

腎結石軌道予測 シミュレーションシステム

横浜市立大学 医学部 医学科 泌尿器科学
助教 古目谷 暢

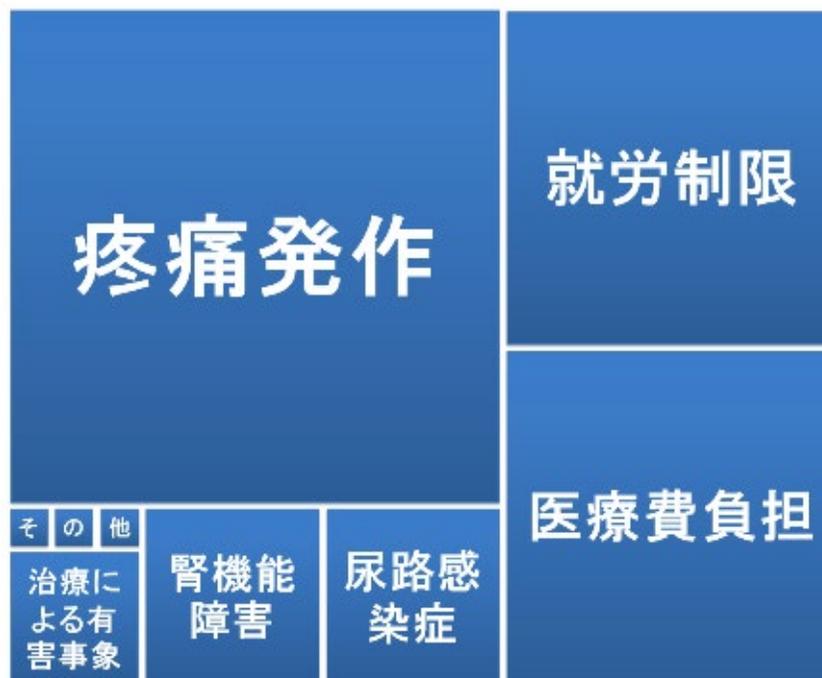
2022年10月25日

研究分野の概要や社会的位置づけ

尿路結石症

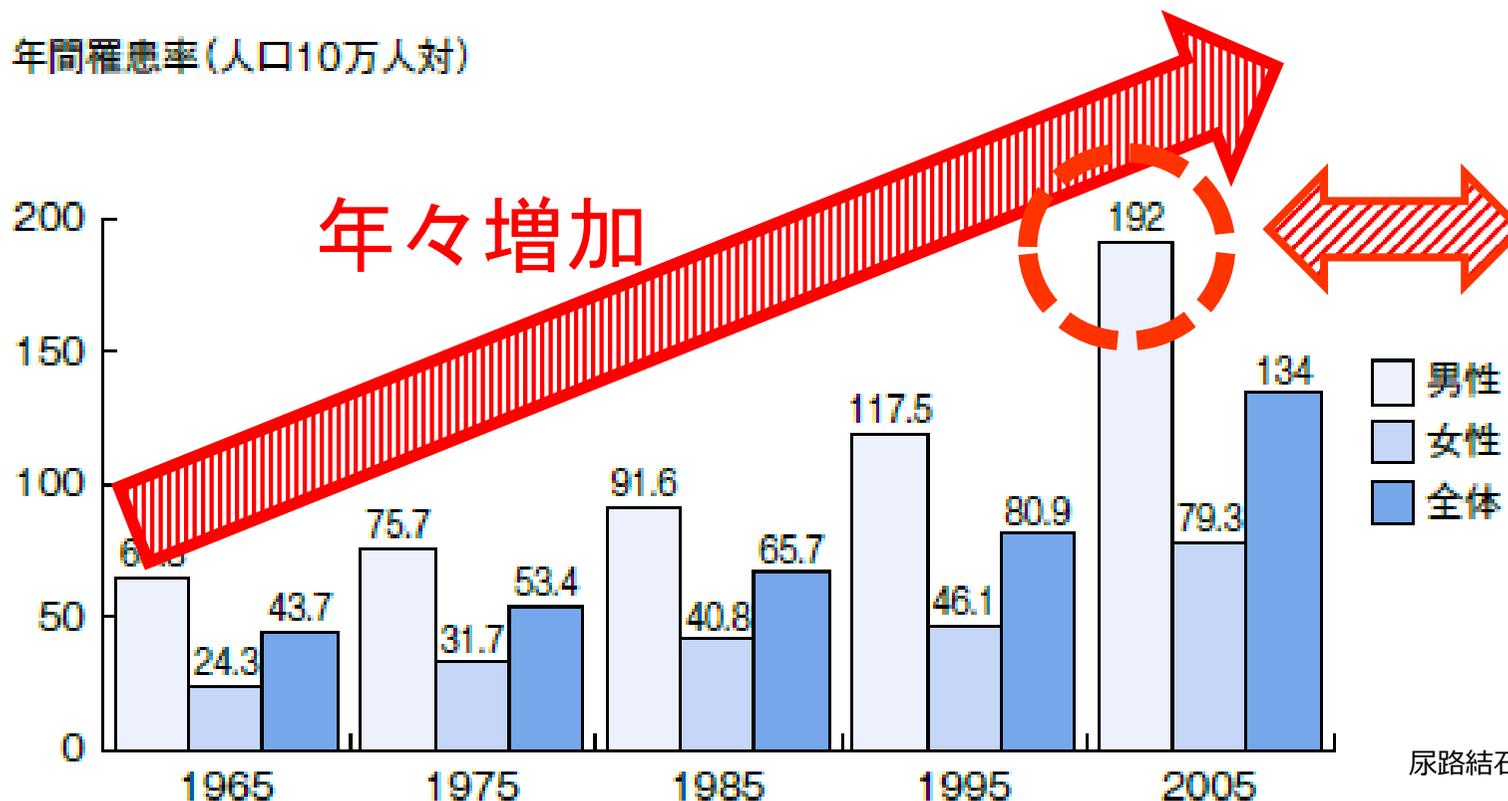
- 尿路とは、尿が通過する腎臓、尿管、膀胱、尿道からなる。
- 尿路結石症とは、尿路に存在する結石により臨床症状を認めた状態である。

