

산소와 색채 조명 자극의 조합이 스트레스 완화에 미치는 효과: 심리 및 자율신경계 반응을 중심으로

Effects of the Combination of Oxygen and Color Light on Stress Relaxation:
Psychological and Autonomic Responses

장은혜^{1*} · 김아영² · 장용원³ · 김보성⁴ · 최용복⁵ · 김승철⁶ · 이상곤⁷ · 김승환⁸

Eun-Hye Jang^{1*} · Ah-Young Kim² · Yongwon Jang³ · Bo-Seong Kim⁴ ·
Yong-Bok Choi⁵ · Seung-Chul Kim⁶ · Sang-Kone Lee⁷ · Seunghwan Kim⁸

Abstract

Stress is accompanied by changes in the responses of the autonomic nervous system, and the heart rate variability (HRV) index is a quantitative marker that reflects autonomic responses induced by stressors. In this study, we observed changes in the autonomic responses induced by combinations of 30% oxygen administration and color light for stress relaxation. In all, 42 participants produced stress symptoms over the preceding two weeks, as rated on the stress response scale. After stress assessment, they were exposed to three therapeutic conditions, and electrocardiogram (ECG) signals were recorded before, during, and after therapy. The three therapy conditions consisted of only 30% oxygen administration with white light, a combination of 30% oxygen and orange light, and a combination of 30% oxygen and blue light. The HRV indices extracted from ECG signals were heart rate (HR), the standard deviation of the RR interval (SDNN), the mean square root of consecutive RR interval difference values (RMSSD), the low frequency component of HRV (LF), the high frequency component (HF), and the LF/HF ratio. These indicators were used to compare mean values before and after therapy. The results showed that HR and the LF/HF ratio were significantly lower after therapy than before it. In particular, the condition with 30% oxygen and blue light yielded significantly greater RMSSD and HF increases, as well as decreases in LF/HF ratio than in other two conditions. Our results suggest that therapy with 30% oxygen and blue light is the most effective for the relaxation of stress, which implies autonomic balance by parasympathetic activation.

Key words: Oxygen, Color Light, Stress Relaxation, Heart Rate, Heart Rate Variability

※ 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2018-0-01209, 산소·광 복합 테라피 효능 극대화를 위한 지능형 스트레스 케어 시스템).

¹ * (교신저자) 장은혜: 한국전자통신연구원 바이오의료IT연구본부 선임연구원 / E-mail : cleta4u@etri.re.kr / TEL : 042-860-5829

² 김아영: 한국전자통신연구원 바이오의료IT연구본부 연구원

³ 장용원: 한국전자통신연구원 바이오의료IT연구본부 선임연구원

⁴ 김보성: 동의대학교 철학상담·심리학과 교수

⁵ 최용복: (주)엔에프 환경 R&D연구소 수석연구원

⁶ 김승철: (주)엔에프 환경 R&D연구소 소장

⁷ 이상곤: (주)엔에프 대표이사

⁸ 김승환: 한국전자통신연구원 바이오의료IT연구본부 본부장

요 약

스트레스는 자율신경계 반응의 변화를 수반하며, 특히 심박변이도 지표는 스트레스에 의한 자율신경계의 활동을 반영하는 양적 지표로 사용된다. 본 연구에서는 스트레스 완화를 위한 산소와 색채 조명의 복합 자극이 제시되는 동안 자율신경계 반응의 변화를 확인하였다. 42명의 실험참가자는 지난 2주 동안 경험한 스트레스에 대한 증상들을 스트레스 반응 척도에 평가하였다. 스트레스 평가 후, 실험참가자는 복합 자극을 제시받았고, 자극 제시 전과 후, 그리고 자극이 제시되는 동안 심전도 신호가 기록되었다. 자극 조건은 30% 농도의 산소와 백색 조명, 산소와 주황색 조명과 산소와 파란색 조명의 조합의 세 가지로 구성되었다. 심박률(HR), R-R간격의 표준편차(SDNN), 연속한 R-R 간격 차이 값의 평균제곱근(RMSSD)과 심박변이도의 저주파 성분(LF), 고주파 성분(HF), 그리고 LF와 HF의 비율을 심박변이도 지표로 추출하였다. 이들 지표는 자극 제시 전과 후의 평균을 비교하는데 활용되었다. 결과는 자극 조건이 제시되고 난 후, HR과 LF/HF ratio의 유의한 감소를 보여주었다. 특히, 산소와 파란색 조명이 제시된 조건에서 다른 두 조건보다 유의하게 큰 RMSSD와 HF의 증가 및 LF/HF ratio의 감소가 나타났다. 이는 30% 농도의 산소와 파란색 조명의 조건이 부교감신경의 활성화에 의한 자율신경의 균형을 유발하여 스트레스 이완에 가장 효과적임을 보여주었다.

주제어: 산소, 색채 조명, 스트레스 이완, 심박률, 심박변이도

1. 서론

인간은 다양한 환경 자극들로 인해 스트레스를 경험하는데, 이러한 스트레스는 생산성, 창조성 및 신체적, 정신적 안녕 등에 영향을 미치고 피로감의 누적과 심리적 불안정을 야기한다(Kim et al., 2014). 이로 인하여 교감신경의 자극이 활성화되고 부교감신경계의 자극을 억제함으로써 신체의 평형상태를 유지하는 자율신경계의 균형이 깨어지는데, 혈압 상승, 심박동수 증가, 코티졸 분비 증가, 근육 긴장, 면역 반응 억제와 같은 다양한 생리적 변화를 유발한다(Greenberg, 1990; Hancock, 2001; Kim et al., 2014; Oh et al., 2011). 최근 많은 사람들이 신체적·정신적 안녕(Wellbeing)을 추구하면서 심리 또는 정신치료, 운동, 마사지 등 다양한 스트레스 해소방법에 관심을 가지고 있다. 본 연구에서는 고농도 산소와 색채 조명의 복합 테라피가 스트레스 이완에 미치는 영향을 검증하고자 하였다.

