

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K09667

研究課題名（和文）排泄物に非接触で既設便器に後付できるウロフロメータ創製に関する研究

研究課題名（英文）Study on a non-contact uroflowmeter which can be installed in an existing toilet

研究代表者

中島 一樹 (Nakajima, Kazuki)

富山大学・学術研究部工学系・教授

研究者番号：50207776

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：排尿障害の検査である尿流測定には、いくつかの問題がある。これを解決するため、既設便器に簡単に後付けでき、排泄物に非接触に測定できるウロフロメータを開発した。測定原理は排尿直後の尿温がほぼ中枢温であることに着目し、便座レベルで尿温を非接触に測定し、独自開発の解析法により排尿量を算出する。排尿障害を訴えない成人での測定により、排尿による体重減少から推定される排尿量との誤差は、約半数で ± 50 mL以下となった。尿流の向きと排尿が便器壁面を暖めていることが誤差を発生させることが明らかとなったので、今後、さらなる補正が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

尿流測定は、診察室や検査室において一般の便器形状と異なるウロフロメータを用いて実施されるが、非日常的な雰囲気のために通常よりも悪い結果となることが多い。さらに、尿が付着した容器は感染症の温床となるため容器を廃棄または消毒しなければならない。一方、個室トイレに設置された一般の便器形状のウロフロメータも販売されているが、大規模な設置工事や高額であることが問題である。本研究で開発された熱式ウロフロメータは、特許登録済みの新測定法であり学術的意義は高い。さらに尿に非接触で測定でき、既設便器に容易に後付けできる特徴を有しており、従来の尿流計の問題を全て解決しており、社会的意義は極めて高い。

研究成果の概要（英文）：Measuring urine flow, a test for urinary incontinence, presents several problems. To solve this problem, we have developed a uroflowmeter that can be easily installed on an existing toilet bowl and measures the voided volume without contact with the excreta. The principle of measurement is based on the fact that the urine temperature immediately after urination is close to the core temperature, and the urine temperature is measured without contact at the level of the toilet seat and the voided volume is calculated using originally developed analysis methods. Measurements in adults without complaints of dysuria showed that about half of the subjects had an error of ± 50 mL or less compared to the voided volume estimated from weight loss due to urination. Further correction will be needed in the future, as the direction of urine flow and the heating of the toilet bowl wall by urination were found to cause the error.

研究分野：生体医工学

キーワード：ウロフロメータ 非接触測定 便座

1. 研究開始当初の背景

尿流測定は、排尿障害を主訴する患者の診断・治療において日常的な検査である。外来患者では、在宅での排尿状態を把握するために、排尿時刻・排尿回数などを自己記録する排尿日誌が用いられている。しかし患者が自己記録するため、排尿時刻や排尿量の信頼性に欠ける問題が指摘されている。一方、診察室や検査室などでの一般の便器と異なる形状のウロフロメータ(尿流計)を利用した排尿検査では、非日常的な雰囲気のため緊張してうまく排尿できないことが多く、通常よりも悪い排尿状態となる。そのため個室トイレのようなプライベート環境で検査を行い、何回か施行して慣れたころのデータが信頼されている。検尿カップや携帯型尿流計を用いれば、個室トイレでも検査が可能のため緊張を緩和できる。しかし、採尿後の尿が付着した容器などは感染の温床となるため、容器を廃棄または消毒しなければならない。これに対して近年普及しているのが個室トイレに設置された便器形状の尿流計である。この尿流計は排尿による便器内の水位上昇を排泄物に非接触で測定できる。個室トイレで検査でき、排泄物もそのまま下水へ流せるので理想的な検査方法である。しかし、便器そのものを取り替える大規模な改修工事が必要で、機器の導入費が高額である。

これらの背景を考慮すれば、在宅で日常利用している便器で尿流を測定することが理想的である。さらには感染症や汚染への対策が施され、保守が容易で安価なものが要求されることは必然である。研究代表者は、要求仕様として(あ)尿流の各測定データが自動記録・収集され、(い)感染症対策として排泄物に非接触で、(う)大規模な設置工事を伴わず家庭用便器にも簡単な作業で後付けできる尿流計の開発を進展させている。研究開始当初において、排尿時刻を正確に測定できるが、排尿量では 31%の誤差があり、また、各尿流データについては十分な精度が得られていなかった。

