

関節軟骨の3次元モデル化による 術前の治療方針策定補助 ソフトウェア

筑波大学 附属病院 整形外科
病院講師 井汲 彰

2022年11月17日

はじめに

本技術は、既存のMRI、CTの長所を組み合わせ
関節内の状態の三次元的な描出を可能にした
画期的な技術である。

これまでに、上腕骨離断性骨軟骨炎に適用し、
関節内骨軟骨病変の正確な描出が可能である
ことが示されている。

今後適応を拡大するとともに、正確な状態把握
が求められるスポーツ選手のメディカルチェック
などにも**応用**が期待される。

上腕骨小頭離断性骨軟骨炎とは

- osteochondritis dissecans of the humeral capitellum;
OCD
- 成長期野球選手に好発
- 関節内骨軟骨病変
 - 軟骨下骨(深部)
 - 関節軟骨(表層)
- 原因: 外反ストレスの反復, etc.
- 症状: 腫れ・痛み
 - 初期症状が軽い
 - 医療機関受診が遅れる



OCDの診断

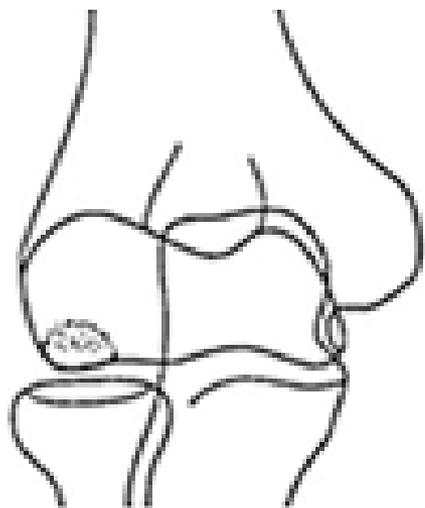
- 経過
 - 身体所見
 - 画像所見
- 総合的に診断

⇒ 病変部の状態を推察する上でも重要

- 単純X線
 - CT
 - MRI
- それぞれ長所と短所あり。
相互の短所を補いながら、
病変部の状態を推察。

単純X線

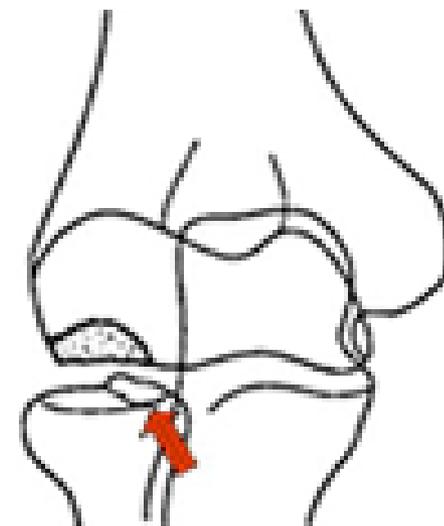
三浪の分類 三浪三千男ほか. 臨整外1979;14:805-810.



