

超音波診断装置を利用した発音訓練のための プローブ接触面における水の利用*

☆村瀬真悟, 荒井隆行 (上智大・理工)

1 はじめに

近年, 携帯型超音波診断装置が市場に投入され, その高い利便性から医療現場の他に発音教育や言語治療においても活用が期待されており, 需要が高まりつつある。2005年にはBernhardt *et al.* により超音波診断装置を用いて, 聴覚障害や発話障害を抱える患者の発話明瞭度を改善するリハビリテーション法が提案されている[1]。また, 超音波装置を用いて発音時の舌の動きを視覚的にフィードバックする研究もされており, 外国語の発音明瞭度の改善にも貢献している[2,3]。通常, 医療現場で超音波診断装置を使用する場合, プローブと生体接触面においてエコーゲルを音響結合剤として用いる。その結果, 超音波を生体内まで伝播させることができる。しかし, このエコーゲルは, 人によって肌を傷める可能性があるとともに, 衣服等を汚してしまう恐れもある。また, 生体組織の断面を鮮明に映しすぎてしまう結果, 利用者によっては見慣れない映像を見ることで気分を悪くしてしまう可能性がある。よって, 発音訓練における超音波診断装置の利用では, 舌を主とする口腔内の声道表面(空気に直接接触する部位)だけを鮮明に映しだすことが理想であり, 発音訓練や言語治療など, 通常の医療現場以外へ超音波診断装置を応用する場合, 伝播の効率が良すぎて内部組織を鮮明に映してしまうエコーゲルには欠点がある。このような現場で超音波診断装置を用いる場合, 肌を傷めてしまうといった利用者への負担が少ないもの, また, 生体組織における断面(舌の断面や空気中において輝度が比較的高い部分を含む)の表示をなるべく抑え, 主に声道表面のみを鮮明に映しだす程度の伝播の効率を保つ媒体が理想とされる。本論文では, これを実現する伝達媒体として水の利用を試み, 評価を行った。

2 実験

2.1 目的

超音波プローブと生体接触面において, 伝達媒体がない場合, 水を伝達媒体として用いた場合, エコーゲルを伝達媒体として用いた場合において, 舌表面を映した画像データを収集した。

2.2 実験に用いた装置

本実験で使用した超音波診断装置はALOKA社製のprosound2であり, 超音波プローブはALOKA社製のElectronic Convex Probe UST-9137である。

2.3 実験参加者

実験参加者は22歳の男性1人であり, 肌質に関しては特に異常はなく, 健康である。

2.4 実験環境

本実験は上智大学荒井研究室にある防音室で行った。このときの室内の環境は温度26℃, 湿度47%であった。

2.5 超音波診断装置の設定と操作

本実験では, 超音波診断装置の設定を, 周波数Rランク, ゲイン52dBで測定した。画像は, 本体操作パネルのFreezeボタンを押したあと, Storeボタンを押すことで装置内に保存される。

2.6 実験準備

まず, 実験前における生体接触面の状態について述べる。実験参加者は室内のエアコンにより調整した温度26℃, 湿度47%の環境に1時間以上滞在した。これにより, 肌の状態が天候に依存しないように注意した。

スプレーボトルの1ショットにおける放水量を重量計よりグラム単位で割り出した。更に, プローブから約10cm離れた位置より放水したときに付着する水の量を調べるため, プローブ接触面における面積とスプレーボトルから10cm先において水が均一に付着する面積を調べ, おおよその付着量を計算した。

* The use of water on the surface of the ultrasound probe for practicing pronunciation, by MURASE, Shingo and ARAI, Takayuki (Faculty of Science and Technology, Sophia University).

その結果、10 cm から離れた位置より 1 ショットでプローブの接触面に付着する量は約 36 mg であると断定した。

一方、エコージェルをプローブの接触面全体が覆いかぶさるように付着させる場合、約 1.8 g の量を使用することが分かった。これはプローブに付着させる前のエコージェルボトルと後のエコージェルボトルを重量で比較して求めた結果である。

2.7 実験手順

各伝達媒体において以下の実験手順を 2.7.1 から順番に実施し、超音波による画像データを収集した。

2.7.1 伝達媒体がない場合

以下の処理を 10 回繰り返し、10 枚の画像を収集した。

1. 伝達媒体となるものがプローブ、生体接触面に付着していないことを確認する。
2. 超音波プローブを顎下にあてる。
3. 日本語母音/a/を発音する(5 秒程度)。その間に舌の表面を写した画像を記録する。
4. 顎下からプローブを離す。

