한국의류산업학회지
제22권 제6호, 2020
<연구논문>

pISSN 1229-2060
eISSN 2287-5743
Fashion & Text. Res. J.
Vol. 22, No. 6, pp.862-872(2020)
https://doi.org/10.5805/SFTI.2020.22.6.862

휴식과 운동 중 COVID-19 대응 보건용 마스크 착용이 호흡·심혈관계 반응 및 착용감에 미치는 영향

정재연[1] · 강찬혁[2] · 성유찬[3] · 장세혁[4] · 이주영[1,5]†

[1]서울대학교 의류학과
[2]서울대학교 체육교육과
[3]서울대학교 인류학과
[4]서울대학교 경제학과
[5]서울대학교 생활과학연구소

Effects of Wearing COVID-19 Protective Face Masks on Respiratory, Cardiovascular Responses and Wear Comfort During Rest and Exercise

Jae-Yeon Jung[1], ChanHyeok Kang[2], Yuchan Seong[3], Se-Hyeok Jang[4], and Joo-Young Lee[1,5]

[1]Dept. of Textiles, Merchandising, and Fashion Design, Seoul National University; Seoul, Korea
[2]Dept. of Physical Education, Seoul National University; Seoul, Korea
[3]Dept. of Anthropology, Seoul National University; Seoul, Korea
[4]Dept. of Economic, Seoul National University; Seoul, Korea
[5]Research Institute for Human Ecology, Seoul National University; Seoul, Korea

Abstract: This study explores the effects of facemasks on respiratory, thermoregulatory, cardiovascular responses during exercise on a treadmill and at rest. Five male subjects (25.8 ± 0.8 y, 171.8 ± 9.2 cm in height, 79.8 ± 28.1 kg in weight) participated in the following five experimental conditions: no mask, KF80, KF94, KF99, and N95. Inhalation resistance was ranked as KF80 < KF94 < N95 < KF99 and dead space inside a mask was ranked as KF80 = KF94 < N95 < KF99. The surface area covered by a mask was on average 1.1% of the total body surface area. The results showed no significant differences in body core temperature, oxygen consumption (VO2), carbon dioxide production (VCO2), heart rate or subjective perception among the five experimental conditions; however, cheek temperature, respiratory ventilation and blood pressure were greater for KF80 or KF94 conditions when compared to KF99 or N95 conditions ($p<0.05$). The differences among mask conditions are attributed to the dead space or specific designs (cup type vs pleats type) rather than the filtration level. In addition, the results suggest that improving mask design can help mitigate respiratory resistance from increased filtration.

Key words: face mask(보건용 마스크), COVID-19(코로나 바이러스), respiratory burden(호흡 부담), thermal comfort(온열 쾌적감), clothing microclimate(의복 기후)

1. 서 론

2019년 12월 중국 우한에서 코로나 바이러스 (COVID-19)가 최초 보고된 이후 2020년 3월 세계보건기구에서는 COVID-19의 범유행을 공표하였고, 2020년 11월 기준으로 전 세계 5,000만 명, 국내 3만 명이 넘는 확진자가 발생하였다(Ministry Of Health and Welfare, 2020). 일 년에 걸친 COVID-19의 세계적 범유행으로 인해 우리나라 뿐만 아니라 세계 각국에서도 대중교통 및 공공시설에서의 마스크 착용은 자발적 참여를 넘어 행정적으로 의무화되었다(Korea Disease Control and Prevention Agency, 2020). 2020년 이전의 국내 고농도 미세먼지에 대한 마스크 착용행동을 보고한 Lee et al. (2020)의 연구에 의하면 응답자의 28%는 응답 시점까지 보건용 마스크를 착용한 경험이 전혀 없었으며, 착용 경험이 있는 응답자들 중 고농도 미세먼지 기간 1일 평균착용시간도 대부분 30분~2시간이라고 응답하였다. 반면, 2020년 4~5월 코로나 바이러스 대응 마스크 착용행동을 보고한 Kwon et al.(2020)은 설문 응답자 전원이 보건용 마스크를 착용하고 있었으며, 1일 평균착용시간은 1~3시간이 가장 많았고, 고등학생들의 경우 1일 7시간 동안 착용한다는 응답이 가장 많았다. 2019년과 2020년에 각각 이루어진

본 논문은 석사학위청구논문의 일부임.

†Corresponding author; Joo-Young, Lee
Tel. +82-2-880-8746
E-mail: leex3140@snu.ac.kr

© 2020 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 두 연구 결과는 COVID-19 범유행이라는 새로운 일상 환경에서 일반인의 마스크 착용 행동이 양적으로 뿐만 아니라 질적으로도 크게 변화했음을 시사하고 있다.

2020년 11월 기준 총 2,253 건의 보건용 마스크가 식품의약품안전처(Minisitry of Food and Drug Safety[MFDS], 2019)의 허가 아래 국내에서 판매되고 있다. '보건용 마스크'란 용어는 2014년 식약처에서 당시 일반인들에게 혼란을 일으켰던 황사 마스크, 미세먼지 마스크, 방역용 마스크를 하나의 범주로 묶어 새롭게 정의된 용어이다. 보건용 마스크의 착용 목적은 황사 혹은 미세먼지 등 입자성 유해물질, 또는 감염원으로부터 호흡기를 보호하는 것이며, 마스크는 약사법에 따른 의약외품 분류되어 식약처에서 공표한 관련 가이드라인에 따라 품목별 심사 및 허가를 하고 있다(MFDS, 2019). 국내 식약처의 보건용 마스크 시험기준은 분진포집효율시험, 안면부 흡기저항 시험, 누설률 시험의 세 가지이며, 이중 분진포집효율 시험을 통해 외부 입자를 차단하는 정도를 측정하여 KF80(평균 0.6 μm 크기의 미세입자 80% 이상 차단), KF94(평균 0.4 μm 크기의 미세입자 94% 이상 차단), KF99(평균 0.4 μm 크기의 미세입자 99% 이상 차단)의 3등급으로 구분된다. 분진포집효율은 일정량의 입자들이 마스크 필터를 통해 걸러지는 비율을 의미하는데, 마스크 시료를 분진포집효율 검사장비에 넣고 염화나트륨 에어로졸 또는 파라핀 오일을 일정한 유량으로 마스크의 안면부에 통과시킨 다음 안면부 통과 전후의 농도를 측정하여 계산한다. 안면부 흡기저항 시험은 마스크 완제품을 성인의 얼굴을 모사한 시험용 인두에 공기가 새지 않도록 착용시킨 후 일정 유량의 공기를 흡입하게 하였을 때의 마스크와 인두의 호흡기 구조 간에 생기는 흡기저항을 측정한다. 안면부 누설률 시험은 염화나트륨 에어로졸을 채운 특수 제작 챔버에서 피험자가 마스크를 착용한 채로 정해진 프로토콜에 따른 동작을 수행하며 트레드밀 위에서 걸을 때, 마스크 내부와 챔버 내 염화나트륨 에어로졸의 평균 농도 간 차이를 비교하여 마스크의 안면부 누설률을 계산한다.

이러한 시험을 거쳐 허가된 보건용 마스크는 KF80, KF94, 혹은 KF99의 등급으로 판매되고 있는데, 2018년 10월부터 '임산부, 호흡기·심혈관 질환자, 어린이, 노약자 등은 마스크 착용으로 호흡이 불편하면 사용을 중지하고, 필요하면 의사 등 전문가와 상의하라' 라는 경고 문구가 표기되어 있다. 미국이나 일본, 홍콩 등의 국가에서는 일찍이 보건용 마스크에 호흡곤란 가능성에 대한 주의사항을 적도록 했으며, 미국의 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and prevention[CDC], 2020)에서는 만 2세 이하의 영유아, 만성 호흡기 질환이나 심장 질환 등으로 호흡이 어려운 사람, 주변인의 도움 없이 스스로 마스크 탈착이 어려운 사람들의 경우 보건용 마스크를 착용하면 안 된다고 명시하고 있다.

해외에서는 호흡기 보호구를 다룬 기존 연구들과 함께 COVID-19로 인해 보건용 마스크 착용의 인체 부담을 평가한 연구들이 꾸준히 출판되고 있으나, 장시간 마스크 착용이 인체 호흡·심혈관계나 체온조절계에 미치는 영향을 보고한 연구는 상대적으로 많지 않다. Roberge et al.(2010)는 대규모 바이러스 범유행 시 N95 마스크의 공급 부족을 대비하여 N95 마스크 위에 의료용 마스크를 추가 착용하는 것이 인체 생리부담을 초래하는지 살펴 보았으며 그 결과 N95 마스크만 착용한 경우와 비교해 심박수와 호흡량에 현저한 차이가 발견되지는 않았으나 착용자의 활동량에 따라 다른 결과가 초래되었고, 임산부가 N95 마스크를 착용한 경우에도 비임산부와 비교하였을 때 심박수, 주관감에서 유의한 차이가 없는 등(Roberge et al., 2014), N95 마스크 착용의 인체 생리 및 주관적 반응에 대한 연구들이 보고되어 왔다.

