

# The Effect of Visual Feedback Bicycle Training on Maximal Oxygen Uptake, Quadriceps Muscle Strength, and Running Performance in Healthy Young Adults

Hyeonguk Kim<sup>a</sup>, Seungwon Lee<sup>b</sup> and Wonjae Choi<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Jejubomgil Hospital, Jeju, Korea

<sup>b</sup>Department of Physical Therapy, Sahmyook University, Seoul, Korea

<sup>c</sup>Department of Physical Therapy, Joongbu University, Seoul, Korea

**Objective:** The purpose of this study was to investigate the effect of visual feedback bicycle training on running performance, maximal oxygen uptake and quadriceps muscle strength.

**Design:** A randomized controlled trial.

**Methods:** Fifteen healthy adult men with no musculoskeletal or nervous system disease and capable of bicycle training were included. After the pretest, subjects were randomly assigned to visual feedback bicycle training group and general fixed bicycle training group. Both groups were trained two times a week for three weeks, each week for a fixed time and number of repetitions, followed by a six week washout period and then crossing the training method. visual feedback bicycle training provides visual feedback of heart rate in real time using a monitor and a heart rate meter during bicycle training, and general fixed bicycle training performed general bicycle training without visual feedback. After training, each item was measured using a wearable technology, gas analyzer, isokinetic equipment.

**Results:** The results of this study was significant differences in running performance, maximal oxygen uptake and quadriceps muscle strength in visual feedback bicycle training group ( $p < 0.05$ ). The differential effect was found between visual feedback bicycle training group and general fixed bicycle training group in running performance, maximal oxygen uptake, and quadriceps muscle strength ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions:** This study suggested that that visual feedback bicycle training can be applied as a useful training method to improve running performance, maximal oxygen uptake and quadriceps muscle strength.

**Key Words:** Visual feedback, Bicycling, Maximal oxygen uptake, Quadriceps muscle, Running

## 서론

세계적으로 연령별 레저 스포츠 참여율 조사에 따르면 달리기와 걷기의 참여율이 가장 높게 나타났다[1]. 한국의 스포츠 참여율 조사에서도 마찬가지로 특별한 도구나 공간의 제약을 받지 않는 달리의 참여율이 높았다[2]. 달리의 수행력을 높이기 위한 세 가지 요소인 최대산소섭취량( $VO_2max$ ), 젖산 역치(lactate threshold) 및 달리기 경제성(running economy)이 중요시되고 있다[3]. 이와 같은 세 가지 요인은 가장 중요한 생리학적 결정

인자로 간주되어 달리기 선수를 위한 효과적인 훈련 프로그램 개발 시 고려되어 진다[4]. 그러나 어떤 훈련 방법이 가장 효과적인지는 여전히 불투명한 상태이다[5].

달리기 수행력을 증가시키기 위한 훈련으로 저항도 및 고강도 저항 운동, 플라이오메트릭 운동을 포함한 전통적인 근력 강화 훈련과 자전거 훈련 등을 실시해 왔다[6-8]. 젊은 여성에게 저항도 및 고강도 저항 운동을 적용한 경우 최대산소섭취량은 유의한 차이를 보이지 않으나 젖산 역치, 하지의 근력 및 반복 전력 질주 능력은 향상 되었다[8]. 반면에 철인 3종 운동선수를 대상으

Received: Jan 14, 2022 Revised: Mar 7, 2022 Accepted: Mar 15, 2022

Corresponding author: Wonjae Choi (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2232-6744>)

Department of Physical Therapy, Joongbu University, 201, Daehak-ro, Chubu-myeon, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

Tel: +82-41-750-6715 Fax: +82-41-750-6166 E-mail: wjchoi@joongbu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2022 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

로 실시한 장시간 고강도 자전거 훈련은 최대산소섭취량과 5km 달리기 시간을 감소시켰다[6]. 이처럼 자전거 훈련은 유산소 능력을 향상시킬 수 있기 때문에 달리기 수행력을 증가시키기 위해 전통적인 근력 강화 훈련보다 효과적으로 사용할 수 있는 방법이다.

