

체질량지수와 공명주파수 간의 음향학적 특성

Acoustic Characteristics Between Body Mass Index and Formant Frequency

김무정¹, 박찬울¹, 김문정^{2*}

¹ 루터대학교 대학원 언어치료학과 언어치료전공 석사과정

² 루터대학교 언어치료학과 교수

Mu Jung Kim¹, Chan Oul Park¹, Moon Jeoung Kim^{2*}

¹ Dept. of Speech-Language Pathology, Graduate School, Luther University, Master Student

² Dept. of Speech-Language Pathology, Luther University, Professor

Purpose: The purpose of this study was to investigate the relation between body mass index, height and weight, and the correlation between body mass index and Formant frequency. **Methods:** The subjects of this study were 15 standard subjects and 15 obese subjects aged 19 to 29 who live in Gyeonggi - do. The relationship between body mass index and Formant frequency was analyzed. In order to compare the correlation between BMI and Formant frequency, we investigated the relationship of person 's correlation. Multiple regression analysis was performed to investigate the effect of BMI on height, weight, and Formant frequency. Body composition, body fat and body weight, percentage were measured using a body composition analyzer (Inbody, 770). The subjects' voice was recorded in a noise analysis room without noise. The equipment used for recording was a headset microphone (Sennheiser PC 320 G4ME) and an external sound card (Audio trak MAYA U5) connected to the notebook. **Results:** First, as a result of comparing the difference between the Formant frequencies of the Normal subject and the Over subject, F1 and F2 did not differ, and F3 showed a significant difference in /a/ and /u/ ($p < .05$). Second, the relationship between BMI and Formant frequency was examined. BMI and Formant frequency showed a low correlation ($p < .05$). Third, the effect of height and weight on Formant frequency according to BMI did not affect the Formant frequency according to BMI. **Conclusions:** This study suggests that physique and vocal cords are similar to independent views, and body mass index is not a factor to change the resonance frequency. Also, it can be seen that it differs, the slender person's vocal tract is long, and the vocal tract of obese people are short.

Correspondence: Moon Jeoung Kim, PhD

E-mail: wjshwk@hanmail.net

Received: February 20, 2019

Revision revised: April 20, 2019

Accepted: April 25, 2019

Keywords: Body mass index, formant frequency, acoustic characteristics

목적: 본 연구에서는 표준과 비만을 대상으로 체질량지수와 신장 및 체중이 어떤 관계가 있는지, 체질량지수와 공명주파수간의 어떤 상관관계가 있는지 알아보고자 하였다. **방법:** 연구 대상은 경기도에 살고 있는 19세 이상 29세 이하인 표준 15명과 비만 15명을 대상으로 하며 체질량지수와 공명주파수간의 연관성을 분석하였다. 또한 BMI와 공명주파수 간에 상관이 있는지 비교하기 위해 Person's 상관관계를 알아보았으며, BMI에 따른 신장, 체중, 공명주파수간의 미치는 영향을 알아보기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 검사도구는 체성분 분석기(Inbody, 770)를 이용하여 신장, 체중, 체지방률을 측정하였으며 대상자의 음성은 소음이 없는 음성분석실에서 녹음하였다. 녹음 시 이용한 기기는 헤드셋 마이크(Sennheiser PC 320 G4ME)와 외장형 사운드 카드(Audio trak MAYA U5)를 노트북에 연결하여 실시하였다. **결과:** 첫째, 표준 대상자와 비만 대상자의 공명주파수 차이를 비교한 결과 F1, F2는 차이가 없었으며, F3에서 /a/, /u/에서 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 둘째, BMI와 공명주파수 간의 상관관계를 살펴보았는데 BMI와 공명주파수는 낮은 상관관계를 보였다($p < .05$). 셋째, BMI에 따른 신장, 체중이 공명주파수에 미치는 영향을 살펴본 결과 BMI에 따른 신장과 체중은 공명주파수에 영향을 미치지 않았다. **결론:** 이 연구를 통해 선행연구의 상반되는 주장 중 체격과 성대는 독립적으로 자라는 견해와 비슷한 입장이며 체질량지수는 공명주파수를 달라지게 하는 요인이 될 수 없다. 또한 날씬한 사람의 성도의 길이는 길고, 뚱뚱한 사람의 성도의 길이는 짧다고 생각하는 일반적인 견해와 다르다는 것을 알 수 있다.

