creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

체육학석사 학위논문

성인 남성의 젖산 섭취가 반복된 고강도 인터벌 운동 후의 집행기능 유지에 미치는 영향

The effect of lactic acid consumption on executive function after acute repeated high-intensity interval exercise in adult male

2020 년 2 월

서울대학교 대학원

체육교육과

조 해 성

성인 남성의 젖산 섭취가 반복된 고강도 인터벌 운동 후의 집행기능 유지에 미치는 영향

지도 교수 문 효 열

이 논문을 체육학석사 학위논문으로 제출함
2020 년 2 월

서울대학교 대학원
체육교육과
조 해 성

조해성의 체육학석사 학위논문을 인준함
2020 년 2 월

위 원 장 김 연 수 (인)

부위원장 송 욱 (인)

위 원 문 효 열 (인)

초 록

운동으로 인해 향상되는 집행기능이 뇌 젖산 흡수량과 혈중 젖산 농도의 증가와 유의한 상관관계가 있다는 선행 연구결과가 제시되고 있다. 한번의 고강도 인터벌 운동으로 혈중 젖산 농도, 뇌 젖산 흡수량 그리고 집행기능이 일시적으로 향상된다. 그러나, 이러한 운동의 효과는 반복된 고강도 인터벌 운동 시 약화된다. 게다가, 운동으로 향상된 집행기능과 젖산은 깊은 상관관계가 있다. 하지만 다른 선행연구에서는 운동으로 인한 심리적 요인 그리고 뇌유래신경성장인자(BDNF)와 같은 요인들의 변화와 집행기능의 상관관계를 밝히고 있다. 그러므로, 선행연구결과들을 통해 젖산과 집행기능의 인과관계를 설명하기에는 불충분하다. 따라서, 본 연구는 젖산 섭취가 반복된 운동으로 인해 감소되는 집행기능의 유지에 미치는 영향을 확인하였다.

건강한 성인 남성 11 명이 총 2 세트의 고강도 인터벌 운동을 실시하였고 각 세트 운동 후 30 분간 휴식시간을 취하였다. 참가자들은 2 세트 운동 시작 후 10 분에 실험음료를 섭취하였다. 측정변인들은 각 세트의 운동 전과 운동 후 30 분의 회복기간 동안 10 분을 간격으로 운동 직후, 운동 후 10 분, 20 분, 30 분에 걸쳐 세트당 5 회씩 측정했다. 심혈관 및 혈액변인(혈중 젖산, 혈당, 맥박, 말초산소포화도), 심리적 변인(각성도, 정신피로도, 집중도), 혈중 BDNF 수치가 측정되었고 집행기능은 컴퓨터 프로그램화된 색상단어검사를 통해 측정되었다.

2 세트 고강도 인터벌 운동 후 20 분에서 실험군이 대조군보다 혈중 젖산 수치가 더 높은 경향을 나타내며 유지되는 경향을 보였다. 또한, 같은 시간대인 운동 후 20 분에서 세트에 따른 집행기능의 감소량이 대조군보다 실험군

이 유의하게 작았다. 이뿐만 아니라 집행기능은 유일하게 혈중 젖산 수치와 유의한 상관관계를 나타냈다. 반면에 혈당, 맥박, 각성도, 집중도가 2 세트에서 두 그룹간 또는 세트에 따른 감소량의 유의한 차이를 보였으나, 집행기능과 상관관계는 유의하지 않았다. 따라서, 젖산 섭취가 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인해 약화되는 운동의 집행기능 향상 효과를 개선시켜주는 긍정적인 결과를 확인하였다.

하지만, 젖산 음료의 섭취 타이밍, 음료 제조 방법의 한계, 표본수의 부족과 같은 여러 한계점이 존재한다. 그럼에도 불구하고 기존의 선수들의 퍼포먼스 연구가 신체적 기능에 편중되어 있고 젖산의 섭취를 통한 인지기능 변화 관련 연구가 전무하다는 점에서 본 연구의 결과는 고무적이다. 또한, 기존의 젖산과 집행기능의 상관관계에서 나아가 인과관계를 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구의 결과는 향후 선수들의 피로, 인지적 퍼포먼스 개선 관련 연구와 인지 관련 임상연구에 있어 젖산의 역할을 재고려해볼 필요가 있음을 시사한다.

주요어 : 고강도 인터벌 운동, 퍼포먼스, 피로, 뇌 에너지, 젖산, 집행기능

학 번 : 2018-26888

목 차

Ⅰ. 서 론 1

1. 연구의 필요성 1
2. 연구의 목적 4
3. 연구의 가설 5
4. 연구의 제한점 5
5. 용어의 정의 6

Ⅱ. 이론적 배경 7

1. 스포츠 경기 후반 감소되는 퍼포먼스 7
2. 피로와 운동 퍼포먼스 8
3. 고강도 인터벌 운동 9
4. 집행기능 11
5. 젖산과 운동시 뇌의 대사 13
6. 젖산과 운동 그리고 집행기능 14

Ⅲ. 연구 방법 16

1. 연구 대상 16
2. 연구 설계 17
3. 측정 방법 및 도구 18
4. 연구절차 23
5. 자료 처리 26
6. 윤리적 고려 28

Ⅳ. 연구 결과 29

1. 연구 대상자의 일반적 특성 29
2. 혈중 젖산 30
3. 심혈관 및 혈액 변인 32

4. 심리적 변인 39
5. 혈중 BDNF 46
6. 스트룹 색상-단어 검사 48
7. 스트룹 검사 결과와 혈중 젖산의 상관관계 54

V. 논의 57

VI. 결론 64

참고문헌 66

Abstract 71

부록 74

표 목 차

<표 1> 그룹 간 일반적 특성 비교..... 29
<표 2> 그룹 내 시간에 따른 젖산 변화.....31
<표 3> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 젖산 비교 31
<표 4> 그룹 내 시간에 따른 혈당 변화 33
<표 5> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 혈당 비교.....34
<표 6> 그룹 내 시간에 따른 산소포화도 변화 35
<표 7> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 산소포화도 비교 36
<표 8> 그룹 내 시간에 따른 맥박 변화 38
<표 9> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 맥박 비교.....38
<표 10> 그룹 내 시간에 따른 각성도 변화 40
<표 11> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 각성도 비교.....41
<표 12> 그룹 내 시간에 따른 정신피로도 변화 42
<표 13> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 정신피로도 비교.....43
<표 14> 그룹 내 시간에 따른 집중도 변화 44
<표 15> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 집중도 비교 45
<표 16 > 그룹 내 시간에 따른 혈중 BDNF 변화 46
<표 17 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 혈중 BDNF 비교.....47
<표 18 > 그룹 내 시간에 따른 간섭점수 변화 48
<표 19 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 간섭점수 비교 49
<표 20> 그룹 내 시간에 따른 스트룹 검사 정확도 변화 50
<표 21> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 검사 정확도 비교 51
<표 22> 그룹 내 시간에 따른 스트룹 검사 반응시간 변화 53
<표 23> 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 검사 반응시간 비교...53

그 림 목 차

[그림 1] 스트룹 색상단어 검사(Stroop color-word test) 20
[그림 2] 연구의 절차 23
[그림 3] 운동 및 검사 프로토콜 25
[그림 4] 시간에 따른 그룹 및 세트별 젖산 변화 32
[그림 5] 시간에 따른 그룹 및 세트별 혈당 변화 34
[그림 6] 시간에 따른 그룹 및 세트별 산소포화도 변화 36
[그림 7] 시간에 따른 그룹 및 세트별 맥박 변화 39
[그림 8] 시간에 따른 그룹 및 세트별 각성도 변화 41
[그림 9] 시간에 따른 그룹 및 세트별 정신피로도 변화 43
[그림 10] 시간에 따른 그룹 및 세트별 집중도 변화 45
[그림 11] 시간에 따른 그룹 및 세트별 혈중 BDNF 변화 47
[그림 12] 시간에 따른 그룹 및 세트별 간섭점수 변화 49
[그림 13] 시간에 따른 그룹 및 세트별 스트룹 검사 정확도 변화 51
[그림 14] 시간에 따른 그룹 및 세트별 스트룹 검사 반응시간 변화 54
[그림 15] 간섭점수와 혈중 젖산의 상관관계 55
[그림 16] 스트룹 검사 총 반응시간과 혈중 젖산의 상관관계.....56

I. 서 론

1. 연구의 필요성

스포츠 경기 후반은 선수들의 퍼포먼스가 감소되는 시간대이며 많은 득실점이 발생하는 시간대이다(Russell et al., 2015). 1930 년 1 회 월드컵부터 2018 년 러시아월드컵까지 시간대 별 득·실점 통계에 의하면 전반전보다 후반전 득·실점 기록이 더 많으며 특히, 2018 년 러시아월드컵 8 강팀 중 6 개 팀 득점의 65%가 후반전에서 기록되었다(Katakam, 2018). 선수들과 동시에 경기를 뛰는 심판 또한 후반전에 퍼포먼스가 감소된다. 2002 년 20 세이하 브라질리언 축구 챔피언십(Brazilian Under-20 Championship, 2002)에서 기록된 총 321 개 판정에서 오심이 전반전보다 후반전에서 더 많이 기록되었다(DE OLIVEIRA et al., 2011).

이처럼 후반 들어 감소되는 선수들의 퍼포먼스 개선을 위해 많은 연구들은 신체적인 기능에 초점을 두고 있다. 하지만 신체적인 기능뿐만 아니라 경기 후반까지 선수들의 퍼포먼스를 유지하기 위해 필요한 기능은 인지기능, 즉 집행기능(Executive function)이다. 집행기능은 작동 기억(Working memory), 인지적 유연성(Cognitive flexibility), 억제 조절(Inhibitory control)과 같이 행동을 조절하는데 필수적인 인지기능들을 의미한다(Sakamoto et al., 2018). 집행기능은 뇌의 배외측 전전두엽(Dorsolateral prefrontal), 전측 대상회(Anterior cingulate) 그리고 두정엽(Parietal cortex)이 관여하고 있으며 여러 신경 심리, 및 생리학 연구에서 스트룹 검사(Stroop test)를 통해 평가되고 있다(Hashimoto et al., 2018; Scarpina & Tagini, 2017). 게다가 선수의 우수한 퍼포먼스를 예측할 수 있는 요인으로 집행기능이 제시되었고 (Vestberg et al., 2012) 우수한 퍼포먼스를 가진 선수일수록 집행기능 검사

점수가 높다는 연구결과를 통해(Huijgen et al., 2015; Sakamoto et al., 2018) 실제로 집행기능이 퍼포먼스의 중요한 요소임을 제시하였다.

