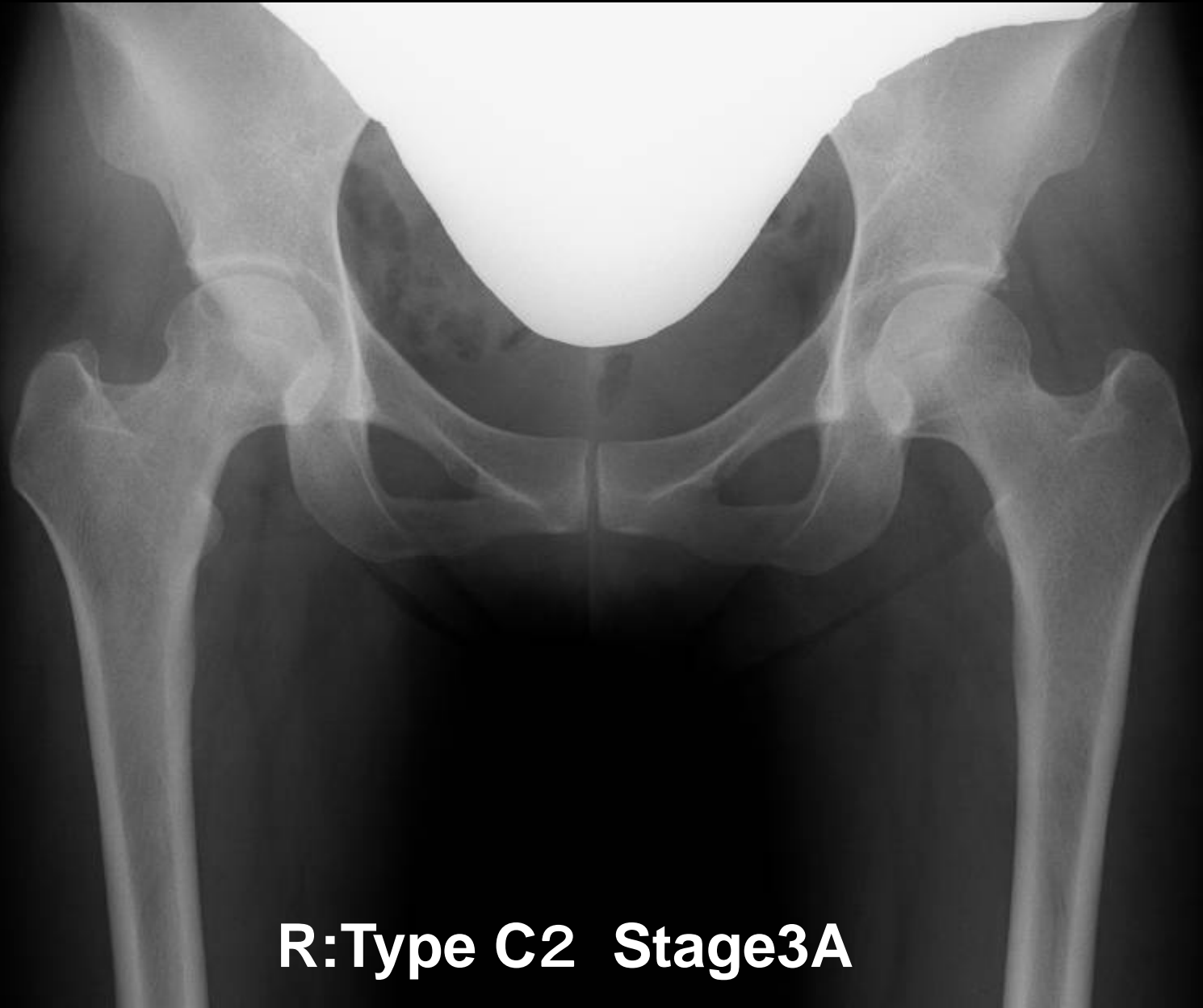


# 大腿骨頭壊死症



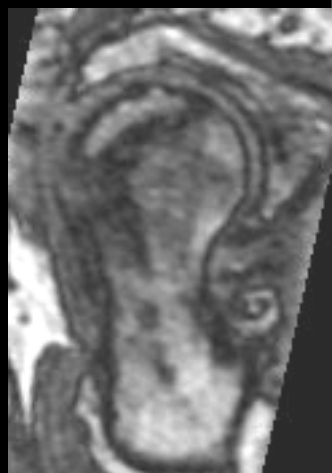


**XP**



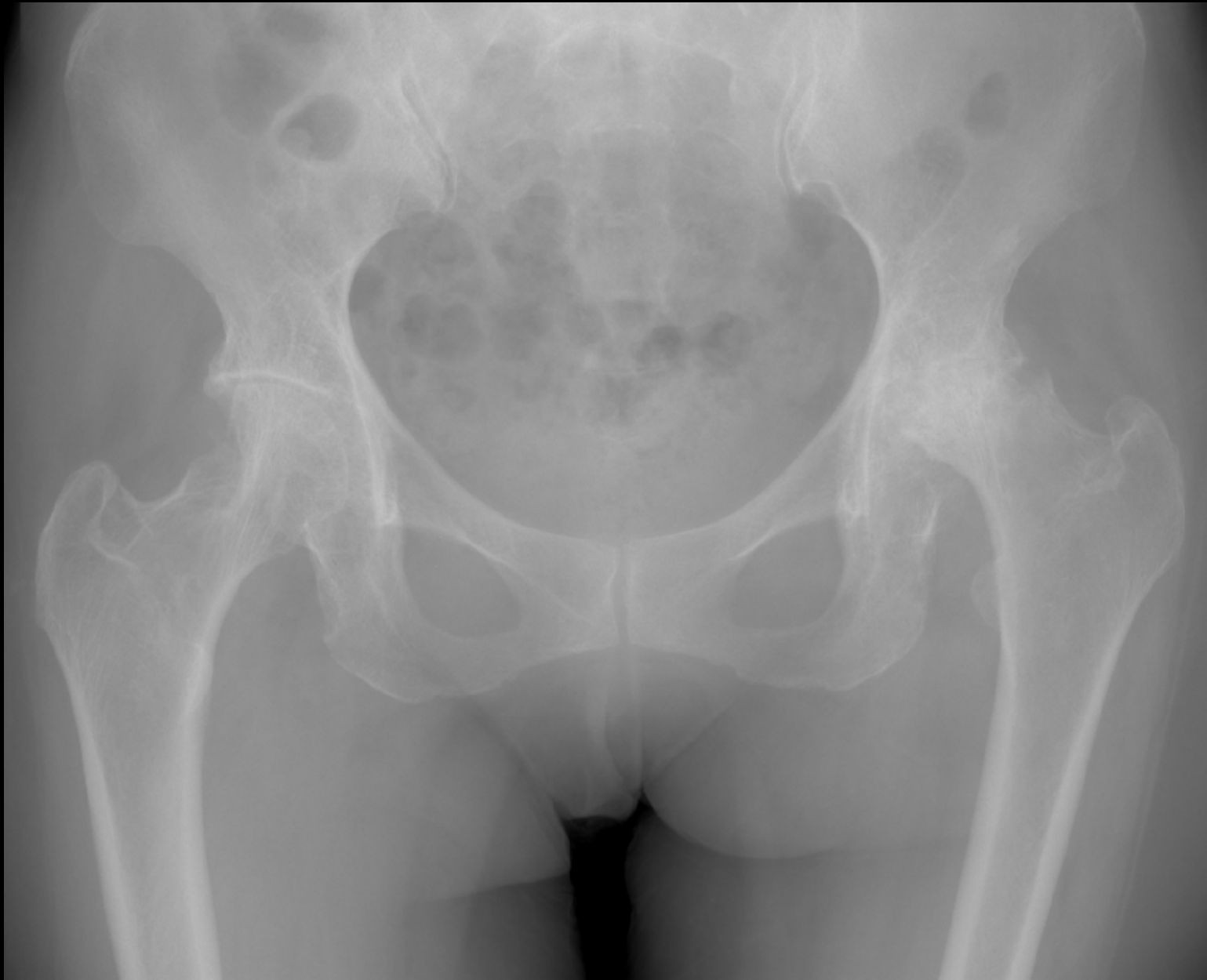
**R:Type C2 Stage3A**

# SPGR



R:Type C2

# 関節リウマチ



# 先天性股關節脫臼



# 正しい診断ができれば正しい治療で解決

- 保存的治療で改善しない場合手術

# 人工股関節全置換術 (THA) を例にすると



## ・ 人工材料についての知識

金属材料

ステンレス鋼、CoCr合金、  
Ti合金

高分子材料

ポリエチレン、PMMA

セラミック材料

アルミナ、ジルコニア、  
ハイドロキシアパタイト

- ・ 骨と人工関節の固定は







31y

12y

手術時年齡53歲

# ゆるみ



31年

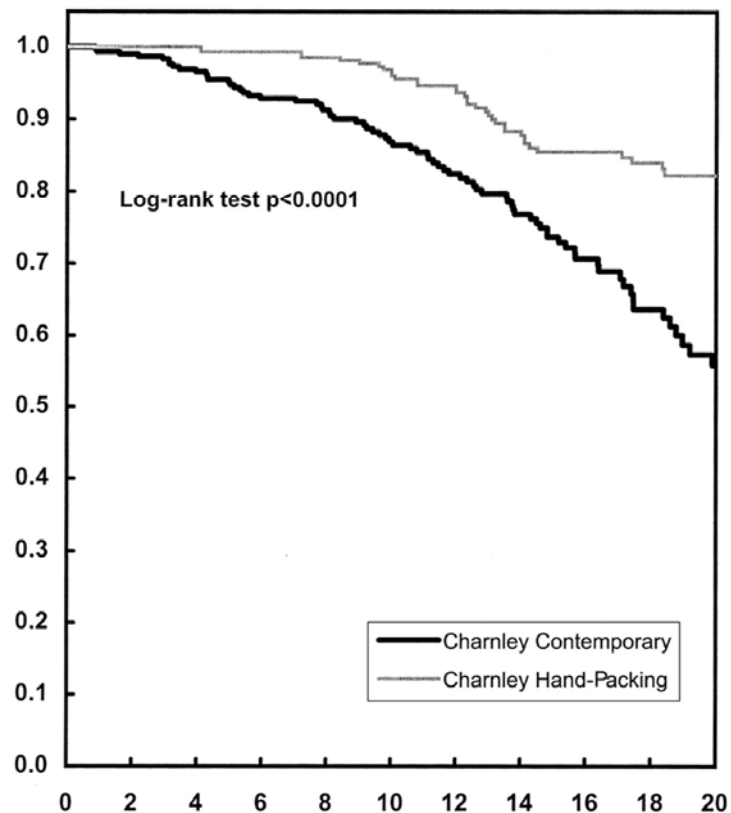
- セメントとステムの離脱
- ステム沈下
- セメント破壊
- 骨溶解

# Charnley total hip arthroplasty with use of improved cementing techniques: a minimum twenty-year follow-up study

Klapach AS, Callaghan JJ, Goetz DD, Olejniczak JP, Johnston RC

J Bone Joint Surg Am. 2001 Dec;83(11):1840-8

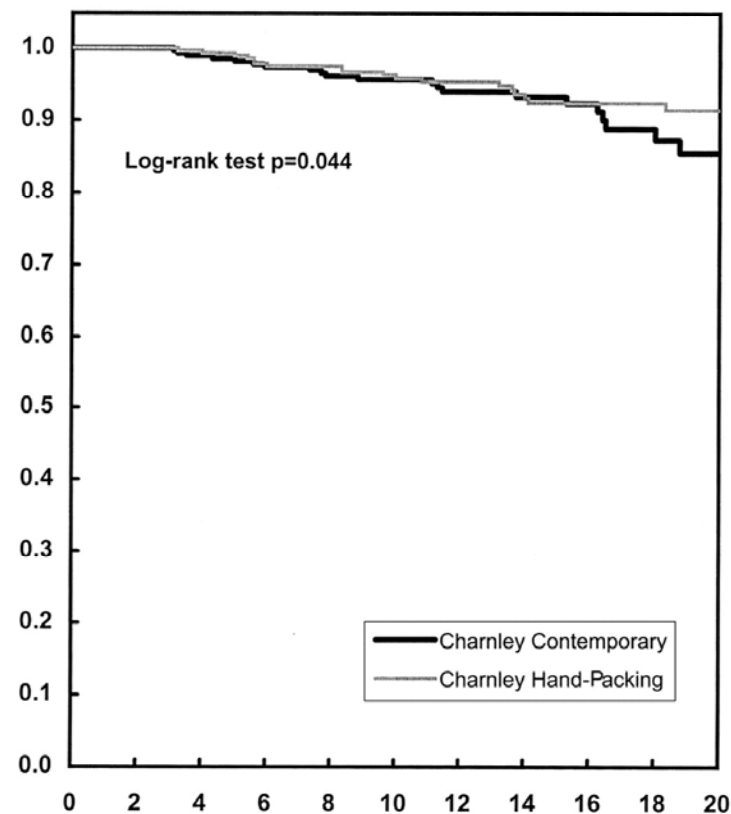
カップゆるみ



84%

58%

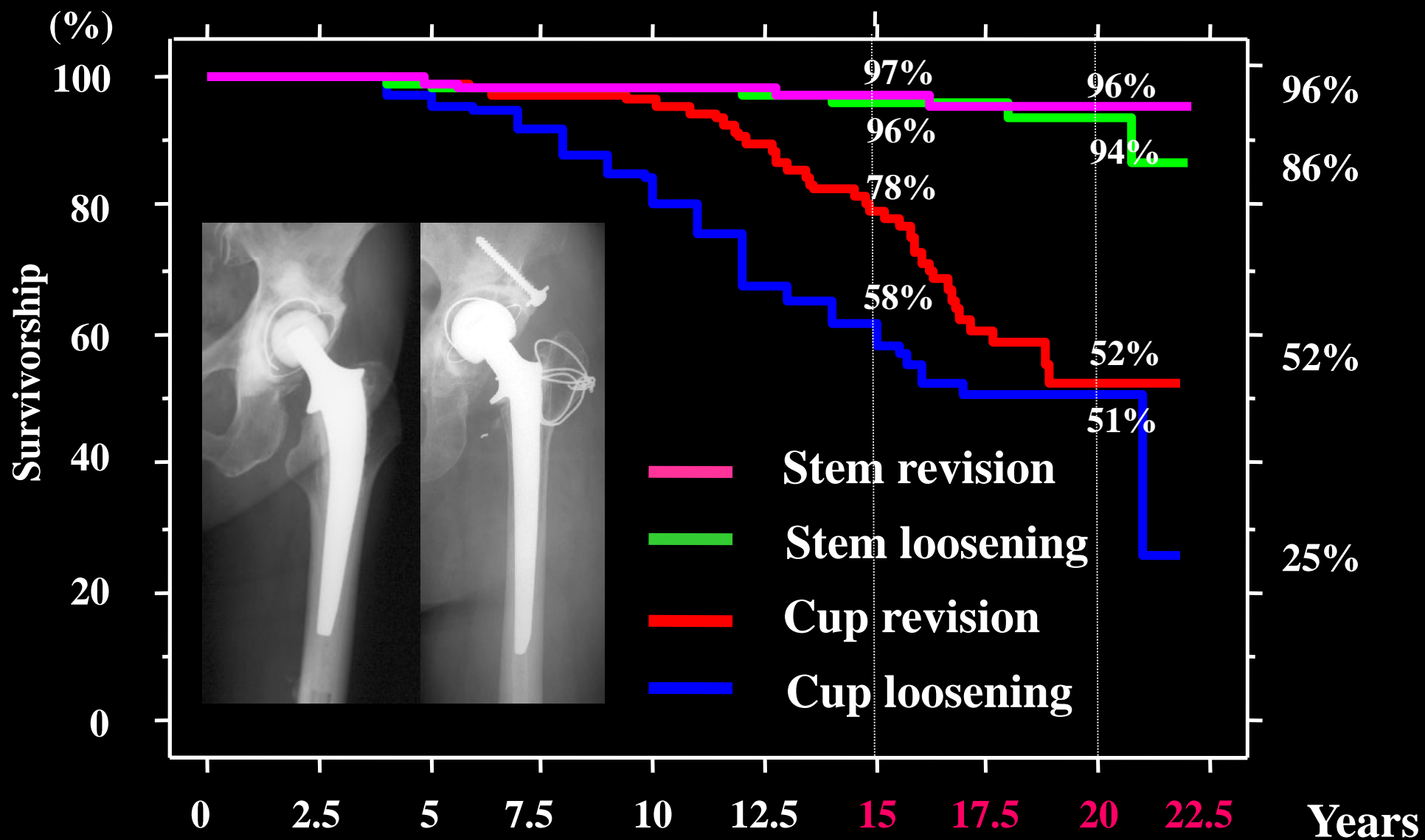
ステムゆるみ



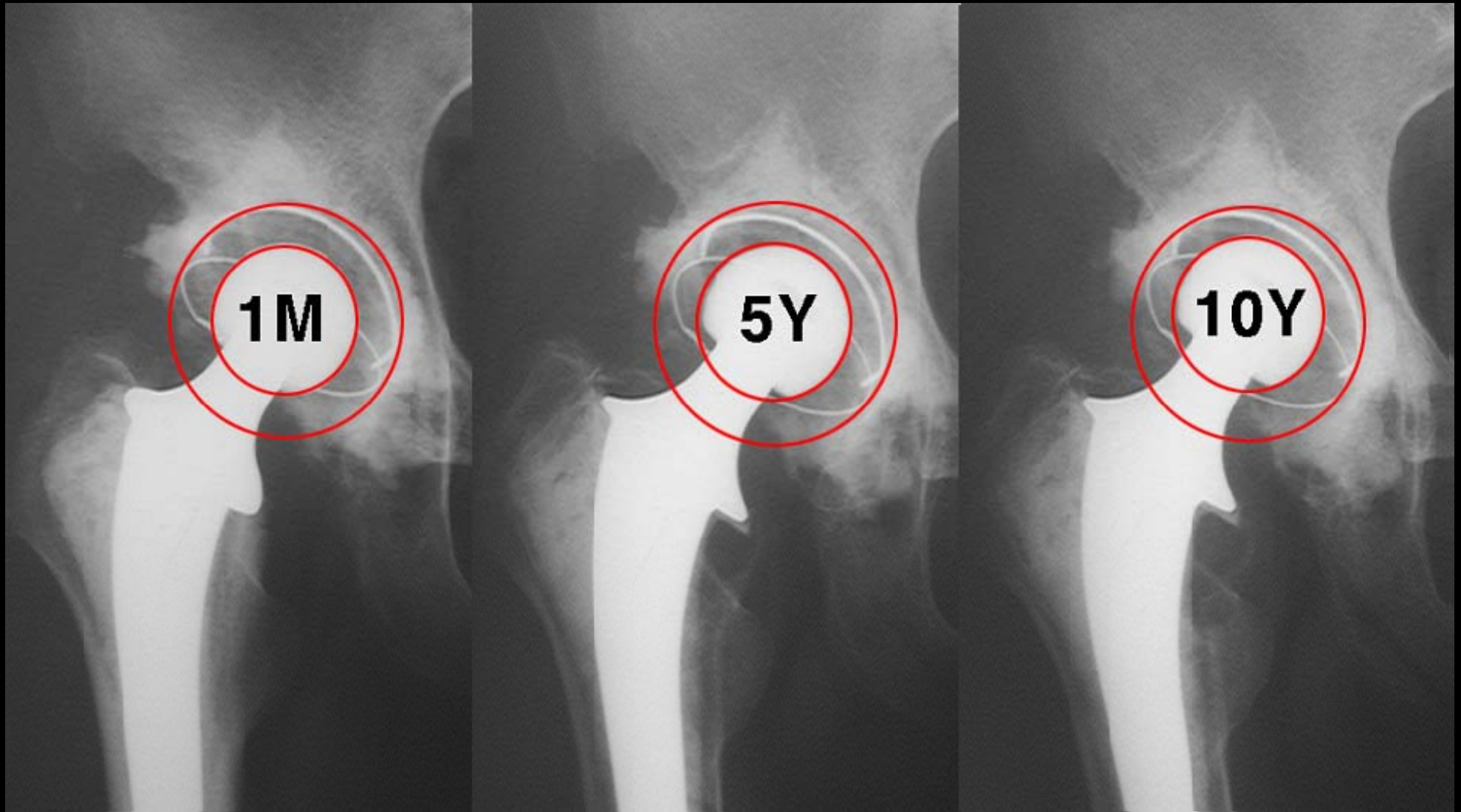
92%

87%

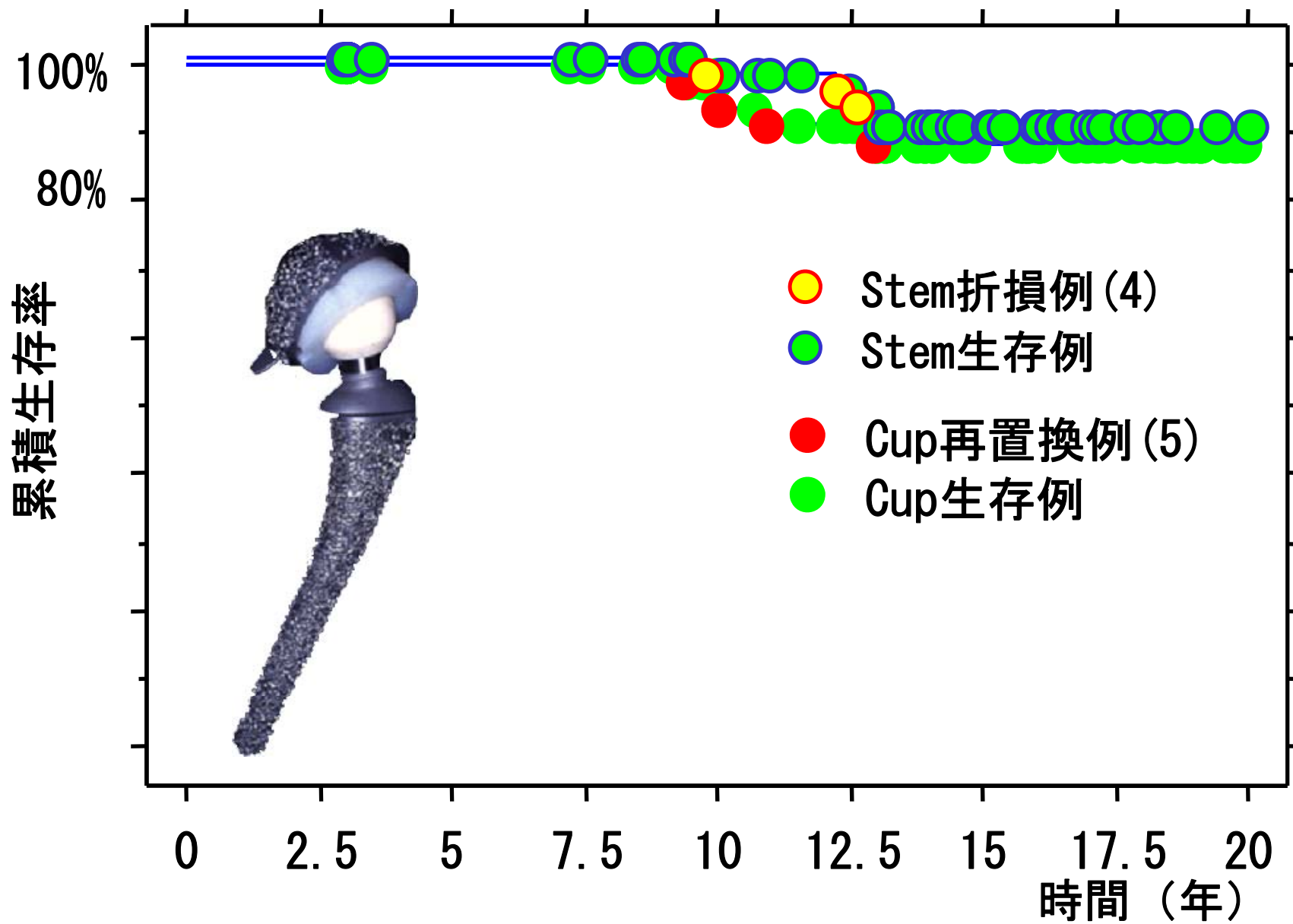
# Survivorship of Bioceram cemented THA



# Polyethylene wear and osteolysis



S+G Cup生存率（初期64関節）（Kaplan-Meier法）



# 脱臼、インピンジメント磨耗



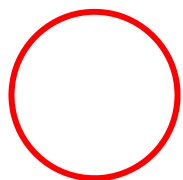
# THA後の患者の動作制限

## ●杖などの歩行補助具による荷重制限



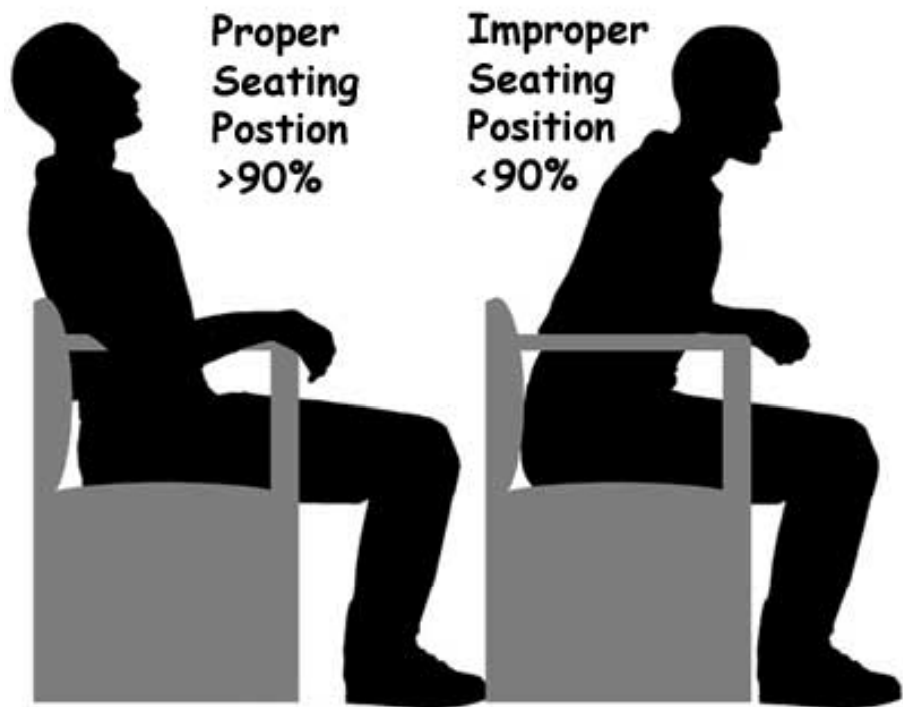