교신저자: 김문정 (루터대학교)

전자메일: wjshwk@hanmail.net

게재신청일: 2019.02.20

수정제출일: 2019.04.20

게재확정일: 2019.04.25

검색어: 체질량지수, 공명주파수, 음향학적 특성

1. 서론

신경계와 근골격계가 발달함에 따라 인간은 성장하게 되고 외부 환경과의 경험을 직립보행을 통해 확장하게 된다. 이러한 신경계와 근골격계의 발달 그리고 직립보행은 신생아의 성대에도 상당한 영향을 미치게 된다. 즉, 신생아는 직립보행을 하게 되면서 유아기 때 경추 2번에 위치한 성대가 경추 3번에서 5번 사이로 내려오게 된다(Sasaki, 1979). 이러한 신경계 및 근골격계 발달은 기능적으로도 많은 변화를 유발하게 된다. 즉, 테스토스테론 호르몬 혹은 에스트로겐 호르몬이 성에 따라 분비되는 양이 달라짐으로써 2차 성징이 나타나게 된다. 이러한 2차 성징은 성대구조 및 기능에 많은 영향을 미치게 된다. 일반적으로 남성의 경우 테스토스테론 호르몬 수치가 증가함에 따라 성대는 두꺼워지고 성대의 위치가 아래로 내려감에 따라 성도의 길이는 길어지게 된다(Fitch & Giedd, 1999). 이러한 성대의 위치와 성도의 길이는 일반적으로 체격의 발달과 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있는데 서양인과 동양인의 다른 식습관으로 인해 체격은 다르며(Han & Kim, 2005), 그에 따라 성도의 길이와 크기는 다를 것이라고 판단된다.

체격은 사회적으로 측정 가능한 변수로 알려져 있는데 가장 많이 사용하는 측정방법 중 하나가 체질량지수(Body Mass Index, 이하 BMI)이다. BMI는 신장과 체중의 관계를 살펴볼 수 있으며 비만의 정도를 살펴보는 데 매우 유용하다. 일반적으로 BMI 값이 클수록 신장과 체중을 나타내는 체격이 크다는 것을 의미하는데 따라서, 성대도 체격의 일부임으로 BMI 특성을 살펴보는 데 굉장히 유용할 것이라고 판단된다. 또한 비만진단기준(WHO West Pacific Region, 2000)에 의해 같은 분류에 포함되어 있을지라도 사람들마다 체격이 같다고 의미하지 않으며, 이런 특성에 따라 BMI와 공명주파수가 관계가 있을 경우에도 개개인의 신장과 체중은 다를 수 있으며 이에 따라 공명주파수와와의 관계는 달라질 것이다.

앞서 언급한바와 같이 성대는 호르몬 분비 정도에 따라 성대의 두께와 성도의 길이에 영향을 줄 수 있기 때문에 성대의 특성인 기본주파수와 공명주파수의 특징을 파악 할 수 있는 하나의 단서가 된다. Evans 등(2006)은 음성이 음향학적으로 기본주파수와 공명주파수로 구성되어 있다고 주장하였다. 기본주파수는 성대가 1초에 몇 번 진동하는가에 대한 횟수를 나타내며 성대의 크기, 길이, 두께, 밀도와 같은 물리적인 특성에 따라서 진동횟수가 달라지는 경향이 있다. 성대의 크기가 클수록, 두께가 두꺼울수록 밀도가 높을수록 기본주파수는 낮아지는 경향이 있다. 아동의 경우 기본주파수는 차이가 없지만 연령과 체격이 증가함에 따라 여성이 남성 에 비해 기본주파수가 높아지는 경향이 있다. 이에 따라 기본주파수는 BMI와 관련이 있다고 하였다(González, 2007).

