

医薬品医療機器総合機構
第2回コンピューターシミュレーション専門部会

コンピューターシミュレーションの
骨関節手術計画への応用

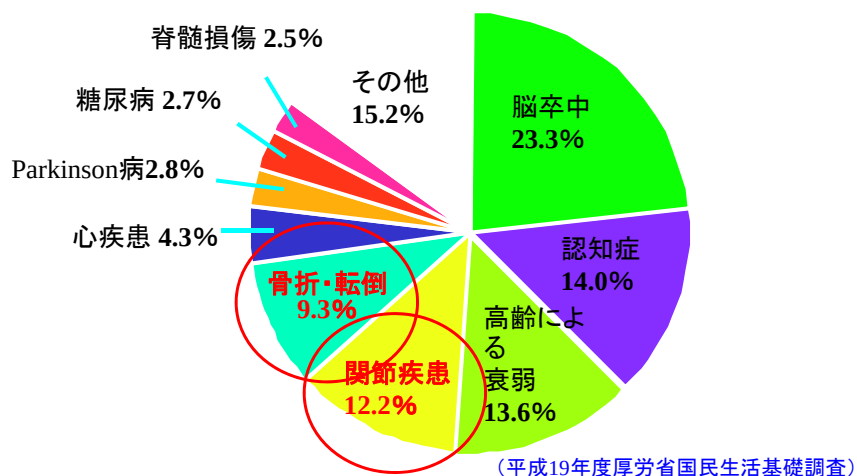


大阪大学医学系研究科
運動器医工学治療学
菅野伸彦



介護が必要になった理由

(要支援、要介護を含む 450万人)



ロコモティブシンドローム(運動器症候群)

運動器の障害による要介護の状態および要介護リスクの高い状態

1. 多くのヒトにとって長期間、運動器を健康に保つことは難しい
長期間運動器を使い続ける新しい集団の出現(新しい事態)
要介護の原因になる
2. 運動器(骨・関節・背骨)障害が複数ある人が多い
運動器全体を診る必要がある

新しい事態 → 新しい言葉が必要



Locomotive(自ら移動できる)

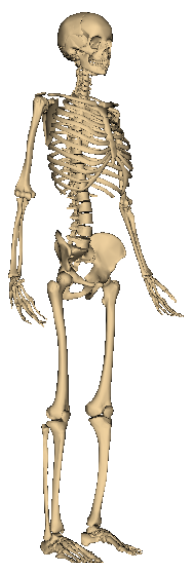
2007年、日本整形外科学会が超高齢社会を見据え、提唱
市民の方々の運動器への関心を高め、
ロコモ予防することを通じ、健康寿命の延伸に寄与する

整形外科手術

骨を切ってインプラントを挿入する手術が多い
正確なインプラントの位置や角度が重要



全身には206関節



頭部の関節(head) [2]

顎関節 [1 X 2]

上肢の関節(upper limb) [50]

肩鎖関節 (1 X 2)

肩関節 (1 X 2)

肘関節 (腕尺、腕橈および近位橈尺関節) (1 X 2)

遠位橈尺関節 (1 X 2)

手関節 (1 X 2)

手根骨間関節 (1 X 2)

手根骨中手骨間関節 (5 X 2)

中手指節関節 (5 X 2)

拇指指節間関節 (1 X 2)

近位指節間関節 (4 X 2)

遠位指節間関節 (4 X 2)

体幹の骨(thorax)[100]

脊椎椎間関節 [25 X 2] および椎体間関節 [24]

肋骨胸椎関節 [12 X 2]

胸鎖関節 (2)

下肢の関節(lower limb) [54]

仙腸関節 (1 X 2)

股関節 (1 X 2)

膝関節 (1 X 2)

足関節 (1 X 2)

距骨下関節 (1 X 2)

Chopart関節 (2 X 2)

足根骨間関節 (1 X 2)

Lisfranc関節 (5 X 2)

中足趾節関節 (5 X 2)

近位趾節間関節 (5 X 2)

遠位趾節間関節 (4 X 2)

MobilityとStability

理想的なmobilityとstabilityのバランス

脊椎	Stable	頭部と体幹を支え、中枢神経を保護
肩	Mobile	歩行時に上肢を振ってバランス
股	Mobile	下肢を最大限動きやすく
膝	Stable	衝撃を吸収し、脚長を補正
足	Mobile	地面の傾斜に合わせて着地

mobilityとstabilityのバランスが崩れると

Instability (亜脱臼、脱臼)

Rigidity (可動域ROM低下)

Stability – the ability to withstand force without being distorted, to be supported, to have strength, to be dependable, to be sturdy.

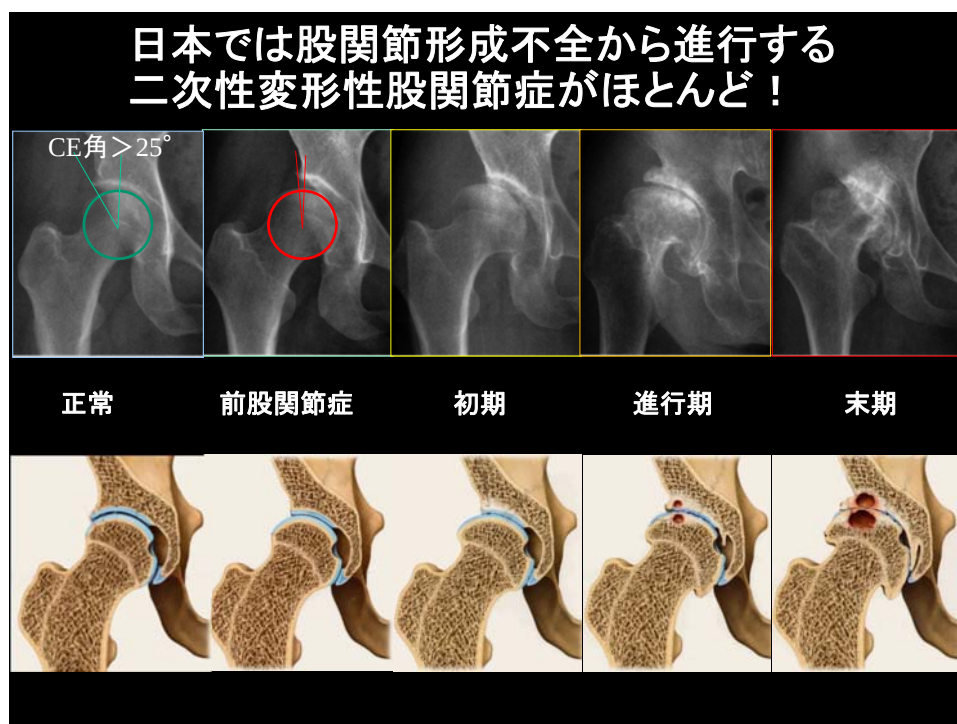
Mobility – not rigid, to move with ease without restriction, to be flexible.