2.7.2 水を伝達媒体として用いた場合

以下の処理を 10 回繰り返し、10 枚の画像を収集した。

1. スプレーで一定の量(4 ショット:約 0.145 g)の水をプローブにかける。
2. 超音波プローブを顎下にあてる。
3. 日本語母音/a/を発音する(5 秒程度)。その間に舌の表面を写した画像を記録する。
4. 顎下からプローブを離す。
5. プローブと生体接触面に付着した水分を取り除く。その方法としては、布などで拭いた後、完全に蒸発させるため 3 分間、実験環境の内で待つ。

2.7.3 エコージェルを用いた場合

以下の処理を 10 回繰り返し、10 枚の画像を収集した。

1. エコージェルを伝達媒体として使用するため、約 1.8 g のジェルをプローブに付着させる。
2. 超音波プローブを顎下にあてる。
3. 日本語母音/a/を発音する(5 秒程度)。その間に舌の表面を写した画像を記録する。
4. 顎下からプローブを離す。
5. プローブと生体接触面に付着したジェルを布などで拭き取り除く。

3. 各伝達媒体における超音波画像の鮮明度の評価

3.1 出力画像からの分析

超音波が生体内へ十分に伝播されている場合、映像では舌の表面が白色ではっきり示される。しかし、超音波の伝播の効率が悪い場合、体内に進行する音響エネルギーが接触部において大きく減衰してしまい、全体的に暗く鮮明でない映像が出力されてしまう[4]。超音波の伝播の効率によって左右される画像の鮮明度について各伝達媒体を使用したとき、出力された画像を MATLAB で構成した輝度による二値化アルゴリズムから評価する。Fig. 1 は実験データの一部であり、水を伝達媒体として用いたときにおける静止画である。Fig. 2 はその超音波画像のデータにおいて、座標 (325,30)と(325,425)の 2 点間で線を引いたときに検出された輝度値を表すグラフである。

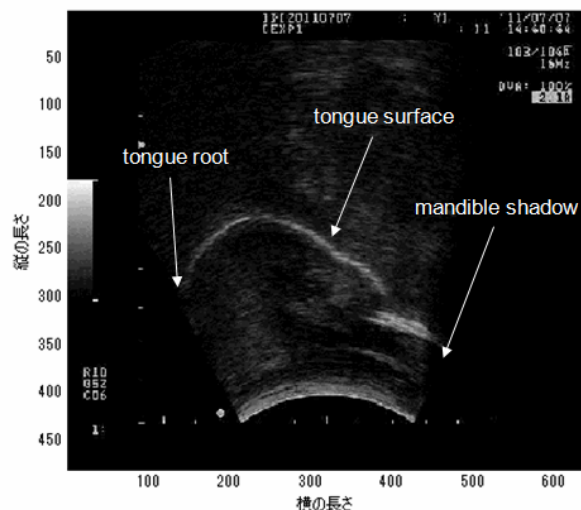


Fig. 1 母音/a/における舌の超音波画像 (水を伝達媒体として使用したとき)

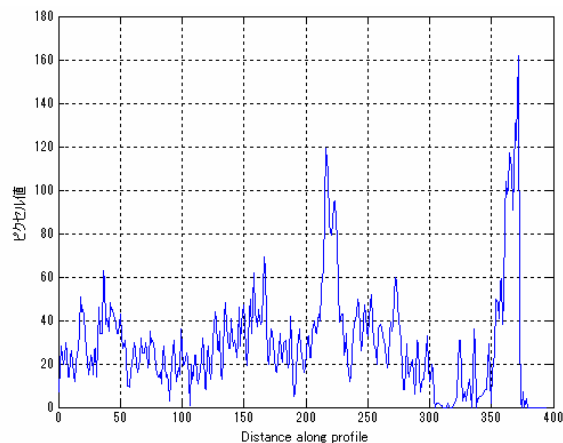


Fig. 2 Fig. 1 において座標 (325,30)と(325,425)の 2 点間で線を引いたときの輝度値

これより、舌表面がある程度鮮明に残る閾値の目安として最大輝度値の3割程度が適切だと判断し、その上で微調整を行った結果、0.29を閾値として決定し、二値化画像を作成した。その後、超音波画像の出力範囲において輝度が0.29以上だったピクセルの割合(輝度の比率)を計算し、超音波の伝播の効率によって左右される画像の鮮明度を求めた。