스포츠 및 운동 생리학 연구에서 대표적인 주제 중 하나가 훈련 상태를 정확히 확인할 수 있는 장치를 활용하여 훈련 프로그램을 관리하거나 통합하는 것이다[9]. 이러한 장치는 훈련이 유발하는 피로 또는 훈련의 적응 수준을 인식할 수 있도록 돕고 훈련 프로그램을 개별화하기 위한 부하의 조정을 용이하게 한다[10]. 운동선수의 훈련 부하를 관찰하는 것은 운동선수가 훈련 과정에 적응하고 있는지 여부를 결정하고 무리한 동작, 부상 및 질병을 최소화 할 수 있으며[11], 선수가 시합 환경에서 각성 상태를 조절하는데 도움이 될 수 있다[12].

신경계 활성화를 통해 스포츠 능력을 향상시키기 위한 대중적인 방법으로 시각적 피드백과 모니터링 훈련이 있으며[13, 14], 피드백 기반 훈련은 육체 및 정신의 인식을 높이고 생리학적으로 신경 기능에 대한 통제력을 증가시킴으로써 경기력을 향상시킬 수 있을 것으로 제안하였다[15]. Kell과 Greer[16]의 연구에서 철인 3종 경기 선수를 대상으로 자전거 모니터링 훈련을 실시하였을 때 자전거 페달링의 대칭성이 모니터링 훈련군에서 유의하게 향상된 것으로 보고하였다.

자전거 훈련 또는 모니터링 훈련은 훈련의 적응 확인, 과훈련 방지, 동기 유발 및 각성을 통한 스포츠 성과 향상에 긍정적인 영향이 있음에도 불구하고 선행연구에서는 달리기 수행력을 향상시킬 수 있는 훈련 방법으로 시각적 피드백 기반 자전거 훈련에 대한 연구가 적었다. Lamberts 등[17]의 연구에서는 심박수 회복을 이용한 피로도 모니터링이 자전거 수행 능력에 미치는 영향 조사한 결과 심박수 회복이 빠른 집단과 심박수 회복이 느린 집단 모두 순발력과 지구력 능력에서 유의한 차이를 보였으며, 심박수 회복이 빠른 집단에서 40 km 달리기 시간을 크게 감소 시켰다는 보고가 있었지만 최대산소섭취량이나 근력의 변화에 미치는 영향에 대해서는 알 수 없었다. 따라서, 본 연구에서는 시각적 피드백 기반 자전거 훈련이 최대산소섭취량, 대퇴사두근의 근력, 및 달리기 수행력에 미치는 효과에 대해서 알아보려고 한다.

## 연구 방법

### 연구 대상 및 절차

본 연구의 설계는 무작위 시험으로 건강한 성인 남성을 대상으로 본 연구의 목적을 이해하고 자발적인 참여 의사를 밝힌 사람을 모집하였다. 대상자는 서울에 위치

한 S병원에 검진으로 방문하는 사람 중 건강한 성인 남자를 대상으로 편의추출하였다. 참여자는 중단을 원할 때는 언제든지 연구에서 철퇴할 수 있음을 설명하였고 삼육대학교 연구윤리 위원회 승인(2-7001793-AB-N-012 018062HR)을 받아 시행하였다.

본 연구에서 대상자 선정 기준은 20~30세 사이의 건강한 성인 남자로 최근 1년간 근골격계, 신경계 및 호흡기계 병력이 없는 자, 자전거 및 달리기 가능한 자를 대상으로 하였다. 대상자 제외 기준은 시각적 장애가 있는 자, 정신적인 문제나 이해력이 부족하여 운동 수행이 어려운 자로 하였다.

선정된 대상자는 실험 전 최대산소섭취량, 대퇴사두근 근력 및 달리기 수행력을 측정하였으며 그 후 무작위 표본 추출 방법에 따라 시각적 피드백 기반 자전거 훈련군(n=8) 일반 고정 자전거 훈련군(n=7)으로 분류되어 각각 3주간 주 2회 총 6회의 훈련을 수행하였다. 훈련 강도는 1주차에는 6분 훈련과 1분 휴식으로 5회 반복하여 총 35분간 진행하였고 2주차에는 7분 훈련과 1분 휴식으로 5회 반복, 3주차에는 8분 훈련과 1분 휴식으로 5세트 반복으로 조절하였다. 1차 실험 훈련 후 효과를 확인하기 위해 최대산소섭취량, 대퇴사두근 근력 및 달리기 수행력을 재측정한 뒤 6주간 워시 아웃 기간을 가졌다[18]. 워시 아웃 기간 동안에 약물복용, 음주, 흡연 및 타 운동을 하지 않도록 하여 다음 실험에 끼칠 영향력을 배제하였다. 2차 실험 훈련은 참여자들을 교차 배정하여 1차 실험 절차와 동일하게 적용한다 (Figure 1). 본 연구에서는 임상경력 5년차 이상의 물리 치료사가 훈련지도 및 사전·사후 측정을 실시하였다

