

## 血液透析前後における慢性腎不全患者の 音声を指標とした聞診の研究

† 関 真亮

明治鍼灸大学大学院 東洋医学基礎

### 要旨：

【目的】東洋医学では音声による診察を聞診（声診）としているが、その診断的意義は明らかにされていない。今回、慢性腎不全患者の音声を音響学的に解析し、音声に影響を及ぼす因子を検討することによって、声診の意義を明らかにしようとした。

【方法】慢性腎不全患者36例に自然な高さで発声させ、音声の高さの物理的指標である基本周波数と音質の物理的指標となる音声スペクトルの測定を行い、疾患を有さない学生62例および同年齢層の対照患者40例と比較した。

【結果】慢性腎不全患者における基本周波数は、対照患者群との間には差が見られず、学生群に比べると低い傾向にあった。また、透析後には基本周波数が有意に高くなり、除水量と相関する傾向がみられた。音声スペクトルには疾患に特異的な特徴は認められなかったが、透析後に2-5kHz域のエネルギーが減少した。

【考察】透析後に見られた基本周波数やスペクトルの変化は、透析の除水による声帯質量の減少が考えられた。音声スペクトルの変化は、音質が変化したことや、基本周波数が上昇したことに関連すると考えられた。以上から、血液透析による除水が音声に影響を及ぼす可能性が示唆された。

### I. はじめに

音声には対話手段としての言語的情報だけでなく、話者の個人的特徴や感情などをあらわす非言語的情報も含まれている<sup>1)</sup>。近年の科学技術の進歩により、音声の音響学的解析は簡便となり、それによって個人識別が可能な段階まで発展してきている<sup>2,3)</sup>。また、音声の聴覚的評価と音響学的指標との関連性も報告されている<sup>4-10)</sup>。現代医学の領域では、嗄声に代表される病的音声（反回神経麻痺や声帯ポリープなどの発声障害に伴う音声）や、それらの疾患を聴覚的に評価するだけでなく、音響分析によって客観的に評価・診断することも積極的に行われるようになり、音声による咽喉のがん検診も実現されつつある<sup>11,12)</sup>。

一方、東洋医学の診察法は、診察者の五感を通して病人に現れる種々の現象を診察するもので、望診・聞診・問診・切診の四診と呼ばれる方法である。聞診の中でも聴覚を用いて人の音声を診察することを声診という<sup>13)</sup>。聞診は他の診察法に比べ、臨床的意義や方法についてあまり明確に伝承

されておらず、臨床的に広く用いられているとは言い難い。篠原ら<sup>14)</sup>が行った調査では鍼灸臨床家の40～50%は日常の臨床でいわゆる聞診を行うとしているが、その内容は「一般的な医学常識程度の範疇にあり、東洋医学的な診断情報を得るために行われていることは極めて少ない」とのことである。東洋医学では弁証（東洋医学の診断）を行うために、四診の結果を総合的に判断すること（四診合参）が必要とされており、ここで聞診の有用性について明らかにし、体系化する必要があると思われる。

これまで、音声に変化を及ぼす因子については、情動の変化<sup>15)</sup>や口蓋・咽頭の形状<sup>16,17)</sup>以外にほとんど明らかにされてこなかった。先に著者らは、外科手術前後の音声解析を通して、外科的手術侵襲が音声に影響を及ぼすことを調査してきた。しかし、外科手術では声道への挿管がなされるので、その音声への影響も無視できない。そこで声帯への直接的侵襲がない例について研究する必要がある。本研究では、乏尿や無尿といった特徴的な症

平成14年10月31日受付、平成15年1月14日受理

Key Words：聞診 auscultation, 基本周波数 fundamental frequency, 音声スペクトル voice spectrum, 慢性腎不全 chronic renal failure, 血液透析 hemodialysis

†連絡先：〒629-0392 京都府船井郡日吉町保野田ヒノ谷6 明治鍼灸大学内

Tel.0771-72-1181 Fax.0771-72-0394

E-mail：m\_seki@muom.meiji-u.ac.jp

状を有し、血液透析によって数時間のうちに余剰水分と老廃物が除去されるなど、体内環境の変化が著しい慢性腎不全患者に着目した。本患者の音声を音響学的に解析することによって、①病態に特異的な音声が存在するか否か、②血液透析前後で音声変化が客観的にみられるかどうか、あるとすれば③音声に変化を及ぼす因子は何か、について明らかにすることを本研究の目的とした。

一方、慢性腎不全による浮腫は東洋医学で「水腫」とされ<sup>18,19)</sup>、その音声は「声音嘶哑」「声音低弱」と伝えられている<sup>20)</sup>。腎不全の主徴である乏尿、随伴する症状としての浮腫、皮膚色素沈着、骨異状などは、東洋医学の「腎」の症状と共通する。したがって、本疾患の東洋医学的な意義についても検討を加えることを意図して「腎」に関する問診票を用いて評価を行った。そして、東洋医学の理論に基づく問診票と音響学的に検討した音声との関連性を調べ、日常臨床における声診の意義を明らかにしようとした。

## II. 方法

### 1. 対象

対象の総数138例を腎不全群36例、他疾患群40例、学生群62例の3群に分類した(表1)。研究参加の同意については十分な説明を行った上で、文書にて確認した。なお、本研究は明治鍼灸大学倫理委員会によって承認を得た上で実施した。

腎不全群：琵琶湖大橋病院にて維持透析中の慢

性腎不全患者36例(男性16例、女性20例、平均年齢 $63 \pm 12$ 歳)。透析歴は112回～1726回(平均 $594 \pm 495$ 回)。透析前における血中の尿素窒素(BUN)は $45.4 \sim 106.6$  ( $74.1 \pm 14.1$ ) mg/dl、クレアチニン(Cr)は $8.5 \sim 14.8$  ( $11.2 \pm 2.1$ )、カリウムは $4.2 \sim 5.1$  ( $4.8 \pm 0.3$ ) mEq/dl、リン(iP)は $4.1 \sim 10.0$  ( $6.2 \pm 1.5$ ) mg/dlであった。

対照群1(他疾患群)：明治鍼灸大学附属鍼灸センターにて受療中の患者40例(男性：17例、女性23例、平均年齢 $66 \pm 11$ 歳)。主な愁訴は肩痛や腰痛などの整形外科領域のものであった。

対照群2(学生群)：特に疾患を有しない学生ボランティア62例(男性35例、女性27例、平均年齢 $20 \pm 2$ 歳)。測定時に嗄声などの音声異常を有する者は除外した。

### 2. 調査票による対象の把握

1) 透析前後の自覚的愁訴の評価：透析前後における患者の自覚的な心身状態を把握するために、フェイススケール(Faces Scale)を用いた(図1)。「現在の体調にもっとも近い表情」という質問に対し、0から5までの6段階を透析前後の録音直後に自己評価させた。フェイススケールの点数が上がったものを「悪化」、変わらなかったものを「不変」、下がったものを「改善」とした。本調査は腎不全群のみに実施した。

2) 東洋医学的「腎」の把握：東洋医学における「腎」の機能状態を把握するため、問診票「腎ス

表1. 対象の年齢と腎スコア、基本周波数

	例数	平均年齢	平均腎スコア	平均基本周波数 (min~max)	
腎不全群	36	$63 \pm 12$	$5.6 \pm 2.0$		
男性	16	$64 \pm 13$	$5.9 \pm 1.9$	$112 \pm 12$	(92~134)
女性	20	$61 \pm 10$	$5.3 \pm 2.0$	$177 \pm 39$	(130~266)
他疾患群	40	$66 \pm 11$	$3.6 \pm 1.8$		
男性	17	$64 \pm 13$	$3.1 \pm 1.7$	$112 \pm 19$	(87~164)
女性	23	$67 \pm 9$	$3.9 \pm 1.9$	$183 \pm 26$	(139~237)
学生群	62	$20 \pm 2$	$2.5 \pm 1.6$		
男性	35	$20 \pm 2$	$2.6 \pm 1.5$	$122 \pm 17$	(85~157)
女性	27	$19 \pm 2$	$2.4 \pm 1.4$	$215 \pm 20$	(174~258)