変形性関節症 (Osteoarthritis)

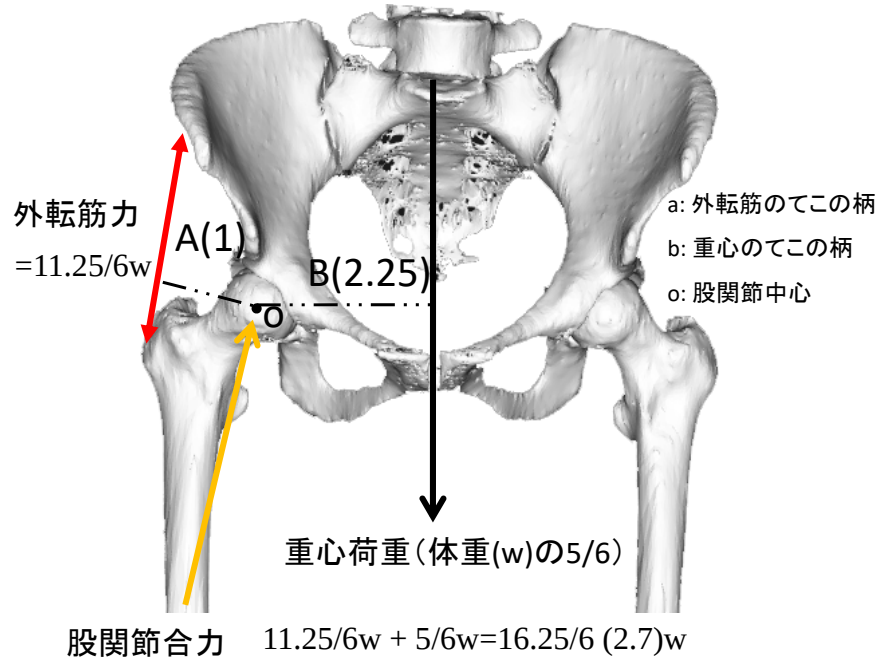
- 関節表面を覆う関節軟骨は軟骨細胞と周囲の2型コラーゲンとプロテオグリカン(糖タンパク)が主成分
- 関節軟骨には血行や神経線維の分布なし
- 関節症では**機械的刺激**などにより**軟骨の変性・磨耗**を生じ、また関節周囲を取り囲む滑膜の炎症が併発して変性が加速
- 同時に関節周囲の骨軟骨形成などの**増殖性変化(骨棘)**を伴うこともある
- 症状としては、関節の痛み、腫脹、こわばり(拘縮)など
- 種々の炎症性疾患、軟骨脆弱性、外傷、関節形成不全、関節動揺性が関節症発症の原因および悪化因子

日本整形外科学会

<https://www.joa.or.jp/public/sick/condition/osteoarthritis.html>



右片脚起立時の股関節のバイオメカニクス



Telemetric sensor implantsで実測

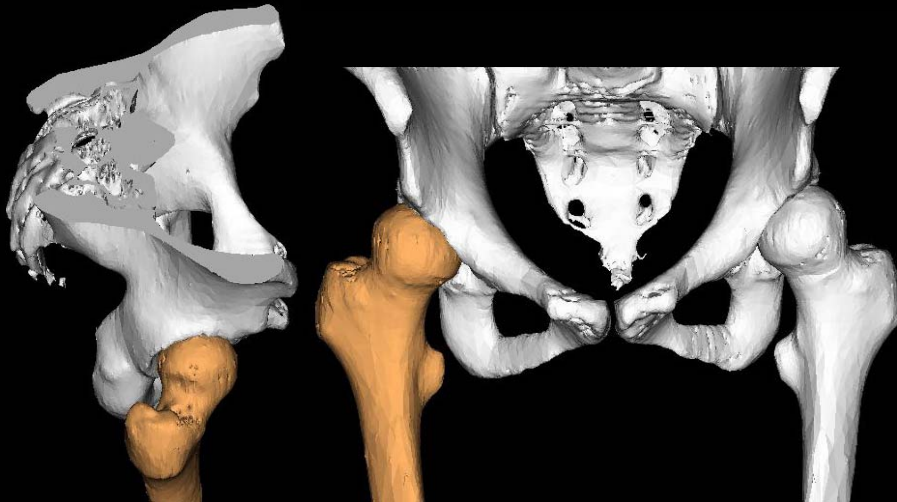
<http://www.orthoload.com>



片脚起立: 2077N
体重75kg
体重の約2.8倍

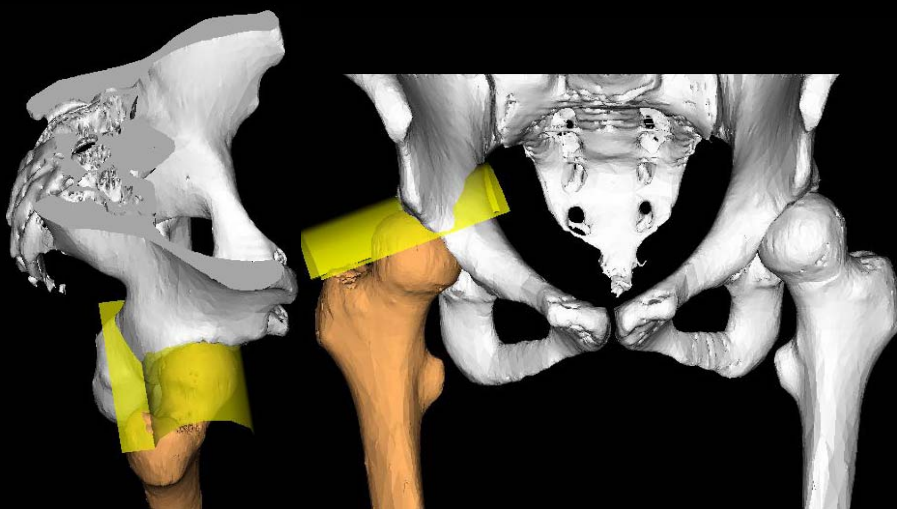
Bergmann G, et al. Standardized Loads Acting in Hip Implants. PLoS One. 2016

キアリ(ドーム状)骨盤骨切り術

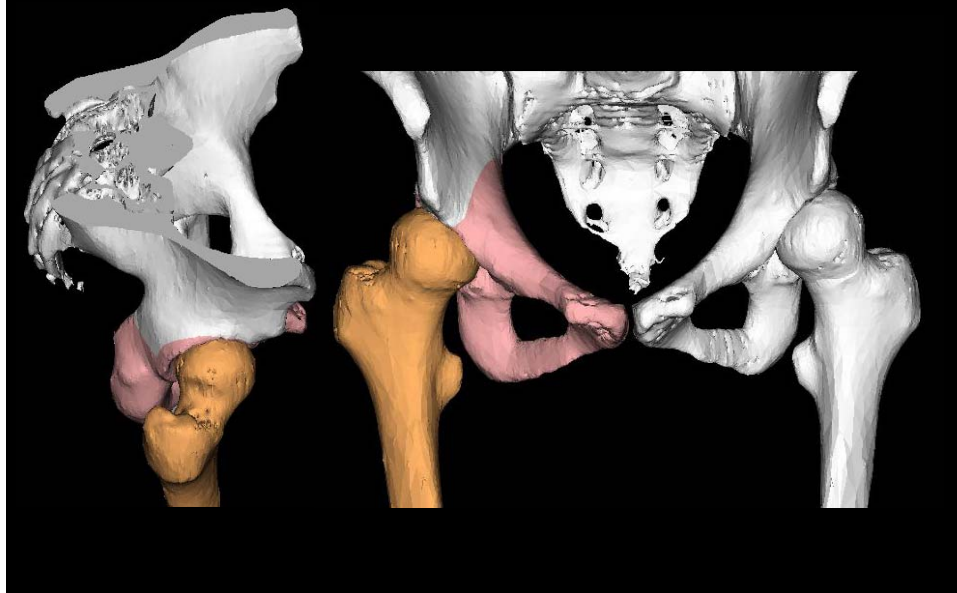


Anwar MM, Sugano N, Matsui M, Takaoka K, Ono K. Dome osteotomy of the pelvis for osteoarthritis secondary to hip dysplasia. An over five-year follow-up study. J Bone Joint Surg Br. 1993

