

Original Article

Effect of Visual Color Perception on Autonomic Nervous Activity and Exercise Capacity in Healthy Male College Students

Hyuk Sakong, Yeong-Hyun Cho and Tae-Beom Seo*

Department of Kinesiology, College of Natural Science, Jeju National University, Jeju, Korea

Article Info

Received 2021.08.25.

Revised 2021.09.24.

Accepted 2021.09.27.

Correspondence*

Tae Beom Seo

seotb@jejunu.ac.kr

Key Words

Visual color perception,
Autonomic nervous system,
Exercise capacity,
Heart rate variation,
Blood lactate concentration

이 논문은 2021학년도 제주대학교
교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

PURPOSE The purpose of this study was to examine the effect of visual color perception on autonomic nervous activity and exercise capacity in healthy male college students. **METHODS** The subjects who were healthy male college student (n=10) were participated in 4 visual colors using by randomized crossover; clear color group (CG), red color group (RG), blue color group (BG) and green color group (GG). All subjects wore goggles for five minutes prior to the exercise to adjust to color, and they did not take off goggles until recovery after exercise. Significant differences between groups were determined by two-way repeated measures ANOVA. **RESULTS** As a result of this study, the low frequency (LF) was significantly higher in RG than those in GG. But the high frequency (HF) was significant higher in BG compared to GG. Exercise capacity such as maximum strength, muscle endurance, reaction time, power, agility and aerobic performance did not differ significantly between all groups. **CONCLUSIONS** Therefore, our findings suggested that perception of the visual color might be change autonomic nervous activity, while don't influence exercise capacity.

서론

빛은 파장에 따라 X-선(X-ray), 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파(microwave)로 분류되며, 이 중 가시광선은 인간이 인지할 수 있는 빛의 범위를 의미한다(Sliney, 2002). 가시광선이 망막을 통해 들어오면 원추세포(cone photoreceptor)가 빛의 파장에 따라 색을 인식한다. 파랑(450~495nm), 초록(495~570nm), 빨강(620~780nm)은 파장의 범위를 대표하는 3원색으로 각각의 고유한 파장을 나타낸다(Li & DeVries, 2004).

이러한 파장에 따른 색의 시각적인 자극은 뇌에 생리·심리적 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며, 자율신경계(autonomic nervous system)는 색의 자극에 민감하게 반응하는 생리적 요인 중 하나이다(Wilms & Oberfeld, 2018; Yuda et al., 2019). 자율신경계는 교감신경(sympathetic nervous system)과 부교감신경(parasympathetic nervous system)으로 구분되며, 이 두 신경의 활성도에 따라 상호 길항작용을 통해 체내의 항상성을 유지하는 역할을 한다(Lauer, 2009).

의료 및 연구 분야에서는 자율신경계의 활성도를 심박변이도(Heart Rate Variability, HRV) 검사를 통해 확인한다. 심박변이도 검사는 심장 박동의 변화를 비침습적인 방법으로 측정한 후 주파수 영역과 시간 영역에 따라 심박변이도를 분석하는 방법이다. 주파수 영역은 저주파 영역(Low Frequency, LF), 고주파 영역(High Frequency, HF), 저주파와 고

주파의 비율(Low and High Frequency ratio, LF/HF)을 분석하고, 시간 영역은 R-R 간격의 표준편차(Standard Deviation of the Node to Node intervals, SDNN), R-R 간격 차이의 평균 제곱근(square root of the mean squared difference of successive R-R intervals, RMSSD)을 분석한다. 심장 박동의 주파수 영역 및 시간 영역 분석은 교감신경과 부교감신경의 활성도를 예측할 수 있는 지표로 사용된다(Sztajzel, 2004).

선행연구에 따르면 색의 파장에 따른 시각 자극은 자율신경계의 변화를 유도하는 것으로 보고하였다(Chen et al., 2011; Ross et al., 2013). 다양한 색깔 중 빨간색은 교감신경을 활성화시키며(Okano et al., 2015; Sroykham et al., 2014), 파란색과 초록색은 부교감신경을 활성화시키는 것으로 보고하였다(Van den Berg et al., 2015). 이러한 자율신경계의 변화는 심박수를 조절하는 요인으로 교감신경의 활성화는 심박수를 상승시키는 반면, 부교감신경의 활성화는 심박수를 감소시킨다(Ulrich-Lai & Herman, 2009).

자율신경계는 심박수 뿐만 아니라 운동능력에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. Gladwell et al.(2005)은 고강도 운동 시에 부교감신경이 억제되고 교감신경이 활성화되어 심장과 골격근에 혈류 재분배를 촉진시키고, 대사 요구량 증가에 따른 산소운반 능력을 향상시킨다고 보고하였다(Bunno et al., 2015; Fisher, 2014). 또한 Buchheit & Gindre(2006)은 유산소성 운동능력이 높을수록 미주신경이 자극되어

부교감신경이 활성화된다고 보고하였다.