3.2 分析結果

収集した30枚の画像をMATLABによる二値化アルゴリズムによって解析した結果、Fig. 3のグラフが得られた。Fig. 3は出力画素の総数に対して0.29以上だったピクセルの割合を表したものである。これにより、水を伝達媒体として用いた方が、伝達媒体なしよりも輝度の比率が高いことがわかる。次に、Fig. 4は各伝達媒体において、輝度の比率における平均を求めた結果である。Fig. 4の結果より水を伝達媒体として用いた場合、輝度の比率がエコージェルより1.1%低いことがわかる。また、二値化アルゴリズムで設定した閾値は水を伝達媒体として用いた場合において、声道表面がある程度鮮明に残る数値である。そのため、本分析結果による輝度の比率について考察すると、伝達媒体を何も用いなかった場合における超音波画像では、輝度の比率が水の比率より2%以上低く、声道表面が鮮明でないことが数値よりわかった。

4. 声道表面における鮮明度の評価

4.1 評価方法

本節では、水とエコージェルをそれぞれ伝達媒体として用いたときの画像から、声道表面の組織と生体組織の断面(空气中において輝度が比較的高い部分を含む)を手動で分離して各組織における輝度の比率を計算することにより声道表面の鮮明度を評価した。各組織を手動で分離する作業を簡単にするため、超音波画像による口腔内の画像を細線化するMATLABのアルゴリズムにより、声道表面の組織と生体組織の断面を目視によって容易に判断できるよう処理を施した。そして、手動により生体組織の断面を取り除き、声道表面の組織と生体組織の断面を示すピクセルを分離して、それぞれの比率を計算し比較した。また、顎下における生体表面とプローブ表面の境界を示すピクセルは計算の対象から除いた。

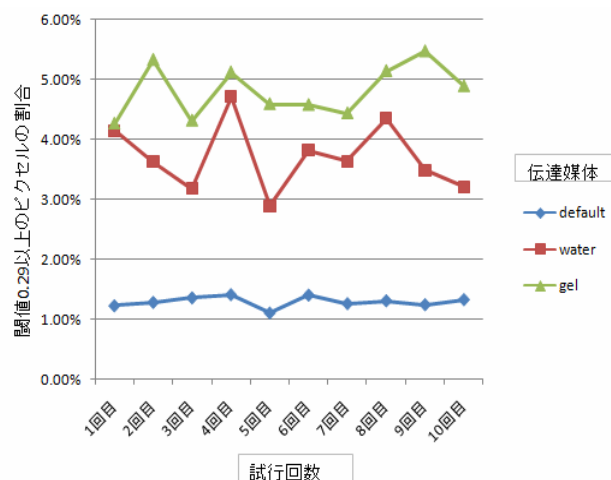


Fig. 3 各伝達媒体における輝度の比率

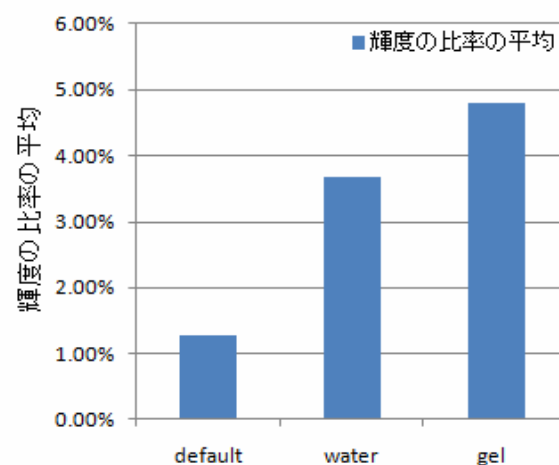


Fig. 4 各伝達媒体における輝度の比率の平均

4.2 二値化アルゴリズムと細線化アルゴリズムによる比率の差

細線化は線の中心の1画素分だけを残す処理であるため、超音波画像の輝度の比率はこの処理を通すことにより大幅に減少する。そのため、発音学習者や訓練者が見る処理前の超音波画像と比べて視覚的に大きな違いも生じる。そこで、細線化アルゴリズムによる結果が学習者や訓練者が見る超音波画像へ反映されるかどうかを確かめるため、細線化アルゴリズムによる出力結果の比率と3節における二値化アルゴリズムによる出力結果の比率を比較し、各伝達媒体による超音波画像の出力結果における比率が大きく影響されてしまうかどうかを調べた。各アルゴリズムから水による比率をジェルによる比率で割った値を比較した結果、約2%の差が確認されたが、大きな影響を及ぼす差ではなかったため、本節で作成した細線化アルゴリズムを利用した。