반면, 장시간 마스크 착용 시 혹은 마스크를 착용 한 채로 운동 시, 혈관 확장으로 인해 두통을 호소하거나(Chandrasekaran & Fernandes, 2020; Rosner, 2020), 심지어 중국에서는 10대 청소년 세 명이 N95 마스크를 착용한 채 달리기를 하다가 호흡 곤란 증세로 사망하는 사고가 발생하는 등(Cho, 2020), 장시간 마스크 착용이 인체에 부정적 영향을 미칠 수 있음이 보고되었다. 특히, 일정 강도 이상의 운동을 수행할 경우 마스크 착용으로 인한 부정적 건강 영향을 미연에 방지하기 위해 다양한 강도의 활동을 수행하는 동안 보건용 마스크 착용이 인체에 어떠한 영향을 미치는 지 보다 과학적으로 평가될 필요가 있다. 그러나 국내에서는 보건용 마스크의 디자인 개선이나 마스크의 필터 특성에 관한 연구들이 주로 진행되고 있는 반면, 보건용 마스크 착용이 인체에 미치는 부담을 평가한 연구는 매우 부족한 실정이다. Eom et al.(2020)은 마스크 내부 사적(dead space, '사공' 혹은 '사구'라 불리기도 함)이 다른 네 종의 마스크를 직접 제작한 후 사적에 따른 주관적 착용감과 얼굴 피부 온도를 분석한 후 최적의 마스크 디자인을 제안하였으나, 다양한 운동 강도에서 마스크 착용이 착용자의 심혈관계 반응 등 호흡 부담을 보고한 국내 실험 연구는 거의 없다. 식약처의 안면부 흡기저항 시험은 30 LPM의 유량(안정 시 인체 호흡량 수준)에서, 인체의 흡기만을 모사하는 것이기 때문에, 실제 호기와 흡기를 반복하는 사람의 호흡을 반영할 수 없으며, 나아가 다양한 강도의 활동도 반영할 수 없다. 이에, 본 연구에서는 인체 착용 평가(human wear trial)를 기본으로, 초청된 피험자들이 다양한 운동 강도의 활동을 수행하는 동안 현재 국내외 시판 중인 코로나 바이러스 대응용 일회용 마스크 착용이 착용자의 체온조절 및 호흡·심혈관계 반응, 주관적 착용감에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다. 본 연구의 가설은 다음과 같다. 첫째, 보건용 마스크의 필터 수준이 높을수록 착용 시 인체에 미치는 생리적 부담이 클 것이다. 둘째, 저강도 운동에 비해 고강도 운동을 수행할 때 마스크가 인체의 호흡·심혈관계 반응 및 착용감에 미치는 영향은 더 클 것이다.

2. 연구방법

2.1. 피험자 및 마스크 조건

본 실험에는 호흡기 관련 질환이 없는 건강한 20대 남자 피험자 다섯 명(나이: 25.8±0.8세, 키: 171.8±9.2 cm, 체중: 79.8

Table 1. Characteristics of disposable face masks

	KF80	KF94	KF99	N95
Picture of face mask				
Dry mass (g)	4.2	4.4	20.6	8.9
Design	Horizontal 3 panels	Horizontal 3 panels	Cup type, Facial seal	Horizontal 3 panels
Band type	Ear loop	Ear loop	Ear loop	Head bands
Size	Large	Large	Large	Large
Filtration level (%)	≥80	≥94	≥99	≥95
Material	MB PP†, SB PP‡	MB PP, SB PP	MB PE§, SB PP	MB PP, SB PP
Dead space (mm^3)[a]	106,627	106,627	202,869	145,924
Surface area of mask (cm^2)	219	219	166	276
Mask surface area/body surface area of 5 subjects (%)	1.2±0.2	1.2±0.2	0.9±0.2	1.4±0.3
Inhalation resistance (Pa)[b]	6.7	8.8	23.3	19.2

†Melt-blown polypropylene; ‡Spun bond polypropylene; §Melt-blown polyolefin;
[a]Dead space was measured by a 3D scanner (Handy BLACK Elite, Creaform, Canada);
[b]Inhalation resistance was measured at 30 LPM by a inhalation resistance tester (ARE-1651, ART Plus, Korea).

±28.1 kg, 체표면적: 1.96±0.1 m^2)이 참여하였다. 모든 피험자는 실험 참여 48시간 전 동안 음주와 과격한 운동을 피하도록 교육되었고, 실험 참여 세 시간 전에는 카페인 음료 및 식사가 금지되었다. 본 실험은 서울대학교 연구윤리위원회의 승인을 받았으며(IRB # SNU No.2009/002-019), 피험자는 실험에 참여하기 전 실험 내용에 대한 자세한 설명을 듣고 이해한 후 동의서에 자발적으로 서명하였다.

실험에 사용된 보건용 마스크는 필터 수준에 따라 총 네 종류(KF80, KF94, KF99, N95)로 N95(3M)를 제외한 마스크들은 국내 동일한 업체(에버그린)에서 제작된 것으로 모두 한국식약처 혹은 미국 산업안전보건연구원(NIOSH)의 허가를 받은 제품이었다(Table. 1). 동일 회사 출시 제품 중 KF99 마스크의 경우 KF80이나 KF94와 같이 3-panel 디자인으로 출시된 경우가 없어, 본 실험에서는 배기밸브가 부착된 컵형 KF99 마스크가 사용되었다(Table 1). 실험에 사용된 모든 마스크는 일회용으로 매 실험마다 새 것으로 교체하였다. 보건용 마스크의 내부 공간 부피인 사적(dead space)은 3D 스캐너(Handy BLACK Elite, Creaform, Canada)를 이용하여 측정하였으며, 측정 결과 KF80과 KF94 마스크의 사적이 가장 적고, KF99의 사적은 KF80의 190%로 마스크들 중 가장 큰 사적을 가졌으며, N95의 사적은 KF80의 137%에 해당하였다(Table 1). 마스크를 2차원 평면에 펼친 면적은 KF99 < KF80, KF94 < N95 순서로 넓었으며, 이는 참여한 피험자 평균 전신체표면적의 1.1±0.3%에 해당하였다(Table 1).

2.2. 실험 및 환경 조건

실험 조건은 총 다섯 가지로, 대조군으로 마스크를 착용하지 않은 조건(No mask), KF80 마스크 착용 조건, KF94 마스크 착용 조건, KF99 마스크 착용 조건, N95 마스크 착용 조건이었다. 모든 실험은 봄가을 쾌적한 기온과 습도로 여겨지는 기온 20°C, 상대습도 50%RH로 유지되는 인공기후실에서 시행되었다. 일회 실험은 10분 앉은 자세 휴식, 60분 운동, 10분 앉은 자세 회복으로 총 80분으로 구성되었으며, 60분 운동은 트레드밀 위에서 20분씩 4 $km \cdot h^{-1}$ 걷기(가벼운 운동), 6 $km \cdot h^{-1}$ 걷기(중등정도의 운동), 8 $km \cdot h^{-1}$ 달리기(고강도의 운동)로 구성되었다(Fig. 1). 마스크 착용 조건에서 피험자는 초기 휴식부터 종료 회복 시까지 80분 동안 마스크를 지속 착용하였고, 호흡 시 가스교환을 측정하는 시간에만 보건용 마스크에서 반면형 고무제 호흡기 마스크로 30초 이내에 교체 착용하여 5분 동안 측정하였다. 실험을 위해 모든 피험자는 동일한 봄철 일상적 실외 의복을 착용하였다 (긴팔 티, 긴 트레이닝 바지, 봄가을 재킷, 팬티, 양말, 운동화; 추정 총보온력 IT 약 1.0 clo). 모든 실험은 각기 다른 날 동일한 시간대에 수행되었으며, 피험자별

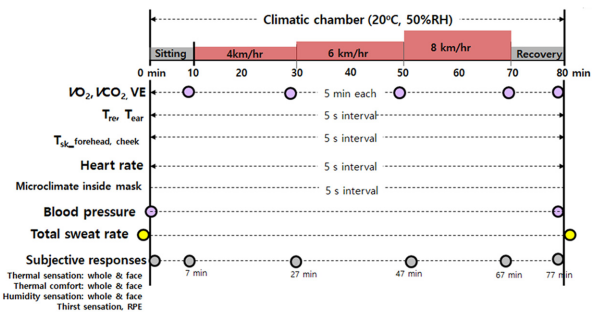


Fig. 1. The experiment protocol of the present study.