이러한 선행연구들의 결과에 따르면 색은 자율신경계에 직접적인 변화를 유도하고, 자율신경계는 운동능력과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 하지만 아직까지 색에 따른 시각적인 자극이 자율신경계와 운동능력에 복합적인 영향을 규명한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 빛의 파장에 따른 색의 차이가 자율신경 활성화와 운동능력(근력, 근지구력, 파워, 반응속도, 민첩성, 심폐지구력)에 미치는 효과를 규명하고자 한다.

연구방법

연구대상

본 연구를 진행하기 위해 심혈관계 및 근골격계 질환과 색약이 없는 건강한 남자 대학생 10명을 선발하였고, 무작위교차설계에 따라 투명, 빨강, 파랑, 초록색을 적용하여 자율신경 활성화와 운동능력을 확인하였다. 본 연구의 무작위 교차 혼합설계에 따른 동일 대상자의 반복측정으로 인한 오염을 최소화 하기 위해 대상자들은 2주 간의 간격을 두고 연구에 참여하였다. 모든 대상자에게 실험 참여에 앞서 실험에 대한 충분한 설명을 한 후 참가동의서를 작성하도록 하였으며, 실험에 앞서 생명윤리위원회의 승인(JJNU-IRB-2020-054)을 받았다. 본 연구대상자들의 특성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. The characteristics of subjects. (Mean ± SD)

Variable	Mean±SD
Age (yrs)	23.2±1.7
Height (cm)	172±3.9
Weight (kg)	73.3±7.1
Fat mass (kg)	14.1±5.0
%Fat (%)	18.8±4.6
FFM (kg)	59.3±3.1
BMI (kg/m ²)	24.9±2.9

%Fat, Percent fat mass; FFM, Fat free mass; BMI, Body mass index

색의 적용

본 연구에서는 운동하는 동안 색의 차이에 따른 운동능력 변화를 확인하기 위하여 투명고글에 빨간색, 파란색, 초록색 셀로판을 부착하였다. 각 고글의 색에 대한 파장은 UV-Visible Spectrophotometer (Evolution 201, Thermo Fisher Scientific, Madison, US)를 사용하여 측정하였으며, 파란색은 450nm~495nm, 초록색은 495nm~570nm, 빨간색은 620nm~780nm의 파장을 나타내어 모든 고글이 본래 색의 파장 범위에 있음을 확인하였다. 모든 대상자들은 선행연구의 적용시간에 따라 운동 전 5분 이상 고글을 착용하여 색에 대한 적응 후 운동을 실시하였으며, 운동 후 회복기까지 고글을 착용하였다(Moharreri et al., 2011).

측정 항목 및 방법

1. 신체구성

연구대상자들은 오전 9시에 실험실에 방문하여 신장과 체중을 자동 신장체중 측정기(DS-103M, Dong San Jenix, Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였고, 체성분은 체지방량(Fat mass), 체지방률(Percent Fat mass; %Fat mass), 제지방량(Fat-Free Mass; FFM), 체질량지수(Body Mass Index; BMI)를 체성분분석기(Inbody 720, Inbody, Seoul, Korea)로 측정하였다.

2. 하버드 스텝 검사

하버드 스텝은 3분 동안 50cm 높이의 박스를 120bpm의 속도로 오르내린 후 운동 종료 시점부터 1분~1분 30초, 2분~2분 30초, 3분~3분 30초의 심박수를 측정하여 신체효율지수(Physical Efficiency Index, PEI)를 산출하였다.

3. 심박변이도 측정

심박변이도 측정을 위해 대상자들은 실내온도 22~25°C, 습도 40~45%로 유지된 실험실에 30분 전에 30분 전에 실험실에 도착하도록 하였으며, 의자에 앉아 충분한 휴식을 취한 후 검지 손가락에 맥파측정기(uBioMacpa pro, Biosense Creative Co., Seoul, Korea)를 부착하여 심박변이도를 측정하였다. 모든 대상자들은 안정 시, 하버드 스텝 테스트 직전, 직후, 휴식 3분, 5분, 15분에 심박변이도를 측정하였으며, 측정을 통해 저주파 영역(LF), 고주파 영역(HF), 저주파와 고주파의 비율(LF/HF), R-R 간격의 표준편차(SDNN), R-R 간격 차이의 평균 제곱근(RMSSD)을 분석하였다. LF는 교감신경, HF와 RMSSD는 부교감신경이 활성화되었을 때 증가한다. SDNN은 자율신경계의 조절능력을 의미하며, LF/HF는 교감신경과 부교감신경의 균형을 의미한다(Lombardi, 2002).