# THA後の患者の動作制限



Socks Aid

Reacher



身体障害者の社会復帰？

# 動作制限不要の永久人工股関節のための秘訣

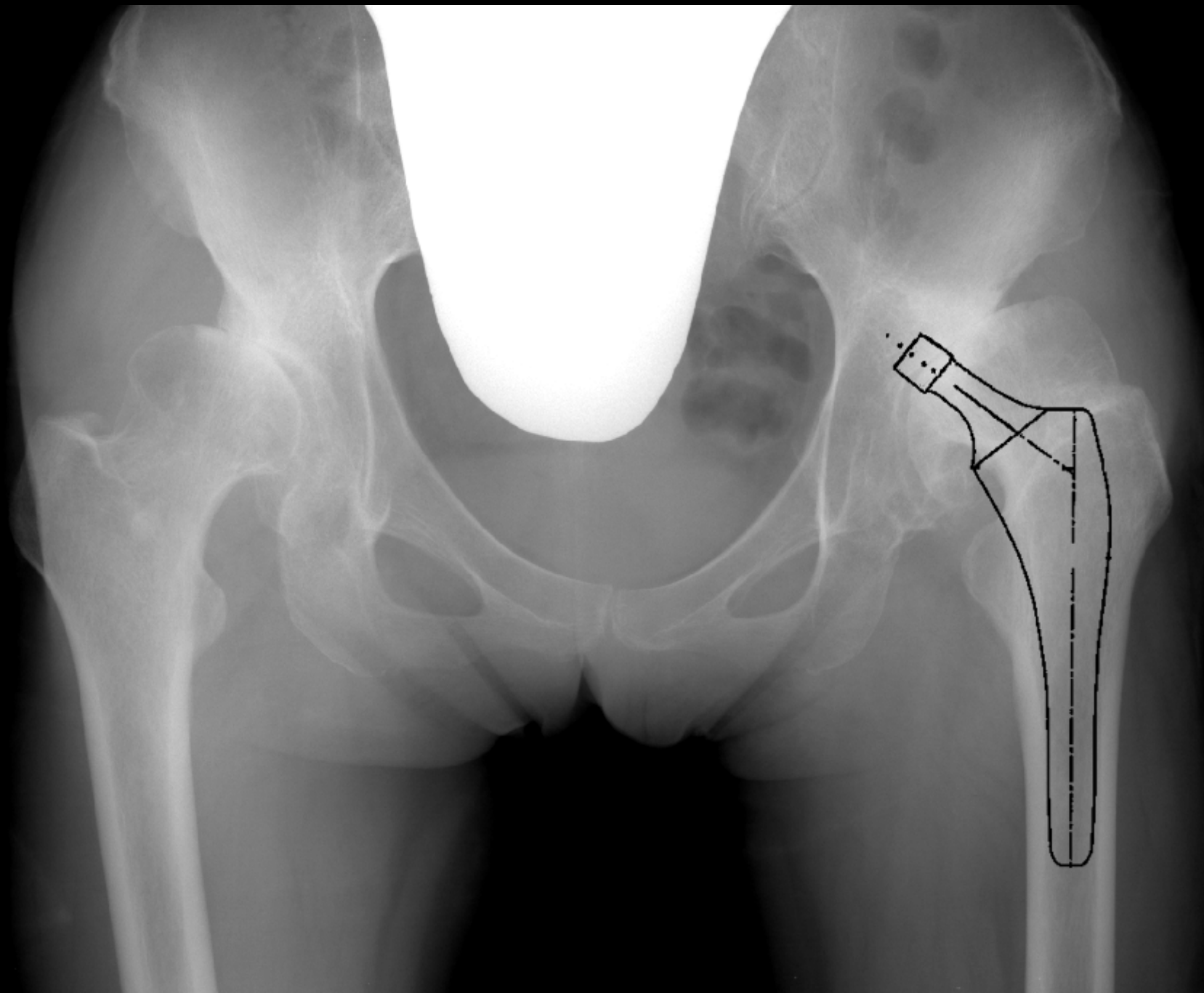
## ➤ 適切な手術計画

- ◆ 耐摩耗性の摺動材料選択
- ◆ 疲労折損しない材料とデザイン
- ◆ 解剖学的形状適合

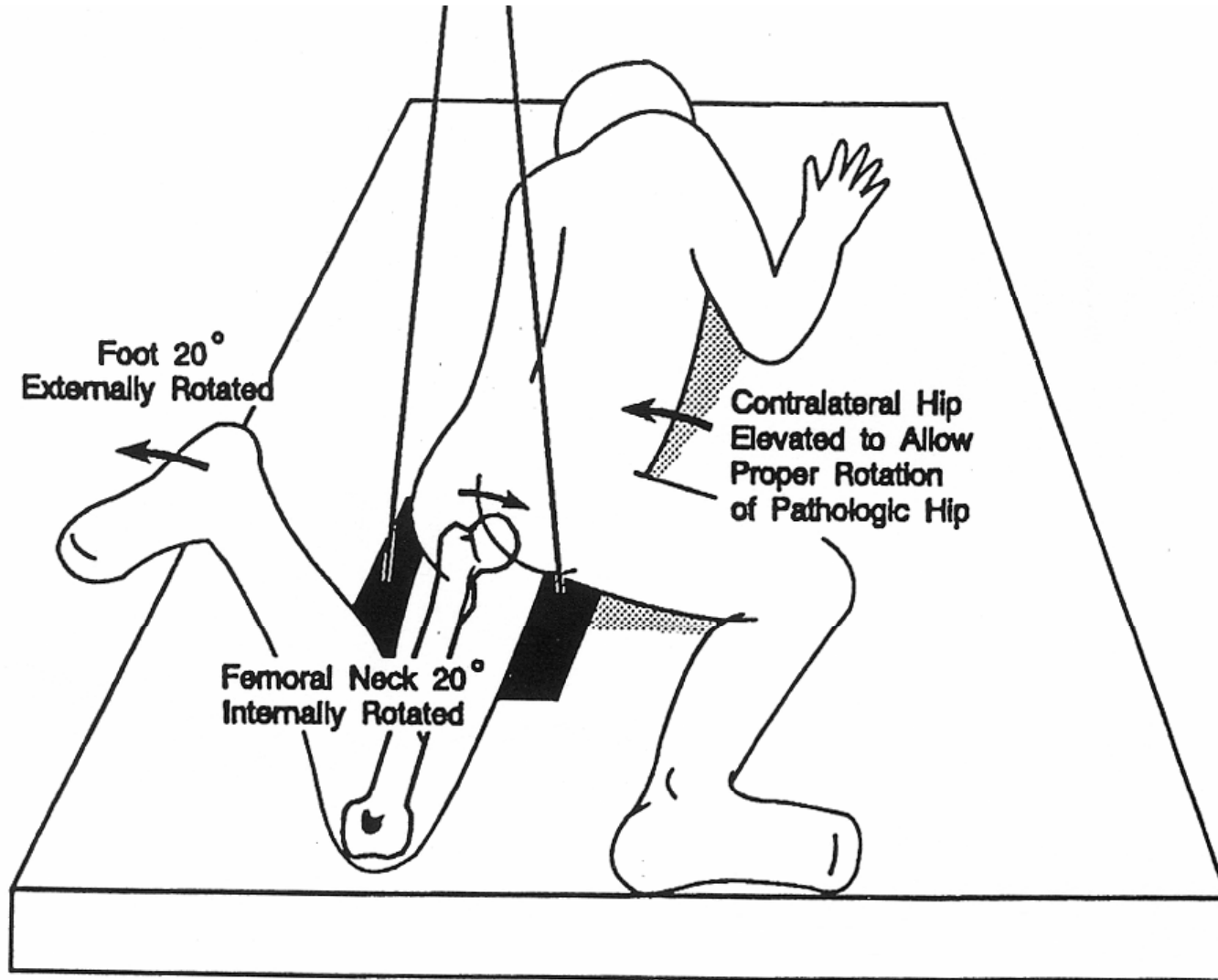
## ➤ 正確な手術

- ◆ 骨温存
- ◆ 正確なインプラント設置
- ◆ 合併症の予防

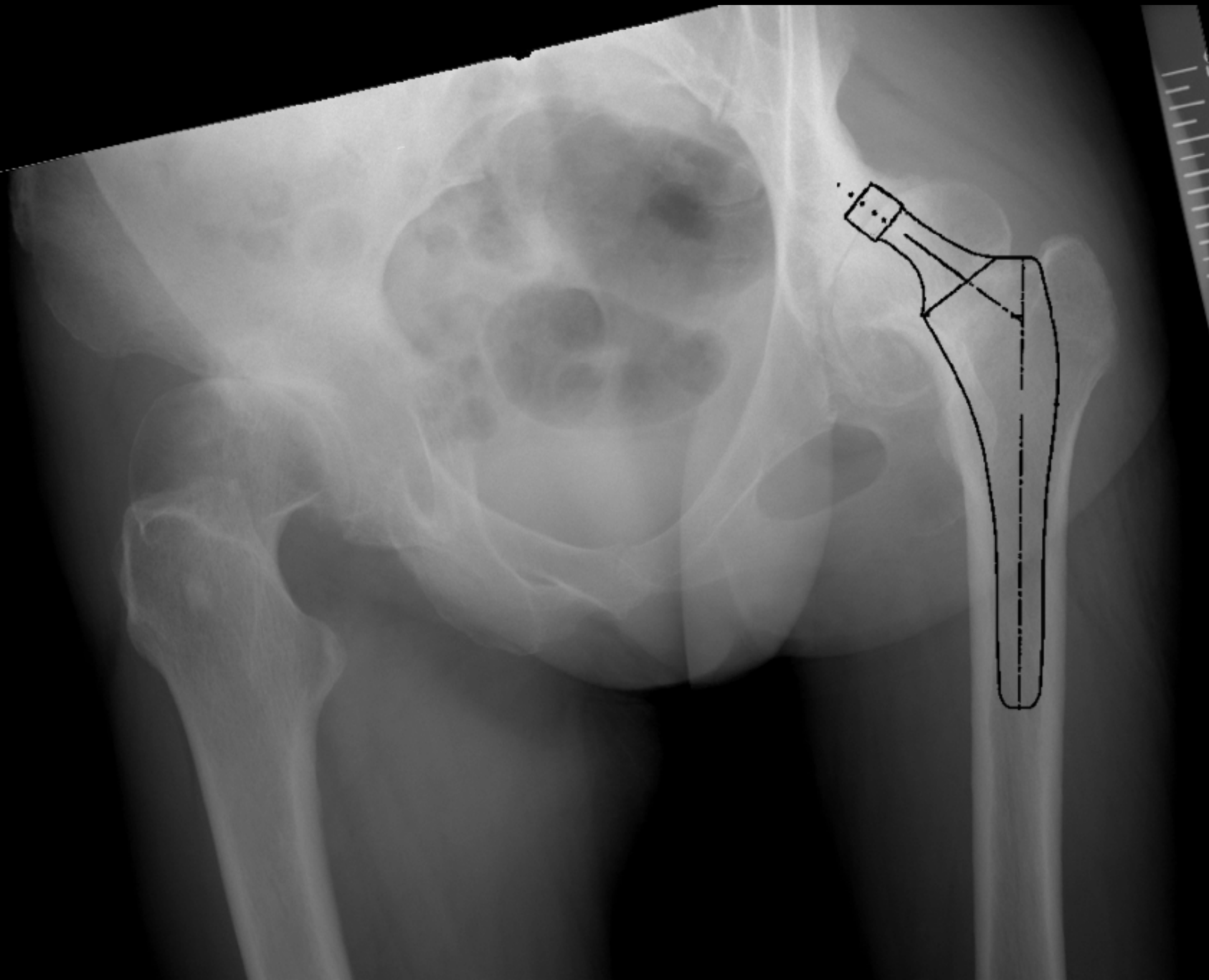


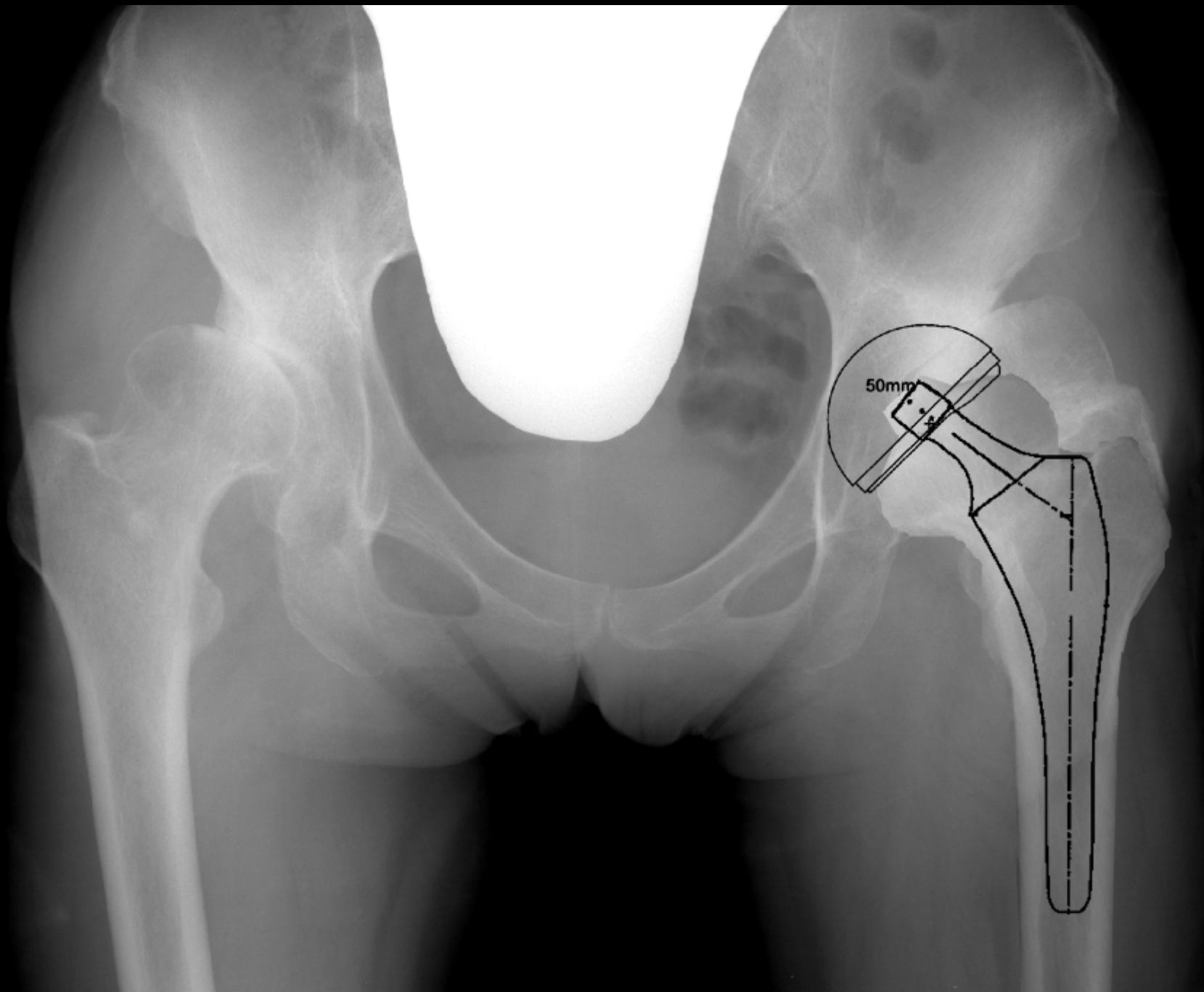


# 腹臥位での撮影









50mm





**Rotation 0 deg.**



**10 deg.**



**20 deg.**



**Rotation 30 deg.**



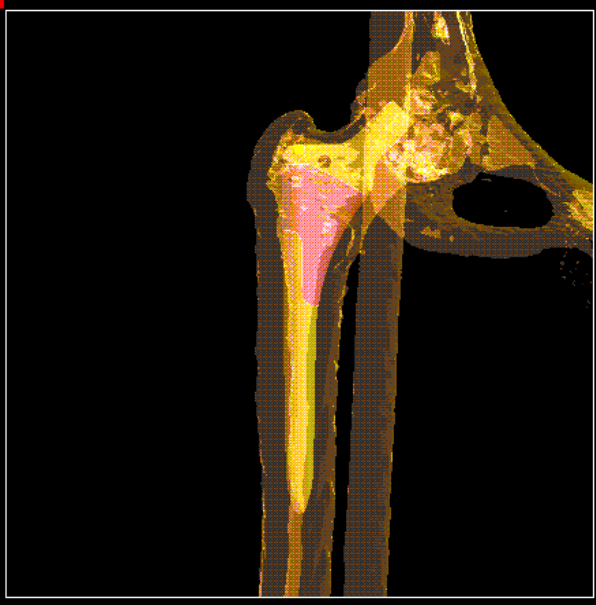
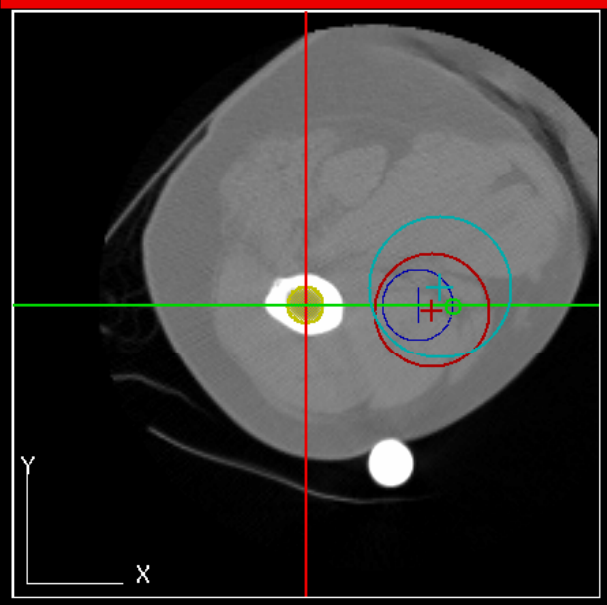
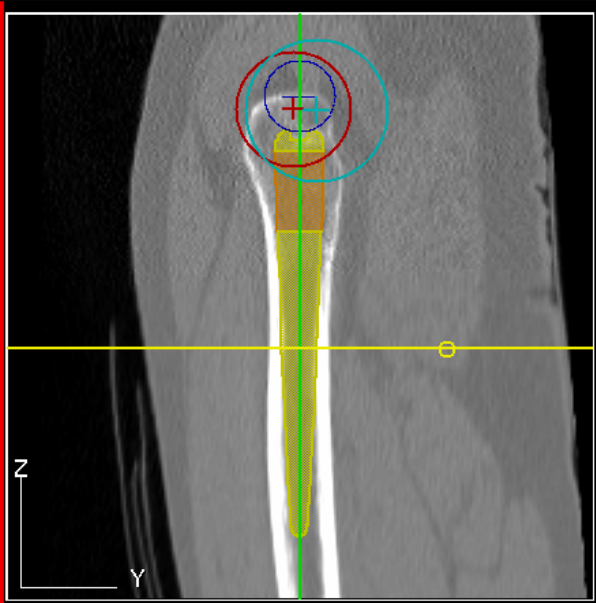
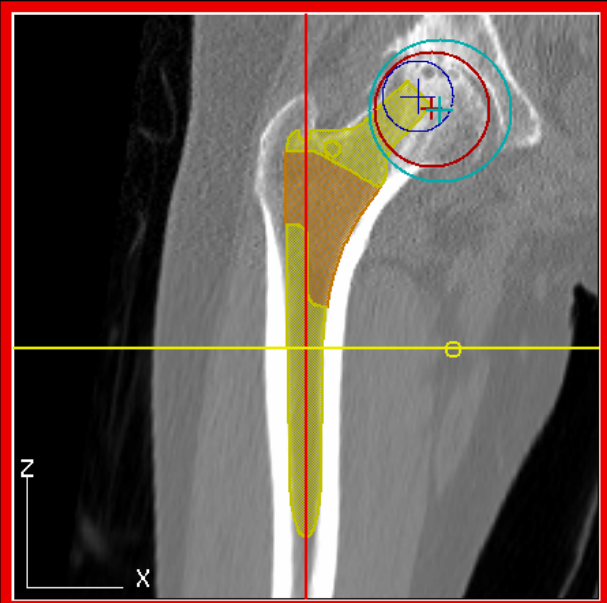
**40 deg.**



**50 deg.**

# CAS : 手術室でのCAD/CAMとGPS

- Supervision (三次元画像解析)
- Superbrain 手術プランニング  
(シミュレーション)
- Supersensor (ナビゲーション)
- Superhand (手術支援ロボット)



### Stem Parameters

Type: CoCr

Size: 26.00 mm

Neck Length: 3.50 mm

Zoom: 0.8 UnZoom

0.0

Rotate (deg.)

1.0

Translate

X: -24.94 mm

Y: 11.36 mm

Z: -243.09 mm

5 (mm)

Jump Up Down

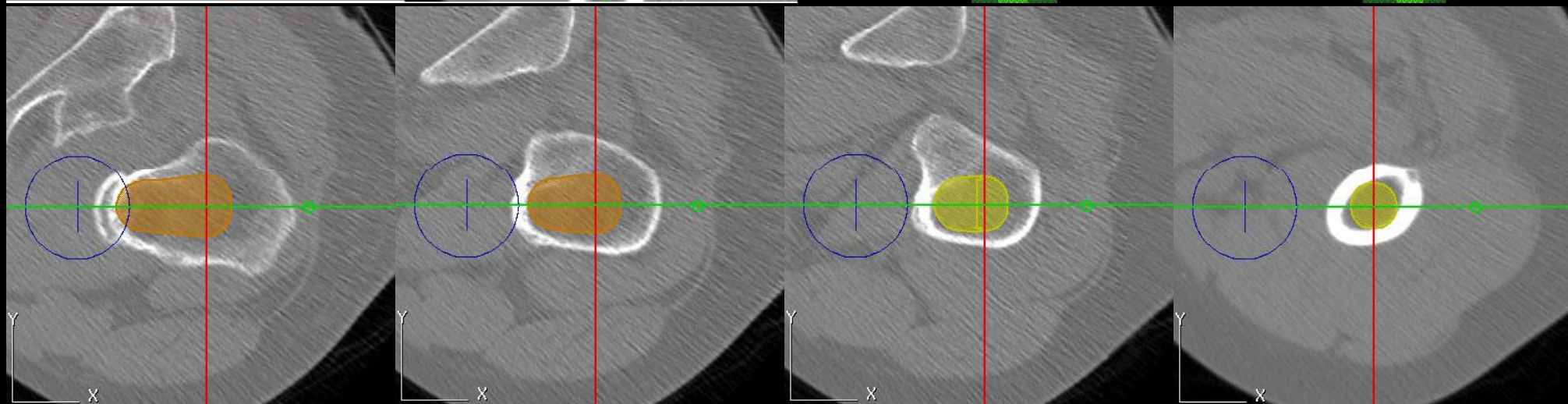
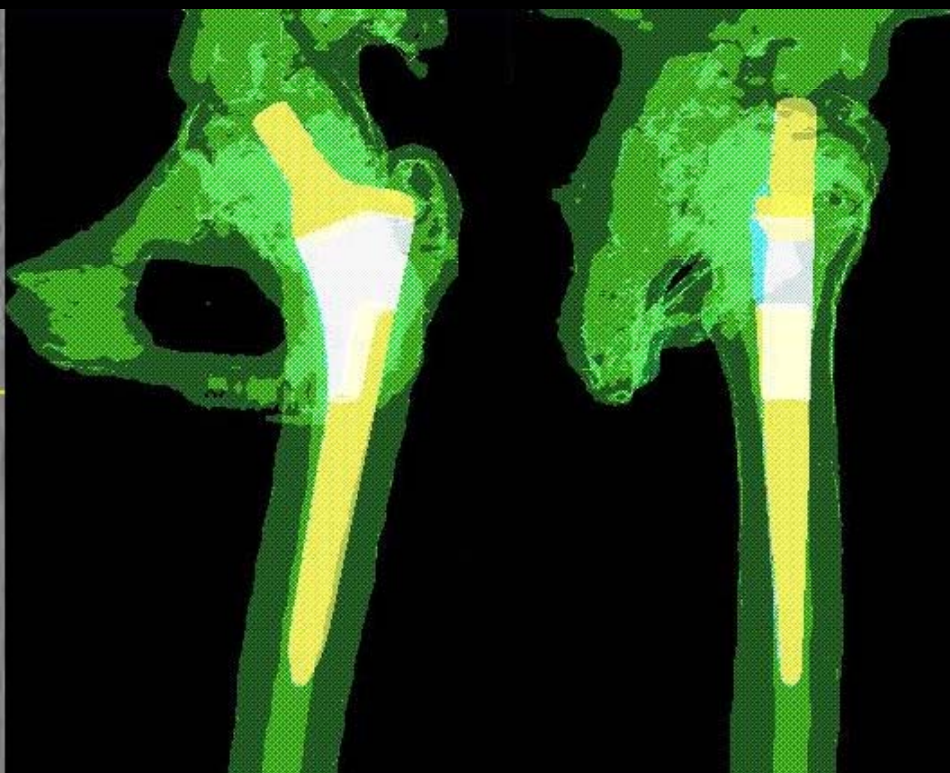
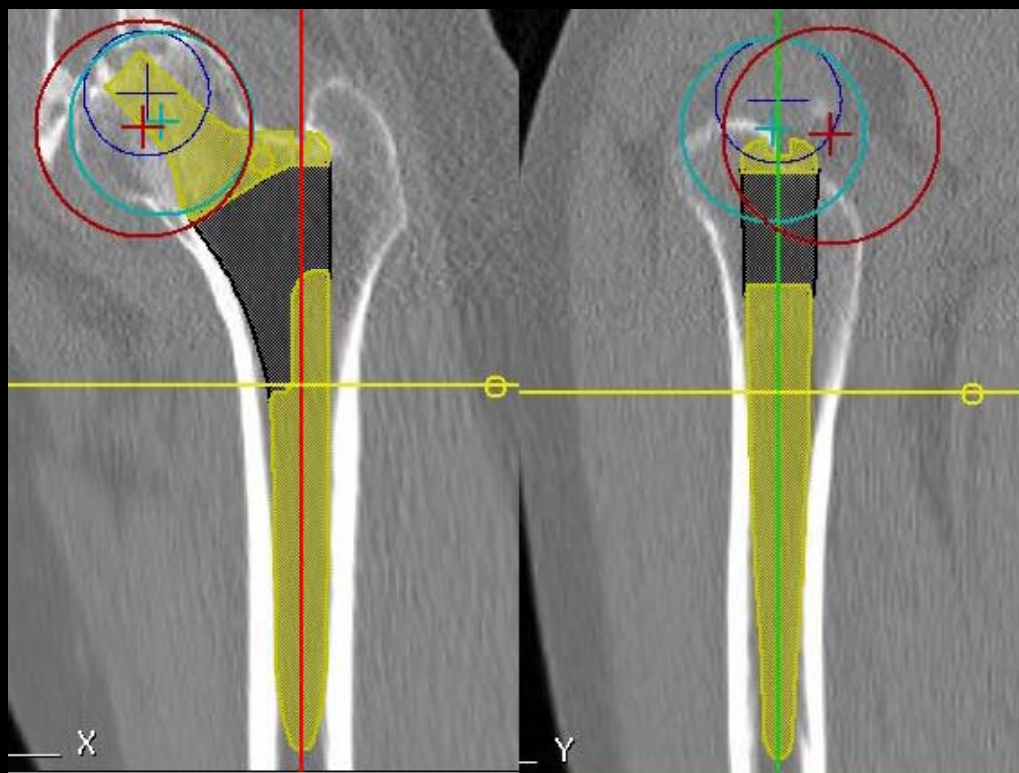
Change View Plane

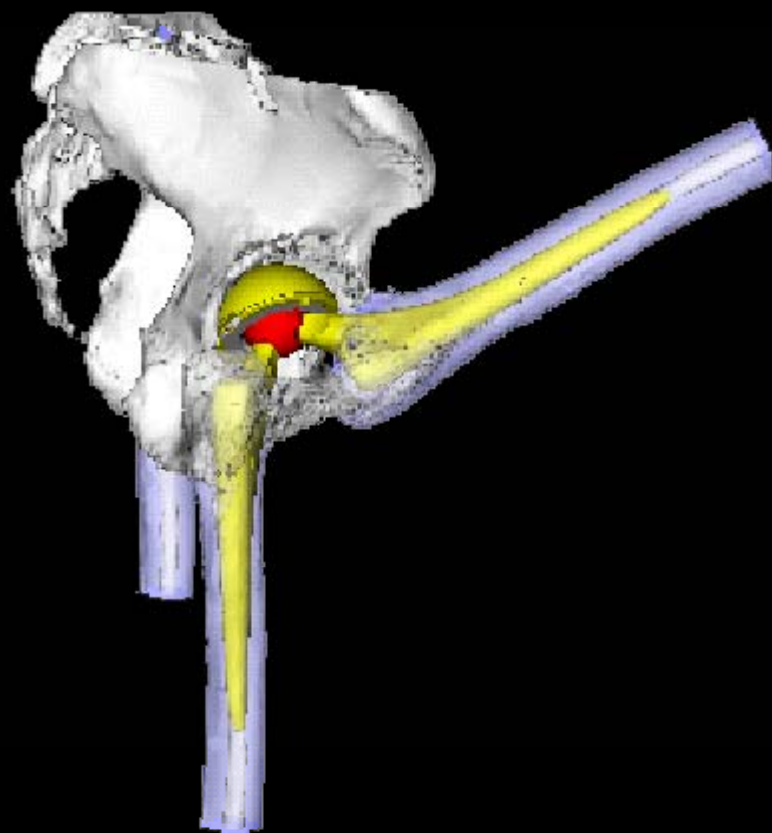
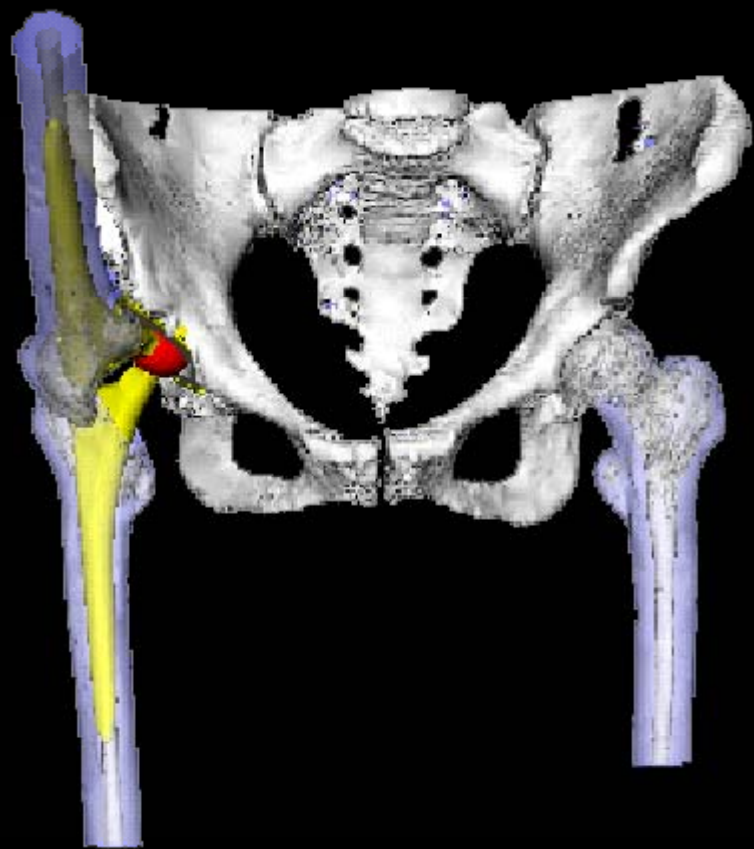
Center Window