공명주파수는 성대의 진동이 성도의 크기, 모양과 조음에 영향을 받아 음원이 산출되는 것으로(Fant, 1960) 물리적 특성에 따라 성별, 연령, 그리고 BMI에 영향을 받으며 공명주파수는 BMI와 관련이 있다고 하였다(Reby & McComb, 2003; Bruckert et al., 2005). 이에 반해 남성의 성대는 2차 성징시기에 두꺼골과 체격으로부터 분리가 되고(Fitch, 1997), 성대와 체격은 독립적으로 자라기 때문에 BMI와 공명주파수는 관련이 없다고 하였다(González,

2006). 이러한 선행연구를 살펴본 결과 BMI와 공명주파수의 관계는 불투명한 것으로 판단된다.

BMI와 공명주파수의 관계에 대한 선행연구에서는 대상자가 주로 서양인 이었으며 체격의 다양성을 고려하지 않은 연구들이 대부분 이었기 때문에(Hamdan, 2013; González, 2007) 결과를 해석할 때 오해의 소지를 남길 수 있다. 따라서 본 연구에서는 체격의 다양성을 고려하였으며 남성 대상으로 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 경기도에 살고 있는 정상 성인 남자 30명으로 선정하였으며 인근 관공서에 체질량지수(Body Mass Index: BMI) 측정을 의뢰하였다. 대상자는 표준 15명, 비만 15명으로 분류하였다. 대상자의 연령은 사춘기가 지난 19세 이상 29세 이하로 선정하였다. 대상자 선정기준은 과거에 음성치료를 받았거나, 현재 받고 있으며 감기 혹은 다른 이유로 인해 음성 질환을 갖고 있는 대상자는 제외시켰다.

2. 자료수집

1) 체질량 지수(Body Mass Index :BMI)

체성분 분석기(Inbody, 770)를 이용하여 신장, 체중, 체지방률을 측정하였다. 정확한 측정을 위해 대상자는 몸에 지니고 있는 액세서리를 모두 제거하고 측정 2시간 전 소변과 대변을 본 후, 공복상태에서 실시하였다. 대상자는 양말을 벗은 뒤 바른 자세로 정면을 응시한 후 양손 손잡이에 전극을 잡게 하였으며 발바닥은 발아래 전극에 맞게 선 뒤 측정하였다. 체질량지수는 체중/신장²을 통해 구할 수 있으며 WHO West Pacific Region(2000)에서 제시하는 아시아-태평양 지역의 체질량지수 기준은 다음과 같이 분류한다(표 1).

표 1. 아시아-태평양 비만진단기준 (WHO West Pacific Region, 2000)

Table 1. Asia-Pacific criteria for diagnosis obesity (Korean society for the study of obesity, 2000)

Classification	BMI(Kg/m ²)
Low body weight	18.5 less than
Normal weight	18.5 ~ 22.9
Over weight	23 ~ 24.9
Obesity I	25 ~ 29.9
Obesity II	30 over

2) 음성분석

대상자의 음성은 소음이 없는 음성분석실에서 녹음하였다. 녹음 시 이용한 기기는 헤드셋 마이크(Sennheiser PC 320 G4ME)와 외장형 사운드 카드(Audio trak MAYA U5)를 노트북에 연결하여

실시하였다. 마이크와 대상자의 입과의 거리는 10cm 정도 유지하여 편안한 음도와 강도로 단모음/아, 에, 이, 오, 우/를 5초 동안 발생시켜 음성을 녹음 하였다. 단모음 체계의 8모음 체계 중 /에/와 /어/는 음향공간이 같아 하나의 모음을 제외하였으며(Seong, 2004; Shin & Yeun, 1987), 선행연구에서 /으, 오/와 /어, 아/가 F1에서 같은 특성을 보이고, /어, 우/와 /으, 아/가 F2에서 같은 특성을 보이므로(Seong, 2004) 본 연구에서는 5개의 단모음/아, 에, 이, 오, 우/만 사용하였다.

