

空中超音波ドプラシステムを用いた 新規尿流測定装置の開発とその有用性

松本 成史, 柿崎 秀宏
旭川医科大学医学部腎泌尿器外科学講座

THE DEVELOPMENT AND UTILITY OF NEW UROFLOWMETRY MEASUREMENT BY WEARABLE AIRBORNE ULTRASOUND DOPPLER SYSTEM

Seiji MATSUMOTO and Hidehiro KAKIZAKI

The Department of Renal and Urologic Surgery, Asahikawa Medical University

The conventional concept of uroflowmetry (UFM) is to equip the urine-receiving container like a toilet device (s) with various sensors. A UFM device based on an airborne ultrasound continuous wave Doppler system was developed to satisfy the need of measuring urinary flow anytime and anywhere in an easy, natural, and repeated manner. It is a non-contact, indirect measuring device that can be easily worn by the test subjects who urinate. The prototype of the new UFM device was used to collect urination data from normal adult volunteers. Data could be collected with the new UFM device, and the Doppler spectrum (urination pattern) could be evaluated in chronological order for each volunteer's urination. It was confirmed from the examination of effectiveness that there is a potential for the clinical application of the new device, but at the present stage it is not yet clinically applicable. The results obtained suggest that the device may greatly change the concept of urodynamics, depending on future progress. However, accuracy in collecting samples and analyzing data will have to be further improved using the latest engineering technology.

(Hinyokika Kiyō 58 : 465-469, 2012)

Key words : Uroflowmetry, Device, Airborne ultrasound, Doppler, Spectrogram

緒 言

ウロダイナミクス検査は、蓄尿から排尿終了までの間の膀胱内圧、直腸内圧、排尿筋圧、外尿道括約筋活動、尿流などを測定し、排尿障害の部位や程度を総合的に診断する検査である^{1,2)}。現在、尿道にカテーテルを挿入して、蓄尿・排尿時の膀胱内圧測定を施行する Pressure-flow Study (PFS) が一般的で、排尿筋圧、尿流を同時測定することで、より統合的なウロダイナミクス検査が可能となる。しかし、PFS はカテーテルの刺激などにより、自然な排尿状態を反映しておらず、また侵襲的である。一方、尿流測定 (uroflowmetry: UFM) は、尿排出障害の有無と1回尿排出量、最大尿流率などが測定出来、装置や検査所見の単純さ、患者への非侵襲性から、泌尿器科診療では広く実施されている。UFM 装置は、応力や重量などのセンサーをつけた「尿を受ける容器 (尿器・便器)」により測定が行われ、結果として UFM 装置は“トイレのような物 (採尿器)” に各種センサーを配備した物となっている。このような“採尿器側にセンサー式を装備する”という従来の発想から転換し、排尿を行う人体の側に簡単に装備され、独立して動作可能で、計測ごとに後始末などの処置が不要な非接触間接計測方式

の新規 UFM 装置の開発を試みた^{3,4)}ので、本装置試作品の概要とその有用性について報告する。

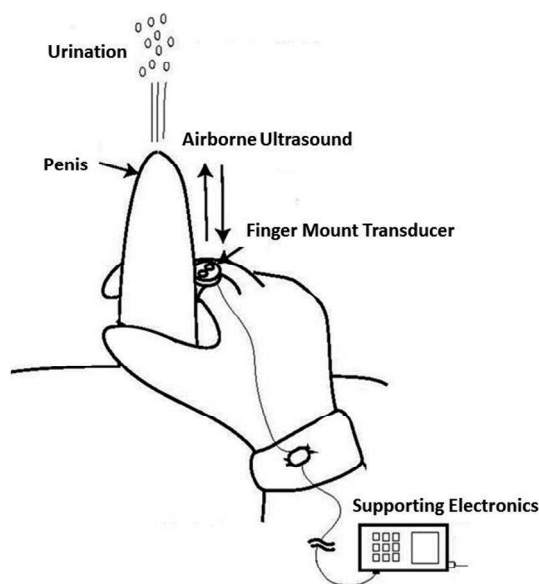


Fig. 1. The Scheme of New Uroflowmetry Device/ System by Wearable Airborne Ultrasound Doppler System.