透亮期：
早期の骨壊死



分離期：
病変部周囲骨硬化
石灰化・骨化
分裂像



遊離期：
病変部脱落
遊離体形成

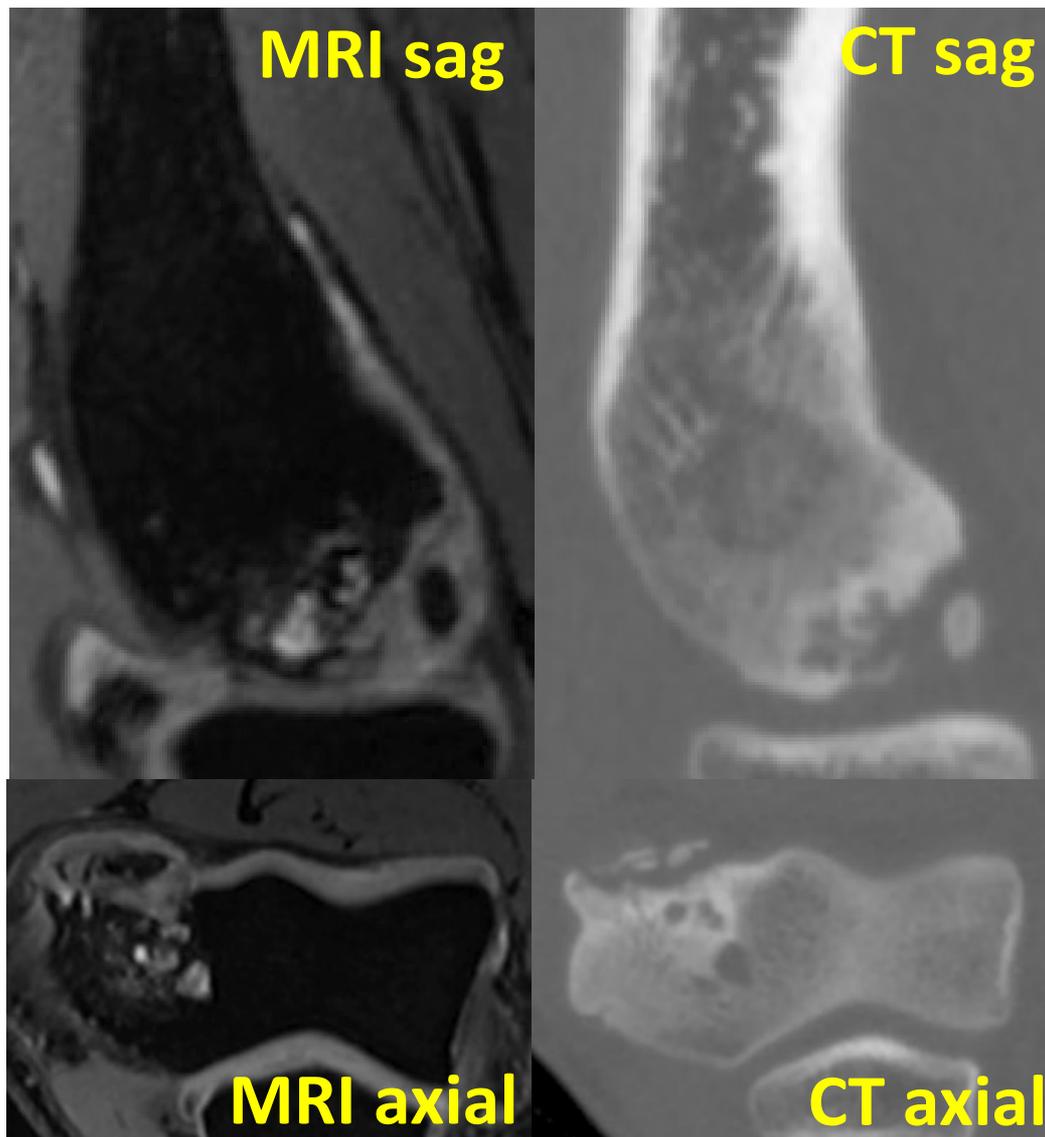
CT・MRI

CT :

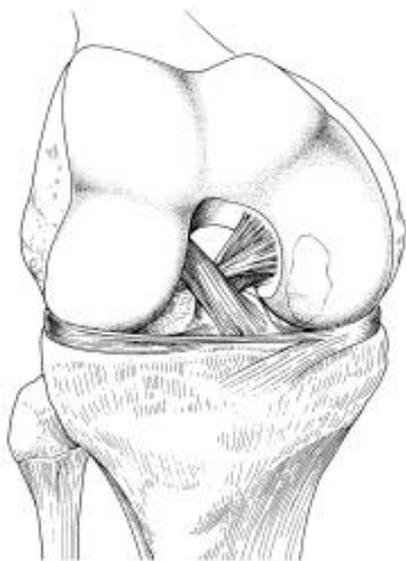
骨◎,
遊離体◎,
三次元再構成◎,
軟骨×

MRI :

軟骨◎,
早期診断◎,
骨△,
三次元再構成×

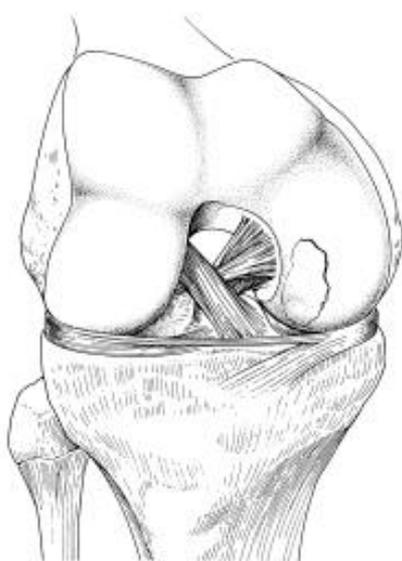


International Cartilage Repair Society 分類 (ICRS分類)



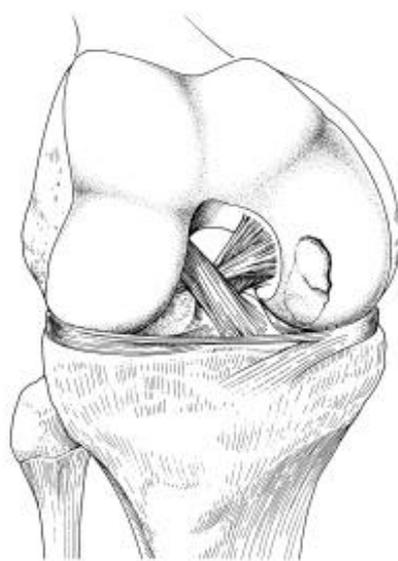
Class I

病変部の軟骨は視
診にて正常。
触診にて軟化。



Class II

病変部の軟骨
に亀裂あり。
触診で安定。



Class III

病変部と周囲
との連続性なし。
触診で不安定。



Class IV

病変は脱落。
関節軟骨は欠損。
遊離体。

安定型

剥離の危険性が低い

不安定型

剥離の危険性が高い
すでに剥離/転位

OCDに対する治療方針

- 病変部の剥離に伴う肘関節形態の変化
⇒ 適合性 ↓ ⇒ 関節不安定性 ↑ ⇒ 変形性関節症

不安定型 (ICRS class III, IV)

→ 骨軟骨片移植による関節面の再建

安定型 (ICRS class I, II)

→ 保存療法・鏡視下デブリドマン・ドリリング

etc

病変の正確な評価が不可欠

OCDの治療における問題点

- 手術以外に病変部の重症度を正確に評価する方法がない

肘関節の複雑な構造
OCD病変部が小さい

画像所見のみから、
病変部の詳細を
把握するのが困難。



手術の冒頭に病変部の評価を実施



術中に術式を決定

これで良いのか?

IMAGINE THE FUTURE.

