

갑상선절제술 환자 음성의 공기역학적 분석

전북대학교 의학전문대학원 언어치료학과¹, 이비인후과², 임상의학연구소³

신유정¹, 홍기환^{2,3}, 홍용태², 오정석², 윤연섭², 이현두²

Aerodynamic Analysis of Voice in Patients with Thyroidectomy

YuJeong Shin¹, KiHwan Hong^{2,3}, YongTae Hong², JungSeuk Oh², YunSub Yoon² and HyunDoo Lee²

Department of Speech-Language Therapy¹, Otolaryngology-HNS², Research Institute of Clinical Medicine of Chonbuk National University-Chonbuk National University Hospital³, Jeonju, Korea

Background and Objectives: This study is to prospectively compare and analyze the aerodynamic changes in the patients with thyroid cancer before and after surgery. Changes in vocal function before and after thyroidectomy were examined using aerodynamic and related assessments. **Materials and Methods:** Twenty one patients were evaluated preoperatively, 5-7 days and 6-7 weeks postoperatively to assess aerodynamic outcomes after thyroidectomy. Glottal input power (GIP), glottal efficiency (GE) and maximum phonation time (MPT), were determined the time of before surgery, 5-7 days after surgery and 6-7 weeks after surgery. **Results:** According to the comparison analysis of the three periods, GIP with /pi/ phonation was significantly reduced at time of 5-7 days and 6-7 weeks after surgery, but not in the /p^hi/ and /pⁱi/ phonations. GE was significantly reduced in the /pi/, /p^hi/ and /pⁱi/ phonations at time of 5-7 days and 6-7 weeks after surgery. MPT was significantly reduced at time of 5-7 days after surgery significantly. **Conclusion:** Aerodynamic assessment showed systematic changes in vocal function associated with thyroidectomy. These results should be useful data for vocal management in individuals who have had thyroidectomy and for assessment of voice disorders in clinical settings.

Key Words: Thyroidectomy, Aerodynamic study

서론

최근 갑상선질환이 증가하는 추세에 따라 갑상선절제술이 많이 시행되고 있고, 갑상선절제술 이후의 음성 변화 관리와 치료에 대한 음성언어치료사의 역할 또한 강조되고 있다. 갑상선 수술은 성도의 안정성에 영향을 주고 이는 음성의 변화를 초래할 수 있는데, 갑상선절제술을 받은 환자들의 음성 변화 특성은 주로 음역 감소, 성대 피로, 발화 기본주파수의 감소, 쉼 목소리, 강도 감소 등의 증상으로 나타난다.¹⁾ 갑상선절제

술과 같은 외과적 수술 후의 음성 변화는 성대결절, 성대폴립 등의 기능적 음성장애에 비해서 수술 과정에서 일어날 수 있는 신경 및 근육의 손상, 환자 개인의 심리적 문제까지 더해져 여러 요인의 복잡한 상호작용에 기인하는 경우가 많기 때문에 환자의 음성 상태에 대한 객관적이고 정확한 평가와 분석 자료가 필요하다.²⁾ 또한, 수술 이후의 음성 변화가 시간의 경과에 따라 대부분 회복되는 경향을 보이므로 수술 전과 수술 후, 시간에 따른 환자 음성의 특성에 대한 추적 연구가 더 요구되고 있다.³⁾

한편, 일상생활에서의 음성은 성도의 역동적인 운동

Received March 12, 2014 / Revised April 28, 2014 / Accepted May 13, 2014

Correspondence: KiHwan Hong, MD, Research Institute of Clinical Medicine of Chonbuk National University-Chonbuk National University Hospital, Geumam-dong, Jeonju 561-756, Korea

Tel: 82-63-250-1172, Fax: 82-63-250-1986, E-mail: khhong@chonbuk.ac.kr

Copyright © 2014, the Korean Thyroid Association. All rights reserved.