4. 심박수와 운동자각도 측정

심박수와 운동 자각도는 안정 시, 하버드 스텝 테스트 직전, 직후, 휴식 3분, 5분, 15분에 측정하였다. 운동자각도는 Borg(1962)가 개발한 운동자각도 척도를 이용하여 측정하였으며 심박수는 휴대용 심박수 측정기(PEH, Polor-Elector; Ky, Finland)를 흉부에 착용하여 측정하였다.

5. 혈중 젖산 농도 측정

혈중 젖산 농도는 안정 시, 하버드 스텝 테스트 직후, 휴식 3분, 5분, 15분 후에 채혈기와 모세혈관 튜브(Capillary tube, EKF Dianostics, Magdeburg, Germany)를 이용하여 1회 당 20μl의 혈액을 채취하였으며, 젖산분석기(Biosen C_line, EKF Dianostics, Magdeburg, Germany)를 사용하여 채취한 혈액의 혈중 젖산 농도를 분석하였다.

6. 운동능력 측정

색에 따른 운동능력을 측정하기 위해 고글 착용 후 악력, 윗몸일으키기, 좌전굴, yardstick 검사, 수직 높이뛰기, 사이드 스텝(Side step test)을 실시하였다. 악력은 디지털 악력계(T.K.K.5401, TAKEI, Niigata, Japan)를 이용하여 우세손의 최대악력(kg)을 측정하였다. 윗몸일으키기는 1분간 최대 반복횟수를 측정하였다. 반응속도 측정을 위한 yardstick 검사는 책상에 팔꿈치를 90°로 굽혀 고정시킨 후 엄지와 검지를 이용하여 떨어지는 자를 최대한 빨리 잡도록 하였으며, 자를 잡았을 때의 거리(cm)를 측정하였다. 수직 높이뛰기는 디지털 수직 점프대(DW 771A, DSI, Incheon, Korea)를 이용하여 최대 높이(cm)를 2회 측정하여 최댓값을 기록하였다. 사이드 스텝은 중앙을 기준으로 20초 동안 좌·우로 선을 넘도록 하여 각각 선을 통과한 횟수를 측정하였다.

7. 통계 처리

본 연구는 IBM SPSS Statistics 24.0 프로그램을 사용하여 각 변인의 평균(Mean)과 표준편차(Standard deviation)를 산출하였다. 집단 간, 시기 간의 상호작용을 분석하기 위해 이원 반복측정 분산분석(Two-way repeated ANOVA)을 실시하였으며, 모든 변인의 집단 간 차이를 분석하기 위해 일원배치 반복측정 분산분석(One-way repeated measures ANOVA)을 사용하였다. 사후검증은 Tukey를 사용하였으며, 모든 분석의 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

연구결과

색에 따른 심박변이도 변화

색에 따른 심박변이도 변화 결과는 <Table 2>와 같다. LF는 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았으며($F=1.10, p=.954$), 집단과 시기 간 상호작용에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다($F=1.426, p=.165$). 하지만 측정 시기에서 통계적 유의한 차이가 나타나($F=101.403, p=.001$), 일원배치 반복측정 분산분석을 실시한 결과 운동 직전 집단 간 유의한 차이가 나타났다($F=3.521, p=.025$), 사후검증 결과 운동 직후 RG가 GG에 비해 높은 것으로 나타났다.

HF는 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았으며($F=.891, p=.455$), 집단과 시기 간 상호작용 또한 유의한 차이가 나타나지 않았다($F=1.107, p=.363$). 하지만 측정 시기에서 통계적 유의한 차이가 나타나($F=99.899, p=.001$) 일원배치 반복측정 분산분석을 실시한 결과 운동 직전 집단 간 유의한 차이가 나타났으며($F=3.055, p=.041$), 사후검증 결과 BG가 GG에 비해 높은 것으로 나타났다.

LF/HF는 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았으며($F=.719, p=.547$), 집단과 시기 간 상호작용 효과에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다($F=.228, p=.990$). 측정 시기에서 유의한 차이가 나타나($F=9.853, p=.001$) 일원배치 반복측정 분산분석을 실시하였으나 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다($F=.667, p=.578$).

SNDD는 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았으며($F=.154, p=.927$), 집단과 시기 간 상호작용 효과에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다($F=1.632, p=.109$). 측정 시기에서 유의한 차이가 나타나($F=122.342, p=.001$) 일원배치 반복측정 분산분석을 실시하였으나 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다($F=.930, p=.436$). RMSSD는 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았으며($F=.383, p=.766$), 집단과 시기 간 상호작용 효과에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다($F=.544, p=.743$). 측정 시기에서 유의한 차이가 나타나($F=77.445, p=.001$) 일원배치 반복측정 분산분석을 실시하였으나 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다($F=.941, p=.431$).

