

Acoustic Characteristics of Patients With Voice Disorder According to Face Mask Wearing Conditions

Geun Sik Choi¹, Hee June Park², Jin Dong Kim^{2*}

¹ Dept. of Otolaryngology-Head & Neck Surgery, Busan Paik Hospital, Inje University, Audiologist

² Dept. of Speech & Hearing Therapy, Catholic University of Pusan, Professor

Purpose: The purpose of this study is to investigate the characteristics of voice change in the group of patients with voice disorders with breathy voice characteristics due to wearing a face mask.

Methods: The subjects of this study were 10 people with vocal nodules, 10 with vocal cord palsy, and 10 with leukoplakia. As a research tool, Praat, MDVP, ADSV, and GRBAS were used by collecting /a/ vowel sustained phonation to examine the acoustic characteristics of speech.

Results: As for the acoustic and auditory perceptual characteristics according to the face mask wearing conditions, there were significant differences in voice intensity, SPI, CPP, and L/H ratio in the vocal cord nodules, and in vocal cord palsy, voice intensity, jitter, SPI, CPP, L/H ratio, A and S showed a significant difference. In leukoplakia, there were significant differences in voice intensity, jitter, shimmer, CPP, L/H ratio, G and R.

Conclusions: It was found that the louder the noise and the more filters in the face mask, the more difficult it was to understand the characteristics of pathological voices by attenuating the noise energy. Accordingly, if the pathological voice is severe, it is necessary to be careful in interpreting the results when performing a voice assessment after wearing a face mask, and it is necessary to present systematic research results according to the noise level and face mask type in the future.

Correspondence: Jin Dong Kim, PhD

E-mail: jdkim@cup.ac.kr

Received: December 04, 2023

Revision revised: December 24, 2023

Accepted: January 31, 2024

This article was based on the first author's master's thesis from Catholic University of Pusan (2022).

ORCID

Geun Sik Choi

<https://orcid.org/0009-0000-7223-8542>

Hee June Park

<https://orcid.org/0000-0002-0522-5220>

Jin Dong Kim

<https://orcid.org/0000-0001-9421-9481>

Keywords: Face mask, voice disorder, acoustic characteristics, auditory perception characteristics

1. 서론

코로나바이러스감염증-19(COVID-19)로 인한 마스크 착용 방역 지침으로 최근까지도 감염취약시설인 의료기관에서는 마스크를 의무적으로 착용하였다(Korean disease control and prevention agency: KDCA, 2023). 하지만 마스크 착용으로 인한 여러 문제점들이 보고되고 있다. Ribeiro 등(2022)은 직장 에서 근무시간 동안 마스크를 착용한 대상자와 재택근무 중 필요시에만 마스크를 착용하는 대상자에게 음성에 대한 자기인식 조사를 실시하였다. 그 결과 직장에서 장시간 마스크를 착용하는 대상자들은 재택근무하는 대상자들에 비해 음성 명료도가 감소한 것을 지각하고 그에 따른 음성 산출을 위한 노력이 증가함에 따라 음성 피로도가 높아지고, 청각적 피드백의 어려움이 있음을 확인하였다. 즉 마스크를 착용할 경우 호흡이나 발성에 어려움을 호소하고 있으며, 말 명료도를 높이기 위해 음성 오·남용을 하여 음성 피로를 가중시키는 것을 알 수 있었

다. 또한 교사나 언어재활사 등 아동 교육과 관련된 직업 종사자도 마스크로 인한 어려움을 호소하고 있다. 코로나 전후 영·유아발달에 대한 교사의 전반적인 인식은 사회성, 언어, 대근육, 소근육, 자조, 인지 순으로 발달 격차를 보인다고 보고하였다(Choi & Jung, 2022).

마스크 착용으로 인해 느끼는 주관적인 음성변화 이외에도 마스크를 착용하여 나타나는 음성의 왜곡이나 변화에 대해 객관적인 연구들이 보고되고 있다. Saeidi 등(2016)은 수술용 마스크 착용 시 약 4.5kHz의 고주파에서 약 14dB 정도 감소하는 스펙트럼 왜곡이 나타난다고 보고하였다. Jeong 등(2020)은 사물레이터(head and torso simulator: HATS)의 입에 스피커를 위치시켜 1m와 2m 거리 떨어진 곳에서 음성 전달 지수(speech transmission index: STI)를 측정하였다. 그 결과 보건용 마스크와 일회용 마스크를 착용하면 2kHz 이상 대역에서 음성 강도가 줄어든다고 보고하였다. 이상의 연구를 통해 마스크를 착용할 경우 말소리의 일부 주파수, 특히 고주파수 왜곡이 일어난다는 것을 알 수 있다. 마스크 착용 여부에 따른 음성분석 결과값 변화는 특히 고주파수의 소음을 가진 기식성 음성 산출을 보이는 대상자에게 나타날 수 있다. 이러한 기식 음성 정도는 질환의 중증도에 비례해 지각되는데 마스크 착용이 고주파 에너지를 감소시켜 기식 음성의 정도를 파

악하는 것에 어려움 발생시킬 수 있다.