キアリ(ドーム状)骨盤骨切り術



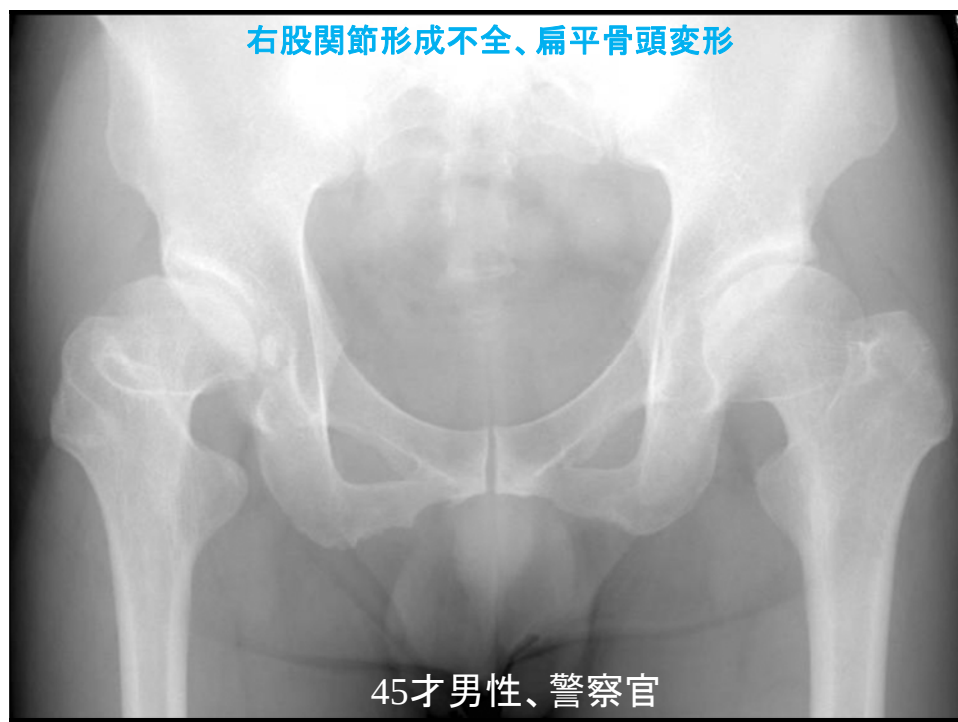
キアリ(ドーム状)骨盤骨切り術



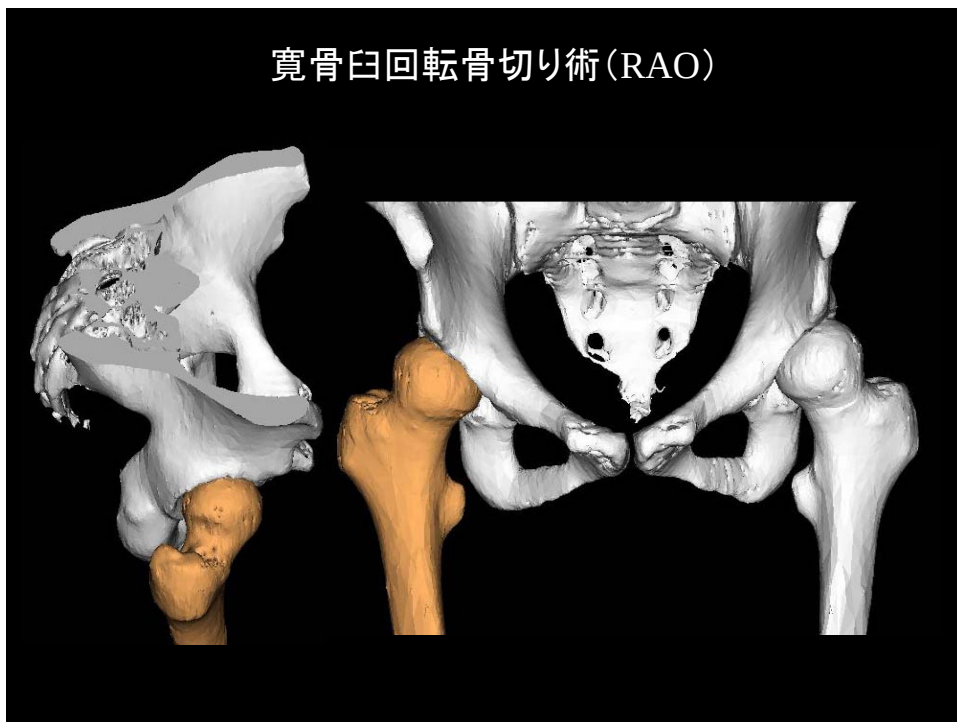
キアリ(ドーム状)骨盤骨切り術

股関節の内方移動で重心のてこの柄が短縮し、
股関節合力が減少

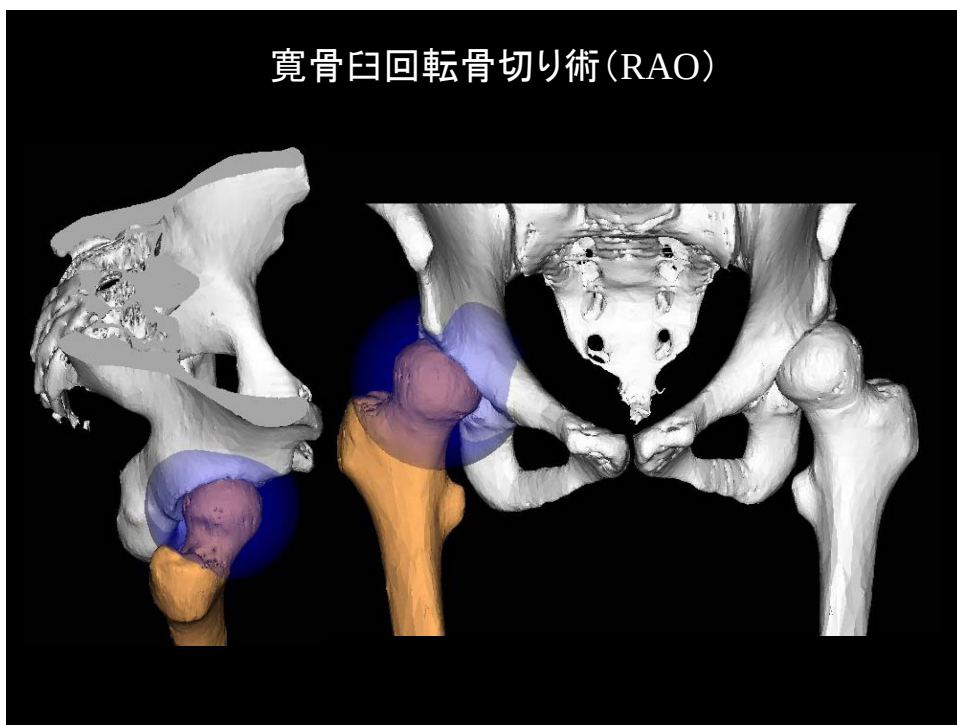