녹음된 단모음/아, 에, 이, 오, 우/에 대한 F1, F2, F3 공명주파수 측정은 음성프로그램 Praat(ver.6.0)을 사용하였다. 녹음은 44,100Hz로 표본화율 한 후, 공명주파수를 정밀하게 살펴보기 위해 10,000Hz로 resampling 한 후 분석을 실시하였다.

3) 신뢰도

자료 분석에 대한 신뢰도를 검증하기 위해 검사자 간 신뢰도를 실시하였다. 검사자 간 신뢰도는 2급 언어치료사 자격증을 소지하고 있는 언어치료사가 음성샘플의 20%를 무작위로 선정하여 분석한 후 연구자의 결과와 비교하였다. Cronbach α 를 통해 확인한 결과, 검사자 간 신뢰도는 정확히 일치하였다(Cronbach $\alpha = .997$).

3. 자료처리

SPSS23을 이용하여, 표준 및 비만 대상자의 BMI와 공명주파수 간의 평균비교를 산출하고, BMI에 따른 신장, 체중이 공명주파수에 미치는 영향을 알아보기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 또한 BMI와 공명주파수 간의 상관을 분석하기 위해 Pearson's 상관계수를 분석하였다.

III. 연구 결과

1. 표준 대상자와 비만 대상자의 공명주파수 평균비교

표준과 비만 대상자의 공명주파수 평균비교를 한 결과는 다음과 같다(표 2, 그림 1, 그림 2, 그림 3). 표준 대상자와 비만 대상자의 공명주파수 F1, F2 평균값은 차이가 없었으며, F3에서는 /a/, /u/에서는 유의한 차이가 있었다($p < .05$).

표 2. 표준 대상자와 비만 대상자의 공명주파수 평균 비교

Table 2. Results of formant frequency average comparison between Normal and Over subject

FF	Group	N	Mean	SD	t	p
/a/ F1	Normal Weight	15	652.45	60.87	-.764	.451
	Over Weight	15	666.39	35.83		
/a/ F2	Normal Weight	15	1095.48	96.60	-.187	.853
	Over Weight	15	1101.69	85.30		
/a/ F3	Normal Weight	15	2762.16	236.43	1.198	.241
	Over Weight	15	2667.27	195.47		

FF	Group	N	Mean	SD	t	p
/e/ F1	Normal Weight	15	512.21	51.14	.995	.328
	Over Weight	15	492.56	56.88		
/e/ F2	Normal Weight	15	1857.82	132.41	.919	.366
	Over Weight	15	1818.66	98.67		
/e/ F3	Normal Weight	15	2571.46	155.83	-.357	.724
	Over Weight	15	2589.00	108.99		
/i/ F1	Normal Weight	15	310.40	38.34	-.128	.899
	Over Weight	15	312.25	40.63		
/i/ F2	Normal Weight	15	2231.70	215.56	.392	.698
	Over Weight	15	2207.27	108.92		
/i/ F3	Normal Weight	15	2942.87	224.26	.355	.726
	Over Weight	15	2916.54	179.90		
/o/ F1	Normal Weight	15	376.03	41.95	-.475	.638
	Over Weight	15	383.00	38.35		
/o/ F2	Normal Weight	15	712.98	69.38	.008	.993
	Over Weight	15	712.77	68.20		
/o/ F3	Normal Weight	15	2644.96	172.24	.239	.813
	Over Weight	15	2629.53	180.64		
/u/ F1	Normal Weight	15	349.18	26.83	-.222	.826
	Over Weight	15	351.84	37.78		
/u/ F2	Normal Weight	15	800.09	81.44	-.656	.517
	Over Weight	15	818.06	68.00		
/u/ F3	Normal Weight	15	2568.25	188.07	.925	.363
	Over Weight	15	2508.06	167.57		