경기 후반 감소된 퍼포먼스는 주로 선수들의 피로와 연관된다(Abd-Elfattah et al., 2015). 피로는 생리학적 관점에서 크게 중추피로와 말초피로로 구분할 수 있으며 특히, 인지기능 감소와 연관되는 피로는 주로 중추피로이다. 중추피로는 중추신경계의 시냅스의 신경전달물질의 농도 변화로 인해 인지적인 기능 감소 형태로 나타나는 피로를 일컫는다(Kluger et al., 2013; Zając et al., 2015). 특히, 중추피로는 근수축의 활동까지 제한하여 인지기능 뿐만 아니라 신체 기능에도 영향을 주므로 전반적인 퍼포먼스 감소를 유도할 수 있다 (Zając et al., 2015).

피로는 다양한 요인으로 발생되지만 피로를 설명하는데 주로 언급되는 요인은 에너지 고갈 모델이다(Pattyn et al., 2018). 신경활동을 위한 신경전달물질과 이온 수송에 있어 뉴런들은 에너지를 필요로 하기 때문에(Hashimoto et al., 2018) 중추피로 또한 중추신경계의 에너지고갈과 연관된다. 따라서 중추피로로 인해 감소된 인지기능은 중추신경계 특히, 뇌의 에너지대사로 설명된다.

안정 시 뇌의 주요 에너지원은 글루코스(Glucose)이지만, 운동 시 뇌에서 사용하는 주요 에너지원은 젖산이다(Brooks, 2018). 운동 시 뇌 에너지대사에 있어 젖산은 효율적이며 심지어 글루코스와 젖산 모두 존재하더라도 젖산을 선호한다는 연구결과가 보고되었다(Bélanger et al., 2011; Bouzier-Sore et al., 2006). 또한 운동 전 혈중 젖산을 주입한 결과, 운동 시 증가된 혈중 젖산의 농도에 따라 뇌 젖산 흡수량이 증가했으며 글루코스의 경우 오히려 감소한 것으로 나타났다(Van Hall et al., 2009).

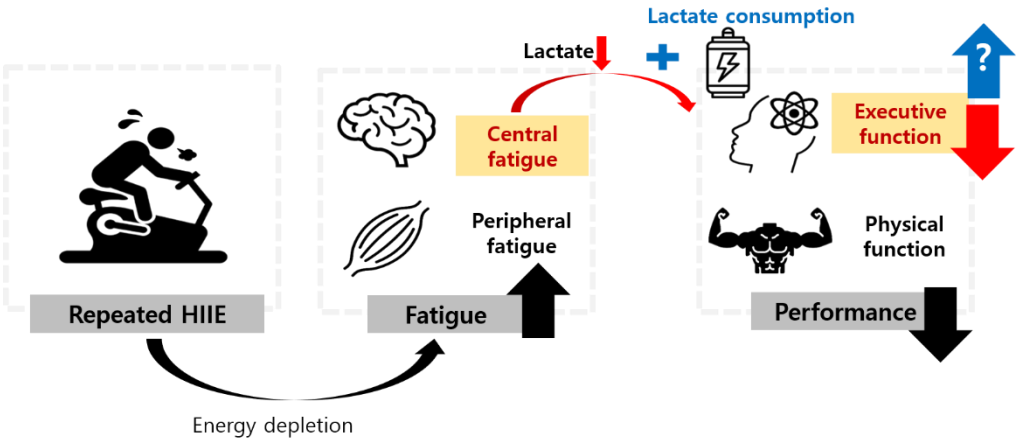
실제로 많은 선행 연구를 통해 운동 시 주요 에너지원인 젖산이 집행기능과 밀접한 관계가 있다는 연구결과가 보고되고 있다. Coco et al. (2019)의 연구에서는 보디빌더들의 크로스핏(Cross-fit) 운동 전과 후를 비교한 결과, 젖산과 집행기능이 증가하였음을 확인하였다. 고강도 인터벌 운동과 VO_2peak 60% 정도의 보통강도(Moderate intensity)로 지속적인 운동을 비교한 연구에서는 고강도 인터벌 운동 후 증가된 혈중 젖산의 양과 집행기능의 유지가 더 지속적인 것으로 나타나 혈중 젖산과 집행기능의 깊은 상관관계를 제시하였다(H. Tsukamoto et al., 2016).

그러나 운동 후 증가된 집행기능과 젖산은 반복된 고강도 인터벌 후 감소되는 것으로 나타났다. H. Tsukamoto et al. (2016)의 연구에서 첫번째 고강도 인터벌 운동 후 결과에 비해 두번째 고강도 인터벌 운동 후부터 회복 기간의 혈중 젖산과 집행기능의 개선 정도가 감소되었다. Hashimoto et al. (2018)의 연구에서도 첫번째에 비해 두번째 고강도 인터벌 운동 후부터 회복기간까지 스트룹 검사 점수와 혈중 및 뇌 젖산 흡수량이 낮아진 결과를 통해 젖산과 집행기능의 밀접한 상관관계를 보고하였다. 선행 연구 결과를 통해 밝혀진 젖산과 집행기능의 관계를 실제 경기 후반 감소되는 선수들의 퍼포먼스, 전반에 비해 경기 후반 감소되는 선수들의 혈중 젖산 수치의 관계(Stølen et al., 2005)와 비교해 봤을 때, 젖산과 집행기능의 관계를 더욱 규명해야 할 필요가 있다.

최근 들어 젖산과 집행기능에 대한 연구가 보고되고 있으나 운동으로 인해 변화되는 심리적 변화, 뇌행유래신경영양인자(Brain-derived neurotrophic factor, BDNF) 같은 호르몬 등이 집행기능과 관계가 있다는 연구결과도 있으므로 젖산과 집행기능의 인과관계를 설명하기에는 부족하다(Grego et al., 2004; Hashimoto et al., 2018; McMorris, 2016; Nybo & Secher, 2004; Shields

et al., 2015). 또한 인간을 대상으로 젖산 주입 또는 섭취를 통해 신체적 기능 개선에 초점을 맞춘 연구는 존재하지만 인지적 기능 개선에 초점을 맞춘 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 선행연구에서 증명되었던 반복된 고강도 인터벌 후 감소되는 젖산 수치와 집행기능의 개선에 있어 외부 젖산의 섭취가 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 한다. 또한, 집행기능과 관련된 각성과 집중 등의 심리적 변인, 혈중 BDNF 수치를 통해 젖산 외 다른 변인들이 집행기능에 영향을 미치는지 확인하고자 한다.



[그림 1] 연구 개요(Research overview)

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 서울 시내 거주하고 있는 성인(만 19 세 이상 34 세 이하) 남성을 대상으로 두 세트의 고강도 인터벌 운동을 실시하여 두 번째 운동 시작 후 10 분에 젖산이 함유된 음료의 섭취를 통해 운동 후 집행기능 향상 유지에 있어 젖산이 미치는 영향을 분석하는데 있다. 본 연구의 결과를 토대로 선수 퍼포먼스 향상을 위한 인지적 기능 개선 연구나, 인지적인 질병과 관련된 임상연구에 있어 의미 있는 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

3. 연구의 가설

본 연구는 다음과 같은 연구 가설을 설정하였다.

1) 두번째 고강도 인터벌 운동 후, 실험군이 대조군보다 혈중 젖산의 수치와 집행기능 검사 점수가 유의하게 높을 것이다.

2) 혈중 젖산 농도와 스트룹 검사 결과(간섭점수, 정확성, 반응시간)는 유의한 상관관계가 나타날 것이다.

4. 연구의 제한점

본 연구를 진행함에 있어 다음과 같은 제한점을 갖는다.

1) 그룹당 표본 수가 적어 통계적인 검정에 제한이 따르며 시간, 고강도 인터벌 운동 세트, 그룹의 상호작용은 배제한다.

2) 선행연구에서 뇌 젖산 흡수량이 혈중 젖산 수치에 비례한다는 선행결과들을 토대로 연구를 진행하였으며 뇌 젖산 흡수량을 직접적으로 측정하지 못했다.

3) 실험군이 섭취한 젖산이 각 조직으로 어느정도 비율로 전달되는지 그 대사과정을 직접 측정하지 못했다.

4) 실험 12 시간 전부터 카페인, 알코올 섭취, 격렬한 운동처럼 실험에 영향을 줄 수 있는 요인들은 자제를 부탁하여 최대한 통제하였으나, 식사를

통제하지 못하여 실험 전 동일한 영양을 제공하도록 통제하는데 한계가 있었다.

5) 각 시간대별 이루어지는 스트룹 검사 프로토콜 난이도의 동질성 검사를 하지 못했다.

5. 용어의 정의

1) 피로

본 연구에서 언급되는 피로는 퍼포먼스와 관련되며 생리학적 관점에서 구분되는 피로 중 중추피로와 말초피로로 제한한다.

2) 신체적 기능

본 연구에서 언급되는 신체적 기능은 인지적 기능을 제외한 근 파워, 근 지구력, 심폐지구력 등의 육체적인 기능을 의미한다.

3) 집행기능

본 연구에서 언급되는 집행기능(executive function)은 색상 단어 스트룹 검사(Stroop color-word test)를 통해 산출된 점수를 통해 설명한다.

4) 젖산

본 연구에서 언급되는 젖산은 생화학에서 동의어로 사용되는 lactate 와 lactic acid 를 구분 없이 사용한다.