이처럼 마스크 착용 후 음성분석을 진행하게 되면 신뢰도 높은 검사를 시행하기 어려울 수 있다. 특히 기식성이 심한 음성장애의 환자의 경우 음성분석 결과에 마스크가 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다. 그리고 마스크의 필터 수준에 따라라도 음성분석 결과값이 다를 수 있기에 본 연구는 마스크 착용 조건(마스크 미착용, 덴탈 마스크, KF94 마스크)에 따른 음성장애 환자의 음향학적 특징에 대해서 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 부산 지역에 소재한 3차 대학병원에서 음성장애로 진단받은 성대결절 10명, 성대마비 10명, 백반증 10명을 대상으로 실시하였다. 이비인후과 전문의가 후두 내시경과 스트로보스코피 검사를 통해 성대결절, 성대마비, 백반증으로 진단한 환자를 선정하였으며 이전에 후두미세수술이나 성대 내 주입술을 시행 받은 과거력이 있거나 약물 복용 중인 환자는 대상에서 제외하였다.

본 연구는 진행에 앞서 부산가톨릭대학교 기관생명윤리위원회 (Institutional Review Board: IRB)의 심의 면제승인을 받은 후 연구를 진행하였다(No. CUIRB-2021-010).

2. 연구 절차

본 연구에서는 평판형 덴탈 마스크와 3단 가로 접이식 KF94 마스크를 사용하였다. 덴탈 마스크는 제조사 (주)더올바른, 제조국 국산, 대형이고, KF94 마스크는 제조사 (주)브레스마스크, 제조국 국산, 대형이다. 두 마스크 모두 식약처 허가품이다. 음향학적 음성평가는 Praat(version 6.2.01)으로 음성 강도(intensity), CSL(model 4150B, Kaypentax, USA)의 MDVP(multi-dimensional voice program)로 기본 주파수(fundamental frequency: F0), 주파수 변동률(jitter), 진폭 변동률(shimmer), 소음대배음비(noise to harmonic ratio: NHR), 연성발성지수(soft phonation index: SPI), ADSV로 캡스트럼 피크 현저성(cepstral peak prominence: CPP), 캡스트럼 피크 현저성 표준편차(cepstral peak prominence standard deviation: CPPsd), 저주파수 대 고주파수 스펙트럼 에너지 비율(low-high spectral ratio: L/H ratio)를 측정하였다. 청지각적 음성평가(GRBAS)는 5년 이상 음성평가 경험이 있는 1급 언어재활사 3명에게 의뢰하여 마스크 착용 조건에 따라 청지각적으로 차이가 있는지 평가하였다.

음성 샘플 수집은 외부 소음이 차단된 방음 부스 내에서 언어재활사와 대상자의 1:1 상황에서 이루어졌다. 음성 샘플은 대상자의 입에서 약 5cm 떨어진 곳에 마이크를 위치시켜, 대상자가 일상생활에서 산출하는 음성의 음도와 강도로 /a/ 모음 연장 발성을 5초 이상 산출하고, 이를 녹음하였다. 모든 음성 샘플은 표본 추출률은 44,000Hz, 양자화는 16bit, wav의 형태로 저장하였다.

분석은 소음이 최소화된 장소에서 실시하고, 모음 연장 발성은 가장 안정적이고 연속된 약 2초 구간을 선택하여 분석하였다. 본 연구의 음성 샘플 분석 조건은 마스크 미착용, 덴탈 마스크, KF94 마스크 착용 환경이었다.

마스크 착용 조건에 따른 병리적 음성을 분석하기 위해 동일인이 발생한 원음을 사용하는 것이 좋지만, 동일인이라 할지라도 매번 같은 음도, 강도, 음질의 음성을 산출할 수 없다. 따라서 선행 연구에서 동일 음성을 이용하여 마네킹에 스피커를 장착시켜 동일한 녹음된 음성 샘플을 활용하여 음도, 강도, 음질을 통제하여 실험한 선행 연구를 참고하여, 각기 다른 마스크 착용 조건을 제시하여 마스크 영향으로 인한 음성변화를 관찰하였다(van der Woerd et al., 2020). 녹음된 음성 샘플을 스피커(모델=PRX415, 제조사=JBL, 정격출력=1200W, 주파수 범위=55~20,000Hz, 음압강도=120dB)로 69dB 출력하여 마스크를 통과하도록 하고, 마이크를 통해 녹음하여 음향학적 분석, 청지각적 분석을 실시하였다(Figure 1).

