

# AMCoR

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

泌尿器科紀要 (2012.09) 58巻9号:465～469.

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

松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

泌 尿 器 科 紀 要

< 原 著 論 文 > Manuscript No. 120207

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

旭 川 医 科 大 学 医 学 部 腎 泌 尿 器 外 科 学 講 座

( 主 任 : 柿 崎 秀 宏 教 授 )

松 本 成 史 、 柿 崎 秀 宏

松 本 、 柿 崎 : 尿 流 測 定 、 装 置 、 空 中 超 音 波 、  
ド プ ラ 、 ス ペ ク ト ロ グ ラ ム

< 連 絡 先 > 松 本 成 史

旭 川 医 科 大 学 医 学 部 腎 泌 尿 器 外 科 学 講 座

〒 078-8510

北 海 道 旭 川 市 緑 が 丘 東 2 条 1 丁 目 1-1

TEL: 0166-68-2533, FAX: 0166-68-2539, E-mail: [matsums@asahikawa-med.ac.jp](mailto:matsums@asahikawa-med.ac.jp)



英文抄録

Conventional uroflowmetry (UFM) is based on a urine receiving container like a toilet device(s) equipped with various sensors. To abolish the conventional concept of equipping the toilet bowl with sensors and satisfy the need of measuring urinary flow anytime and anywhere in an easy, natural, and repeated manner, a UFM device based on an airborne ultrasound continuous wave Doppler system was developed as 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 devices, and the Doppler spectrum (urination pattern) could be evaluated in chronological order for the volunteers' urinations. It was confirmed from the examination of effectiveness that there is a potential for the clinical application of the new device, but this level of the present stage is not reach clinical application. 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.

抄 録 和 訳

尿流測定装置は、トイレのような採尿器に各種センサを配備した物となっている。このようなトイレの側にセンサー式を装備するという従来の発想を転換し、「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測定出来ないか？」と考えた。排尿を行う人体の側に簡単に装備される非接触間接計測が可能な空中超音波 continuous wave (CW) ドプラシステムを利用した新規尿流測定器を開発し、その試作品の有用性を一般成人ボランティアでの排尿で検討した。

ボランティアの排尿を試作品にて採取・記録でき、ドプラスペクトログラムの時系列（排尿パターン）評価も可能であった。試作品の有効性を検討した結果、臨床応用できる可能性が見出されたが、現段階ではそのレベルには達していない。本装置は、今後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



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<sup>1,2)</sup>。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等により、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、応力や重量等のセンサをつけた「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 ) ” に各種センサを配

## 松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

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、計測毎に後始末等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<sup>3,4)</sup>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。

### 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、Takeuchi<sup>5)</sup>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

Figure 1



## 松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

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<sup>6)</sup>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も延べ 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 1cm）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

Figure 2

### 松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

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。	☞ Figure 3
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）のコントラスト	☞ Figure 4
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、その全てにおいて、Fig. 4C の様なドプラス	

## 松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

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、胤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<sup>1)</sup>。  
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<sup>7-12)</sup>。Ozawaら<sup>7)</sup>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<sup>8-10)</sup>は、簡便であるが、成人男性

## 松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

に使用が限られる。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<sup>11)</sup>やその他の病態把握への応用<sup>12)</sup>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、いづ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<sup>13,14)</sup>。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<sup>15)</sup>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<sup>16,17)</sup>、UFM の検査環境を改善し、

## 松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

患者のQOLと検査精度を向上すると報告されている<sup>18)</sup>。また、超音波を利用しておよその尿量等が表記される、男子用トイレに外付け設置するゲーム機も商品化されており<sup>19)</sup>、LUTDの啓発に使用できる可能性も示唆されている<sup>20)</sup>。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<sup>21)</sup>。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装置の結果より、より多くの情報が得られることが報告されている<sup>22)</sup>。