## 중재 방법

### 시각적 피드백 기반 자전거 훈련

시각적 피드백 기반 자전거 훈련은 주당 2회로 3주간 실시하여 총 6회를 실시하였다. 모든 참가자들은 모니터가 달려 있는 고정 자전거(Wattbike Pro, Nottingham, UK)에 연동된 휴대용 심박계(Polar Electro Oy, Kempele, Finland)를 가슴에 착용하여 훈련에 임하였다. 모니터에는 분당 회전수(RPM)가 출력되어 심박수를 조절할 수 있도록 하였다. 훈련 전에 125 W 이하의 강도로 10분간 준비운동을 실시하였고, 본 훈련의 저항은 훈련 시 공기 저항 3단계, 휴식 시 공기 저항 1단계로 설정하였다. 또한 훈련 강도는 최대산소섭취량의 80%에 준하는 연령 추정 최대심박수의 88%로 정하였다[19]. 훈련과 휴식의 비율은 1주차에는 6분 : 1분, 2주차에는 7분 : 1분, 3주차에는 8분 : 1분으로 시행하며 각 주차별 동일하게 5세트 반복하였다[6].

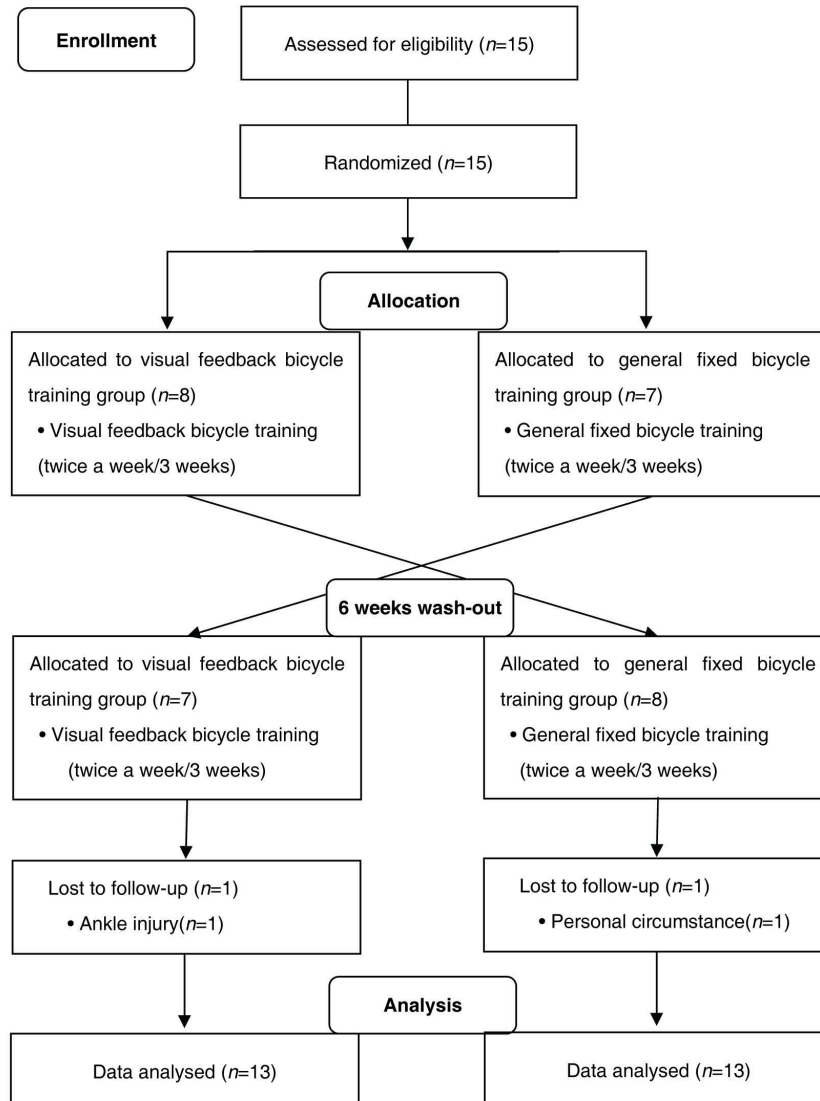


Figure 1. Flow chart of total experiment procedure.

