

신경근전기자극이 비만 성인의 심호흡 기능에 미치는 영향

유재호, PT, PhD^{*1}

^{*1}선문대학교 물리치료학과

Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation on Cardiorespiratory Function in Adults with Obesity

Jae-Ho Yu, PT, PhD^{*1}

^{*1}Dept. of Physical Therapy, Sunmoon University, Republic of Korea

Purpose The purpose of this study is to identify effects of neuromuscular electrical stimulation(NMES) on the cardiorespiratory function differences between obesity adult and control. **Methods** 10 obesity adults and 10 controls were participated. The electrodes for NMES were placed on bilateral abdomen, gluteus maximus and quadriceps muscles, and The electrical stimulation intensity was applied as follows.; sensory no contraction, motor threshold, and maximal intensity that can withstand. Data obtained after evaluating cardiorespiratory function during rest, NMES, and recovery were statistically analyzed. **Results** There were significant differences on heart rate, systolic blood pressure, heart rate reserve, VO₂, VCO₂, ventilation exchange in all group(p<0.05). There were significant differences on diastolic blood pressure, VCO₂ in rall NMES periods between group(p<0.05). **Conclusion** NMES increased cardiorespiratory function as its intensity increased, and it was found that obese adults further increased cardiorespiratory function than the control group. In the future, various attempts to manage obesity by increasing the metabolic rate using electrical stimulation in the field of physical therapy are needed.

Key words Neuromuscular electrical stimulation, Cardiorespiratory function, VO₂, VCO₂, Obesity

Corresponding author Jae-Ho Yu (naresa@sunmoon.ac.kr)

Received date 27 September 2020

Revised date 11 October 2020

Accept date 13 October 2020

1. 서론

비만은 건강과 삶의 질을 위협하는 중요한 결정요소 중 하나 이고 세계적으로 부유한 국가 가운데 건강한 삶을 손실로 이 끄는 비전염성 질환 중 세번째로 가장 주된 요인으로 보고된 바 있다.¹⁾ 또한 비만은 과도한 지방 축적으로 인해 신진대사 를 변화(예; 인슐린 저항, 이상지질혈증, 염증)시켜 제2형당뇨 병과 심혈관 질환을 유발할 수 있는 위험요인이며, 비만인에 게서 쉽게 관찰되는 호르몬을 분비하는 지방조직은 암의 위험 을 증가시킬 수 있다. 그리고 아시아인들은 비만에 대하여 더 욱 민감한 경향이 있는데 이들은 백인들 보다 낮은 체질량 지 수를 가지고 있음에도 불구하고 제2형당뇨병 고혈압 및 기타 대사성질환들이 증가하는 경향이 있다. 많은 학자들은 이러한 경향이 체성분이 다르기 때문이라고 가설을 세워 보고한 바 있다.²⁾

신경근전기자극(Neuro Muscular Electrical Stimulation,

NMES)은 일반적으로 물리치료와 재활에서 환자의 말초혈액 순환 증진, 근력과 지구력 증가, 그리고 근 기능 재교육 등을 돕기 위해 사용되었다.³⁾ 최근, 건강증진이 상당한 관심을 얻 고 있는 가운데, NMES는 신체적 체력을 증진시키고 심장 질 환의 위험을 감소시키기 위해 도입되고 있으며, 임상적으로 NMES는 운동의 형태를 더욱 체계화시키고 신체적 활동 증가 를 촉진하기위해 제공되어진다. 이것은 뇌졸중이나 척수손상 (Spinal Cord Injury, SCI) 환자와 같이 재활에 참가하는데 어려움을 가지고 있거나 신체적 운동에 참여할 수 없는 사람 들의 경우 특히 그렇다. 척수손상 환자 재활에 있어 NMES는 사용 가능한 사지를 수동적으로 움직이거나 일상생활동작 보 조를 위해 사용되어왔으며 기존의 연구 결과, NMES 적용 후 환자들의 산소용량이 눈에 띄게 향상되는 것을 확인 하였다.⁴⁾

NMES 사용이 건강관련 요인에 미치는 효과로는 뼈 미네 량 밀도 감소 최소화, 신체 구성비 향상이 있으며, 운동 시 심 혈관계 기능을 보다 안정화 시키고, 호흡기계를 활성화 시키 며, 운동 시 적응력을 높인다.⁵⁾ 또한 NMES에 의한 근수축은 불수의적 발생이고, 이렇게 만들어진 운동 단위(motor unit)

<http://dx.doi.org/10.17817/2020.10.11.111574>

의 동일 방법은 운동 시 발생하는 수의적인 근수축과 차이가 있다. 하지만, 근수축 발생을 위해서 심혈관 대사를 통한 에너지 소비는 필수적으로 발생한다. 그 동안 다양한 연구의 결과에 따르면, NMES는 심호흡계를 활성화시켜, 대사율을 증가시키며 그 결과, 전체적인 에너지 소비 촉진으로 비만관리를 위한 부가적 중재로 적용가능하나 NMES의 효과를 조사한 선행연구들은 매우 제한적이다.⁶⁾