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에 의한 발성이므로 성대 진동 현상에만 치중하여 분석하는 음향학적 검사만으로는 실제적인 음성 판단이 불가능할 수 있다. 음성의 공기역학적 검사는 발성 시의 후두 기능과 효율에 대한 정보를 제공하여 성대 진동에 의해 발생되는 음의 음향학적인 요소와 관계되지 않는 특성도 파악할 수 있게 해준다.^{4,5)} 이에 본 연구에서는 갑상선절제술 환자의 근원적 분석 방법인 발성의 공기역학적 분석을 통하여 환자 음성에 대한 보다 실제적이고 보완적인 해석을 돕고자 한다. 따라서 본 연구에서는 최근 갑상선질환의 증가로 인해 임상에서 빈번하게 접하는 갑상선절제술 환자를 대상으로, 공기역학적 분석을 통해 수술 전·후 시간에 따른 특성에 대해 연구할 것이다. 본 연구를 통해 갑상선절제술 환자의 음성 관리 및 음성 분석 연구에 유용한 자료를 제공하고자 한다.

대상 및 방법

연구대상

본 연구는 갑상선암으로 진단받고 갑상선절제술을 받은 환자 21명(남자 4명, 여자 17명)의 자료를 대상으로 하였다. 대상 환자는 갑상선질환 외에 음성에 영향을 미칠 수 있는 다른 질환이 없었으며 수술 후 성대의 신경 손상이 없는 환자로 제한하였다. 대상 환자의 연령은 만 19-68세로 평균 연령은 만 49.05세였고 이 중 갑상선절제술을 받은 환자는 17명, 부분절제술을 받은 환자는 4명이었다.

공기역학적 분석

공기역학적 분석을 위한 음성 자료의 수집은 Acrophone II (F-J Electronics, 2010, Denmark)을 사용하여

성문 입력 파워(glottal input power, GIP), 성문 효율(glottal efficiency, GE), 최대발성지속시간(maximum phonation time, MPT)을 측정, 분석하였다. 술전, 술후 5-7일 후와 6주 후, 세 번 반복하여 수집한 Acrophone II의 자료는 성문 입력 파워와 성문 효율 산출을 위해서는 중간 자료를, 최대발성지속시간 산출에는 가장 길고 안정적으로 발성한 자료를 선택하여 분석하였다. 성문 입력 파워와 성문 효율을 구하기 위한 /ipipi/ test 분석 화면이다. 측정된 공기역학 지표는 다음과 같다(Fig. 1).

1) 성문 입력 파워(GIP)

성문 입력 파워는 성문하압과 폐쇄음에 인접한 모음 주변의 기류율을 곱한 값으로 계산 방법은 다음과 같다. $\text{Poweraerodyn} = \text{Flow/sec} \times \text{Pressure in cmH}_2\text{O}$

본 연구에서는 평균기류율(MFR; mean airflow rate)에 peak air pressure를 곱해서 산출한 값인 평균 파워(mean power)를 분석하였으며 단위는 watt이다.

2) 성문 효율(GE)

성문 효율은 음향학적 파워와 공기역학적 입력 파워 사이의 관계를 나타내며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다. $\text{Effglottal} = \text{PowerAcoustic} / \text{PowerAerodyn}$

본 연구에서는 선택 구간 내 모든 변수들의 평균 음향학적 파워를 평균 입력 파워로 나눈 값인 평균 효율(mean efficiency)을 분석하였다.

최대발성지속시간(MPT)

일정한 음도와 강도로 최대한 연장 발성하게 하여 측정한 시간을 가리키며 이를 통해 발성 시 필요한 호흡량의 장애 여부를 알 수 있다. 우리나라 성인 남자의 최대발성지속시간은 평균 20초, 여자는 평균 17초 정도이다.