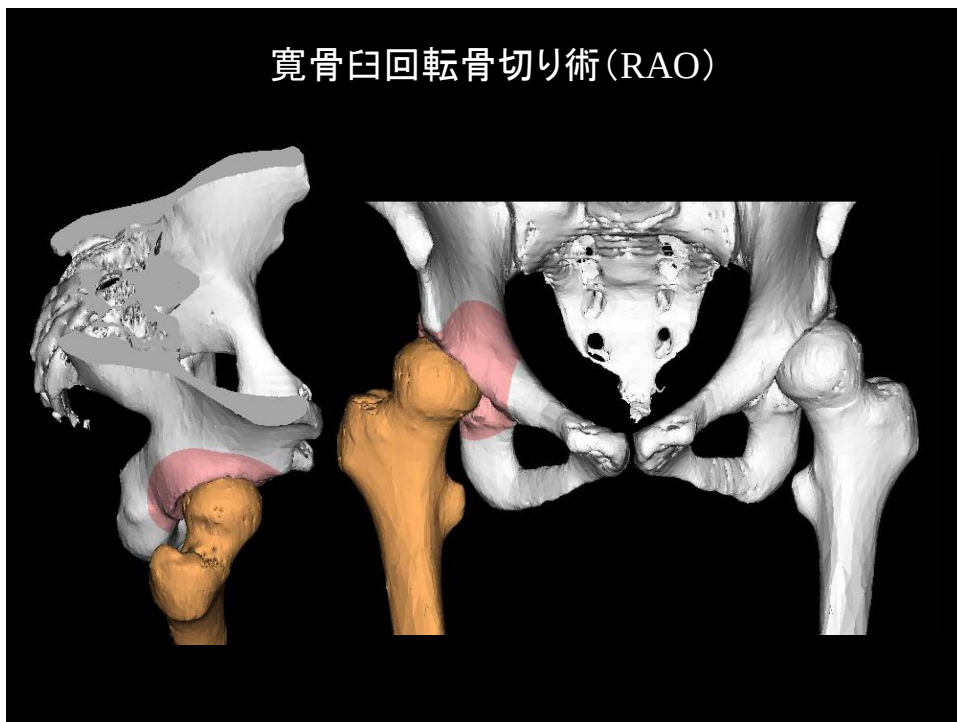
寛骨臼回転骨切り術(RAO)



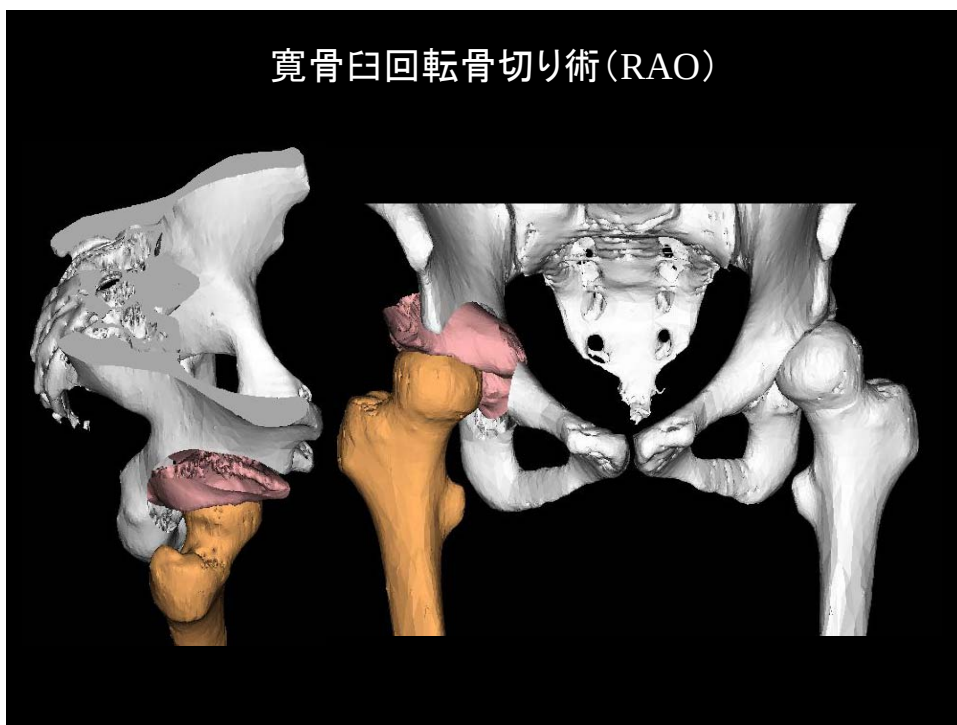
寛骨臼回転骨切り術(RAO)



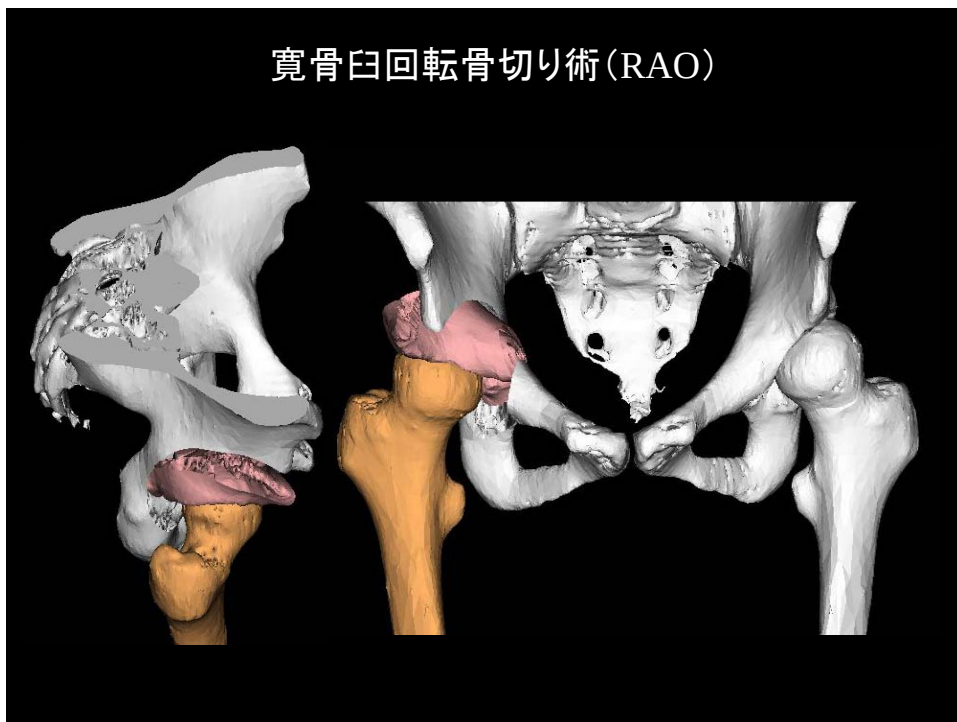
寛骨臼回転骨切り術(RAO)



寛骨臼回転骨切り術(RAO)