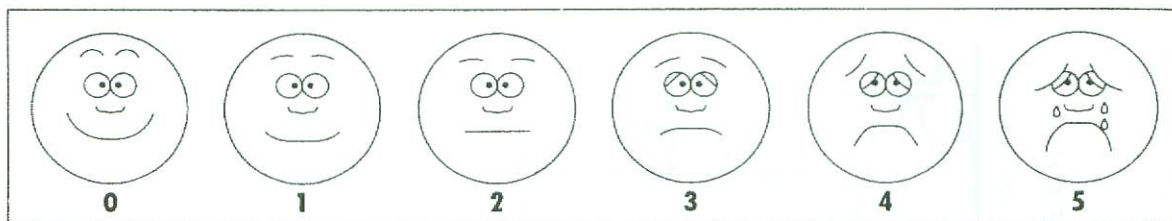


図1：フェイススケール

透析前後における患者の自覚的な心身状態を把握する目的で0から5までの6段階フェイススケールを用いた。透析後にフェイススケールの点数が上がったものを悪化，点数が変わらなかったものを不変とした。

表2：腎スコア

1. 音や声が聞き取りにくい
2. 耳鳴りがする
3. 足腰がだるい
4. 足がむくみやすい
5. 長く立つと腰が痛くなったり，疲れやすい
6. 髪の毛が抜けたり，艶がない
7. 物覚えがわるい
8. 尿の量が少ない（又は多い）
9. 尿の回数が少ない（又は多い）
10. 精力が減退している

コア」(明治鍼灸大学東洋医学基礎教室作成)を用いた(表2)。東洋医学の理論に基づき構成された全10項目の設問に対し、「強い・ある・少し・ない」の回答を行うものとし、点数は強いから順に「1.5点・1点・0.5点・0点」とし、15点を満点として集計を行った。

### 3. 録音と解析

1) 音声標本：録音する音声は、被験者の理解度や、発声の簡便さ、過去の報告などを考慮し、日本語母音「あ」とした。日本音声言語医学会の規定<sup>2)</sup>に準拠し、自然な高さ(話声位)、大きさで、できるだけ安定した持続的な発声をしてもらった。発声時間は約2秒前後とした。原則として、室内には験者と被験者だけがいる状態で録音を行った。

なお、腎不全群では透析直前と離床直後、他疾患群では鍼灸治療前の問診時に録音を行った。

2) 録音方法：録音機器にはデジタルオーディオテープ(DAT)レコーダー(ソニー社製 TCD-D10)を使用した。DATは音声信号をA/D変換によりデジタル化して録音、保存を行う装置で、量子化は16bit、周波数特性は20Hz～22000Hz

(±1dB)の仕様であった。マイクロホンはレコーダー付属のコンデンサー型で、指向角を90°に設定して録音を行った。口唇からマイクまでの距離は日本音声言語医学会の規定<sup>2)</sup>に基づき約20とし、呼気の影響を防ぐために風防をマイクに着用した。

3) 解析装置：音声DATに録音された音声を、抵抗のないコードを通してコンピュータにサンプリングレート44.1kHzとして入力し、保存した。ハードウェアはPower Macintosh G3(Apple社製)で、音声解析ソフトウェア「Sound Scope16(東陽テクニカ社製GWI-SOS)」を用いて音声解析を行った。解析区間は発声の開始と停止部分では波形が急激に変化するため、この部分をコンピュータディスプレイ上で目視により任意に取り除いた。

4) 解析指標：解析する指標は音声の高さ(pitch)と音質とした。音声の高さの物理的指標である基本周波数と、音質の指標の一つである音声スペクトルについて音響学的解析を行った。基本周波数の算出は、極大値検出法peak picking methodによる基本周期の逆数とした。本研究では透析後

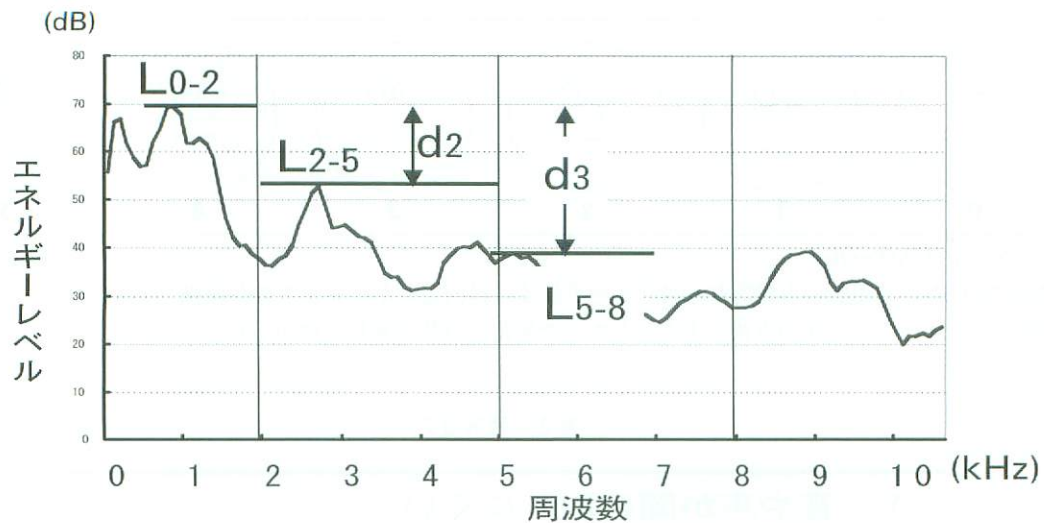


図2：音声スペクトルの評価方法

本研究では高周波域のエネルギーレベルを求める指標として、声質との関連が報告される $d_2$ 、 $d_3$ を用いた。周波数によって0-2、2-5、5-8kHzの3区間に分類し、各区間内のピーク値 ( $L_{0-2}$ 、 $L_{2-5}$ 、 $L_{5-8}$ ) の差とした。 $d_2$  ( $d_2 = L_{0-2} - L_{2-5}$ )、 $d_3$  ( $d_3 = L_{0-2} - L_{5-8}$ ) とし、血液透析前後について比較を行った。

に見られた基本周波数の変化の要因を調査するため、透析の除水量に着目した。除水量は透析前の体重とドライウェイトとの差によって求められる。透析前後における基本周波数の差を縦軸に、除水量を横軸にプロットして、両者の相関を散布図で検討した。

音声スペクトルの解析条件は、高周波域まで捉えるため、FFT pointsを512、フィルターを150 Hzとした。音声スペクトルは、横軸を周波数 (kHz)、縦軸をエネルギーレベル (dB) とした。先に全体的なスペクトルの形状を検討し、次に数値にて評価するため、「気息性」や「努力性」などの聴覚的評価との相関が報告された過去の報告<sup>10)</sup>にしたがい、周波数帯によって0-2kHz、2-5kHz、5-8kHzに3分画し、中周波成分の指標として $d_2$ 、高周波成分の指標として $d_3$ を用いて血液透析前後の比較を行った (図2)。0-2kHzの最大値を $L_{0-2}$ とし、2-5kHzでの最大値 ( $L_{2-5}$ ) との差を $d_2$  ( $d_2 = L_{0-2} - L_{2-5}$ ) とした。同様に $L_{0-2}$ と5-8kHzでの最大値 ( $L_{5-8}$ ) との差を $d_3$  ( $d_3 = L_{0-2} - L_{5-8}$ ) とした。0-2kHzのエネルギーレベルは音声の強さ (大きさ) の指標であり、他の周波数域の基準となる。今回、コンピュータにて解析時に音声の強さを一定にすることで、0-2kHzのエネルギーレベルを各被験者でほぼ等しくした。