2. 研究の目的

本研究では開発中の尿流計の測定精度を医療機器と同等以上(測定誤差 10%未満)とすることを目的とした。そのためセンサ配置の数と位置、測定精度向上のための尿流算出アルゴリズム改良に関する研究を実施した。

3. 研究の方法

本研究の独自性は、測定原理にある。排尿直後の尿流は外気温にかかわらず、中枢温としてほぼ一定である。便器内を非接触温度センサで尿流を測定し、空間の温度分布を取得する 16 チャンネルの温度センサを用いれば、排尿前後の温度差 A を測定できる。 A を $3/2$ 乗すれば円柱と仮定した尿流の体積に比例する値が得られ、排尿量の算出につながる。この「温度から体積を測定する方法」は他に類を見ず、創造性が高く特許登録(特許第 6747656)されている。本測定法では体積評価だけでなく、排尿時刻や排尿終了も測定できる。

開発した熱式尿流計は、補高便座(EWS441S, TOTO)にセンサ感度を補完するよう 4 つの温度センサ(D6T-44L, オムロン)、マイコン(Raspberry Pi3 Model B+, Raspberry Pi Foundation)、マルチプレクサを組み込み、これに距離センサ(GP2Y0E03, SHARP)を加えた[1]。被験者が距離センサに近づくと測定を自動開始し、180 秒間続いた。温度センサは 4 行×4 列の 16 チャンネルを同時測定する。Fig.1 に、ある温度センサの測定波形の典型例を示す。尿流を円柱と仮定すると、センサは尿流および周辺空間の平均温度を測定する。測定温度は尿流の投影面積[m²]に比例するので、背景温度と測定温度の温度差を $3/2$ 乗して体積[m³]に比例する値を算出した。時刻ごとに各チャンネルでこの値を合算し、排尿量に比例する値 $U [^{-3/2}]$ を各行で得た。

旧解析アルゴリズムを本研究で発展させ、以下のように新解析アルゴリズムとした。(1)測定開始より 175 ~ 177.5 秒間の各チャンネルの平均温度を基準値とする。(2) 1 行目チャンネルのど

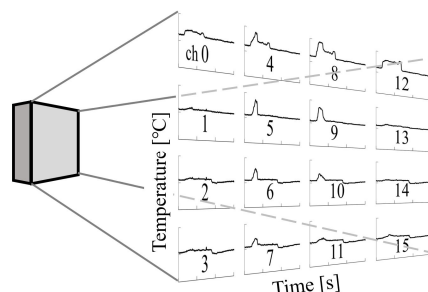


Fig.1 Typical example of temperature change in each channel of a sensor during urination.

れかが基準値より 0.8°C以上高い期間を着座時間とした。(3) 3 行目チャンネルのどれかが基準値より 0.5°C以上高い期間を仮の排尿時間とした。(4)着座中に排尿が行われるため(2)から(3)の期間を抜き出し、排尿期間とした。旧解析アルゴリズムでは 2 行目と 3 行目を使用して排尿量を算出していたが、詳細な解析で 2 行目に男性器が影響することがあった。男女ともに同じ解析アルゴリズムで排尿量算出するため、本研究では 3 行目のみを使用した。

健常成人女性 4 名が各 10 回(合計 40 回)の測定を行った。熱式尿流計での排尿量推定値の比較ため、電子体重計(DP-7800PW-120：秤量：120 kg,目量 20g, Yamato Scale)で排尿前後の体重差を得て、比重を 1.0 と仮定して測定精度の評価を行った。研究実施前に富山大学倫理審査委員会(R2019054)と福島県立医科大学倫理委員会の承認、および被験者からのインフォームドコンセントを得て実施した(GS2023-016)。

4．研究成果

新解析アルゴリズムでの、体重差と推定値の平均と誤差の関係を Fig.2 に示す。平均値が増加するほど、体重差と推定値の誤差が増加傾向となった。これは排尿量が多いほど便器が温められ、推定値が増加した結果、推定値が体重差に比べ増加したためと考えられる。平均誤差と標準偏差は旧解析アルゴリズムでは 42.7±84.2mL となったのに対し、新解析アルゴリズムでは 16.3±61.4mL となった。新解析アルゴリズムは既存の解析アルゴリズムと比較して、95%信頼区間が狭まり、誤差の平均がゼロに近づいたことから、測定精度が向上したと考えられる。

