 原 著

学童における声の音響パラメータの検討

奥田 晶史¹⁾ 玉井 ふみ²⁾ 城本 修²⁾

要 約：本研究では小学校低学年の母音発声時の音響パラメータ PPQ, APQ, NHR を検討した。対象は小学校1～3年生の88例の健常学童である。手続きは対象児に母音[a]を声の高さ、大きさが一定となるように5秒間持続発声させ、対象児1例について2試行を行った。音響分析はKay Model 4500のMulti-Dimensional Voice Program 5105を用いた。その結果、PPQでは2年生よりも3年生の測定平均値が有意に高かった。APQでは1回目に比して2回目の値が有意に低かった。またAPQにおいては小学校低学年では学習効果により1回目よりも2回目の測定値が低下する可能性が示唆された。西尾ら（2002）の先行研究の若年成人のデータと比較すると、小学校低学年の測定平均値は若年成人の平均に比べて大きい値を取るパラメータや、小さい値を取るパラメータがあり、若年成人と学童では正常範囲が異なる可能性が示唆された。

索引用語：学童，基本周期変動指数（PPQ），振幅変動指数（APQ），倍音に対する雑音の割合（NHR），音響分析

Acoustic Parameters during Phonation in Children

Akifumi Okuda¹⁾, Fumi Tamai²⁾ and Osamu Shiromoto²⁾

Abstract: The aim of this study was to investigate the values of three acoustic parameters (PPQ, APQ and NHR) in 88 normal elementary school children between the 1st and 3rd grades. The procedure called for the children to vocalize sustained phonation of the vowel [a] for 5 seconds, until a constant pitch of voice was achieved; each child underwent 2 trials. Acoustic analysis was carried out using the Multi-Dimensional Voice Program 5105 of Kay Model 4500. The results revealed that the mean PPQ was higher in the 3rd grade children than in the 2nd year children, with the mean APQ significantly lower in the 2nd trial than in the 1st. Comparing these data to those obtained by Nishio et al. (2002) it is clear that there may exist parameters yielding higher or lower values in children than in adults, suggesting that the normal range in adults may differ from that of school children. The results also suggested that APQ values may change in elementary school children depending on learning effect.

広島市西部こども療育センター¹⁾：〒731-5138 広島市佐伯区海老山南 2-2-18

県立広島大学保健福祉学部コミュニケーション障害学科²⁾：〒723-0053 広島県三原市学園町 1-1

¹⁾Hiroshima City Seibu Center for Children's Treatment and Guidance: 2-18, 2-chome, Kairoyamaminami, Saeki Ward, Hiroshima 731-5138, Japan

²⁾Department of Communication Sciences and Disorders, Prefectural University of Hiroshima: 1-1 Gakuencho, Mihara, Hiroshima 723-0053, Japan

2014 年 5 月 17 日受稿 2014 年 10 月 17 日受理

Key words: elementary school children, PPQ, APQ, NHR, voice analysis

はじめに

近年、音響分析機器の進歩により、音響学的評価を音声障害の臨床において日常的に活用することが多くなっている。基本周期変動指数 (Pitch Perturbation Quotient: PPQ)、振幅変動指数 (Amplitude Perturbation Quotient: APQ)、倍音に対する雑音の割合 (Noise-to Harmonic Ratio: NHR) などの音響パラメータは、短時間に算出でき、音声障害の検出や治療効果を定量的に評価することができる。臨床に音響学的評価を応用する目的で開発された機器には Kay 社の Multi-Dimensional Voice Program (以下、MDVP) があり、簡便に音響パラメータの測定値を得ることが可能である。MDVP の信頼性はすでに報告されており¹⁾、日本語を母国語とし喉頭疾患および神経筋疾患の既往がない若年成人 200 例 (男性 100 例、平均年齢 21.5 歳、SD=1.82、年齢範囲 19~29 歳、女性 100 例、平均年齢 21.3 歳、SD=1.90、年齢範囲 19~31 歳) の音響パラメータの正常範囲が明らかにされている²⁾。

しかし、小児の音声における音響パラメータの研究は、小児声帯結節例と健常例を比較した研究があるものの³⁾、例数が少ない。音響学的評価を臨床に応用するにあたっては、比較対象として多数の学童の音声サンプルから健常学童の音声の正常範囲を明らかにすることが必要である。