$p > .05$

FF= Formant frequency

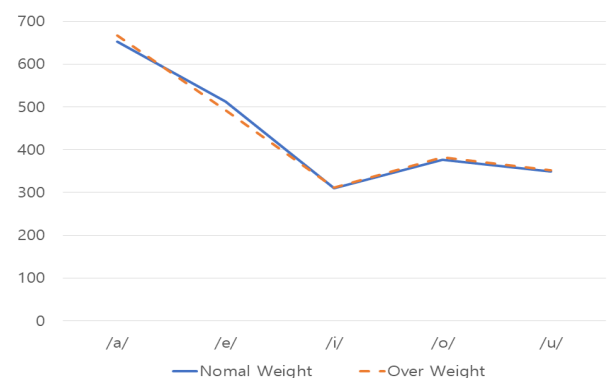


그림 1. 표준 대상자와 비만 대상자의 F1 평균 그래프

Figure 1. F1 Average graphs of Normal and Over subjects

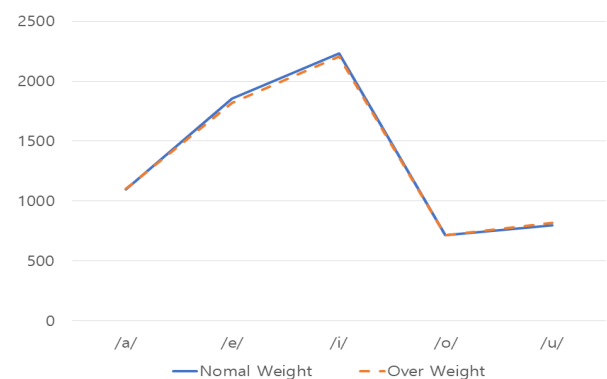


그림 2. 표준 대상자와 비만 대상자의 F2 평균 그래프

Figure 2. F2 Average graphs of Normal and Over subjects

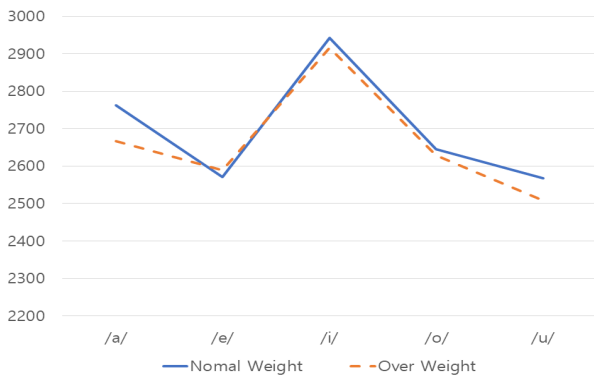


그림 3. 표준 대상자와 비만 대상자의 F3 평균그래프

Figure 3. F3 Average graphs of Normal and Over subjects

2. BMI와 공명주파수 간의 상관관계

BMI와 공명주파수 간의 상관관계는 낮았다(표 3).