Reset Undo Info

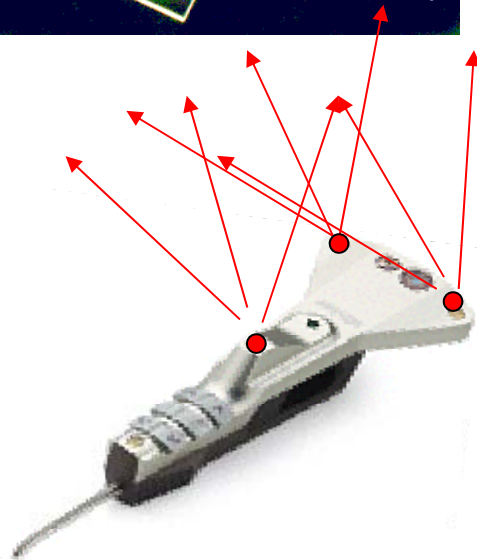
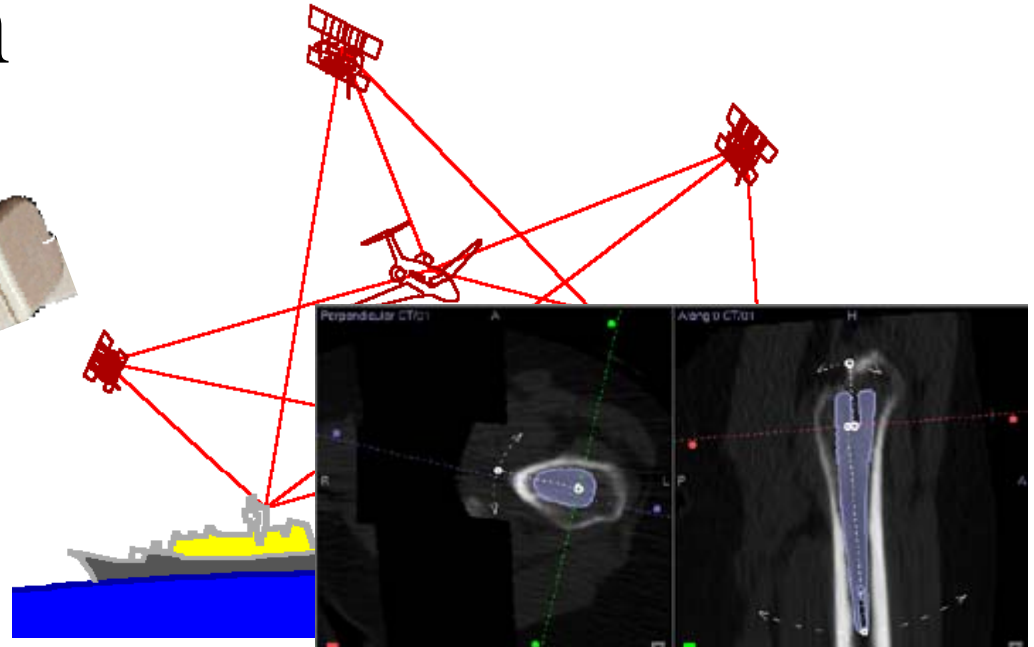
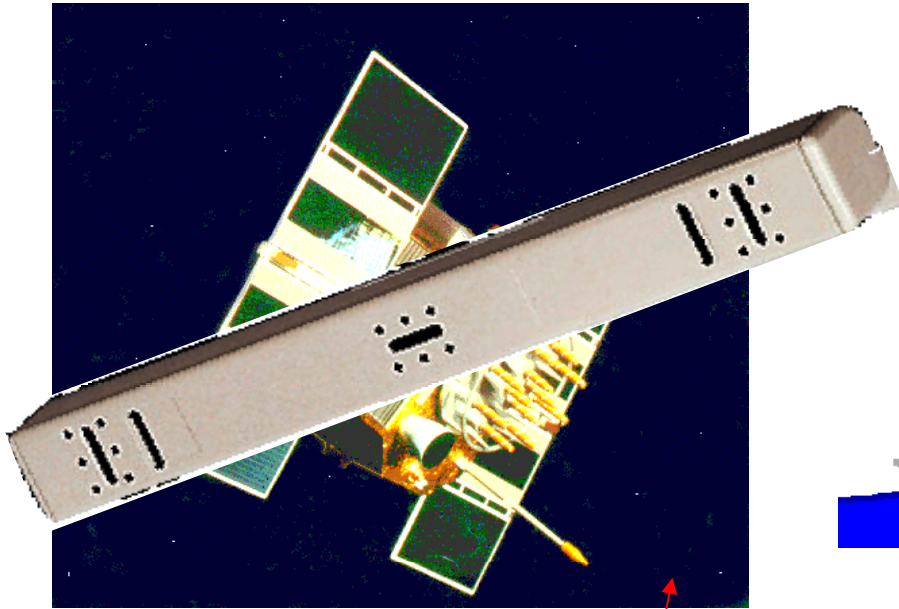
Stem :Zimmer VerSys 13mm LM FMT

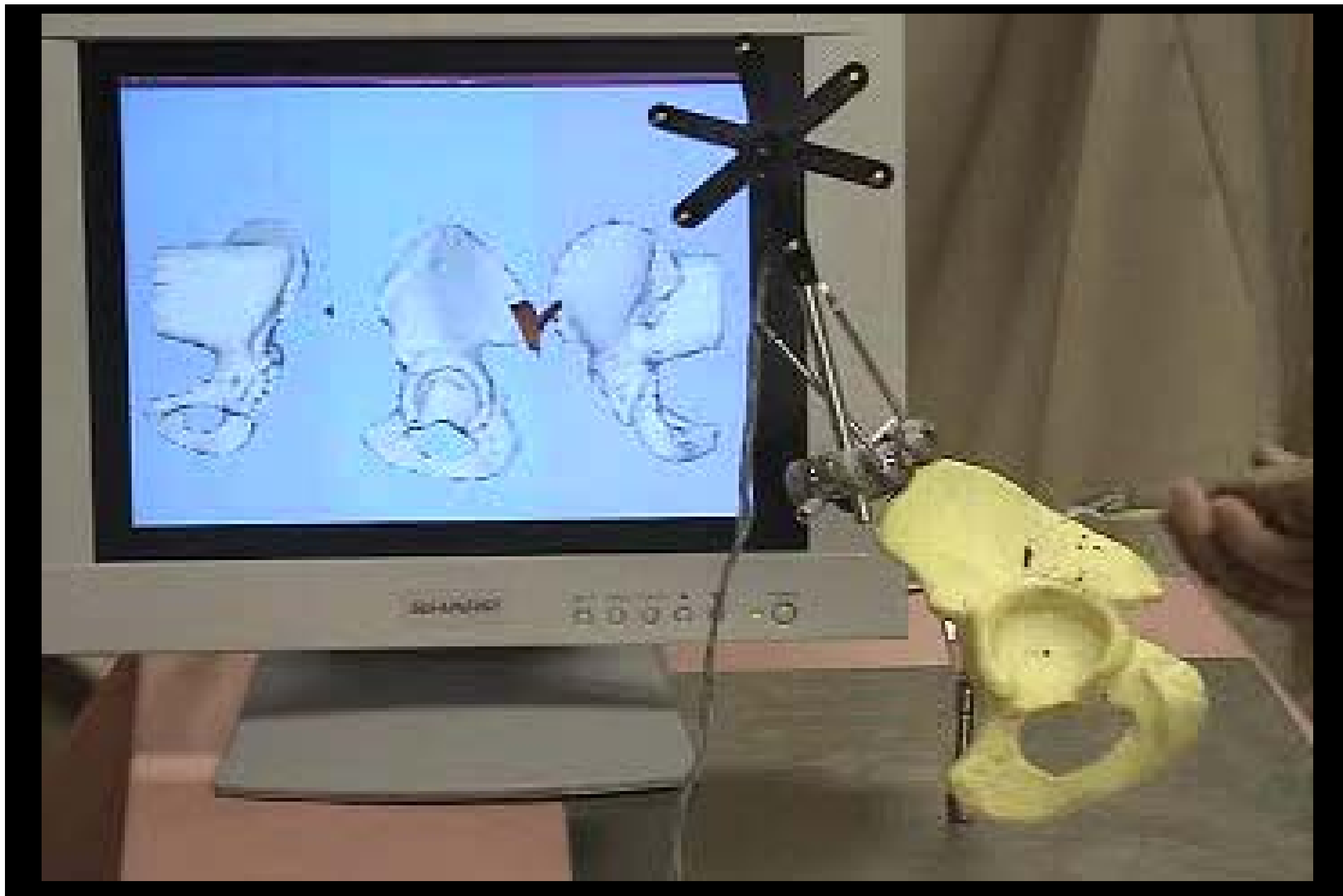




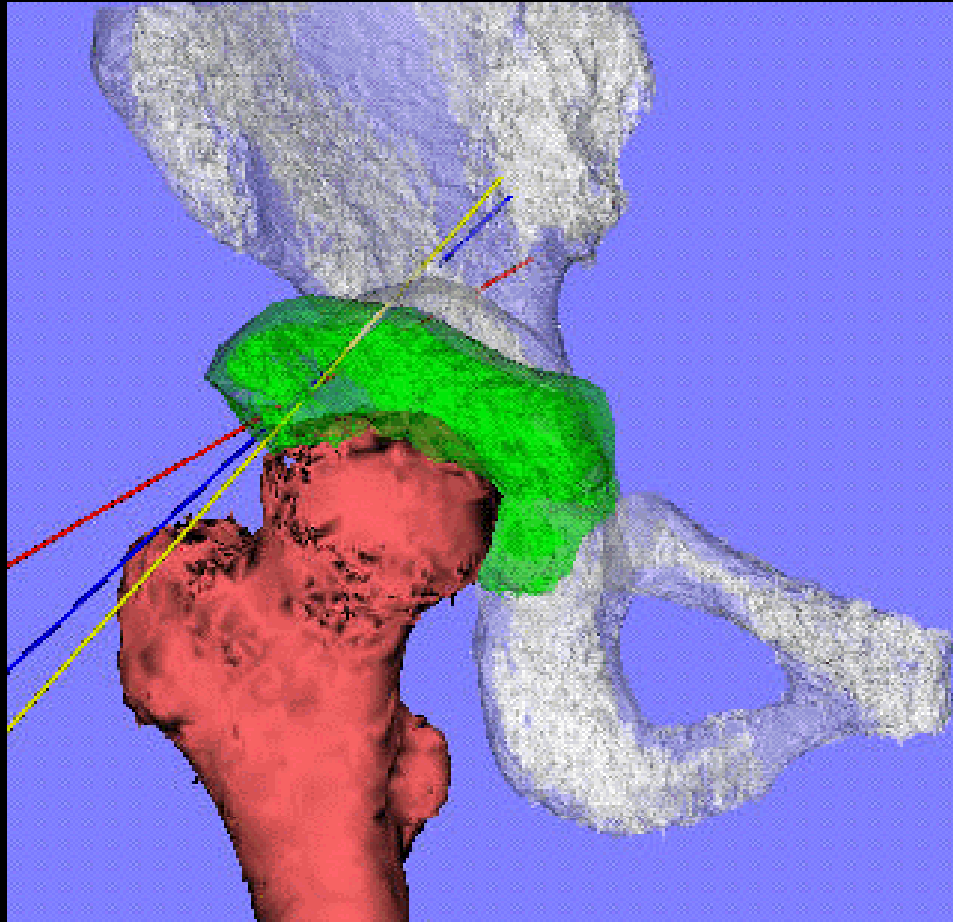


# GPS in

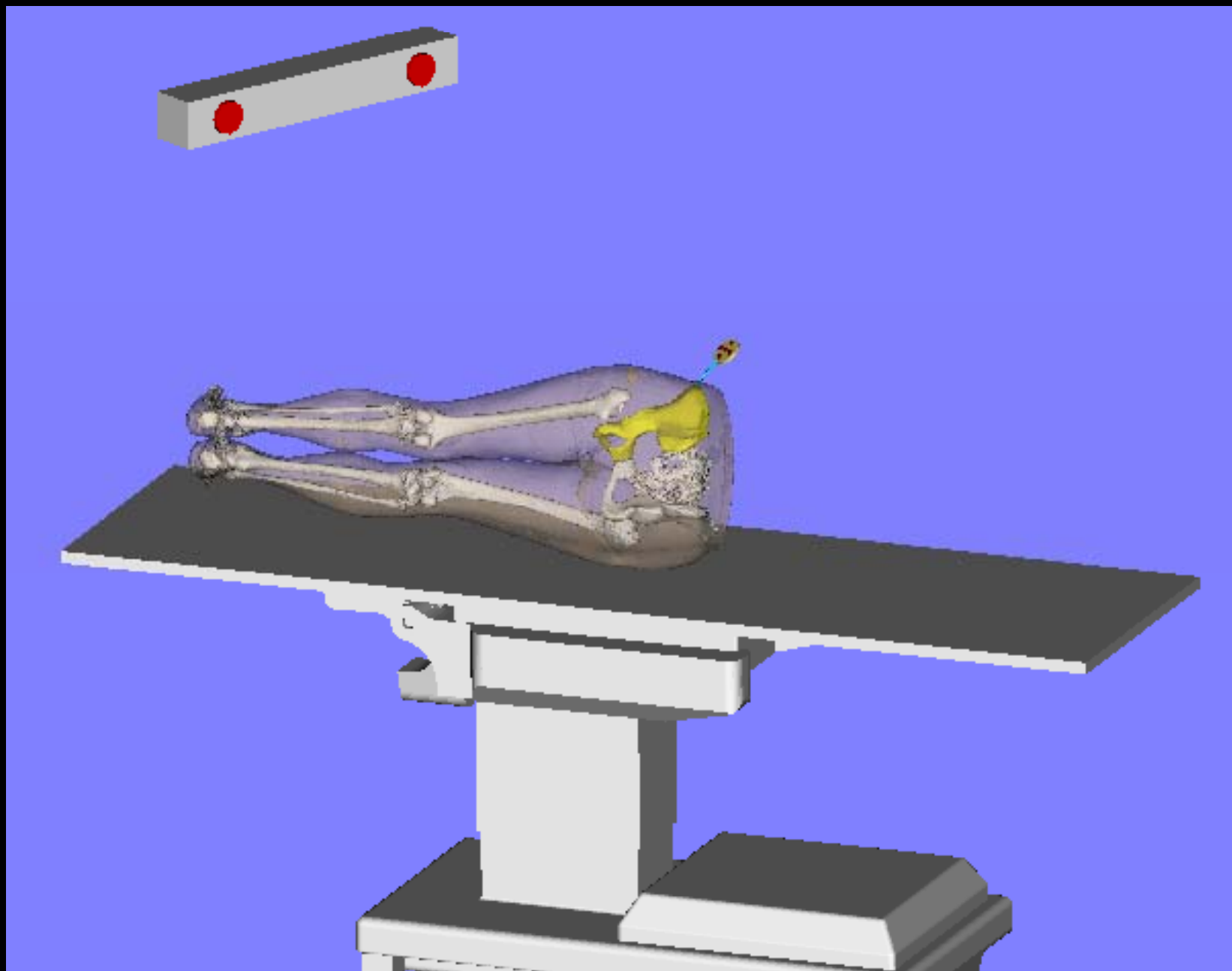








Registration (実像とコンピュータモデルの位置合わせ) が必要



# Registration (位置合わせ)

1) Paired point matching

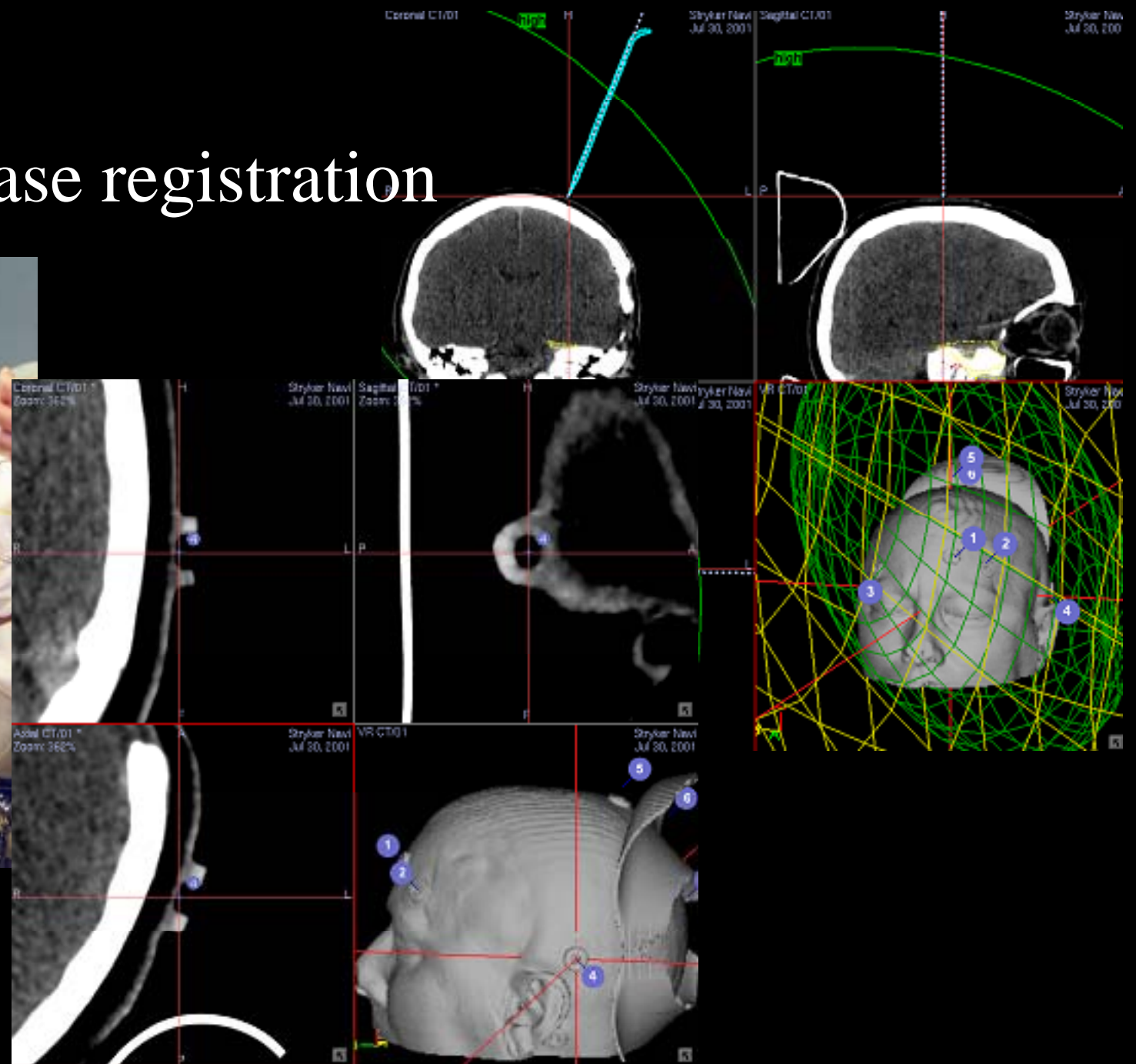
None-Fiducial markers

Fiducial markers

2) Surface geometry matching

3) 2D3D x-ray

# 1) Fiducial base registration

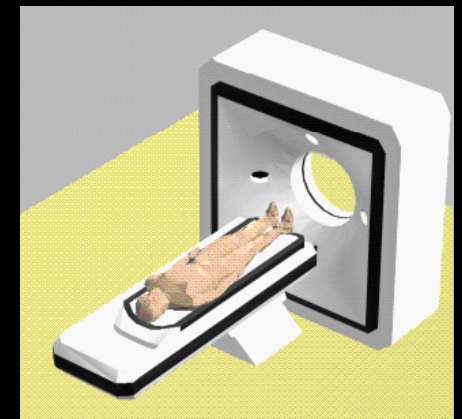


# Registration using fiducial markers



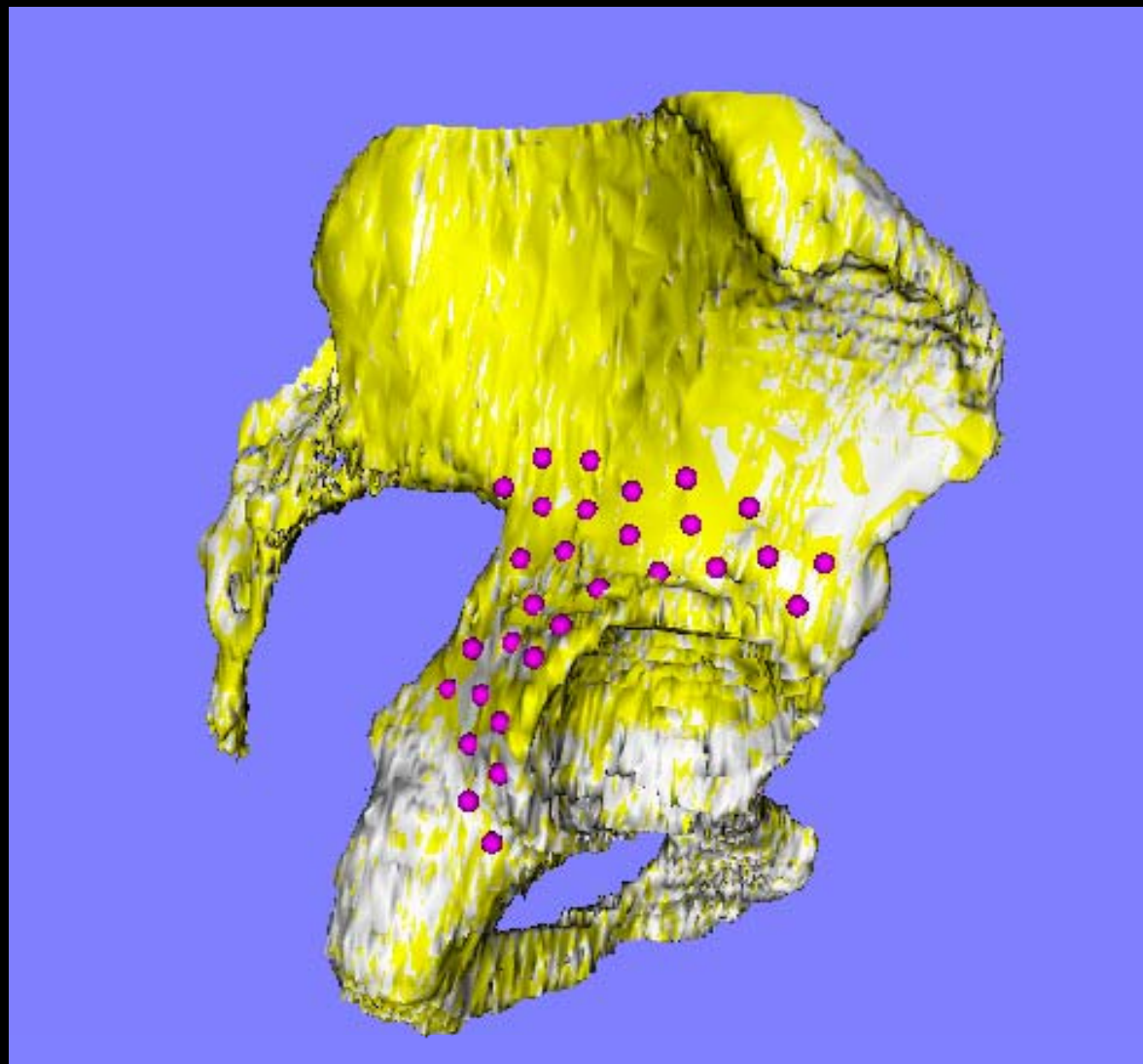
Greater Trochanter

Lateral epicondyle



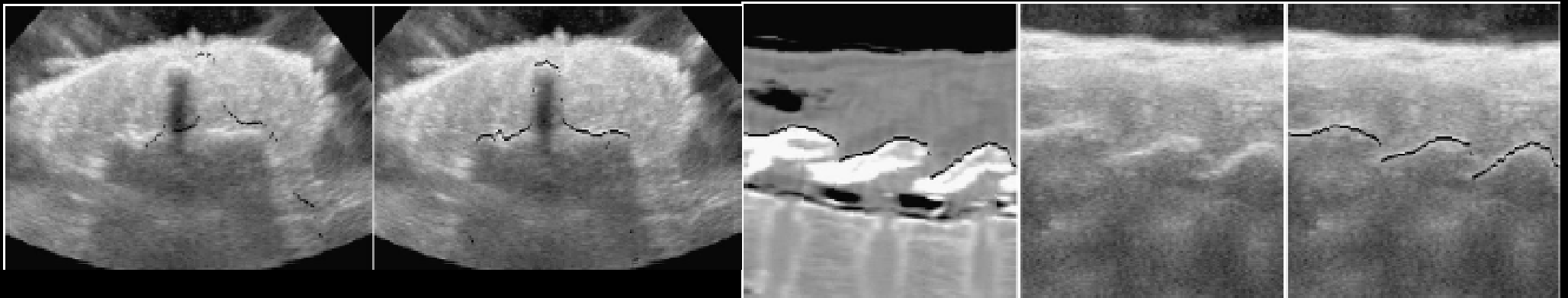
⇒ CTscan

## 2) Shape-based registration



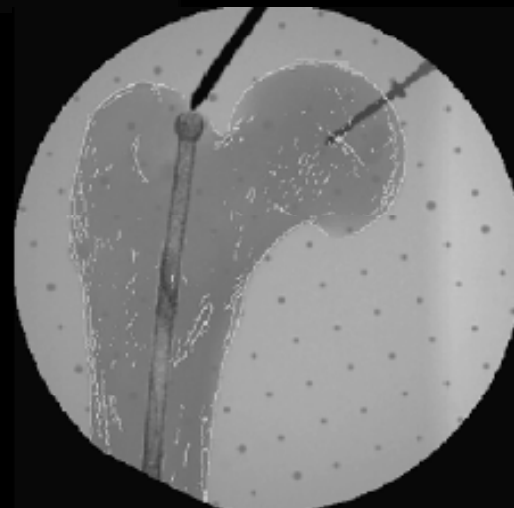
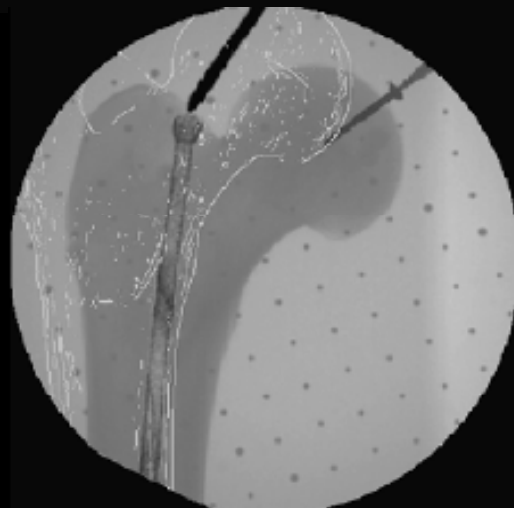
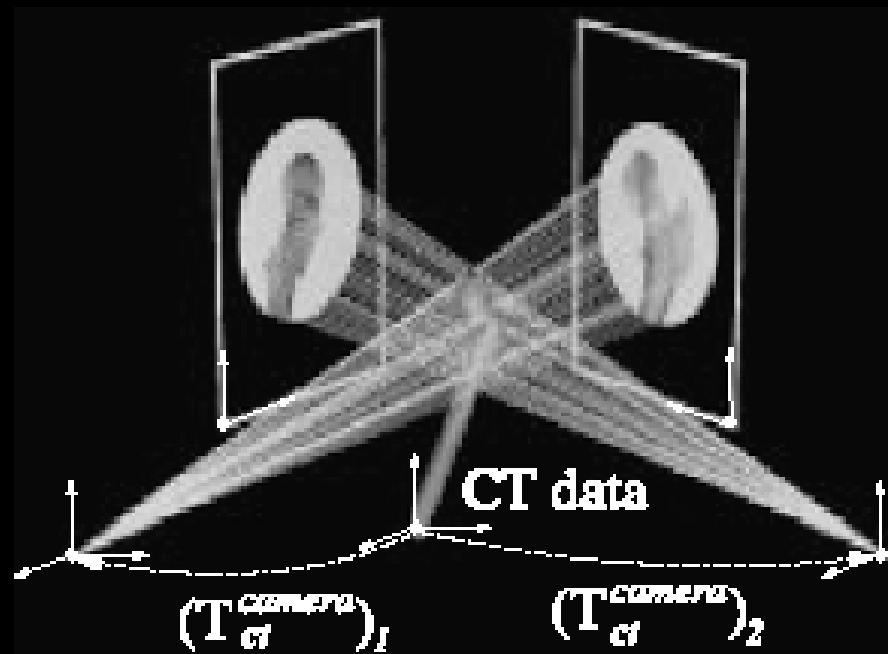
# Surface Data Collectionの課題

- ProbingのためのExposure
  - Percutaneous?
  - US Echogram?