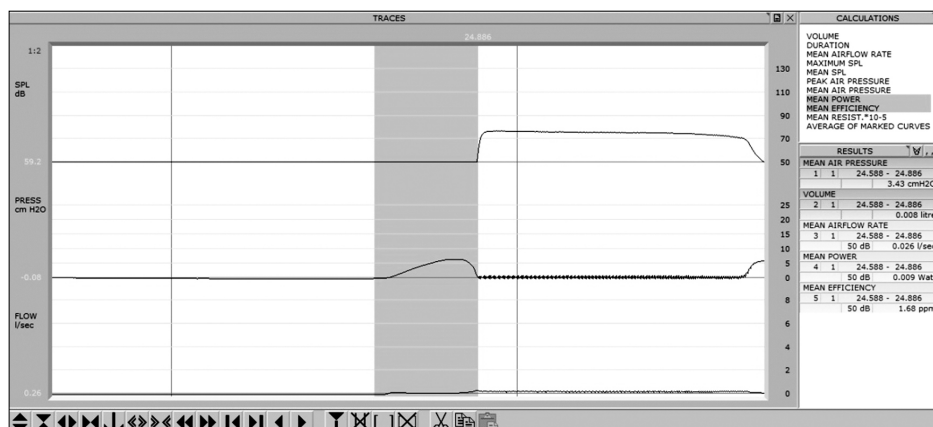


Fig. 1. Analytical screen for glottal input power & glottal efficiency (Aerophone II).

통계 분석 및 신뢰도

수집된 자료는 SPSS (Statistical Package for the Social Science, ver. 18, Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 사용하여 분석하였다. 세 번에 걸쳐 수집된 21명의 대상자 음성에 대한 검사 시기별 차이를 보기 위해 반복측정 분산분석(Repeated Measure ANOVA; RM-ANOVA)을 실시하고 95% 신뢰 수준($p < 0.05$)을 기준으로 하였다. 유의한 차이를 보인 결과에 대해서는 Bonferroni's method를 사용하여 사후 검정을 실시하였다. 수집된 자료의 신뢰도 분석을 위해 전체 대상자의 20%에 해당하는 자료를 임의로 선정한 뒤 스피어만 상관분석(Spearman's correlation analysis)을 실시하여 산출한 검사자 내 신뢰도는 성문 입력 파워 0.892, 성문 효율 0.912였으며, 임상 언어병리학 대학원생 1명이 같은 검

사를 실시하여 산출한 검사자 간 신뢰도는 성문 입력 파워 0.875, 성문 효율 0.860이었다.

결 과

성문 입력 파워(GIP)

검사 시기에 따른 /pi/, /p^hi/, /pⁱi/에 대한 성문 입력 파워 측정치의 특성을 살펴보기 위해 반복측정 분산분석을 실시한 결과(Fig. 2, Table 1) /pi/ 발성이 검사 시기에 따라 성문 입력 파워 측정치에서 유의한 차이($p < 0.05$)를 보였다. /pi/ 발성의 성문 입력 파워는 Bonferroni's method에 의한 사후분석결과, 수술 후 5-7일 이내 검사한 성문 입력 파워(0.038 ± 0.021)에 비해 6주 후의 측정치(0.023 ± 0.019)가 유의한 차이($p < 0.05$)를

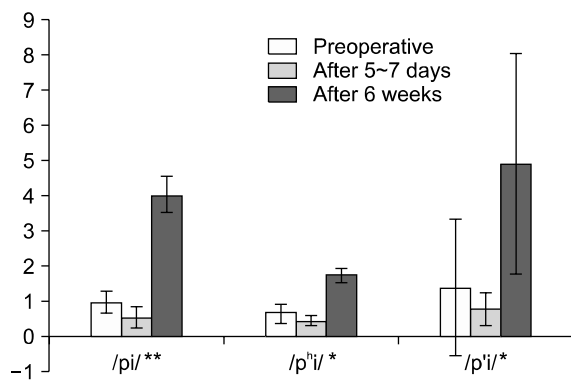


Fig. 2. Comparison of preoperative and postoperative results of glottal input power.