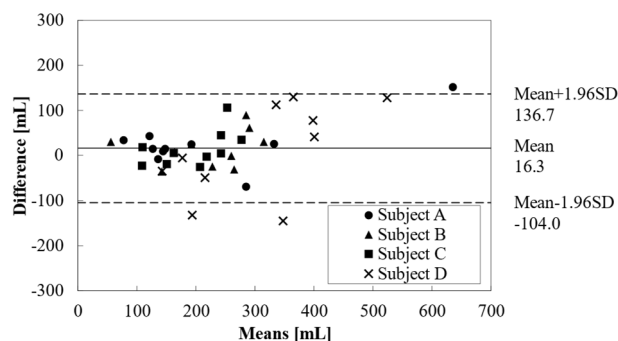


Fig.2 Bland-Altman analysis between weight difference and estimated voided volume (n=40) by the new analysis algorithm.

5．まとめ

本研究により、解析の自動化と測定精度が向上した。ただし、系統誤差の解消と測定精度の向上を検討する必要がある。開発した熱式尿流計は、泌尿器科を始めとする医療での利用だけでなく、高齢者福祉施設などでの排泄管理や熱中症対策などへの多岐への応用発展も期待される。

参考文献

[1] Fujita K, Kanayama Y, Kim J, Nakajima K, A preliminary study on a voided volume measuring method using noncontact temperature sensors under the toilet seat, Adv Biomed Eng, 8, pp.1-6, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 坂本 竜大, 金 主賢, 中島 一樹, 藤田 徹也	4. 巻 Annual161
2. 論文標題 立位排尿のための重量式尿流計の開発および若年男性での基礎的検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 254_2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe.Annual161.254_2	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 松井 亮輔, 金 主賢, 中島 一樹	4. 巻 Annual161
2. 論文標題 熱式尿流計における便座内感度の均一化に関する研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 255_1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe.Annual161.255_1	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ryuta Sakamoto, Tetsuya Fujita, Kazuki Nakajima	4. 巻 13
2. 論文標題 Development of a Scale-type Uroflowmeter for Standing Urination	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 237-245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14326/abe.13.237	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 中島一樹	4. 巻 35
2. 論文標題 在宅医療におけるIoT	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BIO Clinica	6. 最初と最後の頁 638-641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中島 一樹	4. 巻 Annual159
2. 論文標題 在宅でのバイタルサインの長期記録	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe. Annual159.140	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中島一樹	4. 巻 50
2. 論文標題 在宅で利用できるバイタルサイン測定機器	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 人工臓器	6. 最初と最後の頁 241-244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arata Nakagawa, Juhyon Kim, Kazuki Nakajima	4. 巻 9
2. 論文標題 Personal Identification Using a Ballistocardiogram During Urination Obtained from a Toilet Seat	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 233-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14326/abe.9.233	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 上村 匠, 金山 義男, 北村 寛, 中島 一樹	4. 巻 58
2. 論文標題 排尿日誌への手書き時刻記録と尿流計自動記録の比較 健常者・入院患者の排尿記録に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 243-247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe.58.243	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中島 一樹, 金 主賢, 堀 裕治, 池上 駿介, 上村 匠, 金山 義男	4. 巻 Annual158
2. 論文標題 感熱式ウロフロメータの感度均一化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe.Annual158.417	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 金山 義男, 池上 駿介, 上村 匠, 中島 一樹	4. 巻 58
2. 論文標題 熱式尿流計が推定する排尿量の環境温度補正に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 119-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe.58.119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 金山 義男, 上村 匠, 池上 駿介, 北村 寛, 中島 一樹	4. 巻 58
2. 論文標題 非接触尿流計と医療尿流計による尿流測定値の比較	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 54 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe.58.54	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中島 一樹, 金山 義男, 池上 駿介, 上村 匠, 戸田 和成, 萩原 衛, 北村 寛	4. 巻 Annual157
2. 論文標題 感熱式ウロフロメータの開発と評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 S122_2 ~ S122_2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239/jsmbe.Annual157.S122_2	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 渡邊莉貴, 松井亮輔, 丹治亮, 大前憲史, 松岡香菜子, 赤井畑秀則, 吉田美香子, 栗田宜明, 小島祥敬, 中島一樹