- Probingの際のHuman Error
  - Instruction? Automatic Approach?
- Probingの時間

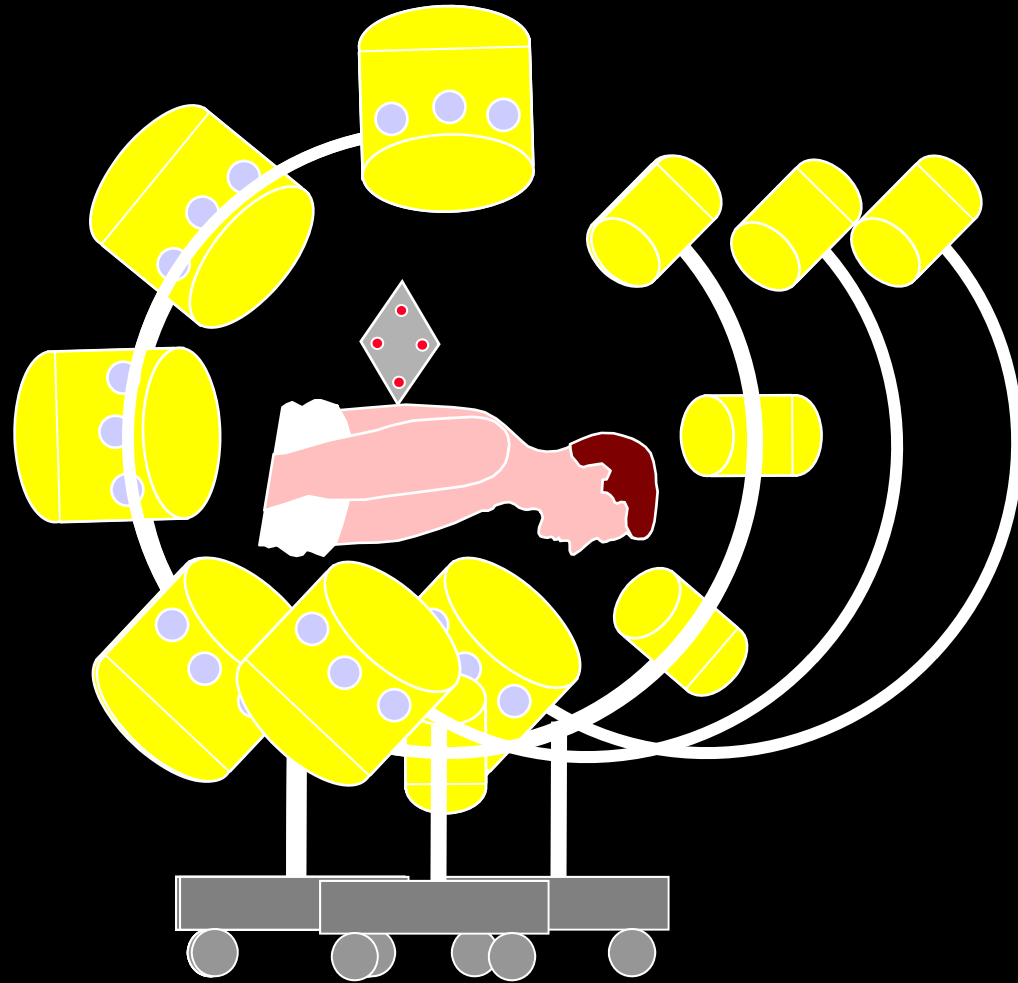
### 3) 2D/3D registration



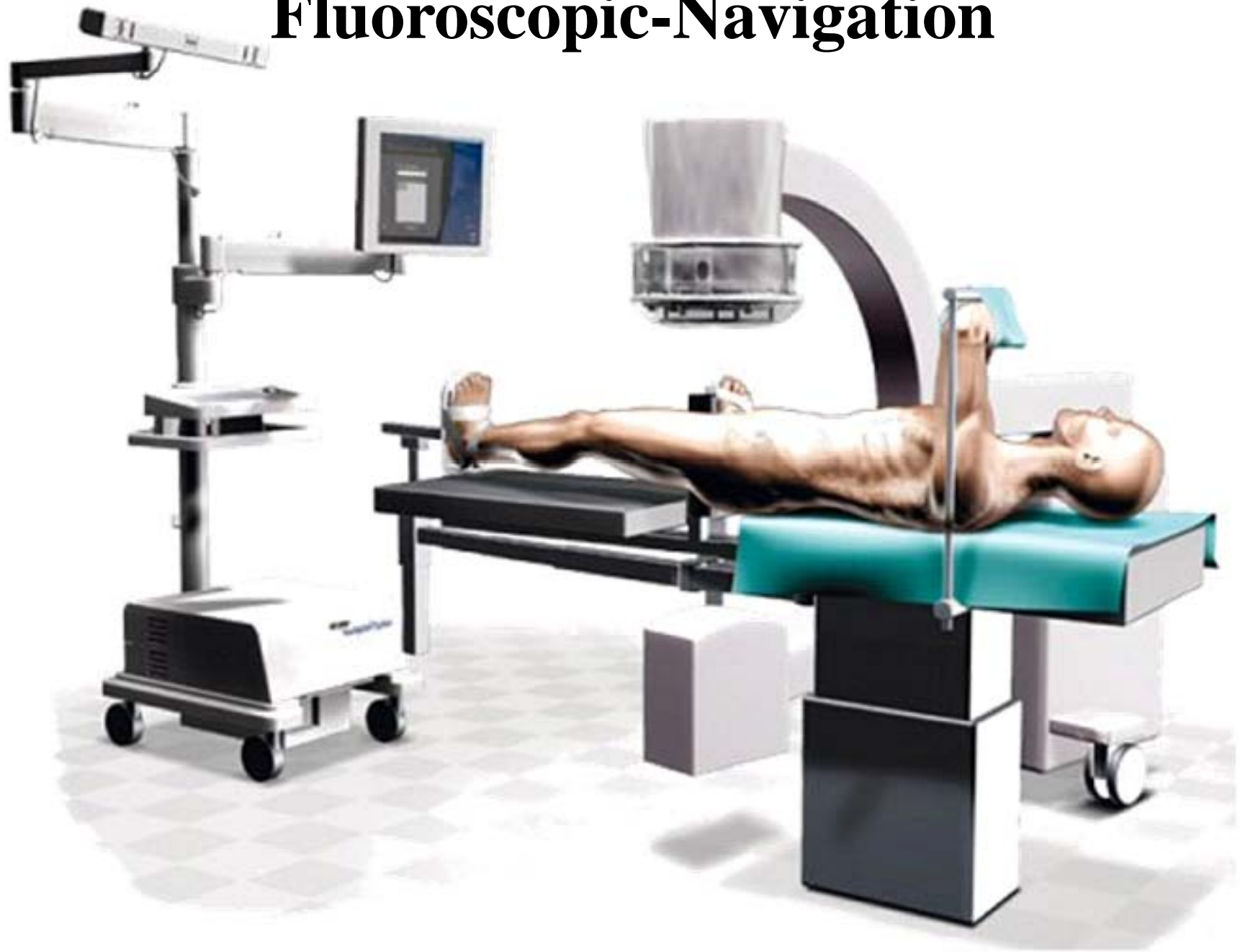


# Concept of C-arm Navigation

- **Attachment of reference base to surgical object**
- **Move C-arm into situs**
- **Acquire 1,2,...n images**
- **Move C-arm out of situs**
- **Automatic download & correction of images to/in workstation**

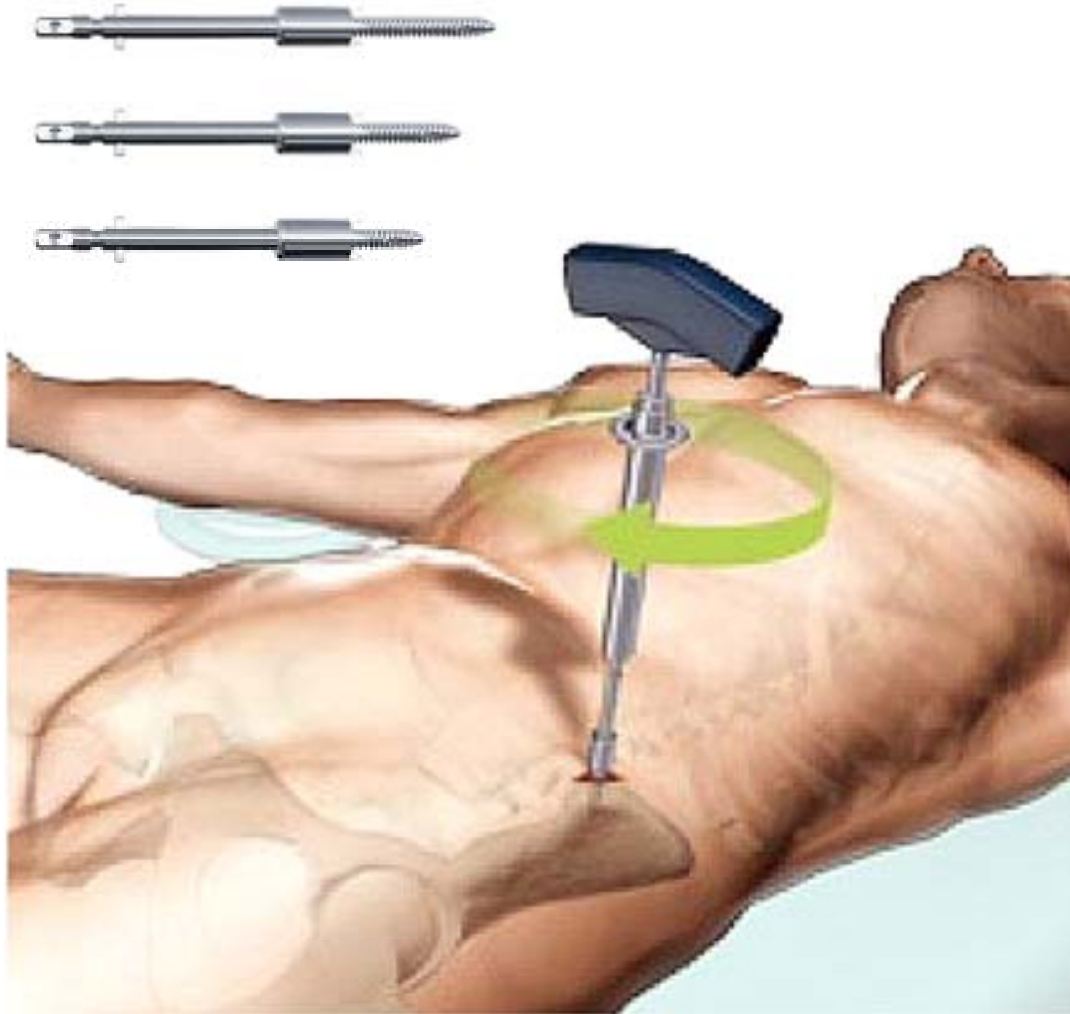


# Fluoroscopic-Navigation



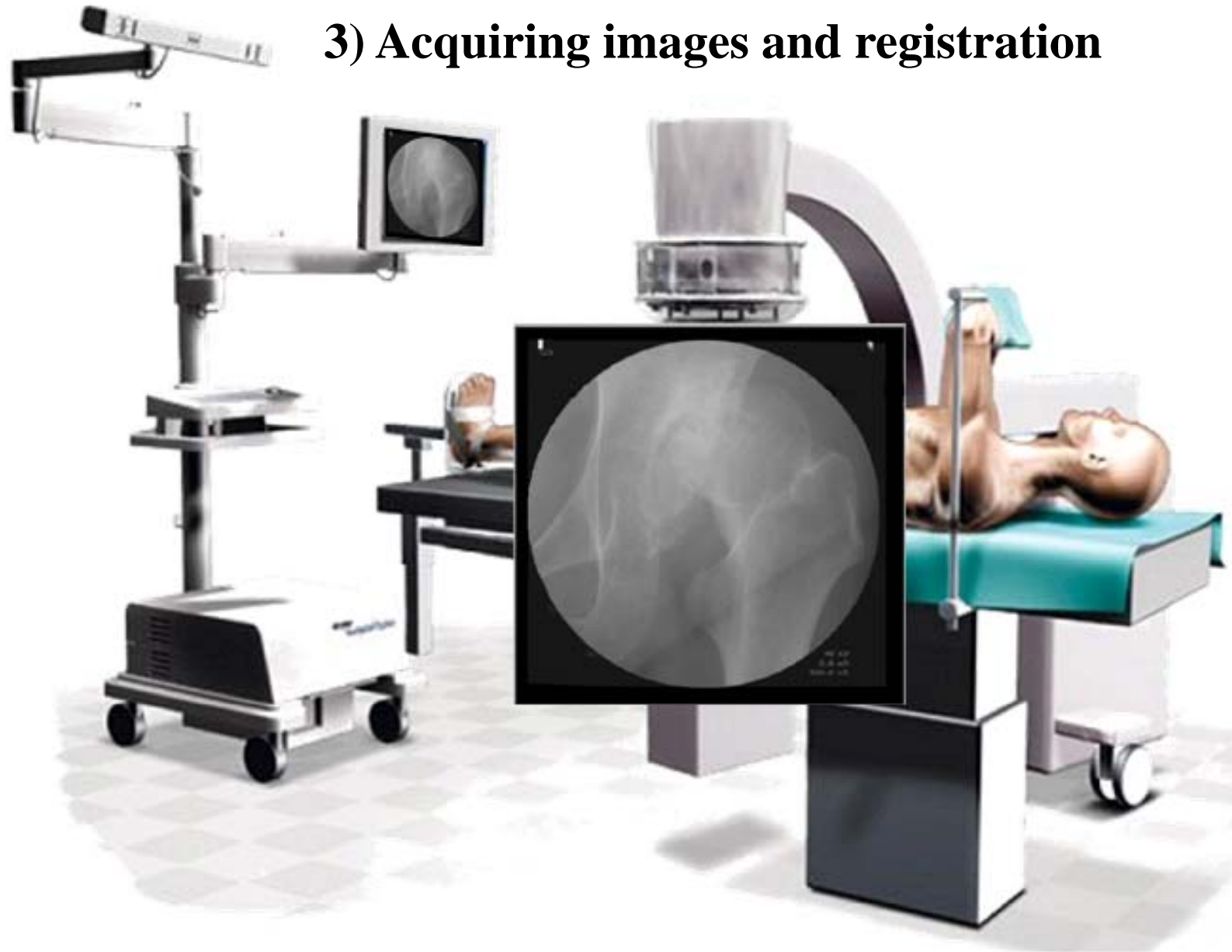
# Fluoroscopic-Navigation

1) Anchoring pin mounted into the bone 2) Tracker mounted into the pin



# Fluoroscopic-Navigation

## 3) Acquiring images and registration

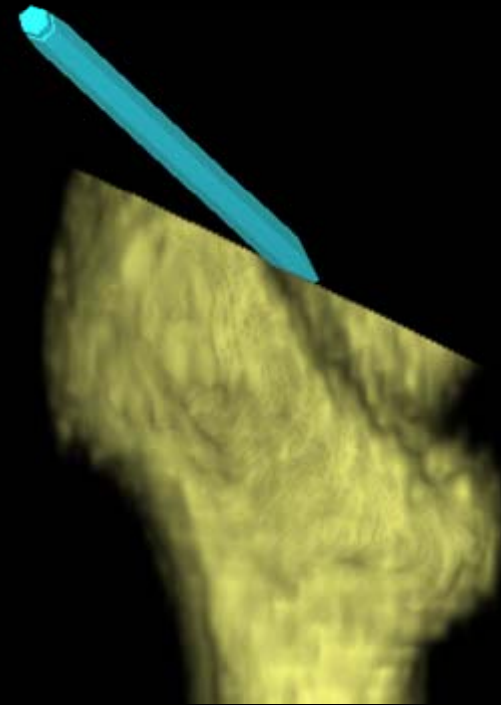


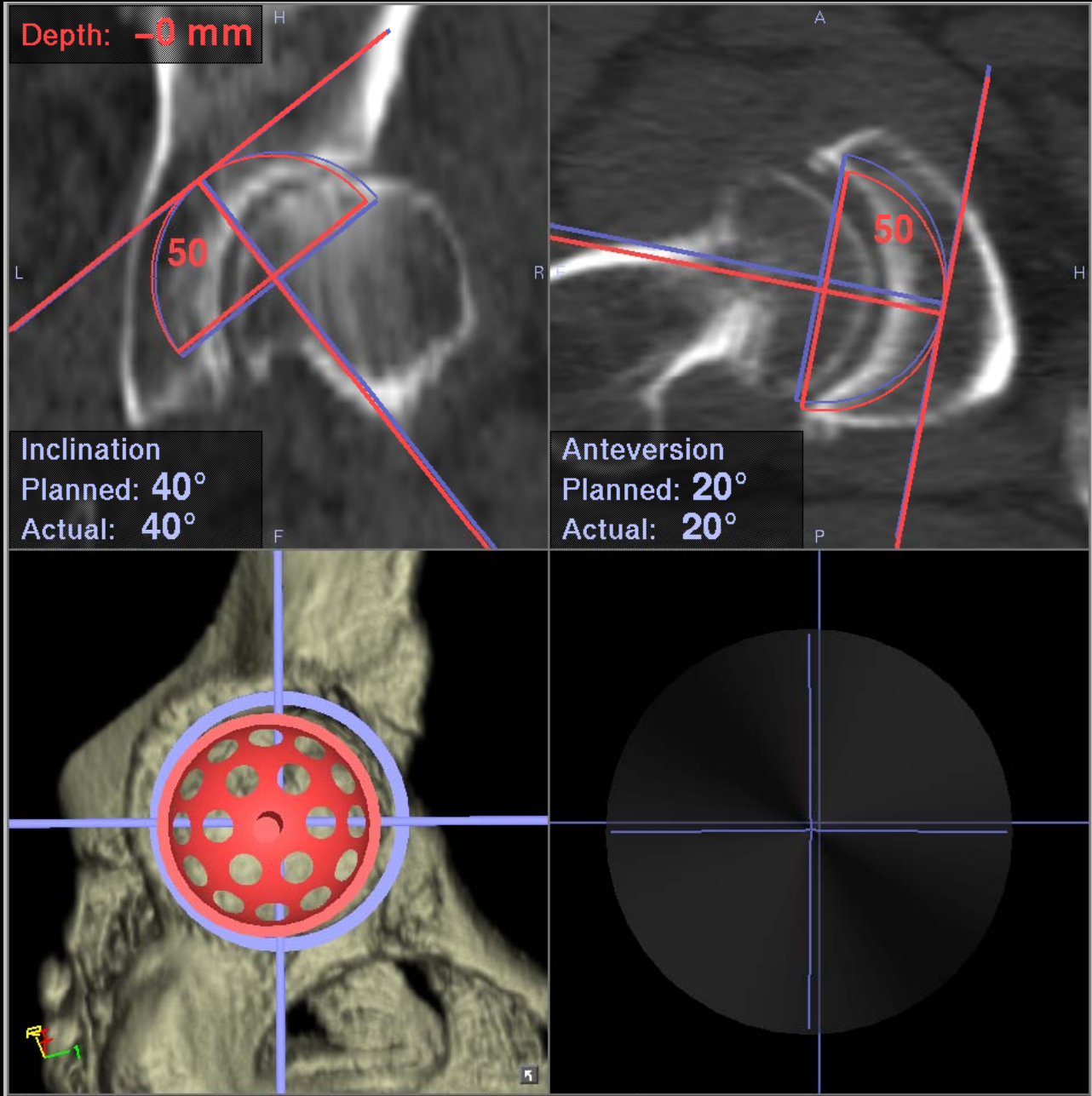


# MIS Meets CAOS



# Femoral Neck Osteotomy





## Reaming

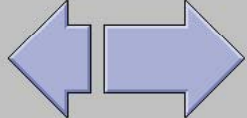
Trident PSL HA Cluster  
Planned Size: 52

Leg Lengthening (mm)

	Actual	Planned
Acetab.:	0	0
Total:	--	6

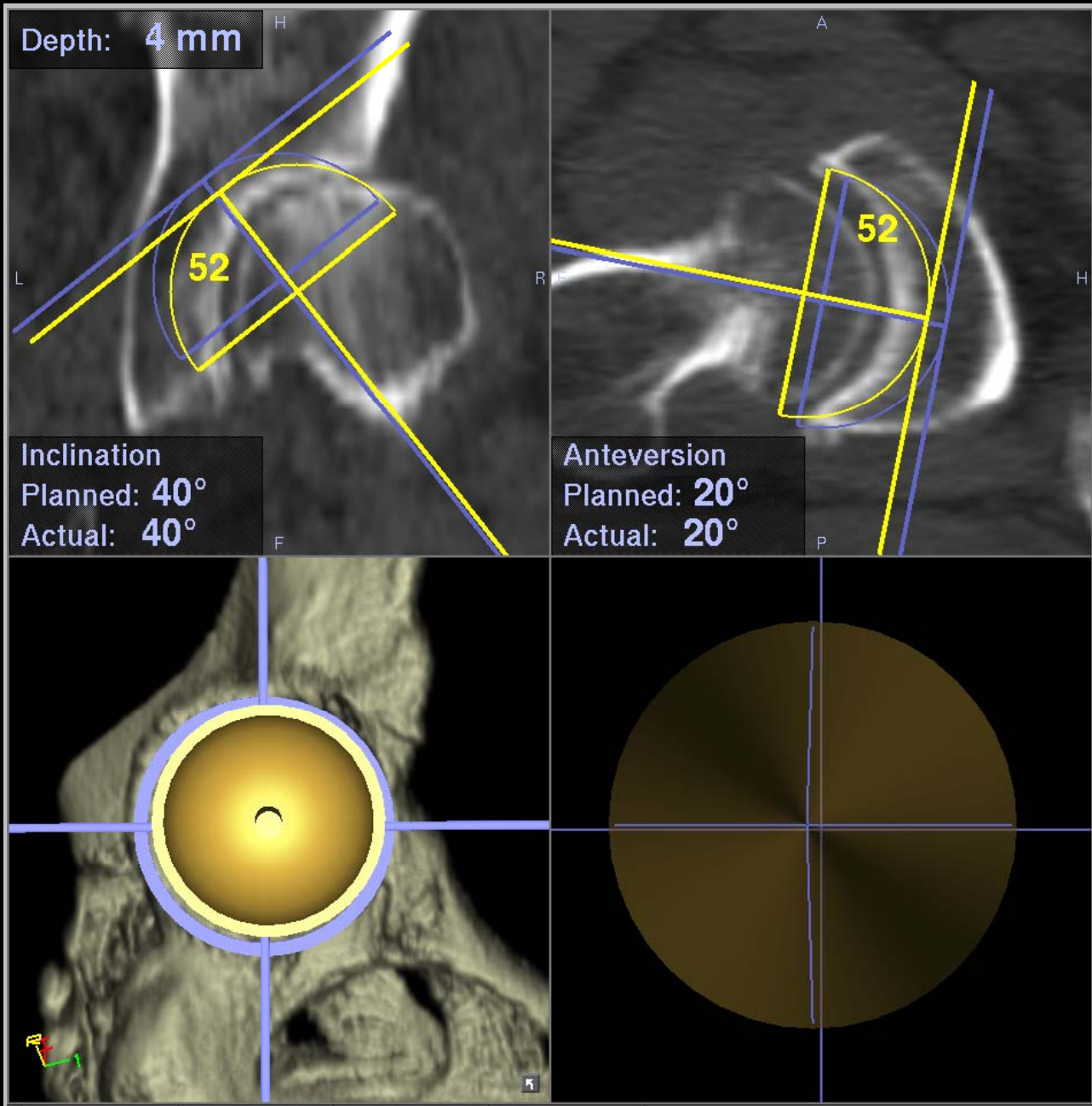
Leg Lateralization (mm)

	Actual	Planned
Acetab.:	-14	-13
Total:	--	-10









Pelvis    Femur    Instrument    Pointer

### Cup Placement

Trident PSL HA Cluster  
Planned Size: 52

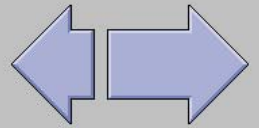
Cup Size **52**

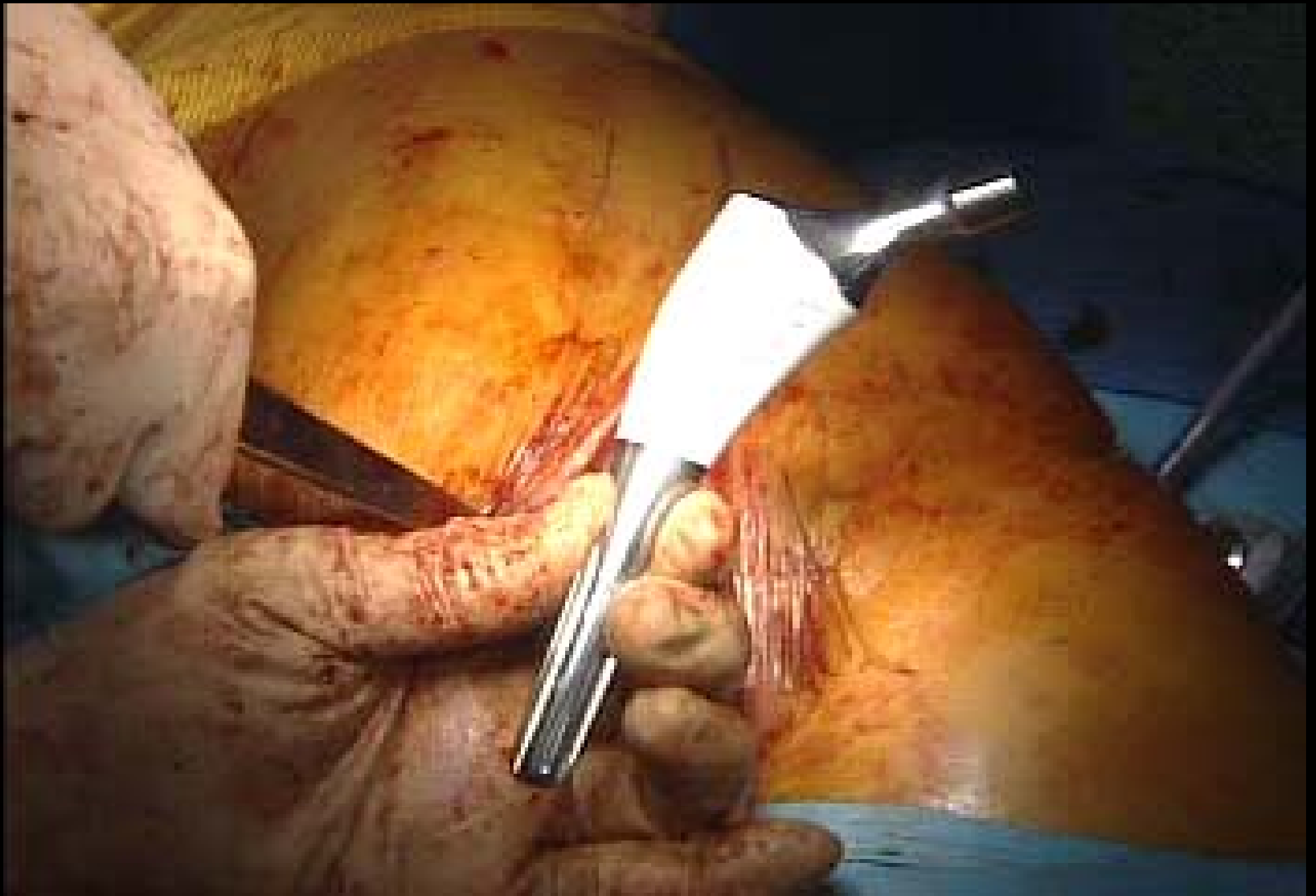
Leg Lengthening (mm)

	Actual	Planned
Acetab.:	1	0
Total:	--	6

Leg Lateralization (mm)

	Actual	Planned
Acetab.:	-9	-13
Total:	--	-10





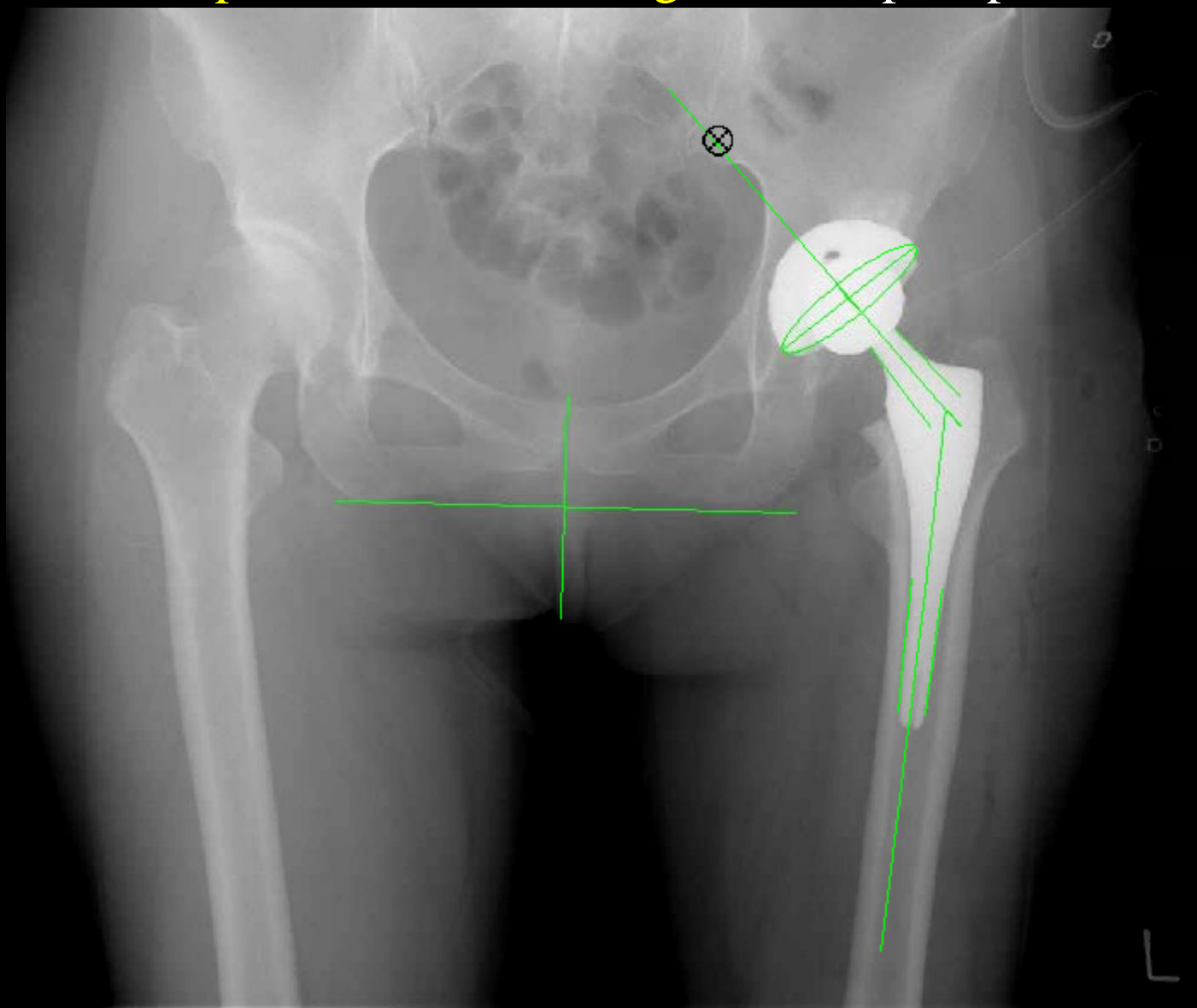
Functional tilt 8 deg

Navi Cup Abduction 40 deg

Navi Cup Anteversion 22 deg

Postop Cup Abduction 40 deg

Postop Cup Anteversion 19 deg



右側 左側 製品情報

人工関節可動範囲( $\theta$ )	135
ステムネック角度(TNSA)	125

カップ開  前  後  なし      ステム捻  前  後

CTから得られたデータを直接入力

カップ開角( $\beta$ CT)	
ネック前捻角(B CT)	

明るさ + -    コントラスト + -    R

抽画計測

<input type="checkbox"/> 盤底部	<input type="checkbox"/> ステム	<input type="checkbox"/> ネック	<input type="checkbox"/> カップ	<input type="checkbox"/> ヘッド
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

中心線    中心線

可動域計算結果

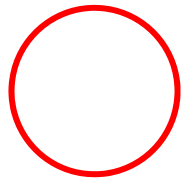
屈曲	140.718	伸展	37.643
外旋	45.493	90内旋	58.556