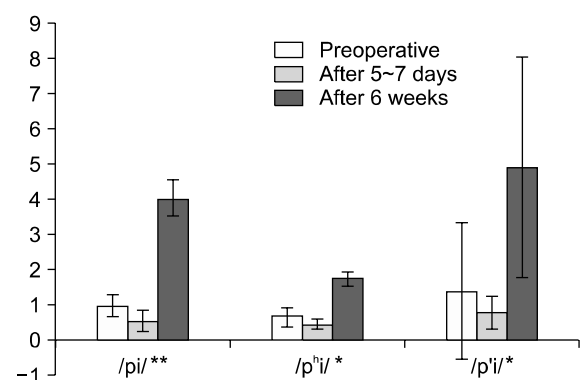


Fig. 3. Comparison of preoperative and postoperative results of glottal efficiency.

Table 1. Comparison of preoperative and postoperative results of glottal input power

	Preoperative M ± SD	After 5-7 days M ± SD	After 6 weeks M ± SD	p value [†]
/pi/	0.034 ± 0.021	0.038 ± 0.021	0.023 ± 0.019	0.019*
/p ^h i/	0.055 ± 0.023	0.076 ± 0.097	0.044 ± 0.020	0.149
/p ⁱ i/	0.010 ± 0.011	0.013 ± 0.008	0.010 ± 0.011	0.175

[†]Repeated measure analysis of variance (ANOVA)

* $p < 0.05$

Table 2. Comparison of preoperative and postoperative results of glottal efficiency

	Preoperative M ± SD	After 5-7 days M ± SD	After 6 weeks M ± SD	p value [†]
/pi/	0.973 ± 0.610	0.695 ± 0.581	1.406 ± 1.029	0.005**
/p ^h i/	0.570 ± 0.476	0.467 ± 0.237	0.778 ± 0.375	0.017*
/p ⁱ i/	4.050 ± 3.939	1.746 ± 0.968	4.933 ± 6.240	0.032*

[†]Repeated measure analysis of variance (ANOVA)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

보이며 낮아지는 것으로 나타났다.

성문 효율(GE)

성문 효율의 경우(Fig. 3, Table 2) 검사 시기에 따라 /pi/ 발성 ($p < 0.01$)과 /p^hi/ 발성 ($p < 0.025$), /pⁱ/ 발성 ($p < 0.05$) 모두에서 각각 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각 발성에 대한 검사 시기별 성문 효율의 대응비교 결과, /pi/ 발성과 /p^hi/ 발성의 경우, 수술 6주 후의 측정치가 수술 5-7일 후의 측정치에 비해 /pi/ 발성은 95% 신뢰도 수준에서, /p^hi/ 발성은 99% 신뢰도 수준에서 유의하게 상승하였다. /pⁱ/ 발성은 수술 전 발성 효율에 비해 수술 5-7일 후가 유의하게 감소($p < 0.05$)하는 모습을 보였다.

/pi/, /p^hi/, /pⁱ/ 발성의 성문 효율 측정치를 살펴보면, 세 발성 모두 수술 직후 효율이 낮아지고 6주 후 다시 성문 효율이 상승하는 경향을 보이고 있으며 /pⁱ/ 발성의 경우, 다른 두 음의 전체 평균치(/pi/ 평균 1.025, /p^hi/ 평균 0.605)에 비해 다소 높은 성문 효율(평균 3.576)을 보였다.

최대발성지속시간(MPT)

갑상선절제술 전·후 검사 시기에 따른 최대발성지속시간의 변화를 살펴보기 위해 반복측정 분산분석을 실

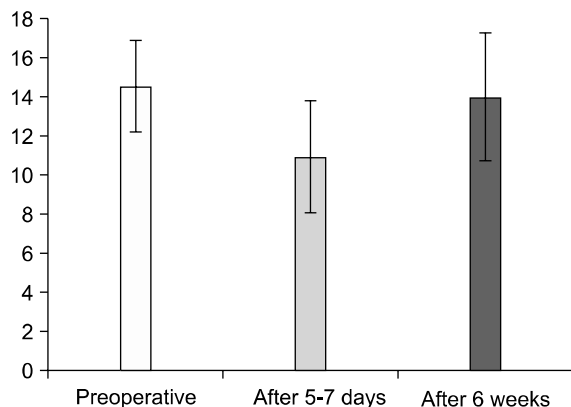


Fig. 4. Comparison of preoperative and postoperative results of MPT.