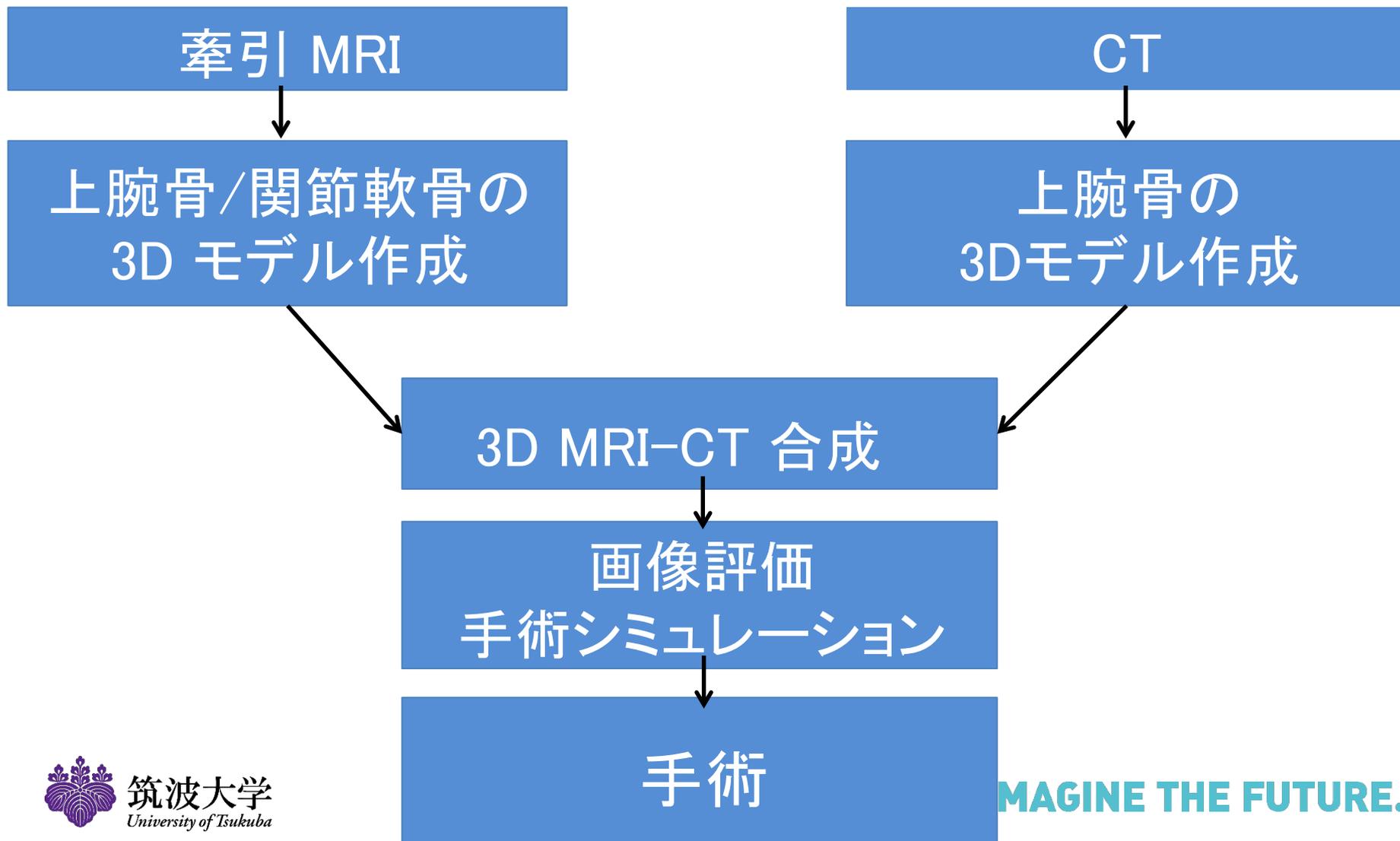
高い評価精度を有する 新しい画像評価方法の確立

- OCD症例のほとんどは成長期の少年
- 現行よりも詳細な病変部評価



- 綿密な手術計画の立案
- 術中判断の負担軽減, 侵襲の軽減
- 入院計画, 術後計画の詳細な立案
- 患者本人, 家族の不安軽減
- 医療費の節約

画像作成のアルゴリズム



牽引MRI

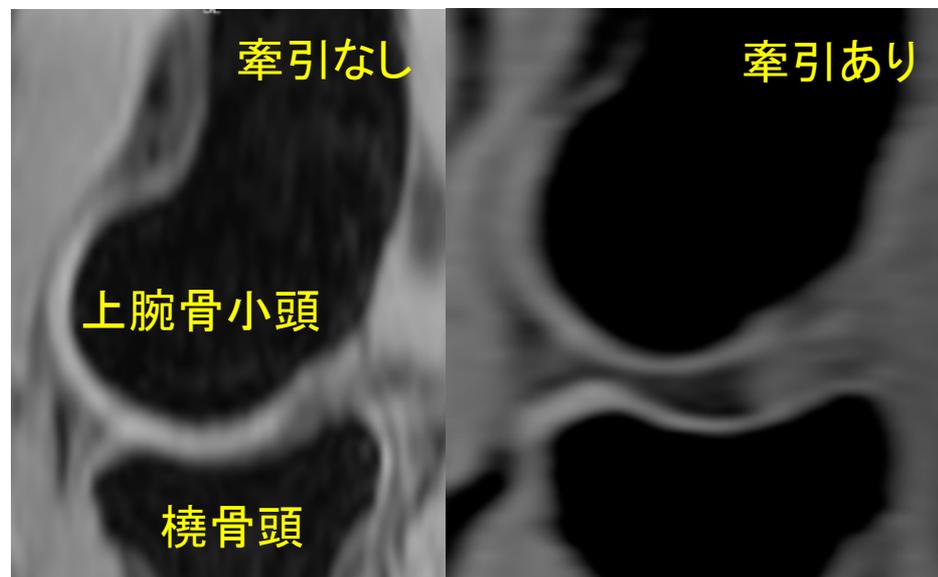
- 上腕骨小頭: 橈骨頭と密接
⇒ 関節軟骨の輪郭が正確に評価できない.
- 7kg の牽引を加えて撮像
- 関節裂隙の開大
- 関節軟骨