**일반 고정 자전거 훈련**

모니터가 달려 있는 고정 자전거의 모니터를 제거한 상태로 휴대용 심박계를 사용하지 않고 일반 고정 자전거 훈련을 수행하였다. 그 외의 준비운동과 본 운동의 훈련 및 휴식 시간 비율은 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군과 동일하게 수행하였다.

**측정방법 및 도구**

**최대산소섭취량**

최대산소섭취량의 측정은 가스 분석기(K4b2, Cosmed, Italy)와 모니터가 달려 있는 고정 자전거를 이용하여 측정하였다. 고정 자전거는 대상자의 하지 및 몸통을 편안

한 위치에 있을 수 있도록 안장 높이를 조절하였다. 가스분석기의 마스크는 대상자의 얼굴 크기에 맞는 마스크를 사용하였으며 끈을 조여 빈 공간이 생기는 것을 방지하였다. 측정의 정확도를 높이기 위해 30분간 예열과 영점조절을 하였다. 칼리브레이션(calibration)은 룬 에어, 레퍼런스 가스, 터빈 및 가스 딜레이를 실시하였다. 첫째, 룬 에어 칼리브레이션을 통해 실험공간의 온도, 공기온도, 기압, 습도를 측정하였다. 둘째, 레퍼런스 가스 칼리브레이션은 가스분석기 회사에서 정한 가스(O<sub>2</sub> = 16%, CO<sub>2</sub> = 5%)를 사용하여 진행하였다. 셋째, 터빈 칼리브레이션은 3L 용량의 터빈을 이용하여 호기와 흡기를 5회 반복하여 측정하였다. 마지막으로, 가스 딜레이 칼리브레이션은 대상자가 마스크를 쓴 상태에서 호기와 흡기를 번갈아가며 측정하였다[20].

최대운동부하검사는 125W로 10분간 준비 운동을 한 후 150W에서 시작하여 1분 당 20W 씩 상승 시키면서 대상자가 더 이상 운동을 진행하기 어렵다는 표시를 하거나 중단이 필요한 범주에 속할 경우 운동을 중단 하였다. 또한 검사를 중단을 한 경우에 검사를 중단한 이유(피로, 호흡곤란, 다리 및 가슴 통증 등)를 기록하였다. 최대운동부하검사를 실시하는 동안 발생한 두 개의 가장 높은 분당 산소섭취량( $VO_2$ ) 값의 평균을 사용하였다[6]. 이 검사의 측정자 간 신뢰도는  $r=0.88\sim0.95$ 이다[21].

### 대퇴사두근 근력

대퇴사두근의 근력은 등속성 장비(Con-trex MJ; CMV AG, Dubendorf, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 먼저 등속성 장비의 회전축 자체의 영점과 슬관절의 해부학적 영점을 조절한 뒤 각속도는  $60^\circ$ 로 맞추고 측정 각도는 굴곡  $80^\circ$ 에서 신전  $10^\circ$ , 휴식 시 각도를  $60^\circ$ 로 설정하였다[22]. 대상자의 슬관절 통증 유무를 확인하여 장비에 앉힌 후 등 지지면은 지상을 기준으로  $85^\circ$  기울기로 위치시키고 엉덩이를 밀착시키며 동시에 대상자의 슬관절은 바닥 지지면 보다 2cm 앞에 나올 수 있도록 하였다. 대상자의 불필요한 움직임을 최소화하기 위하여 흉부와 골반에 두 개의 스트랩을 이용하여 교차로 고정시키며 마찬가지로 검사 측 대퇴부의 원위부 3분의 1 지점과 비 검사 측 하퇴부의 원위부 3분의 1 지점에 스트랩 및 고정 장치를 이용하여 고정시켰다. 장비의 회전축을 검사 측 슬관절의 기준점(lateral femoral epicondyle)의 위치에 일치시키며 하퇴부 원위부의 3분의 1 지점에 회전축과 검사 측 하지의 연결 장치를 고정시켰다. 본 측정 전에 예상되는 최대 노력의 20~80% 강도로 20회 이하의 횟수를 반복하여 준비운동을 실시하였다. 측정자는 정확한 측정을 위해 신전 수행 시 시작 신호와 횟수를 명백하고 일정한 음높이의 큰 소리로 전달 및 지시하였다. 또한 대상자에게 전 범위를 가능한 가장 강하고 빠른 속도로 밀도록 교육하였다. 이미 설정된 각속도로 5회 연속 슬관절 신전 및 굴곡을 수행한 뒤 최대 피크값을 사용하였다[23]. 이 검사의 측정자간 신뢰도는  $r=0.99$ 이다[23].