また、声帯の長さ、声帯膜様部の長さは新生児より年齢とともに増大し、20 歳頃に成人の長さに達することや⁴⁾、5~10 歳の間は声帯の粘膜固有層浅層を欠いていることが指摘されており、粘膜固有層浅層を欠くことによって、声帯振動時に無理な負担が掛かりやすいと考えられている^{5,6)}。したがって声帯の物理的形状や層構造の違いにより、若年成人と学童の音声の音響パラメータの測定値には差がある可能性がある。仮に音響パラメータの測定値に若年成人と学童の間で差があるならば、比較対象としての正常範囲は若年成人者と学童で別途明らかにする必要がある。

そこで本研究では、健常な小学校低学年学童 (小学校 1~3 年生) 88 例を対象とし、PPQ, APQ, NHR の音響パラメータについて西尾ら²⁾ が明らかにした若年成人の正常範囲の平均、標準偏差と比較、検討を行った。

方 法

1. 対象児

保護者に同意を得た日本語を母語とする健聴の小学校低学年学童 (小学校 1~3 年生) 94 例 (男児 52 例、女児 42 例) に協力を依頼した。また、全例、聴覚印象上は嗄声を認めず、音声に異常がないことを言語聴覚士が確認した。

年齢範囲は 6 歳 5 ヶ月~9 歳 5 ヶ月で、平均年齢は 7 歳 10 ヶ月であった。男女間で月齢について検定したところ、有意差は認めなかった。

2. 手続き

各学童に対して母音 [a] を声の高さ、大きさが一定となるように教示した後、5 秒間発声させ、DAT (SONY TCD-D10) に単一指向性マイク (SONY ECM-23F3) を接続して録音を行った。マイクと口唇の距離は 15 cm で一定にした。サンプリング周波数は 48 kHz、16 ビット量子化で録音した。発声は 2 回行い、続けて録音した。録音環境は静かな学校の教室内で録音を行った。

分析は Computer Speech Lab (Kay Model 4500) の MDVP (Multi-Dimensional Voice Program 5105) を用いて行った。音声信号は DAT (SONY DTC-2000ES) から Computer Speech Lab に入力した。

分析区間は 5 秒間の発声の内、中央の 3 秒間とし、発声の起始と停止の過渡区間は除外した。分析区間を 3 秒間としたのは、MDVP 上で各パラメータを解析するのにあたって、信頼できる測定値を得るのに十分な持続時間であると考えられることによる¹⁾。

また、MDVP 上で、基本周期、振幅が分析できなかった学童 6 例の音声は除外し、88 例 (男児 47 例、女児 41 例) の発声試行 2 回分の測定値を得た (表 1)。88 例の年齢範囲は 6 歳 5 ヶ月~9 歳 5 ヶ月で、平均年齢は 7 歳 9 ヶ月であった。男女間で月齢について検定したところ、有意差は認めなかった。

測定に関して、再度、男女 10 例ずつランダムサンプリングを行ったうえで同様の手続きにて音響分析を

表 1 対象学童の内訳

	1 年生	2 年生	3 年生	計
男児	21	17	9	47
女児	11	13	17	41
計	32	30	26	88

行い、3つのパラメータについて測定値の一致率を検討した。その結果、3つのパラメータとも測定値の一致率は100%で、再検査信頼性は高いことが確認された。

3. 結果の処理

各音響パラメータの測定値を従属変数とし、学年（1年生、2年生、3年生の3水準）、性別（男児、女児の2水準）、発声試行（1回目の発声と2回目の発声の2水準）の繰り返しのある3元配置の分散分析を行い、多重比較にはBonferroni/Dunnの方法を行った。統計解析には、StatView (ver. 5, SAS) を使用した。さらに、男女別に西尾ら²⁾ が明らかにした若年成人の音声の音響パラメータの平均値と標準偏差を使用して、本研究で対象とした小学校1～3年生学童（以下、小学校低学年全体）の1試行目と若年成人の各音響パラメータの値をt検定で比較した。本来であれば小学校1～3年生学童と若年成人の個々の被験者の測定値を基に分散分析を行うべきところ、若年成人群については文献から平均と標準偏差のみしかデータを得ることができなかったため、t検定によって小学校1～3年生学童と若年成人群の比較検定を行った。

結 果

分散分析の結果、PPQについては学年の主効果が認められた ($F(2, 82) = 3.269, p < .05$)。多重比較の結果、2年生に比して3年生の平均PPQ値が有意に高かった (Bonferroni/Dunnの方法, $p < .05$)。NHRについては学年、性別、発声試行の主効果および交互作用はいずれも認めなかった。APQについては1回目と2回目の値が有意に低かった ($F(1, 82) = 4.060, p < .05$)。学年、性別の主効果および交互作用はいずれも認めなかった。

