

AMCoR

Asahikawa Medical University Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

電子情報通信学会技術研究報告(超音波) () 113巻:

尿動態計測用空中超音波ドプラシステムの校正のためのウォータージェット
トファントム

松本 成史, 竹内 康人, 柿崎 秀宏

尿動態計測用空中超音波ドプラシステムの校正のための ウォータージェットファントム

松本成史、竹内康人、柿崎秀宏
旭川医科大学 医学部 腎泌尿器外科学講座
y.takeuchi@ieee.org

あらまし： 著者らはかねてより排尿時の尿動態計測用の空中超音波ドプラシステムを開発しているが、どの医療機器もそうであるように、実患者による臨床テストに先立ちシステムの開発および校正、また計測の正当性の評価に「ファントム」を必要とするのは本件開発も例外ではない。本研究においてはそのような主旨でヒトの放尿を模擬するためのウォータージェットファントムを開発し、試作試用したのでその要点を報告する。ヒトの放尿はただ管路の断端をノズルとしてしかるべき流速流量の水を層流として放出しただけでは正しく模擬出来ず、特に男子の場合、外部尿道口の直前にある舟状窩の前後における流路の形状変化に由来する層流から乱流への「ひねり」の場面を正しく再現して初めて正しく模擬できる。装置は中型の小便小僧立像にまとめられ、開発中の尿動態計測用ウェアラブル空中超音波ドプラシステム(1)-(4)とともに2012年度大学見本市 (Innovation Japan 2012) にて公開実演 (5)、好評を博した。

キーワード： 排尿動態、ファントム、層流、乱流、ドプラ

Water Jet Phantom for Calibration of Airborne Ultrasound Doppler System for Urodynamics Study

Seiji Matsumoto, Yasuhito Takeuchi and Hidehiro Kakizaki
Asahikawa Medical University, Dept. of Renal and Urologic Surgery
y.takeuchi@ieee.org

Abstract:: We are currently developing an airborne ultrasound Doppler system for external urodynamics study to monitor real human urination process. Like any other medical instrument development, it is inevitable to have a phantom, or a target simulator, in advance to challenge to real patient data taking. We report here our dedicated water-jet phantom to simulate human urination for such purpose, however, we found in our trial and error process that, human urination, especially of male, can't be simulated properly along this context, just by launching a laminar water stream from nozzle with given/desired speed and flow rate. It can properly be reproduced only by simulating exactly the twisting flow profile change at navicular fossa just behind the external orifice, to generate turbulent flow at beginning. Our water jet phantom was made up as a medium size pissing boy (manekin-piss) statue and shown in Innovation Japan 2012 (5) together with the our wearable Doppler device(1)-(4), with unanimous good acceptance.

Keywords: urodynamics, phantom, laminar flow, turbulent flow, Doppler

研究の背景

著者らはかねてより排尿時の尿動態計測のために空中に放たれた尿の流れを観測する 40KHz 空中超音波ドプラシステム(1)-(4)を開発している。が、どの医療機器もそうであるように、実患者による臨床テストに先立ちシステムの開発および校正、また計測の正当性の評価に疑似目的物すなわち「ファントム」を必要とするのは本件開発も例外ではない。本研究においてはそのような主旨でヒトの放尿を模擬するための「放水機」すなわちウォータージェットファントムを開発し、試作試用したのでその要点を報告する。