設置角

ALPHA	39.763	BETA	12.089
W	5.271	B	38.216
apNSA	132.124		

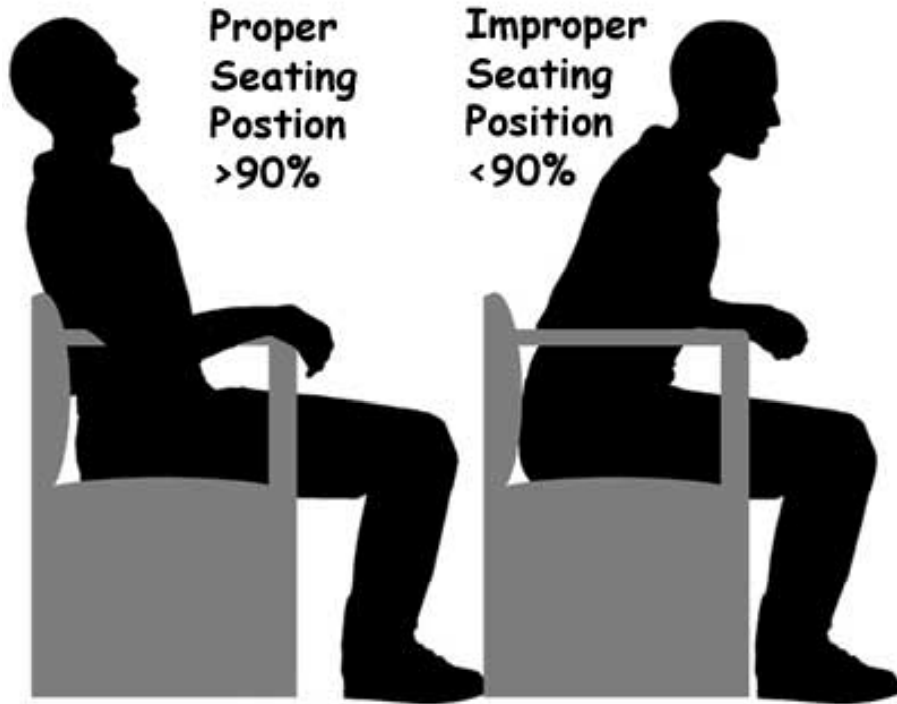
計算

# THA後の動作制限

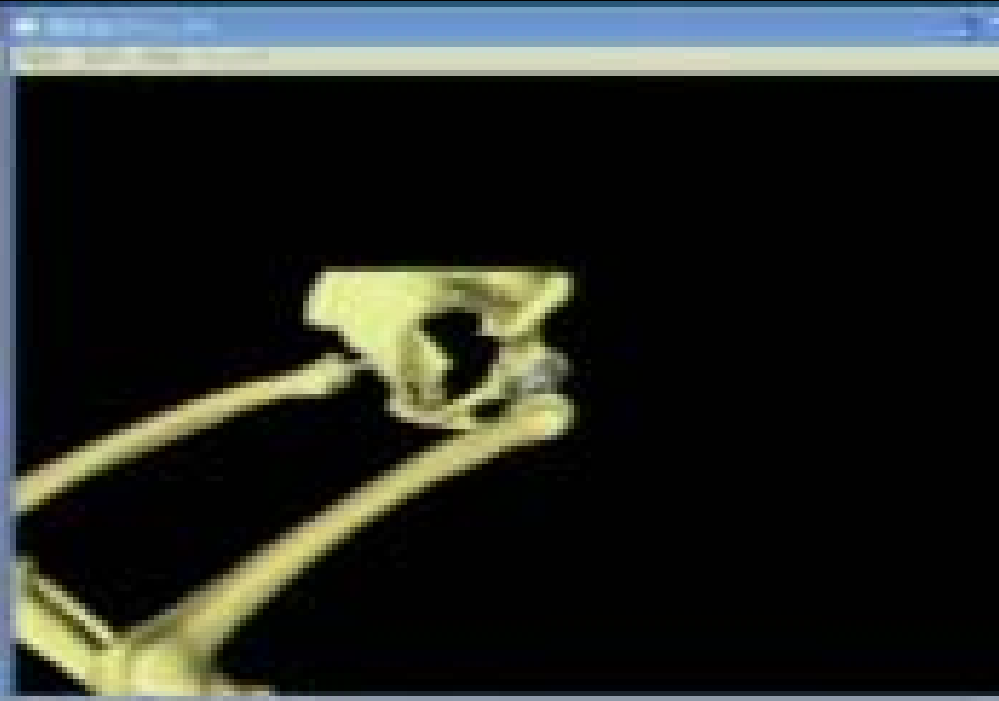


Socks Aid

Reacher



身体障害者の社会復帰？

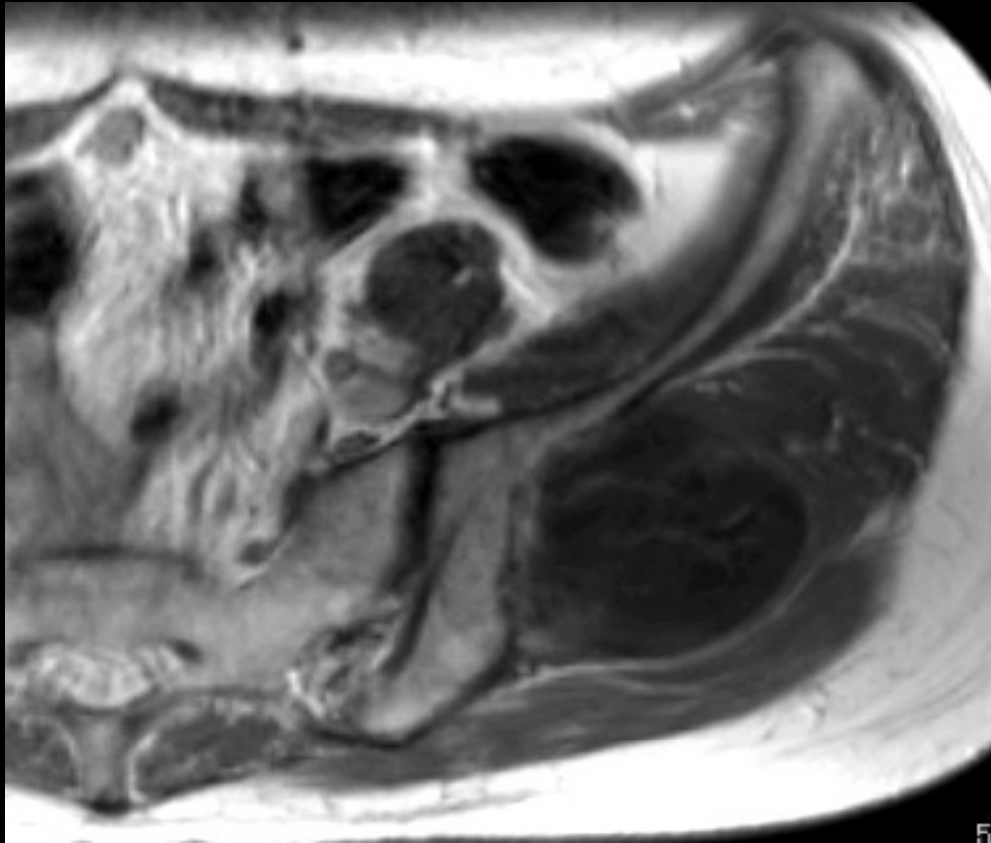




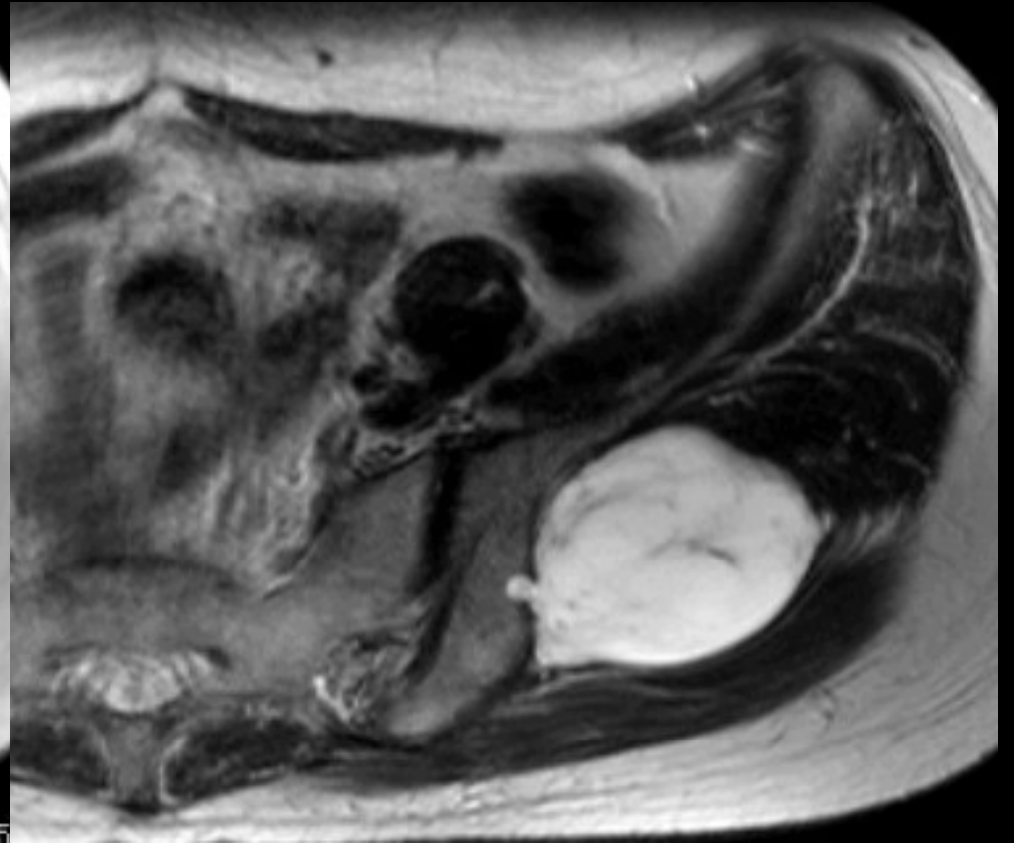
**Extraosseous Chondrosarcoma**

**63 y.o. female**

50 mm

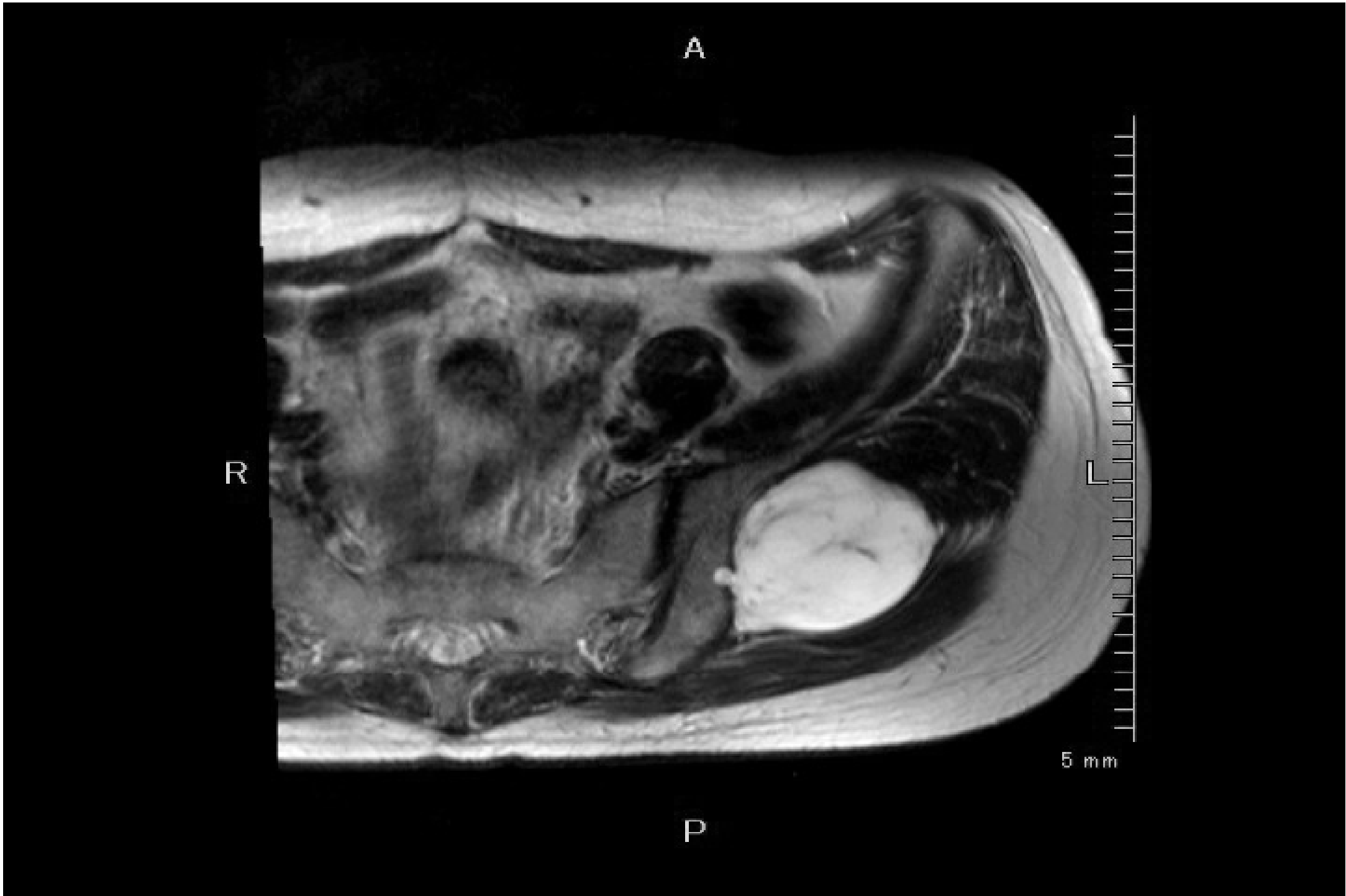


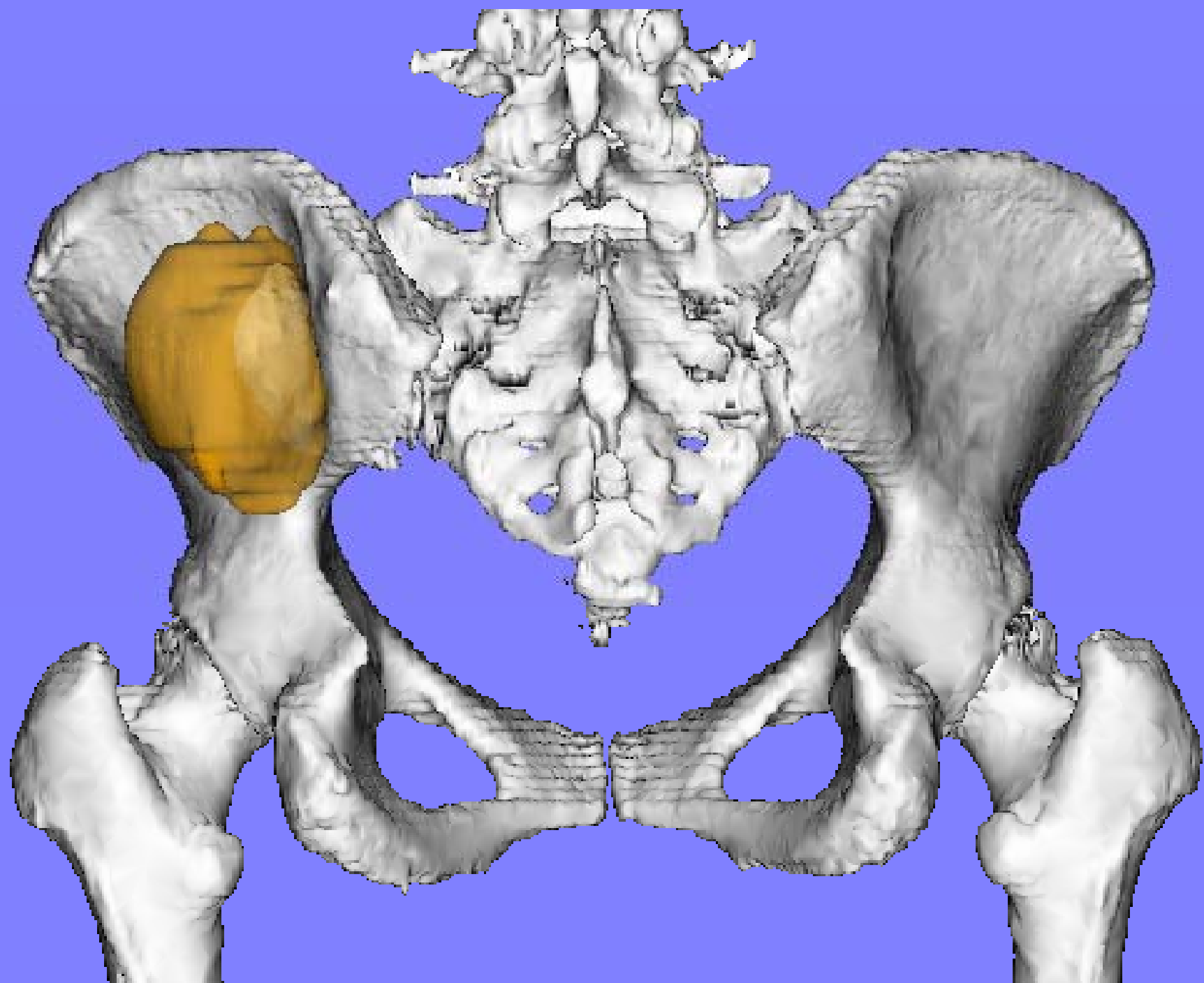
F

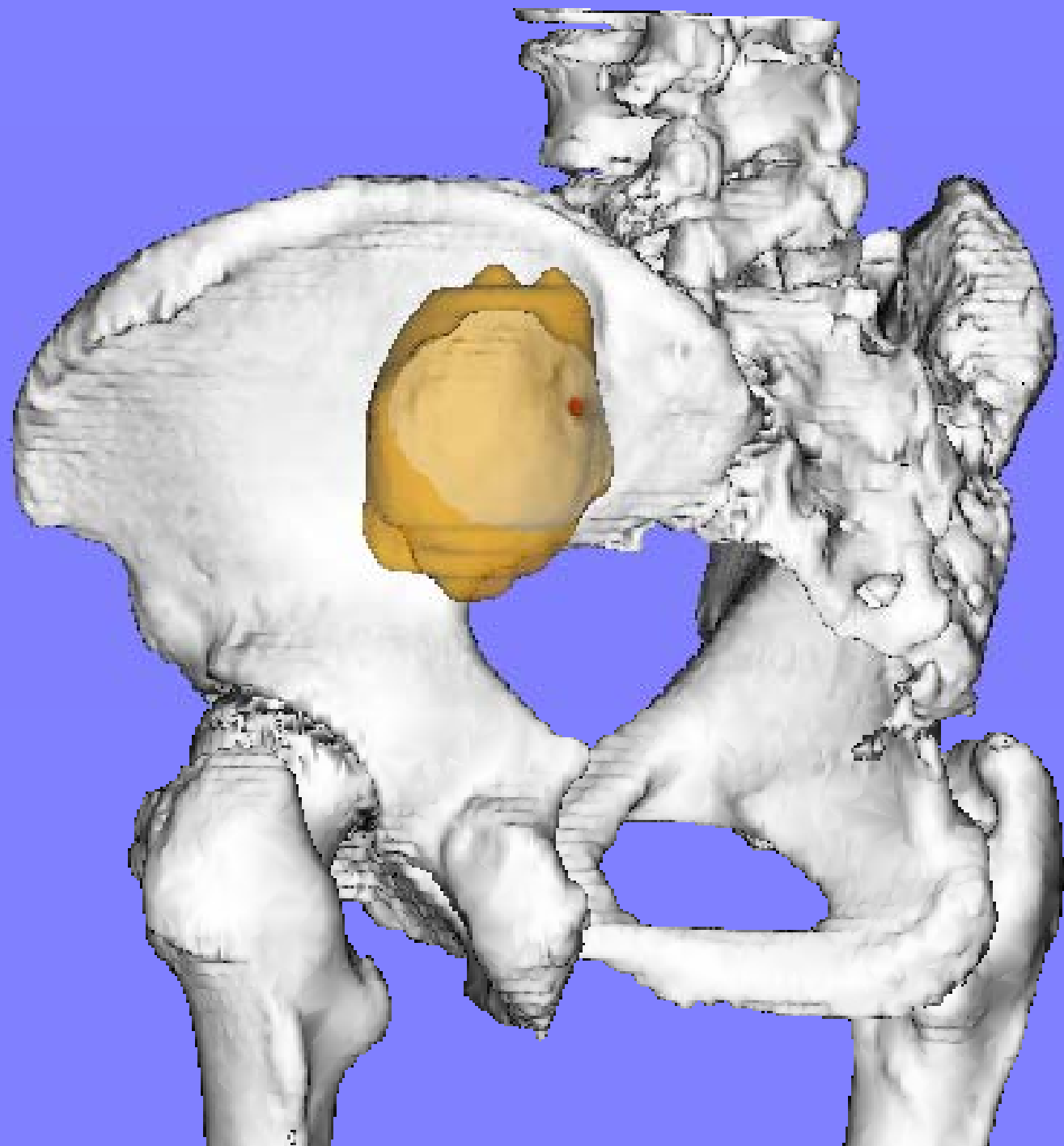


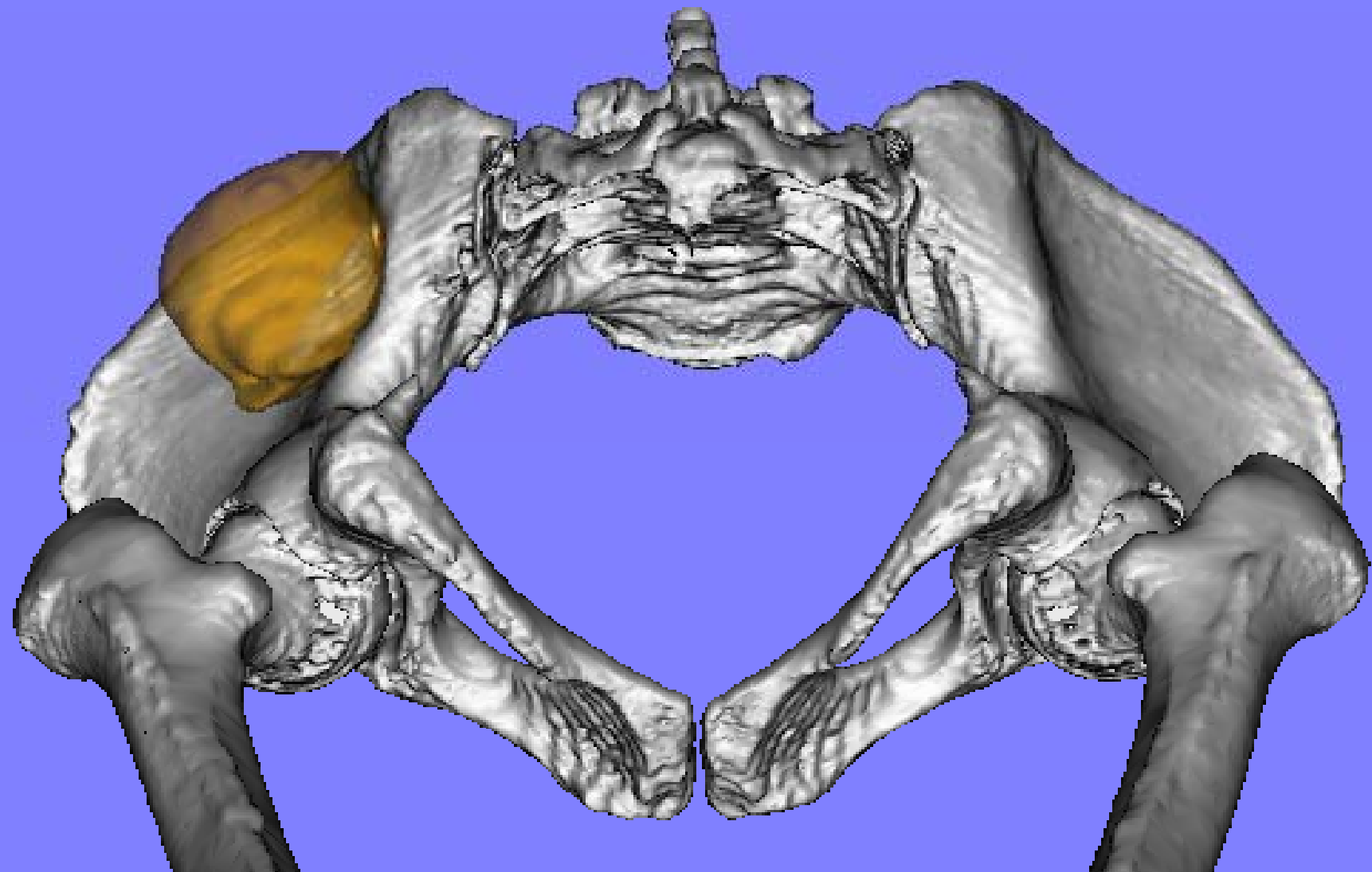


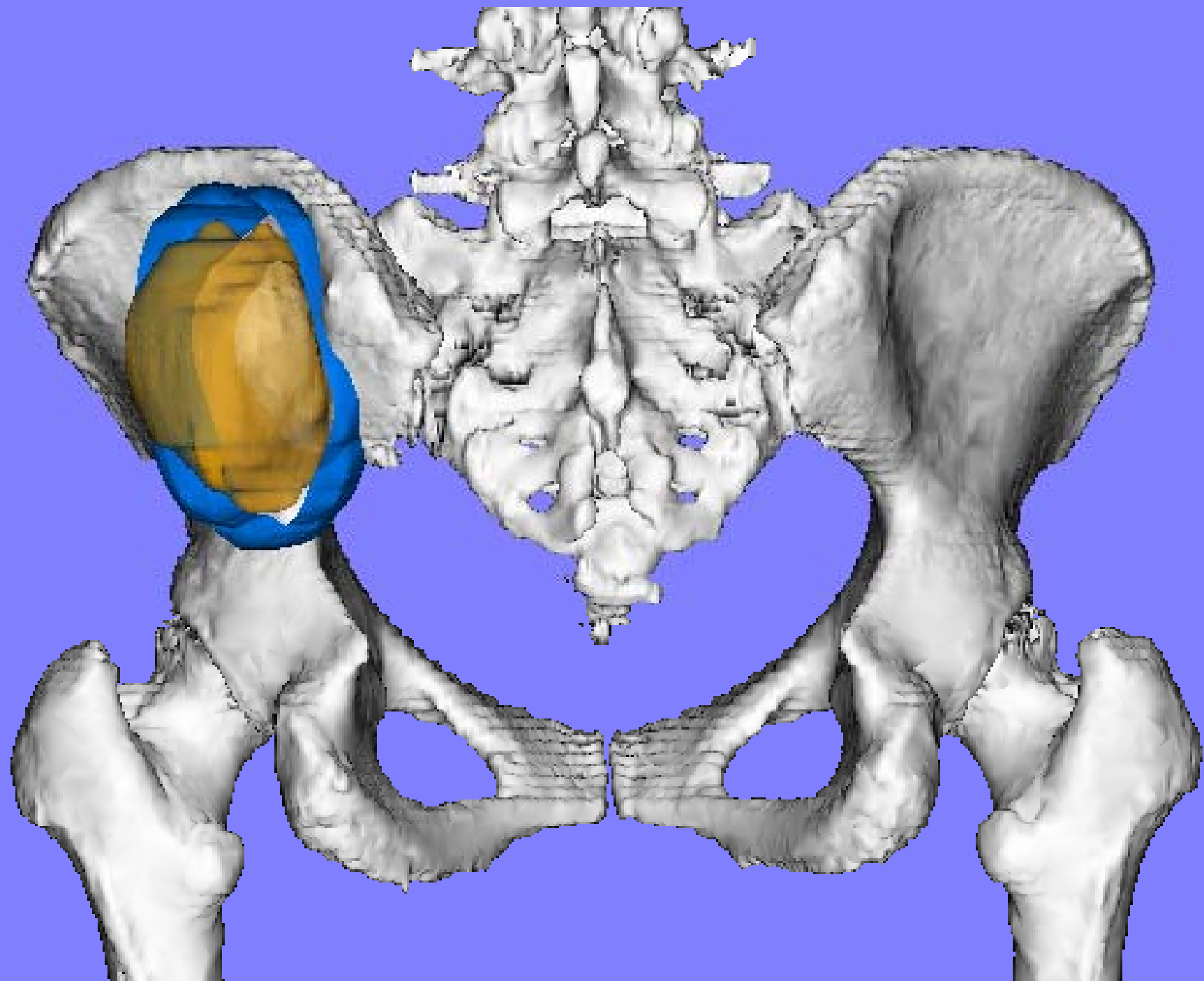


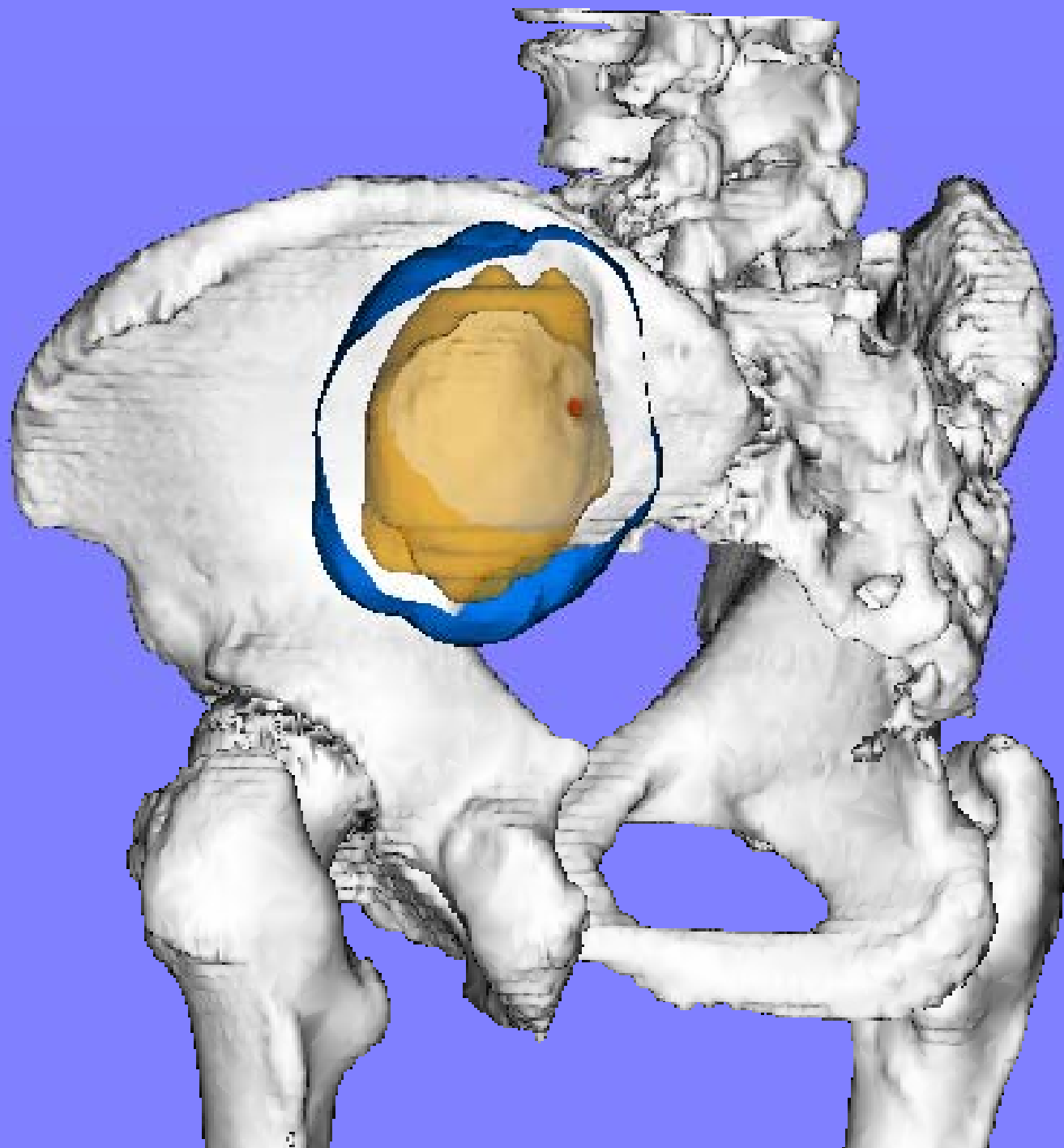


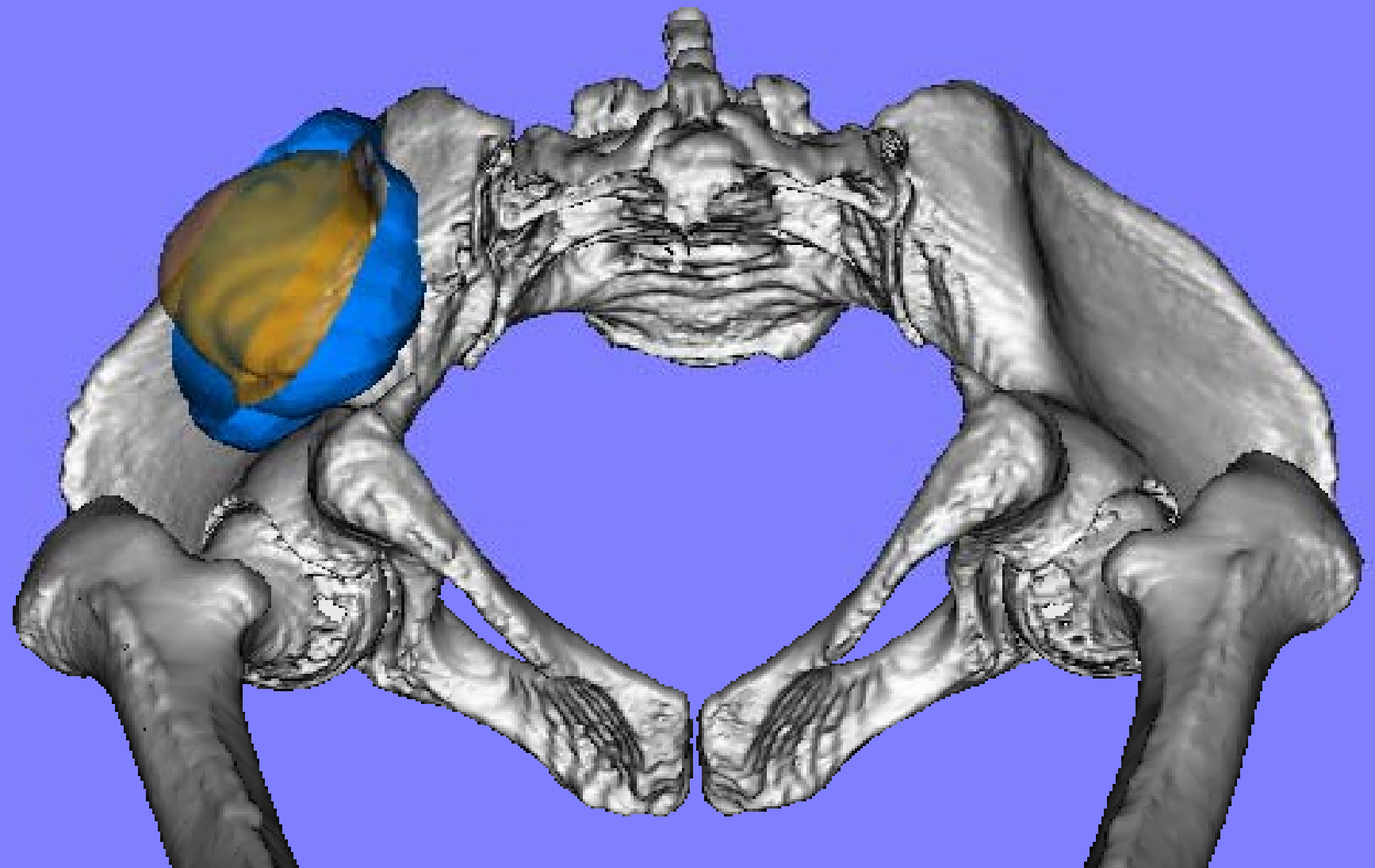




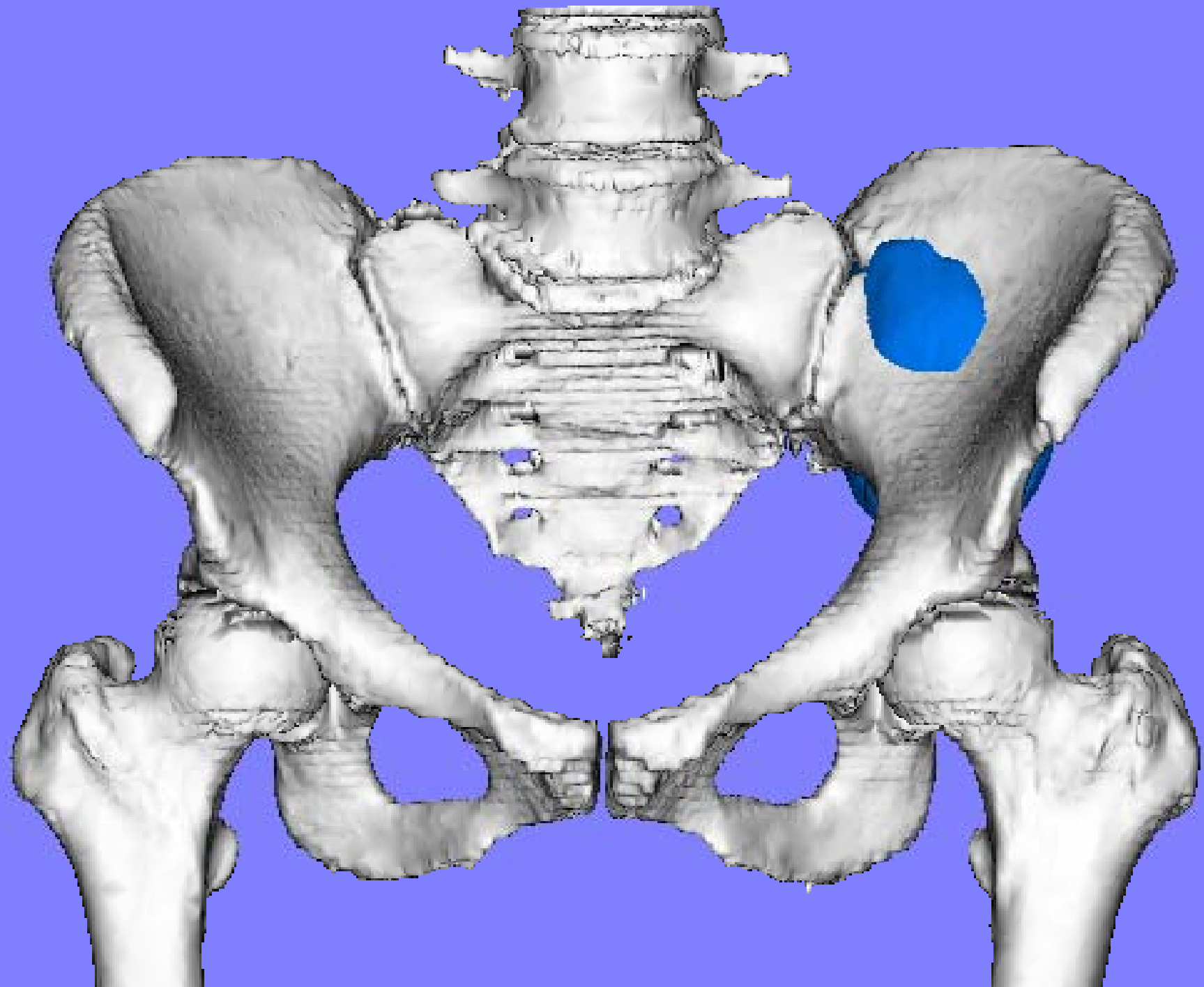