尿路結石に対する
患者負担



罹患率の増加

年間罹患率(人口10万人対)

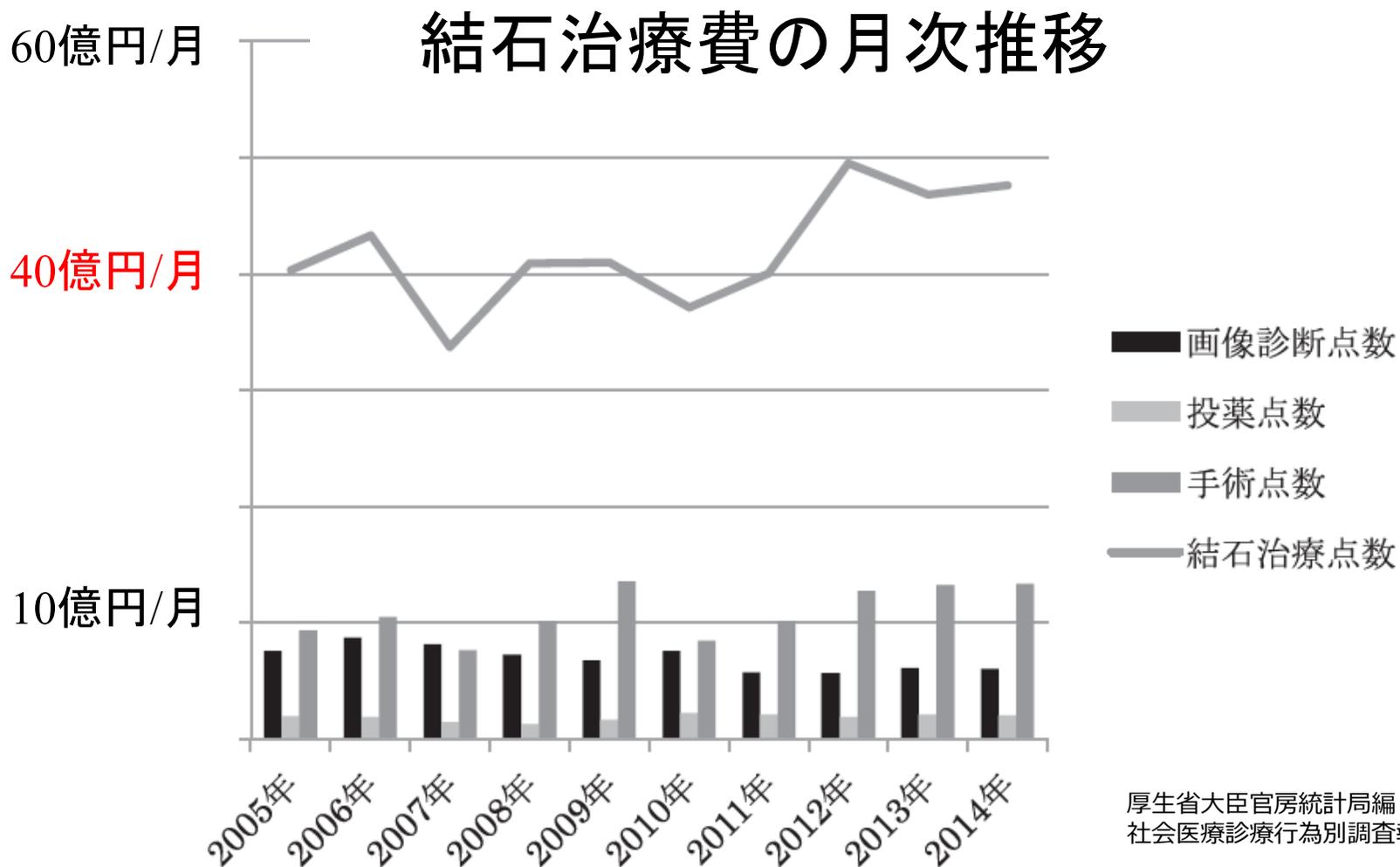


癌罹患率
(263人/人口
10万人)に近づいている

尿路結石症診療ガイドライン2013年版から引用

- 罹患率は人口10万人当たり192人と高く、年々増加している（生涯罹患率は男性で15%、女性で6.8%）。
- 再発率は5年で40～50%と非常に高い。

医療費の増大



- 尿路結石症治療費は2014年時点で年間572億円に達する。

尿路結石の問題点

- 疼痛発作、腎盂腎炎や腎機能障害のリスクがある。
 - 通院、入院による就労困難を認め社会的負担が大きい。
 - 60%以上で合併症のリスクがある外科的治療が行われる。
 - 再発率が50%に達するため上記負担が繰り返される。
- 
- 外科的治療を回避し、再発率を低下させるため、新規予防法の開発が望まれる。