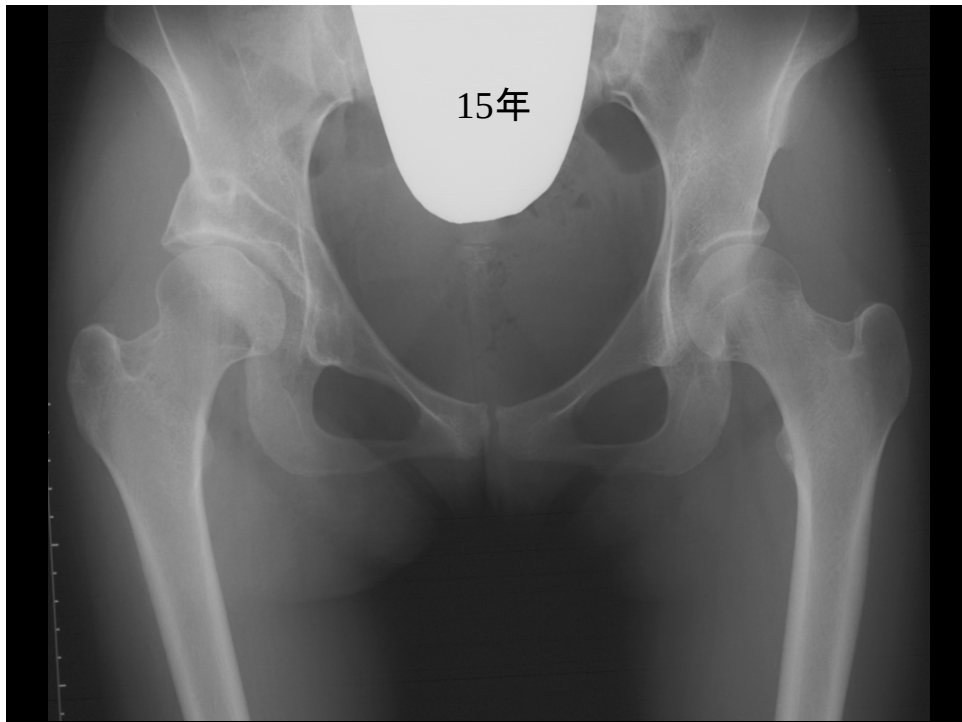
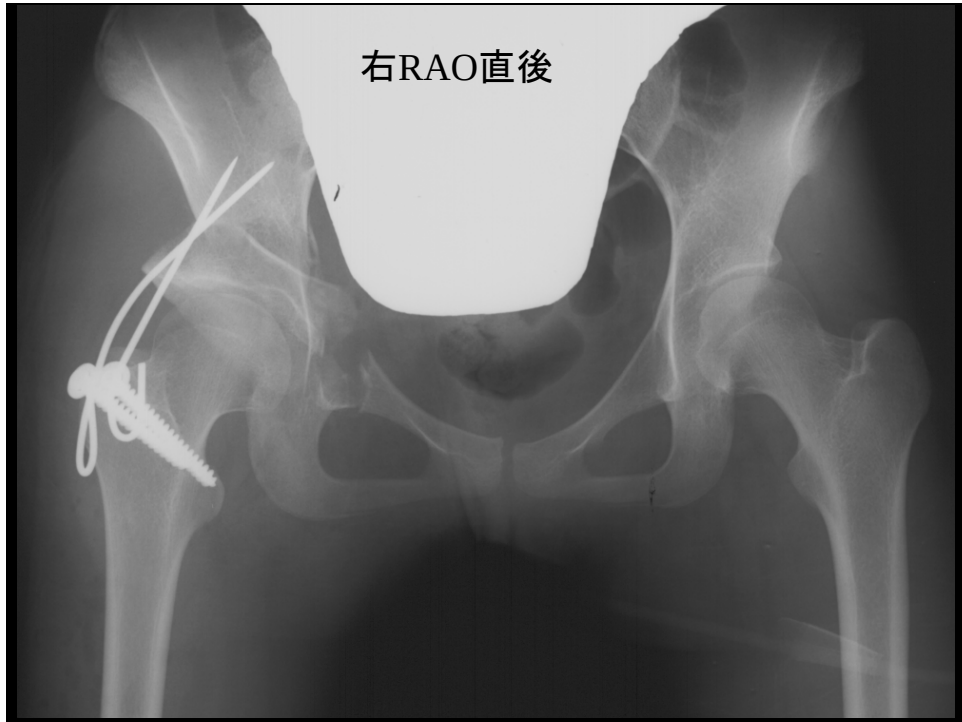


寛骨臼回転骨切り術(RAO)