참여 순서에 의한 영향을 배제하기 위해 다섯 조건의 실험 순서는 임의로 배정되었다. 마스크 조건들 중 KF80과 KF94 마스크 조건은 피험자에게 블라인드 되었다(KF99와 N95는 마스크 디자인 차이로 피험자 스스로 인지 가능함).

2.3. 측정항목

직장온, 귀내온, 피부온 (이마, 왼쪽 볼)은 전용 서미스터 및 데이터 로거(LT-8A, Gram Corporation, Japan)를 이용하여 5초 간격으로 연속 측정되었다. 왼쪽 볼에 부착한 피부온 센서는 보건용 마스크와 호흡대사용 마스크 착용 시 마스크 내부에 위치되었다. 보건용 마스크 착용 시 피험자의 오른쪽 뺨에 온습도 센서(TR-72U, T&D, Japan)을 부착하여 마스크 내 온습도를 5초 간격으로 연속 측정하였다. 호흡 시 산소 소비량 및 이산화탄소 배출량, 환기량 등은 에너지 대사량 측정기(Quark, CPET, COSMED, Italy)를 이용하여 휴식기, 운동기(각 20분씩의 4 $km \cdot h^{-1}$, 6 $km \cdot h^{-1}$, 8 $km \cdot h^{-1}$ 속도 운동), 회복기의 마지막 5분에 breath by breath 법으로 측정하였다. 심박수는 가슴에 두르는 벨트형 기기와 전용 무선 시계형 수신기(RS400, Polar Electro, Finland)를 사용하여 실험 시작 시부터 종료 시까지 80분 동안 5초 간격으로 연속 측정되었다. 혈압은 휴식기와 회복기에 왼쪽 상완에서 자동 혈압계(HEM-7200, Omron Healthcare Co., Ltd., Japan)를 사용하여 측정하였고, 혈중 젖산 농도는 휴식기와 회복기에 젖산 측정기(Lactate Pro2, Arkray, Japan)를 사용하여 측정되었다. 실험 전후 세미 누드 상태에서의 체중 측정을 통해 80분 노출 동안 총발한량이 추정되었다(F150S, Sartorius, Germany; resolution of 1 g).

주관적 감각 측정항목으로는 한서감, 습윤감, 온열쾌적감, 갈증감과 인지적 힘들기 (Ratings of perceived exertion)에 대해 실험 시작 시 부터 종료 시 까지 매 휴식기, 회복기는 10분, 운동기는 20분마다 전신, 얼굴에 대해 규격화된 설문지(ISO 10551, 1995)를 통해 응답되었다(Fig. 1). 한서감, 습윤감, 온열쾌적감은 전신, 얼굴로 나누어서 응답하게 하였다. 한서감은 9점 척도 [–4 매우 춥다, –3 춥다, –2 서늘(시원)하다, –1 약간 서늘(시원)하다, 0 보통이다, 1 약간 따뜻하다, 2 따뜻하다(약간 덥다), 3 덥다, 4 매우 덥다], 온열쾌적감은 7점 척도[–3 매우 불쾌하다, –2 불쾌하다, –1 약간 불쾌하다, 0 보통이다, 1 약간 쾌적하다, 2 쾌적하다, 3 매우 쾌적하다], 습윤감은 7점 척도[–3 매우 건조하다, –2 건조하다, –1 약간 건조하다, 0 보통이다, 1 약간 습하다, 2 습하다, 3 매우 습하다], 갈증감은 7점 척도 [0 전혀 목마르지 않다, 1, 2 약간 목마르다, 3, 4 목마르다, 5, 6 매우 목마르다], 인지적 힘들기 정도(운동 자각도)는 Borg's의 RPE 척도(6~20점)를 사용하였다.

2.4. 데이터 분석

피험자 다섯 명의 각 5회 참여하여 얻은 총 25회의 실험 결과에 대해 각 마스크 조건별 평균과 표준편차를 제시하였고 (Mean±SD), 다섯 가지 마스크 실험 조건 간 통계적 차이는 SPSS 25.0의 반복측정 분산분석(RM ANOVA)에 의해 검증되었다. 분산분석 결과 유의한 차이가 있는 항목에 대해 Tukey의 사후분석을 사용하였다. 통계적 유의성은 $p < 0.05$로 정하였다.

3. 연구결과

3.1. 심부온: 직장온과 귀내온

직장온은 다섯 가지 마스크 조건 간 큰 차이 없이 모두 초기 10분 안정 시에 일정하게 유지되다가 운동기 60분 동안 점점 상승한 후 회복기에 다시 하강하는 경향이 나타났다(Fig. 2a). 60분 운동 동안 증가한 직장온은 0.9±0.2°C (No mask), 0.8±0.4°C (KF80), 1.0±0.2°C (KF94), 0.8±0.3°C (KF99), 1.0±0.4°C (N95) 였으며 조건 간 유의한 차이는 발견되지 않았다. 귀내온의 경우 직장온과 달리 운동이 시작된 후 하강하거나, 유지되거나, 증가되는 등 다양한 반응을 보여 주다가, 고강도 운

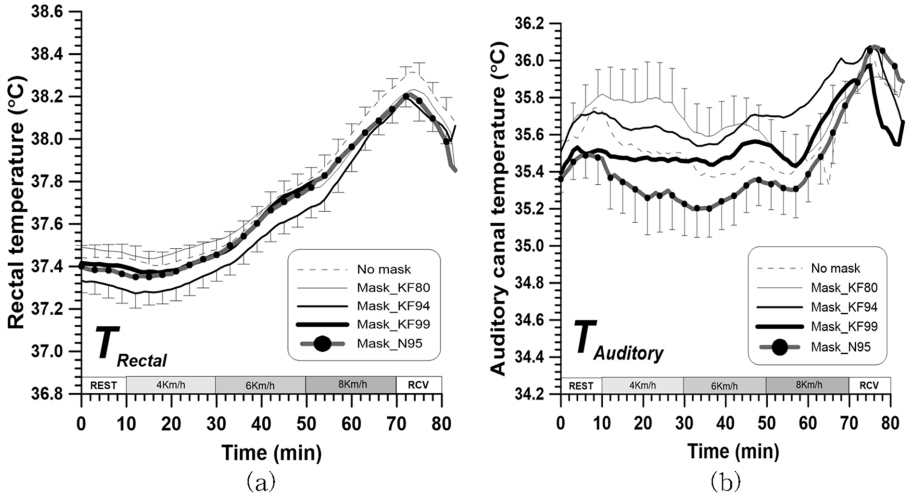


Fig. 2. The time courses of rectal temperatures (a) and auditory canal temperature (b) for the five experimental conditions.

동(8 km·h^{-1})이 시작된 이후 급격히 증가하는 경향을 보여 주었으나, 마스크 다섯 조건 간 유의한 차이는 발견되지 않았다(Fig. 2b). 운동 종료 시점에서 직장온은 귀내온보다 약 평균 2°C 높은 값을 보여주었다.

3.2. 얼굴 부위의 피부온: 이마와 볼 온도

이마와 볼의 온도 모두 운동이 지속될수록 상승하는 경향을 보였다. 이마온은 N95 마스크 착용 조건에서 가장 높은 경향을 보였으며, 최대 약 35°C까지 상승하였으나, 다섯 가지 실험 조건들 간 유의한 차이는 발견되지 않았다(Fig. 3a). 볼 온도는 마스크를 착용한 네 가지 실험 조건(KF80, KF94, KF99, N95)에 비해 마스크를 착용하지 않은 조건(No mask)에서 가장 낮게 측정되었다 ($p < 0.05$). 네 가지 마스크 착용 조건들 중에서는 KF80 마스크 착용 시 볼 온도가 가장 높고 N95 마스크에서 볼 온도가 가장 낮게 측정되었으며, 이러한 차이는 운동기 4 km·h^{-1}, 6 km·h^{-1} 구간에서 유의했다(4 km·h^{-1}에서 $p < 0.05$; 6 km·h^{-1}에서 $p < 0.01$; Fig. 3b). 볼 온도에서 운동 구간에 따라 상승과 하강이 반복되는 이유는 생리적인 이유가 아니라, 각 운동기 마지막 5분 동안 호흡대사 측정을 위해 보건용 마스크를 호흡가스용 마스크로 교체 착용하면서 최대 30초의 공기 노출이 있었기 때문이다(Fig. 3b).