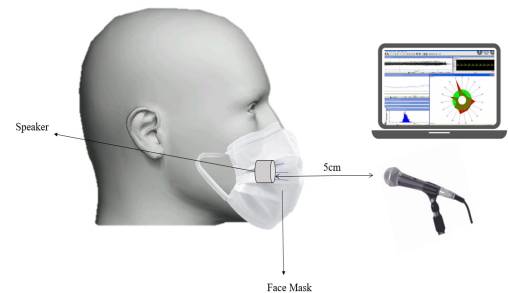


Figure 1. Experimental design

3. 결과 처리

통계 처리는 IBM SPSS Statistics 26을 이용하였다. 마스크 착용 조건(마스크 미착용, 덴탈 마스크, KF94 마스크)에 따른 Praat, MDVP, ADSV 결과, GRBAS 평가 결과를 비교하기 위하여 반복측정분산분석(repeated measures ANOVA)을 시행하였다. 이때 p -value값이 .05 이하인 경우 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

III. 연구 결과

1. 음성장애 환자의 마스크 착용 조건에 따른 음향학적 변수 비교

1) 성대결절 환자의 음향학적 특성 비교

마스크 착용 조건에 따른 성대결절의 음향학적 특성을 Table 1에 제시하였다. 그 결과 음성 강도, SPI, CPP, L/H ratio에서 유의미한 차이를 보였다. 음성 강도는 덴탈 마스크와 마스크 미착용에 비해 KF94 마스크가 통계적으로 유의미하게 낮았다($p < .01$). SPI는 덴탈 마스크, 마스크 미착용, KF94 마스크 순으로 유의하게 감소하였다($p < .05$). CPP는 덴탈 마스크, 마스크 미착용, KF94

마스크 순으로 유의미하게 증가하였다($p<.05$). L/H ratio는 KF94 마스크와 마스크 미착용에 비해 덴탈 마스크가 유의미하게 높았다($p<.01$).

Table 1. Acoustic characteristics of vocal cord nodules according to mask wearing conditions

Acoustic characteristics	Face mask condition	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>F</i>	post-hoc
Intensity	Non	75.97	41.43	45.740**	b,a>c
	Dental	76.31	41.64		
	KF94	73.32	41.63		
F0	Non	199.61	41.43	2.680	
	Dental	199.96	41.64		
	KF94	199.95	41.63		
Jitter	Non	1.05	.84	1.177	
	Dental	1.09	.99		
	KF94	1.12	.92		
Shimmer	Non	3.19	1.34	2.568	
	Dental	3.41	1.22		
	KF94	3.31	1.20		
NHR	Non	.12	.02	.917	
	Dental	.12	.02		
	KF94	.12	.02		
SPI	Non	31.44	12.51	13.771**	b>a>c
	Dental	33.90	12.74		
	KF94	29.15	10.92		
CPP	Non	9.73	2.30	6.293*	c>a>b
	Dental	9.35	2.19		
	KF94	9.83	2.44		
CPPsd	Non	.83	.54	3.275	
	Dental	.77	.53		
	KF94	.80	.53		
L/H ratio	Non	36.58	5.22	33.837**	b>a,c
	Dental	37.84	4.86		
	KF94	36.49	5.14		

Note. Values are presented as mean (*SD*).

F0=fundamental frequency; NHR=noise to harmonic ratio; SPI=soft phonation index; CPP=cepstral peak prominence; CPPsd=cepstral peak prominence standard deviation; L/H ratio=low-high spectral ratio.

a=non mask; b=dental mask; c=KF94 mask.

* $p<.05$, ** $p<.01$

2) 성대마비 환자의 음향학적 특성 비교

마스크 착용 조건에 따른 성대마비의 음향학적 특성을 Table 2에 제시하였다. 그 결과 음성 강도, jitter, SPI, CPP, L/H ratio에서 유의미한 차이를 보였다. 음성 강도는 마스크 미착용, 덴탈 마스크, KF94 마스크 순으로 유의미하게 감소하였다($p<.01$). jitter는 마스크 미착용, 덴탈 마스크, KF94 마스크 순으로 유의미하게 증가하였다($p<.05$). SPI는 마스크 미착용이 덴탈 마스크와

KF94 마스크보다 유의미하게 높았다($p<.01$). CPP는 마스크 미착용이 덴탈 마스크와 KF94 마스크보다 유의미하게 낮았다($p<.01$). L/H ratio는 마스크 미착용이 덴탈 마스크와 KF94 마스크보다 유의미하게 높았다($p<.01$).

Table 2. Acoustic characteristics of vocal cord palsy according to mask wearing conditions

Acoustic characteristics	Face mask condition	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>F</i>	post-hoc
Intensity	Non	79.22	4.47	476.747**	a>b>c
	Dental	74.81	4.56		
	KF94	74.02	4.91		
F0	Non	169.95	60.58	1.918	
	Dental	166.07	57.23		
	KF94	162.65	58.70		
Jitter	Non	4.59	5.99	8.507**	c>b>a
	Dental	5.24	6.27		
	KF94	5.64	6.77		
Shimmer	Non	10.02	9.94	.089	
	Dental	10.09	8.41		
	KF94	9.82	8.41		
NHR	Non	.26	.28	.590	
	Dental	.27	.26		
	KF94	.26	.25		
SPI	Non	40.17	20.15	52.901**	a>b,c
	Dental	33.79	17.32		
	KF94	33.73	18.03		
CPP	Non	5.94	3.31	11.192**	c,b>a
	Dental	6.04	3.39		
	KF94	6.07	3.31		
CPPsd	Non	.85	.50	.856	
	Dental	1.03	1.13		
	KF94	.89	.51		
L/H ratio	Non	38.13	7.53	5.304*	a>b,c
	Dental	36.33	7.72		
	KF94	34.60	9.97		

Note. Values are presented as mean (*SD*).