対象と方法

非接触間接計測方式として、空中超音波 continuous wave (CW) ドプラシステムを用いた新規 UFM 装置の試作品の作成を試みた。この着想は古くから存在し、Takeuchi⁵⁾は1988年にマイクロ波 (ミリ波)、電磁波を利用した体外から観測するウロダイナミクス検査の可能性を報告している。排尿を行う人体の側に簡単に装備され、独立して動作可能とするために、イメージ図 (Fig. 1) の様に送受信器は指輪のような構造 (指嵌め式) を採用した。この指嵌め式装置の送受する超音波の指向性は超広角であることは確認済みで、尿線の方に向けて超音波を送受信することとした。送受信電子回路⁶⁾から得られたドプラ信号はドプラスペクトログラムに変換し、その時系列評価および積分値にて測定し、解析することとし、この原理をもとに試作品を作成した。

一般成人ボランティア22名 (男性16名、女性6名) を対象として、本装置試作品による測定を延べ31回実施した。本装置で収集した UFM データを解析し、その有用性を検討した。なお、本研究は、旭川医科大学倫理委員会の承認のもとで実施した。

結果

新規 UFM 装置の試作品を Fig. 2 に示す。指嵌め構造にするため、ゼムクリップを曲げて送受信器 (直径 1 cm) の背面に接着した (Fig. 2A)。周波数 40 KHz の空中超音波 continuous wave (CW) ドプラシステムを採用し、試作品の送受信電子回路部の基板を作成した (Fig. 2B)。試作品で検波されたドプラ信号は PC のオーディオ入力にて A/D 変換し、記憶・記録・信号処理を実施した。

本装置試作品にて採取・記録出来た代表例 (30歳、男性、ボランティア) を Fig. 3 に示す。CW ドプラ信号波形 (Fig. 3A)、スペクトログラム (Fig. 3B) が示されている。横軸 (時間軸) の全長は25秒、スペクトログラムの縦軸は 700 Hz ドプラ偏移 (視線速度: 2.4 m/s 相当) であった。このスペクトログラムの原画像 (Fig. 3B) の明暗を反転した画像 (Fig. 4A) のコンストラクトを調節 (Fig. 4B) し、スペクトログラムが強調される部分の尾根道を同定 (Fig. 4C) することで、従来型 UFM の波形と同様の形状が得られた。通常 UFM で使用される排尿量、最大尿流量率などに相当する定量的数値は、本装置試作品では推定値に過ぎず絶対値

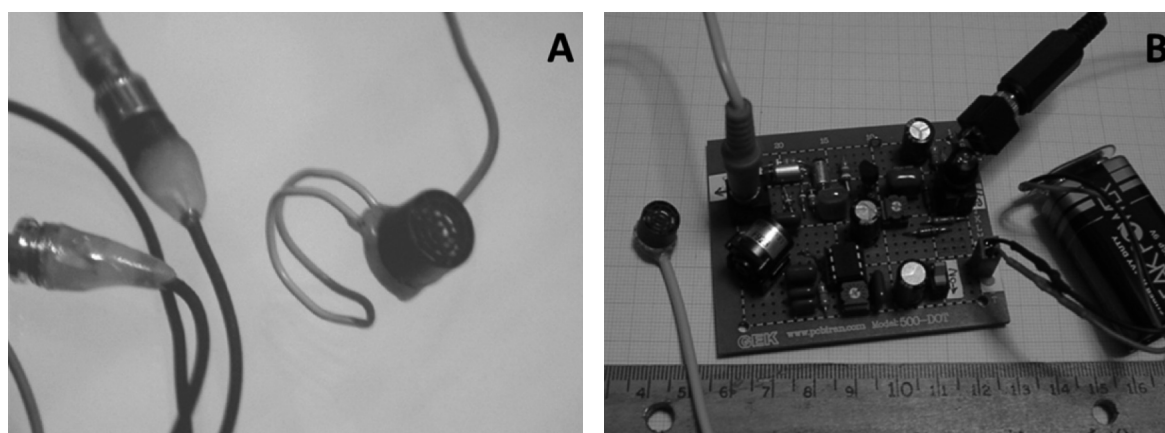


Fig. 2. The prototype device of uroflowmetry application of airborne ultrasound Doppler system. A: The transducer, diameter = 1 cm, is mounted on finger clip holder, and ultrasound is transmitted and received normally to the finger to monitor outgoing and incoming echogenic targets dorsal to the finger. B: The prototype Doppler transceiver coupled to built-in A/D converter in PC.

