原 著

音響鼻腔計測法 (Acoustic Rhinometry) の鼻腔内における 音波の進行方向に関する基礎的研究

藤田保健衛生大学医学部耳鼻咽喉科学教室, *蒲郡市民病院耳鼻咽喉科

齋 藤 正 治, 内 藤 健 晴, 伊 藤 周 史,
三 村 英 也, 間 宮 淑 子*

A Fundamental Study on Sound-wave Direction During Acoustic Rhinometry of the Nasal Cavity

Shoji Saito, Kensei Naito, Chikashi Ito, Hideya Mimura,
Toshiko Mamiya*

Department of Otolaryngology, Fujita Health University School of Medicine, Aichi

*Department of Otolaryngology, Gamagori City Hospital, Aichi

In recent years acoustic rhinometry has become well established as a means of better understanding nasal pathophysiology, however, the direction of the sound waves of the acoustic rhinometer in the nasal cavity is still unclear. To accurately determine sound wave direction during acoustic rhinometry in the nasal cavity, we compared the cross-sectional areas of adult-size artificial models of the nose measured by 3D-CT and acoustic rhinometric measurements. We used five hypotheses for sectional direction in the nasal cavity for estimation the sectional area of the nasal model by 3D-CT. Those hypotheses were 1) perpendicular to parallel with the nasal floor, 2) perpendicular to linear direction of the nozzle of the acoustic rhinometer, 3) perpendicular to the consecutive line presumed center of the nose, 4) perpendicular to line of presumable main respiratory air currency in the nose, and 5) combined line between top and bottom of the cavity equivalently deferred from the anterior nostril. The CT estimation under the last hypothesis demonstrated the most approximate values to acoustic rhinometric assessments, and the sound wave direction of the acoustic rhinometry might be appropriate in the nose.

Key words : 音響鼻腔計測法, acoustic rhinometry, area-distance curve, 鼻腔容積, 断面積

1. はじめに

音響鼻腔計測法 (Acoustic Rhinometry 以後 AR と略す) は短時間で鼻腔の断面積や容積を測定できることから鼻腔の形態学的な客観的評価法として臨床での応用に期待が持たれ, 近年様々な研究がなされてきている¹⁻¹⁶⁾。しかし本機器の測定結果が示す前鼻孔* (右記脚注参

照) からの距離は実際の方向のどの距離を示しているのか, またどんな方向の断面積であるのか未だに明確にはされていない。この問題を明らかにすることは, 本機

* 前鼻孔

解剖学的には「外鼻孔」が用語として正しいが, 慣例として「前鼻孔」を使用しているので, 編集委員会として「前鼻孔」を本誌で使用することを認めました。

器を使用する上で極めて重要なことと考える。今回我々は、この問題に対して基礎的な研究を行ったので報告する。

2. 方 法

今回我々はARの測定結果が示す断面の方向や前鼻孔からの距離がどの方向への距離を示しているのかを検討するため、シリコン製鼻腔モデルLM005（高研社製）を用いて、ARの鼻腔内を通過する音波の進行方向について検討を行った。測定にはAcoustic Rhinometer RHIN 2100（SRE社製，Denmark）を用いた。測定にあたりプラスチック用エポキシ樹脂製接着パテをARのノーズピース部位に接着させ、さらにパテと鼻腔モデルの間に軟膏を塗布することで、ARのノーズピースの角度や密着性の安定化を図り、AR測定曲線（area-distance curve）の再現性を高めた（図1）。

音波の進行方向を検討するうえで、人工鼻腔モデル内の音波進行経路を理論的にいくつか仮定して採用した。そして、その仮想進行経路上の距離とその方向に対して垂直となる方向の断面積をCTで計測し、人工鼻腔モデルのAR測定曲線の距離と断面積の結果を比較して、最

も近似するものが鼻腔内の音波進行方向に近いものと推定した。CTはMPR（Multiplanar Reformation）画像が作成でき、人工鼻腔モデル内断面積を任意の角度で計測することができるヘリカルCT（TOSHIBA社製 X Vigor）を用いた。MPRで作成した矢状断面の画像上に音波進行経路の仮想線を作成し、仮想線上で5mm間隔

図1 ノーズピースの固定方法

図2 CT上の断面積測定法

図3 第3理論の方法

(戸川: 臨床耳鼻咽喉科頭頸部外科全書, 金原出版, 1989より)