4.3 細線化アルゴリズム

本節で用いた MATLAB のアルゴリズムについて述べる。超音波画像を読み込み、5×5ピクセルのメディアンフィルタを通したあと、輝度を閾値 0.25 で二値化する。この閾値は細線化したときに生体組織の断面と声道表面の組織を容易に区別することができる数値である。その後、細線化を行った。最後に孤立点を除去することによって、声道表面の組織と生体組織の断面を容易に判別できる画像へと変換した。Fig. 6はこのアルゴリズムの処理を施した超音波画像である。

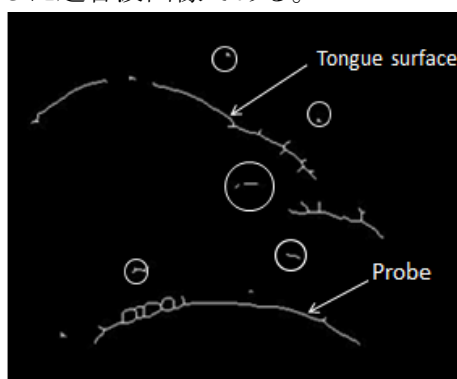


Fig. 6 Fig. 1 のアルゴリズム処理後(舌表面を中心に拡大、円の中の白線が生体組織の断面)

4.4 結果

水による画像とエコーゲルによる処理後の画像をそれぞれ計算し、細線化処理における輝度の比率の平均を Fig. 7 に示した。

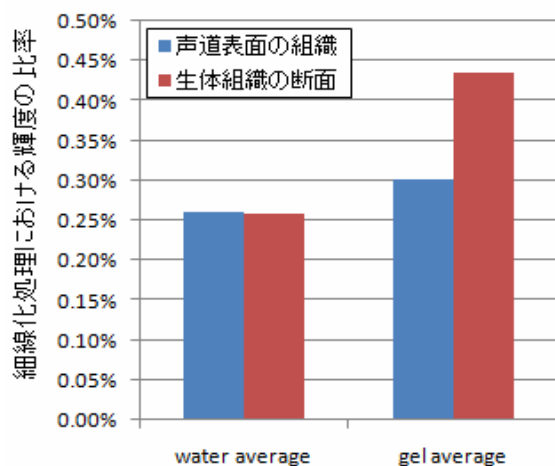


Fig. 7 二つの組織における輝度の比率の平均

4.5 考察

Fig. 7 について考察する。1 節で記載した通り、発音訓練における超音波診断装置の利用では、声道表面の組織だけを映し出すことが理想だと考えた。3 節の結果より輝度の比率

の平均は水よりジェルの方が高かったが、今回の検証でも両方の組織において水よりもジェルの方が輝度の比率が高くなった。しかし、声道表面を観測するという点に関しては、水を伝達媒体として使用した場合において、声道表面の組織における輝度の比率と、生体組織の断面における輝度の比率を比べた場合、水を用いた方がジェルを用いた時より、生体組織の断面を約 0.18% 少なく表示できることがわかった。一方、声道断面の組織における比率については、水を使用すると約 0.04% 減少してしまうが、生体組織の断面を大幅に減少できるメリットが大きいことが検証された。

5. 結論

肌を傷める心配がない水を伝達媒体として利用した場合、超音波の伝播の効率による輝度の比率はエコーゲルよりは低いですが、声道表面を可視化する上で大きな差がないことがわかった。また、水を伝達媒体とした場合、声道表面の組織を映しつつも、生体組織の断面は映しにくいという効果が確認され、超音波診断装置を利用した発音訓練において、水を伝達媒体として利用する価値を十分に確かめることができた。

謝辞

本研究は、文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業上智大学オープン・リサーチ・センター「人間情報学研究センター」の支援を受けて行われました。

参考文献

- [1] B. Bernhardt, B. Gick, P. Bacsgalvi and M. Adler-Bock, "Ultrasound in speech therapy with adolescents and adults," *Clinical Linguistics and Phonetics*, pp.605-617, 2005.
- [2] I. Willson and B. Gick, "Ultrasound technology and second language acquisition research," *Proceedings of the 8th GASLA*, pp.148-152, 2006.
- [3] B. Gick, "The use of ultrasound for linguistic phonetic fieldwork," *Journal of the International Phonetic Association*, pp.113-121, 2002.
- [4] 管 和雄 編著, "わかる音響の基礎と腹部エコーの実技," 東洋書店, (2008).