3.3. 심혈관계 반응: 에너지대사량, 심박수, 혈압

호흡 시 산소 섭취량(VO_2)과 이산화탄소 배출량(VCO_2)은 다섯 개의 마스크 조건 간 유의한 차이 없이 모두 고강도 운동 조건(8 km·h^{-1})에서 최대값이 측정되었다. 환기량(VE)의 경우 고강도 운동 시 다섯 조건 간 유의한 차이를 보여, KF94 마스크 착용 조건에서는 고강도 운동 시 66.8±16.8 L·min^{-1}로 다른 마

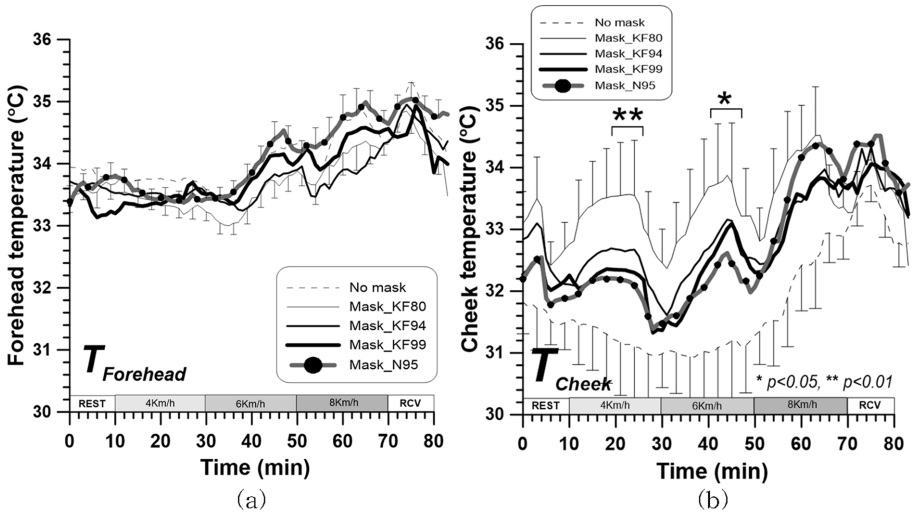


Fig. 3. Time courses of forehead temperatures (a) and cheek temperature (b) for the five experimental conditions. * represents statistical differences between cheek temperatures in the KF80 and N95 conditions.

Table 2. The ventilation and blood pressure according to five mask conditions

Variables	Experimental conditions					*p*-value
	No mask	KF80	KF94	KF99	N95	
Ventilation (L·min^{-1})						
Mean_Rest (last 1-min average)	11.2±1.5	11.1±2.6	11.3±2.8	10.3±2.1	11.2±2.8	N.S
Mean_Exercise (4 km/h) (last 1-min average)	23.9±5.2	24.0±4.3	24.2±5.9	22.5±5.5	25.1±6.2	N.S
Mean_Exercise (6 km/h) (last 1-min average)	38.5±6.7	36.1±6.1	40.7±6.5	38.9±9.1	38.4±5.1	N.S
Mean_Exercise (8 km/h) (last 1-min average)	60.9±16.5^{a}	64.2±18.6^{b}	66.8±19.8^{b}	60.0±15.0^{a}	61.3±13.2^{a}	$p < 0.01$
Mean_Recovery (last 1-min average)	10.8±2.8	12.0±2.2	14.3±3.1	13.1±3.0	13.6±2.8	N.S
Blood pressure (mmHg)						
Systolic pressure_Pre exercise	125.0±9.2	124.4±8.7	125.6±11.6	122.9±12.3	126.0±11.6	N.S
Systolic pressure_Post exercise	132.9±9.6	138.1±11.9	133.3±8.9	126.4±7.8	128.1±7.3	N.S
Diastolic pressure_Pre exercise	75.8±13.9	81.2±17.2	80.2±16.3	67.6±11.5	79.7±15.5	N.S
Diastolic pressure_Post exercise	76.3±12.8	78.6±12.0	80.7±14.9	71.3±16.3	77.2±14.6	N.S
Mean arterial pressure_pre exercise	92.2±12.3^{a}	95.6±14.3^{b}	95.3±13.9^{b}	91.2±15.0^{a}	90.0±16.0^{a}	$p < 0.05$
Mean arterial pressure_post exercise	95.2±11.4	98.6±11.1	98.4±12.7	92.8±13.3	94.2±11.6	N.S

[a,b]Represent significant differences among the four conditions by a Tukey's post hoc.

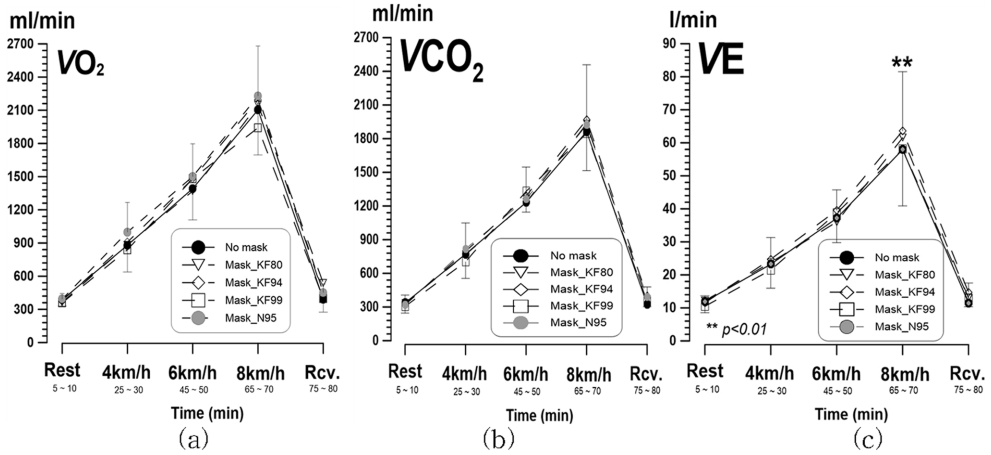


Fig. 4. Time courses of oxygen consumption (a), carbon dioxide production (b) and ventilation (c) for the 80 min exposure in air temperature of 20°C with 50% relative humidity (** represent a significant difference ay $p < 0.01$ among the five experimental conditions).

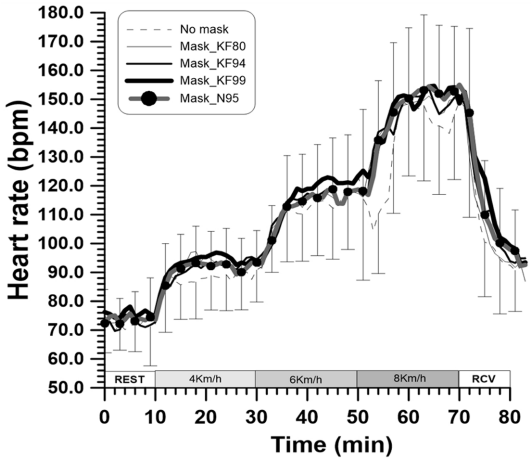


Fig. 5. Time courses of heart rate for the five experimental conditions.

스크 조건들에 비해 높은 값을 보여준 반면, KF99와 N95 마스크 착용 조건에서는 유의하게 낮은 값을 보여 주었다(Table 2, $p < 0.01$; Fig. 4a, 4b, 4c). 심박수는 다섯 조건에서 유의한 차이 없이 고강도 운동 시 약 160 bpm까지 상승하였으며 안정기와 회복기 모두 다섯 가지 마스크 조건 간 유의한 차이는 발견되지 않았다(Fig. 5). 혈압은 마스크를 착용하지 않은 조건(No mask)을 제외한 KF80, KF94, N95, KF99 순으로 낮은 값을 보였다(Table 2). 수축기 혈압은 운동 전에는 N95 마스크 착용 조건에서 126.0±11.6 mmHg로 가장 높게 KF99 마스크 착용 조건에서 가장 낮게 측정되었으며, 운동 후에는 KF80 마스크 착용 조건에서 138.1±11.9 mmHg 로 가장 높게 KF99 마스크 착용 조건에서 126.4±7.8 mmHg 로 가장 낮게 측정되었다(Table 2). 이완기 혈압의 경우 운동 전 KF80 마스크 착용 조건에서 81.2±17.2 mmHg로 가장 높게, KF99 마스크 착용 조건에서 67.6±11.5 mmHg로 가장 낮게 측정되었다. 평균 동맥압 (Martial arterial pressure)을 계산한 경우 휴식 시 KF80 마스크 착용 조건에서 유의하게 높은 값이 발견되었다($p < 0.01$, Table 2).