3. BMI에 따른 신장, 체중이 공명주파수에 미치는 영향

BMI에 따른 신장, 체중이 공명주파수에 미치는 영향을 검증하

표 3. BMI와 공명주파수 간의 상관 관계

Table 3. Person's correlation between BMI and Formant frequency

	BMI	/a/ F1	/a/ F2	/a/ F3	/e/ F1	/e/ F2	/e/ F3	/i/ F1	/i/ F2	/i/ F3	/o/ F1	/o/ F2	/o/ F3	/u/ F1	/u/ F2	/u/ F3
BMI	1															
/a/ F1	.143	1														
/a/ F2	.035	.538**	1													
/a/ F3	-.221	.453*	.185	1												
/e/ F1	-.185	.407*	.258	.342	1											
/e/ F2	-.171	.357	.360	.395*	.312	1										
/e/ F3	.067	.224	.453*	.267	.160	.533**	1									
/i/ F1	.024	.292	.190	.395*	.673**	.143	.277	1								
/i/ F2	-.074	.466**	.257	.517**	.286	.701**	.400*	.110	1							
/i/ F3	-.067	.228	.437*	.276	-.031	.484**	.529**	-.231	.476**	1						
/o/ F1	.089	.328	.452*	.151	.560**	.350	.608**	.460*	.294	.364*	1					
/o/ F2	-.002	.074	.542**	-.039	.328	.104	.558**	.254	.096	.228	.613**	1				
/o/ F3	-.045	.519**	.231	.424*	.398*	.448*	.278	.273	.523**	.238	.444*	-.051	1			
/u/ F1	.042	.126	.260	.151	.377*	-.070	.225	.287	.254	.129	.589**	.483**	.239	1		
/u/ F2	.123	.031	.173	-.004	.536**	-.238	-.042	.431*	-.171	-.161	.172	.416*	-.149	.311	1	
/u/ F3	-.172	.208	.118	.517**	.333	.284	.120	.236	.566**	.294	.267	.022	.669**	.332	-.094	1

**p<.05

기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 먼저 BMI, 신장, 체중이 모음 /a/에서는 회귀분석 결과 통계적으로 유의하지 않게 나타났다($F=1.123, p>.05$). 또한 BMI, 신장, 체중이 모음 /e/에서도 통계적으로 유의하지 않게 나타났으며($F=.425, p>.05$), /i/에서도 통계적으로 유의하지 않게 나타났으며($F=.258, p>.05$). 그리고 모음 /o/에서 또한 유의한 결과를 나타내지 않았다($F=.708, p>.05$). 모음 /u/도 차이 있는 결과를 나타내지 않았다($F=1.94, p>.05$). 따라서 BMI, 신장, 체중이 공명주파수에 미치는 영향에 대한 회귀분석의 유의성 검증 결과, BMI에 따른 신장과 체중은 공명주파수에 영향을 미치지 않는 것으로 검증되었다.

IV. 논의 및 결론

BMI는 신장과 체중의 관계를 살펴 볼 수 있으며 공명주파수는 물리적 특성인 성별, 연령, BMI에 영향을 받을 수 있다는 선행연구의 토대로 본 연구에서는 BMI와 공명주파수 간의 관계를 살펴 보았다. 그 결과, BMI와 공명주파수 간의 관계는 유의한 차이가 없었다. 본 연구의 결과에서 2차 성징 시기에 성대는 체격과 독립적으로 자라면서 성대의 해부학적 특성이 BMI와 공명주파수는 관

계가 없다고 주장하는(González, 2006), 이러한 결과와 같은 맥락으로 설명된다.

그러나 Solomon 등(2011)과 Da Cunha 등(2011)은 비만인의 경우, 성대의 무게가 무겁기 때문에 공명과 발성에 악영향을 미치며 Evans 등(2006)과 Bruckert 등(2005)은 성대, 인두 벽 및 구강, 비강 등이 두개골 뼈에 묶여있기 때문에 성도는 체격과 해부학적으로 밀접한 관련이 있다는(Müller, 1848) 견해에 따라 BMI와 공명주파수의 관계가 있다고 본 연구의 결과와 상이하게 주장하고 있다. 이러한 이유는 BMI 진단 기준을 나누지 않은 대상으로 실시하여 관계가 있다는 결과를 나타냈지만(Evans et al., 2006), 본 연구에서는 BMI 진단 기준을 나눠 실시하여 관계가 없다는 결과를 나타냈다. 물론 본 연구는 저체중 대상자가 제외되었지만, 연구결과에 크게 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. National Health Insurance Service Obesity white paper (2017)에 의하여 전체비율 중에 저체중은 3.27%로 차지하는 비율이 낮았기에 사회현상학적으로 영향을 많이 차지하는 표준 대상자와 비만 대상으로 실시하였다.