F0=fundamental frequency; NHR=noise to harmonic ratio; SPI=soft phonation index; CPP=cepstral peak prominence; CPPsd=cepstral peak prominence standard deviation; L/H ratio=low-high spectral ratio.

a=non mask; b=dental mask; c=KF94 mask.

* $p<.05$, ** $p<.01$

3) 백반증 환자의 음향학적 특성 비교

마스크 착용 조건에 따른 백반증의 음향학적 특성을 Table 3에 제시하였다. 그 결과 음성 강도, jitter, shimmer, SPI, CPP, L/H ratio에서 유의미한 차이를 보였다. 음성 강도는 마스크 미착용이 덴탈 마스크와 KF94 마스크 보다 유의미하게 높았다($p<.01$). jitter는 마스크 미착용이 덴탈 마스크와 KF94 마스크 보다 유의

Table 3. Acoustic characteristics of leukoplakia according to mask wearing conditions

Acoustic characteristics	Face mask condition	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>F</i>	post-hoc
Intensity	Non	79.35	1.55	906.444**	a)>c,b
	Dental	76.40	1.61		
	KF94	76.43	1.53		
F0	Non	115.50	22.02	1.007	
	Dental	115.56	21.99		
	KF94	115.51	22.01		
Jitter	Non	.74	.41	5.311*	b,c)>a
	Dental	.87	.49		
	KF94	.80	.44		
Shimmer	Non	3.06	1.55	11.475**	b)>c,a
	Dental	3.30	1.55		
	KF94	3.10	1.54		
NHR	Non	.14	.02	2.219	
	Dental	.14	.03		
	KF94	.14	.02		
SPI	Non	28.53	9.61	37.744**	a)>b)>c
	Dental	26.86	9.44		
	KF94	26.10	8.98		
CPP	Non	12.43	1.63	10.247**	b)>c,a
	Dental	12.60	1.55		
	KF94	12.50	1.62		
CPPsd	Non	.82	.49	.736	
	Dental	.81	.48		
	KF94	.83	.51		
L/H ratio	Non	38.29	4.71	27.034**	c)>b,a
	Dental	38.33	4.52		
	KF94	38.76	4.65		

Note. Values are presented as mean (*SD*).

F0=fundamental frequency; NHR=noise to harmonic ratio; SPI=soft phonation index; CPP=cepstral peak prominence; CPPsd=cepstral peak prominence standard deviation; L/H ratio=low-high spectral ratio.

a=non mask; b=dental mask; c=KF94 mask.

* $p<.05$, ** $p<.01$

미하게 낮았다($p<.05$). shimmer는 덴탈 마스크가 KF94 마스크와 마스크 미착용 보다 유의미하게 높았다($p<.01$). CPP는 덴탈 마스크가 KF94 마스크와 마스크 미착용 보다 유의미하게 높았다($p<.05$). L/H ratio는 KF94 마스크가 덴탈 마스크, 마스크 미착용 보다 유의미하게 높았다($p<.01$).

2. 음성장애 환자의 마스크 착용 조건에 따른 청지각적 변수 비교

1) 성대결절 환자의 청지각적 특성 비교

마스크 착용 조건에 따른 성대결절의 청지각적 특성을 Table 4에 제시하였다. 그 결과 모든 측정 변수에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

Table 4. Auditory perception characteristics of vocal cord nodules according to mask wearing conditions

Auditory perception characteristics	Face mask condition	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>F</i>
G (grade)	Non	1.30	.70	.326
	Dental	1.33	.61	
	KF94	1.33	.71	
R (rough)	Non	.67	.66	.383
	Dental	.57	.63	
	KF94	.67	.66	
B (breathy)	Non	.83	.91	.436
	Dental	.83	.87	
	KF94	.90	.85	
A (asthenic)	Non	.23	.57	.659
	Dental	.30	.54	
	KF94	.30	.70	
S (strained)	Non	.23	.43	2.446
	Dental	.27	.45	
	KF94	.33	.48	

Table 5. Auditory perception characteristics of vocal cord palsy according to mask wearing conditions

Auditory perception characteristics	Face mask condition	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>F</i>	post-hoc
G (grade)	Non	2.23	.77	.926	
	Dental	2.13	.73		
	KF94	2.10	.55		
R (rough)	Non	1.73	1.05	3.308	
	Dental	1.77	1.01		
	KF94	1.53	.73		
B (breathy)	Non	1.47	.90	1.634	
	Dental	1.33	.61		
	KF94	1.33	.96		
A (asthenic)	Non	.83	.95	4.462*	a)>b,c
	Dental	.70	.79		
	KF94	.70	.79		
S (strained)	Non	.70	.92	5.476*	c)>a,b
	Dental	.70	.88		
	KF94	1.00	1.02		

Note. a=non mask; b=dental mask; c=KF94 mask.