3.4. 마스크 내 미세기후의 온도 및 습도

마스크 내 형성된 미세기후의 온도는 20분 1회 운동을 수행하는 동안 약간 증가하는 경향을 보였으나, 호흡가스 마스크로 교체하는 과정에서 다시 하강하여, 20분 운동을 3회 반복했음에도 불구하고 초기 의복내 온도보다 더 상승하지는 않았으며, 운동 종료 후 회복기에 가장 낮은 온도를 보여주었다(Fig. 6a, Table 3). 마스크를 착용하지 않은 경우보다 마스크를 착용한 경우에 더 높았으며($p < 0.01$), 네 가지 마스크 착용 조건들 중에서는 KF80 및 N95 마스크 착용 조건 시 평균 약 30°C로 가장 높고 KF99 마스크 착용 시 평균 28°C로 가장 낮았으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었다(Table 3). 마스크 내 형성된 미세기후의 습도는 네 종류의 마스크 착용 시 평균 80~90%RH를 보였으며, 운동 시 마스크를 착용하지 않은 조건이 네 가지 종류의 마스크를 착용한 조건들과 비교하여 유의하게 낮은 값을 보였으나($p < 0.05$), 4종의 마스크 간 유의한 차이는 발견되지 않았다(Fig. 6b, Table 3).

3.5. 총 발한량

총 발한량은 다섯 가지 조건 간 유의한 차이 없이 No mask, KF80, KF94, KF99, N95 마스크 조건에서 각각 526.6±217.6 g/trial, 544.9±193.6 g/trial, 520.7±229.2 g/trial, 524.3±174.7 g/trial, 530.3±214.8 g/trial 였다.

3.6. 주관적 감각

한서감, 온열쾌적감, 습윤감, 갈증감, 인지적 힘들기(RPE)에서 실험 시 다섯 가지 실험 조건 간의 유의한 차이는 발견되지 않았다. 한서감, 온열쾌적감, 습윤감의 경우 전신 및 얼굴에서 운동 강도가 증가 할수록 더욱 덥고, 불쾌하며, 습하다고 느

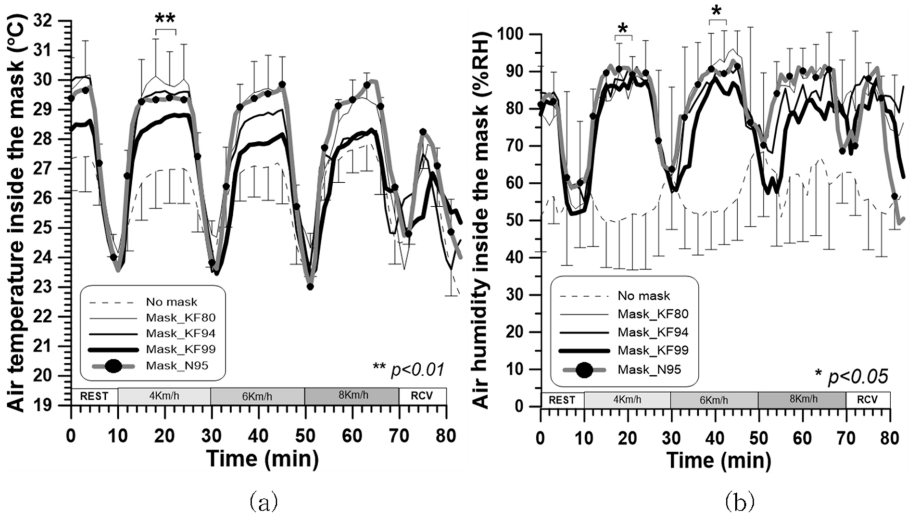


Fig. 6. Time courses of microclimate temperature (a) and relative humidity (b) over the cheek for 80 min. * and ** represent statistical differences in microclimate inside the masks between no mask and mask conditions.

Table 3. Microclimate temperature and relative humidity inside the face masks for the five experimental conditions

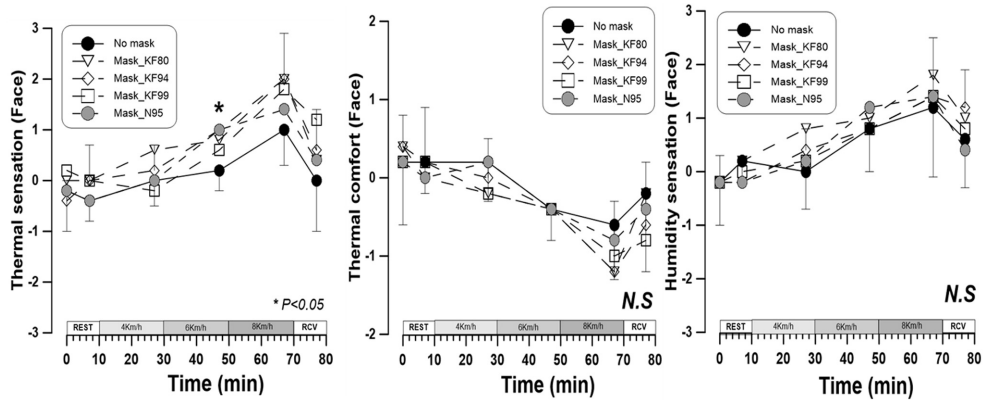
Variables	Mask conditions					*p*-value
	No mask	KF80	KF94	KF99	N95	
Air temperature (°C)						
Rest*	27.1±1.8	29.1±1.0	29.0±1.0	28.1±1.2	28.9±1.6	N.S
1st Exercise (4 km)	26.9±1.3[a]	29.9±1.0[b]	29.6±1.1[b]	28.7±1.9[b]	29.3±1.9[b]	$p < 0.01$
2nd Exercise (6 km)	27.1±1.3	29.6±1.8	28.8±1.6	27.9±1.7	29.5±2.1	N.S
3rd Exercise (8 km)	27.6±2.7	29.2±1.4	27.9±1.9	28.0±1.6	29.3±1.6	N.S
Recovery	26.4±1.2	27.1±1.1	25.5±2.1	26.5±1.2	27.1±1.5	N.S
Relative humidity (%RH)						
Rest	56.4±7.3	77.7±11.3	84.5±13.7	81.3±4.2	82.0±12.1	N.S
1st Exercise (4 km)	50.9±14.9	88.6±5.5[a]	90.4±7.6[b]	85.5±9.2[a]	91.3±5.5[b]	$p < 0.05$
2nd Exercise (6 km)	52.2±9.0[a]	92.4±5.7[b]	90.1±5.6[b]	87.7±5.0[b]	91.2±7.9[b]	$p < 0.05$
3rd Exercise (8 km)	59.8±15.4	88.1±8.0	86.5±7.5	79.1±20.5	88.4±7.6	N.S
Recovery	52.6±17.4	84.5±13.4	82.2±20.3	88.0±15.5	90.9±6.9	N.S

[a,b]represent significant differences among the four conditions by a Tukey's post hoc.
*All values were averaged for 1 min at the mid point of each phase.

꼈으며, 운동 종료 시점에서 한서감은 '약간 따뜻하다' ~ '약간 덥다', 온열 쾌적감은 '보통이다' ~ '약간 불쾌하다', 습윤감은 '습하다' ~ '약간 습하다' 의 범위로 응답되었다(Fig. 7). 갈증감은 전반적으로 '전혀 목마르지 않다' ~ '약간 목마르다'의 범위에서, 인지적 힘들기 (RPE)는 '7(매우 매우 쉽다)~13(약간 힘들다)'의 범위에서 응답되었다. 응답한 주관적 착용감 모두 마스크를 착용하지 않은 조건에서 가장 덜 덥고, 덜 습하고, 덜 불쾌하고, 덜 목마른 값으로 측정되었으나, 실험 시작 후 50분이 되었을 때 얼굴 부위 한서감의 경우 마스크 미착용 조건과 착용조건 들 간에 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 단, 네 가지 마스크 착용 조건 (KF80, KF94, KF99, N95) 간 주관감에서 유의한 차이는 발견되지 않았다.

4. 결과 및 논의

본 연구의 첫 번째 가설인 '보건용 마스크의 필터 수준이 높을수록 인체에 미치는 생리적 부담이 클 것이다'는 기각되었고, 두 번째 가설인 '저강도 운동에 비해 고강도 운동을 수행할 때 마스크의 인체 호흡·심혈관계 및 주관적 착용감에 미치는 영향이 클 것이다' 는 채택되었다. 첫 번째 가설이 기각된 이유는 KF80, KF94, N95, KF99 마스크 순서대로 인체 미치는 생리적 주관적 부담이 증가할 것이라 예상하였으나 오히려, N95나 KF99 조건보다 KF80이나 KF94 조건에서 더 큰 생리 부담이 유발되는 경우들이 발견되었기 때문이다. 두 번째 가설의 경우, 다양한 인체 생리반응들 중 호흡과 혈압 항목에서만 마스크 종



3: Hot
2: Warm
1: Slightly warm
0: Neutral
-1: Slightly cool
-2: Cool
-3: Cold

(a)

2: Comfortable
1: A little comfortable
0: Not both
-1: A little comfortable
-2: Uncomfortable

(b)

3: Very wet
2: Wet
1: A little wet
0: Neither
-1: A little dry
-2: Dry
-3: Very dry

(c)

Fig. 7. Thermal sensation(a), thermal comfort(b), humidity sensation(c) around the face for the five experimental conditions.