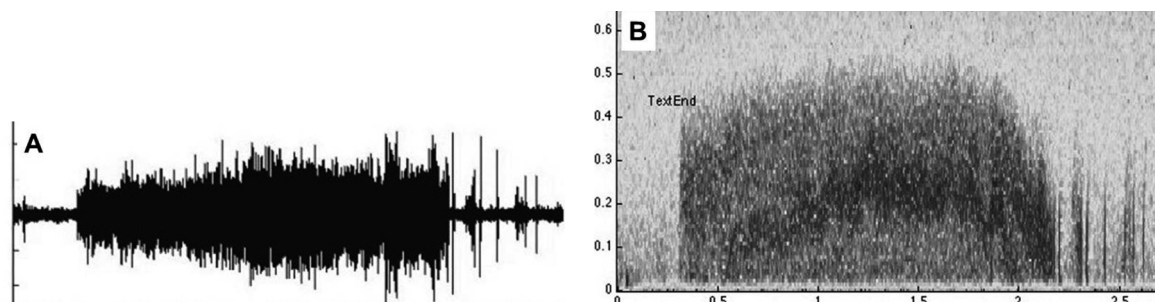


Fig. 3. The example (30 yr-old male) of synchronous presentation of (A) Doppler signal, (B) spectrogram. Horizontal full scale is 25 sec, vertical full scale of spectrogram corresponds to 700 Hz Doppler shift or 2.4 m/s.

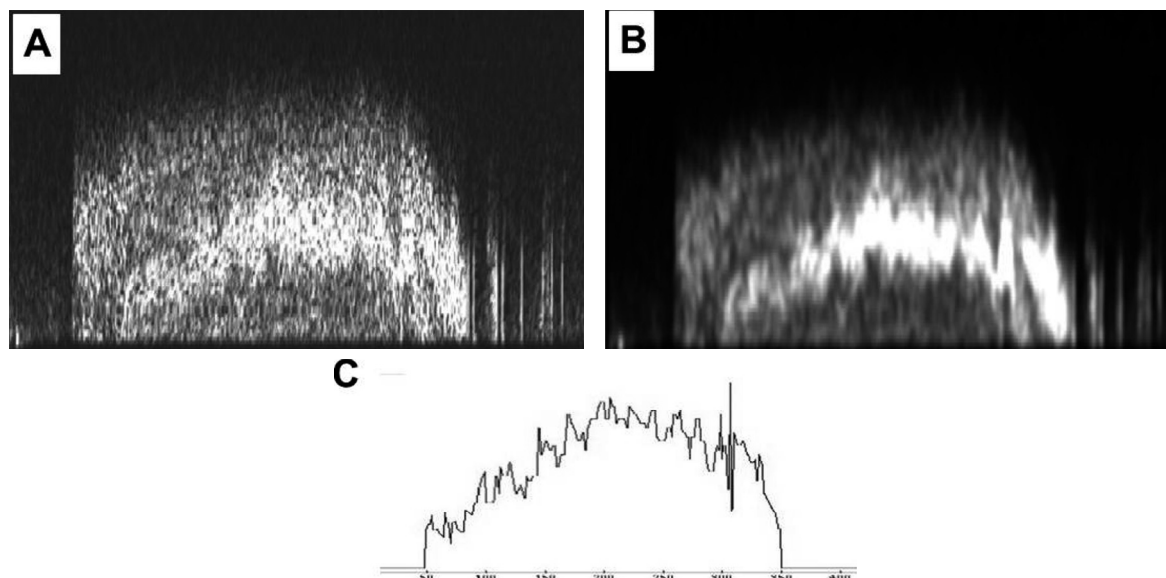


Fig. 4. Algorithm of automatic processing of spectrogram. (A) Source spectrogram (Fig. 3B), (B) 2D-Smoothing/Blurring, (C) Ridge tracing.

としての解析には至っていない。

本装置試作品でボランティアのデータを採取・記録出来たのは、のべ27回分（87.1%）で、そのすべてにおいて、Fig. 4C の様なドプラスペクトログラムの時系列評価が可能であった。女性においても、鼠径部内側の尿道口付近に本装置を位置することで測定が可能であった。記録出来なかった4回分（男女2名ずつ）の原因は、指嵌め式装置が尿線に対して反対方向を向いていた場合であった。