従来技術とその問題点

結石形成メカニズム

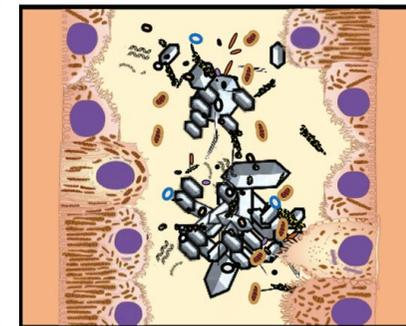
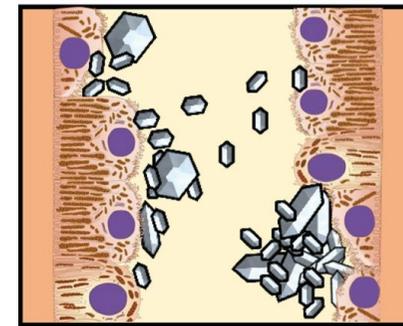
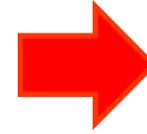
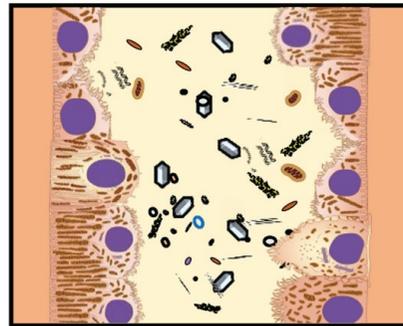
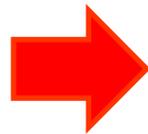
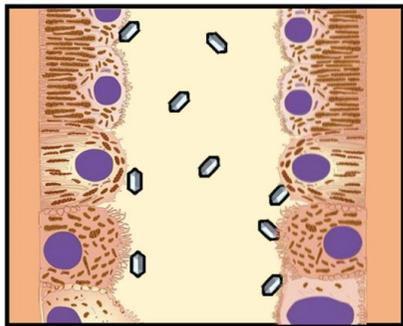
メタボリック症候群 肥満 高血圧 糖尿病 高脂血症



結石成分の析出

タンパク質などの増加

結石の核の形成



Front Physiol. 2020 Oct 20;11:566506.から引用

- 尿細管で結石成分が析出し、タンパク質などを巻きこみ、結石の核が形成され、尿路結石に成長する。

従来の予防法と問題点

- 食事、飲水、運動指導や内服治療が行われる。
- 尿中での結石成分の析出を阻害し、尿中タンパク質を減少し、結石形成を防止する。



- しかし、尿中の成分を24時間365日にわたり制御するのは困難で、結石成分が析出し、核が形成されてしまう。
- このため、従来の予防法では、5年で40-50%が再発してしまう。

新技術の特徴・従来技術との比較

新技術の開発コンセプト

- 従来法とは異なり結石形成を予防するのではなく、結石を無自覚、無症状で排出することで尿路結石症を予防する。



- 患者の姿勢、運動を制御して、微小サイズの腎結石を排出する。



- 腎杯、腎盂の形状は極めて多様性に富んでいる。



- 患者毎に腎結石軌道を予測するシミュレーションを開発する。

従来の予防法との比較

- 微小サイズのうちに結石を無自覚、無症状で排出する、従来とは全く異なる予防法である。
- 患者の姿勢、運動を数日おきに数分間制御するだけで、患者のアドヒアランスが高く、従来法よりも高い予防効果が期待できる。
- 本予防法により、再発率を50%から10%へ低下させ、罹患率を人口10万人当たり192人から最大で38%低下させ、年間医療費も215億円減少させることが期待できる。

従来技術との比較

- 世界で初めての結石軌道予測シミュレーションである。
- 尿流、重力、加速度が結石の挙動に及ぼす影響を正確に予測できる。
- 実物モデルで精度検証を行ない、シミュレーションの精度を向上させた。
- 腎杯、腎盂の個体差に対応している。
- 家庭用PCで数分でシミュレーションできるように計算コストを軽減した。
- シミュレーション結果を容易に理解できるように可視化した。

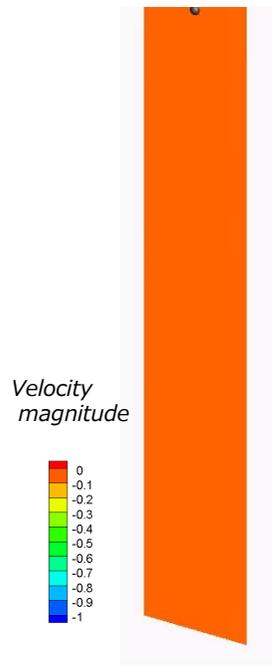
新技術の特徴

- 運動や姿勢の変化による腎結石の軌道を予測することができる。
- 医用画像検査から得た患者情報に基づいて腎結石の挙動を個人毎に予測することができる。
- 数百～数万個の結石の挙動を短時間で同時に予測することができる。