류에 따른 유의한 영향이 발견되었다. 첫 번째 가설과 두 번째 가설의 배경과 근거는 서로 연관되어 있기 때문에, 첫 번째 가설을 기각하고 두 번째 가설을 채택한 배경 및 근거에 대해 함께 논의하기로 한다.

먼저, 보건용 마스크의 필터 수준이 증가하면서 동시에 인체 생리부담 증가가 발견되지 않은 이유로는 실험에 채택된 보건용 마스크 디자인의 차이(예: 사적의 차이)를 들 수 있을 것이다. 만약 동일한 디자인의 KF80, KF94, N95, KF99 마스크를 비교했다면 현재 얻어진 결과와 다소 상이한 결과가 얻어졌을 수도 있다. 본 연구에 사용된 마스크에서 KF80과 KF94는 Lee et al. (2020)과 Kwon et al. (2020)의 설문조사에서 한국인이 가장 선호하는 마스크 디자인으로, 세 개의 패널로 구성된 가로접이형(ear loop) 마스크이다. 반면, KF99는 호기 밸브가 달린 컵형 마스크였으며, N95는 세 개의 패널로 구성된 가로접이형(head band)이나 3M의 자체 디자인으로 KF80이나 KF94 마스크보다 37% 더 큰 사적을 보유했다. 본 연구에서 KF99 마스크 선정 시, KF80이나 KF94와 동일한 디자인이 아니라 컵형을 고른 이유는, 무엇보다 국내 시판되는 KF99 마스크 종류가 매우 적었고, 동일한 회사의 제품에서 KF80, KF94, KF99 모두를 판매하는 경우는 더욱 적었기 때문이다. 만약, 동일한 사적을 가지는 동일한 디자인의 마스크이면서 필터 수준만 다른 마스크를 비교하였다면 필터 수준 증가에 비례하여 인체 부담이 증가하였을 수도 있으나, 본 연구 결과, KF80이나 KF94에 비해 90% 이상 큰 사적을 가지는 KF99와 N95 마스크 착용 시 인체 부담이 상대적으로 더 적은 경향이 발견되었으며, 이는 필터수준 증가로 인해 우려되는 호흡 부담 증가를 마스크 디자인 개선으로 충분히 해결할 수 있음을 시사한다. 특히, 본 연구에서 사용된 컵형 KF99 마스크의 경우 마스크와 얼굴 피부가 닿는 부위에 seal이 있어 호흡이 새지 않으면서 마스크와 피부 간 압력을 분산시켜 주는 효과를 가진다. 본 실험 결과를 바탕으로 볼 때, KF80이나 KF94 마스크의 경우에도 가로접이형나 세로접이형이 아니라 사적이 충분히 크게 유지되는 형태로 제작하면 고강도 운동 시 인체 부담을 최소화할 수 있으며, 이는 특히 활동량이 많은 성장기 아동이나 학교 의무 규정으로 일곱시간 이상 연속 착용해야 하는 청소년들을 위한 마스크 디자인에 적용할 수 있다.

둘째, 호흡 환기량(ventilation)의 경우 저강도나 중등강도 운동 시 마스크 착용의 부정적 영향이 발견되지 않은 반면 고강도의 운동 구간에서 유의한 증가가 발견되었다. 즉, KF94 마스크를 착용하고 8 $km \cdot h^{-1}$ 로 뛰는 구간에서 환기량은 66.8±19.8 $L \cdot min^{-1}$로 KF99 마스크 착용 시 60.0±15.0 $L \cdot min^{-1}$에 비해 유의하게 컸다. 이는 전술한 바와 같이 마스크 소재 필터 수준의 영향이라기보다 마스크 디자인 특성과 사적의 차이에서 나온 것으로 보는 것이 타당하다. 특히, 호흡 가스 중 산소 섭취량($\dot{V}O_2$)이나 이산화탄소 소비량($\dot{V}CO_2$)에서 유의한 차이는 보이지 않은 반면 호흡 환기량에서만 차이를 보인 이유는 환기량에 포함된 무효 산소 소비량으로 설명할 수 있다. 폐 환기(pulmonary ventilation)란 대기 중 공기와 인체 내부 폐포 사이의 공기 교환으로 단위 시간당 호기량과 흡기량을 모두 포함한 값이다.

정상 호흡 시, 흡기 중 산소와 이산화탄소, 질소의 부피는 각 20.9%, 0.04%, 79.0%, 호기 중 산소, 이산화탄소, 질소는 각 16.3%, 4.5%, 79.2%이다(Choi et al., 1995). 본 연구에서 산소 소비량 (흡기 중 산소량)과 이산화탄소 배출량 (호기 중

이산화탄소량)은 다섯 가지 실험 조건 간 차이가 없었기 때문에 환기량에 영향을 줄 수 있는 구성은 호기 중 산소량이다. 질소는 호기와 흡기 시 거의 동일한 비율이며, 흡기 중 이산화탄소량은 0.04%로 환기량에 영향을 미치기에는 너무 미미하다. 즉, 호기 가스에 포함된 산소는 폐포까지 도달하지 않고 다시 기도를 통해 대기로 나온 무효 산소량으로, KF94 혹은 KF80 마스크를 착용하고 고강도의 운동을 수행할 경우 KF99 조건에 비해 무효 산소량이 유의하게 많아 환기량이 더 컸을 수도 있다고 이해할 수 있으며, 호기 가스 중 무효 산소량의 증가는 호흡 빈도 증가로도 설명 가능하다. 본 연구에서 호흡 빈도를 측정했다면 정확한 분석이 가능할 것이나, KF80이나 KF94 마스크 착용 시 좁은 사적으로 인해 KF99나 N95 마스크 착용 시에 비해 호흡 빈도가 증가하였을 수 있고, 이로 인해 무효 산소량이 증가하여 환기량이 증가한 것으로도 해석할 수 있다. 정상 호흡 시 환기량을 결정하는 요인은 압력과 저항으로, 외부 압력이 높을수록, 기도 내부 저항이 낮을수록 흡기량이 증가하고, 반대로 폐포 압력이 높을수록, 기도저항이 낮을수록 호기량이 증가한다. 그러나, 본 연구에서 마스크 착용 시 흡기저항은 KF99가 KF80이나 KF94보다 컸기 때문에, 실제 착용시 피험자의 기도 저항이 환기량에 영향을 미치지 않았을 것이라 추정할 수 있다. 마스크 내부 압력의 경우 KF99의 컵형 디자인에서 더 높은 내부 압력이 유지되었는지, 가로접이형인 KF80 혹은 KF94 마스크 내부의 압력이 더 높았는지 측정하지는 않았기 때문에 압력의 영향은 논할 수 없다. 다만, KF99의 컵형 디자인으로 유지된 더 큰 사적에 의해 호흡이 수월해지고 이로 인해 호흡 빈도도 상대적으로 더 적었을 것이라는 가설도 나름 타당하다. 요약하면, 고강도 운동 구간에서 마스크 조건들 간 발견된 환기량 차이는 외부 압력이나 흡기 저항보다, 호흡 빈도 증가로 인한 호기 가스 중 무효 산소량 증가로 설명될 수 있다. 그러나, 본 연구는 보건용 마스크를 착용한 상태에서 호흡 관련 변수를 측정한 것이 아니라, 보건용 마스크를 각 실험구간에서 연속 착용하다가 5분씩 호흡가스대 사용 마스크로 교체 착용한 후 5분 동안 측정한 호흡지표라는 점을 기억할 필요가 있다. 현재, 보건용 마스크를 착용한 상태에서 직접 호흡지표들을 측정할 수 있는 방법은 없다. 간혹, 내부에 보건용 마스크를 끼워 넣은 채 호흡대사용 고무 마스크를 착용하고 호흡지표들을 측정한 연구가 발표되었으나 이는 보건용 마스크의 영향이라기 보다 고무 마스크 착용의 영향을 의미한다. 추후, 보건용 마스크 착용이 인체 호흡대사에 미치는 영향을 평가하기 위한 보다 타당한 실험 방법 개발이 요구된다.