1.1. 산소의 심리·생리적 효과

산소는 인간의 생존에 필수적인 물질로서, 체내 산소량이 감소되면 조직의 세포 내 에너지 대사가 제한되고, 장시간 공급되지 않을 경우, 인체의 활동을 정지시

킬 수도 있다(Lee, 2016; Jang et al., 2018). 충분한 산소의 공급은 피로를 감소시키고 신체 및 두뇌활동을 증대시키지만, 산소 섭취가 부족하면 업무 수행 시 생리 기능의 활성화에 따른 에너지 요구량을 충족하지 못하게 되어 피로를 유발하고 기초 대사에 필요한 에너지를 공급하지 못하기 때문에 다양한 신체 및 심리 증상을 유발한다(Foss & Keteyian, 1998; Fujiwara & Maeda, 2001).

산소 공급은 주로 의료계에서 질병 치료를 목적으로 이루어졌고, 일반인을 대상으로 한 연구에서는 운동 중 산소 공급이 운동 수행 능력뿐만 아니라(Welch et al., 1974; Rowell, 1974; Adams & Welch, 1980), 고농도 산소 공급이 인지 수행 능력을 증대시킨다는 결과들이 보고되었다(Chung et al., 2006, 2007, 2008, 2009). 고농도 산소 공급은 혈중 산소포화도를 증가시키는데, 산소 공급량이 증가할수록 혈중 산소포화도의 증가가 더 크게 나타났다(Chung et al., 2006, 2007, 2008). 또한, 안정 상태보다 인지 과제를 수행하는 동안 혈중 산소 포화도가 증가하였다(Chung et al., 2006, 2007, 2008).

최근에는 산소가 정신질환에 미치는 영향에 관한 연구들이 보고되었다. 체내 산소 부족이 세로토닌을 합성하는 효소의 활성을 감소시켜 세로토닌의 분비량을 줄게 하여 우울과 자살을 유발한다고 밝혔다(Kious et al., 2018). 또한, Eve et al.(2016)은 외상 후 스트레

스 장애 환자들을 대상으로 고농도 산소치료를 시도한 결과 증상의 유의한 개선 효과를 보고하였고, 이러한 결과는 고농도 산소가 혈액순환을 촉진하고 스트레스와 관련된 유전자를 조절하여 증상을 완화시키는 것으로 설명하였다. Sung 등(2002)은 산소 공급에 의한 운전 중 피로 경감의 가능성을 확인한 결과, 저농도(18%)의 산소 조건에서 가장 많이 피로를 느끼고, 고농도(30%)의 산소 조건에서 피로감이 감소함을 보고하였다. 그러나 일반인을 대상으로 실내 환경에서 산소 공급이 스트레스 완화에 효과적이라는 결과는 직접적으로 밝혀진 바가 없다.

1.2. 색채의 심리·생리적 효과

색채는 인간의 감각수용기에 들어온 빛을 흡수하여 뇌가 반응하는 현상으로, 색으로 사물을 판별하는 물리적 현상에 심리적 현상이 더해진 것을 의미한다(Lee, 2017). 인간의 몸은 눈, 피부와 조직세포의 구조를 통해 색채를 흡수하는데, 이러한 색채는 생리적 영역뿐 아니라 의식적 또는 무의식적으로 심리적 영역에도 영향을 미친다(Lee, 2017).

시각 및 피부감각을 통해 감지되는 색채 정보는 중추 및 근골격계, 자율신경계 반응(피부전도반응, 호흡률, 심박수 등)에 영향을 미친다(Sohn et al., 1998). Kaiser(1984)는 색상에 대해 뇌파, 피부전도반응, 혈압, 심박수, 호흡수 및 눈 깜박임 수 등을 측정하여 색상이 생리적 영향을 준다고 제안하였다.

또한 색채는 감정도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 붉은 계열의 색채 자극은 흥분시키고 푸른 계열의 색채 자극은 안정을 유도하는데, 이는 장파장의 색채가 각성을, 단파장의 색채가 이완 상태를 유도함을 의미한다(Kenz, 2001; Maiern et al., 2008; Whitfield & Wiltshire, 1990). 한편 Levy(1984)는 실험참가자들이 서로 다른 색채에 따라 다른 기분이나 느낌을 경험하였는데 이는 색채와 감정이 상호 연관적으로 연결되어있다고 밝힌 바 있다. 주로 따뜻한 색에서는 동적인 기분을 유발하고 차가운 색에서는 정적인 기분을 유발한다고 주장하였다.