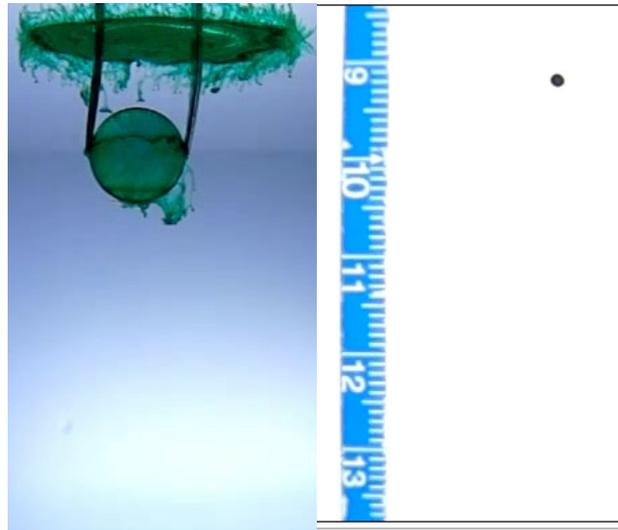
実証データ、応用例や適用事例とその結果 (実験結果、検証結果など)

自由落下時の精度検証

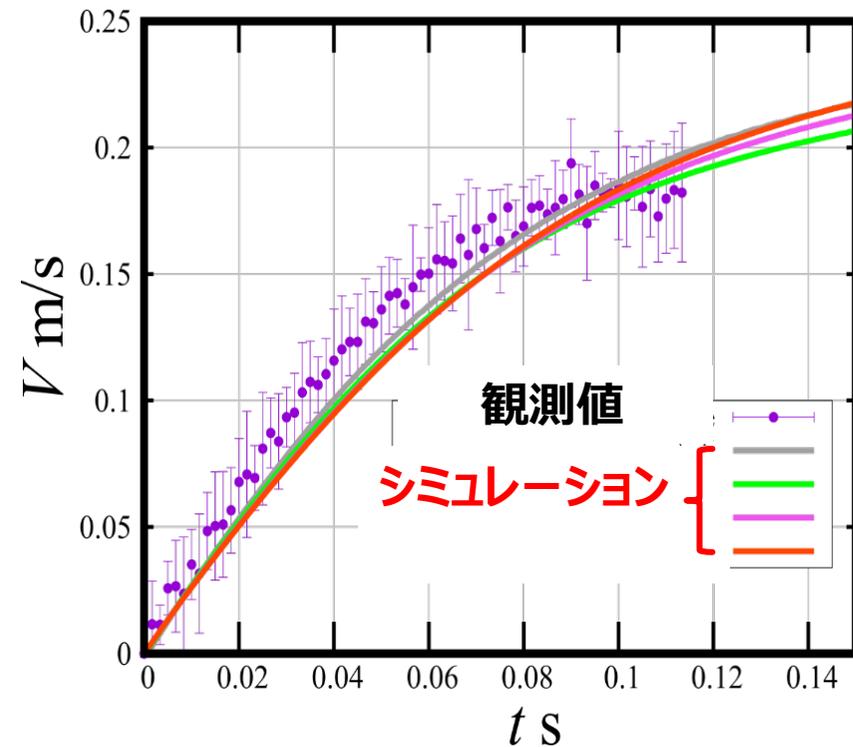
シミュレーション
結果



観測結果



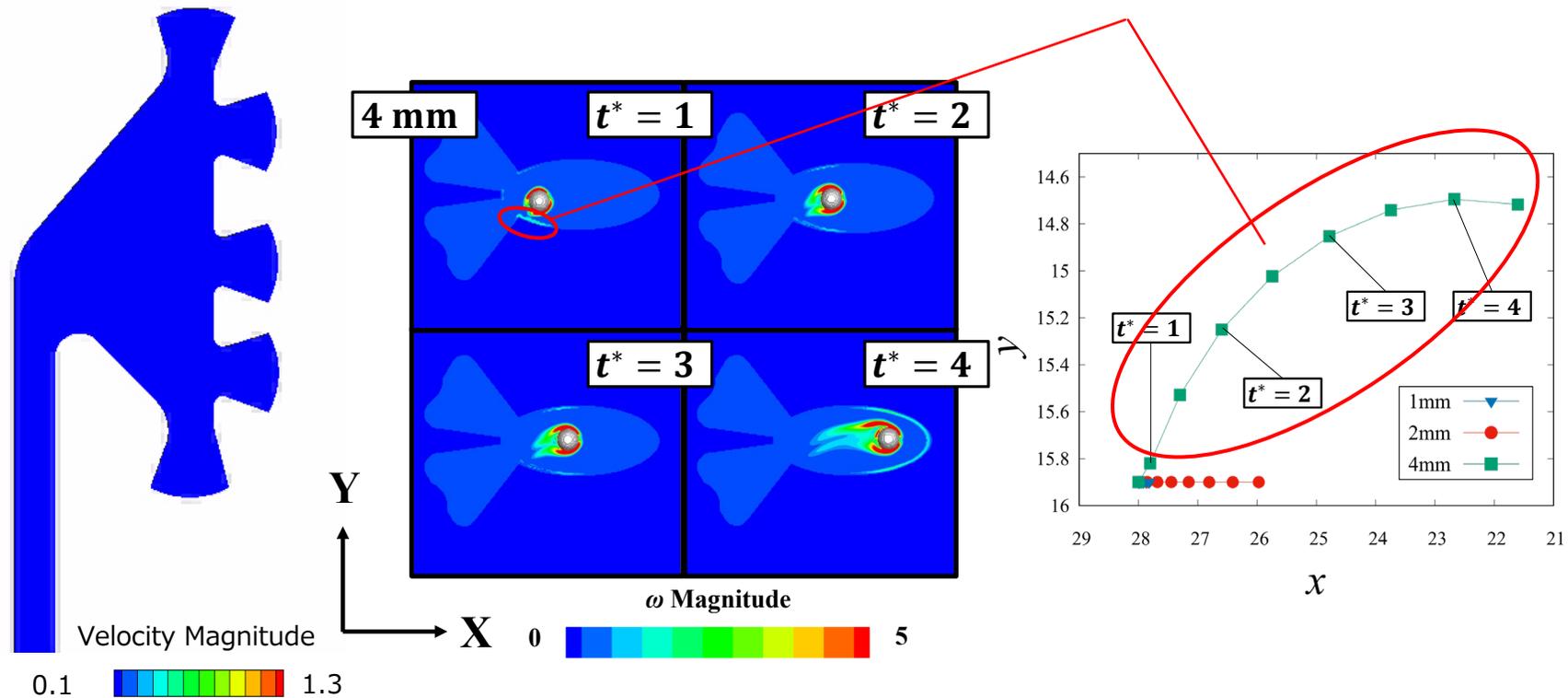
シミュレーションの精度検証