Takeuchi<sup>5)</sup>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超音波ドプラシステムを用いた新規UFM装置<sup>3,4)</sup>は、まだ試作品段階で、スペック

## 松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

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等、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

## 松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

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未だかつて無く、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。

### 参考文献

松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

1.	松本成史 . 泌尿器科診療ノート「尿流動態検査」前立腺肥大症 . 編集：勝岡洋治 . (株)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 . 膀胱内圧測定の意味 p.149-151, . 尿道内圧測定の意味 . p.152-153, . 尿道括約筋筋電図測定の意味 . p.154, 臨床泌尿器科増刊号 . メジカルビユー社 , 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, Kakizaki H: Natural Urodynamics Measurement by Wearable Airborne Ultrasound Doppler System. Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics. <b>32</b> : 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, <b>1039</b> : 385-386, 1988.
6.	Takeuchi, Y. "A Simple Single Transducer Doppler System", Ultrasonics, <b>17</b> : 132-133, 1979.



松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

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. <b>160</b> : 1787-1791, 1998., Part II: clinical application in bladder outlet obstruction. J Urol. <b>160</b> : 1792-1796,1998.
8.	Griffiths CJ, Rix D, MacDonald AM, Drinnan MJ, et al. Noninvasive measurement of bladder pressure by controlled inflation of a penile cuff. J Urol. <b>167</b> : 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. <b>182</b> : 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. <b>180</b> : 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ベロース式感圧機構をカプセル化したテレメータ発振器。臨床泌尿器科。 <b>62</b> : 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。 <b>48</b> : 220-225, 2010.
13.	後藤百万、吉川羊子、近藤厚哉、ほか：

松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

	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 . <b>87</b> : 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 .
	臨床泌尿器科 . <b>64</b> : 128-130, 2010.
15.	Nundy S.: The peemeter: an apparatus for measuring urinary force. Brit J Surg.
	<b>58</b> :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
	の性能評価に関する研究開発 . 日本建築
	学会技術報告集 . <b>14</b> : 187-192, 2008.
17.	<a href="http://www.toto.co.jp/products/public_flowsky/top.htm">http://www.toto.co.jp/products/public_flowsky/top.htm</a> : TOTO 尿流量
	測定装置「フロースカイ®」ホームページ
	シ
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

松本、柿崎：尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

	環境を改善し、患者 QOL を向上させるか
	? 臨床泌尿器科 . 62: 699-704, 2008.
19.	<a href="http://toylets.sega.jp/index.shtml">http://toylets.sega.jp/index.shtml</a> : 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: 2012. In press.
21.	谷口珠実 : シーン別泌尿器ケアのトラブル
	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! 泌尿器ケア . 14: 997-999, 2009.
22.	Boci R, Fall M, Waldén M, et al.: Home uroflowmetry: improved accuracy in outflow
	assessment. Neurourol Urodyn. 18: 25-32, 1999.
<b>図の説明</b>	
<b>Figure 1:</b> The Scheme of New Uroflowmetry Device / System by Wearable Airborne Ultrasound	
Doppler System.	
<b>Figure 2:</b> The prototype device of uroflowmetry application of airborne ultrasound Doppler system.	

松本、柿崎 : 尿流測定装置、空中超音波ドプラシステム

**A:** The transducer, diameter=1cm, 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.

**Figure 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.

**Figure 4:** Algorithm of automatic processing of Spectrogram. **(A)** Source Spectrogram (Fig. 3B), **(B)**

2D-Smoothing/Blurring, **(C)** Ridge Tracing.