1.3. 색채 조명의 심리·생리적 효과

실내 공간에서 생활하는 시간이 길어짐에 따라 조명이 사람들의 건강과 작업능력에 미치는 영향에 대한 관심이 증가하였고, 특히 조명 환경에 따른 인간의 정서적·인지적·생리적 반응에 대한 연구들이 수행되었다. Lee와 Lee(2015)는 스트레스 측정 검사(PWI: Psychosocial Well-being Index)와 뇌파 측정을 통하여 저 스트레스군과 고 스트레스군이 가장 이완, 안정할 수 있는 조명 환경(3,000K의 300lx)을 확인한 바 있다. Chong et al.(2007)은 색채 조명 자극이 인지기능에 미치는 영향에 관한 연구에서 심박변이도를 측정하여 따뜻한 계열에서 교감신경에 대한 부교감신경의 활성화도가 적게 나타났고, 차가운 색에서 교감신경에 대한 부교감신경의 활성화가 상대적으로 크게 나타남을 보고하였다.

Lee(2017)는 심박변이도 지표를 활용하여 비선호 색상의 조명 자극은 교감신경의 활성을 유발하였고, 선호하는 색상의 조명 자극이 부교감신경의 활성을 유도하고 스트레스 저항상태를 유도하여 스트레스 완화에 효과적임을 확인하였다. 이들 실험에서 비선호색은 약 80%가 빨강과 주황, 선호하는 색은 약 75%가 파랑, 남색 등으로 나타났다. Minguillon et al.(2017)은 스트레스 지표인 심박률(heart rate, HR)과 상대적인 감마(relative gamma, RG)를 측정하여 흰색 조명에 비하여 파란색 조명이 스트레스 후 이완을 촉진시킨다는 연구 결과를 밝힌 바 있다.

최근 연구에서 색채 조명이 스트레스 이완 및 완화에 미치는 효과에 관한 결과들이 보고되었으나, 산소와 색채 조명을 조합한 복합테라피 조건에 대한 연구는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 산소와 색채 조명을 조합한 복합 테라피 조건이 스트레스 완화에 미치는 영향을 밝히 고자 하였다. 자율신경계 반응 지표로서 심박변이도(heart rate variability, HRV)를 활용하였다. Salahuddin 등(2007)은 스트레스가 높은 집단과 낮은 집단의 생리 반응을 비교한 결과, 스트레스가 높은 집단에서 심박변이도 고주파수(high frequency, HF)는 낮아지고 심박변이도 저주파수(low frequency, LF)와 LF/HF ratio는 높았고, 스트레스가 낮은 집단에서는 반대로 나타나 스트레스 수준이 심박변이도 지표와 관련되어 있음을 확인한 바 있다.

2. 연구방법

2.1. 실험 참여자

성인 남녀 42명(평균 연령 34.2 ± 12.47 세, 남 26명, 여 16명)이 본 실험에 참여하였다. 이들은 색맹 또는 색약 등 색채와 관련된 안과 질환이 없고 신경 정신과적 병력이 없는 건강한 정상 성인으로, 실험참가자 모집 공고를 통하여 자발적으로 신청하였다. 이들은 실험 참여에 앞서 연구목적과 연구방법에 관한 설명을 들은 후 실험 참여에 동의하였다. 실험 종료 후, 실험 참가자들에게 소정의 사례비를 제공하였다. 본 연구는 동의대학교 생명윤리위원회의 승인하에 수행되었다(DIRB-201803-HR-E-26).

2.2. 스트레스 평가 척도

실험참가자들의 스트레스 상태를 평가하기 위하여 Koh et al.(2001)이 개발한 한국형 스트레스 반응 척도(Stress Response Inventory, SRI)가 사용되었다. SRI는 네 가지 영역의 스트레스 반응, 즉 감정적, 신체적, 인지적, 행동적 반응을 평가할 수 있는 검사법으로, 0~4점 척도로 평가한다. 긴장(tension), 공격성(aggression), 분노(anger), 우울(depression), 피로(fatigue), 신체화(somatization), 좌절(frustration)을 포함하는 일곱 가지 하위 척도별 점수와 전체 점수를 평가하며, 총 39개의 문항으로 구성되어 있다. 이 척도는 검사-재검사를 통하여 7개의 하위 척도 점수와 척도 전체 점수 간의 상관관계수 .69~.96의 유의한 상관성을 가지며, 7개 하위 척도의 내적 일치도는 Cronbach $\alpha = .76 \sim .91$, 척도 전체의 Cronbach $\alpha = .97$ 이다(Jang et al., 2018).

2.3. 실험 절차

실험참가자가 실험실에 입실하면, 실험 절차 및 안내사항을 전달받고 지난 일주일 동안 일상생활에서 경험한 스트레스 상태를 스트레스 척도상에 평가하였다. 스트레스 평가가 끝나면 실험자는 실험참가자를 ‘옥시스파(OxySpa, (주)엔에프, 한국)’에 편안한 자세로 앉게 한 후, 실험참가자의 목에 산소 공급을 위한 넥

셋을 장착하고, 그들의 양쪽 손목과 왼쪽 팔꿈치(기준 전극)에 심전 신호 측정을 위한 전극을 부착하였다. 심전 신호는 5분의 기저선(baseline), 5분의 테라피 조건(therapy)과 5분의 회복기(recovery) 구간에서 기록되었다.

‘옥시스파’는 약 35% 농도의 산소를 제공하는 산소 공급장치와 LED 광원 색채요법이 가능한 색채 조명 조절 장치를 포함하고 있다. 실험 동안 넥셋을 통하여 실험참가자에게 제공된 실제 산소 농도는 산소 농도 측정기로 측정한 결과 약 30%이었다. 본 실험의 테라피 조건은 30% 농도의 산소+백색 조명, 30% 농도의 산소+주황색 조명, 30% 농도의 산소+파란색 조명의 세 가지로, 순서효과를 배제하기 위하여 실험참가자 간 무선할당으로 제시되었다. 즉, 세 가지 조건에서 ‘기저선-테라피 조건-회복기’ 측정을 반복하였다.