不調に終わった予備実験

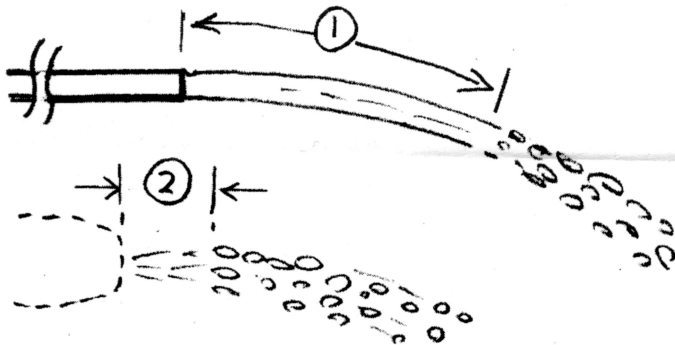


図1：水をただノズルから出しただけでは層流の区間(1)が長すぎ、層流の区間が短い(2)実際の放尿を模擬出来ない。
(1) = 十数cm、(2) = 数cm。

水道水ないし水槽からポンプで吸引与圧して得た水を、尿道に見合う内径 6mm のチューブの断端からしかるべき流速(自然落下~数十 cm/sec)、流量(数 cc/sec~数十 cc/sec)にて空中に放出せしめて放尿の模擬にせんとした物の、このウォータージェットからのドプラシフト反射波は実際の放尿からの物に比して著しく微弱であり、目的に鑑みて正しい模擬になっていない事が判明した。理由は視認により単純に理解された。すなわち図1の(1)のごとくこの単純ウォータージェットはその起始部すなわちノズル(円孔)から空中に放出された箇所から十数 cm までは断面が乱れないノズルの形通りの円筒形のまま、

すなわち層流状態で進行し、その先でようやく乱れはじめて液的の群れに転化する。ドプラシステムはこの層流区間からは有意な反射波信号を獲得できず、液的群に転化した遠方においてのみそれが獲得でき、故に総合的な検出感度は著しく低下する。一方で本ドプラシステムが動作を予定する状態においては、図1の(2)のごとく、尿流は外部尿道口から高々数 cm で乱流を経て液的群に転化し、ドプラ計測に好ましいレベルの反射波を与える。この相違は実際に放尿される尿流は外部尿道口を発つより以前に流路の途中で乱流となる資格を付与されている事で説明できる。それは、流路としての尿道は、舟状窩という溜り場の奥では尿道海綿体の中で体表面(陰茎表面)に平行な扁平な断面を成し、一方舟状窩という溜り場に直結する外部尿道口は主軸が体表面(陰茎表面)に直行する扁平な開口形状をしているという事情による。この区間の尿道の断面形状の変遷を図2に模式的に示す。図3はそれを傍証する放尿中の X 線造影像の 1 例である。