仮想線に対し垂直な線を作成し、その線における断面積を計測した。

図4 第4理論の方法

〈直線円筒モデル〉

〈曲線円筒モデル〉

音波は円筒が直線であってもロールしていても、円筒の辺縁の距離を上方、下方とも同距離と認知する性格を有する

図5 直線および曲線円筒モデルの area distance curve

の点において仮想線に垂直な断面積を計測した。仮想進行経路の出発点はノーズピースが接着する鼻入口部のシリコン陰影外側とした(図2)。

今回の実験では、以下の5つの進行経路を仮定して断面積の計測をしてみた。第1は鼻底部に沿って平行に進行する経路(進行経路①【図7a】), 第2はARのプロープの接線方向に進行する経路(進行経路②【図7b】)とした。第1, 第2の断面積の計測にあたり, それぞれ進行経路の仮想線に対し垂直な断面積を計測した。第3は鼻腔を1つの管腔と想定して, 鼻底部に平行

な線に垂直である鼻底部と鼻腔上部を結ぶ線の中心点を求め, それを結ぶ連続線を音波の進行経路と仮定した(進行経路③【図7c】)。そして, その進行経路の仮想線にできる限り垂直である線を求めてその線における断面積を計測した。(図3) この理論はARの単純円筒実験において, 円筒の内径はそのまま, 途中から円筒の方向を変えても計測される断面積は変化せず, 管腔の変化する方向に対して垂直な断面積を表示する正確を有する^{6,7)} という基礎的実験結果から, 人工鼻腔モデルにおいても同じ原理が働くものと想定して応用した。第4は

図 6 第 5 理論の方法と実験結果

図 7 仮想進行経路

過去の報告¹⁾ から鼻腔内呼吸気流の主流方向と考えられる方向に沿って進行する経路とした (進行経路④【図 7 d】)。鼻腔内呼吸気流の主流方向と考えられる方向は、臨床耳鼻咽喉科頭頸部外科全書に示されている戸川の図⁸⁾ に示されている仮想線をもとに、MPR 画像の矢状断面に中鼻甲介の位置を参考にして仮想線を作成した。そしてその仮想線にできる限り垂直である線を求めて、その線における断面積を計測した (図 4)。第 5 は、鼻腔の上方と下方において AR が同距離と認知する点を検索し、その 2 点を直線で結んだ断面中央の垂線が鼻腔内を伝搬する音波の進行経路と仮定して採用した (進行経路⑤【図 7 e】)。そしてその仮想線に対し垂直な線を作成し、その線における断面積を計測した。この第 5 の理論は AR の単純円筒実験において、音波は円筒が直線で

あってもロールしていても、円筒の辺縁の距離を上方、下方とも同距離と認知する性格を有するという過去の我々の基礎的実験結果から (図 5)、人工鼻腔モデルにおいても同じ原理が働くものと想定して応用した。具体的方法は、5×5×5mm または 5×5×12mm のゴムブロックを人工鼻腔モデルの鼻底部に設置し、鼻底部障害物による area の減少部位と、任意に設置した鼻腔モデルの上部障害物による area の減少部位が一致する点をそれぞれ検索した。その結果、鼻底部の距離が鼻入口部から 1cm, 2cm, 3cm のとき、鼻腔上部において鼻底部に平行な線上で鼻底部の各距離と同距離と鼻腔上部が認知する距離は、それぞれ 0.5cm, 1.35cm, 1.75cm となり、鼻腔後方に行くにつれて鼻腔上部での測定距離は鼻腔前方に偏位した (図 6)。3cm 以降の検討を施行し得

図 8 進行経路①から④の成績

鼻底部における 鼻入口部からの距離	進行経路	CT実測値 AR測定値 × 100 (%)	
		CT実測値	AR測定値
1cm	①	158.4	117.4
	②	146.6	
	③	146.8	
	④	149.0	
2cm	①	146.2	124.0
	②	164.9	
	③	144.9	
	④	147.5	
3cm	①	139.5	127.0
	②	152.0	
	③	141.8	
	④	141.8	