실험은 실험실 내 조명이 없는 상태에서 ‘옥시스파’의 조명만을 활용하였다. 각 조명의 조도 측정값은 백색 조명 477lx, 주황색 조명 452lx와 파란색 조명 444lx이었다. 1931년 국제 조명 위원회에서 제안한 색 공간 좌표인 CIE 색도좌표 값은 백색 x축 0.279, y축 0.274, 주황색 조명 x축 0.398, y축 0.359, 파란색 조명 x축 0.234, y축 0.196이었다(Lee & Suk, 2012). 이들 테라피 제공이 끝난 후, 실험참가자들은 테라피가 스트레스 이완에 얼마나 효과가 있었는지에 대하여 Likert 5점 척도 (1점: 전혀 효과가 없었다, 5점: 매우 효과가 있었다) 상에 평가하게 하였다. 실험 환경은 Fig. 1과 같다.

2.4. 측정 장비 및 특징 추출

심전 신호 수집을 위하여 BIOPAC MP150 장비(Biopac System Inc., USA)를 사용하였다. 심전 신호는 양극유도방법을 통하여 측정되었고, 샘플링 포인트는 250samples/sec이었다. 증폭기를 통해 증폭된 신호는 MP150의 A/D 변환기와 AcqKnowledge ver. 4.4.2 (Biopac, CA, USA) 소프트웨어를 이용하여 컴퓨터에 저장되었다.

기록된 심전 신호에서 R-peak 간의 간격을 추출하여 심박변이도 지표들을 계산하여 특징을 추출하였다. 심박변이도는 심장의 자율신경 조절 상태를 반영하기 때



Fig. 1. Experimental environment ('OxySpa' with Oxygen and color light device)

문에 심혈관 활동을 나타내는 지표로 활용되고 있다 (Bos et al., 2013). 추출된 특징은 심박률, R-R 간격의 표준편차(standard deviation of R-R interval, SDNN), 인접한 R-R 간격 간 차이값의 평균제곱근(square root of the mean squared differences of successive normal to normal R-R interval, RMSSD), 심박변이도의 저주파성분(low frequency, LF), 고주파성분(high frequency, HF)과 이들 주파수 성분의 비율(LF/HF ratio)이었다.

2.5. 분석 방법

모든 통계적 분석은 SPSS ver. 21.0을 이용하여 수행되었다. 대응표본 t-검정(paired t-test)을 통해 테라피 전(기저선) 심박변이도와 테라피 후(회복기) 심박변이도 지표의 차이를 검증하였고, 세 가지 테라피 조건 간 심박변이도 지표의 차이를 검증하기 위하여 일변량 반복측정 분산분석(one-way repeated ANOVA)과 Bonferroni 사후 검정을 수행하였다.

테라피에 의한 스트레스 이완에 대한 심리 반응은 실제로 이완되었는지 여부에 대한 빈도 분석을 통해 테라피에 대한 적합성을 검증하였다. 테라피 제시 전 5분과 제시 후 5분 동안 심박변이도 지표의 평균을 계산하여 분석에 활용하였다.

3. 연구 결과

3.1. 스트레스 반응 척도를 이용한 스트레스 상태 평가 결과

스트레스 반응 척도는 실험참가자들의 일상 스트레

스 상태를 확인하기 위하여 분석되었다. 스트레스 반응 척도는 스트레스 반응 척도는 일반적으로 전체 점수 70점 정도를 평균으로 보고 있으며, 대체로 90점 이상이면 스트레스가 높은 것으로 알려져 있다(Koh et al., 2001). 실험참가자들의 스트레스 반응 척도 점수는 평균 50.1 ± 24.79 점으로, 이들이 실제 일상에서 경험하는 스트레스는 비교적 낮은 것으로 나타났다.

3.2. 테라피에 의한 스트레스 이완에 대한 심리 반응

테라피에 의한 스트레스 이완 여부에 대한 심리 반응 결과, '스트레스의 이완 효과가 있었다'고 보고한 실험참가자는 37명(88.1%)이었고, 5명(11.9%)은 '효과가 없었다'고 보고하였다. 또한 테라피의 스트레스 이완 효과는 평균 3.8 ± 1.17 점(5점 만점)이었다.

3.3. 테라피 조건에 따른 테라피 전과 후 심박변이도의 차이 검증 결과

세 가지 테라피 조건에서 테라피 전과 후 심박변이도의 차이를 확인하였다(Table 1). 세 조건 모두에서 테라피 전과 테라피 후의 HR과 LF/HF ratio에서 유의한 차이를 보였는데, 테라피 전보다 테라피 후에 두 지표는 유의하게 감소하였다. 또한 산소와 파란색 조명이 주어진 테라피 조건에서는 테라피 전에 비하여 테라피 후의 RMSSD가 유의하게 증가하였다($t = -2.285$, $p = .031$).