또한 선행연구에서는 서양인 대상자 기준으로 실시하였고 본 연구에서는 동양인 대상자 기준으로 실시하였기에 관계가 없는 결과가 나타났다. 서양인의 체격과 동양인의 체격은 다르기 때문에 미국 성인남성과 본 연구 대상자의 5개모음에 대한 각 공명주파수 F1, F2, F3의 평균을 비교하여 보았는데 체격의 차이가 다름에도 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 모음 /아, 에, 오/ F1은 미국 성인남성이 높았으며 모음 /에, 이, 오, 우/ F2와 모음 /이/ F3은 미국 성인남성이 높게 나타났다. 이와 반대로 본 연구 대상자는 모음 /이, 우/ F1과 모음 /아/ F2, 모음 /아, 에, 오, 우/ F3에서 높게 나타났다. 이러한 결과를 통하여 공명주파수 값이 모음 별로 다른 이유는 사람들 마다 혀의 위치와 높이에 따라서 달라지는 것으로 판단되며 체격이 크면 클수록 공명주파수 값은 낮아지는 선행연구의 결과들과는 다르게 BMI는 공명주파수를 달라지게 하는 요인이 될 수 없으므로 성대는 해부학적으로 신체의 일부로 볼 수 없다. 또한 성대가 질량이 있다고 하더라도 체격에서 차지하는 비중이 굉장히 미비하며 BMI는 성도의 길이가 더 길어지는 문제에 많은 영향을 주지 않는 것으로 사료된다. 따라서 BMI와 공명주파수간의 관계는 없는 것으로 판단되며 일반적인 견해로 날씬한 사람의 성도의 길이는 길고, 뚱뚱한 사람의 성도의 길이는 짧다고 생각하고 있으나, BMI와 공명주파수의 관계가 없다는 연구 결과를 통해 일반적인 견해와 다르다는 것을 알 수 있다.

마지막으로 BMI와 공명주파수 간의 상관관계를 확인하였다. 신장은 세 집단으로 분류하여 살펴보았으며, 연구결과 신장과 공명주파수는 유의한 차이가 없었으며 체중과 공명주파수는 유의한 차이가 있었다. 이러한 이유는 신장이 작고 체중이 낮은 사람의 경우, BMI는 증가되지 않지만 신장이 작고 체중이 높은 사람일수록 BMI는 증가하게 된다. 또한 신장이 같고 체중이 다를 경우, 체중이 더 높은 사람의 BMI가 높게 측정 된다. 그러므로 BMI는 신장보다 체중과의 관계가 있는 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 통하여 BMI와 공명주파수는 관계가 없다는 것을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서는 20대의 남성으로만 실시하였기에 대표성이 부족하다. 이를 보완하기 위하여 연령별 대상군

을 확장하여 후속 연구가 이뤄져야 할 필요가 있다. 또한 BMI 외에도 비만을 나타낼 수 있는 방법에는 엉덩이둘레에 대한 허리둘레의 비율과(Waist-hip ratio; WHR) 넓적다리 비율이 있다(Ko & Kim, 2007; Berkai et al., 2016). 이는 BMI 외에도 비만을 나타내는 다양한 방법이 있음을 시사하고 있다. 추후 비만을 나타낼 수 있는 요인들을 광범위하게 고려한 연구가 이루어져야 할 것이다. 마지막으로 신장을 나눌 수 있는 기준을 체계적으로 체중과 함께 고려한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Berkai, C., Hariharan, M., Yaacob, S., & Omar, M. I. (2006). Prediction of body mass index (BMI) using speech signals with wavelet packet based features. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1), 559-565.
- Bruckert, L., Liénard, J. S., Lacroix, A., Kreutzer, M., & Leboucher, G. (2005). Women use voice parameters to assess men's characteristics. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1582), 83-89. doi:10.1098/rspb.2005.3265
- Conzález, J. (2007). Correlations between speakers' body size and acoustic parameters of voice. *Perceptual and motor skills*, 105(1), 215-220. doi:10.2466/ pms.105.5.215-220
- Da Cunha, M. G. B., Passerotti, G. H., Weber, R., Zilberstein, B., & Cecconello, I. (2011). Voice feature characteristic in morbid obese population. *Obesity Surgery*, 21(3), 340-344. doi:10.1007/s11695-009-9959-7
- Evans, S., Neave, N., & Wakelin, D. (2006). Relationships between vocal characteristics and body size and shape in human males: An evolutionary explanation for a deep male voice. *Biological Psychology*, 72(2), 160-163. doi:10.1016/j.biopsycho.2005.09.003
- Fant, G. (1960). *Acoustic theory of speech production*. Hague, Netherlands: Mouton & Co.
- Fitch, W. T. (1997). Vocal tract length and formant frequency dispersion correlate with body size in rhesus macaques. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102(2), 1213-1222.
- Fitch, W. T., & Giedd, J. (1999). Morphology and development of the human vocal tract: A study using magnetic resonance imaging. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(3), 1511-1522. doi:10.1121/1.427148
- González, J. (2006). Research in acoustics of human speech sounds: Correlates and perception of speaker body size. *Recent Research Developments in Applied Physics*, 9, 1-15.
- Han, S. M., & Kim, W. W. (2005). Early results of laparoscopic isolated sleeve gastrectomy without duodenal switch in the treatment of Korean morbid obesity. *Annals of Surgical Treatment and Research*, 68(6), 471-478. uci:G704-000991.2005.68.6.006