셋째, 본 실험에 사용된 보건용 마스크의 표면적은 피험자 5인 전신 체표면적 평균의 1.1%였으며, Lee et al. (2009)에 따르면 반면형 마스크에 의해 덮이는 얼굴 면적은 전신의 약 ~ 2.0%에 해당한다. 본 연구 결과, 직장온이나 귀내온에서 다섯 가지 실험 조건 간 유의한 차이가 발견되지 않았다는 점은 전신 체표면적의 1.1%가 커버되어 외기와의 열교환이 방해되었다 하더라도 이 정도 면적은 다양한 강도의 운동을 수행함에도 체내 열저장량을 증가시킬 정도의 유의한 영향 인자는 아님을 의미한다. 그러나 이는 기온 20°C, 습도 50%RH의 쾌적 환경에서 수행된 것으로 고온다습한 여름철 고강도의 운동을 수행하여 증발에 의한 열교환만 유효할 경우 다른 결과가 초래될 수도 있다.

넷째, 볼 피부온의 경우 이마온에 비해 다섯 가지 실험 조건 간 상대적으로 더 큰 차이가 발견되었다. 이는 본 연구에서 측정한 이마 가운데 부분에 비해 볼 부위의 모세혈관이 더 풍부하게 밀집되어 있기 때문에 마스크 착용에 의한 열손실 방해를 보다 민감하게 반영한 것으로 추측된다.

다섯째, 마스크 내 형성된 미세기후의 습도는 운동 중 90%RH 까지 상승하였으나, 고강도 운동을 수행할 경우 KF99 마스크 착용 시 상대적으로 낮은 습도가 유지되었다. 또한, 마스크 내 미세기후의 온도도 KF80보다 KF99 마스크 조건에서 상대적으로 낮은 값이 발견되었다. 이는 컵 형 디자인으로 인해 마스크 내부 공간이 유지되었고 이로 인해 마스크가 피부에 직접 닿는 경우가 적었기 때문으로 해석할 수 있으며, 동시에 KF99 마스크에 부착된 배기 밸브로 인해 마스크 내부 공기의 움직임이 상대적으로 더 커 대류에 의한 열교환이 활발했기 때문인 것으로 해석할 수 있다. KF99 마스크에 부착된 배기 벨브는 일방향 개폐형으로, 내부 얇은 막으로 인해 숨을 들이 쉴 때는 닫히고, 숨을 내쉴 때는 열리면서 마스크 내부의 숨이 밖으로 배출되게 돕는 역할을 한다. Staymates(2020)는 밸브가 부착되어 있는 N95 마스크와 부착되어있지 않은 N95 마스크 착용 시 마스크 외부로 누설되는 공기 및 안개의 흐름을 시각화 하였는데, 밸브 부착형 마스크 착용 시 외부로 나가는 공기량 뿐만 아니라 공기의 물방울 또한 뚜렷하게 더 많았다고 보고하였다. 그러나, COVID-19 범유행 상황에서 주의할 점은 배기 벨브가 부착된 마스크는 우리나라 식약처 뿐만 아니라 미국 질병 통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)에서도 사용을 금지하고 있다는 것으로(CDC, 2020), 그 이유는 무증상 감염자들이 배기 밸브 부착 마스크를 착용할 경우 무증상 감염자가 보유한 감염원이 마스크 밸브를 통해 외기로 배출될 우려가 있기 때문이다.

여섯째, 운동 전후로 측정한 혈압을 비교해 본 결과 모든 실험 조건에서 운동 직후 수축기 혈압이 상승하였다. 운동 직후 측정된 수축기 혈압은 평균 131.4±4.6 mmHg로 이는 '고혈압 전단계'에 해당하는 높은 수치이다(The Korean Society of Hypertension, 2020). 마스크를 착용하지 않은 조건에서 운동 전후 혈압 증가율은 평균 5.6%였으나 KF80 마스크 조건에서는 11.2%, KF94 마스크 조건에서 6.4%, KF99 마스크 조건에 3.2%, N95 마스크 조건에서 1.5%로, 오히려 마스크 필터 수준이 높을수록 (혹은 흡기저항이 높을수록, 혹은 사적이 클수록), 마스크 미착용시에 비해 수축기 혈압의 증가율이 적었다. 특히, 평균 동맥압으로 비교해보면 KF99와 N95 마스크를 착용한 경우 다른 조건들에 비해 유의하게 낮은 혈압이 측정되었다. 본 연구 결과만을 근거로, 마스크를 착용하고 고강도 운

동을 수행하는 경우, 마스크 미착용 조건에 비해 혈압 증가율이 낮은 이유를 설명하는 것은 간단하지 않다. 그 이유는 본 실험에 사용한 네 종류의 마스크 조건별 경향이 다르게 발견되기 때문이다. 즉, 네 가지 마스크 조건 모두 고강도 운동 직후 측정된 혈압이 마스크 미착용 조건에 비해 낮은 것이 아니라, KF80과 KF94 조건에서는 혈압이 더 높고, KF99와 N95 조건에서는 혈압이 더 낮았기 때문이다. 마스크를 착용하게 되면 마스크 미착용 시에 비해 호흡저항이 증가하고, 필터수준이 높은 마스크일수록 호흡저항이 더 증가하므로, 혈압이 호흡저항의 함수라면 호흡저항의 크기(KF80, KF94, N95, KF99 마스크의 흡기저항은 각각 6.7, 8.8, 19.2, 23.3 Pa)대로 결과가 얻어져야 하나 그러한 경향이 아니라 KF80과 KF94 > 미착용 조건 > N95와 KF99 조건으로 분류된 것은 마스크 내부의 사적 혹은 마스크 디자인이 혈압에 영향을 미치는 한 가지 요인으로 작용하고 있음을 의미한다.

본래 혈압은 심박출량과 말초저항의 곱으로, 심박출량이 많거나 말초저항이 크면 혈압이 높다. 혈압은 흔히 동맥압을 의미하는데 동맥압이란 대동맥이 용적보다 많은 혈액량을 수용하는 경우 각 동맥 혈관들 내부에 생성된 압력을 의미한다. 본 연구에서 운동 직후 혈압이 증가하는 이유는 운동으로 인해 심박출량이 증가하고 증가된 혈액량은 대동맥의 수용범위를 훨씬 능가하기 때문에 동맥벽이 팽창하면서 내부의 압력이 증가하기 때문이다. 본 연구 결과, KF80/94 마스크 착용시에는 혈압이 높고, KF99/N95 마스크를 착용시에는 혈압이 낮았던 이유는 심박출량과 말초저항의 변화로 유추해볼 수 있다. 일반적으로 심박출량이 증가할 경우 수축기압의 증가가 초래되고, 말초저항이 증가할 경우 이완기압이 먼저 증가하는데(Choi et al., 1995), 본 연구의 경우 수축기 혈압이나 이완기 혈압에서 다섯 조건 간 유의한 차이가 발견되지 않았기 때문에 확정적으로 해석할 수는 없으나, 수축기 혈압의 경우 KF99/N95조건에서 낮은 경향을 보이므로 심박출량 감소를 어느 정도 유추해 볼 수 있다. 심박출량은 심박수와 일회 박출량의 곱으로 표현되고, 본 연구에서는 다섯 가지 실험 조건들 간 심박수에서 유의한 차이는 없었기 때문에, 결국 KF99/N95 마스크 착용 시 심장의 일회 박출량(stroke volume)이 더 적었을 것이라 가정해 볼 수 있다. 동시에 KF80/KF94 마스크 착용 시 일회 박출량이 더 컸을 것이다. 그러나, 컵형 혹은 사적이 상대적으로 큰 마스크를 착용 한 경우에는 고강도 운동을 마친 직후 일회 박출량이 상대적으로 더 적고, 가로접이형으로 호흡 시 마스크 내부 공기가 잘 유지되지 않으면서 상대적으로 적은 사적을 보유한 마스크를 착용한 경우 일회 박출량이 비교적 클 것이라는 해석은 후속 실험 연구를 통한 검증이 필요하다.

일곱째, 주관적 착용감의 경우 다섯 개의 실험 조건 모두에서 운동 강도가 증가할수록 더 덥고, 더 불쾌하고, 더 습하게 느꼈으며, 마스크 미착용 조건과 착용 조건 간 운동 구간에 따른 차이를 보였으나, 네 가지 마스크 착용 조건들 간의 유의한 차이는 한서감을 제외하고 발견되지 않았다. Roberge et al.(2010)의 연구에서도 본 연구 결과와 같이 의료진들이 한 시간 동안 여러 종류의 N95 마스크를 착용하는 동안 마스크 종류 간 주관감에서 유의한 차이가 발견되지 않았다. 즉, 마스크 착용이 주관감을 다소 악화시킬 수는 있으나 시판 보건용 마스크 종류 간 한서감이나 습윤감, 온열 쾌적감에서 현저한 차이는 존재하지 않는다고 볼 수 있다. 그러나 본 연구는 피험자 5인을 대상으로 한 결과이기 때문에 주관감의 경우 충분한 피험자를 확보하여 통계적인 유의성이 확보될 필요가 있으며, 나아가 본 연구결과는 3~4시간 이상 장시간 연속 착용할 경우에 적용될 수 없다.