Table 2. The change of heart rate variability

(Mean ± SD)

Variable	Group	Rest	Pre	Post	Recovery 3min	Recovery 5min	Recovery 15min	F-value
LF (nu)	CG	7.9±0.4	7.8±0.6	9.3±0.6	7.1±0.8	7.1±0.6	7.9±0.6	G .110 P 101.403*** G×P 1.426
	RG	7.6±0.5	8.1±0.5‡	9.4±0.4	7.0±0.5	7.3±0.6	7.6±0.8	
	BG	8.1±0.5	8.0±0.2	9.4±0.4	6.8±0.9	7.3±1.0	7.6±0.7	
	GG	7.7±0.8	7.5±0.5	9.2±0.7	7.1±0.4	7.4±0.6	7.6±0.5	
HF (nu)	CG	7.0±0.4	6.9±0.4	8.1±0.7	5.8±0.9	5.8±0.6	6.3±0.5	G .891 P 99.899*** G×P 1.107
	RG	6.7±0.5	6.9±0.6	8.0±0.3	5.6±0.7	5.7±0.6	5.9±0.5	
	BG	7.1±0.6	7.2±0.4‡	8.1±0.4	5.4±0.8	6.0±0.6	6.1±0.6	
	GG	6.6±0.5	6.5±0.4	8.0±0.7	5.9±0.7	6.0±0.8	6.2±0.7	
LF/HF (%)	CG	1.1±0.1	1.1±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1	1.3±0.2	G .719 P 9.853*** G×P .228
	RG	1.2±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1	1.3±0.1	1.3±0.1	1.3±0.1	
	BG	1.2±0.1	1.1±0.1	1.2±0.1	1.3±0.2	1.2±0.1	1.2±0.1	
	GG	1.2±0.1	1.1±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1	1.3±0.1	1.3±0.1	
SDNN (ms)	CG	63.1±19.1	61.5±19.3	55.3±18.2	24.5±13.7	22.0±10.5	34.6±13.6	G .154 P 122.342*** G×P 1.632
	RG	55.4±19.2	68.2±20.5	52.2±15.2	19.7±5.6	22.0±6.8	32.3±12.0	
	BG	72.5±24.3	64.2±17.2	55.5±15.3	21.9±9.2	23.6±8.6	35.0±16.2	
	GG	59.5±26.0	54.1±20.7	55.1±8.3	24.7±8.7	27.2±13.2	37.6±19.8	
RMSSD (ms)	CG	41.4±18.4	40.0±15.5	12.3±7.9	11.5±5.7	12.1±4.7	15.0±7.3	G .383 P 77.445*** G×P .544
	RG	40.0±19.4	45.8±22.1	9.3±2.3	9.0±2.8	11.1±5.0	17.3±8.4	
	BG	51.0±23.1	51.2±26.5	10.1±3.0	10.5±3.3	12.0±3.2	19.9±11.0	
	GG	46.5±29.9	45.0±28.8	12.0±3.7	13.2±9.2	16.1±15.2	16.0±3.0	

CG, Clear glass group; RG, Red glass group; BG, Blue glass group; GG, Green glass group; LF, Low frequency; HF, High frequency; LF/HF, Low and high frequency ratio; SDNN, Standard deviation of the node to node intervals; RMSSD, Square root of the mean squared difference of successive R-R intervals; *** $p < .001$; ‡ Difference in Green glasses

색에 따른 심박수 및 운동자각도 변화

색에 따른 심박수 및 운동자각도 변화의 결과는 <Table 3>과 같다. 심박수는 집단과 시기 간 상호작용 결과(F=3.423, p=.003) 유의한 차이가 나타났으며, 집단 간 유의한(F=0.420, p=.740) 차이는 나타나지 않았다. 하지만 측정 시기에서 유의한 차이가 나타나(F=923.031, p=.001) 일원배치 분산분석을 실시하였다. 분석결과 측정 시기에서 유의한 차이가 나타났으며(F=3.759, p=.019), 사후검증 결과 운동 직후 RG가 CG에 비해 유의하게 높은 것으로 나타났다. 운동자각도의 분석결과 집단 간 유의한 차이는 나타나지 않았다(F=.343, p=.794). 집단과 시기 간 상호작용 효과에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다(F=.982, p=.452). 측정 시기에서 유의한 차이가 나타나(F=429.983, p=.001) 일원배치 반복측정 분산분석을 실시하였으나 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다(F=.475, p=.702).

색에 따른 운동자각도 변화

색에 따른 운동자각도 결과는 <Table 3>과 같다. 운동자각도의 분석결과 집단 간 유의한 차이는 나타나지 않았다(F=.343, p=.794). 집단과 시기 간 상호작용 효과에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다(F=.982, p=.452). 측정 시기에서 유의한 차이가 나타나(F=429.983, p=.001) 일

원배치 반복측정 분산분석을 실시하였으나 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다(F=.475, p=.702).