以下、各パラメータごとに西尾ら²⁾ が明らかにした若年成人の平均値と今回得られた小学校低学年学童の第1試行の平均値を比較した結果を示す。

PPQについては、男女別に小学校1～3年生学童（以下、小学校低学年全体）の1試行目と若年成人のPPQの平均値についてt検定を行い比較検討した結果、男女ともに若年成人に比して小学校低学年全体が有意に高かった (男: $t(145) = 6.626, p < .05$, 女: $t(139) = 4.751, p < .05$)。各学年の1試行目の平均値と若年成人の平均値を性別に比較すると、若年成人男性よりも小学校1年生、2年生、3年生男子のPPQの平均値はいずれも有意に高かった (1年生男子: $t(119) = 6.005, p < .05$, 2年生男子 $t(115) = 3.897, p < .05$, 3年

生男子: $t(107) = 4.326, p < .05$)。女性では若年成人女性よりも小学校1年生女子、3年生女子の平均値は有意に高く (1年生女子 $t(109) = 2.416, p < .05$, 3年生女子 $t(115) = 4.130, p < .05$)。若年成人女性と小学校2年生の間では平均値に有意差は認めなかった (図1)。

APQについては、小学校低学年男児全体の1試行目の平均値と若年成人男性の平均値との間に有意差は認めなかった。小学校低学年女児全体では若年成人女性に比して小学校低学年女児全体の平均値が有意に高かった ($t(139) = 4.751, p < .05$)。学年別の平均値と若年成人の平均値を性別に比較すると、男性では若年成人男性よりも小学校1年生男子が有意に高く (1年生男子: $t(119) = 2.053, p < .05$)、若年成人男性と小学校2年生男子、3年生男子の間では有意差を認めなかった。女性では若年成人女性よりも小学校1年生、2年生、3年生のAPQの平均値はいずれも有意に高かった (1年生女子: $t(109) = 3.187, p < .05$, 2年生女子 $t(111) = 2.227, p < .05$, 3年生女子: $t(115) = 4.751, p < .05$) (図2)。

NHRでは小学校低学年全体の1試行目の平均値と若年成人のNHRの平均値についてt検定を行い比較検討した結果、小学校低学年男児全体は若年成人男性よりも有意に低く ($t(145) = -8.807, p < .05$)、小学校低学年女児全体と若年成人女性の間では有意差は認めなかった。各学年の1試行目の平均値と若年成人の平均値を性別に比較すると、男性では若年成人男性よりも小学校2年生男子、3年生男子が有意に低く (2年生男子 $t(115) = 3.897, 3年生男子:t(107) = 4.326, p < .05$)、若年成人男性と1年生の間では有意差を認めなかった。若年成人女性と小学校各学年の間ではいず

図1 小学校各学年と若年成人²⁾におけるPPQの平均値の比較。エラーバーは1標準偏差を示す。* $p < .05$

れも有意差を認めなかった (図 3)。

また、各音響パラメータの平均 95%信頼区間を学年別に算出した (表 2)。

考 察

1. 発達による変化

本研究の結果、PPQ において学年の主効果を認め、2 年生に比して 3 年生の PPQ の値が有意に高かった。しかし、APQ、NHR では学年の主効果を認めなかった。PPQ でのみ 2 年生と 3 年生の間で有意差が認められ、他のパラメータでは有意差を認めなかった点についてはさらに標本数を増やし、詳細に検討することが必要と思われる。

小学校低学年学童の男女と西尾ら²⁾の若年成人男女の比較では、PPQ の平均値が男女とも小学校低学年学童が若年成人よりも有意に高かった。さらに女性では APQ の平均値において小学校低学年学童が若年成人よりも有意に高く、男性では NHR の平均値において小学校低学年学童が若年成人よりも有意に低かった。このことから、学童から成人へと発達していく過程で音響パラメータの平均値は変動が生じる可能性があると考えられた。さらに、女性の APQ、男性の NHR の各音響パラメータについては小学校低学年の間は学年間で有意差はなかったことから、小学校低学