- 自由落下時（壁面接触なし）の結石軌道を高精度で再現した。

壁面の結石挙動への影響

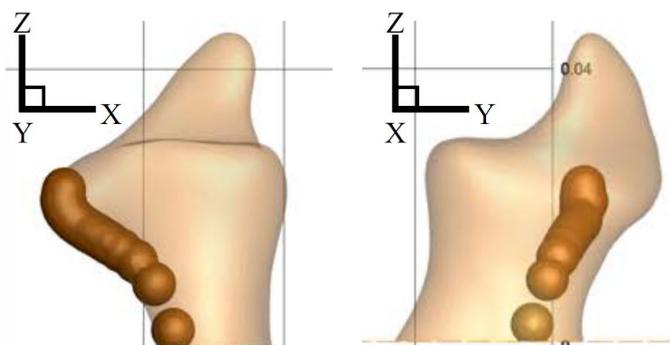
腎盂壁面の影響で結石の軌跡が湾曲した



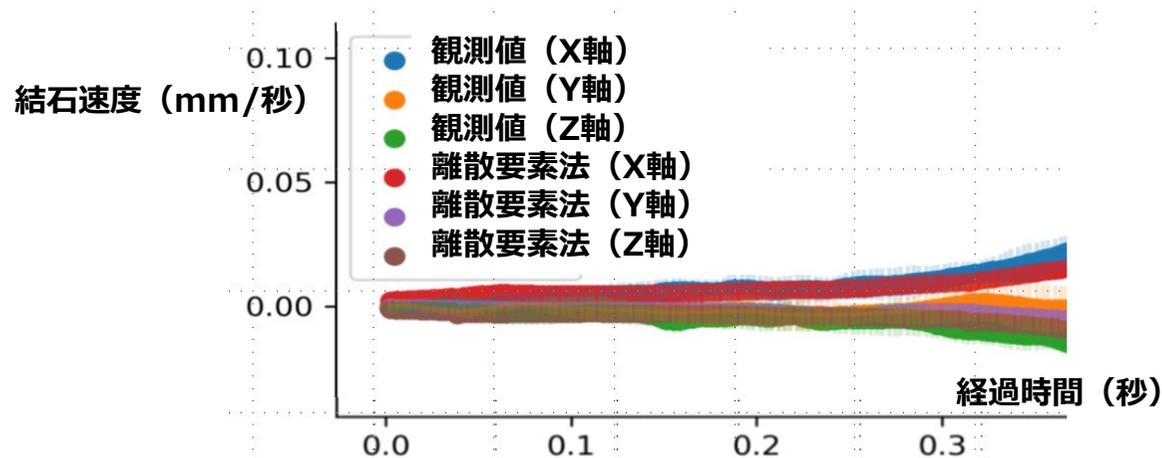
- 結石サイズが4mm未満だと壁面の影響を受けないため、シミュレーションは結石軌道を正確に予測できる。