5) 統計処理：統計ソフトにはStat View 5.0

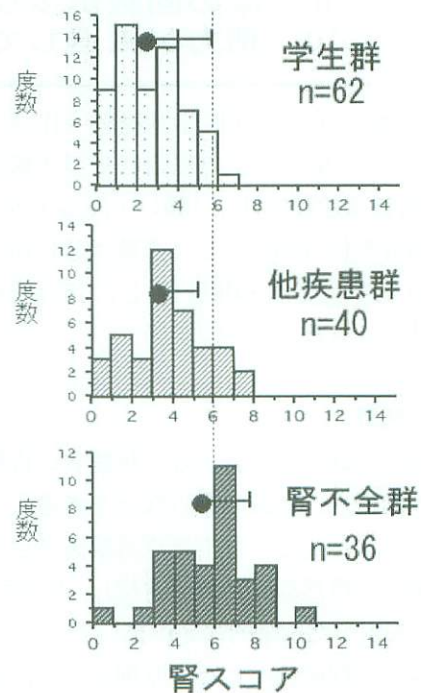


図3：腎スコアのヒストグラム

図は各群における腎スコアの点数分布と平均値を表したものである。今回、疾患を有しない学生群でのスコアの平均は $2.5 \pm 1.6$ 点であったため、学生群の平均値に標準偏差の倍を加えた5.7点以上を異常な状態であると、破線で表示した。その結果、腎不全群では19例が6点以上に含まれた。

(SAS Institute 社) を用いた。

基本周波数の平均値と標準偏差について統計処理を行った。また、透析前後の指標の変化についてpaired t-test を行った。Wilcoxonの符号付順位検定により、有意性の検定を行った。

### Ⅲ. 結 果

#### 1. 調査票

##### 1) フェイススケール

透析前後の体調に関する印象評価を、フェイススケールを用いて行った。その結果、透析後にフェイススケールが悪化した例は36例中20例 (55.6%) であり、変わらなかった者は15例 (41.7%) であった。悪化した例では、体のだるさや疲労感などの症状を訴えるものがみられた。また、フェイススケールにて自覚的な体調の改善を1例 (2.8%) 認め、具体的には「体がスッキリした」という自己評価が得られた。

##### 2) 腎スコア

腎スコアは東洋医学的な「腎」について問診形式で把握するものである。各群における腎スコアの結果をヒストグラムにて示した (図3)。腎不全群では6点以上7点未満を中心に正規分布に近い分布を示し、平均5.6±2.0点であった。他疾患群では、3点以上4点未満を中心に分布しており、平均3.6±1.8点であった。特に疾患を有さない学生群では、殆どが6点未満であり、3点以上から徐々に度数が減少していた。学生群のスコアの平均2.5±1.6点は、腎不全群の5.6点と比較し半分以下であった (表1)。

下であった (表1)。

本研究では疾患を有さない学生群でのスコアの平均が2.5±1.6点であったため、学生群の平均値に標準偏差の倍を加えた5.7点以上を異常な状態であると考え、他群との比較検討を行った。その結果、異常であると考えた6点以上は、腎不全群において36例中19例と約半数であり、他疾患群の40例中6例 (15%) に比較し、多い割合を示した。

また、各設問項目の平均点数を群別に比較したものを図4に示す。図4から腎不全群では尿量と尿回数に関する項目において他群より著明に高い点数であることが認められた。

#### 2. 音声基本周波数について

##### 1) 各群の基本周波数分布

本研究で得られた対象の基本周波数の平均値と標準偏差を表1に示す。その結果、腎不全群の話し声位の平均は、男性112±12Hz、女性177±39であった。他疾患群では、男性112±19Hz、女性183±26Hzであり、両群に有意な差は認められなかった。しかし、学生群では男性122±17Hz、女性215±20Hzであり、腎不全群と他疾患群に比し有意に高い周波数分布を示した。また、対象を腎スコアが6点以上と未満で分類し、基本周波数の比較を行ったところ、6点以上の群では男女とも基本周波数が低い傾向を示した (図5)。そこで、各設問ごとに「ない」または「少し」と回答した群 (1点未満) と「ある」または「強い」と回答した群 (1点以上) について基本周波数の比較を行っ

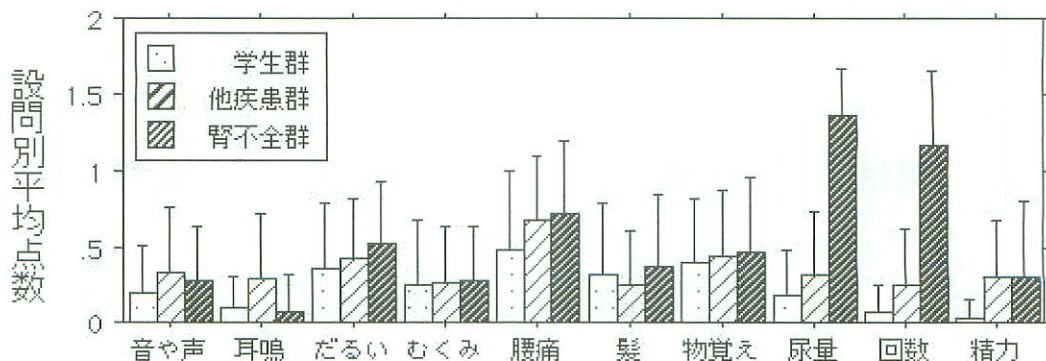


図4：各設問項目の平均点数

図は各設問項目の平均点数を群別に比較したものである。図から腎不全群では尿量と尿回数に関する項目で他群より著明に高い点数であることが認められた。

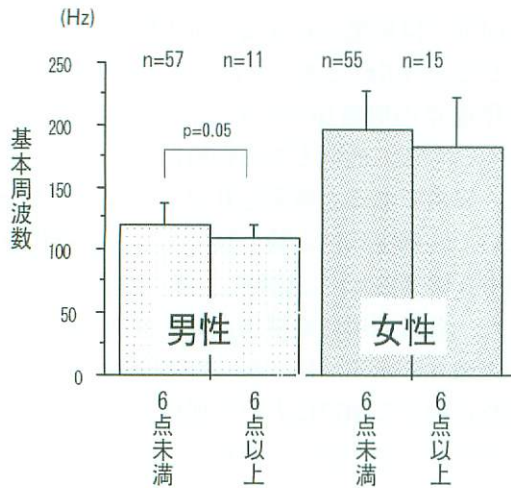


図5：腎スコアと基本周波数

図は対象を腎スコア6点以上と6点未満によって分類し、基本周波数について比較検討を行ったものである。男女とも有意差はないが、6点以上の群において基本周波数が低い傾向を示した。

た結果、「尿の量」について「ある・強い」群では、女性で基本周波数が有意に低く、男性では低い傾向を示したが有意差は認められなかった。また「尿の回数」について「ある・強い」群では、男女とも基本周波数が有意に低いことが示された(図6)。その他の設問については回答と基本周波数との間に関連が認められなかった。

## 2) 血液透析前後の基本周波数

血液透析前後における基本周波数の変化の代表

例を図7に示した。その結果、3回とも透析後には基本周波数が高くなり、次回の透析前には低くなること示された。さらに除水量との関連をみると、除水量が増えるほど、透析後の基本周波数がより高くなる傾向がみられた。また図7の例における透析前の基本周波数は各測定日とも200Hz前後であり、個人の話声位は大きく変化しないという個人性を示すものであった。このように透析後の基本周波数が変化したものの、透析前の基本周波数が大きく変化しないという結果は36例中17例で見られた。腎不全群全体の透析後における平均基本周波数は、男性 $122 \pm 14$ Hz、女性 $187 \pm 36$ Hzであり、透析前後の音声を比較した結果、男女とも透析後に基本周波数が平均10Hz有意に高くなった(図8)。すなわち透析後では音声が高くなること示された。このような基本周波数の変化は、フェイススケールが悪化した群の方が変わらなかった群より大きかったが、有意な差は認められなかった(図9)。

除水量と基本周波数の差との関連をみると、男性において相関( $R=0.63$ ,  $p<0.01$ )がみられたが、女性では有意な相関は認められなかった(図10)。

また、透析後のカリウム量が調査可能であった19例について、カリウム除去量と基本周波数の差について検討を行ったところ、有意な相関傾向( $R=0.55$ ,  $p<0.05$ )を示した(図11)。