II. 이론적 배경

1. 스포츠 경기 후반 감소되는 퍼포먼스

축구, 럭비, 미식축구, 농구와 같은 많은 스포츠 종목의 경기는 하프타임(Half-time) 간격을 두고 전반과 후반전으로 나뉜다. 경기가 간헐적으로 진행되는 데는 오랜 시간 강도 높은 운동으로 부상과 팀 패배 등을 유발하는 운동 퍼포먼스(exercise performance) 저하를 방지하는 것이 중요하다. 실제로 스포츠 경기 후반은 선수들의 퍼포먼스가 감소되는 시간대이며 많은 득실점이 발생하는 시간대이다(Russell et al., 2015). 1930 년 1 회 우루과이 월드컵부터 2018 년 21 회 러시아 월드컵까지 시간대 별 득·실점 통계에 의하면 전반전보다 후반전 득·실점 기록이 더 많으며 특히, 최근 2018 년 러시아 월드컵 8 강팀 중 6 개 팀 득점의 65%가 후반전에서 기록되었다(Katakam, 2018). 선수들과 동시에 경기를 뛰는 심판 또한 후반전에 퍼포먼스가 감소된다. 2002 년 20 세이하 브라질리언 축구 챔피언십(Brazilian Under-20 Championship, 2002)에서 기록된 총 321 개 판정에서 오심이 전반전보다 후반전에서 더 많이 기록되었다(DE OLIVEIRA et al., 2011).

경기 후반 감소되는 퍼포먼스를 개선하기 위하여 다양한 연구결과와 전략들이 제시되고 있다. Towlson et al. (2013)의 연구에서는 축구선수들이 퍼포먼스 저하를 피하기 위해 하프타임(half-time)에 의학적 치료나 에너지 충전을 위한 영양 섭취, 전술적 피드백을 취한다고 보고했다. 또한, 활성화 후 강화 (Post-activation potentiation) 전략(Russell et al., 2015), IAE(Intermittent agility exercise) 전략(Lovell et al., 2013), 탄수화물 보충 전략(Hills & Russell, 2018) 등의 퍼포먼스 저하를 개선하기 위한 다양한 전략들이 제시되고 있다.

특히, 이러한 퍼포먼스 유지 및 개선 관련 연구는 주로 신체적 퍼포먼스에 초점이 맞춰져있으며 인지적 퍼포먼스에 대한 연구는 부족한 실정이다.

2. 피로와 운동 퍼포먼스

피로는 일상생활에서 흔하게 경험할 수 있는 현상이다. 하지만 운동이나 신체 활동을 과도하게 하여 신체적 퍼포먼스가 떨어지게 되는 피로, 많은 신경을 써서 더 이상 다른 생각을 하기 힘들 때 지각되는 피로처럼 다양한 관점에서 해석되기 때문에 피로는 하나의 현상으로 정의하기 어렵다. 따라서 피로의 증상과 유발 요인을 확인하는 것이 피로를 이해할 수 있는 좋은 방법이다(Kluger et al., 2013).

먼저, 운동 생리학적 관점에서 살펴보면, 신체적으로나 인지적으로 운동 퍼포먼스를 감소시키는 다요인적 과정이며 필요한 힘을 발생시킬 수 있는 근파워나 힘을 유지하는 능력의 저하를 일컫는다(Evans & Lambert, 2007). 또한 피로는 중추피로와 말초피로로 크게 구분할 수 있다. 말초피로는 지속적인 움직임으로 인해 반복적인 근수축이 일어나게 되어 저장된 에너지가 고갈되면서 나타나는 근신경계 능력의 저하로 지속적인 퍼포먼스를 이끌어내기 어려운 상태를 말한다. 중추피로는 지속적인 운동으로 발생하며 뇌와 같은 중추신경계에서 세로토닌(serotonin), 노르에피네프린(norepinephrine), 도파민(dopamin)과 같은 카테콜라민류(catecholamine) 신경화학물질 대사의 변화로 인하여 발생된다고 알려져 있으며(Zając et al., 2015), 운동과 근기능에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Hwang, 2015). 신경활동 시 전달되는 신경전달물질이나 이온의 수송에 에너지가 필요하기 때문에(Dalsgaard et al., 2002) 에너지부족은 신경화학물질의 대사에 영향을 주어 중추피로를 유발할 수 있다. 특히, 말초에서 전달된 근수축활동에 대한 정보가 운동 신경들의(motor

neuron) 활성화가 수정될 수 있는 척수에서 중추신경계로 전달되기 때문에 말초피로와 중추피로는 연결되어 있으며 서로 영향을 줄 수 있다(Powers & Howley, 2018). 따라서, 퍼포먼스 개선에 있어 두 유형의 피로 모두에 집중할 필요가 있다.

피로로 인하여 감소되는 운동 퍼포먼스는 인지적 퍼포먼스(cognitive performance)와 신체적 퍼포먼스(physical performance)로 크게 구분된다. 신체적 기능에는 근파워, 근지구력, 순발력, 스피드, 심폐지구력 등이 있으며 인지적 기능에는 작업기억(working memory), 인지적 유연성(cognitive flexibility), 억제조절(inhibitory control)과 같은 집행기능(Sakamoto et al., 2018)과, 의사결정, 지각, 시각적 탐색능력 등이 있다. (Chang et al., 2017) 하지만 일반적으로 진행되는 선수들의 퍼포먼스 향상프로그램은 신체적인 향상에 초점이 맞춰져 있으며 인지적 기능을 향상시켜주는 프로그램은 부족하다(Walton et al., 2018). 선수의 신체적 기능이 아무리 뛰어나더라도 전술을 이해하지 못하고 경기를 이해하고 예측하는 능력이 없다면 우수한 선수라고 할 수 없다. 실제로 인지적 능력을 통해 우수한 선수를 예측할 수 있으며 (Mangine et al., 2014), 우수한 선수가 더 좋은 집행기능 검사 점수를 가진 것으로 나타났다(Vestberg et al., 2012). 따라서 신체적 기능 뿐만 아니라 인지적 기능을 유지할 수 있도록 피로를 개선할 수 있는 연구가 필요하다고 할 수 있다.

3. 고강도 인터벌 운동

고강도 인터벌 운동(HIIE, High-Intensity Interval Exercise)이란 운동과 휴식을 반복하는 일련의 과정으로 고강도 운동과 저강도 또는 중강도 운동을 하면서 불완전휴식을 취하고 이를 반복하는 순서로 진행하는 고강도의 컨디셔

닝(conditioning) 운동 방법이다(Roy, 2013). 100m 달리기와 같이 짧은 시간에 최대의 근파워를 요구하거나 마라톤처럼 긴 시간동안 극한의 심폐지구력을 요하는 종목과 달리 축구나 농구와 같은 종목은 폭발적으로 뛰었다가 걷기도 하는 컨디셔닝 능력이 특히 중요하다. 때문에 중강도와 고강도를 번갈아 진행하는 고강도 인터벌 운동은 컨디셔닝 능력을 향상시킬 수 있는 적합한 트레이닝 방법이다. 실제로 많은 스포츠 팀 트레이닝 프로그램에 여러 형태로 포함되어 있으며(Laursen & Buchheit, 2018) 특히 축구선수들에게 매우 효과적이다(Engel et al., 2018). 또한 바쁜 현대사회에서 적은 시간으로 고강도 운동의 효과를 나타낼 수 있는 고강도 인터벌 운동은 미국 스포츠의학회 ACSM 에서 2014 년부터 2018 년까지 'WORLDWIDE SURVEY OF FITNESS TRENDS' 의 상위 5 위권에 속하며(Thompson, 2018) 임상연구에서도 그 효과에 주목하고 있다(Pinto et al., 2019).

고강도 인터벌 운동의 신체적 향상효과를 살펴보면, 고강도 운동시에 ATP-PC 시스템이나 해당과정 체계를 동원하고, 저강도 또는 중강도 운동의 불완전 휴식기에는 ATP-PC 시스템 회복과 젖산 산화 과정이 진행된다(김경배, 2015). 이는 체내에 무산소 및 유산소적 대사가 교대로 반복되면서 운동에 대한 순환계의 능력을 향상시키게 된다(Trapp et al., 2008). 고강도 인터벌 트레이닝은 심폐지구력향상의 효과가 있을 뿐 아니라 초과산소섭취량을 통해 체지방을 효율적으로 감소시킬 수 있다. 또, 인터벌 트레이닝의 장점은 고강도의 운동을 한 후 불완전한 휴식을 취할 때에도 빠른 심박수가 유지되어 운동지속시간 대비 높은 산소와 에너지를 소비하게 된다. 따라서 단순한 유산소성 운동보다 체지방 감소와 제지방 증가에 효과적이고, 최대산소섭취량의 증가에 효과적이다(Trapp et al., 2008).

고강도 인터벌 운동은 신체적 향상효과 뿐만 아니라 인지적인 개선에 대한 유의한 효과를 나타내고 있다. Alves et al. (2014)의 연구에서는 한번의 고강도 유산소 인터벌 운동을 통해 주의집중력 및 단기 기억력이 향상된 결과를 보고하였다. Hayato Tsukamoto et al. (2016)의 연구에서는 적정(moderate)강도의 지속적인 운동에 비해 고강도 인터벌 운동 후 집행기능의 개선효과를 제시하였다. 이뿐만 아니라 지속적인 8주간의 고강도 인터벌 트레이닝을 통해 청소년들의 인지 및 정신건강의 개선이 보고되었다(Costigan et al., 2016).

4. 집행기능(Executive function)

집행기능은 행동의 인지 제어를 위해 필요한 여러 인지적 과정의 집합으로 선택한 목표를 달성하게하는 행동을 선택하고 성공적으로 모니터링(monitoring)하는 것이다(Sakamoto et al., 2018). 특히, 핵심 집행기능의 요소를 축구경기 상황을 예로 들어 설명하면, 끊임없이 변화하는 선수들의 위치와 움직이는 경로를 처리하기 위해 일시적으로 기억하는 작동 기억, 선수들의 위치에 주의를 기울이다가 패스가 오면 공을 받는 행동에 주의를 전환하는 인지적 유연성, 받은 패스를 팀원에게 패스할 때, 상대선수의 가로채기에 반응하여 패스를 멈추고 다른 방법을 찾도록 의도된 행동을 억제하는 억제 조절 등이 포함된다.