선행 연구에서는 안정시에 시행한 NMES가 지방 연소에 효과를 가지고 있으며, 운동 중에 전기 자극을 추가하여 수행하면 그 효과가 증가됨을 보고된 바 있다.⁷⁾ 또한 Hsu 등(2011)은 NMES 적용 시 그 강도 조절에 따라 심호흡계 기능을 증진 시켰다고 보고한 바 있으나, 정상 성인을 대상으로 하였기에 비만 성인에게서도 같은 결과를 적용하는 것은 다소 무리가 있다.⁸⁾ 이에 본 연구는 선행연구와 동일한 실험적 중재를 비만 성인에게 적용하여 그 효과를 알아보고 정상 성인과 비교하여 그 효율적 차이를 검증하고자 하였다.

따라서 본 연구는 첫째, 각각 다른 강도의 NMES가 비만 성인에 있어 심혈관계 및 호흡기계에 미치는 효과를 규명하고, 둘째, 정상성인과 동일한 변인들을 비교하여 NMES에 따른 호흡 및 심혈관 생리학적 차이를 확인하는데 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 충남 S 대학교 중 체지방 지수 25 이상 비만 성인 10명(남자 5명, 여자 5명)을 실험군으로, 정상적 체지방 지수 20-25를 가지고 있는 성인 10명(남자 5명, 여자 5명)을 대조군으로 하였으며, 실험군 대상자의 선정기준은 다

음과 같다.

- 1) 신체의 체지방지수(Body mass Index, BMI) 25이상
- 2) 허리엉덩이비율(Waist/Hip ratio, WHR) 남성:0.85, 여성:0.90이상
- 3) 체지방률(body fat%) 30%이상

실험실시 전 체성분분석기(Inbody 520, BIOSPACE, 한국)를 이용하여 신장과 체중 및 체지방을 측정하였다. 모집된 대상자들 중 사전조사를 통하여 대사적 심혈관계 질환, 근골격계 질환, 신경학적 질환으로 병력이 있는 자, 눈에 띄는 질병이 있거나 NMES 치료를 받은 경험이 있는 자는 제외하였으며 연구 목적과 실험 절차에 관하여 충분히 설명한 뒤 참여동의서를 받았다.

2. 연구 절차

본 연구는 횡단적 연구 설계(cross sectional study design)로 시행되었고 각각 다른 강도의 NMES가 비만 성인에 있어 호흡기계 및 심혈관계에 미치는 효과를 알아보기 위하여 선정 및 제외 기준에 따라 대상자들을 선정하였다. 피험자들은 실험 중 유의해야 할 사항과 기본적인 측정 절차에 대한 설명을 들은 뒤 측정을 실시하였다.

본 연구는 환경적인 요인에 의한 생리적 반응의 변화를 최소화하기 위해 실험실의 온도를 항상 22~24℃, 습도 60%가 유지되도록 하였다. 연구 진행자는 물리치료 전공자 3명으로 하였으며, 한명은 모니터 주시와 피험자의 상태를 전체적으로 통제하였으며, 한명은 5분마다 혈압을 측정하였고, 나머지 한명은 5분마다 피험자가 느끼는 전기 자극을 적절히 적용하였다.

생리학적 변인 통제를 위하여 피험자는 실험 참가 전 최소 24시간동안 카페인을 금하였다. 심박수 데이터획득을 위해 피험자의 피부를 알코올 솜으로 소독한 후, 12리드 심전도 전극

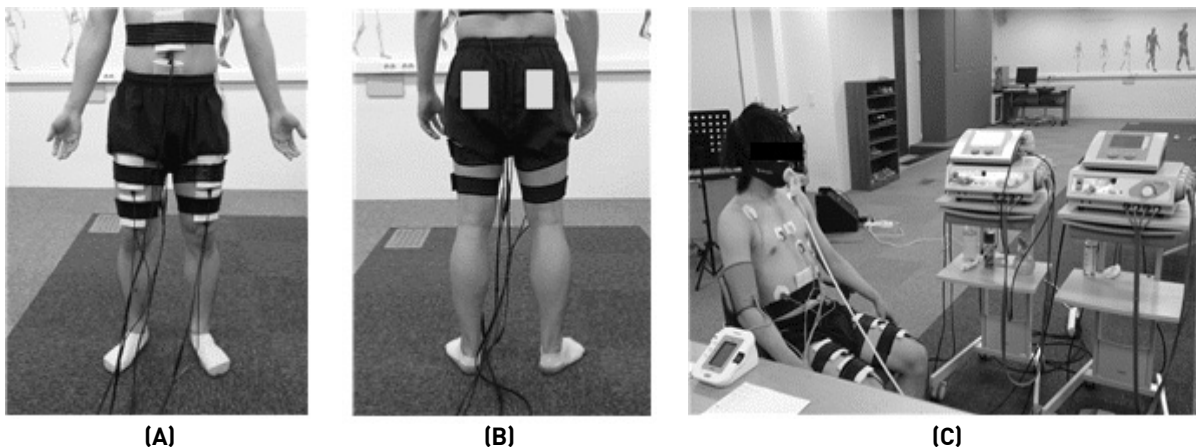


Figure 1. electrodes placement. (A) Frontal view, (B) Back view, (C) Measurement position