壁面接触時の精度検証

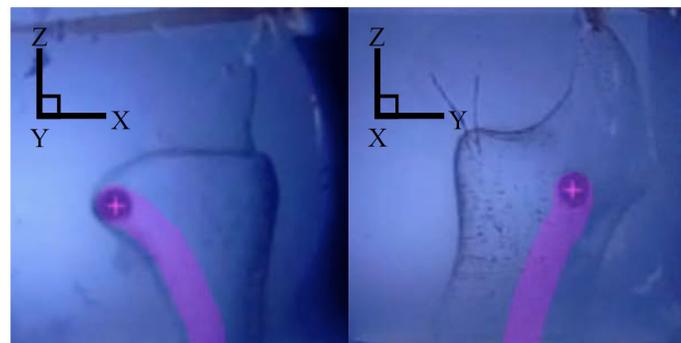
シミュレーション結果



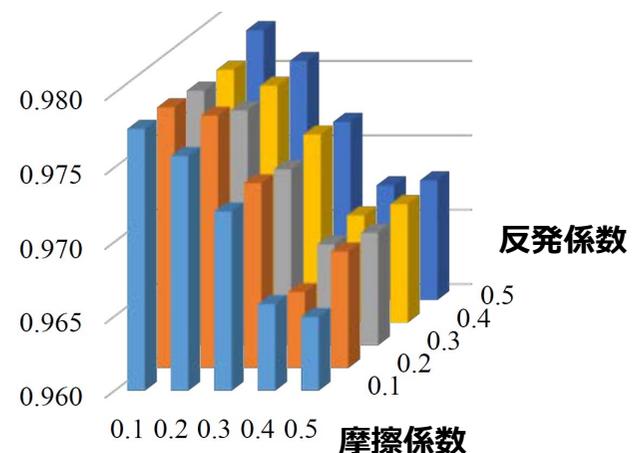
シミュレーションの精度検証



観測結果



相関係数

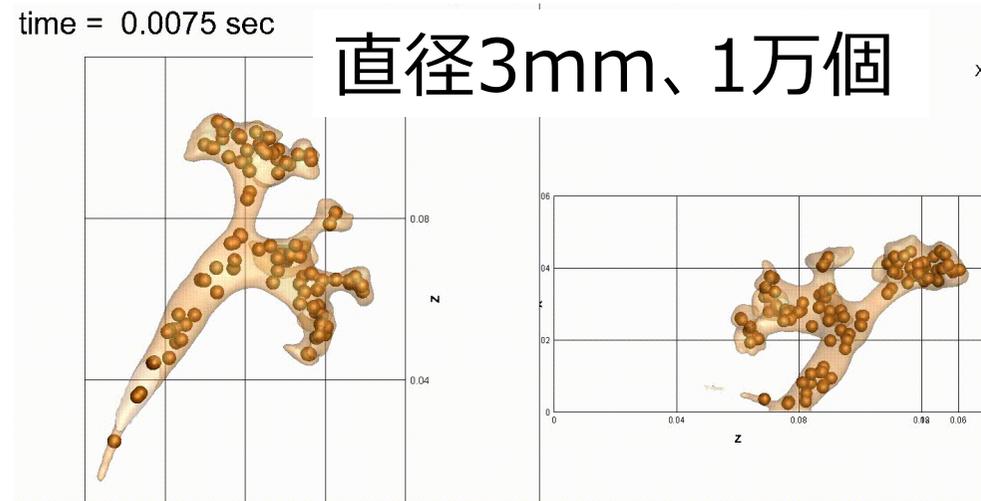
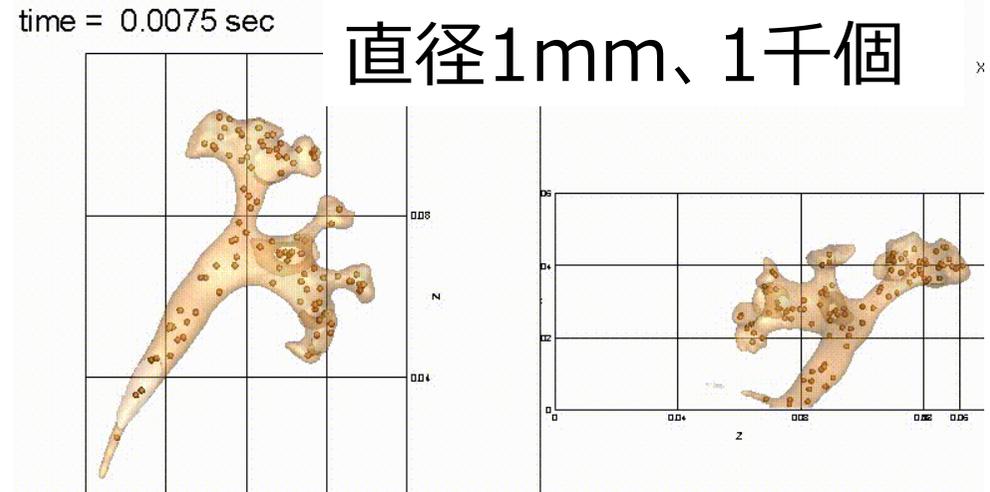
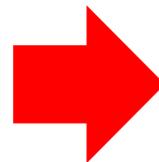
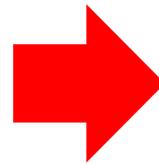


