

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23659753

研究課題名(和文)尿流可視化による尿道機能の解析

研究課題名(英文)Analysis of urethral function through visualization of urethral urine stream

研究代表者

五十嵐 辰男(Igarashi, Tatsuo)

千葉大学・フロンティア医工学センター・教授

研究者番号：70302544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では男性前立腺部尿道の変形と尿流の変化を、数値流体力学の手法により解明を試みた。当初計画していた内視鏡映像上も尿道振動は抽出されたが、弾性の推測まで至らなかったため、非変形モデルにより尿流可視化を行った。その結果、膀胱頸部硬化症のモデルでは、膀胱頸部の変形が尿流動態の変化と尿流エネルギーの減弱を引き起こすことが判明した。さらに前立腺肥大症患者の、受容体遮断薬内服前後の尿道内視鏡映像から再構築した尿道立体画像を用いた計算でも、尿道の一部の変形による尿流エネルギー減弱が、排尿パラメータに関連することが示された。本研究で得た手法が新たな排尿機能評価手法になることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Relationship between deformation of the male prostatic urethra and alteration of urine flow in the urethra was studied using computational flow dynamics (CFD). Since estimation of elasticity of urethral wall by assessing its vibration under irrigation had failed during the study period, urine flow simulation was performed using the solid model of the urethra. Calculation using bladder outlet (BO) obstruction model revealed size of the BO directly altered dynamics and energy loss of urine flow in the prostatic urethra. Energy loss of the urine flow was studied using 3D virtual prostatic urethra processed from endoscopic video image in patients with benign prostate hyperplasia around administration of alpha-1 adrenoceptor antagonists. The energy loss, provoked by deformation of urethra, revealed to correlate with some parameters of voiding function. The study showed usefulness of CFD in assessing urethral function in patients with voiding dysfunction.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・泌尿器科学

キーワード：排尿生理学 数値流体力学 シミュレーション 立体画像 内視鏡

### 1. 研究開始当初の背景

尿道抵抗は排尿機能に関する重要な因子であるが、流体力学的な解明はあまり試みられていない。内視鏡は灌流下での観察をおこなうことから、生理的状态に近い膀胱・尿道壁の形状の評価が可能である。われわれは内視鏡で下部尿路を撮影したビデオ映像から、内腔全体の立体構造を再現する技術確立した。これより作成したモデルから、膀胱頸部硬化症における尿道抵抗機構が大きな渦の発生によることを証明した。さらに灌流の際に動圧により尿道壁の変形と振動が発生することに注目し、尿道壁の弾性分布の計測および弾性を負荷した尿道モデルにより、前立腺部尿道内の正確な尿流の振舞いの解析を試みた。

前立腺部尿道は、排尿障害の責任部位のひとつであるが、これまでこの部の尿流の解析は行われていない。

### 2. 研究の目的

本研究は排尿生理を前立腺局所の圧力と尿の流速という新たな視点から解析するものであると同時に、内視鏡画像から、尿道の立体形状、弾性分布および尿道の振動周波数解析という新規な手法により、尿道内を流れる尿流シミュレーションの精度を上げ、個々の症例での排尿障害における下部尿路局所の尿移送機能の関与を探ることを目指すものである。

### 3. 研究の方法

男性前立腺部尿道の標準的モデルと、前立腺肥大症症例の膀胱尿道鏡ビデオ映像から再構築したモデルを用いて、数値流体解析を行い、尿流エネルギーの変化と排尿障害のパラメータとの比較を行った。当初尿道壁の弾性分布を、灌流下尿道の振動数解析から算出を試みており、振動の抽出は達成したが研究期間内に弾性評価まで至らなかったため、非変形モデルでの計算を行った。前立腺部尿道の標準的モデルは、排尿障害を有さない患者の膀胱尿道鏡画像と成書に示されている尿道の形状をもとにCADソフトで作成した。

次いで、前立腺肥大症の男性の膀胱尿道鏡ビデオ映像から再構築した立体前立腺部尿道モデルを用いて、同部を通過する尿流の可視化を行った。

このシミュレーションで、尿道各断面の流速と圧力が計算できるので、前立腺部尿道を通過する際の尿流エネルギーの損失と圧損を計算した。

### 4. 研究成果

CADソフトを用いて作成した膀胱頸部硬化症モデルでは、膀胱頸部腹側がせり上がるにつれ、前立腺部尿道腹側から螺旋状に尿流の停滞する領域が広がり、機能的な流路が閉塞していく様子が観察された(図1)。

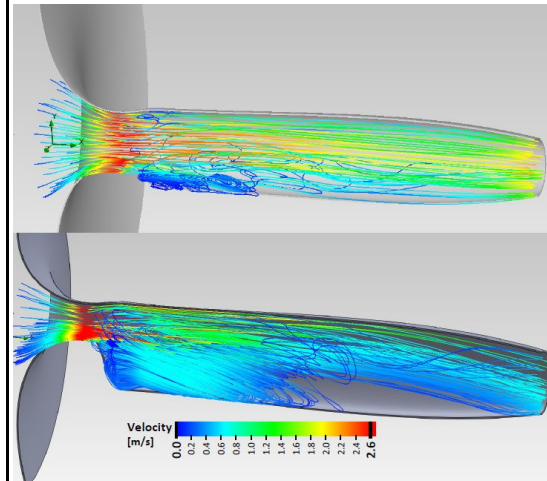


図1.膀胱頸部の狭隘化による尿流変化(論文2, Fig.4より)