색에 따른 혈중 젖산 농도 변화

<Table 4>는 색에 따른 혈중 젖산 농도 변화에 관한 결과이다. 혈중 젖산 농도는 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않으며(F=.382, p=.767), 집단과 시기 간 상호작용 효과에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다(F=.618, p=.730). 측정 시기에서 유의한 차이가 나타나(F=203.428, p=.001) 일원배치 반복측정 분산분석을 실시하였으나 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다(F=.343, p=.795).

색에 따른 운동능력

<Table 5>는 색에 따른 운동능력 결과이다. 악력(F=0.114, p=.951), 윗몸일으키기(F=0.534, p=.662), yardstick 검사(F=1.268, p=.300), 수직 높이뛰기(F=0.022, p=.995), 사이드 스텝(F=0.582, p=.630), 하버드 스텝을 통한 신체효율지수(Physical Efficiency Index, PEI)(F=0.324, p=.808) 측정결과 모두 집단 간 유의한 차이를 보이지 않았다.

Table 3. The change of heart rate and RPE

(Mean ± SD)

Variable	Group	Rest	Pre	Post	Recovery 3min	Recovery 5min	Recovery 15min	F-value
Heart rate (bpm)	CG	73.18.3	76.1±7.5	145.4±19.5	111.5±14.5	101.3±12.7	90.4±12.2	G .420 P 961.104*** G×P 3.332***
	RG	73.6±7.9	73.4±7.5	164.6±9.6†	111.1±12.3	103.5±10.7	91.4±9.1	
	BG	73.7±9.4	74.2±10.3	154.9±13.4	107.1±12.3	98.2±12.2	89.8±12.4	
	GG	72.5±11.6	72.7±11.3	159.1±6.8	107.7±10.9	98.4±8.6	89.2±10.7	
RPE (score)	CG	6.4±0.5	6.5±0.5	15.4±1.9	12.1±2.2	10.0±1.8	7.5±1.2	G .447 P 441.943*** G×P .632
	RG	6.4±0.5	6.6±0.5	16.3±1.7	12.7±1.8	10.5±1.5	7.5±1.0	
	BG	6.6±0.6	6.4±0.5	16.0±1.8	12.2±1.5	10.0±1.5	7.5±0.7	
	GG	6.6±0.5	6.5±0.5	15.8±1.5	11.6±2.2	9.3±1.7	7.6±1.2	

CG, Clear glass group; RG, Red glass group; BG, Blue glass group; GG, Green glass group; RPE, Rating of perceived exertion; ***p<.001; † Difference in Clear glass

Table 4. The change of lactate concentration

(Mean ± SD)

Variable	Group	Rest	Post	Recovery 3min	Recovery 5min	Recovery 15min	F-value
Lactate concentration (mmol)	CG	2.6±1.6	9.5±2.1	10.1±2.5	10.1±3.5	6.0±2.3	G .382 P 203.428*** G×P .618
	RG	1.9±0.4	10.2±1.7	9.7±2.2	9.1±2.4	5.6±1.7	
	BG	2.3±0.7	9.6±1.9	9.8±2.4	9.2±2.4	5.4±1.7	
	GG	2.5±1.1	9.4±1.9	9.2±2.0	8.6±1.9	4.9±1.3	

CG, Clear glass group; RG, Red glass group; BG, Blue glass group; GG, Green glass group; ***p<.001

Table 5. The different of basic physical fitness level

(Mean ± SD)

Variable	CG	RG	BG	GG	F-value	P
Grip strength (kg)	43.9±47.1	44.1±6.4	45.0±6.8	45.4±6.5	.114	.951
Sit-up (count/60s)	44.7±5.9	45.7±5.7	47.7±6.2	45.2±5.0	.534	.662
Ruler drop test (cm)	15.6±2.4	16.3±1.8	16.7±2.1	15.0±1.9	1.268	.300
Vertical jump (cm)	48.8±7.8	48.3±6.6	48.3±7.1	49.0±8.7	.022	.995
Side step (count/20s)	41.5±3.8	43.6±2.8	43.3±4.4	42.5±4.4	.582	.630
PEI (score)	51.3±7.0	50.0±5.0	51.0±5.7	52.5±5.7	.324	.808

CG, Clear glass group; RG, Red glass group; BG, Blue glass group; GG, Green glass group; PEI, Physical Efficiency index

논의

심박변이도 검사는 자율신경의 활성도를 예측할 수 있는 검사로, LF는 스포츠 현장 및 연구에서 교감신경 활성도를 예측하는 지표로 사용된다 (Quintana et al., 2016). 본 연구에서 색에 따른 심박변이도 결과 운동 직전 RG가 GG에 비해 LF가 유의하게 높은 것으로 나타났다. Yoto et al.(2007)은 색깔 자극에 따른 Electroencephalogram (EEG)를 확인한 결과 빨간색 자극은 전두엽(frontal lobe)과 두정엽(parietal lobe)에서 LF가 높게 측정되었다. 또한 Choi et al.(2011)는 적색광이 노출되는 환경에서 HF와 RMSSD가 감소하였으며, 길항작용을 통해 LF가 상승한다고 보고하여 본 연구결과와 일치하였다. 따라서 빨간색 시각 자극은 LF를 상승시키며, 교감신경이 활성화되는 것을 확인하였다.