* $p<.05$, ** $p<.01$

2) 성대마비 환자의 청지각적 특성 비교

마스크 착용 조건에 따른 성대마비의 청지각적 특성을 Table 5에 제시하였다. 그 결과 A(무력성), S(긴장성)에서 유의미한 차이를 보였다. A는 마스크 미착용이 덴탈 마스크, KF94 마스크 보다 유의미하게 높았다($p<.05$). S는 KF94 마

스크가 마스크 미착용과 덴탈 마스크 보다 유의미하게 높았다($p<.05$).

3) 백반증 환자의 청지각적 특성 비교

마스크 착용 조건에 따른 백반증의 청지각적 특성을 Table 6에 제시하였다. 그 결과 G(전체 음성의 심한 정도), R(거친 음성)에서 유의미한 차이를 보였다. G는 덴탈 마스크와 마스크 미착용이 KF94 마스크 보다 유의미하게 높았다($p<.01$). R은 마스크 미착용과 덴탈 마스크가 KF94 마스크 보다 유의미하게 높았다($p<.05$).

Table 6. Auditory perception characteristics of leukoplakin according to mask wearing conditions

Auditory perception characteristics	Face mask condition	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>F</i>	post-hoc
G (grade)	Non	1.80	.61	8.826**	b,a>c
	Dental	1.90	.55		
	KF94	1.60	.50		
R (rough)	Non	1.60	.81	4.462*	a,b>c
	Dental	1.60	.68		
	KF94	1.40	.68		
B (breathy)	Non	.50	.82	1.526	
	Dental	.60	.81		
	KF94	.50	.68		
A (asthenic)	Non	.20	.41	1.851	
	Dental	.30	.65		
	KF94	.10	.31		
S (strained)	Non	.60	.68	3.222	
	Dental	.50	.68		
	KF94	.70	.65		

Note. a=non mask; b=dental mask; c=KF94 mask.
* $p<.05$, ** $p<.01$

IV. 논의 및 결론

본 연구는 음성장애 환자 30명을 대상으로 마스크 착용 조건(마스크 미착용, 덴탈 마스크, KF94 마스크)에 따른 음향학적 특성, 청지각적 특성을 알아보고자 하였다. 대부분의 선행 연구들은 정상음성의 대상자들을 대상으로 실험을 실시하였다. 그 결과 고주파수 에너지의 감쇄가 나타났고, 그래서 본 연구는 이러한 영향을 가장 많이 받는 기식성 음성을 산출하는 음성장애 환자에게 실험을 실시하였다. 또한 선행 연구에서는 마스크 착용 전후로 실제 음성을 산출하여 음향학적 분석을 실시하였다. 하지만 마스크의 착용 전후에 발생 패턴이 변화하여 음향학적 변수의 차이를 유발하였다. 그래서 본 연구에서는 스피커로 동일한 음원을 산출하여 일정한 발생 패턴을 유지한 채 마스크 착용 조건을 비교 분석하였다. 그로 인해 오로지 마스크의 영향으로 인한 음성변화가 나타나는지 살펴보았다.

마스크 착용 조건에 따른 음성장애 환자의 음향학적 변수 비교 결과에 대한 요약과 논의는 다음과 같다.

첫째, 마스크 착용 조건에 따른 성대결절 환자의 음향학적 특성(음성 강도, F0, jitter, shimmer, NHR, SPI, CPP, CPPsd, L/H ratio)을 비교한 결과, 음성 강도, SPI, CPP, L/H ratio에서 유의미한 차이가 나타났다. 음성 강도는 덴탈 마스크, 마스크 미착용, KF94 마스크 순으로 감소하였다. Gama 등(2022)은 마스크를 착용하고 발성하는 것은 마스크 필터 효과로 인해 발화자가 음성 강도가 약해질 것을 예상하여 노력성 발성을 하게 되고 이로 인해 발성 강도의 증가를 유발한다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 스피커로 동일한 강도의 음성을 산출하도록 하였기에 마스크에 따라 음성의 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 선행 연구에서 마스크 종류에 따라 필터의 개수가 다르고 필터의 재질에 따라 음향 감쇄가 나타난다는 결과와 일치하였다(Bottalico et al., 2020; Corey et al., 2020). SPI는 발성하는 동안 성대가 얼마나 완전하게 내전되는지 나타내는 지표로 사용되고 있다. 하지만 본 연구에서는 성대의 완전한 내전 여부와 관계없이 마스크 착용으로 인해 1,600~2,400Hz 때의 소음이 마스크 필터로 음향 감쇄가 되면서 소음은 감소하고 배음이 증가하는 결과를 초래하여 SPI 값이 감소되면서 통계적으로 유의하게 음질이 향상되는 결과를 가져온 것으로 판단된다.