Table 3. Comparison of preoperative and postoperative results of MPT

Preoperative M ± SD	After 5-7 days M ± SD	After 6 weeks M ± SD	p value [†]
14.51 ± 4.74	10.89 ± 5.67	13.94 ± 6.35	0.003**

[†]Repeated measure ANOVA

** $p < 0.01$

시한 결과(Fig. 4, Table 3) 각 검사 시기에 따라 최대발성지속시간은 유의한 차이($p < 0.01$)가 있는 것으로 나타났다. 수술 전 최대발성지속시간의 평균값은 14.51초였고, 수술 후 5-7일 이내 측정된 최대발성지속시간은 10.89초, 수술 6주 후의 최대발성지속시간 평균은 13.94초로 수술 후 최대발성지속시간이 감소하였다가 시간이 흐름에 따라 다시 유의하게 증가하는 추세를 보였다.

통계분석결과

SPSS (Statics Package for the Social Science, ver. 18)를 이용한 반복측정 분산분석(Repeated Measure ANOVA; RM-ANOVA)과 Bonferroni's method를 이용한 사후 검정 결과는 다음과 같다(Table 4).

고 찰

갑상선수술 후 흔히 나타나는 음성장애를 이해하기 위해서는 음성 관에 대한 여러 단계에서의 정량적인 검사가 이루어져야 한다. 이를 위하여 여러 검사법이 이용되고 있는데 음성의 인지적 검사, 음향학적 검사, 공기역동학적 검사, 후두구조물의 운동 관찰, 그리고 근과 신경의 생리적 검사 등이 있다.⁶⁾ 갑상선절제술 환자를 포함한 음성장애 환자 음성의 검사 방법에 대한 연구는 꾸준히 계속되고 있지만 객관적, 주관적 검사를 막론하고 검사 결과에 대한 일관성과 신뢰성은 크게 기대하기 어려운 것이 사실이다. 임상과 연구 현장에서 흔히 쓰이고 있는 음향학적 검사의 측정치인 jitter (주파수 변동률), shimmer (진폭 변동률), NHR (noise to harmonic ratio, 배음 대 소음 비율) 등은 기본주파수 변화의 정확한 측정과 추정을 필요로 하는데, 음성장애 정도가 심하고 주기성이 떨어질수록 측정이 어렵고 검사 결과의 신뢰도 또한 떨어지게 된다.⁷⁻⁹⁾ 이러한 문

Table 4. Inferential statistical (RM-ANOVA) results by session

Variable	F	p
Glottal input power (watt)		
/pi/	4.376	0.019*
/p ^h i/	1.998	0.149
/p ⁱ /	1.820	0.175
Glottal efficiency (ppm)		
/pi/	6.115	0.005**
/p ^h i/	4.550	0.017*
/p ⁱ /	3.752	0.032*
MPT (s)	6.931	0.003**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

제의 대안으로 제시될 수 있는 음성 분석 방법의 하나가 공기역동학적 검사에 의한 분석이다.