마지막으로, 본 연구는 한국인을 대상으로 보건용 마스크 착용이 다양한 강도의 운동을 수행하는 동안 인체에 미치는 생리 · 심리적인 영향을 보고한 최초의 연구라는 점이 가장 큰 시사점으로 간주될 수 있으며, 본 연구가 가진 한계 및 후속 연구를 위한 제한점은 다음과 같다. 본 연구에 참여한 피험자 수(총 5인)는 생리적 혹은 주관적 측정항목들의 유의성을 검증하기에 다소 적은 수이며, 특히 주관감의 경우 신뢰할 만한 차이를 발견하기 위해서는 통계적으로 충분한 피험자를 모집하여 재평가할 필요가 있다. 나아가, 모든 연령층의 국민들에게 마스크 착용이 의무화가 되었다는 점을 고려하면, 장차 어린이나 고령층과 같은 다양한 연령대의 피험자를 모집하여 그 영향을 확대 분석해 볼 필요가 있다. 또한, 본 연구는 환경온습도 20°C와 50%RH인 쾌적한 환경 조건에서 수행되었지만, 고온다습한 여름철 환경에서 보건용 마스크 착용 시 마스크 착용이 인체 생리 반응에 미치는 영향은 추가로 확인될 필요가 있다. 본 실험에는 국내 식약처 인증 마스크인 KF80, KF94, KF99 마스크와 세계적으로 가장 잘 알려진 미국의 N95 마스크를 선택하였으나, 현재 매우 다양한 디자인(2-panel, 4-panel, 세로접이형, 주름형, 서지컬 마스크, KF AD 등) 및 다양한 소재 (천, 부직포 등)의 마스크가 생산되고 있기 때문에 보다 다양한 디자인의 시판 보건용 마스크 및 직물 마스크들에 대한 평가가 이루어질 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구는 다양한 강도의 운동을 수행할 경우 국내외 인증 보건용 마스크 착용이 인체의 호흡 · 심혈관계 및 체온조절계 반응에 미치는 생리적·주관적 부담을 평가하고자 수행되었다. 연구 결과 보건용 마스크 착용이 체온조절 반응에 유의한 영향을 미치지는 않았으나, 고강도의 운동을 수행할 경우 호흡 환기량과 혈압이 증가하였는데 이러한 경향은 KF99나 N95 마스크 조건에서보다 KF80 혹은 KF94 마스크 착용 조건에서 발견되었다. 이는 마스크 필터 수준의 영향이라기보다, 디자인에 따른 사적(dead space)의 차이에 기인하는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 걷기(4 $km \cdot h^{-1}$)나 빨리 걷기(6 $km \cdot h^{-1}$) 수준의 운동을 수행할 경우 보건용 마스크 착용에 의해, 혹은 착용된 마스크 필터 수준에 따라 인체 생리 부담이 증가하지는 않으나, 고강도

의 운동(8 km·h^{-1}로 뛰기)을 수행할 경우 마스크의 필터 수준보다 마스크 디자인요인에 의해 인체 생리 부담이 증가할 수 있으며 이러한 영향은 호흡 환기량과 혈압 증가에서 확인되었다. 이러한 결과는, 마스크 필터 수준 증가로 인해 초래될 수 있는 호흡 부담 증가를 마스크의 디자인 개선으로 어느 정도 낮출 수 있음을 의미한다. 단, 본 연구는 쾌적한 환경온습도에서 20대 건강한 성인 남성이 보건용 마스크를 착용하는 경우에 대해 얻어진 결과이기 때문에, 고온다습한 환경에서 마스크를 착용하는 경우나 청소년/고령군/호흡기가 취약한 개인들, 혹은 천 마스크를 착용하는 경우에 적용할 수 없으며, 특히 마스크 착용 의무화 시행으로 하루 착용 시간이 7~8시간으로 증가한 중고등학생들이나 관련 직업 종사자들에게 본 연구 결과를 적용할 수 없다.

감사의 글

본 논문은 2020년도 (주)에이제이의 '보건용 마스크 개발' 연구용역사업 지원을 받아 수행되었습니다. 실험을 도와준 준 김승현, 김준호, Syifa, 이도신, 임가영 및 행정적 지원을 제공한 허윤정, 영문 교정을 도와 준 Andrew Gorski에게도 감사의 말씀을 전합니다.

References

Chandrasekaran, B., & Fernandes, S. (2020). Exercise with facemask; Are we handling a devil's sword? – A physiological hypothesis. *Medical hypotheses*, *144*, 110002. doi:10.1016/j.mehy.2020.110002

Cho, J. H (2020, May 6), A middle school student who had Dyspnoea died suddenly while running with a mask on. *Chosun Ilbo.* Retrieved November, 19, 2020, from https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2020/05/06/2020050602341.html

Choi, M. A., kim, J. H., Park, M. J., Choi, S. M., & Lee, K. S. (1995). *생리학* [Physiology]. Seoul: Hyunmoonsa.

Centers for Disease Control and Prevention. (2020). Considerations for wearing masks. Retrieved December, 28, 2020, https:// www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/cloth-face-cover-guidance.html

Eom, R. I., Park, S. H., Park, S. Y., & Lee, Y. J. (2020). Wear evaluation of protective mask according to internal volume. *The Korean Society of Clothing and Textiles*, *44*(4), 626-638. doi: 10.5850/JKSCT.2020.44.4.626

Food and Drug Administration. (2020, December 7). N95 respirators, surgical masks, and face masks. Retrieved December 4, 2020 from https://www.fda.gov/medical-devices/personal-protective-equipment-infection-control/n95-respirators-surgical-masks-and-face-masks

Kwon, J. Y., Lim, G. Y., Kim, S. H., Shin, H. J., & Lee, J. Y. (2020). Risk awareness to covid-19 and wear behavior of protective masks between adults and adolescent living in seoul and gyunggi province. *The Korean Journal of Community Living Science*, *31*(3), 335-351. doi:10.7856/kjcls.2020.31.3.335

Korea Disease Control and Prevention Agency. (2020, November 11). Guide leaflet for recommendation and the compulsory wearing of masks. Retrieved December 4, 2020, from http:// ncov.mohw.go.kr/guidelineView.do?brdId=7&brdGubun=71&dataGubun=&ncvContSeq=4056&contSeq=4056&board_id=&gubun=

Lee, J. Y., Choi, J. W., & Kim, H. (2008). Determination of body surface area and formulas to estimate body surface area using the alginate method. Journal of Physiological Anthropology, *27*(2), 71-82. doi:10.2114/jpa2.27.71

Lee, J. Y., Park, J. H., Baek, Y. J., Jung, D. H., Ko, Y. L., Kang, J. H., Lee, T. K., Lee, Y. J., Song, E. Y., Son, S. Y., Kwon, J. Y., & Kim, S. H. (2020). Regional and sex differences in cognition and wear behavior concerning fine-dust protective masks during high concentration days. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, *44*(3), 516-538. doi:10.5850/JKSCT.2020.44.3.516

Ministry of Food and Drug Safety. (2019, December 31). Guideline on standards and specifications for filtering respirators. Retrieved December 4, 2020, from https://www.mfds.go.kr/brd/m_578/view.do?seq=41849

Ministry of health and welfare. (2020, November 20). Cumulative number of confirmed cases. Retrieved November 20, 2020, from http://ncov.mohw.go.kr/

Roberge, R. J., Coca, A., Williams, W. J., Powell, J. B., & Palmiero, A. J. (2010). Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers. *Respiratory care*, *55*(5), 569- 577.

Roberge, R. J., Kim, J. H., & Powell, J. B. (2014). N95 respirator use during advanced pregnancy. *American journal of infection control*, *42*(10), 1097-1100. doi:10.1016/j.ajic.2014.06.025

Rosner, E. (2020). Adverse effects of prolonged mask use among health care professionals during COVID-19. *Journal of Infectious Diseases Epidemiology*, *6*(130). doi:10.23937/2474-3658/1510130

Staymates, M. (2020). Flow visualization of an N95 respirator with and without an exhalation valve using schlieren imaging and light scattering. *Physics of Fluids*, *32*(11), 111703. doi:10.1063/5.0031996

The Korean Society of Hypertension. (2020, February 18). The standard slide of hypertension 2019. Retrieved December 4, 2020, from http://www.koreanhypertension.org/reference/guide?mode=read&idno=4361

(Received 8 December, 2020; 1st Revised 23 December, 2020; 2nd Revised 28 December, 2020; Accepted 28 December, 2020)