2. 発表標題 熱式尿流計の解析アルゴリズムの自動化と測定精度向上に関する研究
3. 学会等名 ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 R. Sakamoto, T. Fujita, J. Kim, and K. Nakajima
2. 発表標題 Development of a Uroflowmeter Based on Weight Loss during Standing Urination
3. 学会等名 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Matsui, J. Kim, and K. Nakajima
2. 発表標題 A Study on Distance Correction for Uniform Spatial Sensitivity of Thermal Uroflowmeter
3. 学会等名 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂本竜大, 金主賢, 中島一樹
2. 発表標題 立位排尿のための持ち運び可能な重量式尿流計の開発
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島一樹
2. 発表標題 生理・生活情報の長期モニタリング
3. 学会等名 第34回信頼性シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井亮輔、金主賢、中島一樹
2. 発表標題 熱式尿流計による体温推定の試み
3. 学会等名 日本生体医工学会MEとバイオサイバネティクス研究会(MBE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島一樹
2. 発表標題 在宅でのバイタルサインの長期記録
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井亮輔、種田和瑳、金主賢、中島一樹
2. 発表標題 汎用設置型熱式尿流計の基礎特性
3. 学会等名 LIFE2020-2021(第36回ライフサポート学会大会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島一樹
2. 発表標題 在宅医療のためのバイタルサインモニターの現状と未来
3. 学会等名 第58回日本人工臓器学会大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井亮輔、金主賢、中島一樹
2. 発表標題 熱式尿流計の空間感度均一化に関する研究 -左右方向の排尿位置に対する補正
3. 学会等名 日本生体医工学会北陸支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本竜大、金主賢、中島一樹
2. 発表標題 立位排尿用の重量式尿流計に関する研究
3. 学会等名 日本生体医工学会北陸支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井亮輔、金主賢、中島一樹
2. 発表標題 熱式尿流計の空間感度均一化のための補正法
3. 学会等名 第31回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島一樹
2. 発表標題 超高齢社会における生活情報の遠隔モニタリングと解析
3. 学会等名 第11回ねごろ医用実学研究会講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島一樹
2. 発表標題 生活情報の遠隔センシングと解析
3. 学会等名 令和2年度日本生体医工学会北陸支部大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上村匠，池上駿介，飯國高弘，金山義男，金主賢，中島一樹
2. 発表標題 熱式尿流計の測定精度向上に関する研究
3. 学会等名 計測自動制御学会 ライフエンジニアリング部門シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中島一樹
2. 発表標題 在宅医療と人工臓器の過去・現在・未来
3. 学会等名 第58回人工臓器学会大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上村匠, 金山義男, 金主賢, 中島一樹
2. 発表標題 非接触熱式尿流計の測定精度に関する研究
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kamimura, D. Inoue, Y. Kanayama, J. Kim, and K. Nakajima
2. 発表標題 Measurement of Defecation and Urination by A Gas Sensor Placed Under The Toilet Seat
3. 学会等名 Life Engineering Symposium 2019, SICE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Ikegami, T. Kamimura, Y. Kanayama, J. Kim, H. Kitamura, and K. Nakajima
2. 発表標題 Evaluation of Basic Characteristics of A Non-contact Thermal Uroflowmeter
3. 学会等名 Life Engineering Symposium 2019, SICE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Nakagawa, J. Kim, K. Nakajima
2. 発表標題 A Preliminary Study on Excretion Electrocardiogram to Personal Identification in the Toilet
3. 学会等名 Life Engineering Symposium 2019, SICE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakajima, Y. Kanayama, S. Ikegami, T. Kamimura, K. Toda, M. Hagiwara, and H. Kitamura
2. 発表標題 Development and evaluation of a noncontact uroflowmeter
3. 学会等名 Life Engineering Symposium 2019, SICE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島一樹, 金山義男, 池上駿介, 上村匠, 戸田和成, 萩原衛, 北村寛
2. 発表標題 感熱式ウロフロメータの開発と評価
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島一樹
2. 発表標題 Distinguishing urination or defecation using a gas sensor
3. 学会等名 最先端生体計測研究会2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------