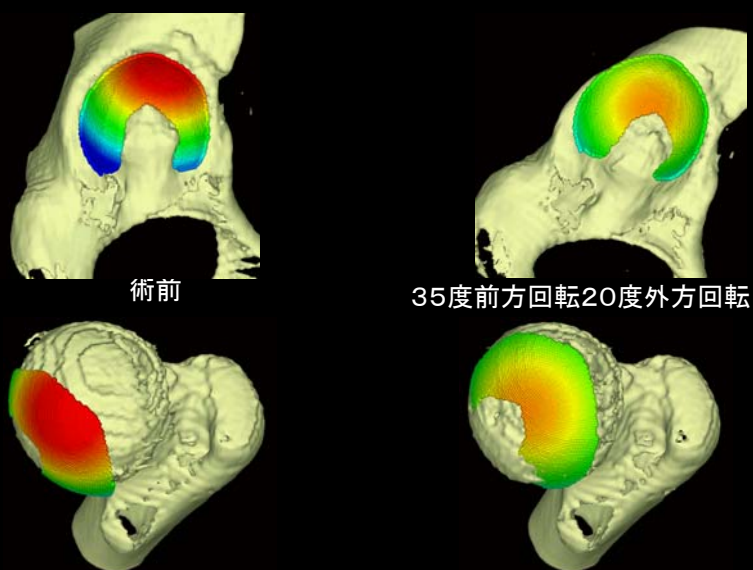


18才女性、右股関節形成不全



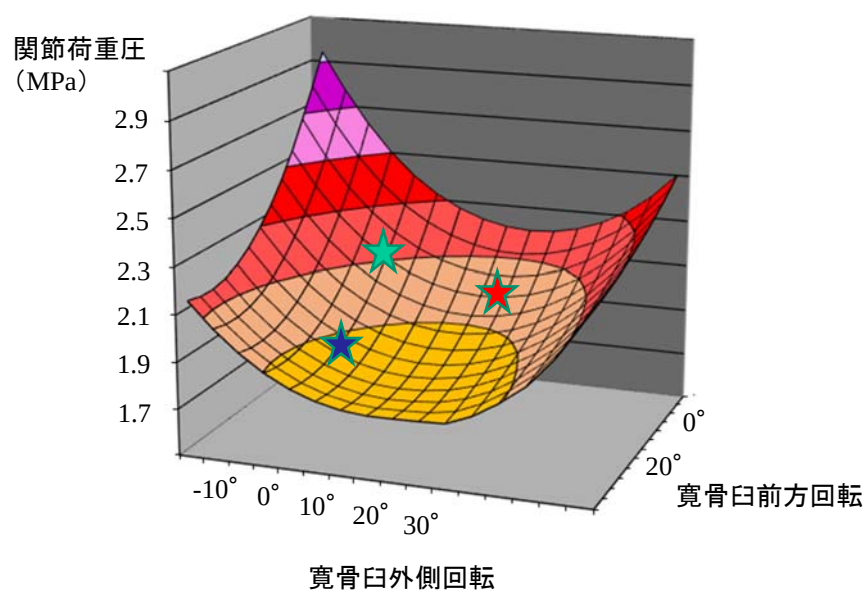


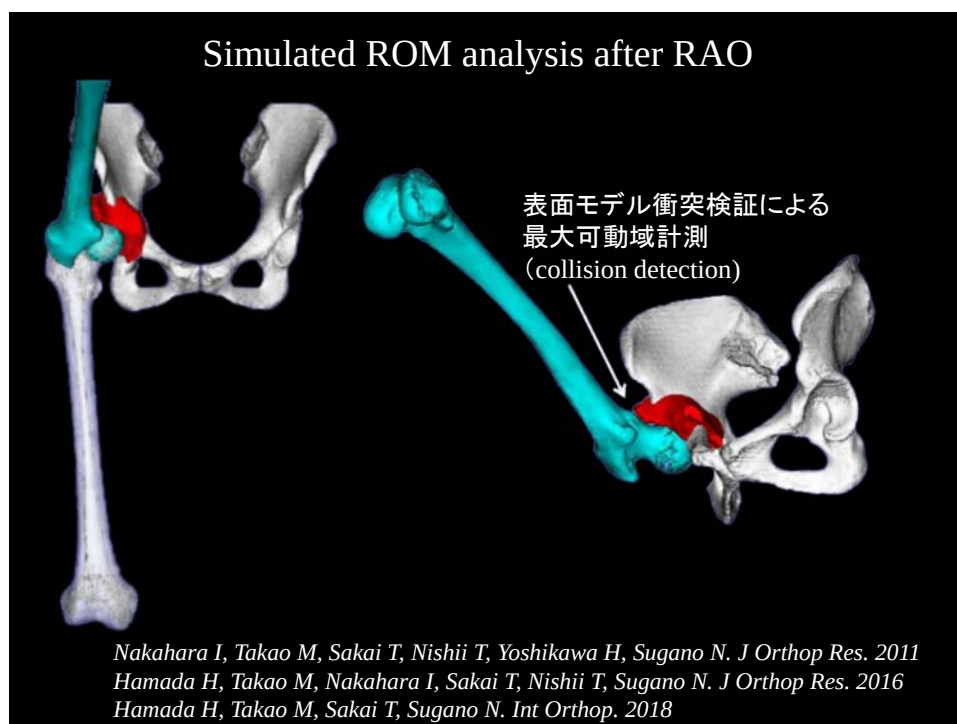
関節最大荷重圧シミュレーション(歩行時)



Hipp JA, Sugano N, Millis MB, Murphy SB. Clin Orthop 1999

関節最大荷重圧シミュレーション(歩行時)





ZedView

注: ZedView は、各ソフトウェアモジュール (ZedHip, ZedKnee, JIGEN など) を含む医療機器製品です。

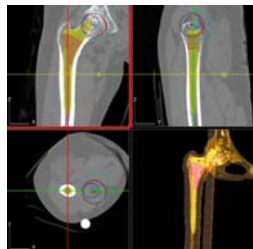
販売名: ZedView ゼッドビュー

医療機器認証番号: 227AABZX00075000

骨切り術用3Dテンプレートシステム

- 骨切りシミュレーション (パラメータ表示、骨頭被覆率)
- ROMシミュレーション

人工股関節手術でのCAOS要素



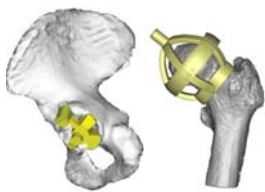
Preoperative planner



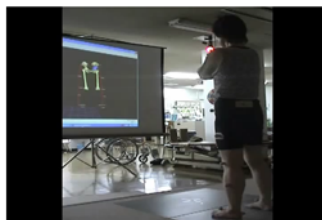
Robotics



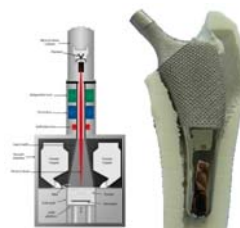
Navigation



Patient specific guide

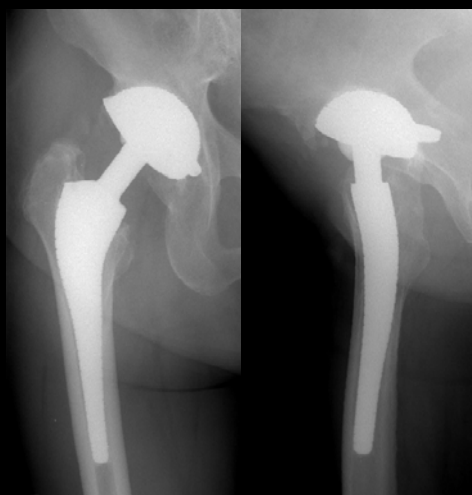
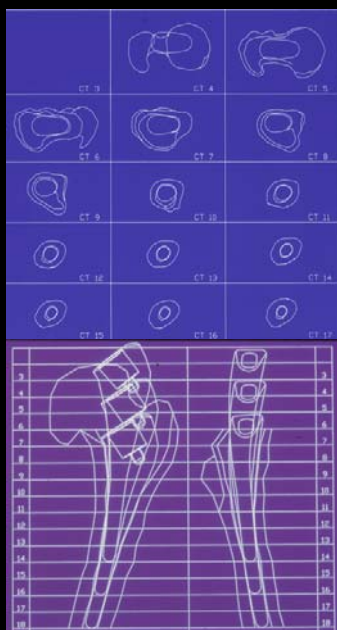