테라피 조건에 따른 심박변이도의 차이를 확인한 결과, 세 가지 테라피 조건에 따른 기저선에서의 심박변이도 지표는 유의한 차이가 나타나지 않았으나 테라피 후 회복기 구간에서 세 조건 간 유의한 차이가

Table 1. Differences of HRV indices between before and after therapy in three therapy conditions

	Before therapy	After therapy	t-score	<i>p</i>
	Mean±SD	Mean±SD		
Oxy+White Light				
HR	70.2±12.42	67.6±10.58	4.870	.000
SDNN	45.9±15.71	44.6±10.97	.382	.705
RMSSD	38.8±11.50	40.3±12.29	-1.056	.300
LF	176.9±90.47	116.4±55.16	1.378	.179
HF	234.0±51.32	197.6±70.06	.650	.521
LF/HF ratio	2.4±0.70	1.64±0.31	5.241	.000
Oxy+Orange Light				
HR	71.5±12.28	67.0±11.03	5.491	.000
SDNN	47.2±14.48	51.0±18.42	-1.074	.292
RMSSD	38.3±11.50	40.8±9.85	-.664	.512
LF	153.0±57.59	221.3±95.90	-1.697	.101
HF	250.9±85.08	231.5±88.59	.044	.905
LF/HF ratio	2.4±0.63	1.7±0.48	2.222	.035
Oxy+Blue Light				
HR	71.9±7.92	64.6±7.47	6.078	.000
SDNN	50.4±12.13	48.8±16.20	.447	.659
RMSSD	39.6±10.82	43.2±11.60	-2.285	.031
LF	201.7±72.85	159.6±72.76	1.240	.265
HF	243.9±83.50	281.9±46.60	-.687	.506
LF/HF ratio	2.3±0.88	1.1±0.92	3.658	.001

나타났다(Fig. 2). RMSSD, HF와 LF/HF ratio 지표에서 세 조건 간 유의한 차이를 보였다(RMSSD: $F=3.259$, $p=.044$, HF: $F=3.676$, $p=.030$, LF/HF ratio: $F=4.104$, $p=.020$). Bonferroni 사후 검정 결과, RMSSD와 HF는 산소와 파란색 조명의 테라피 조건에서 다른 두 테라피 조건보다 유의하게 높았고, LF/HF ratio는 낮게 나타났다.

4. 결론 및 논의

본 연구에서는 산소와 조명을 조합한 복합 자극 조건이 스트레스 완화에 미치는 영향을 밝히기 위해 자율신경계 반응의 변화를 측정하였다. 이를 위하여 일상 스트레스에 대한 개인의 심리 반응을 측정하였고, 자극에 의한 심박변이도의 변화를 측정하였다. 스트레스 반응 척도에 의한 일상 스트레스 분석 결과, 37명의 실험참가자들이 스트레스가 낮거나 평균에 속하였다. 또한 산소와 색채 조명의 복합 자극은 88.1%의 적합성

을 가졌고, 스트레스 이완 효과는 5점 척도에서 3.8점 이상으로 나타났다. 이는 본 연구에 사용된 복합 자극이 스트레스 이완에 효과적이었음을 의미한다.

산소와 색채 조명에 의한 스트레스 이완 효과를 확인하기 위하여 심박변이도의 변화를 분석하였다. 스트레스 상황에서 교감신경이 활성화되면 카테콜아민이 분비되어 심장 박동이 빨라지고 자율신경계의 불균형이 야기된다(Kim, 2008). 심박변이도는 이러한 자율신경계의 변화에 매우 민감하게 반응하므로 자율신경계 반응을 평가하는데 사용되며(Quintara et al., 2012; Lee, 2017), 특히 자율신경계의 균형으로 스트레스 평가에 활용되고 있다(Jeong et al., 2006; Lee, 2017). 특히 스트레스에 의한 교감 또는 부교감신경의 활성화 및 자율신경의 불균형을 반영하는 지표로서 활용되고 있다(Kim et al., 2010; Jang et al., 2018). 심박변이도의 시간 영역 지표인 SDNN은 심박율의 단주기변동(short-term variation)을 나타내는 유의한 지표로, 자율신경계가 신체에 대한 제어능력을 갖고 있는지 여부를 보여준다. 반면, RMSSD는 심박율의 장기