- [한상문, & 김원우. (2005). 대한민국 고도비만 환자의 치료에 있어서 십이지장 치환술을 배제한 복강경하 위소매절제술의 조기 결과. *대한외과학회지*, 68(6), 471-478.]
- Ko, J. H., & Kim, K. J. (2007). Comparison of body composition according to the obesity types based upon percent body fat, BMI and waist circumference in women. *Journal of Growth and Development*, 15(1), 1-7. uci:G704-001365.2007.15.1.003
- [고진호, & 김기진. (2007). 성인여성의 체지방률, BMI 및 허리 둘레로 구분한 비만유형간 신체구성의 비교. *한국발육발달학회지*, 15(1), 1-7.]
- Müller, J. (1848). *The physiology of the senses, voice, and muscular motion, with the mental faculties*. London: Taylor, Walton & Maberly.
- Mueller, P. B., Sweeney, R. J., & Baribeau, L. J. (1985). Senescence of the voice: Morphology of excised male larynges. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 37(3-4), 134-138.
- National Health Insurance Service. Obesity white paper. 2017. pp 41-127.
- [국민건강보험공단. (2017). 비만백서.]
- Reby, D., & McComb, K. (2003). Anatomical constraints generate honesty: Acoustic cues to age and weight in the roars of red deer stags. *Animal Behaviour*, 65(3), 519-530. doi:10.1006/anbe.2003.2078
- Sasaki, C. T. (1979). Development of laryngeal function: Etiologic significance in the sudden infant death syndrome. *The Laryngoscope*, 89(12), 1964-1982. doi:10.1288/00005537-197912000-00010
- Shin, H. J., & Yeun, S. W. (1987). A study on the formant analysis of Korean monophthongs and their resonance effect in vocal tract. *Journal of the Acoustical Society of Korea*, 6(2), 30-37. doi:10.1121/1.2025680
- [신현재, & 윤석왕. (1987). 한글 단모음의 포먼트 분석과 성도내의 공명효과에 관한 연구. *한국음향학회지*, 6(2), 30-37.]
- Seong, C. J. (2004). An acoustic analysis on the Korean 8 monophthongs. *Journal of the Acoustical Society of Korea*, 23(6), 454-461. uci:G704-000215.2004.23.6.006
- [성철재. (2004). 한국어 단모음 8개에 대한 음향분석. *한국음향학회지*, 23(6), 454-461.]
- Solomon, N. P., Helou, L. B., Dietrich-Burns, K., & Stojadinovic, A. (2011). Do obesity and weight loss affect vocal function? *Seminars in speech and language*, 32(1), 31-42. doi:10.1055/s-0031-1271973
- WHO West Pacific Region. The Asia-Pacific perspective: refining obesity and its treatment. IOTF Feb. 2000.