패치를 가슴 부위에 부착하였다. 이후 NMES 증재를 위해 전기치료기 패드(9 × 12 cm)를 양측 배근육, 대둔근(gluteus maximus), 대퇴사두근(quadriceps)에 직접 접촉 고정하였다. 피험자는 등받이가 있는 의자에 등을 기대어 편안하게 앉고, 오른쪽 팔에 자동 혈압계(Automatic Blood Pressure Monitor with Intellisense(OMRON) Healthcare Co. Ltd., 일본)를 착용하여 혈압을 측정하였다. 안면 마스크는 위쪽부터 뒷숄대쪽과 뒷통수뼈에 걸리도록 스트랩으로 고정하였으며, 자연스럽게 호흡하도록 지시하였다(Figure 1).

본 연구에서는 2대의 복합 전기 치료기(DUO200, Gymnauniphy, 벨기에)를 사용하여 NMES으로 선택한 후 정사각형 대칭 이상파로 설정하고 주파수는 20Hz로 자극하였다. NMES의 단속시간비는 1:2로 하였고, 전기 자극의 최대의 힘 출력은 85mV로 하였다.

실험이 시작된 후부터는 시선은 정면을 바라보도록 하였고, 주변의 자극을 최소화 하였다. 피험자가 실험 환경에 적응하고 안정될 수 있도록 5분 동안은 휴식을 취하도록 하였다. 실험 시간은 안정 시 5분, 전기 자극 시간 15분, 회복기 5분으로 총 25분간 시행하였다. 전기 자극은 sensory level(E1), motor threshold(E2), maximal intensity comfortably tolerated(E3)로 나누어 각 단계 당 5분씩 실시하였다. E1은 전기 자극을 느끼기 시작하는 단계이고, E2는 근수축이 눈에 보일 정도의 단계이며, E3는 피험자가 견딜 수 있을 정도를 최대 강도로 정하였다. 전기 자극의 강도는 순서대로 적용하였다. 피험자가 어떠한 이유에서든 불편함을 호소한다면 실험을 자유롭게 끝낼 수 있도록 하였다.

실험 동안에, 심폐의 가스 배출은 자동 호흡가스분석시스템(Ultima™ Cardio2, MEDGRAPHICS, 미국)을 이용하여 산소소비량, 이산화탄소배출량과 호흡교환비율 등, 호흡기계 변인들을 측정하였다. 각각의 전기 강도로부터 나온 데이터의 결과는 분석을 통해 평균을 냈다.

3. 측정 장비

1) 체성분 분석

체성분이란 인체구성을 하고 있는 체액 및 고분자 성분으로 정의할 수 있다. 본 연구에서 신체 부위별 임피던스를 측정하기 위해 다주파수 부위별 임피던스 측정기가 사용되었다. 생체전기 임피던스법(Bioelectric Impedance Analysis; BIA)은 신체에 약한 전류를 통과시켜 전기저항으로 신체 내 수분량을 측정하고 이에 의해 체지방량을 측정하는 방법이다. 이를 바탕으로 계산된 체지방량, 제지방량, 수분량을 본 연구에서 사용하였다. 수동 신장계(DS-102, 동산 제닉스, 한국)를 이용하여 신장은 0.1 cm까지 측정하였다. 자세에 따라 체성분 검사 결과에 영향을 줄 수 있으므로, 장비사용이 능숙한 1명

의물리치료사에 의해 직접 측정되었다. 측정의 정확도를 높이기 위하여, 검사 전 8시간 동안 금식하였고, 모든 대상자의 측정 시간대를 오후 5시로 일정하게 진행하였으며, 검사 시 가벼운 환자복 상의를 입고, 결과에 영향을 줄 수 있는 금속 악세서리는 제거하였다. 측정방법은 피험자가 임피던스 측정 장치에 올라가서 손과 발을 전극에 대고 서서 오른팔, 왼팔, 몸통, 오른다리, 왼다리에 발생하는 전기 저항을 측정하였다.