집행기능에 대한 초기 연구는 전두엽 손상환자에게서 기능 손상에 발견되면서 시작되었는데 수많은 신경촬영법(neuroimaging) 연구를 통해 전전두엽이 집행기능과 밀접하게 관련되어 있으며(Kane & Engle, 2002; 박세윤, 2016) 이외에도 anterior 전측대상회(cingulate cortex)와 두정엽(parietal cortex)이 집행기능에 관여하고 있는 것으로 보고되고 있다(Egner & Hirsch, 2005; Richeson et al., 2003).

여러가지 인지 과정의 조절에서 비롯되는 고등인지과정인 집행기능은 그 측정 또한 쉽지가 않은데(박세윤, 2016) 일반적으로 신경심리학, 신경생리학 연구에서 흔히 사용되는 집행기능의 측정방법은 스트룹 색상-단어검사(Stroop color-word test)이다(Scarpina & Tagini, 2017). 스트룹 검사는 자동적으로 처리되는 과정이 의식적으로 처리되는 과정보다 더 빠르게 이루어지는 스트룹 효과(Stroop Effect)를 이용하여 글자가 의미하는 바와 상관없이 글자의 색을 읽거나 선택하는 검사이다. 스트룹 색상-단어 검사는 보통 일치조건(Congruent task), 불일치 조건(Incongruent task), 중립조건(Neutral task)으로 구성된다. 일치조건은 글자가 의미하는 바와 글자의 색이 동일한 형태로 이루어져 글자색을 선택하는 검사이다. 두번째 유형인 불일치조건은 글자가 의미하는 색과 글자의 색이 다르게 나타나 글자의 색을 선택하는 검사이다. 마지막 중립조건은 글자가 아닌 모양의 형태로 나타나며 모양의 색을 선택하는 검사이다(Hashimoto et al., 2018).

집행기능은 선수들의 퍼포먼스를 설명하는데 있어 중요한 요인 중 하나로 제시되고 있다. Sakamoto et al. (2018)의 연구에서는 일본 축구리그 클럽의 유스프로그램에 통과된 선수가 통과되지 못한 선수들에 비하여 집행기능이 높은 것으로 보고되었다. Huijgen et al. (2015)의 연구에서는 엘리트 유스 축구 선수(Elite youth soccer player)들이 준엘리트 유스 축구선수(Sub-elite youth soccer player)들보다 더 높은 인지적 유연성, 억제 조절능력을 가진 것으로 나타나 우수한 퍼포먼스를 가진 선수일수록 집행기능 관련 점수가 높은 것으로 나타났다. 또한 Vestberg et al. (2012)의 연구에서는 High Division 에 소속된 선수와 Lower Division 에 소속된 선수를 비교하여 그들의 득점, 도움과 집행기능 점수의 유의한 상관관계를 제시하며 집행기능이 우수한 퍼포먼스를 예측할 수 있는 요인임을 제시했다.

5. 젖산과 운동 시 뇌의 대사

신체가 항상성을 유지하는 안정 상태일 때, 뇌에서 사용하는 주 에너지 물질은 글루코스이지만 운동 시에 뇌는 젖산을 주로 사용하게 된다. 여러 선행 연구를 통해 뉴런에서 젖산이 효율적이며 심지어 글루코스와 젖산 둘 모두 존재할 때, 뉴런이 젖산을 더 선호한다는 연구결과가 보고되었다(Brooks, 2018). Quistorff et al. (2008)은 운동으로 인해 증가된 혈중 젖산 수치에 비례하여 뇌에서 흡수하는 젖산의 양이 증가함을 주장하였고 VO_2max 75% 강도의 사이클 운동 전 외부 젖산의 주입은 운동 중 혈중 젖산을 높일 뿐만 아니라 글루코스의 변화와는 상관 없이 뇌 젖산 흡수량을 증가시키는 것으로 나타났다. 또한, 젖산 주입과 운동으로 인한 혈중 젖산 수치가 증가함에 비례하여 뇌 젖산 흡수량이 증가하는데 반해 글루코스의 흡수량은 유의한 변화가 없었다(Van Hall et al., 2009). 이처럼 운동 시 뇌는 젖산을 주 에너지로 사용하며 운동 강도가 증가함에 따라 뇌 에너지 대사에서 젖산의 비중이 증가하게 된다(K. J. Smith & Ainslie, 2017).

운동 시 근육과 같은 말초조직에서 해당과정 등의 에너지 대사를 통해 생성된 젖산은 혈액을 통해 심장, 신장, 간 그리고 뇌와 같은 각 조직으로 운반되어 사용된다(Brooks, 2018). 특히, 젖산은 혈관뇌장벽(blood brain barrier)를 통과하여 뉴런(neuron)과 별아교세포(astrocyte) 그리고 희돌기교세포(oligodendrocytes)와 같은 신경세포들의 여러 종류의 MCTs(monocarboxylate transporters)를 통해 순환한다(Riske et al., 2017). MCT1s 은 중간정도 친화력을 가지고 있으며 희돌기교세포에서 젖산을 내보내는 경향이 있는 것으로 알려져 있다. 별아교세포는 MCT4s 를 포함하는데 친화력은 낮지만 젖산의 운반률은 높은 것으로 보고되고 있다. 또한 뉴런은 MCT2s 를 갖고 있는데 이러한 수용체는 젖산에 대한 높은 친화력을 갖고 있으며 기질이 부족한 상황에서도

젖산을 연료로 가져올 수 있다. 이처럼 젖산은 다양한 MCTs 를 통해 뇌에서 받아들이게 되며(Riske et al., 2017) 여러 신경 세포에서 글리코겐(glycogen) 형태로 저장되어 있다가 필요 시 분해되어 사용된다..

6. 젖산과 운동 그리고 집행기능

최근 들어 운동으로 인해 향상된 젖산과 집행기능이 상관관계가 있다는 연구결과가 보고되고 있다. 선행 연구들을 살펴보면, Coco et al. (2019)의 연구에서는 크로스 핏(cross-fit)과 같은 고강도 운동을 진행하기 전과 직후 그리고 15 분 후를 확인한 결과, 보디빌더의 안정 시 혈중 젖산 수치가 평균 3.16mmol/L 로 일반인의 안정 시 수치보다 높은 편이었으며 혈중 글루코스 수치의 유의한 변화는 없는데 반해, 운동 후 혈중 젖산의 수치에 따라 집행기능 테스트의 점수의 향상이 있었다는 결과가 보고되었다(Tsukamoto et al., 2017).

또한 운동 강도와 지속시간을 통해 변화된 집행기능을 살펴본 연구에서는 높은 강도로 오래 지속한 운동일수록 집행기능의 향상이 오랜 시간 유지되었으며 이러한 결과에 대해서 혈중 젖산 수치를 설명 가능한 요인 중 하나로 제시하였다 선행연구에서 고강도 인터벌 운동과 60% of peak VO2 정도의 modest 강도로 지속적인 운동 전 후를 비교한 결과, 두 유형의 운동 후 집행기능과 젖산이 증가하였지만 고강도 인터벌 운동 후 증가된 혈중 젖산의 양과 집행기능의 유지가 더 오래 유지되는 것으로 나타났다(Hayato Tsukamoto et al., 2016).

그러나 운동 후 증가된 집행기능과 젖산은 반복된 고강도 인터벌 후 감소되는 것으로 나타났다. H. Tsukamoto et al. (2016)의 연구에서 첫번째 고강도 인터벌 운동 후 결과에 비해 두번째 고강도 인터벌 운동 후부터 회복기간의

혈중 젖산과 집행기능의 개선 정도가 감소되었다. Hashimoto et al. (2018)의 연구에서도 첫번째에 비해 두번째 고강도 인터벌 운동 후부터 회복기간까지 집행기능검사 점수와 혈중 및 뇌 젖산 흡수량이 낮아진 결과를 통해 젖산과 집행기능의 밀접한 상관관계를 보고하였다.

III. 연구 방법

1. 연구대상

1) 연구대상의 구성

본 연구는 서울시내 대학 스포츠 동아리 활동을 하고 있는 성인(만 19 세 이상 34 세 이하)남성을 대상으로 진행하였다. 피험자는 서울대학교 학생 전용 커뮤니티 포털사이트 '스누라이프' 를 통하여 피험자 모집 공고글 게시하고 단과대학별 건물 게시판 공고글 부착을 통해 피험자를 모집하였다. 연구 절차와 목적을 밝힌 후, 모집 및 동의서를 받았으며 2019 신체활동준비설문지 PAR-Q+와 건강상태 질의응답을 통하여 연구대상 중 신경질환, 대사질환, 심혈관질환, 폐질환, 시각장애와 같은 선정, 제외기준에 따라 본 연구에 참여가 부적합하다고 판단되는 자는 제외하였다.

피험자의 수는 표본 수 산출 프로그램인 'G*power ver.3.1.9.2' 을 이용하여, 각 군 1:1 배정을 원칙으로 유의수준 0.05 에서 20 명으로 산출되었으며, 탈락률 약 20% 고려하여 총 24 명으로 계획하였다. 그러나, 대상자 선정 기준에 부합하지 못하여 탈락한 사람 6 명과, 개인적인 이유로 중도 탈락하거나 실험에 참석하지 않은 사람 7 명, 총 13 명의 탈락자가 발생하여 최종적으로 실험 참가 및 자료 분석에 해당되는 인원은 실험군 6 명, 대조군 5 명으로 총 11 명이다.