CPP는 마스크 미착용보다 KF94 마스크 착용 시 증가하였고, L/H ratio에서는 마스크 착용 조건에 따른 음성 강도의 감소 패턴과 유사하게 나타났다. 이는 마스크를 이용한 음성을 분석한 다른 선행 연구(Joshi et al., 2023; Lin et al., 2023; Magee et al., 2020; Nguyen et al., 2021)의 결과와는 달랐다. 선행 연구에서는 대상자가 해당 조건마다 직접 발성하여 CPP가 마스크 착용 전후에 따라 유의미한 차이가 없었다고 보고하였다. 하지만 본 연구에서는 스피커로 동일한 강도를 산출하였기 때문에 마스크의 착용 조건이 음성의 강도에 영향을 주고, CPP, L/H ratio에 영향을 끼친 것으로 보인다. 음성 강도와 CPP, L/H ratio에 대한 선행 연구를 살펴보면 음성 강도가 증가할수록 CPP, L/H ratio도 상대적으로 증가한다고 보고되었다. 이는 실제 음성산출에서 강도 증가는 성대 내전을 견고하게 만들어 기식성 음성이 감소하는 결과로 판단되고 있다(Brockmann-Bauser et al., 2021). 하지만 본 연구에서는 음성의 강도가 감소됨에 따라 CPP는 증가되었다. L/H ratio는 마스크 미착용보다 덴탈 마스크를 착용했을 때 오히려 증가하고 KF94 마스크 착용 시 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 ADSV에서 CPP 값 측정에서는 60~300Hz에 해당하는 각 쉼스트럴 데이터를 분석하고 L/H ratio의 경우 0~4,000Hz 사이의 주파수 범위의 에너지 비율(dB)을 4,000Hz 이상의 주파수 에너지로 나눈 값으로 계산하고 있기 때문에 소음의 에너지 비율에 대한 신중한 해석이 필요하다(Murton et al., 2020). 즉, 마스크 종류에 따라 각 주파수 범위마다 감소하는 소음 에너지의 정도가 다를 수 있고 이에 따라 CPP와 L/H ratio에 영향을 주는 것으로 판단된다. 따라서 마스크 종류에 따른 병리적 음성을 해석할 때 각 마스크마다 에너지 감쇄가 다르기 때문에 신중하게 해석해야 하는 것으로 판단된다.

둘째, 마스크 착용 조건에 따른 성대마비 환자의 음향학적 특성

을 비교한 결과 음성 강도, jitter, SPI, CPP, L/H ratio에서 유의미한 차이를 보였다. 음성 강도는 마스크 미착용, 텐탈 마스크, KF94 마스크 순으로 유의미한 강도 감소를 보였다. 강도가 감소함에 따라 SPI, L/H ratio가 감소하는 경향이 나타났는데 이는 앞의 성대결절에서 설명한 것과 같은 이유로 보인다. 그러나 jitter, CPP의 경우엔 필터가 많은 것을 착용할수록 값이 증가하는 패턴을 보였다. jitter의 경우 Lin 등(2023)에 따르면 F0와 음성 강도가 jitter, shimmer에 영향을 준다고 하였다. 본 연구에서도 마스크로 인해 음성 강도의 감소가 음성 왜곡을 일으켜 jitter가 증가한 것으로 보인다. 그러나 CPP는 성대결절의 경우 jitter 값이 약 1.05% 이지만 성대마비의 경우 약 4.59%로 기본 샘플 음성에서 성대마비가 성대결절에 비해 많은 소음을 포함하고 있다고 할 수 있다. 이는 음성의 강도보다 성대마비의 많은 소음성 에너지를 마스크 필터로 인해 음향 감쇄가 일어나고 이러한 감쇄는 소음성이 적은 성대결절에 비해 성대마비에서 CPP가 통계적으로 유의하게 증가한 것으로 판단된다. 이는 선행 연구에서 마스크 착용의 경우 종류에 따라 차이가 있지만 공통적으로 소음이 작은 경우는 1,500~5,300Hz까지 주요 감쇄가 나타났고, 소음이 많은 경우 1,400~10,000Hz까지 광범위하게 주파수 감쇄가 나타났다(Maryn et al., 2023). 이 뿐만 아니라 마스크의 필터가 두꺼워 질수록 6,000Hz 때의 주파수를 일부 증폭시켰는데 이 또한 CPP 값을 증가시킨 요인으로 해석할 수 있다. 소음의 경우 고주파수 에너지를 많이 포함하고 있기 때문에 성대마비의 경우 소음의 많은 감쇄가 발생했고 이로 인해 CPP 값은 증가한 것으로 해석할 수 있다.

셋째, 마스크 착용 조건 간 백반증 환자의 음향학적 특성은 음성 강도, jitter, shimmer, CPP, L/H ratio에서 유의미한 차이를 보였다. 음성 강도는 마스크 필터 개수가 증가함에 따라 강도가 감소하는 패턴을 보였다. 음성의 강도가 감소에 따라 jitter, shimmer가 증가하여 주파수 및 강도 측면에서 음성이 더 나빠졌다. Lin 등(2023)은 jitter, shimmer가 마스크 미착용과 마스크 착용을 비교분석 시 마스크 착용이 유의미하게 감소하였다고 했다. 이는 마스크를 착용하고 발성을 하면 노력발성의 결과로 F0과 음성 강도가 증가하였기 때문이라고 하였다. 하지만 본 연구에서는 동일한 음성 샘플을 사용하여 강도를 통제한 후 분석한 결과 음성 강도가 감소함에 따라 jitter, shimmer가 증가하는 패턴을 보였다. 그리고 음질 측면에서는 SPI가 감소하였고, CPP, L/H ratio가 증가하여 음질 향상을 보였다. Nguyen 등(2021)은 성문에서 발생한 소음은 주로 고주파로 이루어져 있고, 다른 연구(Jeong et al., 2020; Saeidi et al., 2016)와 마찬가지로 마스크가 고주파 에너지를 감소시켜 HNR 값이 증가하였다고 보고하였다. 성문 소음의 감소로 인해 SPI, CPP, L/H ratio가 개선됨을 확인할 수 있었다.