## 3. 音声スペクトル

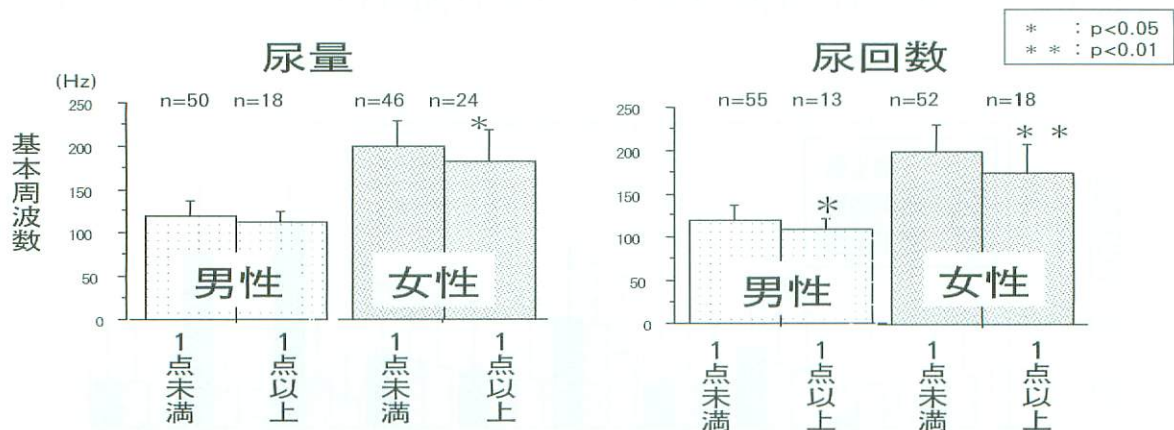


図6. 尿に関する設問の回答別基本周波数

図は設問「尿量」と「尿回数」について「ない」または「少し」と回答した群(1点未満)と「ある」または「強い」と回答した群(1点以上)について、基本周波数の比較を行ったものである。1点以上の群では有意に基本周波数が低いことが認められた。

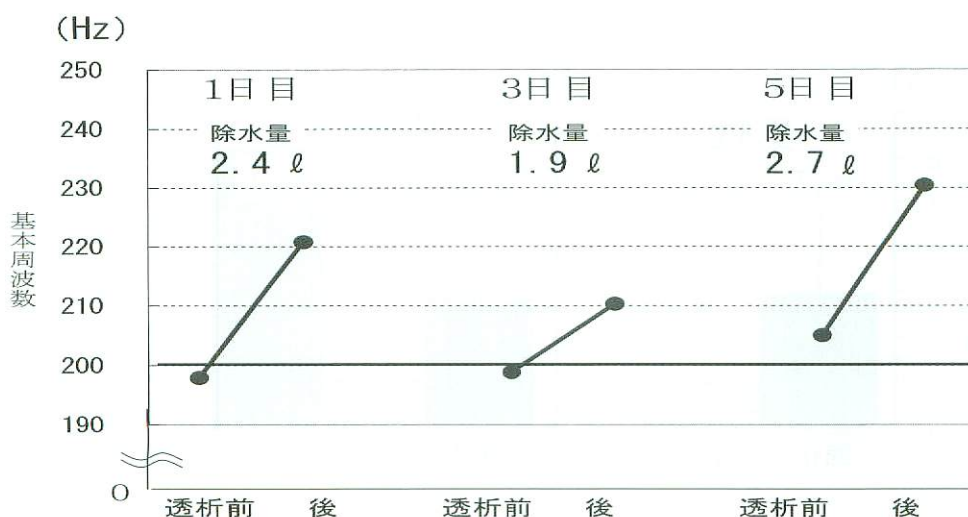


図7：透析前後の基本周波数（代表例）

図は血液透析前後における基本周波数の代表例を示す。透析を実施した3日も、透析後には基本周波数の増加が見られ、次回の透析前には減少することが示された。また透析前の基本周波数は約200Hzと大きな変化はみられず、個人性を示した。

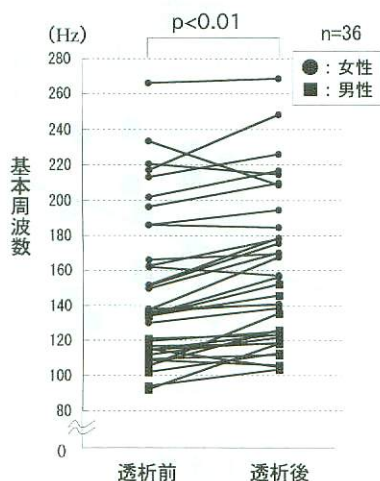


図8：透析前後の基本周波数（腎不全群）

図は血液透析後にみられた基本周波数の変化を示す。透析前の平均値は男性 $112 \pm 12$ Hz、女性 $177 \pm 39$ Hz、透析後は男性 $122 \pm 14$ Hz、女性 $187 \pm 36$ Hzと平均10Hzの増加を認めた。

音声スペクトルは音質の指標の一つで、横軸に周波数 (kHz)、縦軸にエネルギーレベル (dB) を示すものである。同一疾患（慢性腎不全）患者の音声スペクトルにおける共通性の有無を確認するため、音声スペクトルを重ねて検討した結果、全ての音声スペクトルに共通する周波数成分は認められず、音声スペクトルから疾患を特定することは困難であることがうかがわれた。同様に透析

後にも共通する周波数成分はみられなかった。これは音声スペクトルが個人性に強く依存するため、個人間の比較は困難であることが示唆された。

そこで、各個人における変動を調査するため、被験者の透析前後の音声スペクトルをグラフにした（図12）。図11では測定1日目、3日目、5日目の音声スペクトルを示す。同一被験者における透析前の音声は、測定日が異なっても3回の音声スペクトルの形状が類似していた。また透析後の音声でも、透析前における音声スペクトルの形状とは異なるものの、3回の透析後の音声スペクトルには共通性が見られた。すなわち、血液透析によって惹起される音声スペクトルの変化には個人ごとに再現する傾向があった。

#### 4. 音声スペクトルの数値評価

今回、高周波域のエネルギーレベルを求める指標として、聴覚的評価との関連が報告されるd2, d3値に注目し、透析前後について比較を行った（図13）。

d2は透析前で男性 $18.1 \pm 4.8$ dB、女性 $20.1 \pm 5.2$ dBであり、透析後は男性 $21.1 \pm 4.0$ dB、女性 $21.0 \pm 5.5$ dBとなった。d2は基準となるL0-2とL2-5との差によって求められ、男性ではd2の有意な増加から2-5kHzにおけるエネルギーの減少が示唆された。