2) 연구 대상자 선정 기준 및 제외기준

< 선정기준 >

① 서울시내 거주하고 있는 성인 남성(만 19 세 이상 34 세 이하)

② 연구 방법 및 절차를 이해하고 동의서에 서명한 자

③ 체질량지수(BMI)가 18.5 kg/m2 이상 35 kg/m2 이하인 자

④ 2019 PAR-Q+ 설문을 통해 신체활동 가능성이 확인된 자

< 제외기준 >

① 병원에서 다음과 같은 질병 상태를 진단 받은 사람 :

a. 영양분 흡수에 영향을 줄 수 있는 위장질환

b. 심장질환 및 제어 불가능한 고혈압 (160/90 MMHG 이상)

c. 폐질환 (제어 불가능한 천식 포함)

d. 색맹 또는 시각과 관련된 질병

e. 그 외 만성질환을 앓고 있는 사람

f. 연구책임자에 의해 배제하기로 결정한 질병 상태

② 사이클 에르고미터(cycle ergometer) 검사 수행이 불가능한 사람

③ 첫 방문 전 1 개월 내에 건강기능식품 또는 운동수행능력이나 육체적 피로에 영향을 줄 수 있는 제품(헬스보충제, 피로회복제 등)을 지속적으로 섭취한 사람

④ 흡연자는 제외되나 6 개월 이상 금연한 사람은 연구에 포함 가능

⑤ 피험자의 안전에 위협이 되는 상태나 이상이 있는 사람

⑥ 이 외 책임연구자의 판단에 의해 본 실험에 부적합하다고 판단되는 사람

2. 연구 설계

1) 무작위 배정

연구대상자 선정 기준에 적합하고 제외기준에 해당되지 않는 경우에 한하여, 사전 방문에 연구대상자가 등록되는 순서대로 무작위 배정번호(random No.)를 부여한다. 무작위 배정번호에 따라 연구대상자가 어느 군에 배정될지는 연구와 독립된 제 3 자에 의하여 연구 시작 전에 준비된 “computer generated random list” 에 따른다. 무작위배정방법은 12 명의 피험자를 A, B 두 개의 군에 블록 크기 2, 배정비 1:1 인 블록 무작위 배정을 실시하였다(강현, 2017). 본 연구는 이중 맹검으로 진행되므로 연구대상자가 어느 군에 배

정되었는지는 연구가 종료될 때까지 연구자와 연구대상자에게 공개되지 않았다.

2) 눈가림 법

이중 맹검 유지를 위하여 각 연구대상자별 배정군 내역은 연구책임자가 봉인된 상태로 관리하며, 중대한 이상반응 발생으로 부득이하게 열람이 필요한 경우를 제외하고는 인체적용연구 종료 시까지 공개되지 않았다. 연구담당자는 선정된 연구대상자의 무작위 배정번호(Random No.)와 일치하는 처치 음료를 연구대상자에게 공급하였다. 연구가 진행되는 동안 연구실에 소속되어 있지 않으며, 연구 과정에 직접 참여하지 않는 제 3 자가 피험자 배정 및 음료의 배포와 관련된 정보를 관리하였다.

3. 측정방법 및 도구

1) 신체 조성 및 신체 계측

피험자는 수동신장계에서 표시된 발모양에 맞춰 바르게 서서 척추를 최대한 편 후, 최대한 숨을 들이마시고 3 분의 1 정도 내쉰 후 신장이 측정되었다. 이후 Inbody 720(Biopsace, Korea)를 이용하여 체중, 골격근량, 제지방량, 체지방률, WHR 등의 신체 조성 정보를 수집한다. 보다 정확한 측정결과 값을 확보하기 위해서 측정 시 불필요한 악세서리류나 의류를 제거할 것을 요청하였다. 또한, 측정 1 일전 연락을 통해 격렬한 운동, 알코올, 카페인은 자제하고 식사를 제외한 추가적인 음식 섭취는 자제하여 실험 당일 방문할 것을 요청하였다.

2) 집행기능(Executive function) 검사

스트룹 색상-단어 검사(The Stroop Color-Word Test, SCWT)는 인지적인 간섭을 억제하는 능력과 같은 집행기능을 주로 검사하는데 흔히 사용되는 신경심리학적 검사이다(Scarpina & Tagini, 2017). 본 실험에서 사용되는 스트룹 검사의 프로토콜은 [그림 1]과 같이 세가지 유형으로 구성된다. 첫번째 유형은 일치조건(Congruent task)로 글자가 의미하는 바와 글자의 색이 동일한 형태로 이루어져 글자색을 선택하는 검사이다. 두번째 유형인 중립조건(Neutral task)는 글자가 아닌 모양의 형태로 나타나며 모양의 색을 선택하는 검사이다. 마지막 불일치조건(Incongruent task)은 글자가 의미하는 색과 글자의 색이 다르게 나타나 글자의 색을 선택하는 검사이다. 검사에서 제공되는 색상은 빨강, 초록, 파랑, 노랑으로 구성되며, 문항에 대한 답안은 1 번, 2 번, 3 번, 4 번으로 제공되어 키보드의 양손 검지와 중지를 숫자 키 1, 2, 3, 4 에 올려놓고 테스트를 진행하도록 하였다. 각 유형 당 12 문항씩 제시되었으며, 세가지 유형의 테스트를 무작위 배정, 문제유형과 답안이 3 개이상 동일하게 연속되지 않도록 고려하여 만들었다. 검사의 반응 시간과 정확도가 측정되었고 나온 결과를 토대로 아래 제시된 공식을 통해 간섭 점수를 산출하였다 (Hashimoto et al., 2018). 검사 시 입력이 두 번 되어 반응시간이 비정상적으로 빠른 속도로 측정된 오류를 제거하기 위하여 모든 유형에서 최소반응시간으로 기록된 문항 한개씩 제거하여 총 33 문항의 결과를 정리하였다. 스트룹 검사는 커튼이 쳐져 있고 소음이 발생되지 않는 독립된 장소에서 측정되었다. 스트룹 검사 프로그램은 서울여자대학교 운동생리학 연구실에서 사용하는 프로그램을 제공받아 검사를 실시하였다.

간섭 점수: (Incongruent 반응시간 - neutral 반응시간) / neutral 반응시간* 100

[그림 1] 스트룹 색상-단어 검사(Stroop color-word test)

3) 심혈관 및 혈액 변인

① 혈중 젖산

혈중 젖산은 Lactate Pro 2 & strip(LT-1730, Arkray, Japan)을 통해 측정한다. 피험자는 각 2 세트의 고강도 인터벌 운동 전, 운동 후 10 분, 20 분, 30 분에 걸쳐 총 10 번 측정하게 된다. 측정방법은 피험자를 의자에 편안하게 앉도록 한 후, 알코올로 손가락 끝부분을 소독한다. 그 다음, 채혈기와 바늘(Accu-Chek Softclix Plus lancing device & softclix, Roche®, Hawthorne, USA)을 이용하여 모세혈관의 전혈을 채혈 후, 혈액을 측정기의 strip 에 흡수시켜 측정한다.

② 혈당

혈당은 Accu-Chek Active Glucometer & strip (Roche®, Hawthorne, USA)를 이용하여 측정한다. 혈중 젖산 측정과 동일한 방법으로 측정한다. 따라서, 각 2 세트의 고강도 인터벌 운동 전, 운동 후 10 분, 20 분, 30 분에 걸쳐 총 10 번 측정하며, 젖산 측정 시 채혈기를 통해 나온 손가락 끝 모세혈관의 전혈을 strip 에 흡수시켜 측정한다.

③ **맥박 및 산소포화도**

맥박 및 산소포화도는 Innovo Deluxe Fingertip Pulse Oximeter iP900AP(Innovo medical, Stafford, USA)를 사용하여 측정한다. 측정 방법은 측정기 안에 손가락을 넣고 두 가지 유형의 빛이 손가락으로 통과되면서 나온 각 빛의 양을 계산하여 산소포화도를 측정하게 되며 동시에 맥박이 측정된다. 맥박 및 산소포화도는 심리검사 시에 왼쪽 검지에 착용한 채로 측정된다.

4) 심리적 변인

피험자의 각성도, 피로도, 집중도 등의 심리적 변인들을 측정한다. 먼저, 피험자의 각성도는 각성상태 척도(The Felt-arousal scale, FAS)를 통해 측정된다. 질문에 대한 답안 척도는 1(매우 낮음) ~ 6(매우 높음) 단계로 구성된다.

정신 피로도, 집중도는 시각 아날로그 척도(The visual analog scale, VAS)를 통해 측정된다. 0~10cm 의 길이의 선을 표시한 후, 본인이 해당하는 정도를 길이로 나타낸다.

각성상태 척도(The Felt-arousal scale, FAS)와 시각 아날로그 척도(The visual analog scale, VAS)는 Neurobehavioral Research Laboratory and Clinic 에서 제공하는 프로그램인 'The Adaptive Visual Analog Scales (AVAS)' 을 사용하였다.

5) 뇌유래신경영양인자(Brain-derived neurotrophic factor, BDNF)

혈중 젖산과 혈당 측정 시 사용되는 전혈을 마이크로 피펫팁(Micropipette tip)을 이용하여 약 30ul 정도 헤파린(heparin) 튜브에 채집한다. 채취된 혈액은 4 ℃, 4,000 rpm 으로 10 분간 원심 분리하여 혈장(plasma)을 분류한 후, 2ml 튜브에 2~4ul 양을 넣고 -80℃에서 분석 전까지 보관하였다(김유범,

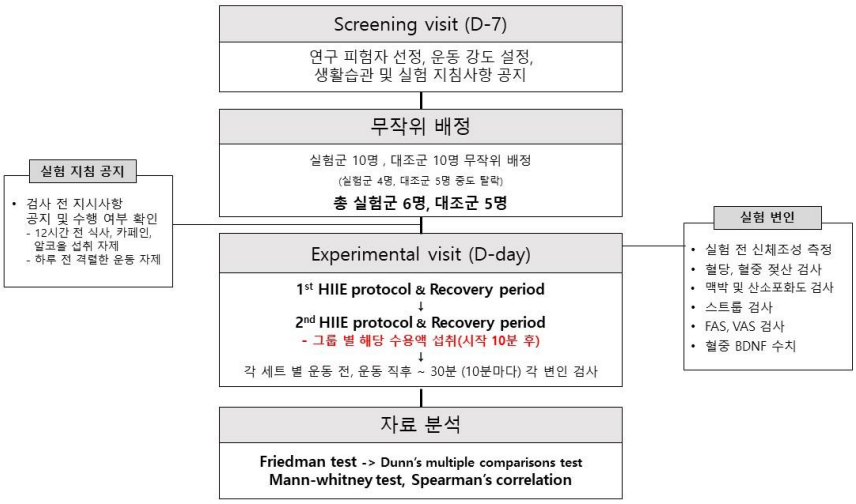
2016). 혈중 뇌유래신경영양인자(Brain-derived neurotrophic factor, BDNF)의 분석은 임상실험에 있어 표준화된 Total BDNF Quantikine ELISA Kit(R&D systems, USA)을 이용한다. BDNF 는 운동 전, 운동 후, 운동 후 30 분에 측정하여 세트당 3 번씩 측정하였다.