考 察

ウロダイナミクス検査は、下部尿路症状（lower urinary tract symptoms: LUTS）を訴える下部尿路機能障害（lower urinary tract dysfunction: LUTD）患者の診断や病態把握、治療法の選択に不可欠の検査である¹⁾。ウロダイナミクス検査に関して、簡便で繰り返し実施が可能な低侵襲な検査方法や装置の開発が様々な試みられており、その有用性も報告されている⁷⁻¹²⁾。Ozawa ら⁷⁾の開発した、ドプラ超音波を会陰に当ててウロダイナミクス検査を実施する方法は画期的であるが、煩雑であり、広く使用されていない。また、penile cuff を用いた方法⁸⁻¹⁰⁾は、簡便であるが、成人男性に使用に限られる。一方、われわれは膀胱内圧テレメトリー装置を開発し、その有用性¹¹⁾やその他の病態把握への応用¹²⁾も検討しているが、小動物で確認しているに過ぎず、臨床検討には至っていない。これらの報告は、いずれも新規性はあるものの広く実用化されるには多くの問題が残されているのが実際である。また UFM に関しては、LUTD に対する評価の一側面に過ぎず、LUTS を訴える患者の診断や病態把握、治療法の選択に対する絶対的な検査ではなく、多

くの因子が関与する幅のあるデータであり、経時的な推移の評価やスクリーニングとしての評価として捉えるほうが良いとされている^{13,14)}。UFM 装置そのものの原型は、金属製の採尿器に各種センサを取り付けたものであった¹⁵⁾が、最近では、UFM 装置の位置付けや用途も多彩になってきている。日常使用している尿器（便器）にセンサシステムを追加装備する形で測定できる装置も商品化、実用化されており^{16,17)}、UFM の検査環境を改善し、患者の QOL と検査精度を向上すると報告されている¹⁸⁾。また、超音波を利用しておよその尿量などが表記される、男子用トイレに外付け設置するゲージも商品化されており¹⁹⁾、LUTD の啓発に使用できる可能性も示唆されている²⁰⁾。しかしながら、基本的に UFM 検査は泌尿器科施設内の特別な検査場所で、“トイレのような物（採尿器）”である UFM 装置に対して排尿をしてもらわなければならないのが実態で、通常の排尿を反映しているとは言い難い²¹⁾。実際に自宅での排尿を UFM 装置にて確認すると、泌尿器科施設内での UFM 装置の結果に比べて、より多くの情報が得られることが報告されている²²⁾。

Takeuchi⁵⁾の報告した体外から観測する UFM 装置の概念は、近年のセンサの構成および送受信と計測に関連した信号処理の進歩により、応用可能なものになっている。われわれが開発した空中 CW 超音波ドプラスシステムを用いた新規 UFM 装置^{3,4)}は、まだ試作品段階で、スペクトログラムより時系列評価を得て、排尿パターンが把握できるレベルに過ぎない。しかし、本装置にて「より簡単に、より自然に通常の排尿を何時でも何処でも繰り返し UFM 検査できる」可能性が証明出来、今後の本装置の発展にてウロダイナミクス検査が従来の概念から大きく変革する可能性が

示唆された。しかしながら、本装置試作品のレベルでは、臨床現場で使用される定量的パラメーターの絶対値の解析には至っておらず、また実際には本装置の超音波の指向性は超広角であるが、それでも側面方向や裏面方向には感度はなく、尿線に対して反対方向を向いている場合にデータ採取は出来なかった。今後データの採取方法や解析の評価など、最新の工学的技術を用いて、より精度を改良する必要がある。

結 語

本装置の原理や技術はマイクロ波、ミリ波まで含めると無数の類似先例があるが、被検者が保持ないし装着するセンサおよび支援電子システムという発想はいまだかつてなく、本研究の最大の特徴かつ新規性である。現段階では臨床応用するレベルには達していないが、今後の発展により従来のウロダイナミクス検査を大きく変革する可能性が示唆された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、立案からご助言を頂きました竹内康人先生（鹿児島大学大学院理工学研究科情報生体工学専攻:元教授）、および本研究の趣旨に賛同し、ご協力頂いた一般ボランティアの方々に深謝いたします。

なお、本研究は、独立行政法人科学技術振興機構平成23年度「研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 探索タイプ」(AS23Z01208F) の支援を得て実施した。