年以降の身体発達により、差が生じると推測される。

2. 性差について

本研究の結果からは、いずれのパラメータにおいても小学校低学年 (1~3 年生) の男女間に有意な差はなかった。西尾ら²⁾の若年成人男女においては、PPQ では $p<.01$ で男性に比して女性の平均値が高く、APQ では有意差なし、NHR においては $p<.0001$ で女性に比して男性の平均値が有意に高いという結果であった。以上のことから、小学校低学年の間では音響パラメータに男女差はなく、若年成人に認められた音響パラメータの性差は小学校低学年を過ぎてから生じると推察される。声帯長は 9 歳以下では男女間に差はなく、15 歳以上では男のほうが長いという報告があり⁴⁾、小学校高学年以降の声帯長の変化によりこうした性差が生じている可能性を今後検討していくことが必要と思われる。

3. 測定の信頼性

西尾ら²⁾は健康青年を対象とする限りにおいては 1 回の測定で信頼できる値が測定できるが、安定した値を得るためには 2 回の測定値の平均を求めるのが妥当と報告している。今回の研究における 3 つの音響パラメータは、APQ については学童では成人とは異なり、2 回目の値が 1 回目の値よりも有意に低かった。この原因としては発声を繰り返すことで、学習効果が生じ

図 2 小学校各学年と若年成人²⁾における APQ の平均値の比較。エラーバーは 1 標準偏差を示す。* $p<.05$

図 3 小学校各学年と若年成人²⁾における NHR の平均値の比較。エラーバーは 1 標準偏差を示す。* $p<.05$

表 2 各音響パラメータの平均の 95%信頼区間

	1 年生		2 年生		3 年生	
	男児	女児	男児	女児	男児	女児
PPQ (%)	0.444-0.612	0.427-0.807	0.357-0.585	0.282-0.460	0.361-0.733	0.537-0.877
APQ (%)	2.196-2.924	2.401-3.125	1.908-2.668	1.951-3.187	2.077-2.725	2.402-3.490
NHR	0.035-0.207	0.112-0.134	0.106-0.116	0.111-0.133	0.108-0.128	0.019-0.229

1回目よりも2回目の値の振幅のゆらぎが減少した可能性が考えられる。よって学童の臨床で音響分析を活用する際は、そのことを考慮して複数回の測定を行うか、APQ測定値の取り扱いに留意することが必要と思われる。

4. 今後の課題

今後の課題としては、本研究では対象としなかった小学校高学年、中学生、高校生などさらに対象を広げ、幅広い年齢の音声を収集・分析することによって音響パラメータの発達の変化について検討すること、学童と成人の声帯の物理特性の違いや声帯長の差異、さらに発声の安定性の差異が音響パラメータの測定値にどのような影響を及ぼすのかについて検討することが必要であると思われる。

ま と め

小学校低学年（1～3年生）学童を対象にPPQ, APQ, NHRの3つの音響パラメータの値を収集し、西尾ら²⁾の若年成人のデータと比較検討を行った。

発達による変化については、小学校低学年の平均は若年成人の平均に比べて大きい値をとる音響パラメータや、逆に小さい値をとるパラメータがあり、音響パラメータは若年成人と学童では正常範囲が異なる可能性が示唆された。性差については、いずれのパラメータにおいても認めなかった。発声試行についてはAPQにおいては小学校低学年では学習効果により1

回目よりも2回目の測定値が低下する可能性があるため、そのことを考慮して測定値を扱う必要があると考えられた。

利益相反自己申告：申告すべきものなし。

文 献

- 1) Kent RD, Vorperian HK and Duffy JR: Reliability of the Multi-Dimensional Voice Program for the analysis of voice samples of subjects with dysarthria. *Am J Speech Lang Pathol*, 8: 129-136, 1999.
- 2) 西尾正輝, 新美成二: Multi-Dimensional Voice Programを用いた音声の解析. *総合リハビリテーション*, 30 (10): 927-933, 2002.
- 3) Campisi P, Tewfik TL, Pelland-Blais E, et al: Multi-Dimensional Voice Program analysis in children with vocal cord nodules. *J Otolaryngol*, 29: 302-308, 2000.
- 4) 栗田茂二郎: 声帯の成長、発達と老化—とくに層構造の年齢的变化—. *音声言語医学*, 29: 185-193, 1988.
- 5) 山下耕太郎: ヒト声帯粘膜固有層繊維構造の年齢的発達—消化法を用いた走査型電子顕微鏡による観察—. *日耳鼻*, 100: 499-511, 1997.
- 6) 山下耕太郎, 石井甲介, 廣瀬 肇, 他: ヒト声帯粘膜固有層の年齢的発達—5歳以降の変化について—. *喉頭*, 9: 1-6, 1997.

別刷請求先: 〒731-5138 広島市佐伯区海老山南 2-2-18
広島市西部こども療育センター
奥田晶史