6) 실험 음료 제조

젖산 섭취에 따른 혈중 젖산 유지와 집행기능 유지에 대한 효과를 확인하기 위하여 두번째 고강도 인터벌 운동시작 10 분후에 실험군에게는 제조한 젖산 수용액, 대조군에게는 포카리 스웨트를 섭취시킨다. 실험군에게 제공되는 젖산용액의 경우, 맥주제조에 사용되는 'Food grade' 등급의 Lactic acid 88% 수용액(LD Carlson company, USA)을 구매하여 사용하였다. 적정 섭취 타이밍 및 농도에 대한 선행연구가 부족한 관계로 다른 종류의 젖산 섭취와 관련된 선행연구(Morris, 2012)를 참고하여 < 부록 >과 같이 파일럿 테스트를 진행하였으며 그 결과를 토대로 실험음료를 제작 및 제공하였다. 먼저 대조군에게 제공되는 플라시보 용액의 경우, 피험자의 몸무게 x 3.5ml 의 포카리 스웨트가 제공되었다. 실험군에게는 대조군과 동일 하게 먼저 총 용액양을 계산하기위해 피험자의 몸무게 x 3.5ml 를 계산하였고 젖산의 양은 계산된 총 용액의 양의 1/1000 로, 약 0.1% 농도로 첨가되었으며, 젖산을 제외한 나머지는 포카리스웨트로 보충하였다. 섭취 타이밍은 젖산 섭취후 10 분에서 20 분 후 혈액의 젖산 수치가 증가할 것으로 예상하여 2 세트 운동 시작 후 10 분에 실험음료를 제공하였다.

4. 연구 절차

본 실험의 전체적인 연구 절차는 아래의 [그림 2]과 동일하게 진행되며 각 실험 절차를 자세히 살펴보면 다음과 같다.



[그림 2] 연구의 절차

1) 사전검사 (Screening visit)

실험 일주일 전인 사전 검사 (screening visit)에 연구 피험자를 선정 및 제외기준에 따라 최종적으로 선발했다. 선발된 피험자들에게 본 실험의 내용을 설명하고 동의서를 받고 무작위 배정번호를 부여했다. 선발된 피험자들의 운동강도를 설정하기 위하여 아래 제시된 < 운동강도 설정 >과 같이 점증부하 운동 테스트를 진행했다. 모든 사전검사가 끝이 나면, 일주일간 변화를 유도할 수 있는 생활 습관을 자제할 것을 요청하였다. 또한, 실험당일 1 일전 피험자들에게 연락하여 다시 한번 카페인, 알코올 섭취, 격렬한 운동과 같은 지켜야할 사항들을 재 인지시켰다. 연구책임자는 이후 앞서 연구설계에서 밝힌 바와 같이 이중 맹검 및 무작위 배정을 진행하기 위하여 연구와 독립된

제 3 자에게 해당 절차에 따라 실험 및 대조군 설정과 실험 처치 용액 제조를 요청했다.

< 운동강도 설정 >

본 실험의 피험자는 사전검사 지정 날짜(Screening visit)에 서울대학교 종합체육관 125 호 측정실에 방문하여 점증부하 운동 테스트 프로토콜을 통해 다음과 같은 운동강도 설정 절차를 실시한다(Hashimoto et al., 2018).

① 피험자가 측정실에 도착하고 나면, 자유롭게 5 분간 준비시간을 제공한다.

② 사이클 에르고미터(cycle ergometer)를 30W 로 설정하고 3 분간 60rpm 에 맞춰 운동을 시작한다.

③ 운동 부하는 분당 15W 씩 증가시킨다. 그러나, 60 rpm 을 30 초이상 유지하지 못하면 이전 최고 단계의 운동강도를 피험자의 운동강도로 설정한다.

2) 실험 당일 (Experimental visit)

실험 당일 피험자는 당일 실험 과정에 대한 설명을 받는다. 실험과정에 대한 이해가 끝이 나면 스트룹 검사에 대한 친숙화를 위하여 연습용 프로토콜에 따라 스트룹 검사를 5 번 실시했다. 스트룹 검사 연습 후, 신장, 신체조성 측정을 위해 신장계, 인바디 720 검사를 실시했다. 이후, 1 세트 운동 전 FAS 와 VAS 검사, 산소포화도와 맥박, 혈당과 혈중 젖산, 스트룹 검사 순으로 검사를 진행하였다. 1 세트 운동 전 검사를 완료하고 나면 아래 제시된 <고강도 인터벌 운동프로그램 >에 맞춰 운동을 실시했다. 1 세트 운동이 끝나면, 40 분간의 휴식시간이 주어지는데 운동 직후, 운동 후 10 분, 20 분, 30 분까지 10 분을 간격으로 운동 전과 동일하게 각종 검사를 진행하였다.

1 세트 운동 프로토콜과 휴식기간이 끝이 나면, 2 세트 운동 프로토콜을 시작한다. 2 세트 운동 프로토콜 시작 후 10 분에 해당 피험자에 맞는 번호가 명시된 실험음료를 1 분 내로 섭취하도록 하고 1 세트 실험 프로토콜과 동일

하게 운동 직전과 운동직후부터 10 분마다 각종 검사를 진행했다. 전체적인 실험 프로토콜의 모식도는 [그림 3]와 같다.

< 고강도 인터벌 운동 프로토콜 >

본 실험에 참가하는 피험자는 지정된 날짜에 서울대학교 종합체육관 125 호 측정실에 방문하여 총 두 세트의 고강도 인터벌 운동을 진행한다. 운동 프로토콜은 (Hashimoto et al., 2018)의 연구에서 진행되었던 프로토콜을 변형하여 설정하였다. 각 세트 별 운동 후 30 분간의 휴식기간동안 측정하고자 하는 변인들을 검사한다. 또한, 1 세트 운동과 2 세트 운동 프로토콜은 동일하되, 2 세트 운동 시작 10 분후에 실험군은 젖산 음료 섭취, 대조군은 플라시보 음료를 섭취하고 운동 프로토콜을 시작한다. 자세한 운동 프로토콜은 다음과 같다.

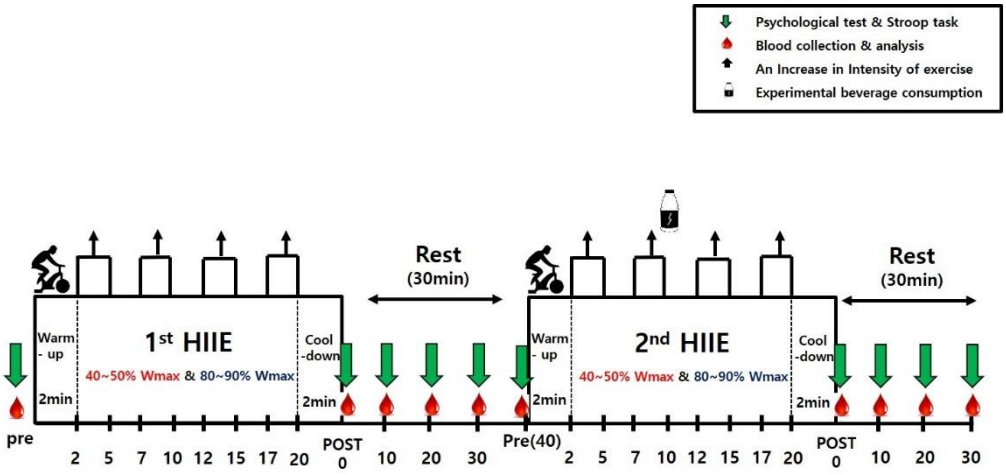
① 피험자가 측정실에 도착하고 나면, 자유롭게 5 분간 준비시간을 제공한다.

② 사이클 에르고미터를 피험자의 설정된 최대 work max 의 50%로 설정하고 60rpm 에 맞춰 2 분간 운동을 실시한다(준비운동).

③ 3 분간 준비운동을 실시하고 나면, 운동강도를 피험자의 설정된 최대 work max 의 90%로 설정하고 60rpm 에 맞춰 3 분간 고강도 운동을 실시한다.

④ ②와 ③의 운동프로토콜을 순서대로 번갈아가며 3 번씩 더 반복한다.

⑤ ④와 같은 인터벌 운동이 끝이 나면, ②에서 실시한 준비운동과 동일하게 정리운동을 2 분간 실시한다.



[그림 3] 운동 및 검사 프로토콜

5. 자료처리

본 연구의 가설을 검증하기 위하여 실험 결과 데이터는 IBM SPSS statistics 25 및 Prism 7 프로그램을 이용하여 분석하였다. 본 연구의 표본수가 그룹당 10 명이 되지 않으며 정규성, 등분산성이 성립되지 않아 모수 검정 대신 비모수 검정을 사용하였다. 따라서, 본 연구에 가장 적합하다고 판단되는 반복측정 삼원변량분석을(3way repeated measures ANOVA) 대신하여 시간, 그룹, 세트에 따른 변화를 각각 분석하였으며 세 변인의 상호작용효과는 배제하였다. 대신 자료 비교가 용이하도록 반복측정 삼원변량분석을 사용한 그래프를 연구결과에 추가하였다. 구체적인 통계처리방법은 다음과 같다.

1) 피험자의 나이, 신체 키, 몸무게는 기술통계분석을 이용하여 평균(Mean) 및 평균의 표준오차(Standard error of the mean, S.E.M)를 산출한다.

2) 두 그룹의 동질성 검정을 위하여 각 그룹간 일반적 특성 차이와 나머지 측정 변인들의 1 세트 각 시간대별 차이를 Mann-whitney test 를 이용하여 분석한다.

3) 세트 별 각 그룹 내 시간에 따른 변화를 확인하기 위하여 Friedman test 를 실시한 후, 사후분석을 위해 Dunn’s multiple comparison test 를 실시한다. 사후분석은 각 세트의 운동 전(pre-exercise)과 운동 후 회복기간동안(운동직후, 운동 후 10, 20, 30 분)을 비교하였다.