図 9 AR 測定値と CT 実測値の比較

なかった理由は、ゴムブロックを 3cm 以降の鼻底部に設置しても area の減少として AR が認知しなかったためである。

3. 成績

まず假定進行経路①から④の area-distance curve を示した (図 8)。進行経路①③④の任意の断面積は AR 実測値より大きな値となったが、area-distance curve の形状では比較的近似した。進行経路②では AR 測定値と CT 実測値は近似したが、area-distance curve の形状においては類似しなかった。これら①から④の成績において、AR 測定値と CT 実測値が同距離で最も近似したものを音波の進行方向と考えるならば、AR 測定値と CT 実測値が最も近似する進行経路②であった。しかし、CT 実測値の計算上の area-distance curve と AR 測定値の形状の乖離がかなりみられるため、これを音波の進行方向と想定するのは困難であると思われた。進行経路⑤においては、その area-distance curve の distance が鼻底部における鼻入口部からの距離を表しているのに対し、進行経路①～④の distance は仮想線上での鼻入口部から

の距離であるため、進行経路⑤の area-distance curve を進行経路①～④と同じグラフ上に加えて検討することは不可能である。そこで、進行経路①から⑤の AR における 1cm, 2cm, 3cm の各距離の断面積と CT による実測断面積とをそれぞれ比較して、どれが最も近似するかを $[(CT \text{ 実測値} / AR \text{ 測定値}) \times 100\%]$ の計算式で求めて検討してみた。その結果、進行経路①から④において任意の CT 実測値は AR 測定値より平均 40～60% の超過でかなりの相違があったが、進行経路⑤では 17～20% と最も少ない超過であり CT の実測値に最も近似した (図 9)。

4. 考 察

近年、音響反射を利用して鼻腔の開存性を評価できる AR が開発され¹⁾、鼻腔生理学的、病理学的に多くの新知見をもたらしている。AR の測定結果は鼻入口部からの距離と鼻腔断面積を示す area-distance curve として表現され、鼻腔の開存性を客観的に評価することが可能となった。AR は検査法として操作が比較的簡便で検査時間が短く、しかも被検者にとっては非侵襲的であり検査結果の再現性が高いという利点がある。さらに測定結果の表現法が広さという理解しやすい長所を有するため、世界的に広く普及し、その利用が徐々に拡大している。しかし、この area-distance curve が示す断面の鼻腔内での方向や前鼻孔からの距離がどの方向への距離を示しているのかといった基本的な問題に関して未だに解決されていない。そこで今回我々は、この基本的な問題の解決の一助として音波の進行方向を検討するために、人工鼻腔モデルと CT を用いて基礎的な実験を行った。

検討にあたりあらかじめ人工鼻腔モデル内にいくつかの進行経路を假定した。それぞれの進行経路上の任意の鼻入口部からの距離とその方向に対して垂直な断面積をヘリカル CT の MPR 画像より算出し、これを AR で測定した人工鼻腔モデルの area-distance curve と比較して最も近似するものが鼻腔内の音波進行経路に近いものと假定し、鼻腔内の音波進行経路を模索した。今回は 5 つの仮想進行経路を想定した。第 1 は鼻底部に沿って平行に進行する経路である。これは area-distance curve の距離が鼻入口部から鼻底部に平行する距離を示すと一般に考えられていることから假定してみた。第 2 は AR のプローブの接線方向に進行する経路であり、音波はプローブから直進すると假定し採用した。第 3 は人工鼻腔モデル内腔の中心にあたる点の連続線上を進行する経路であるが、これは単純円筒実験において、音波は円筒の中心線に沿って進行することが確認されている^{6,7)} こと

からこの原理を鼻腔にも応用した。第4は鼻腔内呼吸気流の主流方向と思われる方向に沿って進行する経路と想定した。これは Hilberg¹⁾ が音波の進行方向は鼻腔内の気流の方向に近いと報告していることから採用した。第5は鼻腔の上方と下方においてARが同距離と認知する点を検索し、その2点を直線で結んだ断面中央の垂線の連続が鼻腔内を伝搬する音波の進行経路と想定し採用した。これは単純円筒実験において、音波は円筒が直線でもロール状でも、円筒辺縁の距離を上方、下方とも同じ距離と認知するという実験結果を人工鼻腔モデル内にも応用した。つまり鼻腔の上方と下方においてARが同じ距離と認知する点を検索し、その2点を直線で結んだ断面の垂線が鼻腔内を伝搬する音波の方向と想定した。各進行経路のARにおける1cm, 2cm, 3cmの各距離の断面積とCTによる実測断面積との関係を比較した結果、第5の仮説である鼻腔の上方と下方においてARが同距離と認知する2点を直線で結んだ断面中央の垂線がこの5つの実験の中で最も近似していたため、ARの鼻腔内の音波の進行方向はこの方向に進行している可能性が高いものと推定された。しかし、今回の実験では鼻入口部から3cm以後での検討が不可能であったため、鼻腔後方での音波の進行方向については不明のままであるという問題が残された。