Figure 1

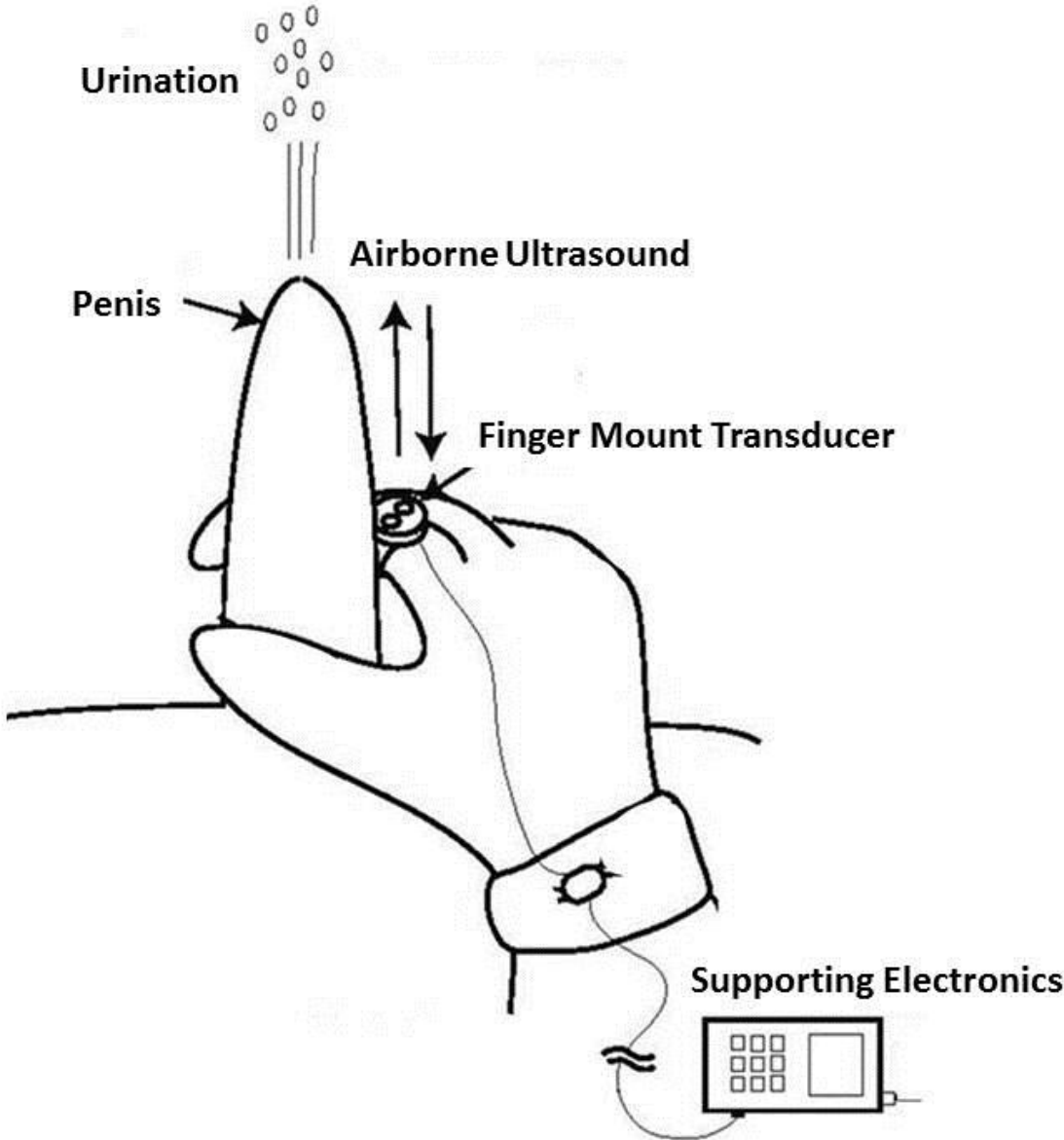


Figure 2

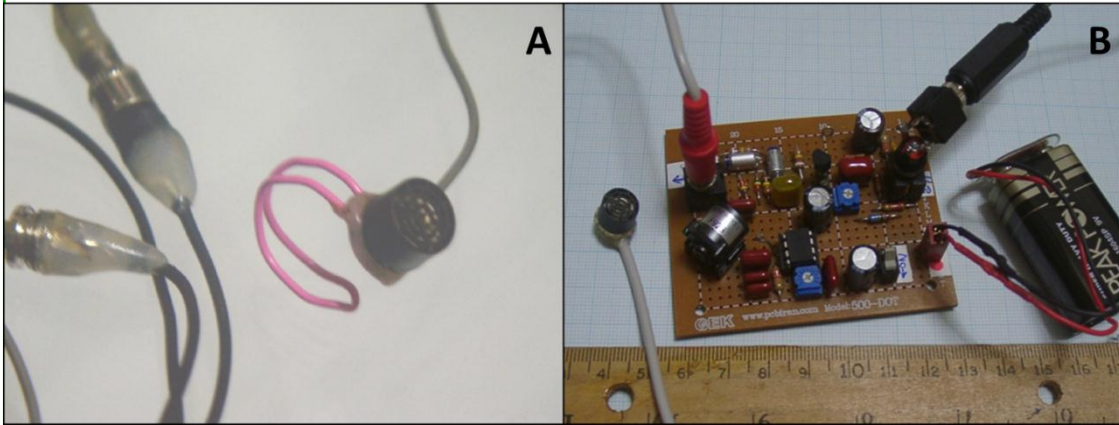