可視性の改善

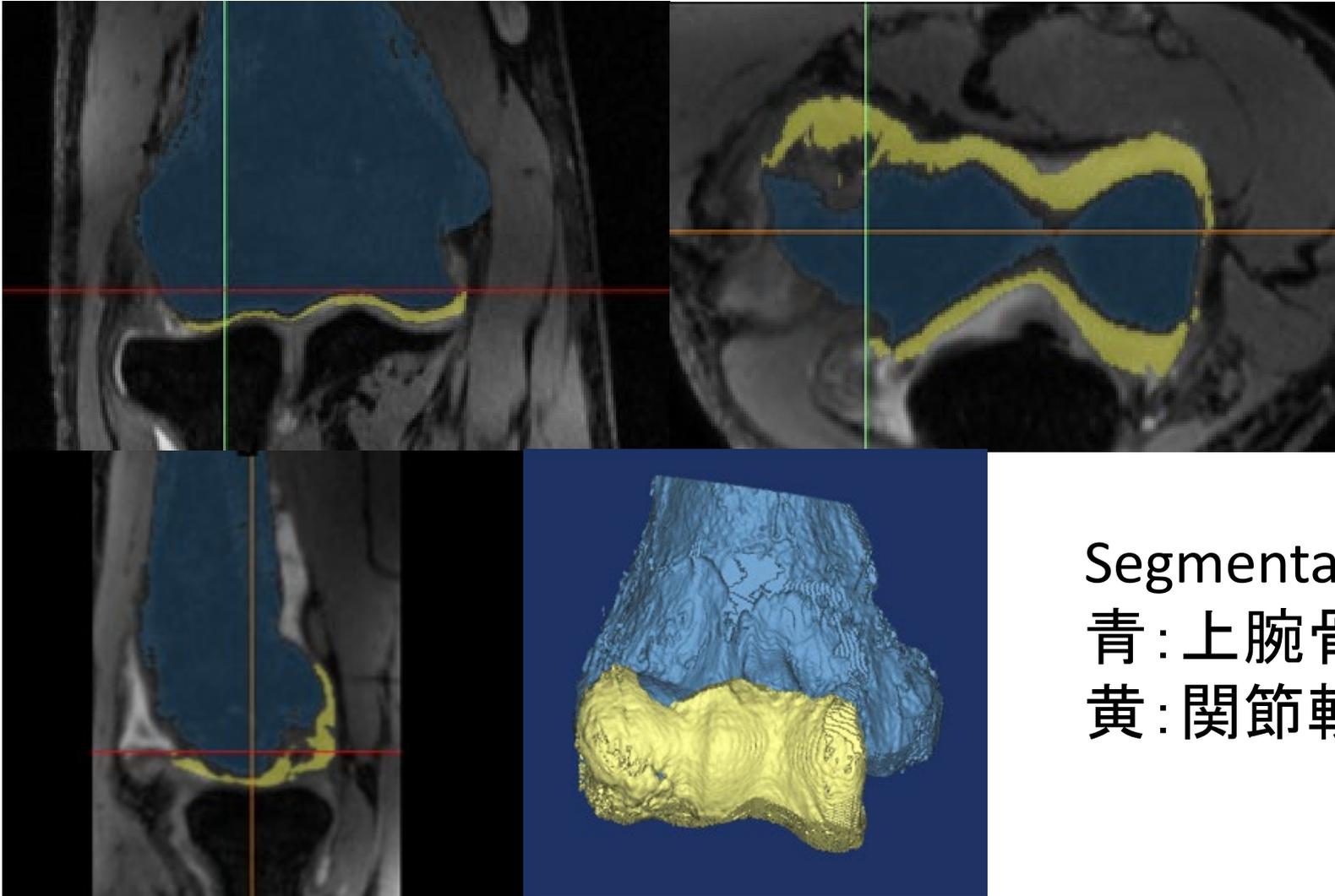


関節軟骨の正確な分離

※CTに牽引は不要



3D-MRIの作成 (上腕骨・関節軟骨)