마스크 착용 조건에 따른 음성장애 환자의 청지각적 변수 비교 결과에 대한 요약과 논의는 다음과 같다.

마스크 착용 조건에 따른 성대결절 환자의 청지각적 특성(GRBAS)을 비교한 결과, 음향학적 음성 특성과는 다르게 모든 변수에서 유의미한 차이는 보이지 않았다. 하지만 성대마비와 백반증을 대상으로 한 결과는 달랐다. 성대마비의 경우 마스크 착용 조

건에 따라 A, S에서 유의미한 차이를 보였다. 무력성의 경우 마스크 착용 시 유의미한 감소를 보였다. 이는 마스크 착용 시 나타나는 음성 강도의 감소의 영향으로 보인다. 긴장성의 경우는 jitter 증가, L/H ratio 감소로 주파수 변인과 음질이 상대적으로 나빠져 나타난 것으로 보인다. 백반증의 경우는 마스크 미착용과 텐탈 마스크 간 유의미한 차이는 없었으나, KF94 마스크와는 유의미한 차이가 나타났다. KF94 마스크 착용 시 G, R의 유의미한 감소를 보였다. 이는 CPP, L/H ratio 증가, SPI 감소와 같이 마스크 착용이 성대 소음을 감소시켜 청지각적으로 음성이 개선되었다고 평가할 수 있다.

본 연구는 마스크가 음성에 미치는 잠재적인 영향을 살펴보는 연구이다. 최근 마스크가 음성에 미치는 영향에 대해 정상음성을 대상으로 하는 선행 논문은 몇 편 발표되었지만, 음성장애 환자를 대상으로 하는 연구는 아직 부족한 실정이다. 코로나가 장기화됨에 따라 마스크 사용과 사용 시간이 증가하며 마스크에 관한 연구가 활성화되기 시작하였고 계속 새로운 연구가 진행될 것이다. 또한 본 연구에서는 정상인들의 음성을 대상으로 스피커 출력과 분석이 신뢰성이 있는지 보지 않았는데 향후 정상인을 대상으로 한 신뢰성 연구도 필요할 것으로 사료된다.

Reference

- Bottalico, P., Murgia, S., Puglisi, G. E., Astolfi, A., & Kirk, K. I. (2020). Effect of masks on speech intelligibility in auralized classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 148(5), 2878-2884. doi:10.1121/10.0002450
- Brockmann-Bauser, M., Van Stan, J. H., Sampaio, M. C., Bohlender, J. E., Hillman, R. E., & Mehta, D. D. (2021). Effects of vocal intensity and fundamental frequency on cepstral peak prominence in patients with voice disorders and vocally healthy controls. *Journal of Voice*, 35(3), 411-417. doi:10.1016/j.jvoice.2019.11.015
- Choi, E. H., & Jung, J. H. (2022). Teachers' perceptions of development gaps in young children before and after COVID-19. *The Society for Constructivist Early Childhood Education*, 9(2), 137-165. doi:10.23197/scece.2022.9.2.007
- Corey, R. M., Jones, U., & Singer, A. C. (2020). Acoustic effects of medical, cloth, and transparent face masks on speech signals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 148(4), 2371-2375. doi:10.1121/10.0002279
- Gama, R., Castro, M. E., van Lith-Bijl, J. T., & Desuter, G. (2022). Does the wearing of masks change voice and speech parameters? *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 279(4), 1701-1708. doi:10.1007/s00405-021-07086-9
- Jeong, J., Kim, M., & Kim, Y. (2020). Changes on speech transmission characteristics by types of mask. *Audiology and Speech Research*, 16(4), 295-304. doi:10.21848/asr.200053
- Joshi, A., Procter, T., & Kulesz, P. A. (2023). COVID-19: Acoustic measures of voice in individuals wearing different facemasks.