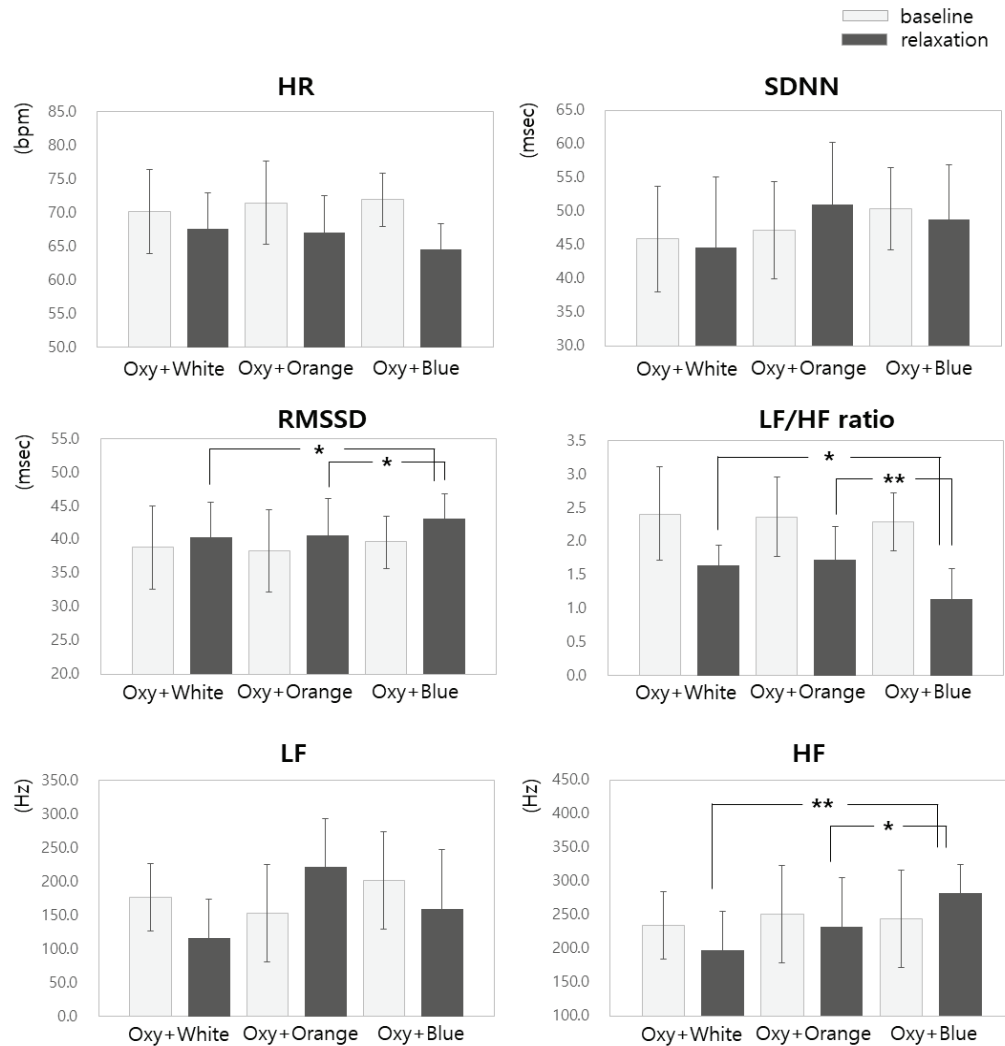


Fig. 2. Differences of HRV indices before and after therapy among three therapy conditions

변동(long-term variation)을 나타내고 부교감신경계의 활동 정도를 측정한다(Balocchi et al., 2006; Berntson et al., 2005; Sollers et al., 2007; Jang et al., 2018). 주파수 영역의 지표인 LF는 일반적으로 교감신경의 활성화 또는 교감-부교감신경 균형에 대한 지표로, HF는 부교감신경계에 대한 지표로 활용되고 있다. LF/HF ratio는 심혈관계 자율신경의 조절을 나타내는 지표로 사용된다. 일반적으로 증가된 LF/HF ratio는 교감신경계의 우세를 의미하고, 감소는 부교감신경계의 우세를 의미한다(Camm et al., 1996; Cowan, 1995; Kreibitz, 2010; Eum et al., 2017).

본 연구에 사용된 세 가지 테라피 조건 (산소+백색 조명, 산소+주황색 조명, 산소+파란색 조명 제공)에서 테라피 전과 후의 심박변이도 변화는 HR과 LF/HF ratio에서 유의한 것으로 나타났다. 이들 지표는 테라

피 전에 비하여 테라피 후에 감소하였는데, 이는 스트레스의 완화를 의미한다. 또한 부교감신경의 활성도를 반영하는 RMSSD는 모든 조건에서 증가하였으나, 산소와 파란색 조명 조건에서만 유의한 것으로 나타났다. LF/HF ratio의 감소와 RMSSD의 증가는 부교감신경의 활성화에 따른 자율신경의 균형을 의미하는데, 본 연구 결과는 산소와 백색, 산소와 주황색 조명 조건에서는 상대적으로 스트레스 완화가 적고, 산소와 파란색 조명의 테라피가 스트레스 완화에 효과적이었음을 보여주는 결과이다.

또한 다른 두 조건에 비하여 산소와 파란색 조명이 함께 제시된 테라피 조건에서 RMSSD와 HF가 유의하게 컸고 LF/HF ratio가 적게 나타났다. 특히 RMSSD와 HF의 증가는 미주신경의 조절에 의한 부교감신경 활성도의 증가를 의미하며 심장의 전기적인

안정도와도 밀접한 관련이 있다(Camm et al., 1996). 즉, 부교감신경의 활성을 가진 자율신경의 균형의 감소는 스트레스의 이완을 반영하며, 이는 산소와 파란색 조명이 함께 제시된 테라피 조건에서 가장 큰 이완이 유발되었음을 의미한다. 푸른 계열의 색채 조명은 안정을 유도하고 정적인 기분을 유발하는데(Kenz, 2001; Levy, 19984; Maier et al., 2008; Whitfield & Wiltshire, 1990), 이러한 파란색 조명이 스트레스 이완에 영향을 미친 것으로 여겨진다. Chong 등(2007)은 또한 차가운 색에서 부교감신경의 활성화가 상대적으로 크게 나타남을 밝힌 바 있다. 본 연구 결과, 산소와 주황색 조명이 더해진 테라피 조건에서는 유의하지는 않으나 SDNN과 LF의 증가도 확인할 수 있었다. 이는 따뜻하고 붉은 계열의 색이 흥분을 유도하고 교감신경의 활성을 유발한다는 선행 연구의 결과와도 일치한다(Kenz, 2001; Maier et al., 2008; Whitfield & Wiltshire, 1990).