今回の基礎的実験での問題点をいくつか以下に示す。

シリコン製人工鼻腔モデルで正確な鼻腔内の面積をCTで測定するためには、適正なウインドウレベル、ウインドウレベル幅を決定することが重要である。今回はウインドウレベル100, ウインドウレベル幅1000で測定を行ったが、シリコン製鼻腔モデルにおいてはウインドウレベルを大きく変化させても面積の変化はほとんど生じないため、鼻腔内の断面積は比較的正確に測定可能であった。しかし、生体で同実験を行う場合はウインドウレベルによって面積が大幅に異なることがあるため注意が必要である。

仮説5で鼻腔の上下方向においてARが同距離と認知する2点を直線で結んだ断面の垂線を進行経路と仮定して検討を進めたが、立体構造である鼻腔には左右方向においても検討する必要があると思われた。人工鼻腔モデルの左右方向の距離は広いところでも15mmと狭く、特に鼻腔上方においては5mm以下となるため、今回の実験で用いた5×5×5mmのサイズのゴムブロックの設置では左右認識することができず検討不可能であった。Hilbergら¹⁾によるモデル実験にて直径3mmの球状物の検出が可能であるとの報告があり、3×3×3mmのサイズで実験を前実験として試みたが、実際には人工鼻腔モ

デル内でこのブロックを認識することはなかった。したがってこの実験系は鼻腔の解剖学的特徴から上下方向においてのみ検討できる方法のため左右方向での検討は困難であった。

今回用いた人工鼻腔モデルには副鼻腔が存在しないことから、副鼻腔自然口の音波の進行方向に対する影響についても検討を行う必要があると思われた。加瀬ら^{9,10)}は正常鼻腔では上顎洞自然口は小さいためAR測定値に副鼻腔はほとんど影響しないと報告していることから、上顎洞自然口のARの成績に及ぼす影響は小さいものと考えられ、今回の検討には副鼻腔自然口の存在は考慮しなくてもよいと思われた。

人工鼻腔モデルの素材によっては音パルス反射が異なるため、生体鼻腔粘膜とシリコンモデルでは差異が生じないかについても検討する必要があると考えられた。

本実験の臨床的意義を明確にするため音波進行方向が推定できた鼻入口部から鼻底部に平行な距離上3cm以内にある鼻腔内構造に着目し考察してみた。この距離内には下鼻甲介前端が存在し、area-distance curve上で鼻腔断面積が最も減少する部位として現れる。これはC-notchと呼称され、大木ら¹¹⁾は鼻入口部からC-notchまでの距離を成人男性2.4±0.3cm, 成人女性2.4±0.2cmと報告している。このC-notchや鼻入口部からC-notchまでの鼻腔容積は、鼻閉の評価^{12,13)}や血管収縮剤の鼻処置の評価^{14,15)}などに活用される重要なパラメーターである。しかしC-notchまでの距離が前鼻孔から実際の鼻腔のどの方向の距離を示しているのかは明確ではないため、これまではAR測定時使用するノーズピースの中央を0とし、そこから鼻底部と平行な距離としてarea-distance curveが描記されると説明され活用されてきた¹⁶⁾。今回音波の進行方向は鼻腔の上方と下方においてARが同距離と認知する2点を直線で結んだ断面中央の垂線上の距離であると推察されたことで、鼻入口部からC-notchまでの距離は単純に鼻底部に平行な距離と理解せずに、実際臨床上において鼻入口部からC-notchまでの距離や鼻腔容積を取り扱う際は、今後、注意して評価をするべきであると考えられた。