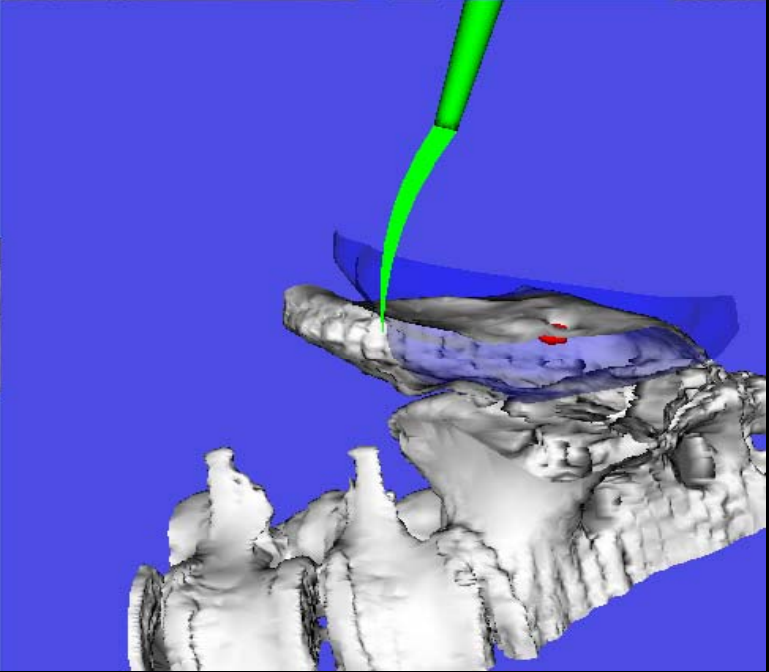
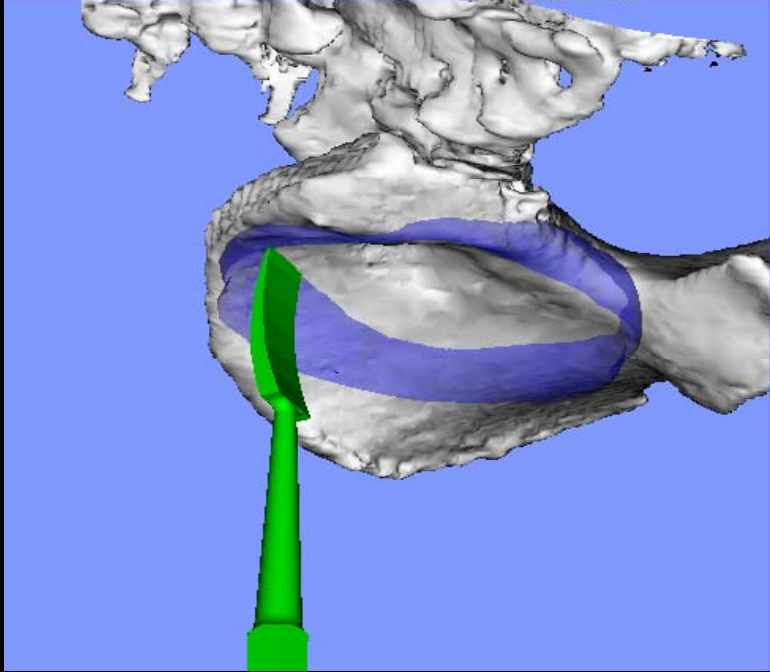
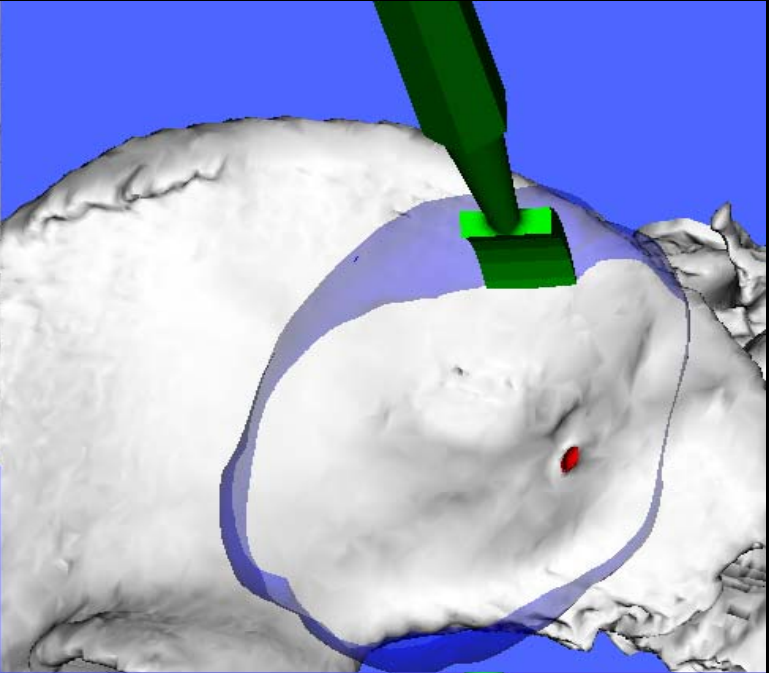
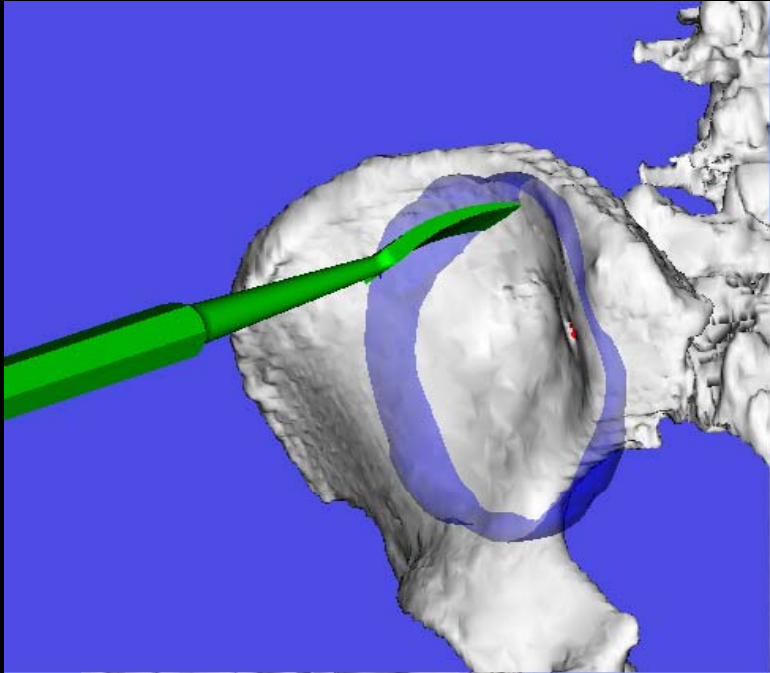














# コンピュータ手術支援システム

- Supervision (三次元画像解析)
- Superbrain手術プランニング  
(シミュレーション)
- Supersensor(ナビゲーション)
- Superhand(手術支援ロボット)



# ロボット内視鏡手術

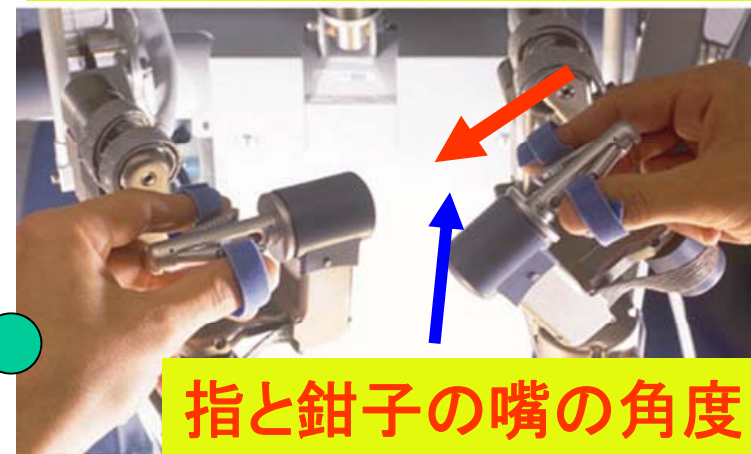
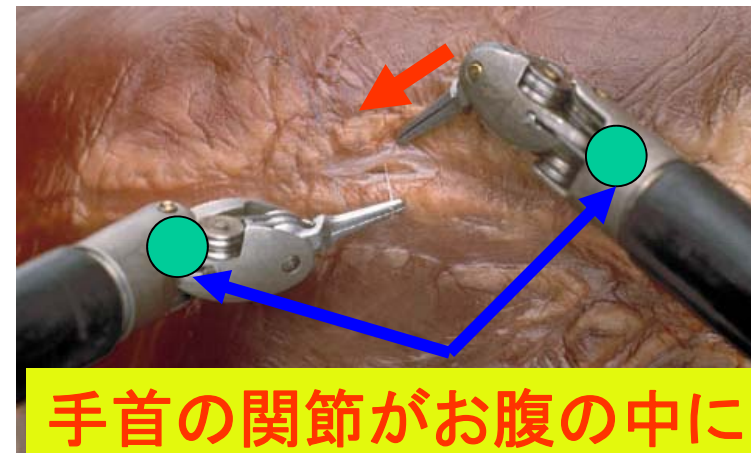


Da Vinci ( Intuitive  
Surgical )

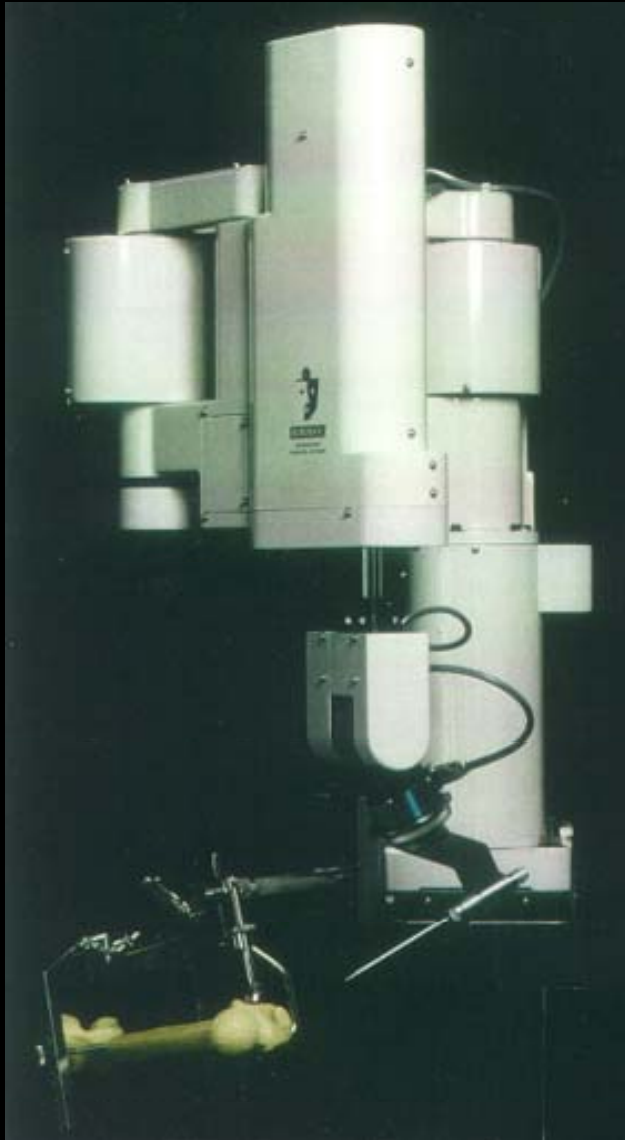
# 術者コンソール

InSite™ Vision System  
3次元画像

術者がより術野に集中可能  
臨場感ある開腹手術感覚



# Active system



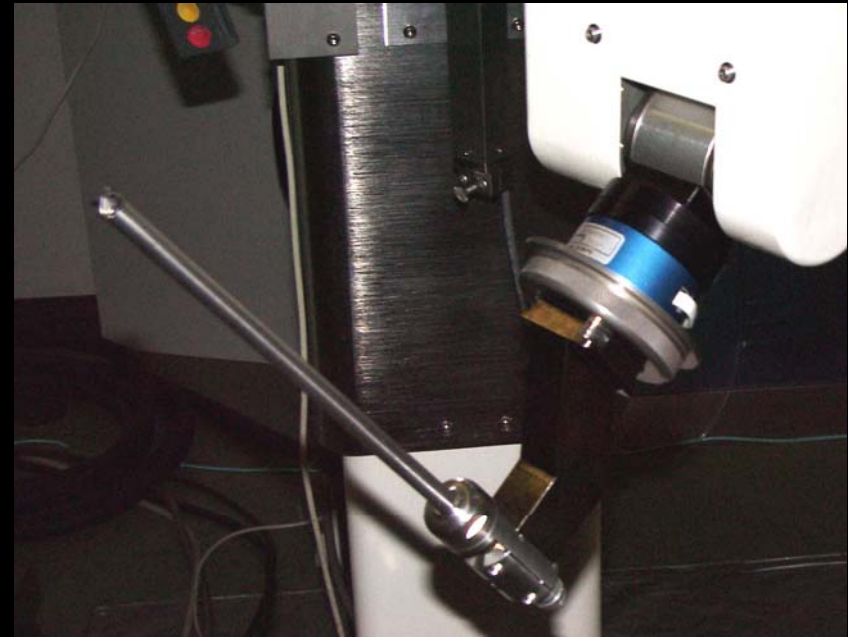
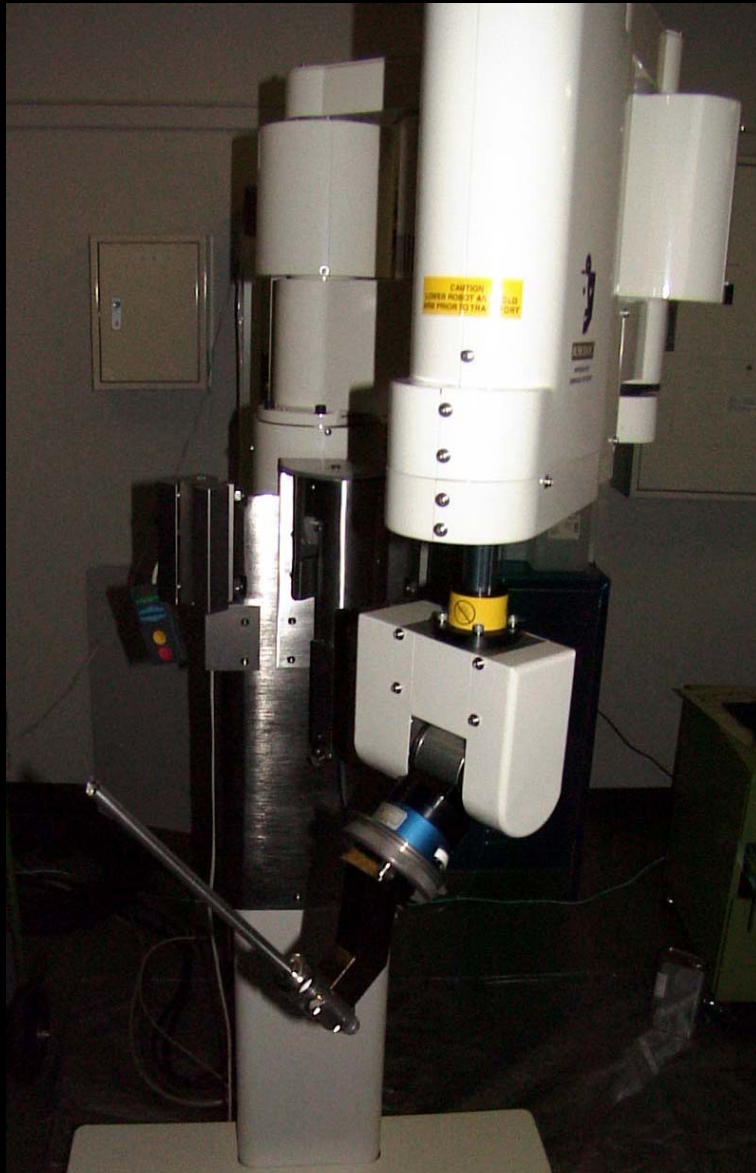
**ROBODOC**