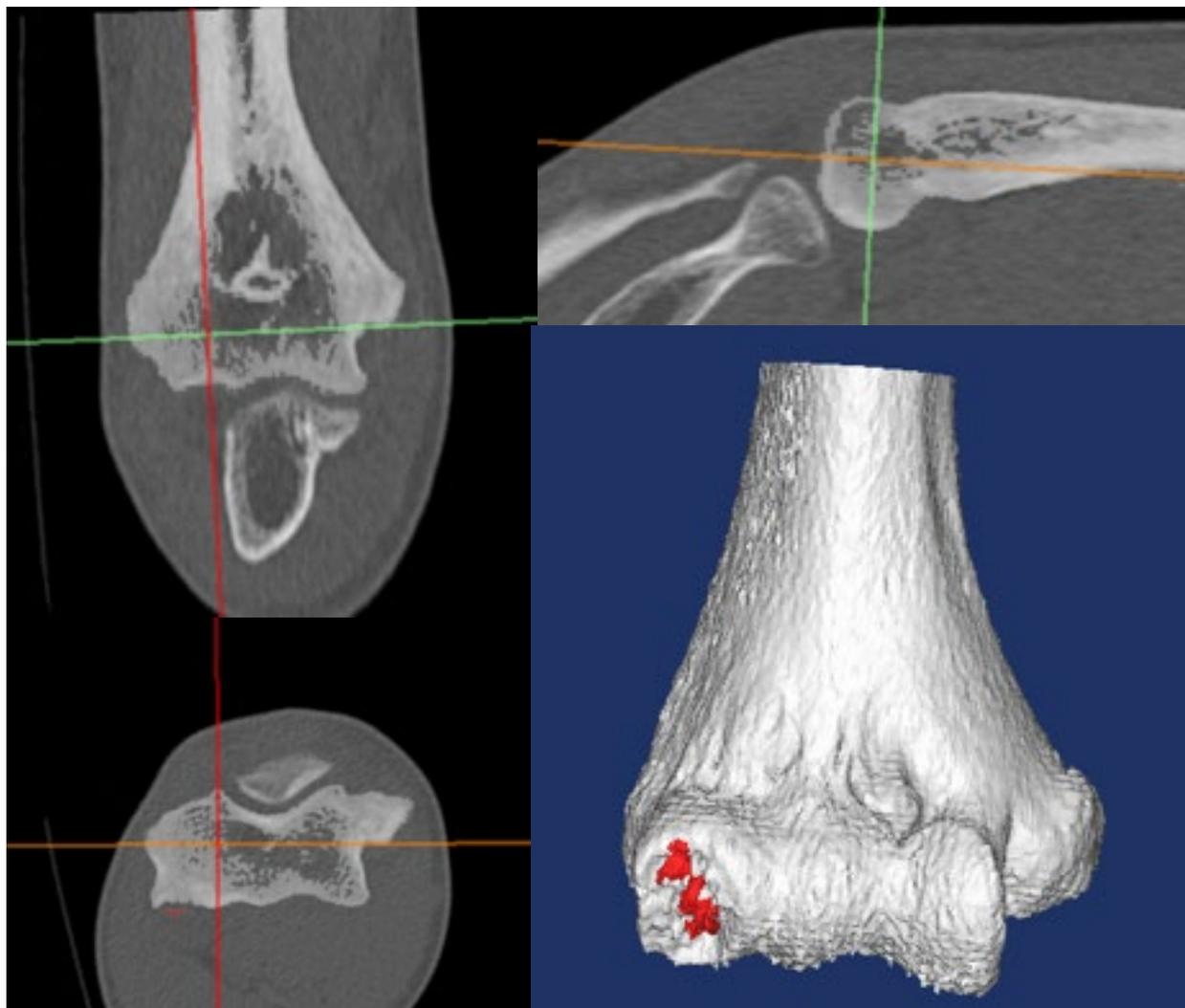


Segmentation

青：上腕骨

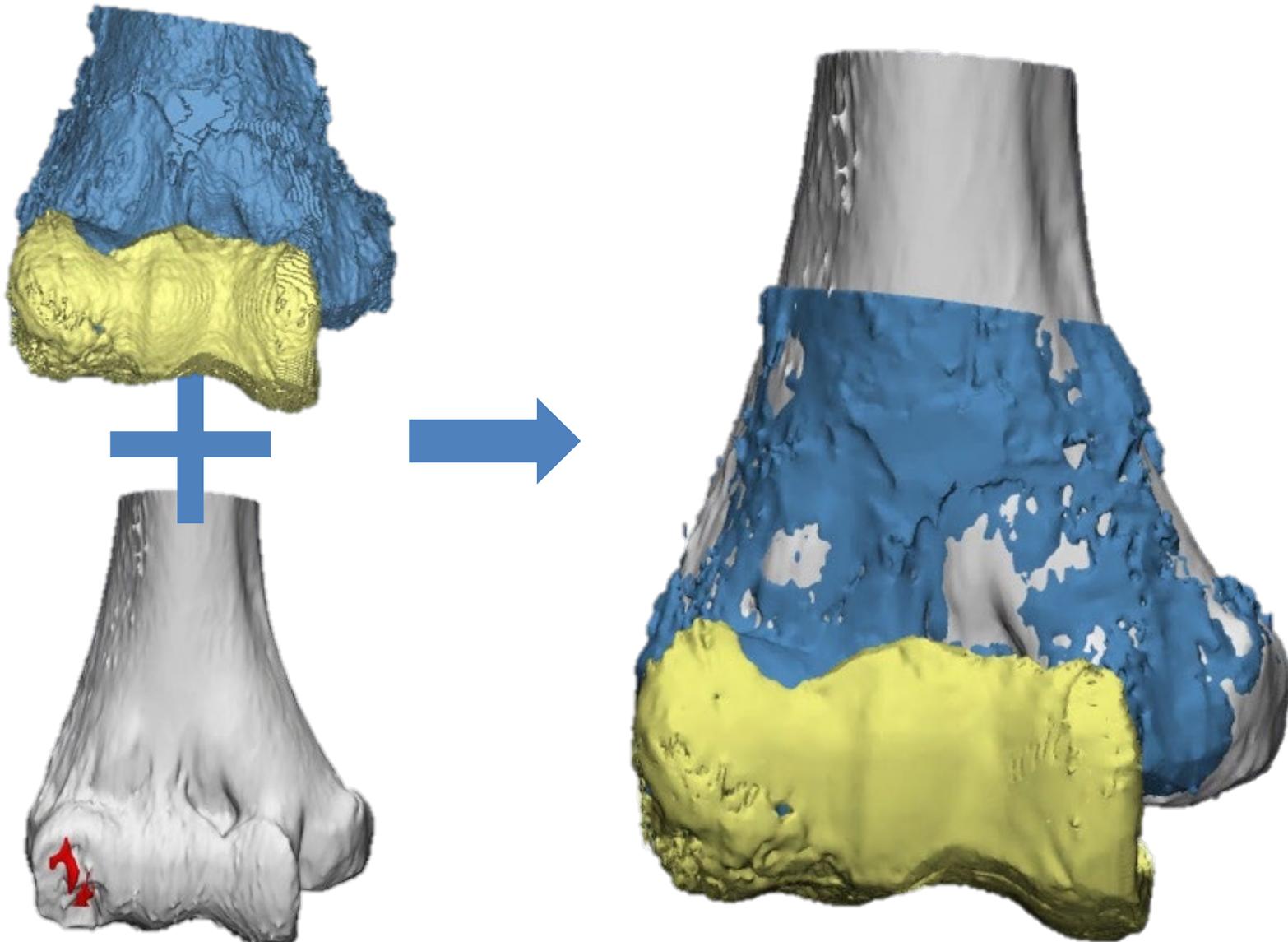
黄：関節軟骨

3D CTの作成（上腕骨）