d3は透析前で男性 $30.7 \pm 6.6$ dB、女性 $29.7 \pm 6.9$

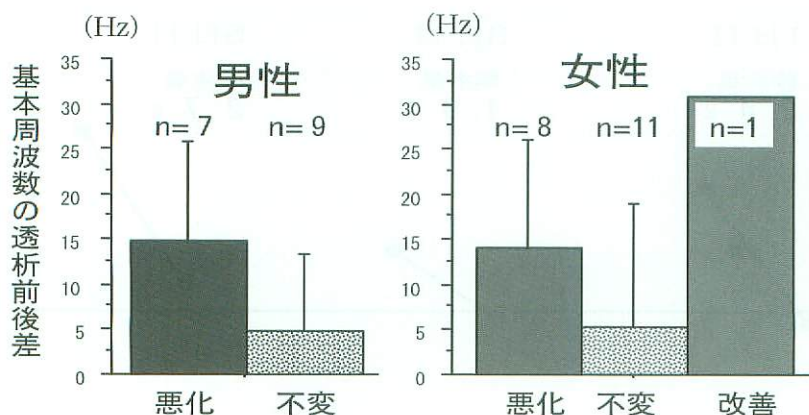


図9：透析前後のフェイスケールと基本周波数の変化

図左は男性、右は女性の結果を示す。男女ともフェイスケールの悪化した群は変化しなかった群に比較し、基本周波数が増加する傾向を示した。

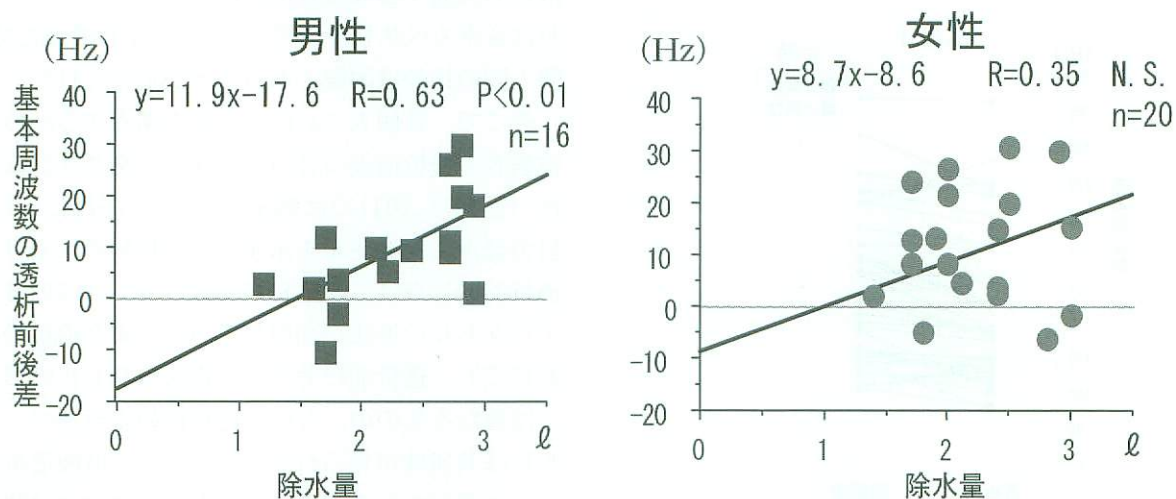


図10：除水量と基本周波数

除水量と基本周波数との関連を検討するため、散布図を作成した。図横軸は透析による除水量 (l)、縦軸は透析前後の基本周波数の差を示す。の男性では有意な相関 ( $R=0.63$ ,  $p<0.01$ ) が認められたが、女性では有意な結果は得られなかった。

dBであり、透析後では男性 $29.2 \pm 3.8$ dB、女性 $31.8 \pm 8.9$ と前後に有意な差は認められなかった。

本研究ではd2の増加とd3の変化が少ないという結果から、透析後に変化する周波数帯は主に2-5kHzであり、5-8kHzの変化は少ないことが示唆された。

#### IV. 考察

##### 1. 調査票について

フェイスケールによる評価では、腎不全群の

透析後に、20例で悪化、15例で変化無しという結果が得られた。悪化した例では「だるさ」や「疲労感」を訴えるものが多かった。これは、血中尿素窒素や体内の溢水状態は改善されているにもかかわらず、自覚的な体調不良があることを示している。この要因として、透析にともなう浸透圧の不均衡や血圧の低下などのストレスが、透析後に体調の悪化を自覚させる可能性を示唆している。

東洋医学的な「腎」の評価として、慢性腎不全患者のスコア平均は、年齢の近い他疾患群よりも



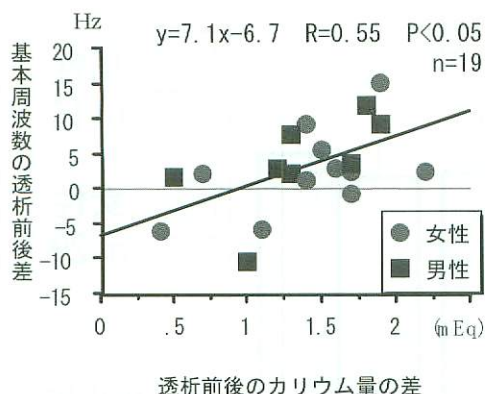


図11：カリウム量と基本周波数の関連

図横軸は透析によって除かれたカリウム量、縦軸は透析前後の基本周波数の差を示す。腎不全群の全例に調査はしていないが、カリウムと基本周波数との間に有意な相関 ( $R=0.53$ ,  $p<0.05$ ) が認められた。

高く、学生群の2倍であった。さらに6点以上が慢性腎不全患者の54.3%であることが確認された。これに対して、年齢の近い他疾患群において6点以上を示したのは15.0%であった。すなわち慢性腎不全患者の多くは、東洋医学的に「腎」が比較的に異常であることが示唆され、現代医学における腎臓 (kidney) と東洋医学における「腎」との関連を示している。特に慢性腎不全では主症状として無尿か乏尿を呈し、これが疾患を有しない

学生群と大きく異なるため、スコアに影響したと考えられる。阿達らによれば、腎不全患者の透析前における溢水状態を東洋医学的に「水毒」としており、腎不全を東洋医学的にも把握可能であることを示唆している<sup>23)</sup>。

## 2. 基本周波数について

音声の評価方法としては種々の指標があるなかで、まず声の高さの指標である基本周波数に注目した。声の高さを示す基本周波数は、声帯の振動数をあらわし、音名または周波数 (Hz) で表示される。声の高さの臨床検査法としては、ピアノなどの楽器音を指標として聴覚的に判定する方法が伝統的に行われ、現在でも用いられている<sup>23,24)</sup>。近年は正確な測定・記載が可能な物理的測定法が繁用されており、音声の高さは声帯の基本振動数としてHzであらわされることが多くなってきた。音声の高さの検査には「声域」と「話声位」の二つが主に行われる。声域は個人の発声しうる最低音から最高音までをあらわし、話声位は日常会話における声の高さのことである。本研究では、会話や問診時の音声臨床において重要視されることから、話声位について検討を行った。話声位は個体ごとにほぼ決定されていることが知られており、音声の個性 (individuality) と表現される<sup>1)</sup>。

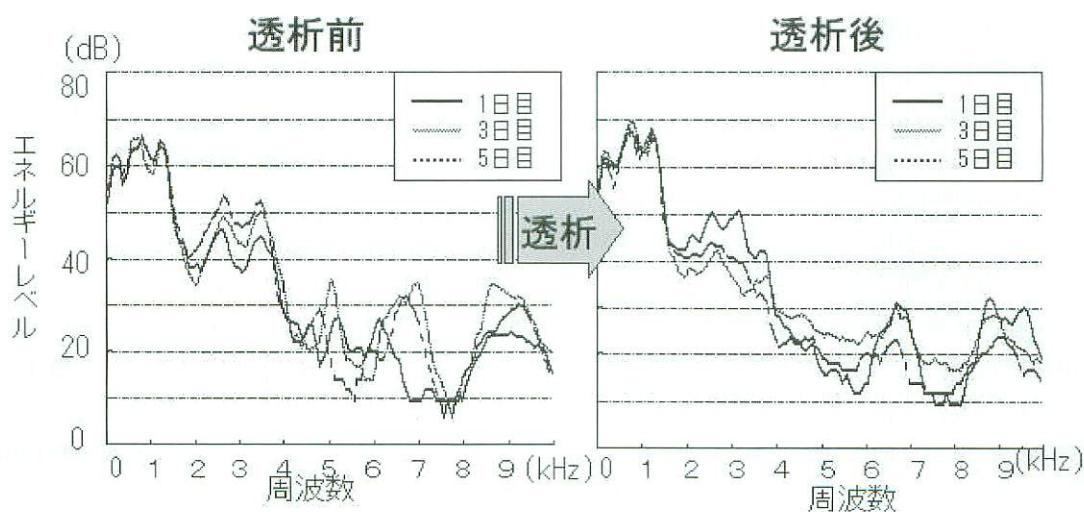


図12：透析前後のスペクトル (代表例)

図の音声スペクトルは横軸に周波数 (kHz)、縦軸にエネルギーレベル (dB) を示すものである。図左は3日間の透析前、図右は透析後であり、両者を比較検討した結果、2-8kHzの中高周波域において、エネルギーレベルの増減が乏しくなる傾向を示し、2-5kHzのエネルギーレベルには減少がみられた。また、透析前の3回はスペクトルの形状が近く、透析後の3回も近い形状であった。