### 달리기 수행력

달리기 수행력 측정은 착용 가능한 스마트 기기인 위성항법시스템(GPS, Global positioning system) 시계(Vivoactive HR, Garmin Ltd., USA)를 사용하였다. 대상자는 좌측 손목에 시계를 착용하며 우측 신발에 풋포드(Foot pod, Garmin Ltd., USA)를 고정시켰다. 위성항법시스템 시계의 샘플링 시간은 0.1초마다 정보를 연동할 수 있도록 설정되었다. 측정 전에 장치 간 자동 연동을 확인하고 우측 발을 출발선에 위치한 후에 달리기 시작과 동시에 대상자가 직접 시계를 작동시켰다. 달리기 도착 지점에 닿는 순간에 대상자가 직접 시계의 작동을 멈추었다. 시계는 웹 사이트 인터페이스(Garmin connect)에서 사용자 프로필에 다운로드 되는 데이터와 함께 달리기 분속수 및 시간이 기록되었다[24]. 이 검사의 측정자 간 신뢰도는  $r=0.93$ 이다[25]. 달리기는 최대 산소섭취량과 밀접한 연관성이 높은 2.4 km 트랙으로 달리기 수행을 완료하였다[26].

### 자료 분석

본 연구의 모든 작업과 통계는 SPSS ver. 19.0을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 전체 대상자는 Shapiro-Wilk 정규성 검증을 하였으며, 결과 모든 변수가 정규분포 하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였다. 집단 내 실험 전·후 변화는 대응표본 t-검정을 이용하였으며 집단 간 차이를 알아보기 위해 독립표본 t-검정을 실시하였다. 자료의 모든 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

### 연구 결과

#### 대상자 일반적 특성

시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군과 일반 고정 자전거 훈련군은 일반적 특성에서 모두 동질한 것으로 나타났다( $p>0.05$ , Table 1). 연구 대상자는 총 13명으로 평균 연령은 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군 26.23세,

**Table 1.** General characteristics of participants

Variables	Visual feedback bicycle training group (n=13)	General fixed bicycle training group (n=13)
Age (year)	26.23 (2.08)	26.00 (2.23)
Body weight (kg)	71.38 (4.42)	70.31 (6.18)
Height (cm)	174.38 (6.29)	173.31 (6.11)
Body mass index ( $kg/m^2$ )	23.52 (1.75)	23.44 (1.87)

Values are presented as mean (standard deviation).

일반 고정 자전거 훈련군 26.00세였고 체중은 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군 71.38kg, 일반 고정 자전거 훈련군 70.31kg, 신장은 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군 174.38cm, 일반 고정 자전거 훈련군 173.31cm, BMI지수는 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군 23.52 kg/m<sup>2</sup>, 일반 고정 자전거 훈련군 23.44kg/m<sup>2</sup>였다.

#### 최대산소섭취량의 변화

최대산소섭취량 검사에서 실험 전 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군이 3.26L/min에서 실험 후 3.49L/min로 0.23L/min 증가하여 통계적으로 유의한 차이가 있었으나( $p < 0.05$ ), 일반 고정 자전거 훈련군은 실험 전 3.33L/min에서 3.21L/min로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 두 군간 전·후 변화량에서 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군이 유의한 차이로 증가하였다( $p < 0.05$ , Table 2).

#### 대퇴사두근 근력 변화

우측 하지근력 검사에서 실험 전 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군이 170.92 Nm에서 실험 후 182.69 Nm로 11.77 Nm 증가하여 통계적으로 유의한 차이가 있었으나( $p < 0.05$ ), 일반 고정 자전거 훈련군은 실험 전 169.08 Nm에서 169.92 Nm로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 두 군간 전·후 변화량에서 시각적 되먹임 기반 자전

거 훈련군이 유의한 차이로 증가하였다( $p < 0.05$ ). 좌측 하지근력 검사에서 실험 전 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군이 169.15 Nm에서 실험 후 180.23 Nm으로 11.08 Nm 증가하여 통계적으로 유의한 차이가 있었으나, 일반 고정 자전거 훈련군은 실험 전 166.15 Nm에서 166.62 Nm로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 두 군간 전·후 변화량에서 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군이 유의한 차이로 증가하였다( $p < 0.05$ , Table 2).