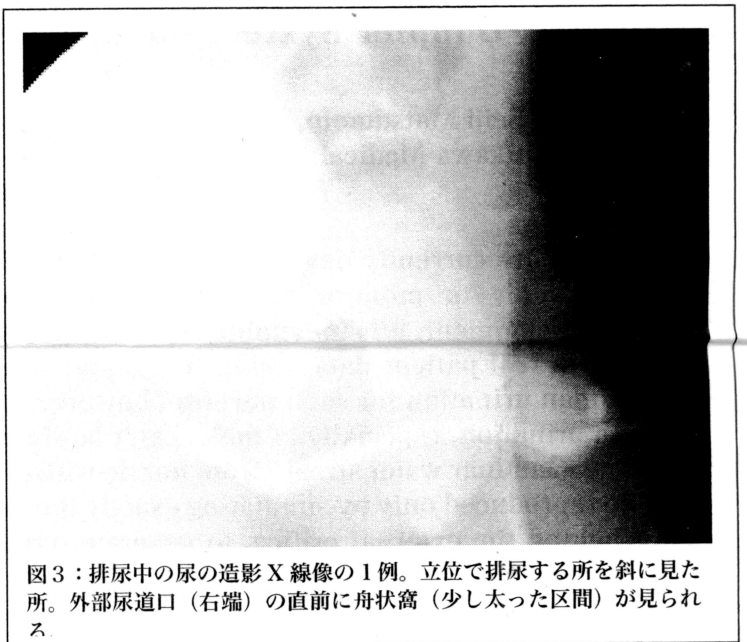


図3：排尿中の尿の造影 X 線像の 1 例。立位で排尿する所を斜に見た所。外部尿道口(右端)の直前に舟状窩(少し太った区間)が見られる。

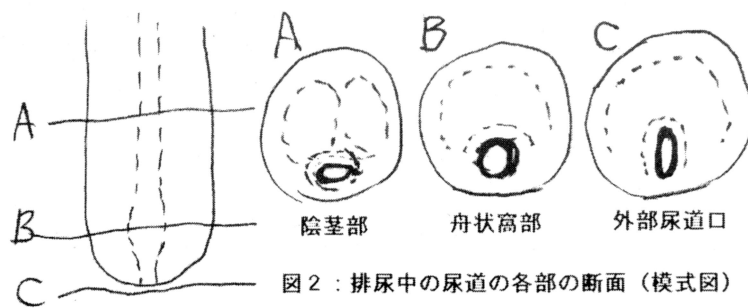


図2：排尿中の尿道の各部の断面（模式図）

課題の設定と解決策の示唆

前記予備実験より、ヒトの放尿はただ管路の断端をノズルとしての水を層流として放出しただけでは正しく模擬出来ず、特に男子の場合、外部尿道口の直前にある舟状窩の前後における流路の形状変化に由来する層流から乱流への「ひねり」の場面を正しく再現して初めて正しく模擬できる事が示唆された。そこで、そのように実在の尿道の断面推移を模擬した流路を作成する事にした。

好ましい実施例と得られたデータ

信楽地区の老舗の瀬戸物屋から屋外庭園設置用の中サイズ（丈高 50cm ほど）の小便小僧立像を入手した。これにはブリュッセルの本家の物と同様に台座背後から外部尿道口まで延びる給放水系が設置されているが、それは単なる嵌め込みないし押し込みで設置されているので容易に改造ないし取り替えが可能である。図4に示すごとくこの管路の終端部を断面が適当な扁平形状になるように外部から金属棒をはめて追加加工し、その区間で断面の主軸が90度回転する構造を実現した。これにおいて最先端部(3)は垂直に押しつぶすように、その直前の区間(4)では水平に押しつぶすように、各々数mmの区間に金属棒が嵌められている。(5)は管路の主体となる外径6mm内径4mmの塩化ビニルチューブ、押しつぶされた区間における断面の形状は大略2x6mmほど、実際には外周部にさらにプラスチック材（ホットメルト接着剤）の補強がある。

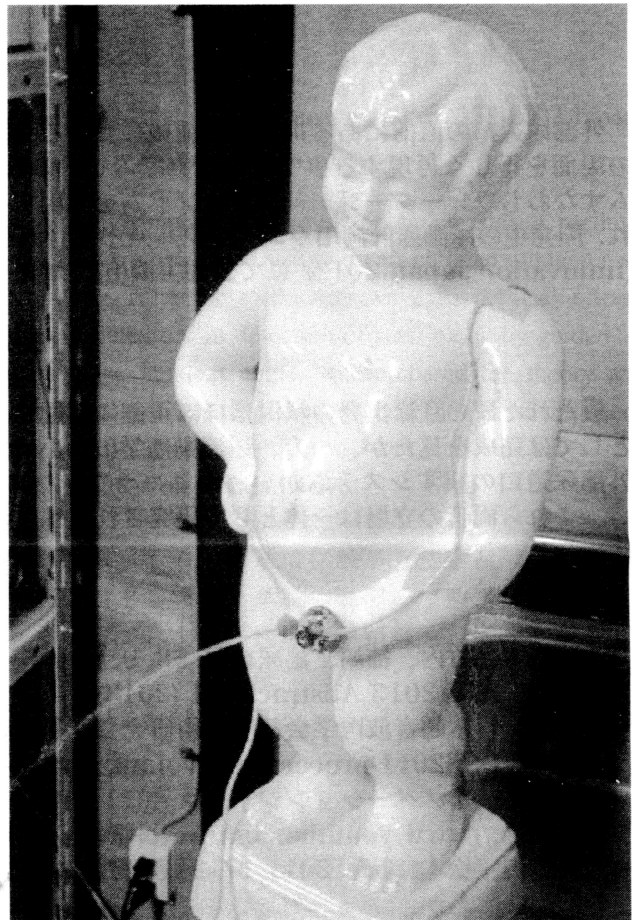


図5（上）、 図6（右）

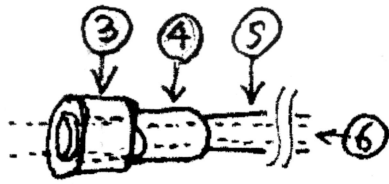


図4：ノズル近傍の偏平化加工

これを図5に示すごとくこの断端が丁度この立像の外部尿道口に位置するように接着した。(6)の右方はるか下にこの立像に外付される可変速ポンプと水源がある。図6にこの立像の実演中の全体像を示す。同図中にはくだんの指はめ型のウェアラブルドプラ装置もその実際に使用状況に合わせて提示してある。このようにして準備した小便小僧ファントムを可変速ポンプにより放尿動態を模擬する如く給水してドプラ観測した所、実際のヒトの放尿と同程度のレベルの信号を得る