HF는 심박변이도 검사에서 고주파수치를 나타내며, 부교감신경의 활성도를 예측할 수 있는 지표로 사용된다(Laborde et al., 2017). 본 연구의 HF 분석결과 운동 직전 BG가 GG에 비해 HF가 유의하게 높은 것으로 나타났다. Schäfer & Kratky(2006)의 연구에 따르면 파란색 조명이 다른 색에 비해 HF가 유의하게 높은 값을 나타낸다고 보고하여 본 연구의 결과와 일치하였다. 선행연구와 본 연구의 HF 결과를 통해 파란색의 시각 자극은 부교감신경이 활성화시키는 것으로 예측할 수 있다.

자율신경계는 심박수를 조절하는 요인으로 교감신경은 심박수의 상승을, 부교감신경은 심박수 하강을 유도하는 것으로 보고되었다(Camm et al., 1996). 본 연구에서 각각의 색의 자극에 따른 심박수와 RPE에 대한 집단 간, 시기 간의 상호작용을 분석한 결과 RPE는 통계적 유의차가 나타나지 않았지만, 심박수는 운동 직후 RG가 CG에 비해 유의하게 높은 심박수를 나타냈다. 이러한 결과는 빨간색 시각 자극이 대상자가 인지하는 동일강도에서 운동 중 심박수가 더 높은 것을 의미한다. 선행연구에서도 빨간색이 교감신경을 자극시켜 심박수가 상승하였다고 보고하여 본 연구와 일치하였다(Dreiskaemper et al., 2013; Reyes del Paso et al., 2013). 따라서 본 연구에서의 빨간색 시각 자극이 심박수를 상승시킨 이유는 교감신경이 활성화되었기 때문인 것으로 생각된다.

운동능력은 스포츠 활동에서 발휘할 수 있는 운동능력으로 기초체력은 운동능력을 예측할 수 있는 지표이다. 이러한 운동능력은 다양한 요인들에 의해 영향을 받는데 그 중 자율신경계는 운동능력과 밀접한 관련이 있다(Hautala et al., 2009). 본 연구에서 시각적인 색의 인식에 따른 운동능력을 측정하였다. 근력과 파워를 측정하기 위하여 악력과 수직 높이 뛰기를 측정하였으며, 반응속도를 측정할 수 있는 yardstick 검사를 실시하였다. 악력, 수직 높이 뛰기, yardstick 검사의 결과 집단 간 유의한 차이

가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 빨간색 조명의 환경에서 근력과 파워가 높게 나타났다고 보고한 Crane et al.(2008)의 연구결과와 상반된 결과가 나타났지만, 빨간색 고글 착용은 테스트스테론 수치의 증가를 보였으나, 운동능력에는 영향을 미치지 못했다고 보고한 Londe et al.(2018)의 연구와 동일한 결과가 나타났다. 선행연구와 앞선 본 연구의 결과를 종합해보면 빨간색이 교감신경 활성화를 통한 심박수의 상승을 유도하지만, 빨간색과 운동능력의 상관성은 확인하지 못하였다. 따라서 빨간색은 생리적 요인을 변화시키지만, 운동능력의 차이에 있어서는 연구마다 상충되는 결과가 나타나 논란의 여지가 있을 것으로 생각된다.

윗몸일으키기는 근지구력을 예측할 수 있는 측정 도구로, 선행연구에서 부교감신경의 활성화는 운동 후 심박수 회복과 근지구력 향상과 상관성이 있음을 보고하였다(Chen et al., 2011; Fisher et al., 2015). 본 연구의 근지구력 측정결과 BG가 가장 높은 경향을 보여 선행연구와 유사한 결과를 나타냈다. 따라서 파란색은 부교감신경을 활성화시켜 근지구력을 요구하는 운동 시 긍정적인 효과를 미칠 수 있을 것으로 생각되지만, 아직까지 근거가 부족하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

하버드 스텝은 유산소성 운동능력을 측정하는 방법으로 신체효율지수(Physical Efficiency Index, PEI)를 산출한다. PEI 측정결과 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 선행연구에서는 초록색이 심박수와 운동 자각도를 감소시킨다고 보고하여 본 연구와 상반되는 결과가 나타났다(Akers et al., 2012; Pretty et al., 2005). 하지만 초록색이 단독적으로 생리학적 변인에 영향을 미치지 못했다는 보고도 존재하여 초록색과 다양한 환경적 요인의 복합적인 연구가 필요할 것으로 생각된다(Michels et al., 2020).