2) 호흡가스분석

호흡가스분석기는 호흡중 시 발생하는 산소와 이산화탄소 농도를 분석하여 심폐 기능을 검사한다. 본 연구에서는 피험자에게 호흡마스크를 착용시킨 뒤 3초 간격으로 호흡가스분석변인을 측정하였다. 호흡가스분석 시, 실험 2시간 전 실험실의 실내 공기 환기를 실시 하였고, 자동 호흡가스분석기를 60분간 예열시켰으며, 산소) 16%), 이산화탄소 5%, 질소가 혼합된 표준가스를 이용하여 호흡가스분석기를 캘리브레이션 한 뒤 검사 하였다.

3) 혈압

혈압(Blood Pressure, BR)이란 심장의 율동적인 수축에 의하여 박출된 혈액이 혈관 내를 흐르면서 혈관 벽에 가하는 압력을 말한다. 세계보건 기구에 의하면 성인에서의 정상혈압은 수축기 혈압 130mmHg 미만, 확장기혈압 85mmHg 미만이고 고혈압은 수축기혈압(systolic blood pressure, SBP)이 140mmHg 이상, 확장기혈압(Diastolic blood pressure, DBP)이 90mmHg 이상이며 저혈압은 수축기혈압이 100mmHg이하, 확장기혈압이 60mmHg 이하인 경우로 정의하고 있다. 본 연구에서는 자동 혈압계를 사용하여 실험 전 피험자의 오른팔의 안정 시 혈압을 측정한 뒤 실험시작 3분부터 5분단위로 혈압을 측정하였다. 호흡가스분석과 혈압계의 측정변인은 산소섭취량(Oxygen Consumption, VO₂), 이산화탄소 배출량(Carbon dioxide Consumption, VCO₂), 일회호흡량(Tidal Volume, Vt), 분당환기량(Ventilation Exchange, VE), 심박수(Heart Rate, HR), 수축기혈압(systolic blood pressure, SBP), 확장기혈압(Diastolic blood pressure, DBP), 여유심박수(Heart Rate Reserve, HRR)로 하였다.

4) NMES

본 연구에서의 NMES는 신경지배근육 위의 피부에 전극을 배치하고 전기 자극을 주면 흥분성이 높은 신경이 먼저 탈분극을 일으켜 근수축을 유발시키는 NMES기로 자극하였다. NMES는 골격근에 반복적으로 전기 자극을 적용하면 근섬유의 직경이 증가하고 체중 감소가 지연되며, 혈관신생 촉진 및 모세혈관의 증가, 혈류량 증가, 산소 소모량 증가, 근력 증진,

근 위축 예방, 근 단백질 감소 예방, 골격근의 당원 함량 증가, 근섬유 형태의 변화, 신경근 연결부의 운동단위 증가 등의 임상적 효과가 보고되었다.⁸⁾

4. 자료 분석

본 연구에서는 각각 다른 강도의 NMES에 따른 비만 성인과 정상인의 일반적 특성, 심호흡계 기능을 비교하기 위해 기술 통계량을 사용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. Shapiro-Wilk 검정방법을 통해 변수들의 정규성 검정을 하였고, 결과적으로 모든 변수가 정규분포 하였다. 그룹 내 NMES에 따른 전후 비교를 위하여 일원분산반복측정(one way repeated ANOVA)를 실시하였고 bonferroni로 사후 검정하였다. 그룹 간 NMES에 따른 차이를 비교하기 위하여 독립표본 t 검정을 실시하였다. 모든 통계분석은 SPSS version 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)을 이용하였으며 유의수준(α)은 0.05 이하로 하였다.

III. 결 과

1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 대상자는 연구군군 10명, 대조군 10명으로 총 20명이었다. 성별 분포는 실험군은 남자 5명(50%), 여자 5명(50%)이었으며, 대조군도 남자 5명(50%), 여자 5명(50%)으로 실험을 실시하였다. 연구 대상자의 일반적 특성은 아래

Table 1과 같다.

2. 각 그룹 내 NMES 전후 비교

1) 호흡 기계 비교

각 그룹 내 전기 자극에 따른 호흡기계 변인의 차이는 다음과 같다(Table 3, 4). 산소섭취량은 실험군에서 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었고($p=0.00$), 대조군에서도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.000$). 이산화탄소배출량은 실험군에서 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었고($p=0.00$), 대조군에서도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.00$). 일회호흡량은 실험군에서 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 없었지만($p=0.29$), 대조군에서는 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.04$). 분당환기량은 실험군에서 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었으며($p=0.00$), 대조군에서도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.00$).