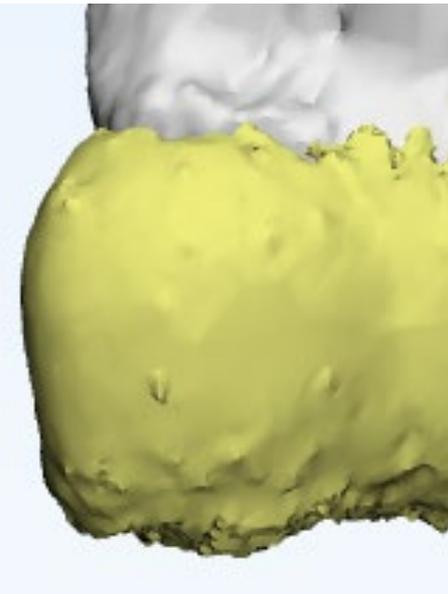
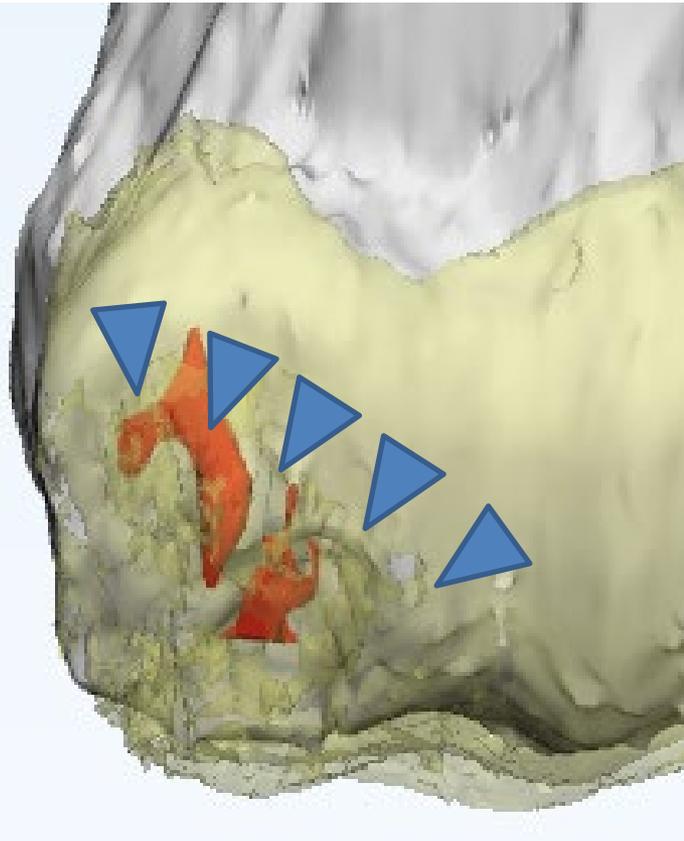
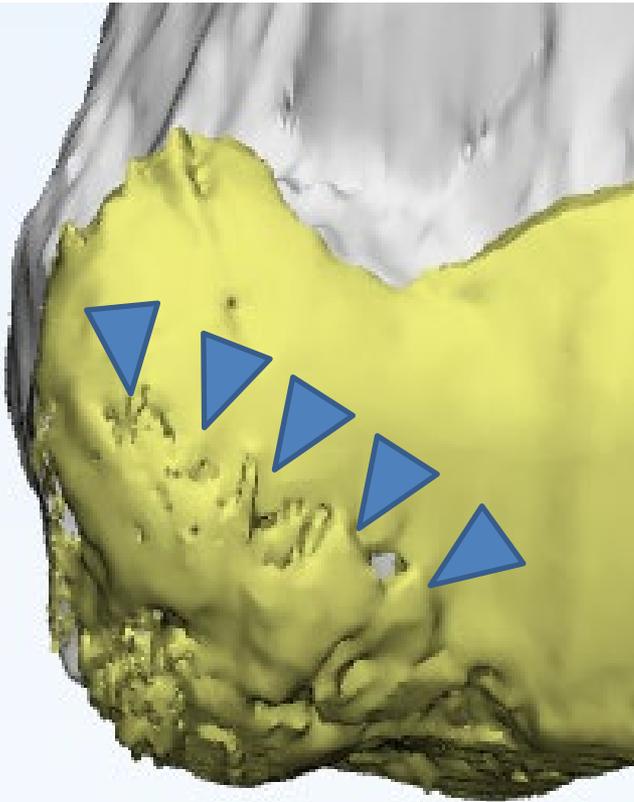