결론 및 제언

색의 자극에 따른 자율신경 활성 및 운동능력을 측정할 결과 빨간색은 LF를 향상시켜 교감신경과 심박수에 영향을 주었으나 운동능력에는 영향을 미치지 못했다. 파란색은 심박수 회복에 영향을 미치지 못했지만, HF를 향상시켜 부교감신경 활성화에 영향을 주었으며, 근지구력이 향상되는 경향을 보였다. 초록색 고글은 다른 색에 비해 낮은 자율신경 활성도를 보였으며, 운동능력에도 영향을 미치지 않았다.

결론적으로 본 연구는 색이 자율신경계의 조절을 유도할 수 있지만, 운동능력을 변화시키는데 영향을 주지 못하였다. 하지만 색의 변화만으로 생리학적 변화를 유도하였기에 추후 스포츠 상황에서 색에 따른 경기력의 변화를 추가적으로 연구할 필요가 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- Akers, A., Barton, J., Cossey, R., Gainsford, P., Griffin, M., & Micklewright, D. (2012). Visual color perception in green exercise: Positive effects on mood and perceived exertion. *Environmental science & technology*, 46(16), 8661-8666.
- Borg, G. A. (1962). *Physical performance and perceived exertion*.
- Buchheit, M., & Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 291(1), H451-H458.
- Bunno, Y., Suzuki, T., & Iwatsuki, H. (2015). Motor imagery muscle contraction strength influences spinal motor neuron excitability and cardiac sympathetic nerve activity. *Journal of physical therapy science*, 27(12), 3793-3798.
- Camm, A. J., Malik, M., Bigger, J. T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R. J., ... & Singer, D. (1996). *Heart rate variability*. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use.
- Chen, J. L., Yeh, D. P., Lee, J. P., Chen, C. Y., Huang, C. Y., Lee, S. D., ... & Kuo, C. H. (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1546-1552.
- Choi, C. J., Kim, K. S., Kim, C. M., Kim, S. H., & Choi, W. S. (2011). Reactivity of heart rate variability after exposure to colored lights in healthy adults with symptoms of anxiety and depression. *International Journal of Psychophysiology*, 79(2), 83-88.
- Crane, D. K., Hensarling, R. W., Jung, A. P., Sands, C. D., & Petrella, J. K. (2008). The effect of light color on muscular strength and power. *Perceptual and motor skills*, 106(3), 958-962.
- Dreiskaemper, D., Strauss, B., Hagemann, N., & Büsch, D. (2013). Influence of red jersey color on physical parameters in combat sports. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 35(1), 44-49.
- Fisher, J. P. (2014). Autonomic control of the heart during exercise in humans: role of skeletal muscle afferents. *Experimental physiology*, 99(2), 300-305.
- Fisher, J., D'amario, D., Small, C., & Stopforth, M. (2015). Effect of colored lenses on muscular performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 55(6), 549.
- Gladwell, V. F., Fletcher, J., Patel, N., Elvidge, L. J., Lloyd, D., Chowdhary, S., & Coote, J. H. (2005). The influence of small fibre muscle mechanoreceptors on the cardiac vagus in humans. *The Journal of physiology*, 567(2), 713-721.
- Hautala, A. J., Kiviniemi, A. M., & Tulppo, M. P. (2009). Individual responses to aerobic exercise: the role of the autonomic nervous system. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(2), 107-115.
- Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research—recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Frontiers in psychology*, 8, 213.
- Lauer, M. S. (2009). Autonomic function and prognosis. *Cleveland Clinic journal of medicine*, 76, S18-22.
- Li, W., & DeVries, S. H. (2004). Separate blue and green cone networks in the mammalian retina. *Nature neuroscience*, 7(7), 751-756.
- Lombardi, F. (2002). Clinical implications of present physiological understanding of HRV components. *Cardiac electrophysiology review*, 6(3), 245-249.
- Londe, A. M., Marocolo, M., Marocolo, I. C., Fisher, J., Neto, O. B., Souza, M. V. C., & da Mota, G. R. (2018). Wearing Colored Glasses can Influence Exercise Performance and Testosterone concentration?. *Sports medicine international open*, 2(2), E46.
- Michels, N., De Witte, F., Di Bisceglie, E., Seynhaeve, M., & Vandebuerie, T. (2020). Green nature effect on stress response and stress eating in the lab: color versus environmental content. *Environmental Research*, 193, 110589.
- Moharreri, S., Dabanloo, N. J., Parvaneh, S., Nasrabadi, A. M., & Attarodi, G. H. (2011, September). Personality psychology using heart responses to color stimulus. In *2011 Computing in Cardiology* (pp. 97-100). IEEE.
- Okano, A. H., Fontes, E. B., Montenegro, R. A., Farinatti, P. D. T. V., Cyrino, E. S., Li, L. M., ... & Noakes, T. D. (2015). Brain stimulation modulates the autonomic nervous system, rating of perceived exertion and performance during maximal exercise. *British journal of sports medicine*, 49(18), 1213-1218.
- Pretty, J., Peacock, J., Sellens, M., & Griffin, M. (2005). The mental and physical health outcomes of green exercise. *International journal of environmental health research*, 15(5), 319-337.
- Quintana, D. S., Alvares, G. A., & Heathers, J. A. J. (2016). Guidelines for Reporting Articles on Psychiatry and Heart rate variability (GRAPH): recommendations to advance research communication. *Translational psychiatry*, 6(5), e803-e803.
- Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J., Van Roon, A., & Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: a review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50(5), 477-487.
- Ross, M. J., Guthrie, P., & Dumont, J. C. (2013). The impact of modulated color light on the autonomic nervous system. *Adv Mind-Body Med*, 27(4), 7-16.
- Schäfer, A., & Kratky, K. W. (2006). The effect of colored illumination on heart rate variability. *Complementary Medicine Research*, 13(3), 167-173.
- Sliney, D. H. (2002). How light reaches the eye and its components. *International journal of toxicology*, 21(6), 501-509.
- Sroykham, W., Promraksa, T., Wongsathikun, J., & Wongsawat, Y. (2014, November). The red and blue rooms affect to brain activity, cardiovascular activity, emotion and saliva hormone in women. In *The 7th 2014 Biomedical Engineering International Conference* (pp. 1-5). IEEE.
- Sztajzel, J. (2004). Heart rate variability: a noninvasive electrocardiographic method to measure the autonomic nervous system. *Swiss medical weekly*, 134(35-36), 514-522.