事が出来た。図7にこれら信号の例をそのドプラスペクトラムにより示す。尚、送受波器と水流（尿流）出発点との水平方向の距離は約2cm、音線と水流（尿流）は出発点において略平行である。

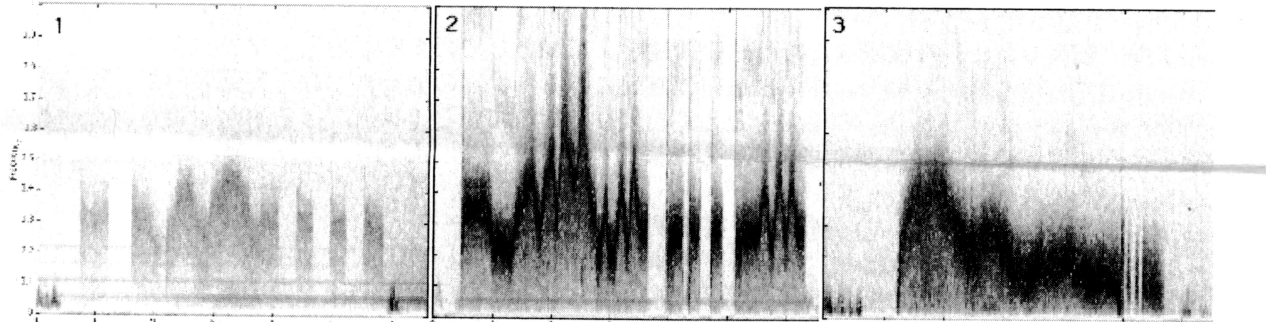


図7:(1)ノズル偏平加工前(層流)、(2)ノズル偏平加工後(乱流)、(3) 同装置によるヒトの排尿の実データ
いずれも横軸のスペンは30秒、縦軸はドプラスフト周波数0-550Hz。(1)(2)のポンプ操作は手動。

まとめ

外部尿道口の直前にある舟状窩の前後における流路の形状変化に由来する層流から乱流への「ひねり」の場面を正しく再現する事でもって実際のヒトの放尿と超音波観測的に等価な模擬放尿フローファントムすなわちウォータージェットファントムを実現する事が出来た。装置は中型の小便小僧立像にまとめられ、開発中の尿動態計測用ウェアラブル空中超音波ドプラシステム(1)-(4)とともに2012年度大学見本市(Innovation Japan 2012)にて公開実演(5)、好評を博した。

今後の課題

放たれた尿の乱流出発の状況はほぼ正確に模擬でき、空中超音波ドプラ計測のシステム検証の構成要素としては完成を見たが、一方、尿流動態学(urodynamics)の立場からは球部尿道、陰茎部尿道、舟状窩、外部尿道口の成すシステムがいわゆるコラプシブルチューブである事に関する研究の目処がたっていない。これら両者の立場は一体として研究されるべき事が強く伺われ、今後の課題である。

参考文献

- (1) 松本、竹内、柿崎、泌尿紀要 58, 9, pp465-469 (2012)
- (2) 同、AUA2013 Abstract 831 (2013)
- (3) 同、日本超音波医学会基礎技術研究会 BT2011-13 (2012)
- (4) 同、USE2011 proceedings vol.32, pp449-450 (2011)
- (5) 松本、イノベーションジャパン 2011 出展番号 W-2 (2012)、出展内容公開ビデオ URL:
<http://www.youtube.com/watch?v=CarotW-3Jfw>
- (6) 竹内、松本、特願 2011-171217, 特開 2013-34548