2) 심혈 관계 변인 비교

각 그룹 내 전기자극에 따른 심혈관계 변인의 차이는 다음과 같다(Table 2, 3). 심박수는 실험군에서 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었고($p=0.00$), 대조군에서도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.00$). 수축기혈압은 실험군에서 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었고($p=0.01$), 대조군에서도 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p=0.04$). 확장기혈압은 실험군에서 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 없었으며($p=0.10$), 대조군에서도 통계적으로 유의한 차이가 없었다

Table 1. General characteristics of subjects

| | Age | Height | Weight | BMI | WHR | Body fat% |
|--------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Experimental Group | 21.5±1.43 | 172.3±6.28 | 78.72±9.55 | 26.26±2.37 | 28.11±8.00 | 0.83±0.38 |
| Control Group | 21.7±1.19 | 164.7±5.42 | 52.76±5.27* | 19.36±1.47* | 17.94±5.23* | 0.79±0.02* |

*note: all variables are mean±standard deviation. BMI: body mass index. WHR: waist hip ratio. * $P<0.05$

Table 2. The change of respiratory and cardiovascular variables according to stage in experimental group

| | Rest | E1 | E2 | E3 | Recovery | F |
|--------------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Respiratory variables | VO ₂ | 0.25±0.04 | 0.27±0.04 | 0.29±0.06 | 0.37±0.07 | 24.98 ^{***} |
| | VCO ₂ | 0.37±0.07 | 0.37±0.07 | 0.40±0.07 | 0.50±0.09 | 8.50 ^{***} |
| | VT | 574.60±136.33 | 559.60±115.62 | 552.70±112.84 | 652.80±172.41 | 1.44 |
| | VE | 10.21±1.99 | 9.97±2.24 | 10.46±2.50 | 13.63±3.06 | 13.00 ^{***} |
| Cardiovascular variables | HR | 74.50±12.93 | 77.80±12.55 | 81.70±10.97 | 94.60±13.54 | 27.17 ^{***} |
| | SBP | 130.60±17.12 | 129.50±19.43 | 132.80±14.95 | 139.40±18.14 | 4.08 ^{**} |
| | DBP | 84.70±7.02 | 82.30±9.01 | 85.80±7.55 | 89.10±8.50 | 2.09 |
| | HRR | 9576.60±1049.64 | 9903.70±961.63 | 10746.30±982.72 | 13069.20±1739.42 | 9982.60±1214.61 |

*note: all variables are mean±standard deviation. * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$

Table 3. The change of respiratory and cardiovascular variables according to stage in control group

| | | Rest | E1 | E2 | E3 | Recovery | F |
|---------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------------|
| Respiratory variables | VO ₂ | 0.20±0.04 | 0.21±0.04 | 0.24±0.05 | 0.26±0.06 | 0.19±0.04 | 20.03 ^{***} |
| | VCO ₂ | 0.25±0.06 | 0.27±0.03 | 0.27±0.11 | 0.38±0.10 | 0.25±0.06 | 5.71 ^{**} |
| | VT | 415.77±78.28 | 422.70±68.91 | 464.50±111.382 | 554.90±227.44 | 405.30±90.15 | 2.84 [‡] |
| | VE | 8.09±1.23 | 8.17±0.96 | 9.11±1.77 | 10.50±2.11 | 7.99±1.59 | 7.43 ^{***} |
| Cardio-vascular variables | HR | 75.10±8.51 | 76.70±7.73 | 81.40±10.85 | 88.80±11.67 | 76.90±6.55 | 26.64 ^{***} |
| | SBP | 118.20±11.98 | 116.10±9.62 | 116.00±10.94 | 123.00±15.73 | 116.90±11.34 | 2.75 [‡] |
| | DBP | 75.00±6.16 | 73.30±6.58 | 73.80±5.32 | 79.60±10.06 | 74.90±8.08 | 2.61 |
| | HRR | 8855.60±1180.78 | 8896.60±1081.81 | 9417.00±1335.10 | 10931.20±1986.95 | 8972.50±1015.75 | 14.67 ^{***} |

*note: all variables are mean±standard deviation. [‡]P<0.05, ^{**}P<0.01, ^{***}P<0.001

(p=0.05). 여유심박수는 실험군에서 실험 전후 통계적으로 유의한 차이가 있었으며(p=0.00), 대조군에서도 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p=0.00).

3. 각 그룹간의 NMES 전후 비교

1) 호흡 기계 비교

실험군과 대조군의 전기 자극에 따른 호흡기계 변인의 차이는 다음과 같다(Fig 2). 산소섭취량은 안정시, E1, E3, 회복기에서 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 있었고(p<0.05), 이산화탄소배출량은 E1, E2, E3, 회복기에서 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 일회호흡량은 안정시, E1, 회복기에서 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 (p<0.05), 분당환기량은 안정시, E1, E3에서 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

2) 심혈 관계 비교

실험군과 대조군의 전기 자극에 따른 심혈관계 변인의 차이는

다음과 같다(Figure 2). 혈압은 모든 구간에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p<0.05), 수축기혈압은 E2, E3, 회복기에서 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 있었고(p<0.05), 확장기혈압은 안정시, E1, E2, E3, 회복기 모든 구간에서 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05), 여유심박수는 E2에서만 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