Motion analysis

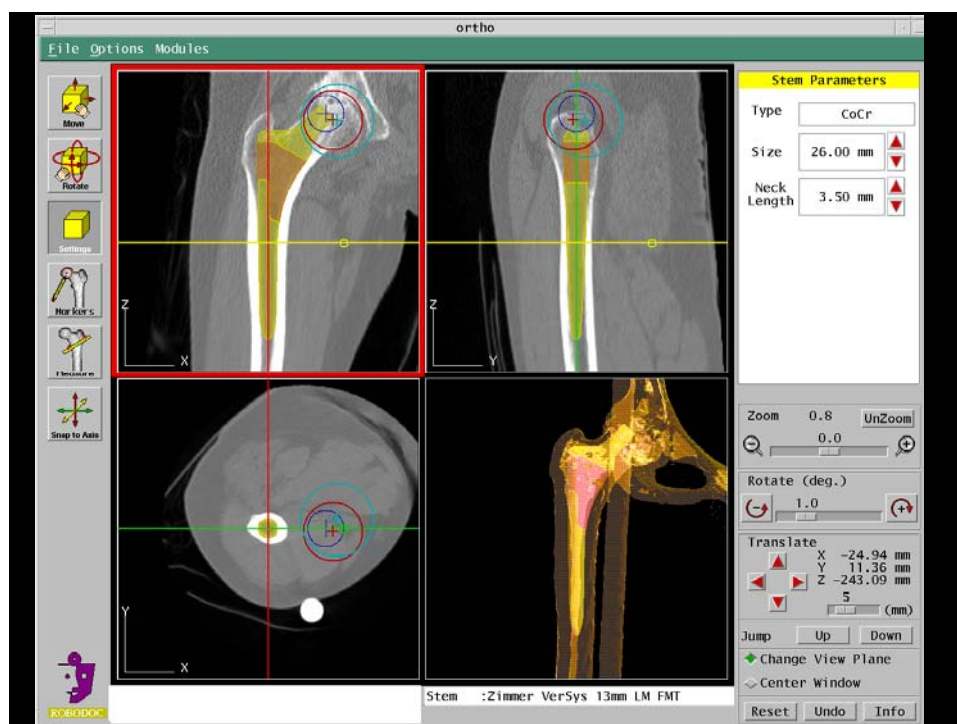


AM and custom implant

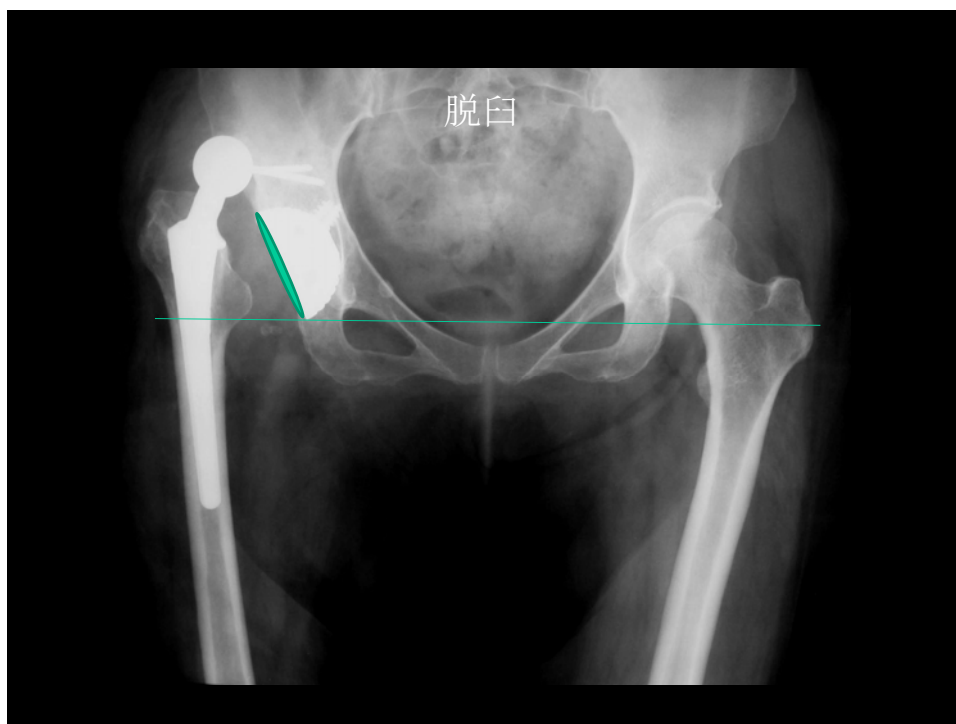
Custom Femoral Component



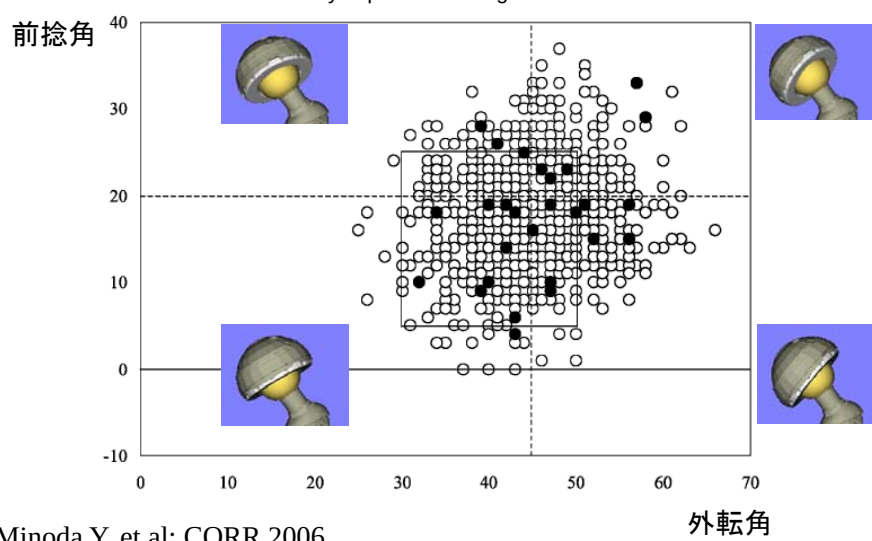
Sakai T, Sugano N, Nishii T, Haraguchi K, Ochi T, Ohzono K. Int Orthop. 1999



Clinical accuracy evaluation of femoral canal preparation using the ROBODOC system.
Nishihara S, Sugano N, Nishii T, Miki H, Nakamura N, Yoshikawa H. J Arthroplasty. 2006



Acetabular Component Orientation in 834 Total Hip Arthroplasties Using a Manual Technique
By experienced surgeons



Minoda Y, et al: CORR 2006

脱臼防止のための術後動作制限



THA CT-based navigation

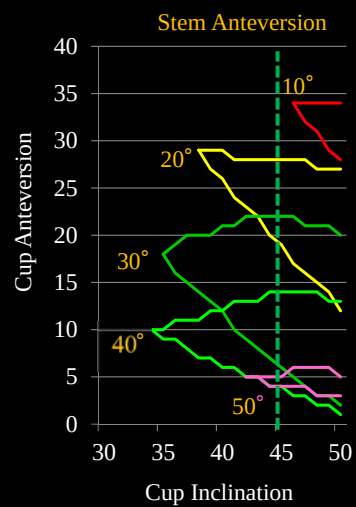


日常生活必要股関節動作で脱臼しない人工股関節カップの角度



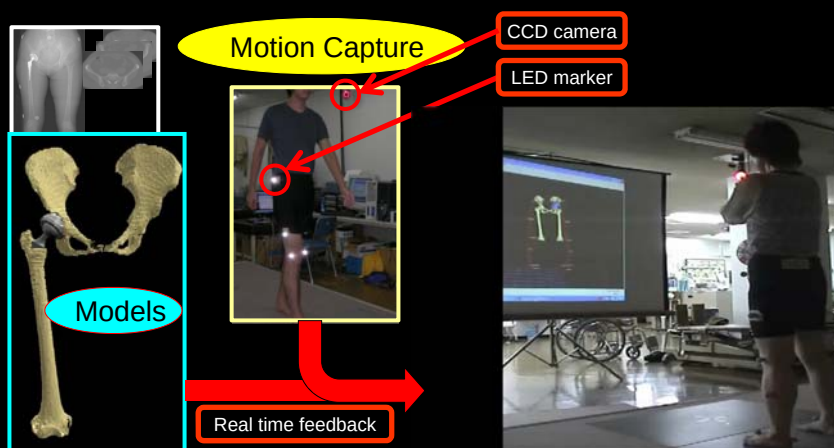
股関節必要可動域 (ROM)

屈曲	$\geq 120^\circ$
90° 屈曲内旋	$\geq 40^\circ$
伸展	$\geq 40^\circ$
外旋	$\geq 40^\circ$



Miki H, Sugano N. Modular neck for prevention of prosthetic impingement in cases with excessively anteverted femur. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2011