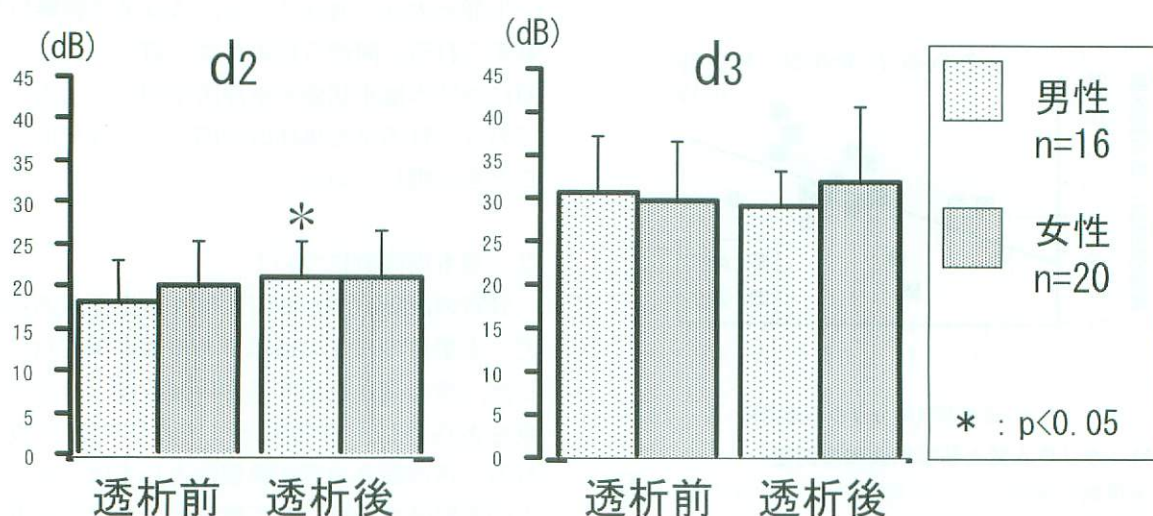


図13：透析前後のd2, d3

透析前後の音声スペクトルを数値にて評価した結果、d2は透析前で男性18.1±4.8dB、女性20.1±5.2dBであり、透析後は男性21.1±4.0dB、21.0±5.5dBと男性において有意な増加が認められた。また、d3は透析前で男性30.7±6.6dB、女性29.7±6.9dBであり、透析後では男性29.2±3.8dB、女性31.8±8.9dBと前後に有意な差は認められなかった。このことから、血液透析によって変化が現れる周波数域は2-5kHzであることが示唆された。

本研究では話声位の測定として母音の発声を行わせたが、この利点として処理が非常に簡易であることが挙げられる。その他、話声位を測定するときの発声条件としては、問診など会話時の音声（談話音声）、一定の文章を読ませたときの音声などがあるが、これらは声の高さがイントネーションやアクセント、文脈中の感情などで容易に変動するため、基本周波数に大きなばらつきが生じる恐れがある上、処理が困難である。

音声は、臨床的には①声に力がない、②声がかすれる、③声が変わるなどを聴覚的に認識し、個人の体調を推量する判断材料としていと考えられる。発声とは、声門下からの呼気流のエネルギーを音響的エネルギーに変換することである。そのため、呼気の送出や喉頭の調節の特徴も、その多くは声帯の振動の特徴を介して、音声の音響分析的性質の中に何らかの形で現れていると考えられる。声の基本周波数は声帯の振動数であり、自然な発声を行わせた場合、個人において日常に発声される声の高さ（話声位）は、意識しない限り大きな変化は見られず、個人性を示す<sup>1,25)</sup>。

一方、声帯の振動数である声の高さには、声帯の振動数に関与する物理的要因（声帯部分の長さ、質量、硬さなど）が反映される。具体的には①振動部分の長さが短くなると振動数は大きくなる（声が高くなる）、②質量が増すと、振動数は小さ

くなる、③硬さが増すと振動数は大きくなるということが知られている<sup>26)</sup>。そして、これら物理的要因には喉頭の構造的な特徴、喉頭筋の動作状態、声帯組織の性状などが関与している。したがって物理的要因に変化が無い限り、話声位は成人で20～60歳位まで大きな変化はないと言われている<sup>27)</sup>。

日本人（成人）における話声位の正常値（平均値）に関しては、飯田<sup>23)</sup>によると男性110Hz、女性207.65Hz、澤島<sup>24)</sup>によれば男性131Hz、女性233Hzとされている。本研究における学生群の話声位平均は、これら過去の2報告の中間であり、対照群として妥当性があると考えられた。なお、腎不全群と他疾患群の女性においては、過去の報告の平均よりも低い傾向を示した。

腎不全群における透析前の話声位の平均は学生群よりも低いものの、他疾患群とほぼ等しい結果であった。腎不全群と他疾患群は学生群より年齢が高く、年齢が音声の高さに関連している可能性も推測される。しかし、基本周波数の物理的要因となる声帯の長さや質量は個人で異なり、群間での比較より個人内での比較が重要であると考えられる。

透析後に基本周波数が高くなった原因としては、声帯の硬さ(stiffness)の変化と声帯質量(mass)の変化が考えられる。硬さには声帯の緊張による機能的硬さと、器質的硬さが考えられる。前者は

声帯筋の緊張によって起きる現象で、ストレスなどによって惹起されることが報告されている<sup>15,28)</sup>。

音声の基本周波数と情動の関係については多くの報告がされており、Griffinは安静時の基本周波数に対して、緊張感のある状況の音声基本周波数は高いことを報告している<sup>28)</sup>。またWilliamsら<sup>15)</sup>は、航空事故の前後では、基本周波数の範囲と中間値が高くなることを報告している。廣島<sup>29)</sup>は航空事故時の管制官の音声を分析し、情動以外の理由を見出しがたい基本周波数の上昇が見られたとしている。以上の報告から、音声の基本周波数が上昇する要因としては、情動や緊張などが重要であると考えられる。本研究の結果も、透析による長時間にわたる拘束や、体内の水分を急激に除去する処置などが、腎不全患者にとってストレスとなり、基本周波数の上昇を招いたものと推測される。有意な差ではないものの、フェイススケール悪化群では基本周波数が約15Hz高くなる傾向にあったのに対し、フェイススケール不変群では約5 Hzという事実も、この推測を裏付ける一つの要因と思われる。しかし、透析後にフェイススケール不変群においても基本周波数は高くなる傾向があるので、声帯振動部分そのものの物性の変化があったことも否定できない。

声帯における物性の変化と振動数（基本周波数）との関連については、声帯粘膜の乾燥によりstiffnessが増加することを土師が報告している<sup>30)</sup>。また、田中ら<sup>31)</sup>は硫酸アトロピン静注時の口渴によって声帯乾燥モデルを作成し、基本周波数の変化率との関連を報告している。本研究でも、透析による除水などが気道粘液の分泌や声帯粘膜に影響を及ぼし、乾燥を引き起こした可能性がある。また、透析により体内からは数リットルの水分が除去されるが、除水量と基本周波数が相関したことから、除水は声帯質量にも影響を及ぼすと考えられる。つまり、透析前の音声は著しく声帯振動が損なわれている状態であり、声帯粘膜下などの浮腫が、声帯質量を増加させていると考えられる。藤田<sup>32)</sup>はラインケ浮腫における声帯質量の増加によって基本周波数が低くなることを報告している。渡辺ら<sup>33)</sup>はアルコール摂取後に気分は高揚しているにもかかわらず、基本周波数が減少することを報告しており、体水分量の増加と基本周波数の減少との関連を示唆している。

### 3. 腎スコアと基本周波数との関係について

声診は、患者の音声を診察者が聴取し、それを東洋医学的な観点から評価するものであり、古くは五音（角徴宮商羽）に分類して、五蔵（肝心脾肺腎）と対応させたものと考えられる<sup>34)</sup>。しかし、五音の分類は本来音の高さによるものであったが、時代を追うにつれて発語によるもの、音色によるものなどが言われるようになり<sup>35)</sup>、現在では何によって分類するのか、一定の見解が得られなくなってしまった。森ら<sup>36)</sup>は心身症患者の音声をサウンドスペクトログラフを用いて解析し、音質によって「五蔵の声」を示した。本研究ではこれまで不明とされてきた「五蔵」を問診票によって検討し、慢性腎不全患者だけでなく他疾患（主に肩や腰の痛み）患者や成人学生を対象に、音声の指標としては基本周波数と、サウンドスペクトログラフの時間軸を平均した音声スペクトルとを用いた。