今後、アレルギー性鼻炎の薬物治療効果や鼻副鼻腔手術による鼻腔形態変化の評価など臨床に直結した鼻腔形態の客観的評価としてARの応用が定着するためには、ARの基礎的研究および臨床的研究を積み重ね、さらには鼻腔通気度検査法との関係についても明確にしていく必要がある。

5. 結 語

AR の鼻腔内での音波の進行方向を究明するために人工鼻腔モデルを使用して基礎的な実験を行い、以下の成績を得た。

1) 人工鼻腔モデルの最上端、最下端を AR が同距離と認知する 2 点を直線で結んだ断面中央の垂線の連続が AR の鼻腔内の音波進行方向として最も強く想定された。

2) 臨床上極めて重要な部位である鼻入口部から C-notch までの距離や鼻腔容積を取り扱う際は、今回の成績を考慮に入れて評価する必要があると考えられた。

本論文の要旨の一部は第39回日本鼻科学会および40回日本鼻科学会において発表した。

参 考 文 献

- 1) Hilberg O, Jackson A, Swift D, et al: Acoustic rhinometry. Evaluation of nasal cavity geometry by acoustic reflections. J Appl Physiology 66: 295-303, 1989.
 - 2) Landers H, Pirsing W: Diagnostic value of acoustic rhinometry; patients with Allergic and vasomotor rhinitis compared with normal controls. Rhinology 28: 5-16, 1990.
 - 3) Grymer LF, Hilberg O, Pederson OF, et al: Acoustic rhinometry; Values from adults with subjective normal nasal patency. Rhinology 29: 35-47, 1991.
 - 4) Roithmann R, Cole P, Chapnic J, et al: Acoustic rhinometry in the evaluation of nasal obstruction. Laryngoscope 105: 275-281, 1995.
 - 5) Tomkinson A, Eccles R: Comparison of the relative abilities of acoustic rhinometry, rhinomanometry, and the visual analogue scale in detecting change in the nasal cavity in a healthy adult population. Am J of Rhinol 10: 161-165, 1996.
 - 6) 内藤健晴, 間宮淑子, 宮田 昌, 他: Acoustic Rhinometry に関する基礎的研究 (その 2). 日鼻誌 38 (1): 188-190, 1999.
 - 7) 内藤健晴: 鼻閉の客観化に関する研究の進歩. 耳鼻咽喉科・頭頸部外科 72(8): 479-488, 2000.
 - 8) 戸川 清: 鼻・副鼻腔の生理. 臨床耳鼻咽喉科頭頸部外科全書 6-B 鼻・副鼻腔 [2]: 3-23, 1989.
 - 9) 加瀬康弘, 市村恵一, 飯沼壽孝: 副鼻腔検査法としての acoustic rhinometry の応用—実験的研究—. 日耳鼻 96: 626-631, 1994.
 - 10) 加瀬康弘: 画像診断と機能検査—鼻副鼻腔の MRI と Acoustic Rhinometry—. 日耳鼻 99: 1224-1227, 1996.
 - 11) 大木幹文, 臼井信郎: Acoustic rhinometry からみた鼻弁の付近. JOHNS 10(6): 834-837, 1994.
 - 12) 大木幹文, 佐多由紀, 川野和宏, 他: Acoustic Rhinometry による鼻閉の評価—鼻腔モデルによる検討—. 日耳鼻 101: 1022-1028, 1998.
 - 13) 大木幹文, 吉野由紀子, 臼井信郎: 鼻アレルギー患者に対する鼻閉の評価—Acoustic Rhinometry による検討—. 耳鼻臨床 91: 11: 1107-1113, 1998.
 - 14) 竹野幸夫, 川本浩子, 平田したう, 他: acoustic rhinometry を用いた鼻処置効果の評価—通年性鼻アレルギー症例と正常例の比較—. 日耳鼻 101: 900-907, 1998.
 - 15) 竹野幸夫, 平田したう, 平川勝洋, 他: 副鼻腔疾患における鼻処置前後の鼻腔容積変化について—Acoustic Rhinometry による検討—. 日耳鼻 38 (2): 223-229, 1999.
 - 16) 海野徳二: 鼻呼吸障害の解析と機能回復. 文光堂: 57-70頁, 1992.
- (2003年12月7日受稿, 2004年5月14日受理)
- 別冊請求先: 齋藤正治
〒470-1192 豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98
藤田保健衛生大学医学部耳鼻咽喉科学教室