정상 의사소통을 위한 언어가 생성되기 위해서는 호흡기관을 통해 나오는 공기의 흐름이 발성기관 내에서 매우 정교하게 조절됨으로써 가능해지는데 이 공기의 흐름은 발성관이 다양하게 좁아짐으로써 다양한 정도의 압력이 성문 하부 혹은 성문 상부에 발생함으로써 성대가 진동하게 되고 혹은 음이 파열하게 되며 동시에 다양한 크기의 음성의 강도가 발생하게 된다. 그중에서 성문은 발성에 필요한 여러 좁힘점 중 가장 먼저 존재하고 가장 중요한 좁힘점으로 성대의 진동은 양측 성대가 닫힌 상태에서 공기가 성문을 통과할 때 성대가 규칙적으로 열림과 닫힘을 반복함으로써 가능해지는데 이러한 반복운동은 공기역학적인 요소와 근육의 활동 및 탄력조직의 강도에 의해 가능해지지만 성문 하부의 일정한 압력에 의해 성문을 열게 하는 요소와 이에 연속되어 나타나는 Bernoulli 효과가 반복되는 공기역학적인 요소가 가장 중요하다 하겠다. 이러한 성대의 진동은 발성에 필요한 기본요소이지만 일상생활에서의 언어를 사용한 의사소통을 위해서는 성문을 포함한 발성기관에 구조적인 변화가 초래되어 통과하는 공기의 압력과 양이 변화함으로써 정상적인 언어가 발생하게 된다.^{10,11)} 모음 발성 시 성문 상부 기관의 압력은 대기압과는 항상 같은 상태이지만 자음 발성 시 성문 상부 기관이 좁아짐으로써 공기의 흐름에 지장이 초래되어 여기를 통과하는 공기의 압력과 양이 변화하게 된다. 그러므로 발화 시 후두기능에 관한 정보를 얻기 위하여 공기역동학적 검사가 시행되고 있다.

갑상선절제술 환자의 음성에 대한 연구는 주로 수술 전과 후에 따른 음향학적 연구가 시행되고 있다. 그러나 공기역학적 음성 변화의 추적 연구가 매우 미비하기 때문에 갑상선절제술 후 환자 음성 관리와 치료에 어려움이 있다. 본 연구에서는 갑상선절제술 환자를 대상으로 공기역학적으로 다각적 방법을 도입하여 음성 변화를 연구하였다. 음성장애 환자 음성의 공기역학적 분석 연구는 주로 최대발성시간에 관한 연구에 국한되어 있으나¹²⁾ 본 연구에서는 Aerophone II를 사용하여 최대발성지속시간 외에도 성문 입력 파워, 성문 효율 등 다양한 공기역학적 측정치의 특성에 대해 정리하였다. 본 연구에서 나타난 갑상선절제술 환자의 수술 전·후 공기역학적 음성의 평가 결과는 /pi/ 발성의 성문 입력 파워 측정치가 수술 직후 증가했다가 6주 후 유의하게($p < 0.05$) 감소하는 것으로 나타났다. 수술 후 성대와 후두 근육의 기능 약화로, 발성에 필요한 성

대 진동을 시작하기 위해 성문 하압을 증가시키기 때문에 성문 파워가 증가하는 것으로 보인다. Hard 등¹³⁾은 성대의 일측성 성대마비 환자를 대상으로 공기역학적 음성 변화를 분석한 연구에서도 마비 후의 성문 파워는 증가하는 경향이 있다고 보고된 바 있다. 또한 /pi/ 발성에서 평균 파워가 술후 유의하게 증가하는 것은 /p^hi/, /p'i/와 비교했을 때의 발성 시 후두 조정(laryngeal adjustment)과 연관하여 분석해볼 수 있다. 즉, 우리말 /pi/의 조음 긴장도(articulatory tension)는 기식음 /p^hi/와 경음 /p'i/보다도 약한 음(lenis)이기 때문에 수술 직후 발성 시작(on-set) 구간에서 음성 에너지가 약화되는 것을 강한 음(fortis) 수준으로 보상하려는 후두 조정 활동이 작용한 것으로 보인다.^{14,15)} 반면, /pi/, /p^hi/, /p'i/ 발성의 평균 효율과 발성지속시간은 수술 직후 감소했다가 다시 증가하는 경향을 보였다. “발성의 편안함”을 가장 잘 측정할 수 있는 발성 효율은 수술 후 성문 파워가 증가하는 것과 같이 발성하는데 드는 노력이 더 커지기 때문에 감소할 수밖에 없고, 발성 중 공기 흐름의 누출을 간접적으로 알게 해주는 발성지속 시간 역시 술후 불완전한 성대 접촉으로 인해 감소한 것으로 분석할 수 있다.¹⁶⁾