尿道内部の尿流の停滞(渦流)の範囲は、前立腺部尿道を尿が移送される間の、尿流エネルギーの減弱と比例することも判明したことから、尿道の変形が引き起こす尿道内の渦流が排尿障害の本体であることが示唆された。前立腺肥大症患者の尿道内視鏡画像から再構築した立体尿道モデルをもちいた流体シミュレーションでも、渦流発生と排尿障害パラメータとの相関が見られた。

また1受容体遮断薬(前立腺肥大症治療薬)により症状の改善が見られた症例では渦流の軽減と、前立腺尿道遠位部における圧損が改善していることが認められた(図2)。

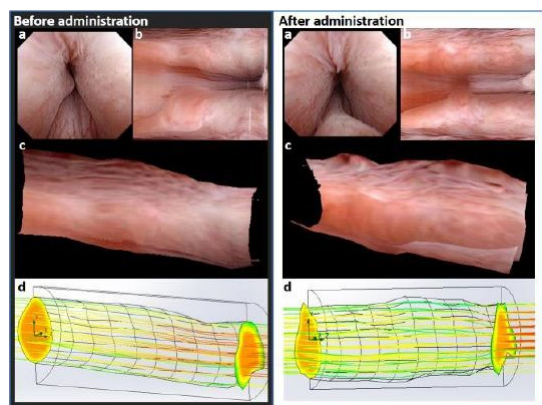


図2.内視鏡画像から作成した仮想尿道内の尿流シミュレーション(論文1, Fig.2より)

これより尿道変形の解除と渦流の軽減が排尿障害の改善と関連することは明らかであるが、同時に前立腺部尿道遠位部の伸展刺激が円滑な排尿や自覚症状の改善に寄与することが示唆された。

今後排尿生理を検討して行く上で有用な知見が得られたと考える。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 12 件)

1. Ishii T, Kambara Y, Yamanishi T, Naya Y, Igarashi T. Urine flow dynamics through prostatic urethra with tubular organ modeling using endoscopic imagery, J Translational Eng Health Med, (査読あり) (in press)
2. Ishii T, Naya Y, Yamanishi T, Igarashi T. Urine flow dynamics through the urethra in patients with bladder outlet obstruction. J Mech Med Biol. (査読あり) (in press)
3. Water-filled laparo-endoscopic surgery (WAFLES): a new surgical system performed under irrigation of isotonic water. Igarashi T, Teranuma M, Ishii T. J Med Imaging Health Info, (査読あり) 3:59-64, 2013 .
4. Development of blood vessel depth displaying method for laparoscopic surgery guidance. Zenbutsu S, Igarashi T, Yamaguchi T. J Med Imaging Health Info, (査読あり) 3: 101-106, 2013.
5. Ultrasound energy transmission for WaFLES-support intra-abdominal micro robots. Akagi T, Gomez D, Gonzalez J, Igarashi T, Yu W-W. Autonomous Control Systems and Vehicles Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering. (査読あり) 65: 279-289, 2013.
6. Extraction of vibration of the female bladder outlet using cystourethroscopic image under intermittent irrigation. Gibran SR, Horiuchi K, Ishii T, Igarashi T. J Med Imaging Health Info, (査読あり) 3:79-83, 2013 .
7. 通常の内視鏡画像のパノラマ化と立体表示、および診療への応用事例。五十嵐 辰男、石井 琢郎、納谷 幸男。O plus E. 34: 1027-1032, 2012
8. 島村 孔明、坪田 健一、劉 浩、杉本 晃一、羽石 秀昭。MR 画像に基づく腹部大動脈の血流動態解析 (東部と腹部の画像解析、統計モデルとその応用、医用画像一般)電子情報通信学会技術研究報告。MI, 医用画像。111(389), 245-250, 2012.
9. Water-filled laparo-endoscopic surgery (WAFLES): feasibility study in porcine model. Igarashi T, Shimomura Y, Yamaguchi T, et al. J Laparoendosc Adv Surg Tech. (査読あり) 22, 70-75, 2012.
10. Analysis of energy loss mediated by an alpha-1 blocker in BPH patients using virtual urethra processed from endoscopic video image. Sazuka T, Kambara Y, Ishii T, et al (9 名中 9 番目) J Endourol, (査読有り) 26:1216-1620, 2012.
11. Multimodality fusion imaging techniques for laparoscopic surgery guiding. Zenbutsu S, Yamaguchi T, Igarashi T. Proceeding of 2011 IEEE Ultrasonic Symposium (査読あり) 2011.
12. Panoramized intraluminal opened image and 3D shape reconstruction: Novel points of view for endoscopy. Ishii T, Zenbutsu S, Sekine M, Nakaguchi T, Naya Y, Igarashi T. J Med Imaging Health Informatics.(査読あり) 1: 1-8, 2011.