- Ulrich-Lai, Y. M., & Herman, J. P. (2009).** Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses. *Nature reviews neuroscience*, *10*(6), 397-409.
- Van den Berg, M. M., Maas, J., Muller, R., Braun, A., Kaandorp, W., Van Lien, R., ... & Van den Berg, A. E. (2015).** Autonomic nervous system responses to viewing green and built settings: differentiating between sympathetic and parasympathetic activity. *International journal of environmental research and public health*, *12*(12), 15860-15874.
- Wilms, L., & Oberfeld, D. (2018).** Color and emotion: effects of hue, saturation, and brightness. *Psychological research*, *82*(5), 896-914.
- Yoto, A., Katsuura, T., Iwanaga, K., & Shimomura, Y. (2007).** Effects of object color stimuli on human brain activities in perception and attention referred to EEG alpha band response. *Journal of physiological anthropology*, *26*(3), 373-379.
- Yuda, E., Yamamoto, K., Yoshida, Y., & Hayano, J. (2019, May).** Effects of Illumination Color on Autonomic Response to Exercise. In *2019 Joint 8th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV) and 2019 3rd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition (icIVPR)* (pp. 202-205). IEEE.

시각적인 색 인식이 남자 대학생들의 자율신경 활성화와 운동능력에 미치는 효과

사공혁, 조영현, 서태범

제주대학교 자연과학대학 체육학과

[목적] 본 연구의 목적은 시각적인 색 인식이 건강한 남자 대학생들의 자율신경 활성화와 운동능력에 미치는 효과를 규명하는 것이다.

[방법] 건강한 대학생 10명을 대상으로(n=10) 무작위 교차설계에 따라 투명(CG), 빨강(RG), 파랑(BG), 초록(GG) 안경 착용 후 자율신경 활성화와 운동능력을 확인하였다. 신경계 활성화는 심박변이도(HRV), 피로는 혈중 젖산 농도, 심박수는 휴대용 심박수 측정 장비로 분석하였다. 운동 능력은 악력, 윗몸일으키기, 좌전굴, yardstick 검사, 수직 높이뛰기, 사이드 스텝 검사를 통해 확인하였다. 집단 간 상호작용을 분석하기 위하여 확인하기 위해 이원 반복측정 분산분석 실시하였다.

[결과] 본 연구의 결과 저주파 영역(LF)은 RG가 GG보다 높았으며, 고주파 영역(HF)은 BG가 GG에 비해 높았다. 하지만 최대근력, 근지구력, 반응시간, 파워, 민첩성 및 유산소성 운동능력 등의 운동능력에서는 모든 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

[결론] 본 연구 결과는 시각적인 색 인식이 자율신경계는 변화시키지만 운동능력에는 영향을 미치지 못한다는 것을 제시한다.

주요어

시각적인 색 인식, 자율신경계, 운동능력, 심박변이도, 혈중젖산농도