#### 달리기 수행력의 변화

분속수 검사에서 실험 전 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군이 164.62 steps/min에서 실험 후 166.15 steps/min로 1.53 steps/min 증가하여 통계적으로 유의한 차이가 있었으나( $p < 0.05$ ), 일반 고정 자전거 훈련군은 실험 전 163.77 steps/min에서 163.54 steps/min로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 두 군간 전·후 변화량에서 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군에서 유의한 차이로 증가하였다( $p < 0.05$ , Table 2).

달리기 속도는 실험 전 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군이 728.91 초에서 실험 후 698.68 초로 30.22 초 감소하여 통계적으로 유의한 차이가 있었으나( $p < 0.05$ ), 일반 고정 자전거 훈련군은 실험 전 751.00초에서 753.15초로 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 두 군간 전·후 변화량에서 시각적 되먹임 기반 자전거 훈련군이 유의한 차이로 감소하였다( $p < 0.05$ , Table 2).

**Table 2.** Comparison of maximal oxygen uptake, quadriceps muscle strength, and running performance between visual feedback bicycle training and general fixed bicycle training groups

Variables	Visual feedback bicycle training group (n=13)			General fixed bicycle training group (n=13)			t(p)	Cohen's d
	Pre-test	Post-test	Difference	Pre-test	Post-test	Difference		
VO <sub>2</sub> max (L/min)	3.26 (0.47)	3.49 (0.46)	0.23 (0.26)	3.33 (0.45)	3.21 (0.36)	0.12 (0.30)	3.110 (0.005)	1.20
<b>Quadriceps muscle strength</b>								
Right side (Nm)	170.92 (31.55)	182.69 (37.46)	11.77 (11.06)	169.08 (33.70)	169.92 (35.26)	0.85 (7.85)	2.903 (0.008)	1.14
Left side (Nm)	169.15 (25.48)	180.23 (28.86)	11.08 (12.13)	166.15 (37.24)	166.62 (35.65)	0.46 (5.75)	2.850 (0.009)	1.12
<b>Running performance</b>								
Cadence (steps/min)	164.62 (13.99)	166.15 (12.74)	1.53 (1.26)	163.77 (12.87)	163.54 (12.67)	0.23 (1.83)	2.739 (0.011)	1.07
Time (s)	728.91 (81.08)	698.68 (82.29)	30.22 (13.97)	751.00 (93.12)	753.15 (99.25)	2.14 (25.38)	4.027 ( $< 0.001$ )	1.58

Values are presented as mean (standard deviation).

## 고찰

본 연구는 시각적 피드백 기반 자전거 훈련이 최대산소섭취량, 대퇴사두근 근력 및 달리기 수행력에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다.

달리기 수행력에서 중요한 생리적인 요인은 최대산소섭취량, 젖산역치, 달리기 효율성이다[27]. 즉, 달리기가 주 에너지 시스템 상에서 70% 이상의 범위가 유산소성 대사에 의해 결정되는 만큼 최대산소섭취량의 증가가 달리기 수행력을 향상시킨 것으로 사료된다[28]. 본 연구에서 최대산소섭취량이 증가한 이유는 첫째, 시각적 피드백 기반 훈련 시 모니터에 자전거 분당 회전수를 출력함으로써 대상자가 목표 심박수에 도달하고 그 상태를 유지할 수 있도록 자전거 훈련을 수행하였기 때문이라고 사료된다[29]. 또한, 시각적 피드백 기반 훈련은 대뇌 피질의 활성화 패턴을 조절하는데 크게 관여되어 경쟁 및 훈련 상황에서 대상자들이 신체적 상태 및 각성에 대한 조절력을 향상시킨다[15, 30]. 이로 인해 훈련 상황의 집중력 및 동기부여의 향상을 통해 훈련에 영향을 주었을 것으로 사료된다. 둘째, 시각적 피드백 기반 자전거 훈련은 유산소성 지구력 훈련으로써 부교감신경 활성화, 좌심실 크기 및 수축력 향상으로 최대 및 최대하운동에서 1회 박출량 증가로 인해 최대 심박출량을 증가시킨다[31].