問診の研究を進める上で、五音に関する検討は避けて通ることのできない重要な課題であり、過去に著者ら<sup>37)</sup>は五蔵と基本周波数との関連を報告したが、五蔵の定義自体が困難であるため、明確な結果を得るには至らなかった。五蔵全体に関する検討は今後の課題とし、まず五蔵の一つである「腎」について、透析前後にみられる身体に関する愁訴の変化や疾病によってどのように音声が変わるか明らかにしようとした。

本研究では東洋医学で言われる「腎」の病症について評価しうる腎スコアを採用した。この調査票には「腎」に関する特徴的な症候を10項目挙げてあり、アンケート形式で該当する項目に印を付けてもらうことによって、「腎」に関する愁訴の点数が高ければ、東洋医学の蔵象論でいわれる生理機能が失調している可能性が高いとみなすことができる。

被験者に腎スコアを記入させた直後の基本周波数の平均値を求め、腎スコア総合点数ならびに腎スコア各項目毎点数によって基本周波数の検討を行ったところ、6点以上の回答をした群では男女とも基本周波数が低い傾向を示し、特に尿に関する2項目において「ある・強い」と回答した群では基本周波数が低いことが認められた。この結果から、東洋医学における「腎」の水分調節機能が失調することで体外に水分が排泄されなくなり、

体内に余分な水分が生じた結果、声帯質量を反映する基本周波数にも影響を及ぼしたことが推測された。

#### 4. 音声スペクトルについて

音声スペクトルの平均値とは、ある長さの音声を時間で平均したパワースペクトルで求められ、声門音源の平均的な周波数特性を知る方法である。音声スペクトルと聴覚的評価との間には相関があると報告されている<sup>4,10)</sup>。雑音成分の多い気息性の声では5-8kHz区間内でのピーク値のレベル(L<sub>5-8</sub>)が高く、2-5kHz区間内でのピーク値(L<sub>2-5</sub>)との差が小さいことがHammarbergら<sup>10)</sup>によって報告されている。気息性(breathy)とは、発声時に声門閉鎖不全があり、このために息もれが生じ、呼気流量が多い状態における聴覚的印象である。言語音声の周波数特性は、音源特性と共鳴特性、放射特性との和で近似的にあらわされる。このうち放射特性は、録音状態を固定するならば比較的一定で、音声の特性を大きくは左右しない。一方、共鳴特性は言語音の種類に応じて変化することから、同一の発音を行うときは影響がない。したがって、有声音区間の平均スペクトルを求めることによって平均的な音源特性を知ることができる。音声スペクトルは特に声質と関連し、喉頭疾患による変化より個人内変動が大きいとされている<sup>35)</sup>。

本研究では、慢性腎不全患者に共通した音声スペクトルの周波数成分は得られず、特定疾患に特異的な音質(声質)は「腎」に関しては見られなかったものの、透析の前後で音声スペクトルの中高周波域が変化することが確認された。この音質の変化は個人内において毎回ほぼ同様であり、被験者によって意図的に起こされたとは考えにくい。ため、透析後の声帯および声道における何らかの変化が示唆された。特に男性では2-5kHzの周波数域に変化が認められた。このことは、除水が声道や声帯に影響を及ぼし、音源特性を変化させたことを示唆する。音声スペクトルの0-2kHzの周波数域は発音する母音によって変化し、口腔内の特性を示すものとして知られ<sup>10,16,17)</sup>、透析後に中高周波域である2-5kHzにエネルギーレベルの変化が見られたことは、口腔以外の声道に何らかの変化が起きたことを示すと考えられる。今後は透析

前後に画像診断や喉頭ストロボスコープを行い、実際に声帯や声道に何らかの変化が起きているかを検討したい。

透析後にd2が増大したことは、過去の報告<sup>10)</sup>によれば「high pitch」「clear」「hyperfunctional(努力性)」といった音声の聴覚的特徴と相関するとされ、本研究では透析後に基本周波数(pitch)が高くなったことと関連が深いと思われる。また今回は聴覚的評価を行っていないが、音声の雑音成分が減り、クリアになった可能性も示唆され、今後十分な聴覚的検討も必要と思われる。また、透析療法はカリウムなどの溶質も除去する治療法である。腎不全患者は高カリウム血症を呈しやすく、透析後にはカリウムの量が減少する。カリウムは細胞の静止膜電位を決定する因子の一つであり、細胞外液のカリウム量の減少は神経や筋の興奮の閾値を高めることが知られている。今回、透析後の録音に際し、声が出しにくいと訴えた例も見られ、カリウム量の減少による閾値の上昇が、力を余計に入れて発声する「努力性」の音声(いきみ声)を示す要因となったことも考えられ、熟練者による聴覚的検討の余地がある。

以上、本研究を通して、いくつかの音声の音響学的指標が、自覚的な心身状態だけでなく、生体の内部環境にも関連していることが明らかとなった。特に慢性腎不全患者では、余剰水分の存在が音声を低くすることが示唆された。東洋医学における声診の文献<sup>20)</sup>によれば、水腫患者の音声が「声音低弱」とされるほか、尿の出ない癱閉患者では「声重」とされ、また「湿邪重濁、声必低平」としてある。また、音声スペクトルも透析前後で変化したことから、声質の変化も診察に有用であることが示唆された。音声の高さや音質の変化が重要であることは、東洋医学で重視される「個の医学」の考えに基づくものと思われた。また、本研究では男女における透析後の音声変化に相違が認められた要因は定かではないが、藤田<sup>32)</sup>は声帯の質量や硬さに影響を及ぼす浮腫や腫瘍などの異常がある場合、男女で基本周波数の変化が異なる場合があることを示唆しており、今後の検討課題である。これらの本研究で得られた結果は、臨床において音声の高さや音質の変化によって生体のカリウム量や水分量といった内部環境の変化を推察しようという声診の有用性を示唆する

ものであると考える。

## V. 結 語

維持透析中の慢性腎不全患者を対象に日本語母音「あ」について音響学的に検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 慢性腎不全患者群の基本周波数は学生群に比べ低い値を示したが、他疾患患者群との間に差は見られなかった。
- (2) 対象を腎スコアによって分類した結果、6点以上の群では基本周波数が低い傾向を示した。
- (3) 腎スコアの設問では「尿量」と「尿回数」の回答を「ある・強い」とした群において基本周波数が有意に低値を示した。
- (4) 血液透析による除水は基本周波数に影響を及ぼし、基本周波数は高くなる傾向を示した。
- (5) 慢性腎不全に特異的な音声スペクトルの周波数成分はみられなかった。
- (6) 血液透析後の音声スペクトルは個人内で毎回同様の変化を示した。
- (7) 血液透析は音声スペクトルの2-5 kHzのエネルギーに変化を及ぼしていた。

以上のことから、音声は体調の変動に伴い変化するものであるが、従来、感覚的・聴覚的判断に依拠していたその変化成分を音響学的に捉えうる可能性が示唆された。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、御助言と御指導を賜りました明治鍼灸大学大学院北出利勝教授、同大学東洋医学基礎教室篠原昭二助教授、同大学丹澤章八名誉教授、透析領域で御助力いただきました琵琶湖大橋病院透析室のスタッフの皆様に謹んで深甚なる謝意を表します。また、本研究を進めるにあたり、ご協力いただいた明治鍼灸大学東洋医学基礎教室の方々に深くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 比企静雄：音声に含まれる情報の種類。日本音声言語医学会編：声の検査法基礎編。医歯薬出版株式会社、東京、pp9-13、1997。
- 2) 山下充康：声紋。音戯話。初版。コロナ社、東京、pp69-71、1991。
- 3) 唐澤誠：指紋より怖い声紋。音の科学ふしぎ事典。日本実業出版社、東京、pp82-86、1997。