본 연구에서는 산소와 색채 조명이 더해진 복합 테라피 조건에 의한 스트레스 이완 효과를 심박변이도 지표를 활용하여 검증하고자 하였다. 그러나 연구에 참여한 실험참가자들은 실제로 스트레스 평가 결과 스트레스가 보통이거나 거의 없는 경우가 대부분이었다. 그럼에도 불구하고 실험참가자들은 복합 테라피가 스트레스 이완에 효과가 있었다고 보고하였고, 심박변이도의 변화를 통해 이완을 유발하였음을 확인하였다. 특히 본 연구 결과 30% 농도의 산소와 파란색 조명이 함께 제시될 때, 부교감신경의 활성화를 유발하여 자율신경의 균형을 유도하였고 스트레스 이완에 가장 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 현대인의 스트레스 완화를 위한 심리치료 방법으로 적용 가능하며, 나아가 사용자의 상황을 고려한 사용자 중심의 생활 환경 설계 등에도 활용할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Adams, R. P., & Welch, H. G. (1980). Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fractions. *Journal of Applied Physiology*, 49(5), 863-868. DOI: 10.1152/jappl.1980.49.5.863
- Balocchi, R., Cantini, F., Varanini, M., Raimondi, G., Legramante, J. M., & Macerata, A. (2006). Revisiting the potential of time-domain indexes in short-term HRV analysis. *Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering*, 51(4), 190-193. DOI: 10.1515/BMT.2006.034
- Berntson, G. G., Lozano, D., L., & Chen, Y. J. (2005). Filter properties of root mean square successive difference (RMSSD) for heart rate. *Psychophysiology*, 42(2), 246-252. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2005.00277.x
- Bos, M. G. N., Jentgens, P., Beckers, T., & Kindt, M. (2013). Psychophysiological response patterns to affective film stimuli. *PLoS One*, 8(4), e62661. DOI: 10.1371/journal.pone.0062661
- Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J., Coumel, P., Fallen, E. L., Kennedy, H. L., & Kleiger, R. E. (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task force of the European society of cardiology and the North American society of pacing and electrophysiology. *Circulation*, 93, 1043-1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043
- Chong, W. S., Yu, M., Kwon, T. K., & Kim, N. G. (2007). Study on the effect of cognitive function by color light. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 24, 131-136.
- Chung, S. C., & Lim, D. W. (2008). Changes in memory performance, heart rate, and blood oxygen saturation due to 30% oxygen administration. *International Journal of Neuroscience*, 118(4), 593-606. DOI: 10.1080/00207450601067299v
- Chung, S. C., Iwaki, S., Tack, G. R., Yi, J. H., You, J. H., & Kwon, J. H. (2006). Effect of 30% oxygen administration on verbal cognitive performance, blood oxygen saturation and heart rate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31(4), 281-293. DOI: 10.1007/s10484-006-9023-5
- Chung, S. C., Lee, B., Tack, G. R., Yi, J. H., Lee, H. W., Yi, J. H., Kwon, J. H., Choi, M. H., Eom, J. S., &

- Sohn, J. H. (2008). Physiological mechanism underlying the improvement in visuospatial performance due to 30% oxygen inhalation. *Applied Ergonomics*, 39(2), 166-170. DOI: 10.1016/j.apergo.2007.05.008
- Chung, S. C., Tack, G. R., Choi, M. H., Lee, S. J., Choi, J. S., Lee, H. W., Yi, J. H., Lee, B., Jun, J. H., Kim, H. J., & Park, S. J. (2009). Changes in reaction time when using oxygen inhalation during simple visual matching tasks. *Neuroscience Letters*, 453(3), 175-177. DOI: 10.1016/j.neulet.2009.02.050
- Chung, S. C., Tack, G. R., Lee, B., Yi, J. H., & Lee, S. Y. (2007). Effect of high concentration oxygen administration on n-back task performance and physiological signals. *Physiological Measurement*, 28(4), 389-396. DOI: 10.1088/0967-3334/28/4/005
- Cowan, M. J. (1995). Measurement of heart rate variability. *Western Journal of Nursing Research*, 17(1), 32-48. DOI: 10.1177/019394599501700104
- Eum, Y. J., Jang, E. H., & Sohn, J. H. (2017). Characteristics of autonomic nervous system responses induced by anger in individuals with high trait anxiety. *Science of Emotion & Sensibility*, 20(3), 169-180. DOI: 10.14695/KJSOS.2017.20.3.169
- Eve, D. J., Steele, M. R., Sanberg, P. R., & Borlongan, C. V. (2016). Hyperbaric oxygen therapy as a potential treatment for post-traumatic stress disorder associated with traumatic brain injury. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 12, 2689-2705. DOI: 10.2147/NDT.S110126
- Foss, M. L., & Keteyain, S. J. (1998). *Fox's physiological basis for exercise and sport*. Boston: McGraw Hill.
- Fujiwara, T., & Maeda, M. (2001). Effects of oxygen and refresh space for the elderly. *Journal of Human Life Engineering*, 2(3), 8-11.
- Greenberg J. S. (1990). *Coping with stress: apractical guide*. Dubuque, WmC Publishers.
- Hancock, P., & Desmond, P. (2001). *Stress workload and fatigue*, Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Jang, E. H., Kim, A. Y., & Yu, H. Y. (2018). Relationships of psychological factors to stress and heart rate variability as stress responses induced by cognitive stressors. *Science of Emotion & Sensibility*, 21(1), 71-82. DOI: 10.14695/KJSOS.2018.21.1.71
- Jeong, Y. W., Song, J. H., Min, J. W., Park, G. H., & Min, K. S. (2006). Correlation and measurement between stress of mother and fetus using heart rate variability. *Korean Journal of Obstetrics and Gynecology Science*, 49(4), 823-830.
- Kaiser, P. K. (1984). Physiological response to color: A critical review. *Color Research & Application*, 9(1), 29-36. DOI: 10.1002/col.5080090106
- Kenz, I. (2001). Effect of colour of light on nonvisual psychological processes. *Journal of Environmental Psychology*, 21(1), 201-208. DOI: 10.1006/jevp.2000.0198
- Kim, C. J., Whang, M. C., Kim, J. H., Woo, J. C., Kim, Y. W., & Kim, J. H. (2010). A Study on evaluation of human arousal level using PPG analysis. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 29(1), 113-120. DOI: 10.5143/JESK.2010.29.1.113
- Kim, C. S., Kim, Y. A., Jung, I., & Ryu, J. Y. (2014). The influence of aromatherapy to relieve stress. *Korean Journal of Aesthetic and Cosmetology*, 12(3), 331-337. UCI : G704-SER000010442.2014.12.3.009
- Kious, B. M., Kondo, D. G., & Renshaw, P. F. (2018). Living high and feeling low: Altitude, suicide, and depression. *Harvard Review of Psychiatry*, 26(2), 43-56. DOI: 10.1097/HRP.0000000000000158
- Koh, K. B., Park, J. K., Kim, C. H., & Cho, S. (2001). Development of the stress response inventory and its application in clinical practice. *Psychosomatic Medicine*, 63(4), 668-678.
- Kreibig, S. D. (2010). Autonomic nervous system activity in emotion: a review. *Biological Psychology*, 84(3), 394-421. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2010.03.010
- Lee, E. S., & Suk, H. J. (2012). The emotional response to lighting hue focusing on relaxation and attention. *Journal of Korean Society of Design Science*, 25(2), 27-39. <http://hdl.handle.net/10203/101845>
- Lee, J. S., & Lee, H. W. (2015). A study on influence of the stress in a color temperature and controllable illuminance environment on human body. *Journal of Korea Society of Color Studies*, 29(2), 125-134. DOI: 10.17289/jkscs.10.17289/jkscs.29.2.201505.125
- Lee, J. Y. (2016). The effect of concentration oxygen on changes in exercise performance and autonomic