시각적 피드백 기반 자전거 훈련군과 일반 고정 자전거 훈련군을 비교하였을 때 시각적 피드백 기반 자전거 훈련의 유의한 향상은 대퇴사두근의 협응력 및 운동단위동원을 향상시켰기 때문에 대퇴사두근 근력이 증가한 것으로 사료된다[32]. 증가된 대퇴사두근 근력은 근육과 건 자체의 강성이 강해짐으로써 기계적 에너지 효율이 증가되어 달리기 시간을 감소시키는 요인으로도 작용했을 것으로 사료된다[33].

자전거의 페달 회전수와 달리의 분속수는 각 훈련 시 사용되는 근육들의 동원 순서 및 반복적 리듬이 유사하다[34]. 시각적 피드백 기반 자전거 훈련이 목표 심박수를 달성하기 위해 증가시키고 유지한 자전거 페달 회전수가 달리기 분속수를 향상시키고 달리기 시간을 단축시킨 것으로 사료된다[24, 35].

본 연구에서 적용한 시각적 피드백 기반 자전거 훈련은 최대산소섭취량, 대퇴사두근 근력 증진과 달리기 수행력의 향상에 도움이 되며 고가의 장비가 아닌 시중에 많이 보급된 착용 가능한 스마트 기기를 사용하였다. 이러한 장점은 취미 활동으로 달리기를 하는 일반인들이 쉽게 따라할 수 있는 프로그램으로도 제안할 수 있을 것이다. 본 연구의 제한점은 대상자의 수가 적어 일반화가 어렵고 달리기 수행력을 검사하기 위한 변수로서 달

리기 시간과 보장의 관계를 검증하지 못하였다. 그리고 달리기 수행력을 향상시킬 수 있는 근육으로 대퇴사두근으로만 국한할 수 없으며 다른 근육들을 고려하지 못하였다. 이러한 제한점을 보완하기 위해 추후에는 더 많은 대상자 수와 심박수 모니터링 자전거 훈련이 달리기 보장, 달리기 경제성 및 젖산역치에 미치는 영향을 증명하는 연구가 추가적으로 필요하다고 사료된다.

## 결론

본 연구에서 시각적 피드백 기반 자전거 훈련이 일반 고정 자전거 훈련보다 최대산소섭취량, 대퇴사두근 근력, 및 달리기 수행력을 향상시켰기 때문에 달리기 능력을 안전하면서 효율적으로 증가시키기 위한 방법 중 하나로 제안할 수 있을 것이다. 또한 시각적 피드백 기반 자전거 훈련은 실험실 혹은 병원에서 사용하는 고가 장비 없이도 가능한 훈련 방법으로 현대인들이 사용하고 있는 착용 가능한 스마트 기기로 쉽게 따라 할 수 있는 실용적인 훈련 방법으로 활용할 수 있을 것이다.

## 이해 충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

## 참고문헌

1. Hulthe RM, Smith JJ, Morgan PJ, Barnett LM, Hallal PC, Colyvas K, et al. Global participation in sport and leisure-time physical activities: A systematic review and meta-analysis. *Preventive medicine*. 2017;95:14-25.
2. Yang J-Y, Kim T-H. The Influence of the Characteristic on the Sports Addiction of Marathon Club Member. *The Korean Society of Sports Science*. 2011;20:489-500.
3. Schabort EJ, Killian SC, Gibson ASC, Hawley JA, Noakes TD. Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000;32:844-9.
4. Berg K. Endurance training and performance in runners. *Sports Medicine*. 2003;33:59-73.
5. Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? *Sports*