Solomon 등¹¹⁾은 갑상선절제술을 받은 환자 음성의 공기역학적 분석 연구로서 환자 80명의 수술 전·후 음성에 대한 발성지속시간, 평균호기율, 후두 공기저항도(laryngeal airway resistance) 및 PTP (phonation threshold pressure) 등의 공기역학적 측정치를 비교한 연구¹⁷⁾에서는 술후 환자들의 공기역학적 음성 변화는 뚜렷하게 나타나지 않았고 PTP 값만 유의하게 감소하는 경향을 보였다고 보고하였다. 갑상선절제술 전·후 환자의 발성지속시간 측정치에 관한 연구는 검사 시기에 따라 유의한 차이가 없었다¹⁸⁾는 결과도 있고, 수술 후 유의한 감소를 보였다는 결과도 발표되었다.³⁾ 또한, 갑상선절제술 환자가 엽절제술 환자보다 음성 기능의 변화에 더 영향을 받는다는 연구결과¹⁹⁾에서 알 수 있듯이 환자의 음성 변화는 갑상선질환의 진단명과 수술 방법에 따라 다른 양상을 보일 수 있으므로 추후 연구에서 더 자세히 분석해볼 필요가 있다. 정상적인 발성은 주로 후두내근(intrinsic laryngeal muscle)의 활동에 의해 성대 내·외전에 의한다. 그러나 경부근을 포함한 후두외근(extrinsic laryngeal muscle)도 간접적으로 후두내근에 영향을 주어 발성 시 성대의 길이 및 긴장도에 변화를 주어 기본주파수 혹은 발화주파수에 영향을 준다. 특히 갑상선 수술은 후두외근을 포함한 경부근에 직접적인 영향을 주고 후두에 간접적으로 영향을 주므로

발성 시 공기역학적인 영향을 미친다고 여겨진다.

이상 정리한 바와 같이 갑상선절제술 환자의 음성언어 변화는 그 정도가 심하지 않고 일시적인 특성을 보인다. 그러나 객관적 검사 결과 음성 이상이 없어도 환자 스스로의 주관적 평가 시 음질 저하 혹은 발성 불편을 호소하는 경우가 빈번하게 발생하기 때문에^{20,21)} 음향분석만으로 환자의 음성을 판단하기보다는 공기역학적 분석을 포함한 다양한 접근 방법으로 환자 음성을 평가하는 것이 필요할 것이다.

결 론

본 연구는 갑상선절제술을 받은 환자의 수술 전·후 음성에 대해 공기역학적 분석결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 갑상선절제술 환자의 수술 전·후 공기역학적 음성 분석 결과, 평균 파워는 수술 후 증가했다가 6주 후에는 감소하였으며 평균 효율과 최대발성지속시간은 수술 직후 감소했다가 다시 증가하는 특성을 나타냈다. 갑상선절제술 환자의 음성은 수술 직후의 변화가 오래 지속되지 않고 6주 후 시점에서는 다시 회복되는 경향을 보였다. 이는 임상에서 갑상선절제술 환자의 음성 관리와 치료에 유용할 것으로 사료된다.

중심 단어: 갑상선절제술, 공기역학적 분석.