**ORTHODOC**



# ROBODOC





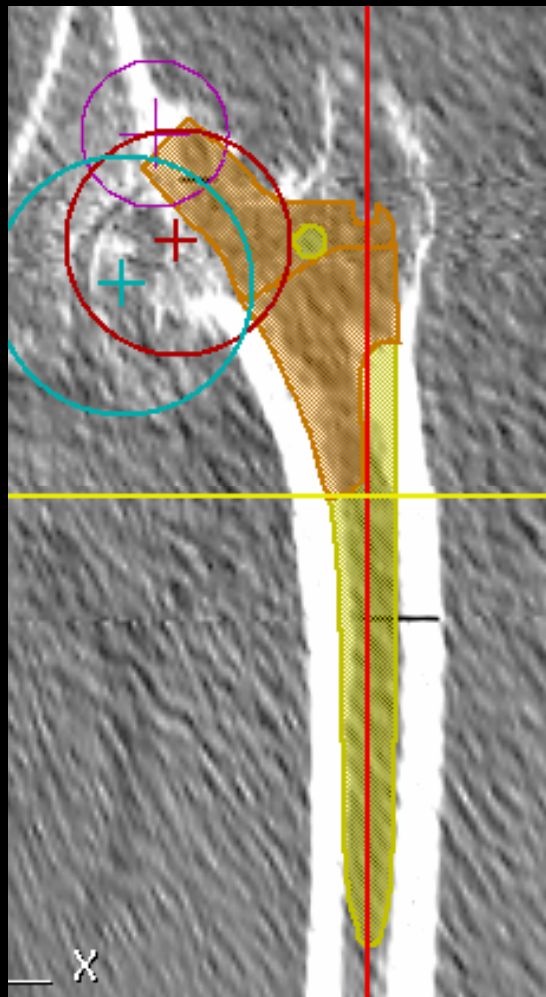
# CAD-CAM Machining in the OR: ROBODOC



# 変形性股関節症（内反骨切り術後）



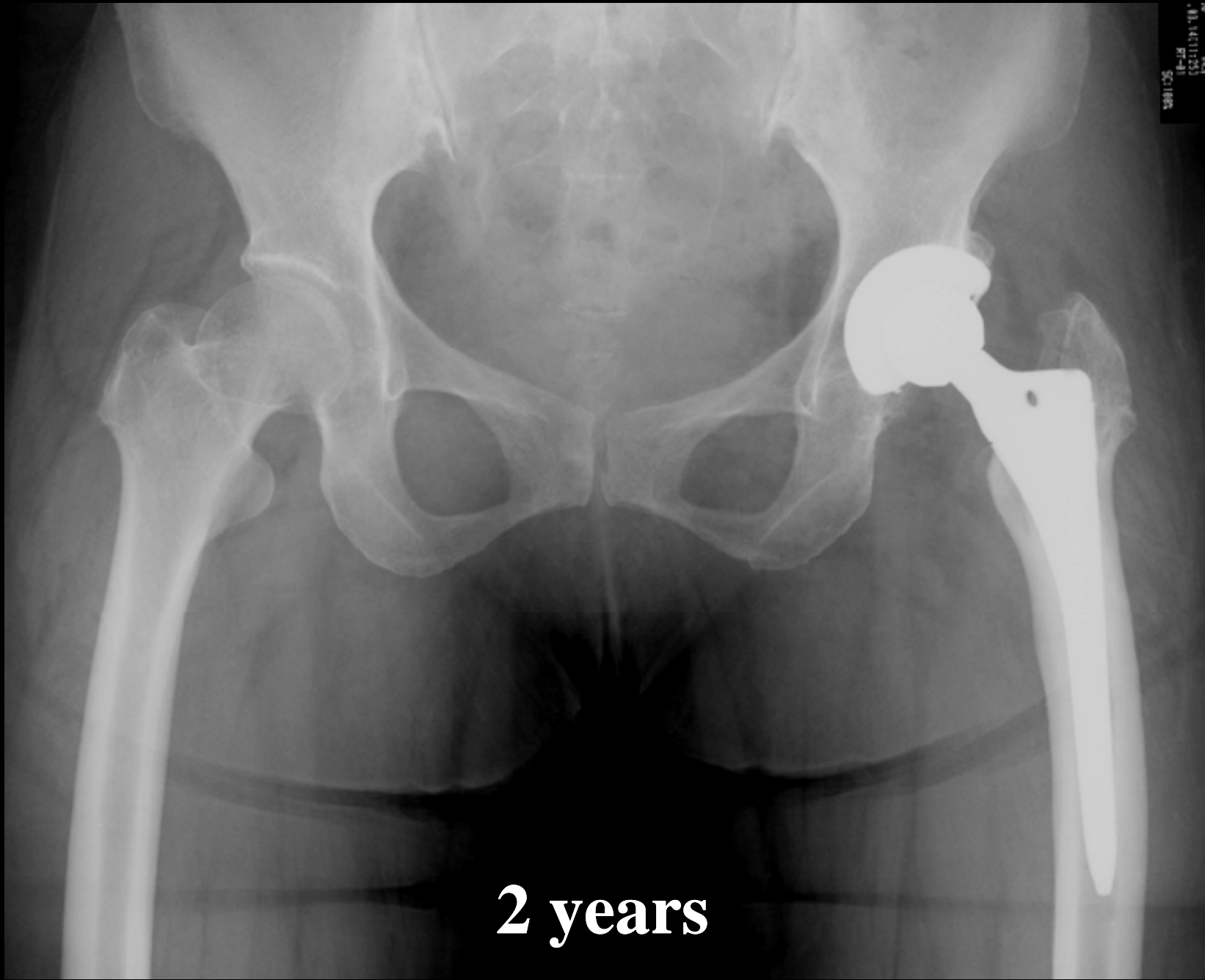
術前



術前計画

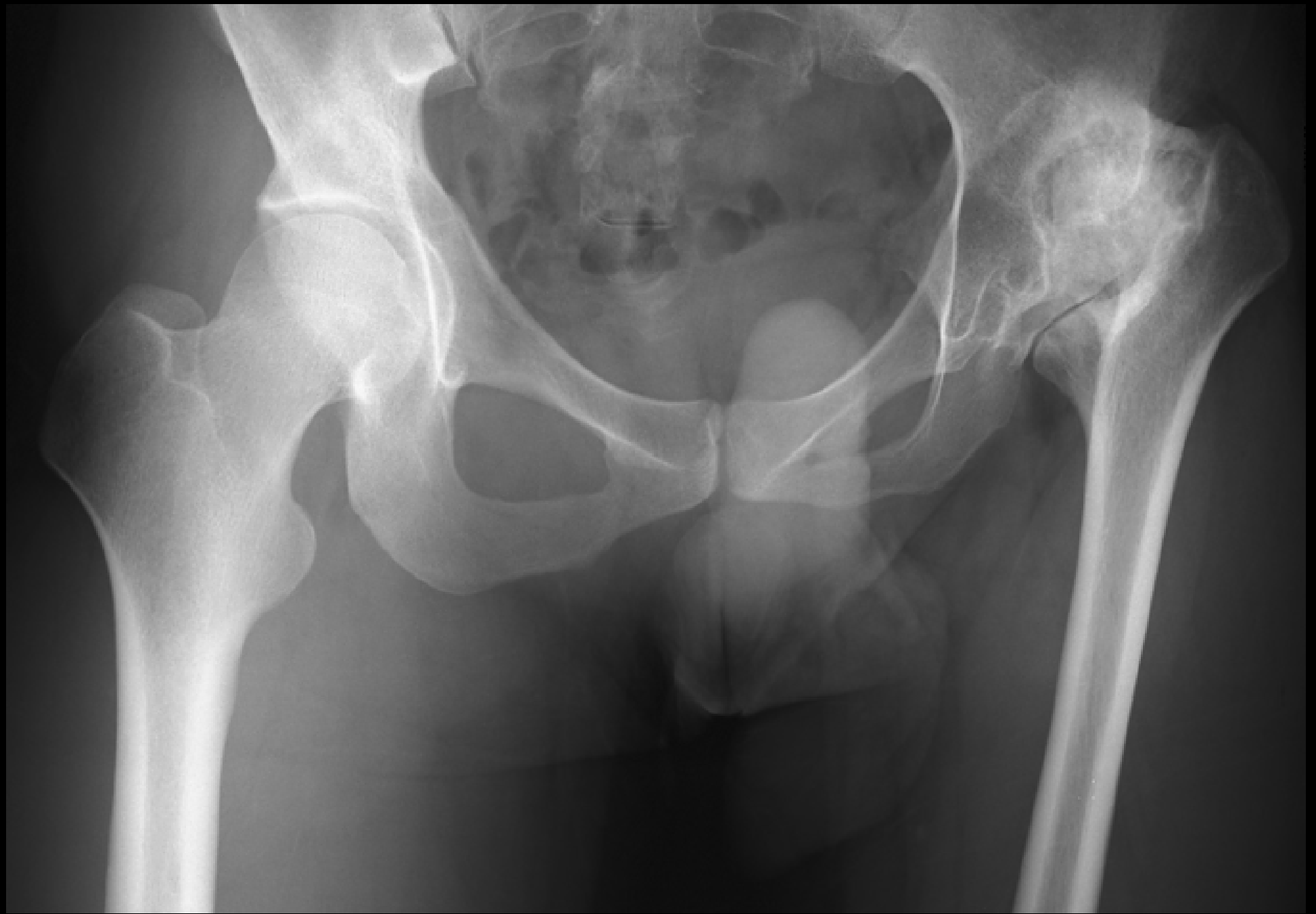


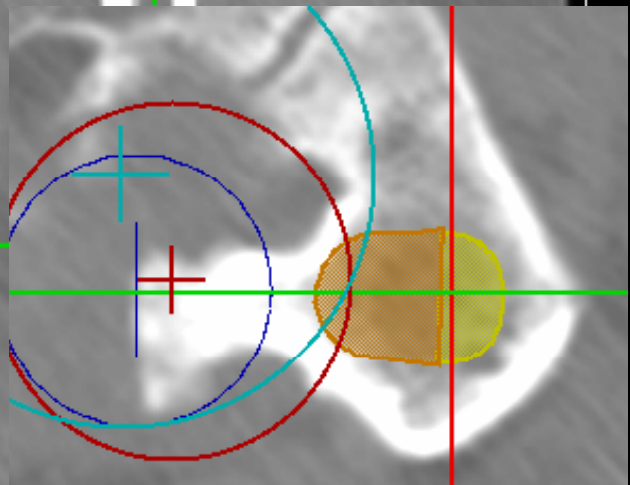
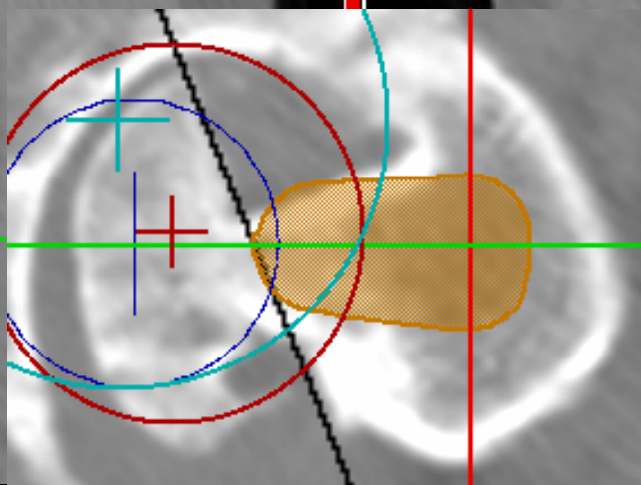
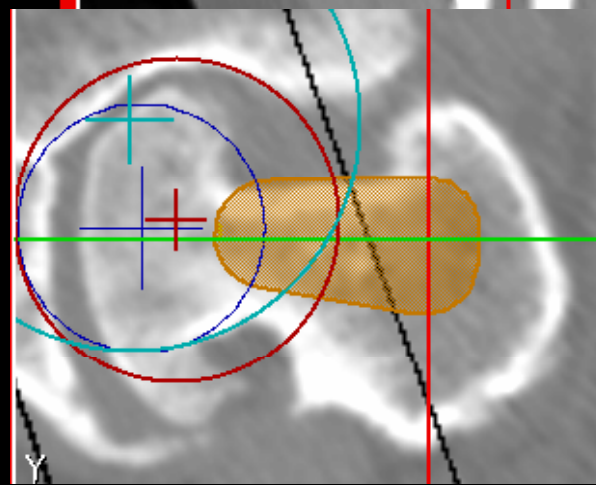
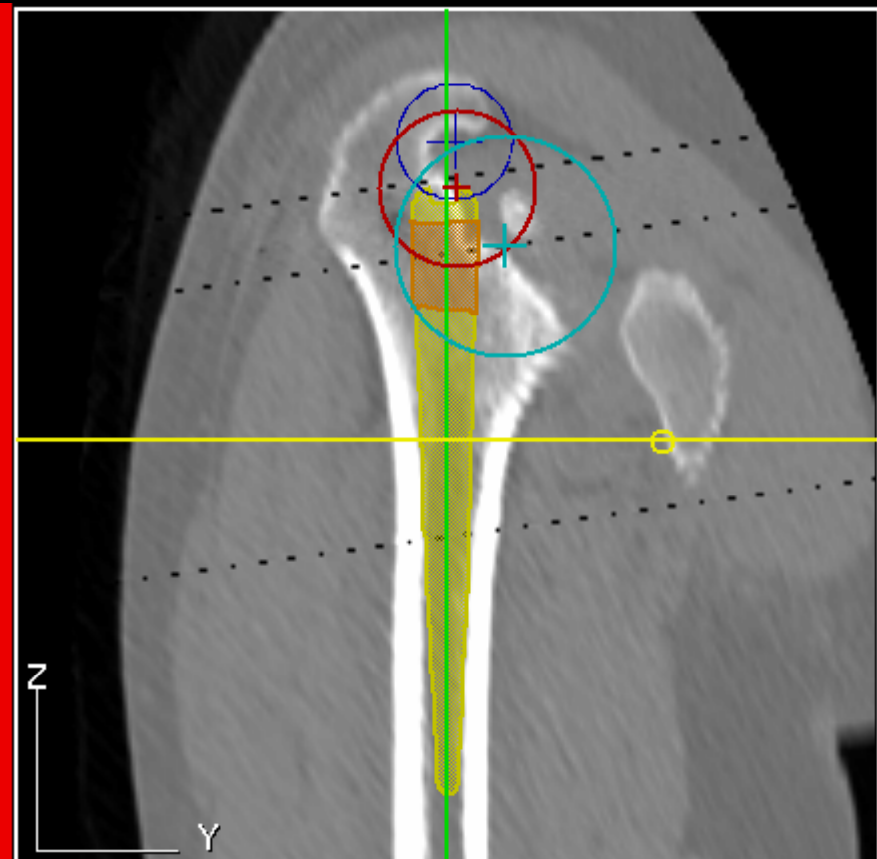
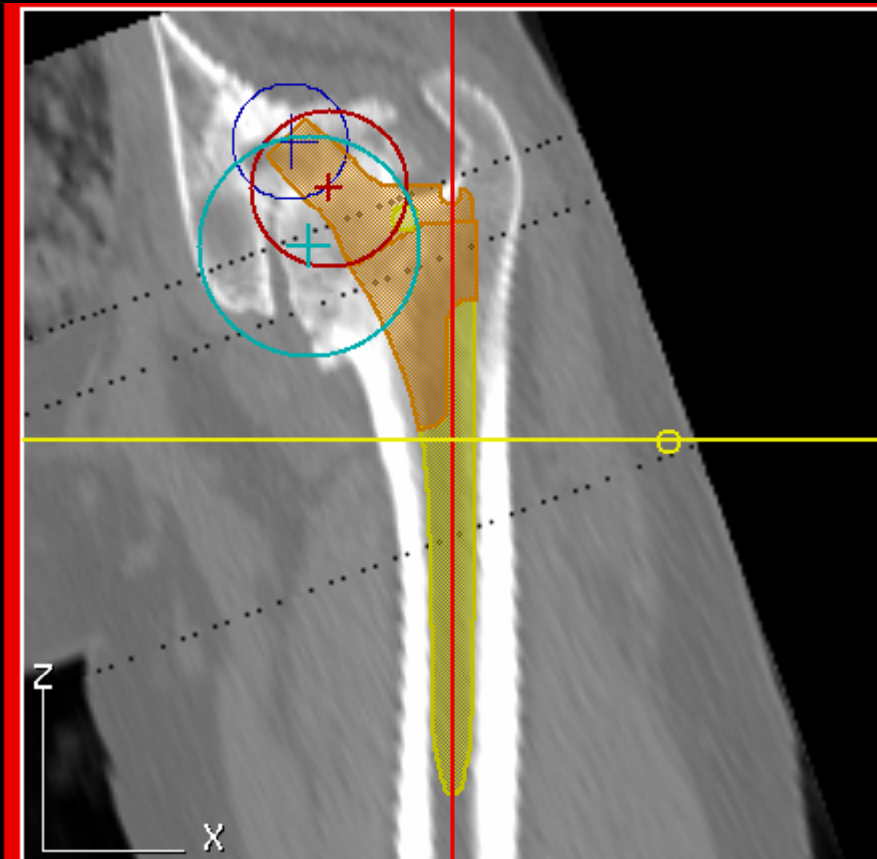
術後

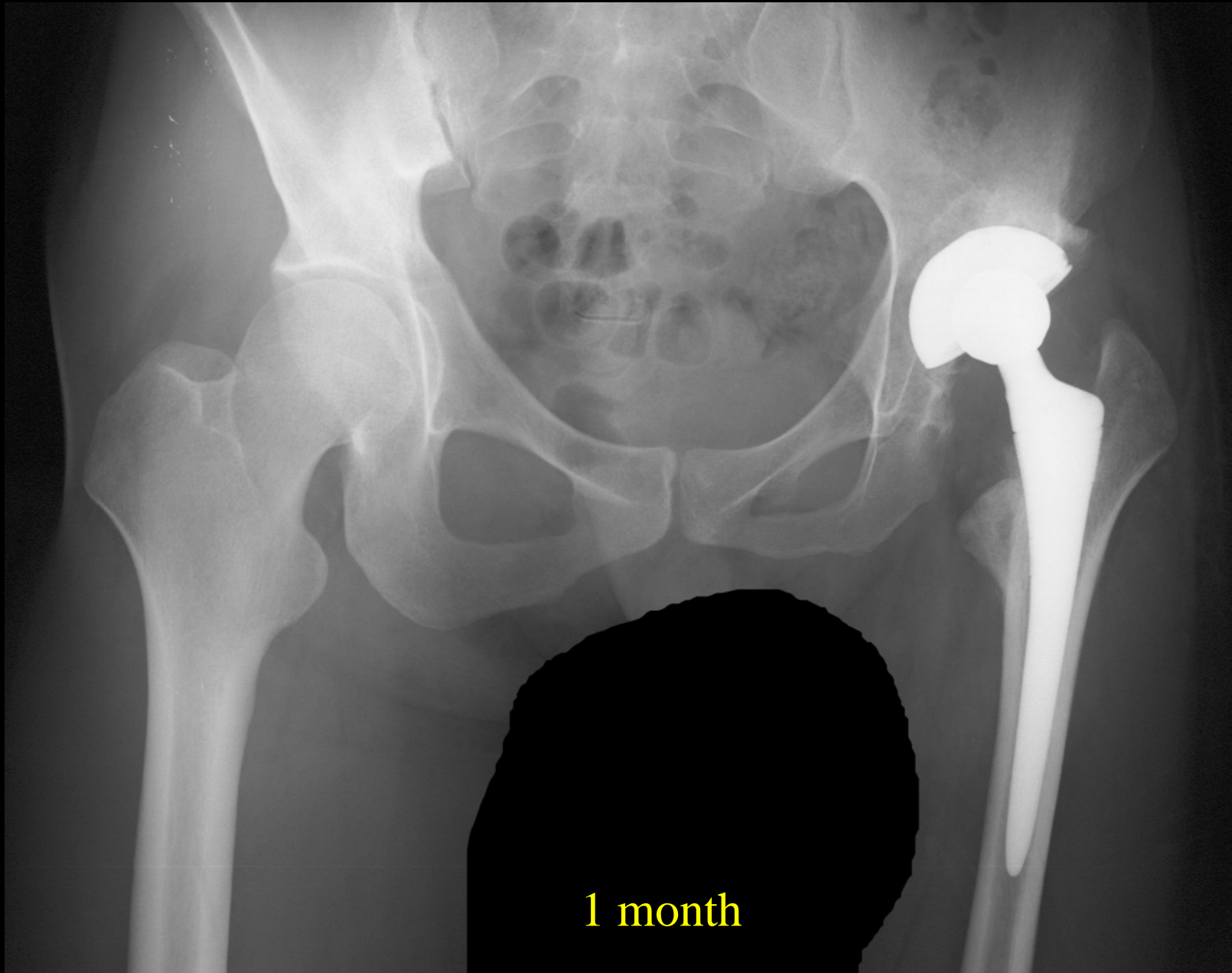


11.14.11.21  
11.14.11.21  
Sci 1000

**2 years**

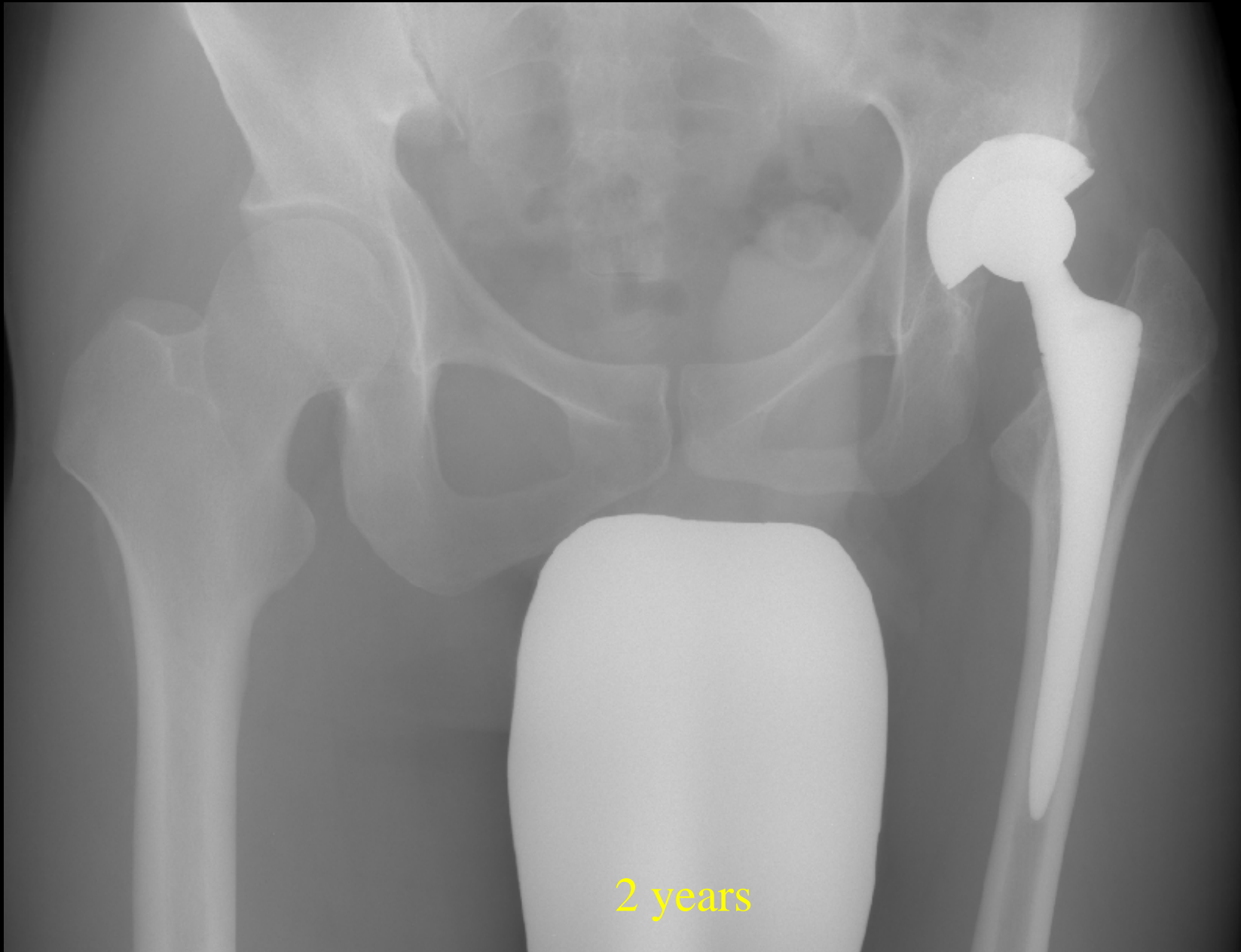




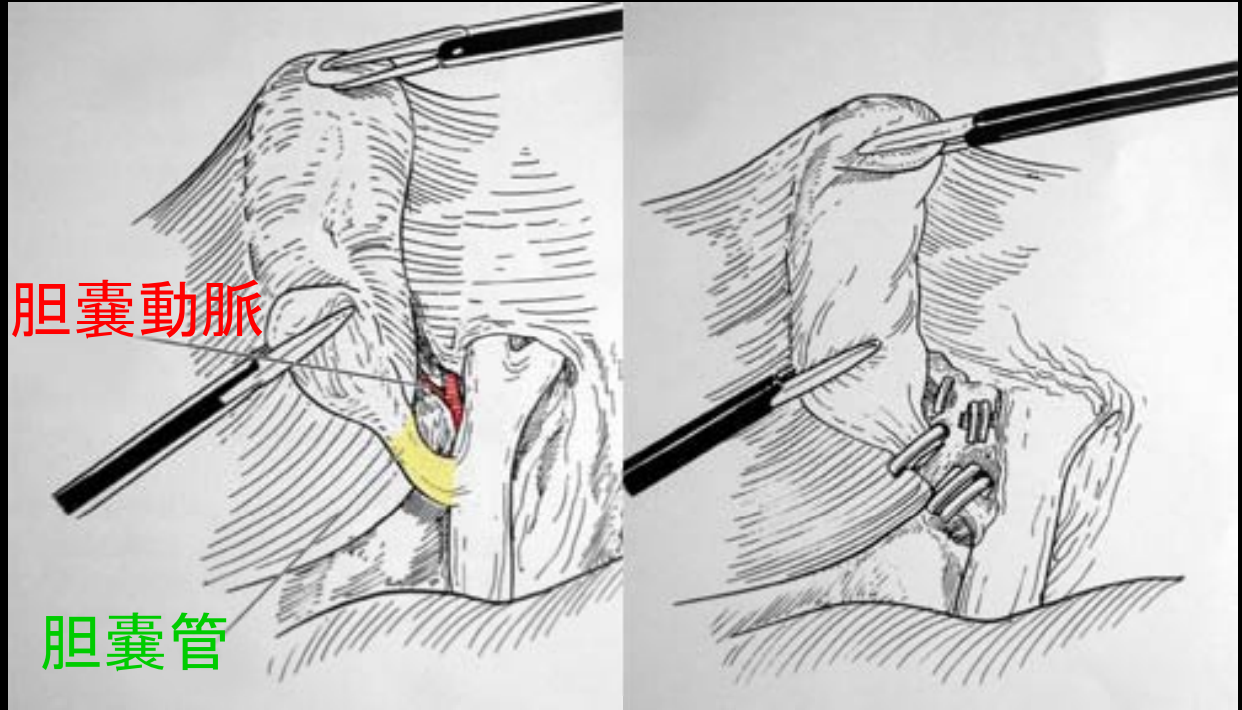
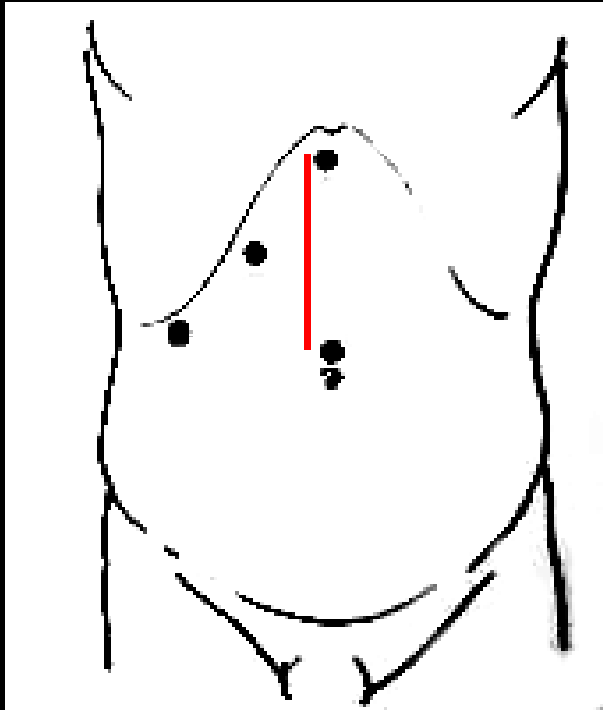


1 month





# Minimum Invasive Surgery *or* Mini-Incision Surgery



開腹手術: 内視鏡手術  
= 10cm + 1cm : 0.5cm X 4 + 1cm  
= 11:3

ウェブ検索結果

MIS THA で検索した結果 1~10件目 / 約715,000件

1. [小侵襲手術](#)

最小侵襲手術(MIS: Minimally Invasive Surgery)による人工股関節(THA: Total hip arthroplasty) 最小侵襲手術(MIS)とは?

[www.hachiya.or.jp/sope\\_page\\_jinko.htm](http://www.hachiya.or.jp/sope_page_jinko.htm) - 4k - [キャッシュ](#) - [このサイト内で検索](#)

2. [出版物紹介](#)

今後の特集のご案内 2005年1月号 斜頸2月号 上腕骨近位端骨折治療の最前線 3月号 整形外科Day Surgery ... 寄せていただきました。米国から導入されたこのMIS-THAは、本来、手術侵襲と術後疼痛 ... していない術者が、視野が小さいMIS-THAにいきなり取り組むことは慎まなければならないと ...

[www.arc.medium.co.jp/backno/publication03-2004-12.html](http://www.arc.medium.co.jp/backno/publication03-2004-12.html) - 8k - [キャッシュ](#) - [このサイト内で検索](#)

3. [Untitled Document](#)

第9回日本最小侵襲整形外科学会 会長:出沢明(帝京大学溝口病院整形外科) 会期:平成15年12月6日(土),7日(日) ... 引田 俊一 他 北里大学 35. MIS THAの approachとインプラントからみた手術成績と ... 帝京大学溝口病院 36. 当科における MIS-THA(後側方アプローチ)の短期成績 ...