IV. 고찰

본 연구는 NMES가 비만 성인에 있어 호흡기계 및 심혈관계에 미치는 효과를 규명하고, 정상 성인과 비교하여 전기 자극이 미치는 영향의 차이를 비교하고자 시행되었으며 그 결과를 토대로 논의하고자 한다. 비만은 심혈관계 능력과 호흡용량에 영향을 미치고 정상 호흡 반응과는 다른 몇 가지 생리학적 패턴으로 변화시키는 원인이 된다. Valtueña 등(1997)은 산소섭취량과 이산화탄소배출량과 같은 호흡지수는 저칼로리 식이

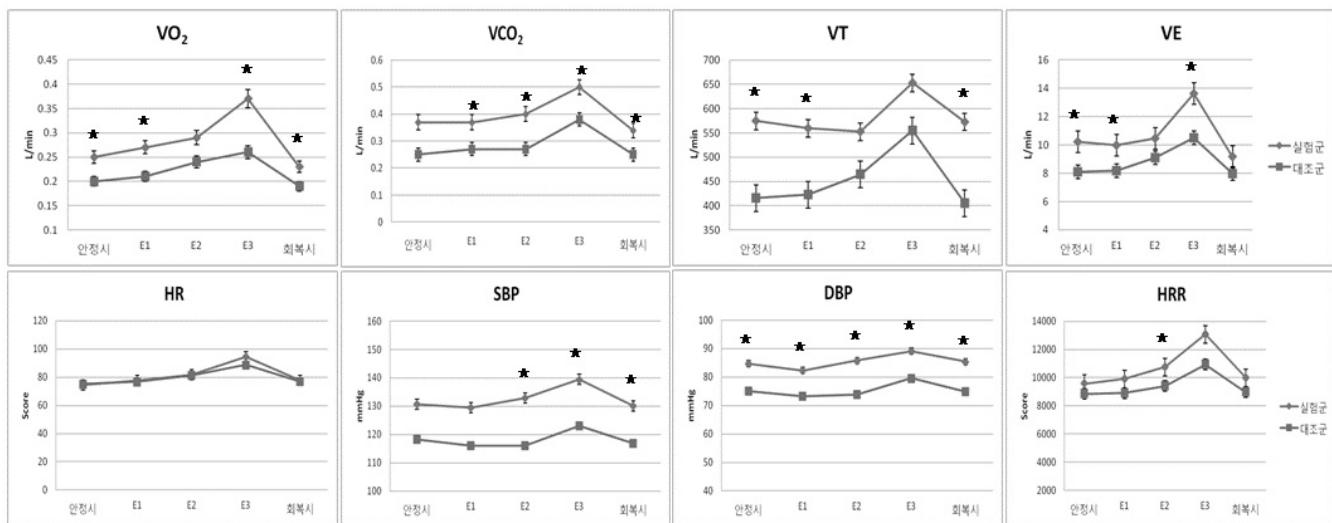


Figure 2. The difference of respiratory and cardiovascular variables between experimental and control group. *P<0.05

섭취에서 체중감소를 유도하는데 사용될 수 있다고 보고하였으며,⁹⁾ Laviolette 등(2010)은 총 폐용적과 기능적 용적은 정상 체질량지수, 과체중과 비만 환자를 비교했을 때 유의한 차이가 나타난다고 보고한 바 있다.¹⁰⁾ 또한 정상 성인과 비교하여 과체중 및 비만군은 최대산소섭취량(L/min)이 더 높게 나타나 본 연구의 증가된 산소섭취량과 이산화탄소배출량의 결과와 유사하다고 할 수 있다. 이 연구에서 일정운동량운동시험(Constantworklate Exercise Test, CET) 시간은 체질량지수에 대해 다르지 않았으며 CET동안 호흡곤란과 폐용적 변화는 체질량지수 사이에 유의한 차이가 없었다.¹⁰⁾ Babb (1991)은 비만 여성을 대상으로 시행한 연구에서 비만은 분당환기량과 이산화탄소배출량을 증가시키는 원인이라 하였다. 또한 분당환기량/이산화탄소배출량을 측정했을 때 비만여성은 낮은 환기역치를 보이며 퍼센트로 산출한 결과 최대산소섭취량과 이산화탄소배출량/산소섭취량은 정상인 보다 12.5% 정도 낮게 나타난다고 보고하였다.¹¹⁾ 이상에서 살펴본 바와 본 연구 결과를 토대로 비만은 산소섭취량과 이산화탄소배출량 증가의 원인이라 할 수 있다.