4) 젖산 섭취에 따른 효과의 차이를 확인하기 위하여 두번째 세트에서 측정 변인들의 각 시간대별 그룹 간 차이 및 각 그룹의 세트에 따른 변화량 (1 세트 - 2 세트 값)을 Mann-whitney test 를 통해 비교한다.

5) 스트룹 검사 결과와 나머지 변인들 간의 상관관계를 분석하기 위하여 spearman’s correlation test를 실시한다.

6) 모든 통계적 유의수준은 α=0.05 수준으로 설정하며 데이터는 평균과 평균의 표준오차(Means ± S.E.M)로 나타낸다.

6. 윤리적 고려

본 연구는 연구 참여자의 윤리적 보호를 위하여 서울대학교 생명윤리위원회(IRB) 심의를 거쳐 연구 승인을 받았다(IRB No. 1909/002-010). 연구책임자가 피험자의 사전 방문 시 일대일 면담을 통해 연구 목적, 내용, 절차, 연구 참여와 중단의 자유, 연구의 잠재적 위험과 참여에 대한 보상 등을 직접 설명하였다. 연구대상자가 본 연구에 대한 충분한 이해를 하고 자발적으로 연구 참여에 희망하는 경우에 동의서에 서명을 받았다. 불필요한 정보는 수집하지 않고 연구에 필요한 개인 정보는 별도의 파일로 분리하여 비밀번호가 걸려 있는 연구 책임자의 노트북과 서울대학교 71 동 122 호 냉동실에 보관하였다. 분석에 필요한 개인정보 및 인체 유래물은 미리 부여된 식별번호를 통해서 사용하여 개인정보에 대한 비밀 보장이 침해되지 않도록 관리하였다. 연구에 대한 보상으로는 3 만원의 사례비와 약 5 만원 상당의 건강정보와 건강정보 결과를 토대로 건강 유지를 위한 상담이 제공되었다.

IV. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여 대상자는 만 19 세 이상 34 세 이하의 건강한 성인 남성 대상으로 하였다. 실험군 6 명, 대조군 5 명으로 총 11 명의 피험자가 본 연구에 참여하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 < 표 1 >과 같다. 모든 집단의 연령, 신장, 신체조성의 동질성 검정을 실시한 결과, 두 그룹 간 통계적으로 유의한 차이(p>0.05)는 없었다. 일반적 특성의 경우, 본 연구에서 두 그룹의 중 특정 그룹의 일반적 특성의 수치가 높다는 가설을 설정하지 않았기 때문에 양측검정으로 실시하였다.

< 표 1 > 그룹 간 일반적 특성 비교

구 분	대 조 군 (N=5)	실 험 군 (N=6)	유 의 확 률 (양측검정)
연 령 (만 세)	26.4±1.03	24.17±1.869	0.2532
신 장 (cm)	176.7±1.197	176±2.715	0.8182
체 중 (kg)	81.06±2.586	73.67±4.005	0.1255
골격근량 (kg)	37.16±0.975	34.25±2.193	0.329
체지방량 (kg)	15.9±2.562	13.33±1.534	0.6277
B M I (kg/m^2)	25.98±0.8546	23.68±0.6896	0.0909
체지방률 (%)	19.4±2.608	18.13±1.908	0.8939
복부지방률	0.86±0.0255	0.8283±0.013	0.3506
내장지방 (cm^2)	64.82±11.6	51.73±7.8	0.7922

Values are Means±S.E.M

2. 혈중 젖산

① 동질성 검정

먼저, 두 집단 간의 혈중 젖산 수치의 동질성 검정을 위해 1 세트에서 시간별 그룹 간 차이를 확인한 결과, < 표 3 >와 같이 각 시간별 그룹 간 차이($p>0.05$)는 유의하지 않았다.

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화를 살펴보면 < 표 2 >와 같다. 먼저, 대조군은 1 세트에서 시간에 따른 유의한 차이가 있었다($p<0.001$). 사후분석 결과, 운동 전보다 운동 직후($p<0.001$)와 운동 후 10 분($p<0.05$)에서 유의하게 증가했다. 2 세트에서도 시간에 따른 유의한 차이가 있었다($p<0.01$). 사후분석 결과, 운동 전보다 운동 직후($p<0.001$) 유의하게 증가하였다.

실험군도 1, 2 세트 모두 시간에 따른 유의한 차이가 있었다($p<0.0001$). 1 세트에서는 운동 전보다 운동 직후($p<0.0001$), 운동 후 10 분($p<0.05$)에서 유의하게 증가하였다. 2 세트에서는 대조군과 달리 운동 전보다 운동 직후($p<0.001$) 뿐만 아니라 운동 후 10 분($p<0.05$)에서도 유의하게 증가했다.

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 시간별로 각 그룹의 혈중 젖산을 비교한 결과, < 표 3 >과 같이 각 시간별 두 그룹 간 차이는 모두 유의하지 않았다($p>0.05$). 하지만 2 세트 운동 후 10 분($p=0.0823$)과 운동 후 20 분($p=0.0974$)에서 실험군의 혈중 젖산 수치가 더 높은 경향을 보였다.

또한, 각 그룹의 세트 간 변화량을 비교했을 때, 운동 후 20 분에서 실험군의 변화가 대조군의 변화량보다 적은 경향을 나타냈다($p=0.0823$). 또한 실험군 젖산의 수치가 1 세트보다 2 세트에서 더 높은 수치를 기록하였다.

따라서, 젖산 섭취로 인해 실험군의 혈중 젖산 수치가 대조군 보다 감소가 개선되는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

< 표 2 > 그룹 내 시간에 따른 젖산 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10분 후	20분 후	30분 후	
대조군	1st	1.56 ±0.2581	9.04 ±2.079^{aaa}	5.96 ±1.481^{a}	3.52 ±0.6771	2.9 ±0.2811	***p<0.001
	2nd	2.18 ±0.2871	7.68 ±1.254^{bbb}	4.1 ±0.7642	3 ±0.3701	2.58 ±0.3382	**p<0.01

Friedman test, Values are Means±S.E.M, ^{aaa}P<0.001, ^{a}P<0.05 vs 1st 운동 전, ^{bbb}P<0.001 vs 2nd 운동 전

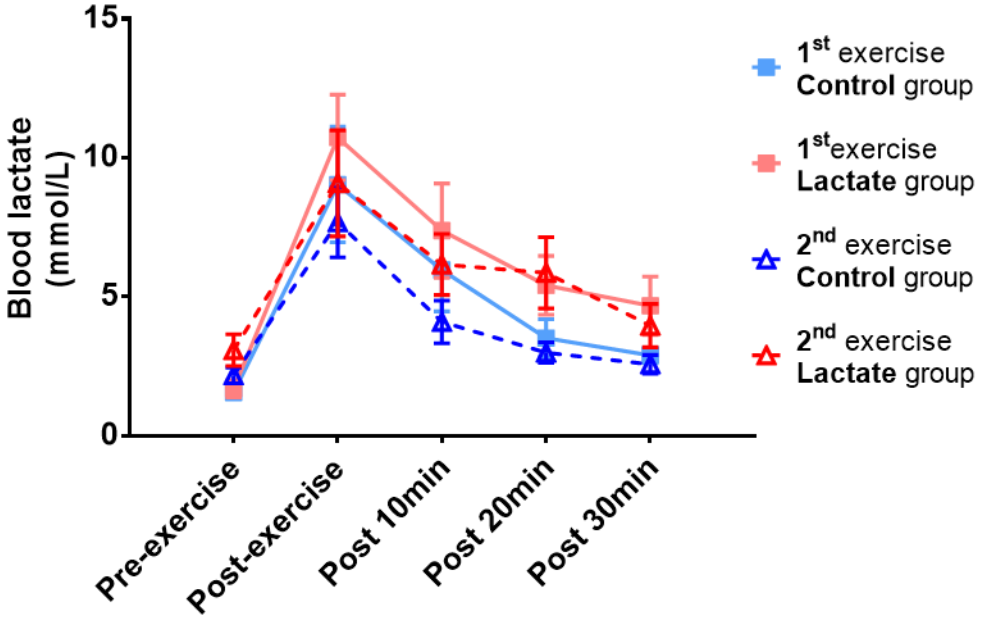
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10분 후	20분 후	30분 후	
실험군	1st	1.7 ±0.3077	10.73 ±1.536^{aaa}	7.383 ±1.69^{a}	5.417 ±1.059	4.683 ±1.046	***p<0.001
	2nd	3.083 ±0.5718	9.083 ±1.908^{bbb}	6.167 ±1.098^{b}	5.867 ±1.283	3.967 ±0.7792	***p<0.001

Friedman test, Values are Means±S.E.M, ^{aaa}P<0.001, ^{a}P<0.05 vs 1st 운동 전, ^{bbb}P<0.001, ^{b}P<0.05 vs 2nd 운동 전

< 표 3 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 젖산 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	1.56±0.2581	1.7±0.3077	0.3463
	운동 직후	9.04±2.079	10.73±1.536	0.1537
	운동 후 10분	5.96±1.481	7.383±1.69	0.2143
	운동 후 20분	3.52±0.6771	5.417±1.059	0.1234
	운동 후 30분	2.9±0.2811	4.683±1.046	0.1017
2nd HIIE	운동 전	2.18±0.2871	3.083±0.5718	0.1775
	운동 직후	7.68±1.254	9.083±1.908	0.3961
	운동 후 10분	4.1±0.7642	6.167±1.098	0.0823
	운동 후 20분	3±0.3701	5.867±1.283	0.0974
	운동 후 30분	2.58±0.3382	3.967±0.7792	0.1407
각 그룹별 세트 간 차이 (1st − 2nd)	운동 전	−0.62±0.3382	−1.383±0.4922	0.119
	운동 직후	1.36±1.03	1.65±0.8277	0.2511
	운동 후 10분	1.86±1.054	1.217±0.7016	0.4437
	운동 후 20분	0.52±0.3499	−0.45±0.5149	0.0823
	운동 후 30분	0.32±0.2396	0.7167±0.6258	0.1243

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 4] 시간에 따른 그룹 및 세트 별 젖산 변화

3. 심혈관 및 혈액 변인

1) 혈당

① 동질성 검정

먼저, 두 집단 간의 혈당 수치의 동질성 검정을 위해 1 세트에서 시간별 그룹 간 차차이를 확인한 결과, < 표 5 >와 같이 그룹 간 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$).