文 献

- 1) 松本成史：泌尿器科診療ガイド。第2章検査表①尿流動態検査。編集：勝岡洋治。榊金芳堂。p 44-46, 2011
- 2) 松本成史：特集 ここが聞きたい泌尿器科検査。ベストプラクティス ・膀胱内圧測定の意義。p 149-151, ・尿道内圧測定の意義。p 152-153, ・尿道括約筋筋電図測定の意義。p 154, 臨床泌尿器科 増刊号。メジカルビュー社, 2004
- 3) 松本成史, 竹内康人, 柿崎秀宏：空中超音波ドプラシステムのウロダイナミクス計測への応用。日本超音波医学会基礎技術研究会資料 **2011** : 20-25, 2011
- 4) Matsumoto S, Takeuchi Y and Kakizaki H: Natural urodynamics measurement by wearable airborne ultrasound Doppler system. Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics **32**: 449-450, 2011
- 5) Takeuchi Y: CW Doppler Systems for external urodynamics study, comparison between electromagnetic wave and airborne ultrasound. 13th IRMMW session F1. 8, SPIE **1039**: 385-386, 1988
- 6) Takeuchi Y: "A Simple Single Transducer Doppler System". Ultrasonics **17**: 132-133, 1979
- 7) Ozawa H, Kumon H, Yokoyama T, et al.: Development of noninvasive velocity flow video urodynamics using Doppler sonography: Part I: experimental urethra. J Urol **160**: 1787-1791, 1998, Part II: clinical application in bladder outlet obstruction. J Urol **160**: 1792-1796, 1998
- 8) Griffiths CJ, Rix D, MacDonald AM, et al.: Noninvasive measurement of bladder pressure by controlled inflation of a penile cuff. J Urol **167**: 1344-1347, 2002
- 9) McArdle F, Clarkson B, Robson W, et al.: Interobserver agreement for noninvasive bladder pressure flow recording with penile cuff. J Urol **182**: 2397-2403, 2009
- 10) Clarkson B, Robson W, Griffiths C, et al.: Multisite evaluation of noninvasive bladder pressure flow recording using the penile cuff device: assessment of test-retest agreement. J Urol **180**: 2515-2521, 2008
- 11) 松本成史, 竹内康人, 植村天受: 体腔内圧の非接触連続監視のための閉鎖ペロース式感圧機構をカプセル化したテレメーター発振器。臨泌 **62** : 401-405, 2008
- 12) 吉崎信幸, 松本成史, 植村天受, ほか: 体腔内における生体信号の採取とその連続監視への応用について (小動物における基礎実験)。生体医工学 **48** : 220-225, 2010
- 13) 後藤百万, 吉川羊子, 近藤厚哉, ほか: 前立腺肥大症における Conventional Urodynamic Study (尿流測定・残尿測定・膀胱内圧測定) の有用性と限界。日泌尿会誌 **87** : 1321-1330, 1996
- 14) 石塚 修, 西沢 理: 泌尿器科検査のここがポイント。F. 尿路機能検査。尿流動態検査法, 尿流測定。Q32. 尿流測定の適応, 方法, 臨床的意義, 尿流曲線を理解するためのポイントについて教えてください。臨泌 **64** : 128-130, 2010
- 15) Nundy S: The peometer: an apparatus for measuring urinary force. Br J Surg **58**:45-47, 1971
- 16) 古田祐一, 塚田良一, 大塚雅之, ほか: 尿流量測定装置を有する大便器システムの性能評価に関する研究開発。日本建築学会技術報告集 **14** : 187-192, 2008
- 17) http://www.toto.co.jp/products/public_flowsky/top.htm : TOTO 尿流量測定装置「フローズカイ®」ホームページ
- 18) 関口由紀, 小野塚千絵, 村山裕子, ほか: トイレ設置型尿流量測定装置は、検査環境を改善し、患者 QOL を向上させるか? 臨泌 **62** : 699-704, 2008
- 19) <http://toilets.sega.jp/index.shtml> : SEGA「トイレッツ®」ホームページ
- 20) 松本成史, 橋爪和純, 渡邊成樹, ほか: 排尿プレイゲーム「トイレッツ」は、下部尿路機能障害の啓発に利用できるか? 排尿障害プラクティス **20** : 172-177, 2012
- 21) 谷口珠実: シーン別泌尿器ケアのトラブル対応泌尿器科検査・問診編 患者さんが、「人前では無理!」, 「こんなところでおしっこできない」と

尿流測定検査を嫌がる！ 泌ケア **14** : 997-999,
2009

Neurourol Urolyn **18** : 25-32, 1999

- 22) Boci R, Fall M, Waldén M, et al.: Home uroflow-
metry: improved accuracy in outflow assessment.

(Received on February 9, 2012)

(Accepted on May 30, 2012)

(迅速掲載)