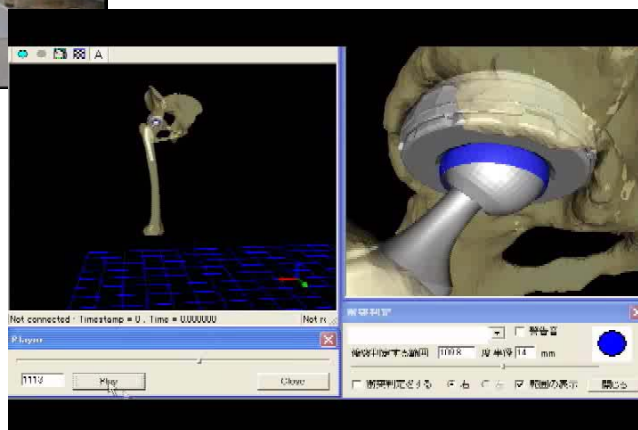
4次元動作解析システム



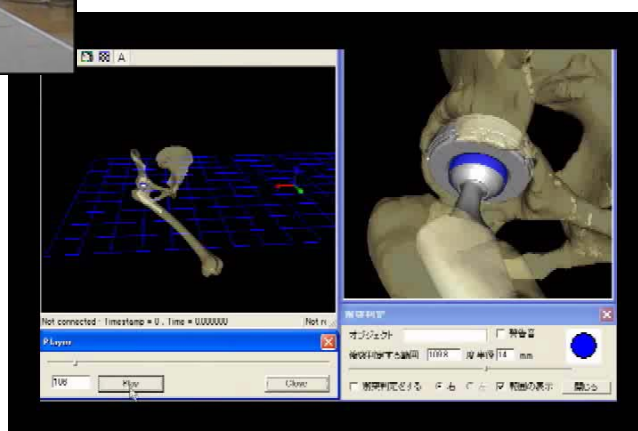
Hagio K, Sugano N, Nishii T, Miki H, Otake Y, Hattori A, Suzuki N, Yonenobu K, Yoshikawa H, Ochi T. J Orthop Res. 2004



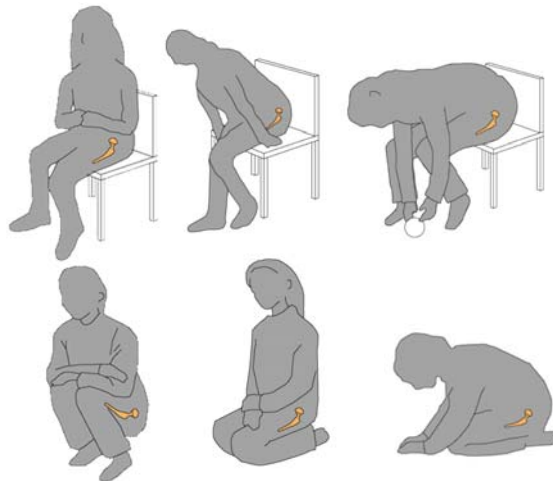
◆しゃがみ込み



◆正座、座例



必要可動域でインピンジしない人工股関節の設置を計画通りナビゲーションで施行した症例は、4次元動作解析システムで股関節深屈曲動作をしても、インプラントや骨の衝突もなく、動作制限しなくてもいいことがあきらかとなった。



Sugano N, Tsuda K, Miki H, Takao M, Suzuki N, Nakamura N. J Arthroplasty 2012



CT-based robotic cup placement

Robotics

T-solution One
by Think Surgical



✓ TKA
✓ THA

OMNIBotics
by OMNI



✓ TKA

Rosa
by Zimmer Biomet

✓ TKA

Navio PFS
by Smith and Nephews



✓ UKA

Orthotaxy
by Johnson & Johnson

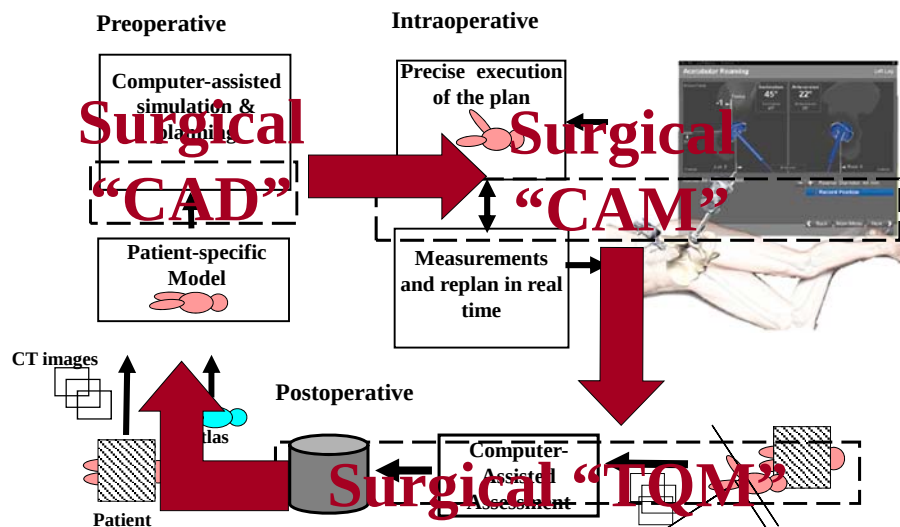
✓ TKA
✓ PKA

SpineAssist
by Medtronic



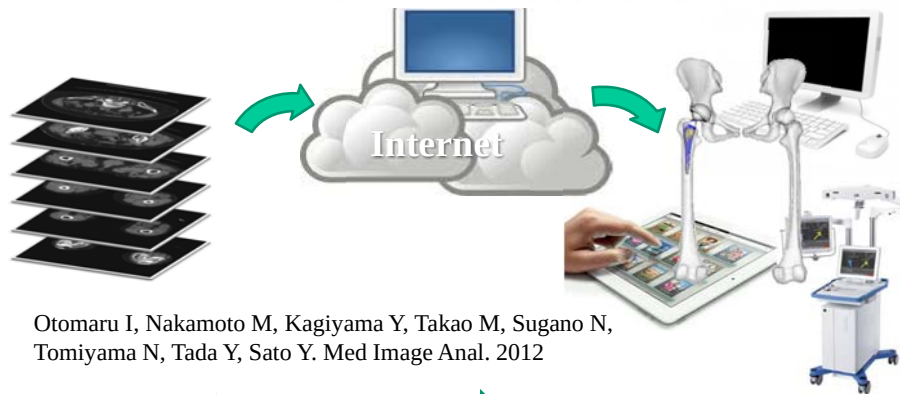
✓ Pedicle Screw

The Computer-Integrated OR



人工股関節自動手術計画システム

AutoImPlan



Otomaru I, Nakamoto M, Kagiya Y, Takao M, Sugano N, Tomiyama N, Tada Y, Sato Y. Med Image Anal. 2012

統計モデル



AI, DL

Automated Muscle Segmentation from Clinical CT using Bayesian U-Net for Personalized Musculoskeletal Modeling. Hiasa Y, Otake Y, Takao M, Ogawa T, Sugano N, Sato Y. IEEE Trans Med Imaging. 2019 (in press)

コンピューターシミュレーションの 骨関節手術計画への応用

- 荷重やひずみ、可動域(衝突検証)、アライメント変化などの手術前後の変化をシミュレーションするソフトが存在するが、手術計画の最適化をするための要素であって、最終的には外科医がfine tuningして使用している。
- CT-baseの個々の患者情報を使用したものは、アトラスベースのmodeling(imagelessや2次元X線投影像から3次元推定したもの)に比較して信頼性が高い。
- AI&DLによる自動手術計画が実用化されると、その信頼性の検証は課題である。