[www.angel.ne.jp/~mios/9thMIOS2.html](http://www.angel.ne.jp/~mios/9thMIOS2.html) - 13k - [キャッシュ](#) - [このサイト内で検索](#)

**当病院で**  
**最小侵襲人工股関節手術**  
 ミニ・ア・アによる人工股関節手術の新しい手術方法です。 **うけることができます。**

従来の手術では15~20cmの皮膚切開を行っていましたが、最近導入された小侵襲手術では6~12cmの皮膚切開で従来と同様の高品質で信頼性の高い人工股関節の使用が可能です。

●早期退院  
 ●早期社会復帰  
 を実現します。

**1 手術後の傷跡が小さくなります。**  
 従来の手術による小侵襲手術(10~12cm)より、さらに傷跡を小さくできます。

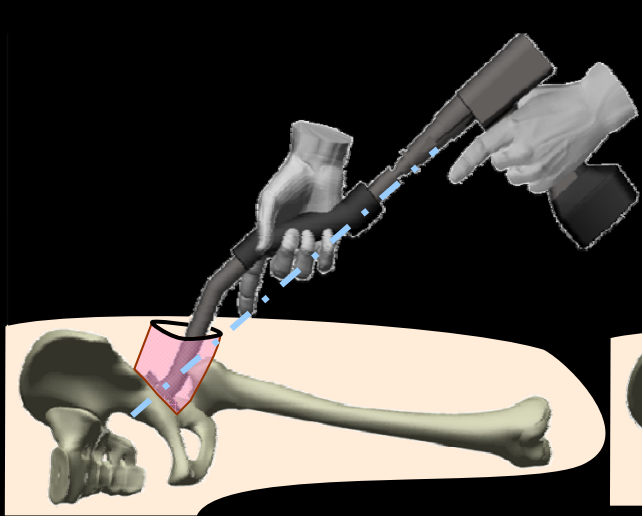
**2 入院期間が短くなります。**  
 これまでの1~2ヶ月程度から2~3週間程度に短縮されます。

**3 リハビリを早く始めることができます。**  
 傷跡が小さく、痛みが少ないため、術後の生活に早く戻ることに役立ちます。

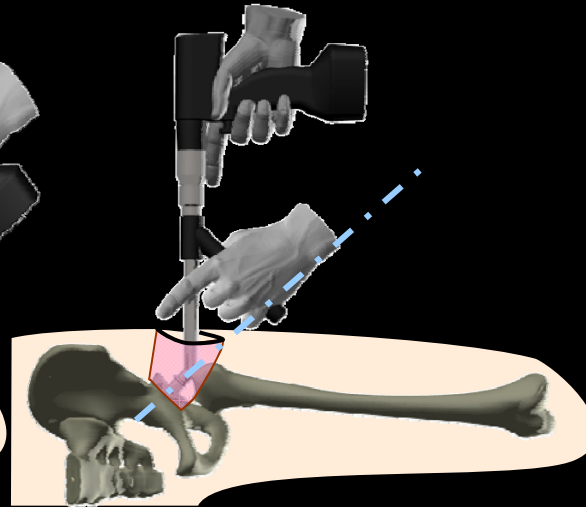
●手術は20分程度で済みます。従来の手術に比べ、麻酔科の負担も軽減されます。  
 ●手術後には痛み止め(インプラント)は、手術後24時間以内で人工股関節手術で済みます。従来の手術に比べ、痛み止めは、手術後24時間以内で済みます。  
 ●手術後の生活に早く戻ることに役立ちます。傷跡が小さく、痛みが少ないため、術後の生活に早く戻ることに役立ちます。



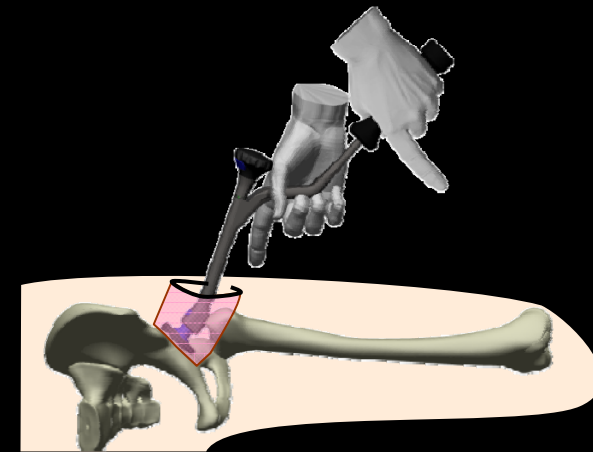
# MIS in Great Enthusiasm



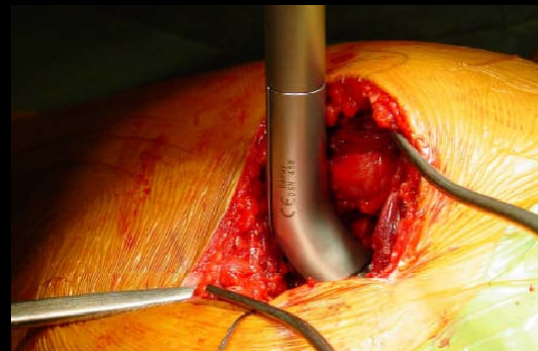
25 Degree Driver



45 Degree Driver

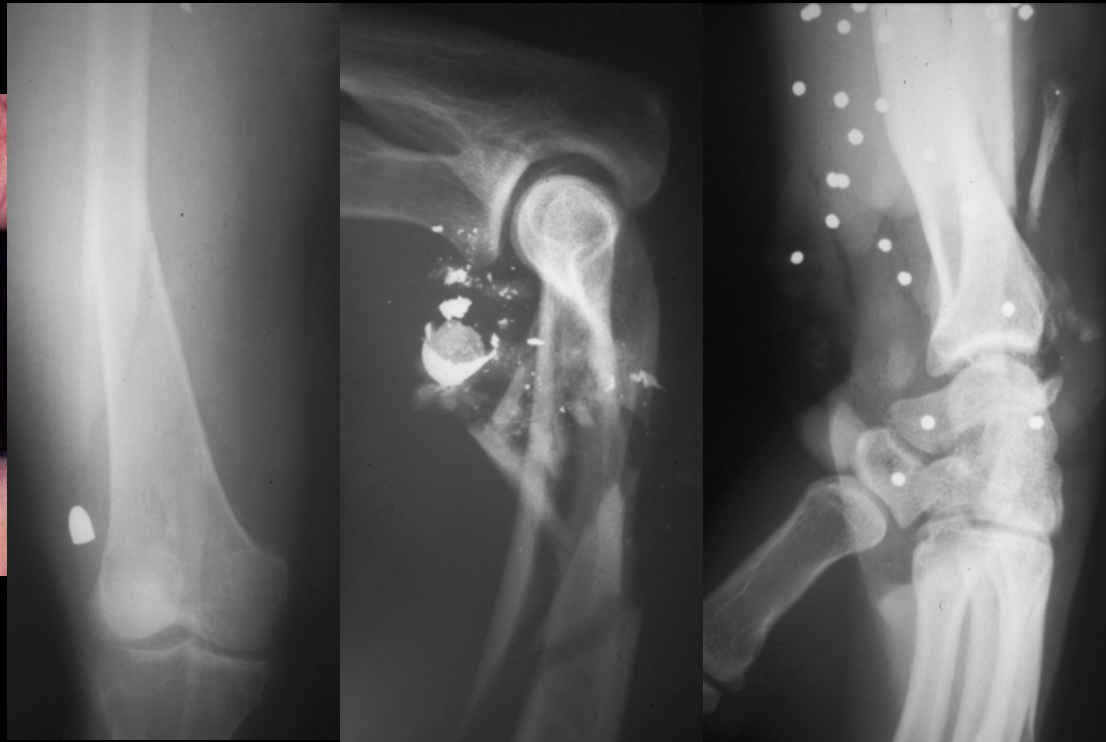


25 Cup Introducer



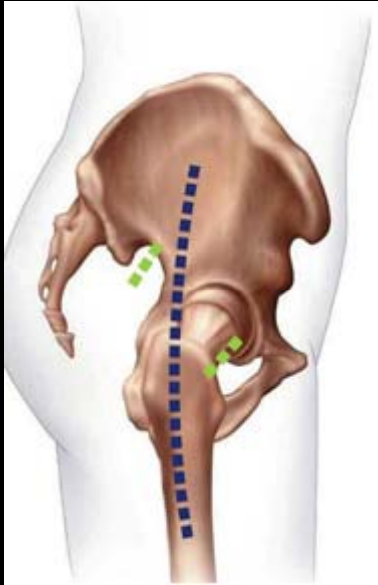
# What is MIS?

- **Mini-Incision Surgery ?**
- **Minimally Invasive Surgery ?**
- **What is invasive ? Bone, Muscle, Capsule ?**



# “Two Incision, Minimally Invasiveness Total Hip Replacement”

*Richard E. White, Jr, et al. Hip Society 2004*



- 初期の高い合併症率 (n=423)
  - 7.5% 骨折
  - 0.5% 死亡
  - CupやStemの不良設置

# Bottle Ship Surgery ?



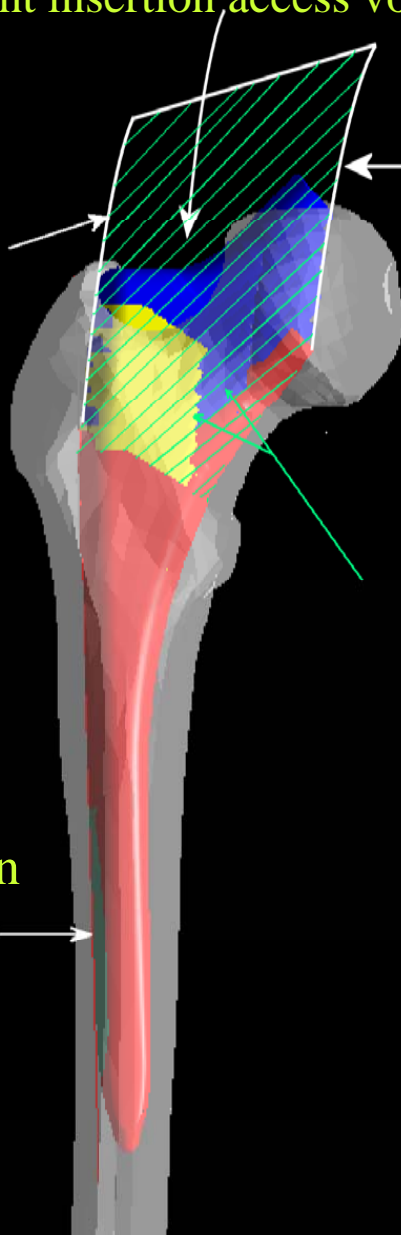
# MIS with ROBODOC

Implant insertion access volume

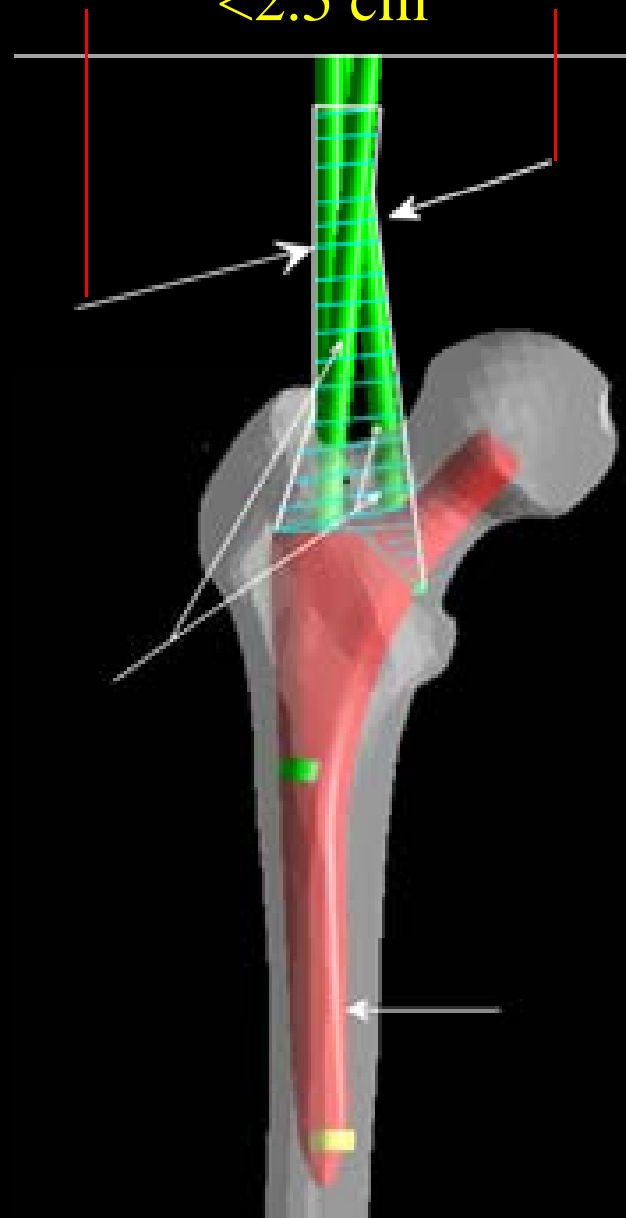
Curved Insertion  
Path Lateral  
Edge

Insertion Access  
Volume Medial  
Edge

Implant in  
Seated  
Position



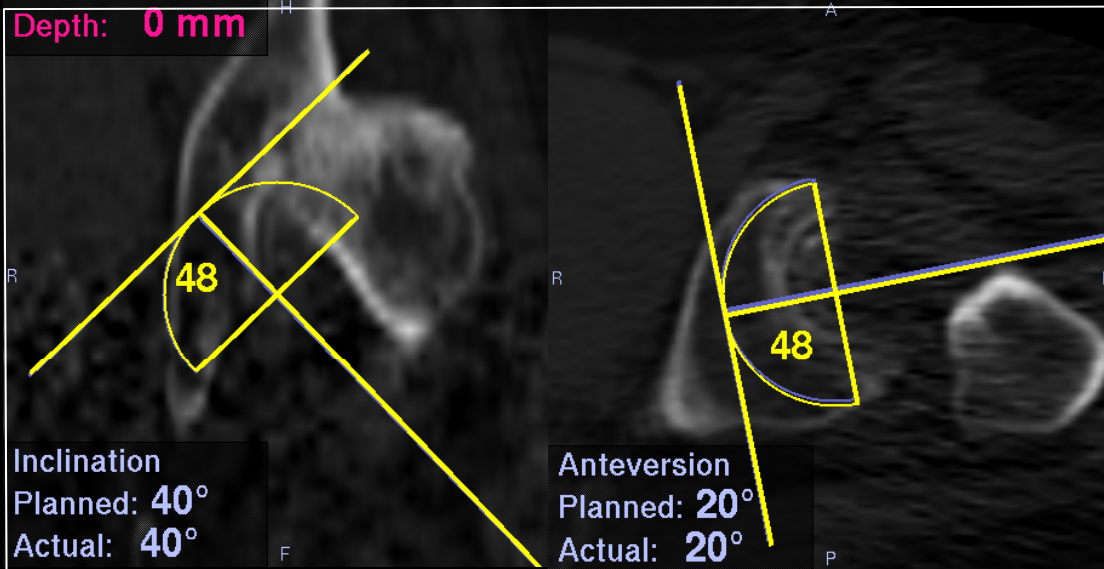
<2.5 cm





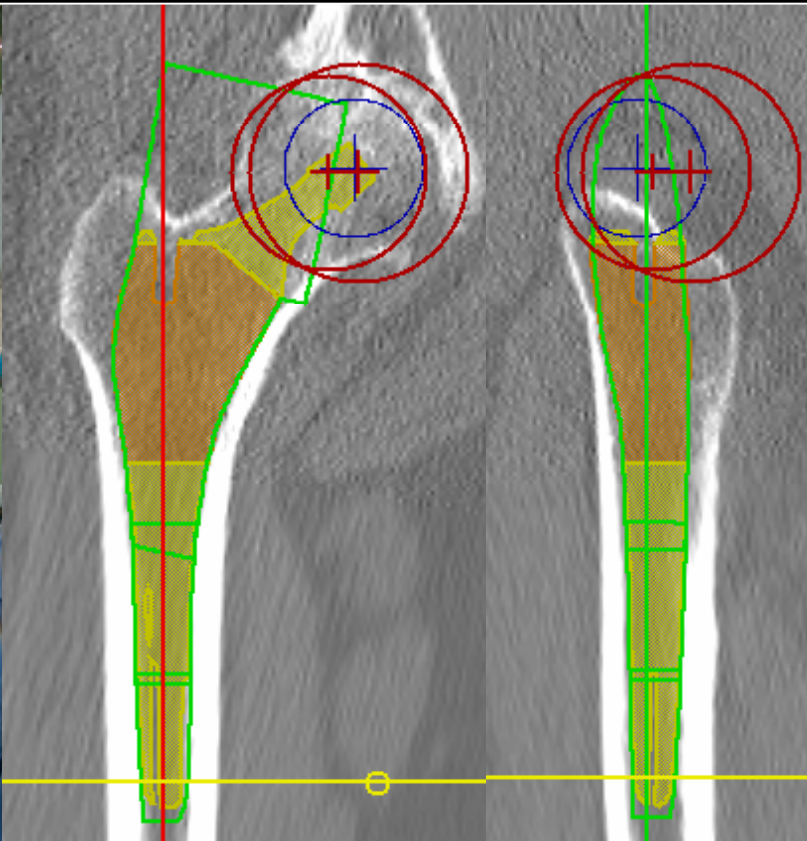
# Robo

Depth: 0 mm

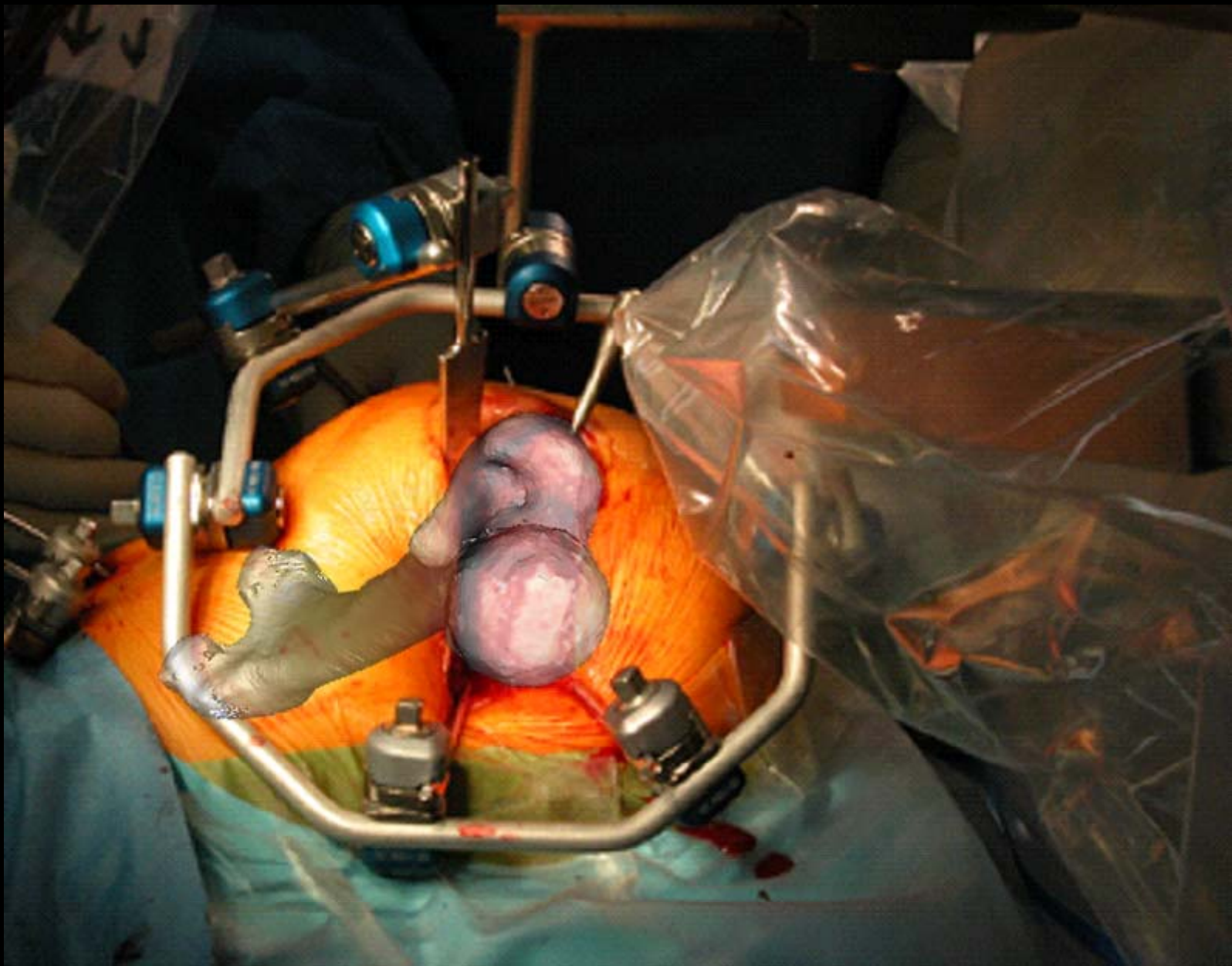


Inclination  
Planned: 40°  
Actual: 40°

Anteversion  
Planned: 20°  
Actual: 20°

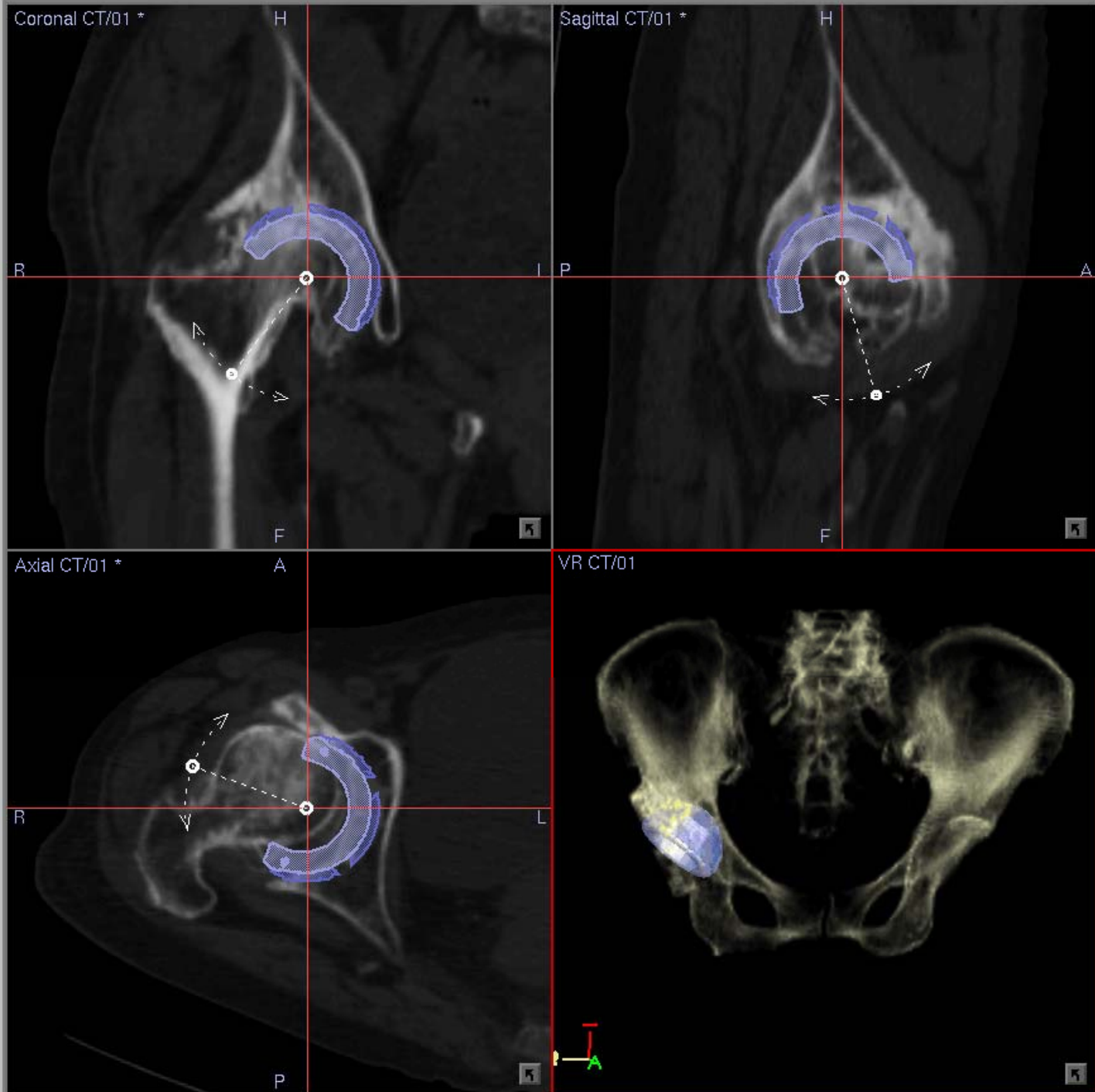


# Navi





91 y.o. female



Cup Stem Resection ROM

Cup: Trident PSL Cluster  
 Size: 50  
 Liner: Trident 0° Insert

**Orientation**  
 Inclination: 40°  
 Anteversion: 20°  
 Rotation: 0°

**Position**  
 Lateral: 84 mm  
 Inferior: 53 mm  
 Posterior: 50 mm

+ Move along cup axis -

**Leg Lengthening**

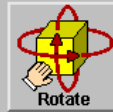
	Actual	Required
Acetabular	3 mm	
Femoral	9 mm	
Total	12 mm	14 mm

**Leg Lateralization**

	Actual	Required
Acetabular	-10 mm	
Femoral	0 mm	
Total	-10 mm	-2 mm



Move



Rotate



Settings



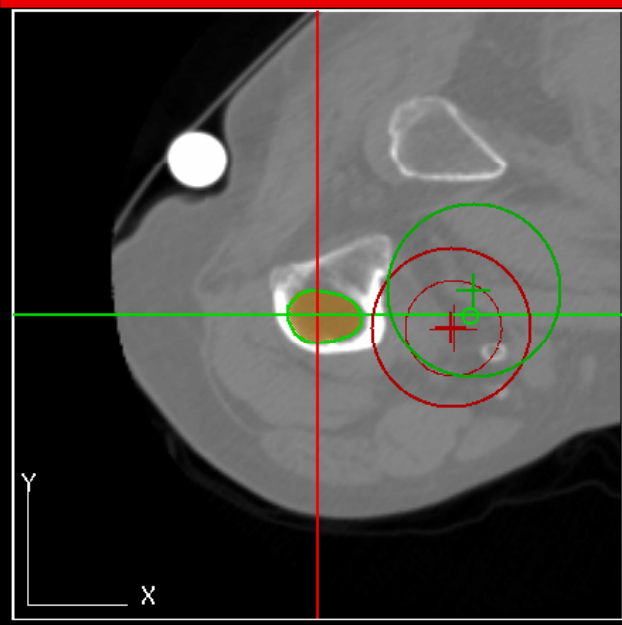
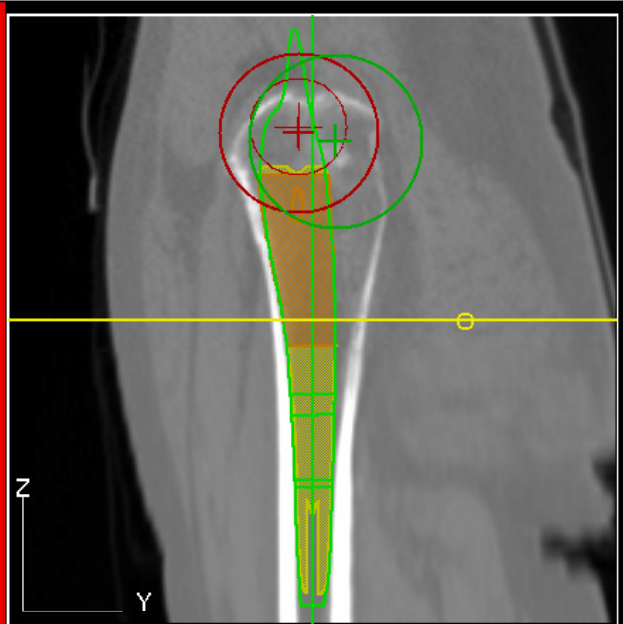
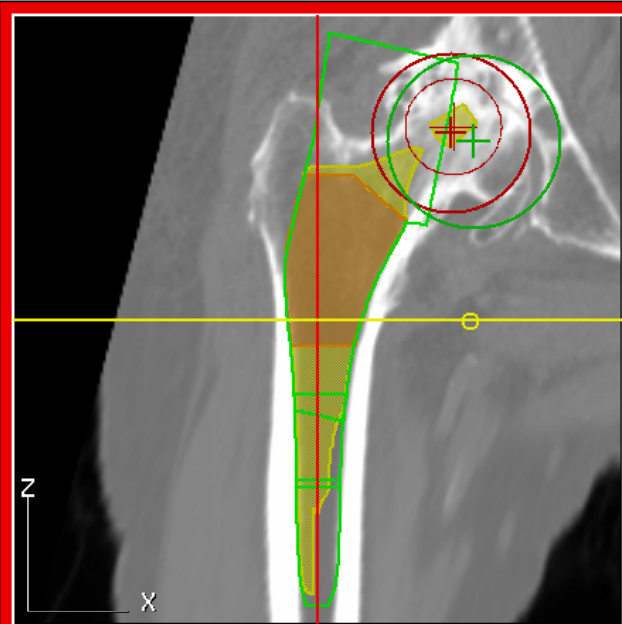
Markers



Measure



Snap to Axis



Move Stem

- Horizontal
- Vertical
- Track

1.0  (mm)

Stem Size

Zoom 0.97

0.0

Rotate (deg.)

1.0

Translate

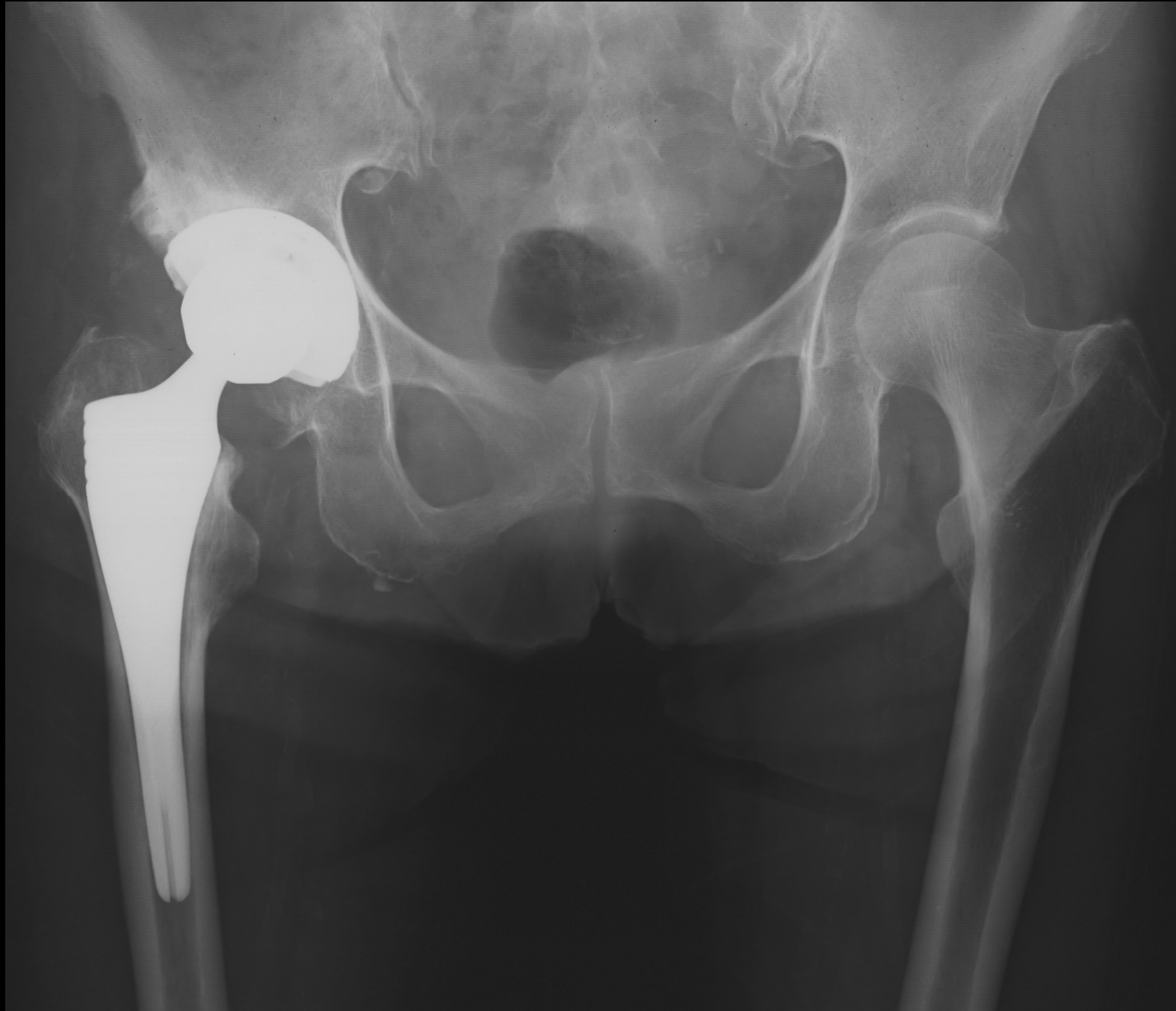
X -43.02 mm  
 Y 14.80 mm  
 Z -228.63 mm  
5  (mm)

Jump

Change View Plane

Center Window











# ナビゲーションやロボット

- 機械が手術をするのではなく、あくまでも外科医の能力を高める道具
- 不要、これがないと手術できない外科医ができる、など誤解が未だに、、、
- Black Boxであった手術を明らかにし、教育にも活用