기존의 연구 보고들에 따르면 비만 성인은 높은 호흡수와 낮은 일회호흡량을 보인다고 보고한 바 있다.¹²⁾ Wijesinghe 등(2010)의 연구에서는 비만성저환기증후군을 가지고 있는 성인들을 대상으로 일반적인 공기로 채워진 방과 100% 산소로 가득찬 방에서 변인들을 비교 분석한 결과, 대조군과 비교하여 100% 산소를 호흡한 그룹의 VCO₂가 5.0mmHg로 증가하였고, 분당환기량은 1.4L/min로 감소하였다. 또한 해부학적 사강(Dead space)부피와 일회호흡량 간의 비율에서 0.067 정도의 증가를 보였다.¹³⁾ Sakamoto 등(1993)은 비만군과 정상군이 운동하는 동안 호흡 상태를 살펴보면 비만군은 정상군과 비교하여 높은 호흡율과 낮은 일회호흡량의 특징을 보인다고 보고한바 있으며 이 상태에서는 증가된 사강과 그 결과 사용할 수 없는 환기 용량의 결과로 나타난 것으로 보인다고 하였다.¹⁴⁾ Marinov 등 (2002)은 과체중인 청년들이 정상 체중을 가진 청년들 보다 높은 산소섭취량, 분당환기량, 일회호흡량, 사강 그리고 사강/일회호흡량 비율을 가졌다고 보고한 바 있다. 또한 비만 어린이들은 일반 어린이들에 비해 신체 질량에 대한 신진대사 소비에 더 큰 산소섭취량과 환기변수 값을 필요로 한다. 그러나 비만 어린이들의 신체적 용량에 대한 피로도도는 증가한다.¹⁵⁾ 본 연구의 결과에서 일회호흡량과 분당환기량은 정상 성인과 비교하여 안정 시에서는 크게 나타났으나 전기 강도가 증가하면서 차이가 나타나지 않았다. 이는 비만이 전기 강도가 증가함에도 일회호흡량의 감소가 나타나는 것으로 생각되며 비만으로 인한 일회호흡량의 감소를 의미하여 선행연구와 비슷한 결과로 여겨진다. 전기 강도가 선행연구들의 호흡변인에 대한 연구 결과와 유사한 것으로 보이고 비만

은 높은 강도에서 일회호흡량은 감소시키고 분당환기량은 증가시킨다고 말할 수 있다. 따라서 비만은 에너지 소비에 비해 생산효율이 낮다고 할 수 있고 NMES는 정상적으로 실험군과 대조군 모두 일회호흡량과 분당환기량의 변화를 촉진 하였다.

본 연구의 결과에서 NMES는 강도에 따라 비만군의 심혈관계 및 호흡기계 변인들을 증가하였으나, 회복기에 다시 감소하는 경향을 보였다. 기존의 전기 자극 치료를 적용한 연구들을 살펴보면 복부 비만군과 발기 부전군에 경두개자극과 전기 자극은 지질대사와 발기 능력을 향상시켜주고 더불어 저혈압과 진정 효과 영향을 미친다고 Ponomarenko 등 (2009)은 보고하였다.¹⁶⁾ 특히 발기부전 그룹에서 치료 후 테스토스테론 증가가 통계적으로 유의하게 나타났다. Lin 등 (2010)은 폐경 후 비만 여성을 대상으로 다양한 주파수의 전기 자극을 주어 신체 구성도 변화를 연구한 결과, 중주파의 전기자극을 주었을 때 실험군의 신체구성 값에서 상당한 변화를 보인 반면 대조군에서는 눈에 띄는 변화가 관찰되지 않았다.¹⁷⁾ 이 연구는 중주파 전기 자극이 폐경 후 비만 여성의 신체 구성비에 있어 몸무게, 허리/엉덩이 비율, 체지방율, 순수 근육부피율 개선에 도움을 주고, 비만 중년 여성 건강관리가 가능함을 주장하였다. 따라서 본 연구의 결과와 같이 NMES는 심호흡계에 영향을 미쳐 신체 구성비 변화에 부가적인 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

현재 전기 자극은 다양한 신경근육계 장애의 증상을 완화시키고 근육의 힘을 증가 시키는데 널리 사용되고 있다. 또한 비만 관리에 있어 운동 외 부가적인 방법으로 그 사용이 증가되고 있다.¹⁸⁾ 결론적으로 NMES는 비만 성인에 있어 심호흡계를 활성화 시키고 정상 성인과 비교하여 그 정도가 더 크다고 말할 수 있다. 본 연구의 제한점은 비만 성인과 정상 성인 간의 NMES 강도에 따른 비교가 안정시를 기준점으로 하여 이루어지지 않았던 것이다. 객관적으로 NMES가 비만 성인에게서 더욱 효과적이라고 주장하기 위해서는 이와 같은 비교가 이루어져야 하지만 전반적인 절대값을 비교하였기에 그 효과를 정확히 입증하는데 다소 어려움이 있다. 또한 대상자의 수가 작고 비만 정도가 크지 않아 고도 비만과 같은 환자 전체를 대변하는데 무리가 있다. 하지만 본 연구는 NMES가 호흡기계 및 심혈관계에 미치는 영향에 대해 비만성인을 대상으로 시행한 초기 연구로써 그 의의가 있다고 할 수 있다. 앞으로 물리치료분야에서 전기 자극 치료를 활용한 비만 관리를 임상적으로 적용하기 위해 전기자극과 비만과 관련된 추후연구들이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 다양한 강도의 NMES가 비만 성인에 있어 호흡기계 및 심혈관계에 미치는 효과를 규명하고 정상성인과 비교하여 NMES에 따른 호흡기계 및 심혈관계의 생리학적 차이를 확인하기위해 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 그룹 내 비교