- nervous system during aerobic exercise. *The Korea Journal of Sports Science*, 25(1), 1507-1513.
- Lee, S. J. (2017). A study on psychological change through response of autonomic nervous system depending on personal color light stimulation. (Master's thesis), Chonbuk National University, Jeonju, Korea.
- Levy, B. I. (1984). Research into the psychological meaning of color. *American Journal of Art Therapy*, 23(1), 58-62.
- Maier, M. A., Elliot, A. J., & Lichtenfeld, S. (2008). Mediation of the negative effect of red on intellectual performance. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 34(11), 1530-1540. DOI: 10.1177/0146167208323104
- Minguillon, J., Lopez-Gordo, M. A., Renedo-Criado, D. A., Sanchez-Carrion, M. J., & Pelayo, F. (2017). Blue lighting accelerates post-stress relaxation: Results of a preliminary study. *PLoS One*, 12(10), e0186399. DOI: 10.1371/journal.pone.0186399
- Oh, J. S., & Lee, S. K. (2011). Stress relieving effects of Watsu. *Korean Journal of Aesthetics and Cosmetology*, 9(3), 223-242.
- Quintana, D. S., Guastella, A. J., Authred, T., Hickie, I. B., & Kemp, A. H. (2012). Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system social cognition. *International Journal of Psychophysiology*, 86(2), 168-172. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2012.08.012
- Rowel, L. B. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews*, 54(2), 75-159. DOI: 10.1152/physrev.1974.54.1.75
- Salahuddin, L., Jeong, M. G., Kim, D., Lim, S. K., Kim, W., & Woo, J. M. (2007). Dependence of heart rate variability on stress factors of stress response inventory. In *9th International Conference on e-Health Networking, Application and Services*, 236-239. DOI: 10.1109/HEALTH.2007.381638
- Sohn, J. H., Yi, I. G., Lee, K. H., Choi, S. S., & Sokhadze, E. M. (1998). Patterns of autonomic responses to affective visual stimulation: skin conductance response, heart rate and respiration rate vary across discrete elicited-emotions. *Science of Emotion & Sensibility*, 1(1), 79-91.
- Sollers, J. J., Buchanan, T. W., Mowrer, S. M., Hill, L. K., & Thayer, J. F. (2007). Comparison of the ratio of the standard deviation of the R-R interval and the root mean squared successive differences (SD/rMSSD) to the low frequency-to-high frequency (LF/HF) ratio in a patient population and normal healthy controls. *Biomedical Sciences Instrumentation*, 43, 158-163.
- Sung, E. J., Min, B. C., Jeon, H. J., Kim, S. C., & Kim, C. J. (2002). Influence of oxygen rate on driver fatigue during simulated driving. *Science of Emotion & Sensibility*, 5(1), 71-78.
- Welch, H. G., Mullin, J. P., Willson, G. D., & Lewis, J. (1974). Effects of breathing O₂-enriches gas mixtures on metabolic rate during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 6(1), 26-32.
- Whitfield, T. W. A., & Wiltshire, T. J. (1990). Color psychology: A critical review. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 116(4), 385-411.

원고접수: 2019.02.25

수정접수: 2019.03.06

게재확정: 2019.03.06