- 4) Horii Y: Automatic analysis of voice fundamental frequency and intensity using a Visi-Pitch. *J Speech Hear Res*, 26: 467-471, 1983.
- 5) Piccirillo J, Painter C, Fuller D: Assessment of two objective voice function indices. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 107: 396-400, 1998.
- 6) Read C, Buder E, Kent R: Speech analysis systems: a survey. *J Speech Hear Res*, 33: 363-374, 1990.
- 7) Wolfe V, Cornell R, Palmer C: Acoustic correlates of pathologic voice types. *J Speech Hear Res*, 34: 509-516, 1991.
- 8) 今泉敏, 比企静雄, 平野実ら：サウンドスペクトログラフによる病的音声の分析。日本音響学会誌 36 (1) : 9-16, 1980.
- 9) Hillenbrand J, Cleveland R, Erickson R: Acoustic correlates of breathy vocal quality. *J Speech Hear Res*, 37: 769-778, 1994.
- 10) Hammmarberg B, Fritzell B, Gauffin J, et al : Acoustic and perceptual analysis of vocal dysfunction. *J Phonetics*, 14 : 533-547, 1986.
- 11) 粕谷英樹, 小林嘉彦, 小林隆男ら：声門癌の検出に用いるピッチ周期と振幅の変動指数の性質。電子通信学会論文誌, J 67-A No. 3 : 250-257, 1984.
- 12) 眞田友明, 田中信三, 日比正史ら：声帯ポリープにおける病変の程度と音声検査成績との関係。日耳鼻, 93 : 388-392, 1990.
- 13) 劉公望, 兵頭明, 平馬直樹ら：中医学の診察法「四診」。天津中医学院, 学校法人後藤学園：鍼灸学 [基礎編], 第2版, 東洋学術出版社, 千葉, pp167-230, 1996.
- 14) 篠原昭二, 和辻直, 渡辺勝之ら：聞診法の実施状況に関するアンケート調査結果について。全日本鍼灸学会雑誌, 46 (3) : 97, 1996.
- 15) Williams, Stevens: Emotions and speech : some acoustical correlates. *J Acoust Soc Am*, Oct; 52(4) : 1238-1250, 1972.
- 16) Coleman R, Sly D: Preoperative and postoperative voice analysis of Uvulopalatopharyngoplasty patients. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 117, December: 1345-1349, 1991.
- 17) Rihkanen H, Soini I: Changes in voice characteristics after uvulopalatopharyngoplasty. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 249: 322-324, 1992.
- 18) 王鋼, 孔薇, 曾安平：腎炎, 腎病綜合征新的中医弁証分型。腎炎腎病綜合征中医治療, 江蘇科學技術出版社, 南京, pp37-50, 2001.
- 19) 鄭惠田, 袁順興：水腫。實用針灸泌尿学, 上海科學技術文獻出版社, 上海, pp135-145, 2001.
- 20) 肖相如, 倪青, 張靜：水腫。中華醫學聞診大全, 山西科學技術出版社, 太原并州, pp173-175, 1998.
- 21) 大山玄：録音。日本音声言語医学会編：声の検査

- 法臨床編, 医歯薬出版株式会社, 東京, pp129-136, 1998.
- 22) 阿達大介, 浅岡俊之, 鈴木輝彦ら: 維持透析患者の身体状況-東洋医学的指標による解析-. 日東医誌, 51 (6) :154, 2001.
  - 23) 澤島政行: 発声障害の臨床. 音声言語医学9: 9-14, 1968.
  - 24) 飯田武雄: 日本人声域に関する研究. 福岡医学雑誌33: 229-292, 1940.
  - 25) 越川常治: 基本周波数の性質. 電子情報通信学会編: 新版聴覚と音声, 6版, 電子情報通信学会, 東京, pp332-350, 1991.
  - 26) 平野実: 声帯振動の検査. 日本音声言語医学会編: 声の検査法臨床編, 医歯薬出版株式会社, 東京, pp30-31, 1998.
  - 27) Hollien H, Shipp T: Speaking fundamental frequency and chronologic age in males. J Speech Hear Res, 15: 155-159, 1972.
  - 28) Griffin, Williams: The effects of different levels of task complexity on three vocal measures. Aviat Space Environ Med, 58 (12) : 1165-1170, 1987.
  - 29) 廣島克佳: 連続作業下に見られた得意な音声基本周波数の上昇. 航空医学実験隊報告, 35 (1) : 32-33, 1994.
  - 30) 土師知行: 声帯の物性について. 耳鼻臨床, 83 (5) : 793-808, 1990.
  - 31) 田中和成, 北嶋和智, 片岡英幸ら: 声門上下圧差の音声基本周波数に対する影響-声帯粘膜乾燥による変化-. 日耳鼻100: 1-6, 1997.
  - 32) 藤田真知子: 声の基本周波数と音圧レベル-音声障害患者における測定-. 喉頭, 1: 115-121, 1989.
  - 33) 渡辺宏, 奥野府夫, 辻力ら: アルコール飲酒前後の音声学的变化. アルコール研究と薬物依存, 22 (4) : 280-281, 1987.
  - 34) 藤枝守: 五声と五行説. 響きの考古学, 音楽之友社, 東京: pp51-53, 1998.
  - 35) 肖相如, 倪青, 張静: 問診源流. 中華医学問診大全, 山西科学技術出版社, 太原并州, pp2-24, 1998.
  - 36) 森和, 池見酉次郎: 「気」の客観化に関する研究. 東方医学, 6 (1) : 1-13, 1990.
  - 37) 関真亮, 篠原昭二, 丹澤章八: 音響学的指標を用いた問診の客観化に関する研究. 明治鍼灸医学, 26: 53-64, 2000.
  - 38) 今泉敏: 長時間平均スペクトルによる検査. 日本音声言語医学会編: 声の検査法臨床編, 医歯薬出版株式会社, 東京, pp180-182, 1998.

## Study of auscultation based on voice of chronic renal failure patients

SEKI Masaaki

*Department of Basic Oriental Medicine, Graduate School of Acupuncture  
and Moxibustion, Meiji University of Oriental Medicine*

### Abstract

**[INTRODUCTION]** The voice contains not only linguistic information for verbal communication but also non-linguistic information, such as individual identifying features and indications of the emotion of the speaker. In addition, the voice is one source of diagnostic information in traditional Chinese medicine (TCM). Because auscultation is not widely used as a diagnostic tool in TCM, it is necessary to systematize its application, because all senses are useful for diagnosis in TCM. In this study, we focused on the chronic renal failure (CRF) condition called "dropsy" in TCM. Characteristics of the voice of patients with dropsy have been identified as "low weakness".

This research investigated the relation between the voice and pathognomonic symptoms, such as oliguria, anuria and secondary edema caused by renal insufficiency as well as the relation between changes in body fluids and the voice. We used hemodialysis to examine changes in body fluids caused by accelerated the water loss over several hours and reduced effects of other factors due to bed rest.

**[METHODS]** The subjects for this study were 138 people in 3 groups. CRF group:36 chronic renal failure patients ranging in age from 43 to 81 years (mean 61 years). Of the CRF group, 16 were male and 20 were female. Control group:40 of patients with other complaints who had been treated at clinics of oriental medicine attached to Meiji University of Oriental Medicine. Normal group: 62 normal students.

The Japanese vowel sound /a/ produced at a natural pitch and intensity was recorded as the voice sample. The acoustic indicators for this study were fundamental frequency (F0) as the indicator of the vocal pitch, and vocal spectrum as the indicator of vocal quality.

**[RESULTS]** Fundamental frequency: F0 post-hemodialysis increased about 10 Hz in comparison with that of the pre-hemodialysis recording. F0 seemed to correlate with the amount of fluid removed and potassium. These results indicated that the pre-hemodialysis vocal cord had difficulty vibrating.

Spectrum: There was no specificity of the curve pattern in the CRF group or the other groups. In comparing patients' own spectra pre- and post-hemodialysis, mean spectral amplitude above 2-5 kHz had decreased.

**[CONCLUSION]** These findings suggested that the amount of body fluid was related to the stiffness and mass of the vocal cord in chronic renal failure patients. Particularly, the change of spectrum suggested factors besides stress.

The low pitch before hemodialysis may support the traditional theory of auscultation diagnosis in TCM. Our findings suggested that fundamental frequency and spectrum could be useful objective indices for auscultation assisted diagnosis.

---

Received on October 31, 2002 ; Accepted on January 14, 2003

†To whom correspondence should be addressed.

Meiji University of Oriental Medicine, Hiyoshi-cho, Funaigun, Kyoto 629-0392, Japan