- 壁面接触時の結石軌道を高精度で再現した。

腎臓内の結石軌道シミュレーション結果①

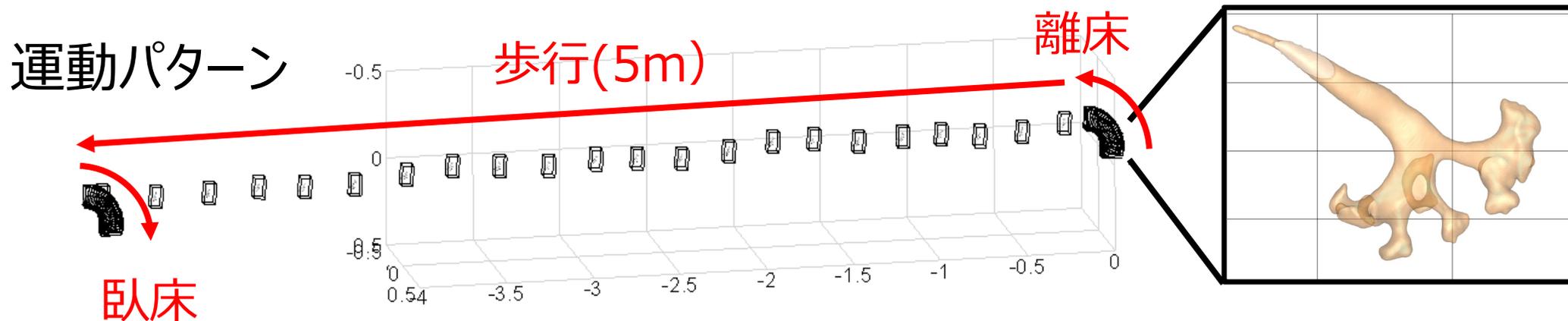
シミュレーションの設定

姿勢 (0-360度)
尿量 (0.1-150L/日)
サイズ (0.5-4mm)
重力 (0-1g)
結石数 (1-10000個)
運動 (起床、起立、歩行)

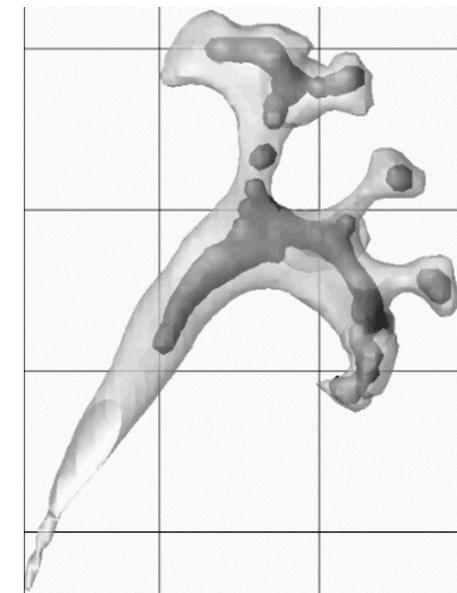
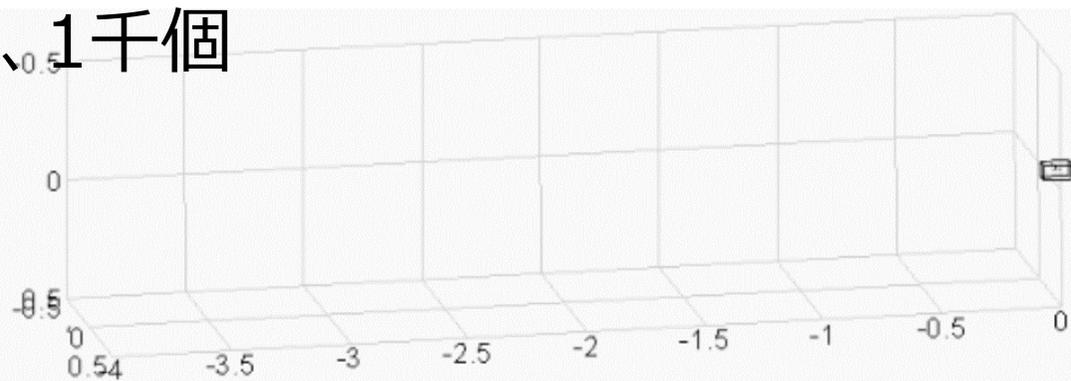


□ 患者の腎臓内での結石軌道をシミュレーションした。

腎臓内の結石軌道シミュレーション結果②



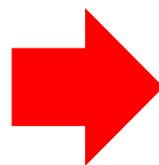
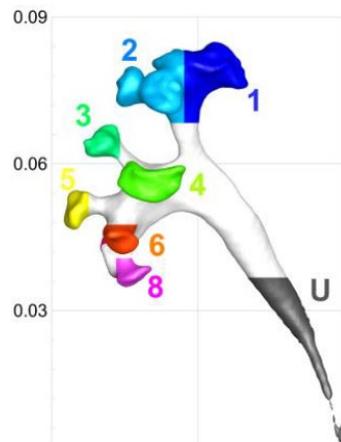
直径3mm、1千個