- Journal of Voice*, 37(6), 971.e1-971.e8. doi:10.1016/j.jvoice.2021.06.015
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). (2023). Guidelines for ordering to comply with quarantine guidelines for wearing masks and imposing fines (8th edition). Retrieved from <https://ncov.kdca.go.kr/maskDutyBoardList.do>
- Lin, Y., Cheng, L., Wang, Q., & Xu, W. (2023). Effects of medical masks on voice assessment during the COVID-19 pandemic. *Journal of Voice*, 37(5), 802.e25-802.e29. doi:10.1016/j.jvoice.2021.04.028
- Magee, M., Lewis, C., Noffs, G., Reece, H., Chan, J. C. S., Zaga, C. J., . . . Vogel, A. P. (2020). Effects of face masks on acoustic analysis and speech perception: Implications for peri-pandemic protocols. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 148(6), 3562-3568. doi:10.1121/10.0002873
- Maryn, Y., Wuyts, F. L., & Zarowski, A. (2023). Are acoustic markers of voice and speech signals affected by nose-and-mouth-covering respiratory protective masks? *Journal of Voice*, 37(3), 468.e1-468.e12. doi:10.1016/j.jvoice.2021.01.013
- Murton, O., Hillman, R., & Mehta, D. (2020). Cepstral peak prominence values for clinical voice evaluation. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 29(3), 1596-1607. doi:10.1044/2020_AJSLP-20-00001
- Nguyen, D. D., McCabe, P., Thomas, D., Purcell, A., Doble, M., Novakovic, D., . . . Madill, C. (2021). Acoustic voice characteristics with and without wearing a facemask. *Scientific Reports*, 11, 5651. doi:10.1038/s41598-021-85130-8
- Ribeiro, V. V., Dassié-Leite, A. P., Pereira, E. C., Santos, A. D. N., Martins, P., & de Alencar Irineu, R. (2022). Effect of wearing a face mask on vocal self-perception during a pandemic. *Journal of Voice*, 36(6), 878.e1-878.e7. doi:10.1016/j.jvoice.2020.09.006
- Saeidi, R., Huhtakallio, I., & Alku, P. (2016). Analysis of face mask effect on speaker recognition. *Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Speech Communication Association (Interspeech 2016)*, 1800-1804. doi:10.21437/Interspeech.2016-518
- van der Woerd, B., Wu, M., Parsa, V., Doyle, P. C., & Fung, K. (2020). Evaluation of acoustic analyses of voice in nonoptimized conditions. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 63(12), 3991-3999. doi:10.1044/2020_JSLHR-20-00212

마스크 착용 조건에 따른 음성장애 환자의 음향학적 특성

최근식¹, 박희준², 김진동^{2*}

¹ 인제대학교 부산백병원 이비인후과 청능사

² 부산가톨릭대학교 언어청각치료학과 교수

목적: 본 연구는 기식성 음성을 특징으로 하는 음성장애 환자를 대상으로 안면 마스크 착용으로 인한 음성의 음향학적 및 청지각적 변화 특성을 알아보고자 한다.

방법: 본 연구의 대상자는 성대결절 10명, 성대마비 10명, 백반증 10명이었다. 연구 도구는 /a/ 모음 연장 발성을 수집하여 Praat, MDVP, ADSV, GRBAS를 사용하여 음성의 음향학적 및 청지각적 특성을 살펴보았다.

결과: 안면 마스크 착용 조건에 따른 음성의 음향학적 및 청지각 특성을 살펴본 결과, 성대결절은 음성강도, 연성발성지수, 캡스트럼 피크 현저성, 저주파수 대 고주파수 스펙트럼 에너지 비율을 포함한 음향학적 특성에서만 유의한 차이를 보였다. 성대마비의 경우, 음향학적 특성은 음성강도, 주파수 변동률, 연성발성지수, 캡스트럼 피크 현저성, 저주파수 대 고주파수 스펙트럼 에너지 비율, 청지각적 특성은 무력성과 긴장성에서 유의한 차이를 보였다. 백반증의 경우 음향학적 특성은 음성강도, 주파수 변동률, 진폭 변동률, 캡스트럼 피크 현저성, 저주파수 대 고주파수 스펙트럼 에너지 비율, 청지각적 특성은 전체 음성의 심한 정도와 거친 음성에서 유의한 차이를 보였다.

결론: 소음이 클수록, 안면 마스크의 필터 수가 많을수록 소음 에너지를 감소시켜 병리적 음성의 특성을 이해하기 어려운 것으로 나타났다. 이에 따라 병리적 음성이 심한 경우 안면 마스크 착용 후 음성 평가를 시행할 때 결과 해석에 주의가 필요하며, 향후 소음 수준 및 안면 마스크 종류에 따른 체계적인 연구가 필요하다.

검색어: 마스크, 음성장애, 음향학적 특성, 청지각적 특성

교신저자: 김진동(부산가톨릭대학교)

전자메일: jdkim@cup.ac.kr

게재신청일: 2023. 12. 04

수정제출일: 2023. 12. 24

게재확정일: 2024. 01. 31

이 논문은 최근식(2022)의 석사학위 논문을 수정 · 보완하여 작성한 것임.

ORCID

최근식

<https://orcid.org/0009-0000-7223-8542>

박희준

<https://orcid.org/0000-0002-0522-5220>

김진동

<https://orcid.org/0000-0001-9421-9481>

참고 문헌

정정호, 김미나, 김영선 (2020). Changes on speech transmission characteristics by types of mask. **Audiology and Speech Research**, 16(4), 295-304.

질병관리청 (2023). 마스크 착용 방역지침 준수 명령 및 과태료 부과 업

무안내서(제8판). <https://ncov.kdca.go.kr/maskDutyBoardList.do>
최은희, 정지현 (2022). 코로나19 전후 영·유아 발달격차에 대한 영유아 교사 인식. **구성주의유아교육연구**, 9(2), 137-165.