- Medicine. 2006;36:117-32.
6. Etxebarria N, Anson JM, Pyne DB, Ferguson RA. High-intensity cycle interval training improves cycling and running performance in triathletes. *European journal of sport science*. 2014;14:521-9.
  7. Krakan I, Milanovic L, Belcic I. Effects of Plyometric and Repeated Sprint Training on Physical Performance. *Sports (Basel, Switzerland)*. 2020;8.
  8. Edge J, Hill-Haas S, Goodman C, Bishop D. Effects of resistance training on H<sup>+</sup> regulation, buffer capacity, and repeated sprints. *Medicine and science in sports and exercise*. 2006;38:2004-11.
  9. Buchheit M, Simpson M, Al Haddad H, Bourdon P, Mendez-Villanueva A. Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European journal of applied physiology*. 2012;112:711-23.
  10. Borresen J, Lambert MI. Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sports medicine*. 2008;38:633-46.
  11. Halson SL. Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine*. 2014;44:139-47.
  12. Tanis CJ. The effects of heart rhythm variability biofeedback with emotional regulation on the athletic performance of women collegiate volleyball players. Unpublished Doctoral Dissertation, Capella University. 2008.
  13. Dupee M, Forneris T, Werthner P. Perceived outcomes of a biofeedback and neurofeedback training intervention for optimal performance: Learning to enhance self-awareness and self-regulation with Olympic athletes. *The Sport Psychologist*. 2016;30:339-49.
  14. Bar-Eli M, Blumenstein B. Performance enhancement in swimming: The effect of mental training with biofeedback. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2004;7:454-64.
  15. Moss D, Wilson SV. The use of general biofeedback in the pursuit of optimal performance. *Case studies in applied psychophysiology: Neurofeedback and biofeedback treatments for advances in human performance*. 2011:1-16.
  16. Kell DT, Greer BK. Use of the Wattbike Cycle Ergometer for Attenuation of Bilateral Pedaling Asymmetry in Trained Cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31:468-73.
  17. Lamberts R, Swart J, Capostagno B, Noakes T, Lambert M. Heart rate recovery as a guide to monitor fatigue and predict changes in performance parameters. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2010;20:449-57.
  18. Abbiss CR, Karagounis LG, Laursen PB, Peiffer JJ, Martin DT, Hawley JA, et al. Single-leg cycle training is superior to double-leg cycling in improving the oxidative potential and metabolic profile of trained skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 2011;110:1248-55.
  19. Pollock M, Willmore J. *Exercise in health and disease; evaluation and prescription for prevention and rehabilitation*. 2nd ed. Philadelphia 1990.
  20. McLaughlin J, King G, Howley E, Bassett Jr D, Ainsworth B. Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *International journal of sports medicine*. 2001;22:280-4.
  21. Brisswalter J, Tartaruga MP. Comparison of COSMED'S FitMate™ and K4b2 metabolic systems reliability during graded cycling exercise. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*. 2014;74:722-4.
  22. Wilhite MR, Cohen ER, Wilhite SC. Reliability of concentric and eccentric measurements of quadriceps performance using the KIN-COM dynamometer: the effect of testing order for three different speeds. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1992;15:175-82.
  23. Maffiuletti NA, Bizzini M, Desbrosses K, Babault N, Munzinger U. Reliability of knee extension and flexion measurements using the Con-rex isokinetic dynamometer. *Clinical physiology and functional imaging*. 2007;27:346-53.
  24. Bailey J, Mata T, Mercer JA. Is the relationship between stride length, frequency, and velocity influenced by running on a treadmill or overground? *International journal of exercise science*. 2017;10:1067.
  25. Adams D, Pozzi F, Carroll A, Rombach A, Zeni Jr J. Validity and reliability of a commercial fitness watch for measuring running dynamics. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2016;46:471-6.
  26. Febriyanti TF, Setiabudi MA, Candra AT. Analisis Tingkat VO2Max Dan Kapasitas Vital Paru Pemandu Kuda Taman Wisata Gunung Bromo. *JPJ (Jurnal Pendidikan Jasmani)*. 2020;1:59-72.
  27. Park C-H, Kim T-U, Park T-G. Factors affecting

- performance in Olympic Triathlon. *Journal of coaching development*. 2005;7:13-23.
28. Wiswell RA, Jaque SV, Marcell TJ, Hawkins SA, Tarpenning KM, Constantino N, et al. Maximal aerobic power, lactate threshold, and running performance in master athletes. *Medicine and science in sports and exercise*. 2000;32:1165-70.
  29. Anderson R, Hanrahan SJ, Mallett CJ. Investigating the optimal psychological state for peak performance in Australian elite athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*. 2014;26:318-33.
  30. Xiang M-Q, Hou X-H, Liao B-G, Liao J-W, Hu M. The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: A meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*. 2018.
  31. Baechle T, Earle R, Baechle TR. *NSCA's essentials of personal training: Human Kinetics*; 2004.
  32. Kraemer WJ, Newton RU. Training for muscular power. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*. 2000;11:341-68.
  33. Spurrs RW, Murphy AJ, Watsford ML. The effect of plyometric training on distance running performance. *European journal of applied physiology*. 2003;89:1-7.
  34. Gottschall JS, Palmer BM. The acute effects of prior cycling cadence on running performance and kinematics. *Medicine and science in sports and exercise*. 2002;34:1518-22.
  35. Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system-e-book: foundations for rehabilitation: Elsevier Health Sciences*; 2013.