Segmentation
白：上腕骨
赤：遊離した
軟骨下骨

3D MRIと3D CTの合成

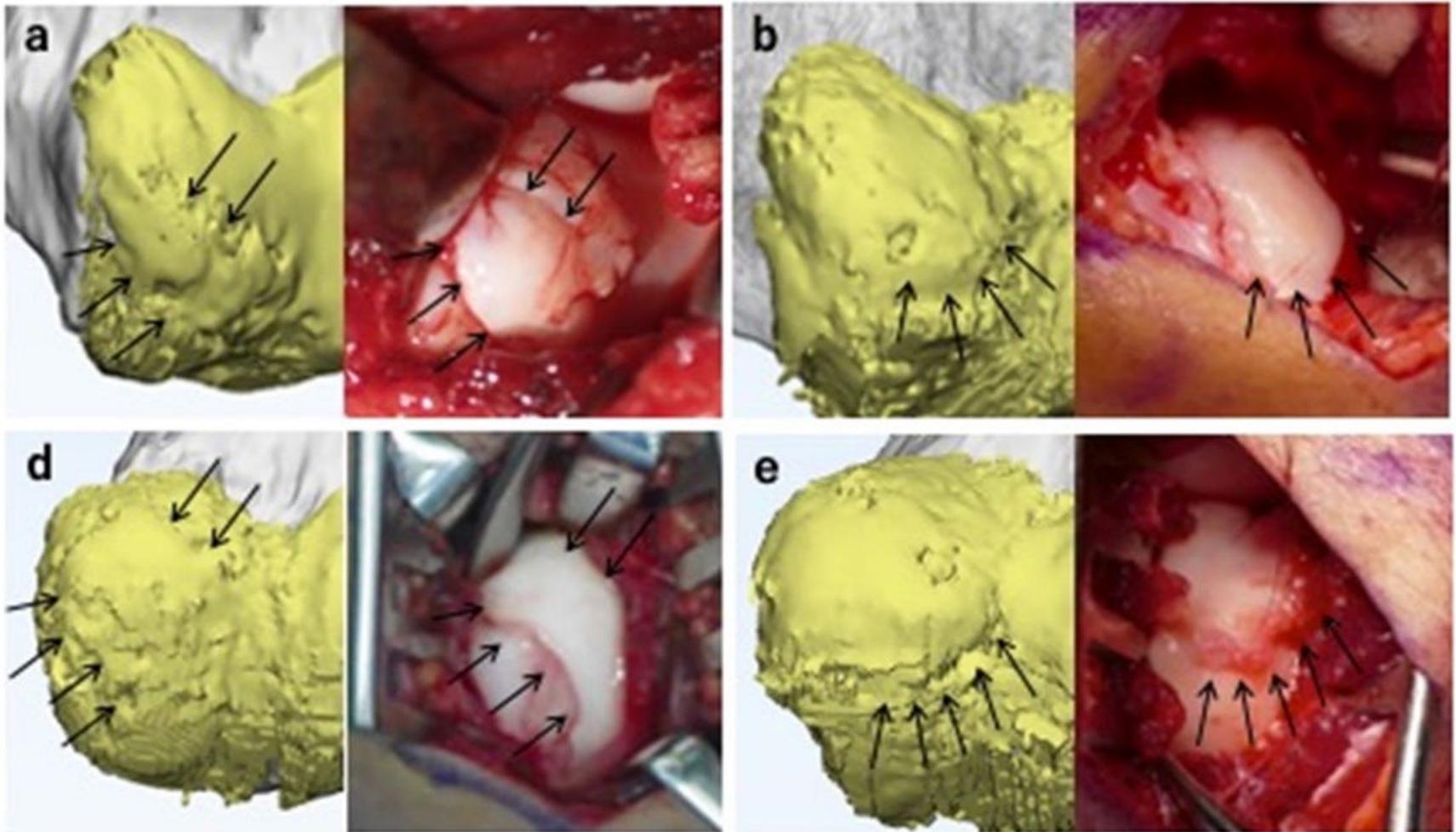


三次元的病変評価

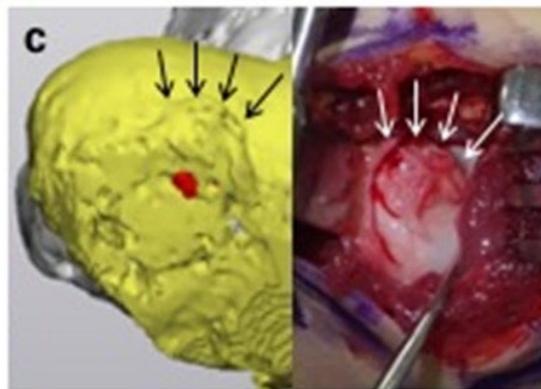


正常例

軟骨に生じた亀裂と、遊離した軟骨下骨との正確な位置関係が把握可能

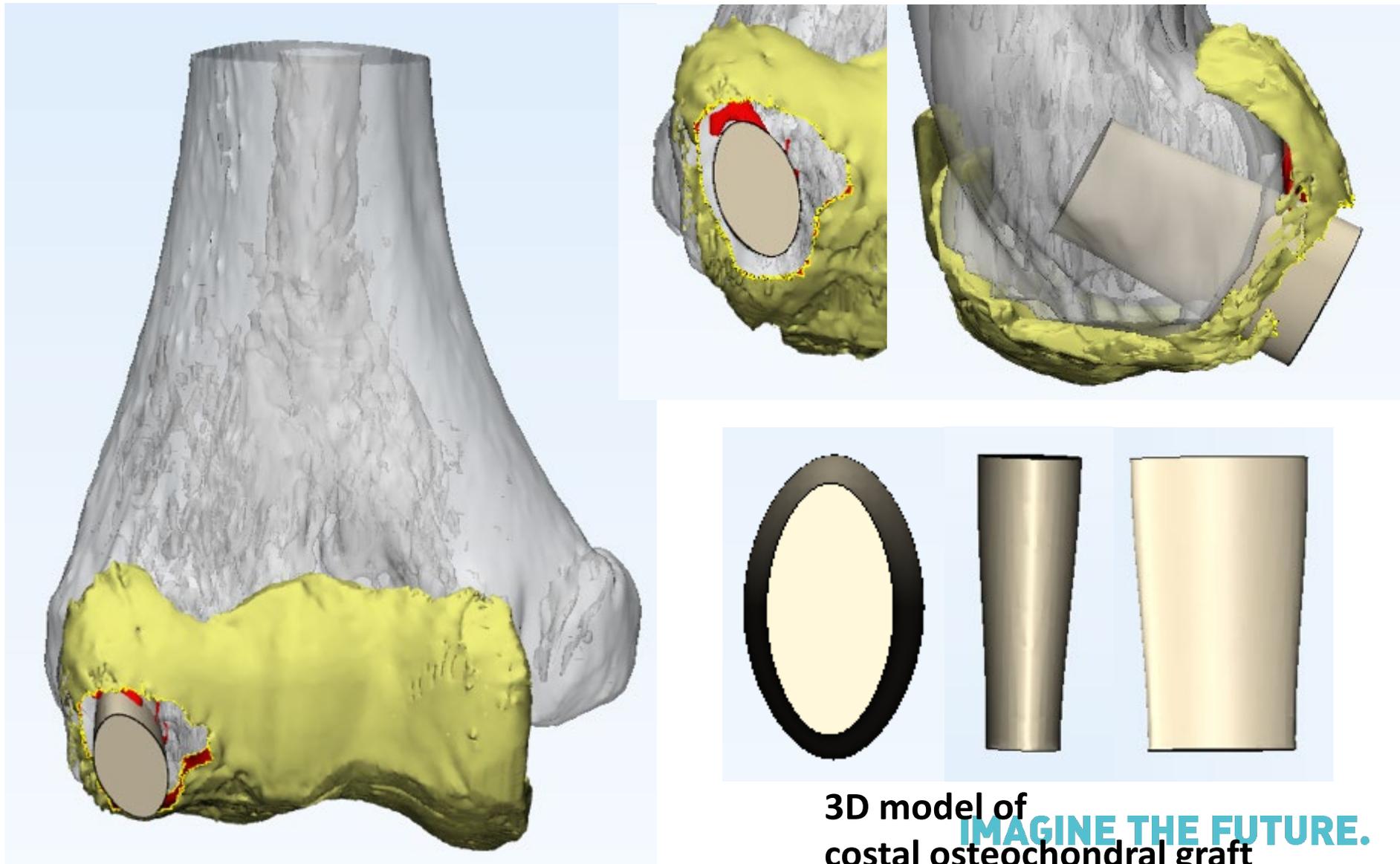


術中所見との対比

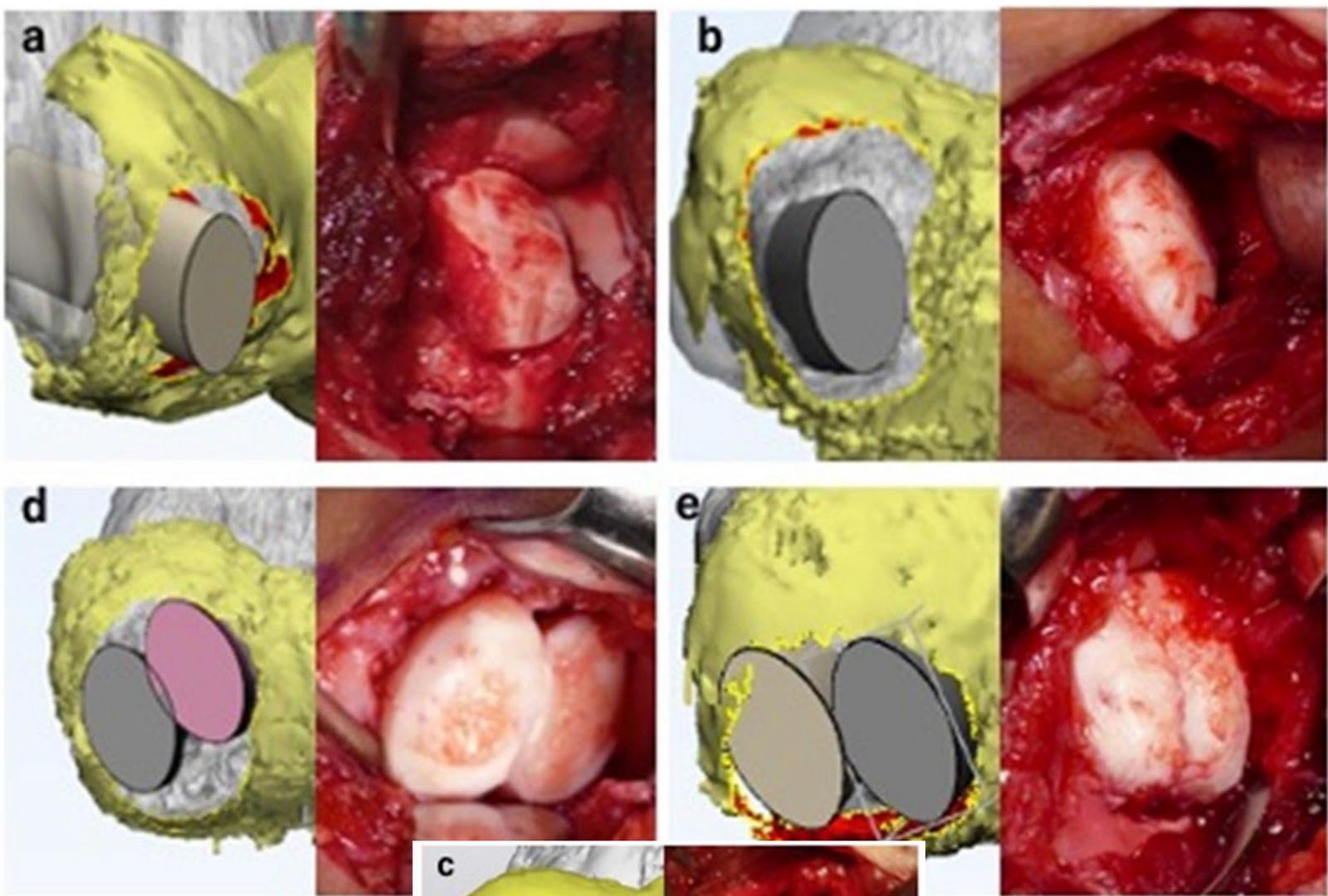


関節面の変形
軟骨の亀裂
⇒ 正確に再現

手術シミュレーション



3D model of
costal osteochondral graft
IMAGINE THE FUTURE.



シミュレーションと
術後の対比

いずれも
 シミュレーション通り
IMAGINE THE FUTURE.

まとめ

関節内骨軟骨病変の詳細が 正確に評価可能

利点

- 非侵襲的
- 病変の3次元的な評価
- 深部の状態も可視化可能
- 術中判断の最小化

欠点

- 画像作成に時間がかかる(1.5-2 時間/症例)
- 画像作成技術の習得(簡便化が必要)

今後の展望・課題

- 適応の拡大
 - ⇒ 母指CM関節症、膝関節OCDなど
- 保存症例での画像作成
 - ⇒ 同一症例の経時的変化の調査
- ハイレベル選手のメディカルチェック、トレーニングへの応用
- 症例の蓄積 ⇒ AIによる画像作成の自動化

企業への期待

- **画像処理ソフトウェア**をお持ちの企業とのコラボレーションを希望（今回提示した画像は materialise社 mimics, 3-maticを使用し作成）
- **AIを用いた自動画像作成アルゴリズムの開発**において、ノウハウをお持ちの企業との共同研究を希望
- **画像処理に精通した技術者**をお抱えの企業とのコラボレーションを希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：3次元モデル生成方法、3次元モデル生成装置、及び3次元モデル生成プログラム
- 出願番号：特願2020-511081, PCT/JP2019/002368
- 出願人：国立大学法人 筑波大学
- 発明者：神山 翔, 原 友紀, 西浦 康正

お問い合わせ先

筑波大学

産学連携部 産学連携企画課

T E L 029-859 - 1486

F A X 029-859 - 1693

e-mail event-sanren@un.tsukuba.ac.jp