에서 실험군은 산소섭취량, 이산화탄소배출량, 분당환기량, 심박수, 수축기혈압, 여유심박수에서 유의한 차이가 나타났고 ($p<0.05$), 대조군에서는 산소섭취량, 이산화탄소배출량, 일회호흡량, 분당환기량, 심박수, 수축기 혈압, 여유심박수에서 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$). 그룹 간 비교에서 이산화탄소배출량과 확장기혈압은 NMES의 모든 단계에서 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$). 결론적으로 NMES는 강도가 증가함에 따라 비례하여 비만 성인의 호흡기계 및 심혈관계 변인 활성화시키는 것을 확인하였고, 비만 성인은 정상 성인보다 호흡기계 및 심혈관계 변화가 더 크게 나타난다고 할 수 있다.

References

1. Lopez AD, Mathers CD, Ezzati M et al. Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: Systematic analysis of population health data. *The Lancet*. 2006;367(9524):1747-57.
2. Hu FB. *Obesity Epidemiology*. Oxford. Oxford University Press. 2008.
3. Alon G, Levitt AF, McCarthy PA. Functional electrical stimulation (FES) may modify the poor prognosis of stroke survivors with severe motor loss of the upper extremity: A preliminary study. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2008;87(8):627-36.
4. Griffin L, Decker MJ, Hwang JY et al. Functional electrical stimulation cycling improves body composition, metabolic and neural factors in persons with spinal cord injury. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2009;19(4):614-22.
5. Sabut SK, Lenka PK, Kumar R et al. Effect of functional electrical stimulation on the effort and walking speed, surface electromyography activity, and metabolic responses in stroke subjects. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2010;20(6):1170-7.
6. Banerjee P, Clark A, Witte K et al. Electrical stimulation of unloaded muscles causes cardiovascular exercise by increasing oxygen demand. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*. 2005;12(5):503-8.
7. Eijsbouts XH, Hopman MT, Skinner JS. Effect of electrical stimulation of leg muscles on physiological responses during arm-cranking exercise in healthy men. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1997;75(2):177-81.
8. Hsu MJ, Wei SH, Chang YJ. Effect of neuromuscular electrical muscle stimulation on energy expenditure in healthy adults. *Sensors*. 2011;11(2):1932-42.
9. Valtueña S, Salas-Salvadó J, Lorda PG. The respiratory quotient as a prognostic factor in weight-loss rebound. *International journal of obesity*. 1997;21(9):811-7.
10. Laviolette L, Sava F, O'Donnell DE et al. Effect of obesity on constant workrate exercise in hyperinflated men with COPD. *BMC pulmonary medicine*. 2010;30(10):33.
11. Babb TG, Korzick D, Meador M et al. Ventilatory response of moderately obese women to submaximal exercise. *International journal of obesity*. 1991;15(1):59-65.
12. Littleton SW. Impact of obesity on respiratory function. *Respirology*. 2012;17(1):43-9.
13. Wijesinghe M, Williams M, Perrin K et al. The effect of supplemental oxygen on hypercapnia in subjects with obesity-associated hypoventilation: a randomized, crossover, clinical study. *Chest*. 2011;139(5):1018-24.
14. Sakamoto S, Ishikawa K, Senda S et al. effect of obesity on ventilatory response and anaerobic threshold during exercise. *Journal of medical systems*. 1993;17(3-4):227-31.
15. Marinov B, Kostianev S, Turnovska T. Ventilatory efficiency and rate of perceived exertion in obese and non-obese children performing standardized exercise. *Clinical physiology and functional imaging*. 2002;22(4):254-60.
16. Ponomarenko GN, Bin'iash TG, Raĭgorodskiĭ IuM et al. Transcranial magneto- and electrostimulation in patients with obesity and erectile dysfunction. *Voprosy kurortologii, fizioterapii, i lechbenoi fizicheskoi kultury*. 2009;(5):30-3.
17. Lin CH, Lin YM, Liu CF. Electrical acupoint stimulation changes body composition and the meridian systems in postmenopausal women with obesity. *The American journal of Chinese medicine*. 2010;38(4):683-94.
18. Doheny EP, Caulfield BM, Minogue CM et al. The effect of subcutaneous fat thickness on the efficacy of transcutaneous electrical stimulation. In 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2008;5684-7.