References

- 1) Hong KH, Kim YK. Phonatory characteristics of patients undergoing thyroidectomy without laryngeal nerve injury. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1997;117(4):399-404.
- 2) Meek P, Carding PN, Howard DH, Lennard TW. Voice change following thyroid and parathyroid surgery. *J Voice* 2008;22(6):765-72.
- 3) Maeda T, Saito M, Otsuki N, Morimoto K, Takahashi M, Iwaki S, et al. Voice quality after surgical treatment for thyroid cancer. *Thyroid* 2013;23(7):847-53.
- 4) Franco RA, Andrus JG. Aerodynamic and acoustic characteristics of voice before and after adduction arytenopexy and medialization laryngoplasty with GORE-TEX in patients with unilateral vocal fold immobility. *J Voice* 2009;23(2):261-7.
- 5) Dursun G, Gokcan MK. Aerodynamic, acoustic and functional results of posterior transverse laser cordotomy for bilateral abductor vocal fold paralysis. *J Laryngol Otol* 2006;120(4):282-8.
- 6) Lombardi CP, Raffaelli M, D'Alatri L, Marchese MR, Rigante M, Paludetti G, et al. Voice and swallowing changes after thyroidectomy in patients without inferior laryngeal nerve injuries. *Surgery* 2006;140(6):1026-32; discussion 32-4.
- 7) Piccirillo JF, Painter C, Fuller D, Fredrickson JM. Multivariate analysis of objective vocal function. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1998;107(2):107-12.
- 8) Zhang Y, Jiang JJ. Acoustic analyses of sustained and running voices from patients with laryngeal pathologies. *J Voice* 2008;22(1):1-9.
- 9) Wolfe V, Martin D. Acoustic correlates of dysphonia: type and severity. *J Commun Disord* 1997;30(5):403-15; quiz 15-6.
- 10) Sonesson B. Vocal fold kinesiology. In: Grillner S, Lindblom B, Lubker J, Persson A, editors. *Speech motor control*. Oxford: Pergamon; 1983. p.113-7.
- 11) Solomon NP, Garlitz SJ, Milbrath RL. Respiratory and laryngeal contributions to maximum phonation duration. *J Voice* 2000;14(3):331-40.
- 12) Dart SN. An aerodynamic study of Korean stop consonants: measurements and modeling. *J Acoust Soc Am* 1987;81(1):138-47.
- 13) Hartl DM, Hans S, Vaissiere J, Brasnu DF. Laryngeal aerodynamics after vocal fold augmentation with autologous fat vs thyroplasty in the same patient. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2005;131(8):696-700.
- 14) Hong KH, Kim HK, Niimi S. Laryngeal gestures during stop production using high-speed digital images. *J Voice* 2002;16(2):207-14.
- 15) Hong KH, Kim HK. Electroglottography and laryngeal articulation in speech. *Folia Phoniatr Logop* 1997;49(5):225-33.
- 16) Isshiki N, Shoji K, Kojima H, Hirano S. Vocal fold atrophy and its surgical treatment. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1996;105(3):182-8.
- 17) Solomon NP, Helou LB, Stojadinovic A. Clinical versus laboratory ratings of voice using the CAPE-V. *J Voice* 2011;25(1):e7-14.
- 18) Van Lierde K, D'Haeseleer E, Wuyts FL, Baudonck N, Bernaert L, Vermeersch H. Impact of thyroidectomy without laryngeal nerve injury on vocal quality characteristics: an objective multiparameter approach. *Laryngoscope* 2010;120(2):338-45.
- 19) Ryu J, Ryu YM, Jung YS, Kim SJ, Lee YJ, Lee EK, et al. Extent of thyroidectomy affects vocal and throat functions: a prospective observational study of lobectomy versus total thyroidectomy. *Surgery* 2013;154(3):611-20.
- 20) de Pedro Netto I, Fae A, Vartanian JG, Barros AP, Correia LM, Toledo RN, et al. Voice and vocal self-assessment after thyroidectomy. *Head Neck* 2006;28(12):1106-14.
- 21) Kuhn MA, Bloom G, Myssiorek D. Patient perspectives on dysphonia after thyroidectomy for thyroid cancer. *J Voice* 2013;27(1):111-4.