〔学会発表〕(計 16 件)

1. Image based diagnosis for male voiding dysfunction. Ishii T, Nakamura K, Naya Y, Yamanishi T, Igarashi T. The 8th ASEAN-Japan Joint Conference of the Men's Health and Aging. Karuizawa, Japan, 2013/11.
2. 内視鏡画像を用いた尿道形状測定と、流体シミュレーションを用いた排尿機能評価法の検討。石井 琢郎、神原 洋一、仲村 和芳、山西 友典、納谷 幸男、五十嵐 辰男。第 20 回日本排尿機能学会。静岡 2013/9.
3. Clustering of the reflection property in a panoramic image of a tubular organ. Ishii T, Igarashi T. The 25th Conference of International Society of Medical Innovation and Technology Baden-Baden, Germany, 2013/9.
4. 3次元画像構築の世界 genital organ への適応と可能性。五十嵐 辰男、第 23 回日本性機能学会、東京、2012/9.
5. Modeling method of the male urethra from endoscopic imagery toward the least invasive surgery for patients with voiding dysfunction. Ishii T, Kambara Y, Nakamura K, Sazuka T, Naya Y, Igarashi T. Society for Medical Innovation and Technology. Barcelona, Spain, 2012/9.
6. Panoramic image of the laparoscopy as index of the original video frames for laparoscopic surgery. Ishii T, Zenbutsu S, Igarashi T. Society for Medical Innovation and Technology 2012 Annual Meeting. Barcelona, Spain, 2012/9.
7. 排石に関する尿管モデルの作成および尿流シミュレーション。五十嵐 辰男、第 22 回日本尿路結石症学会、浜松市、2012/8.
8. Real-time 2D-3D converting software with a monocular small camera toward the lesser invasive laparoscopic

- surgery. Ishii T, Zenbutshu S, Naya Y, Igarashi T. Annual meeting of American Society of Gastrointestinal Endoscopic Surgeons. San Diego, USA, 2012/3.
9. The optical virtual endoscopy for visualization of the urine flow in the Prostatic urethra. Ishii T, Zenbutsu S, Igarashi T. Computational Fluid Dynamics (CFD) in Medicine and Biology in conjunction with the 7th International Biofluid Mechanics Symposium. Ein Bokek, Israel, 2012/3.
  10. Virtual urethroscopy in diagnosis and calculation of "urethral resistance" in urination. Igarashi T. 12<sup>th</sup> Japan-Korea Society of Pediatric Urology. Urayasu City, Chiba, Japan. 2012/2.
  11. Observation by 3-D endoscopic images. Visual hydraulic simulation of the prostatic urethra processed from cystourethroscopic video image in patients with BPH. Kambara Y, Ishii T, Sakuyama G, Horiuchi K, Nakamura K, Sakamoto S, Naya Y, Yamanishi T, Igarashi T. Meeting of World Congress of Endourology and SWL. Kyoto, Japan, 2011/12.
  12. Tamusulosin mediate opening of prostatic urethra in BPH patient. Nakamura K, Naya Y, Sakamoto S, Suyama T, Nihei N, Yamanishi T, Ichikawa T, Igarashi T. Annual Meeting of World Congress of Endourology and SWL. Kyoto, Japan, 2011/12.
  13. Urethral vibration under irrigation: A possible parameter for estimating urethral flexibility. Horiuchi K, Ishii T, Naya Y, Yamanishi T, Nakada T, Igarashi T. Annual Meeting of Societe Internationalis d'Urologie. Berlin, Germany, 2011/10.
  14. Hydrodynamic aspects of intravesical protrusion of the prostate in patients with voiding dysfunction. Sakuyama G, Ishii T, Yamanishi T, Igarashi T. Annual Meeting of Societe Internationalis d'Urologie. Berlin, Germany, 2011/10.
  15. Visualization of 3D structure of the prostatic urethra and hydrodynamics. Kambara Y, Nakamura K, Ishii T, Sakamoto S, Yamaguchi K, Ichikawa T, Yamanishi T, Naya Y, Igarashi T. Annual Meeting of International Continence Society. Glasgow, UK, 2011/8.
  16. 3次元画像を用いたタムスロシン尿道拡張作用の評価。仲村 和芳、納谷 幸男、坂本 信一、山西 友典、市川 智彦、五十嵐 辰男。第 99 回日本泌尿器科学会総会。

2011/4

〔産業財産権〕  
出願状況（計 1 件）

名称：パノラマ画像作製プログラム。  
発明者：五十嵐 辰男、前佛 聡樹。  
権利者：千葉大学  
種類：特許  
番号：特願 2011-218587 号  
出願年月日：2011 年 9 月 30 日  
国内外の別：国内

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.cfme.chiba-u.jp/~igarashi/>

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
五十嵐 辰男 (Igarashi, Tatsuo)  
千葉大学・フロンティア医工学センター・教授

研究者番号：70302544

(3) 連携研究者  
俞 文偉 (Yu, Wenwei)  
千葉大学・フロンティア医工学センター・教授

研究者番号：20312390

劉 浩 (Ryu, Hiroshi)  
千葉大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：40303698