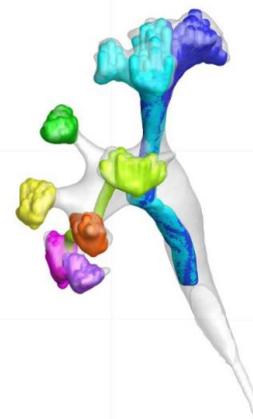
- 運動下での結石軌道をシミュレーションした。

結果の表示方法

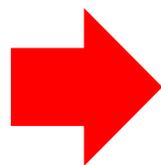
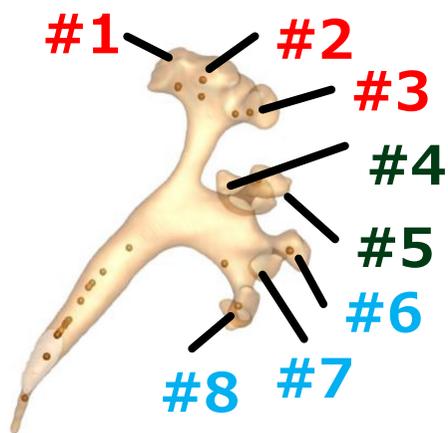
結石を場所毎に
色分け



結石の軌道を
描画



- 結石の軌道を視認できるようになった。



各腎杯の結石残存率(%)



- 各腎杯の結石がどれくらいその場に残るのか、どこに移動するのか数値化できるようになった。

想定される用途

新技術の応用① 臨床

- 生体では検証しにくい、できない姿勢や運動を含め網羅的にシミュレーションをおこなう。
- 結石を効果的に排出する運動、姿勢を予測する。
- 検診・病院受診者、尿路結石症の既往歴がある患者、結石の手術療法直後の患者に排石に最適な姿勢、運動を指導し、尿路結石症の新規発症および再発を予防する。

腎結石排石指導ソフトウェアとして医用画像診断機器に実装する

新技術の応用② 臨床

- 生体では検証しにくい、できない姿勢や運動を含め網羅的にシミュレーションをおこなう。
- 結石を効果的に排出する運動、姿勢を予測する。
- 検診・病院受診者、尿路結石症の既往歴がある患者、結石の手術療法直後の患者に排石に最適な姿勢、運動を機械を用いて再現することで尿路結石症を予防する。

排石に最適と予測される姿勢、運動に則って患者を動かし排石効率を最大化する腎結石排石誘導機器を開発する

新技術の応用③ 臨床

- 生体では検証しにくい、できない姿勢や運動を含め網羅的にシミュレーションをおこなう。
- 排石に必要な姿勢や運動の実行しやすさに基づいて結石の排石され易さを数値化し、尿路結石症のリスク分類を行う。
- 検診・病院受診者がどれくらい尿路結石症を発症しやすいか確認でき、ハイリスク患者には前述の指導や機器を用いることで尿路結石症を効果的に予防できる。

腎結石リスク分類ソフトウェアとして医用画像診断機器に実装する

新技術の応用④ その他

- 生体では検証しにくい、できない姿勢や運動を含め網羅的にシミュレーションをおこなう。
- 結石を効果的に排出する運動、姿勢を予測する。
- 個人に直接アドバイスし、尿路結石症の新規発症および再発を予防する。

腎結石を予防するためのアドバイスを行うアプリやクラウドサービスを開発する

新技術の応用⑤ その他

- 生体では検証しにくい、できない姿勢や運動を含め網羅的にシミュレーションをおこなう。
- 個人で安全に排石に有効な姿勢、運動を再現できる機械を使用してもらい、尿路結石症を予防する。

腎結石を予防するために有効な姿勢、運動を再現する健康増進機器を開発する

実用化に向けた課題

- あらゆる姿勢に関してシミュレーション可能であるが、運動に関しては起床・起立、前転・側転・後転、歩行の一部のみでシミュレーションが可能である。



今後、歩行、走行、跳躍、階段昇降などの日常生活動作についても精度検証を行ない、基本動作に対応したシミュレーションに改良する。

- CT画像から腎臓STLデータを抽出して腎臓コンピュータモデルを作成する工程を全自動化する。
- CT画像以外の医用画像診断機器にも対応させる。

企業への期待

ソフトウェア開発について

- 未解決の医用画像から腎臓コンピュータモデルの自動化については、医用画像機器メーカーなどが有する技術により克服できると考えている。
- 病院やクリニックで医師や技師が使用できるように、操作性に優れたソフトウェアを開発する必要があるため、企業との共同研究を希望。
- 患者自身がユーザーとして使用するのであれば、アプリケーション、クラウドサービスの開発と運用に関するノウハウを持つ企業との共同研究を希望。

排石促進機器の開発について

- 病院やクリニックで排石促進機器を活用するのであれば、医薬品医療機器等法に基づく製品開発のノウハウがある物理療法・運動療法・作業療法などの医療機器メーカーとの共同研究を希望。
- 患者自身で自宅で排石促進機器を使用するのであれば、フィットネスや健康機器の販売実績がある企業との共同研究を希望。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 ：
シミュレータ、医療補助装置、情報処理装置及び
コンピュータプログラム
- 出願番号 ：特願2022- 36150
- 出願人 ：公立大学法人横浜市立大学、
学校法人東海大学
- 発明者 ：古目谷 暢、木村 啓志、
高橋 俊、福田 紘大

お問い合わせ先

横浜市立大学 研究推進部
研究・産学連携推進課

TEL 045-787-2061

FAX 045-787-2025

e-mail sangaku@yokohama-cu.ac.jp