Figure 3

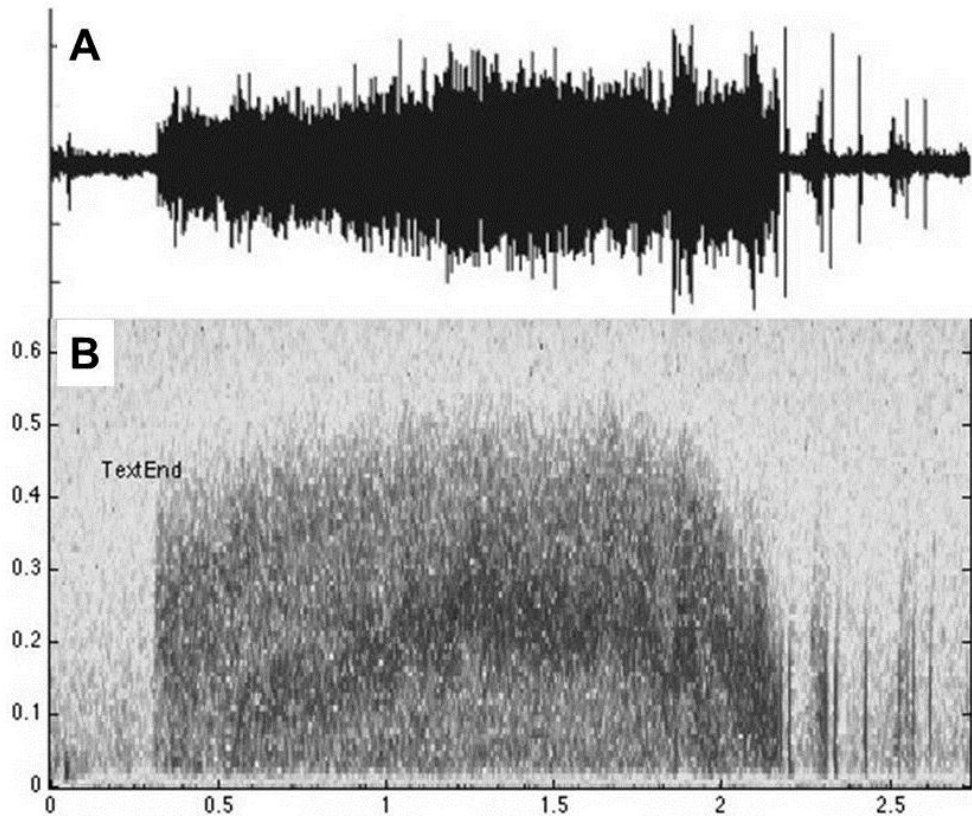


Figure 4