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화 살펴보면 < 표 4 >와 같이 대조군은 2 세트에서만 시간에 따른 유의한 차이가 있었지만($p<0.05$), 사후분석 결과, 운동 전과 운동 후 시간대들의 유의한 차이는 없었다. 실험군은 1 세트에서만

시간에 따른 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$). 사후분석결과, 운동 전보다 운동 후 10 분에서 혈당이 유의하게($p<0.01$) 감소했다.

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 시간별로 각 그룹의 혈당을 비교한 결과, < 표 5 >와 같이 운동 직후에 실험군의 혈당이 대조군보다 유의하게($p<0.01$) 높았다.

각 그룹의 세트에 따른 변화량을 살펴보면, 운동 직후에 실험군의 혈당은 1 세트에 비해 2 세트에서 높은 수치를 기록한 반면, 대조군은 1 세트에 비해 2 세트에서 더 낮은 수치를 나타냈다. 따라서, 두 그룹의 세트에 따른 변화량을 비교했을 때, 대조군보다 실험군의 변화량이 유의하게 낮았다($p<0.05$)

< 표 4 > 그룹 내 시간에 따른 혈당 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
대조군	1st	98.6 ±4.823	85.8 ±2.746	91.2 ±3.967	99.8 ±4.42	106.8 ±8.046	0.3156
	2nd	103.4 ±7.277	82.6 ±2.619 (p=0.0656)	97.8 ±5.171	107.4 ±3.265	102.4 ±2.227	p<0.05*

Friedman test, Values are Means±S.E.M

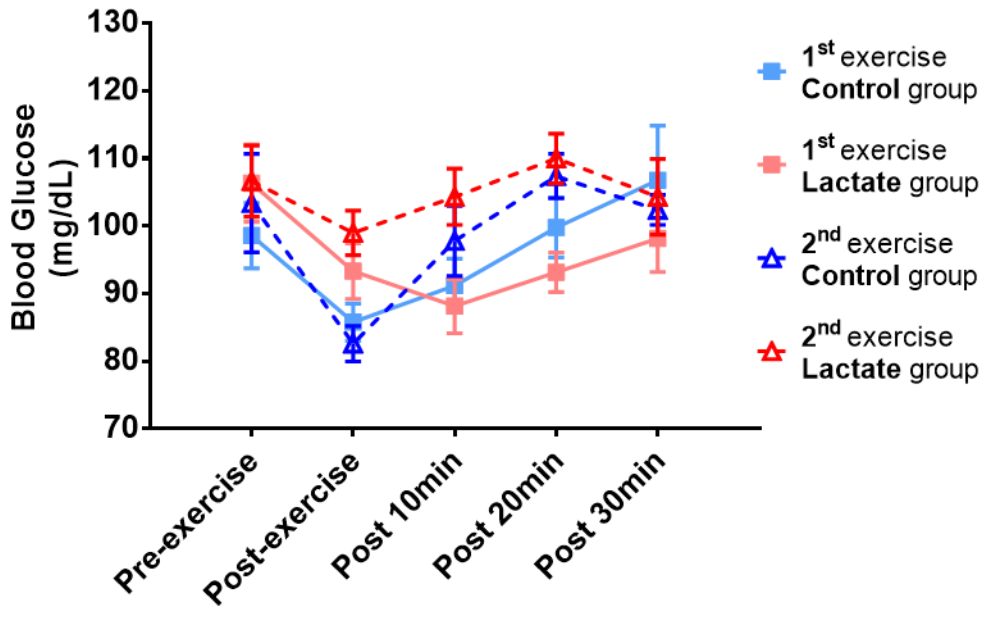
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
실험군	1st	106.3 ±5.708	93.33 ±4.112	88.17 ±3.995aa	93.17 ±2.926	98.17 ±4.963	p<0.05*
	2nd	106.7 ±5.258	99 ±3.296	104.3 ±4.161	110 ±3.661	104.3 ±5.59	0.2435

Friedman test, Values are Means±S.E.M, aaP<0.01 vs 1st 운동 전

< 표 5 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 혈당 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	98.6±4.823	106.3±5.708	0.2208
	운동 직후	85.8±2.749	93.33±4.112	0.1234
	운동 후 10분	91.2±3.967	88.17±3.995	0.2684
	운동 후 20분	99.8±4.42	93.17±2.926	0.1623
	운동 후 30분	106.8±8.046	98.17±4.963	0.2511
2nd HIIE	운동 전	103.4±7.277	106.7±5.258	0.3961
	운동 직후	82.6±2.619	99±3.296	p<0.01**
	운동 후 10분	97.8±5.171	104.3±4.161	0.2294
	운동 후 20분	107.4±3.265	110±3.661	0.3788
	운동 후 30분	102.4±2.227	104.3±5.59	0.4784
각 그룹별 세트 간 차이 (1st − 2nd)	운동 전	−4.8±10.03	−0.3333±3.333	0.5
	운동 직후	3.2±3.121	−5.667±1.944	p<0.05*
	운동 후 10분	−6.6±8.658	−16.17±12.06	0.1797
	운동 후 20분	−7.6±7.139	−16.83±2.023	0.1623
	운동 후 30분	4.4±7.353	−6.167±5.534	0.2684

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 5] 시간에 따른 그룹 및 세트 별 혈당 변화

2) 산소포화도

① 동질성 검정

두 집단 간의 산소포화도 수치의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 7 >과 같이 1 세트에서 각 시간별 그룹 간 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$).

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 6 >와 같이 대조군과 실험군 모두 시간에 따른 유의한 변화는 나타나지 않았다($p>0.05$).

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 그룹 간 차이를 분석한 결과, < 표 7 >과 같이 각 시간별 그룹 간 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$).

그러나, 각 그룹의 세트에 따른 변화량을 비교했을 때, 운동 후 30 분에서 실험군과 대조군의 변화량 차이가 유의하게 나타났다($p<0.05$).

< 표 6 > 그룹 내 시간에 따른 산소포화도 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
대조군	1st	96.2 ±0.4899	95.2 ±0.9695	95.4 ±1.47	95.4 ±1.03	96.6 ±0.9274	0.6336
	2nd	95 ±0.7071	95.6 ±0.9274	95 ±1.378	95.4 ±0.8124	95 ±0.7071	0.9988

Friedman test, Values are Means±S.E.M

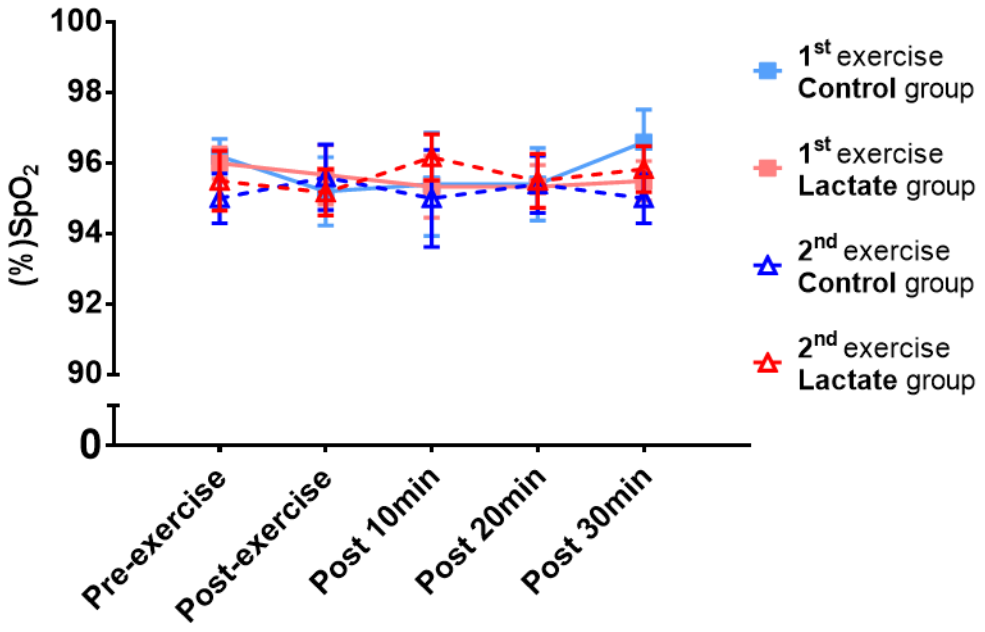
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
실험군	1st	96 ±0.4472	95.67 ±0.8433	95.33 ±0.8819	95.33 ±0.6146	95.5 ±0.5627	0.9457
	2nd	95.5 ±0.8466	95.17 ±0.654	96.17 ±0.654	95.5 ±0.7638	95.83 ±0.654	0.2837

Friedman test, Values are Means±S.E.M

〈 표 7 〉 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 산소포화도 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	96.2±0.4899	96±0.4472	0.3701
	운동 직후	95.2±0.9695	95.67±0.8433	0.4177
	운동 후 10분	95.4±1.47	95.33±0.8819	0.3983
	운동 후 20분	95.4±1.03	95.33±0.6146	0.4221
	운동 후 30분	96.6±0.9274	95.5±0.5627	0.1212
2nd HIIE	운동 전	95±0.7071	95.5±2.074	0.3983
	운동 직후	95.6±0.9274	95.17±0.654	0.4069
	운동 후 10분	95±1.378	96.17±0.654	0.3290
	운동 후 20분	95.4±0.8124	95.5±0.7638	0.5
	운동 후 30분	95±0.7071	95.83±0.654	0.2489
각 그룹별 세트 간 차이 (1st − 2nd)	운동 전	1.2±0.7348	0.5±0.7188	0.2359
	운동 직후	−0.4±0.8718	0.5±0.4282	0.2662
	운동 후 10분	0.4±0.6782	−0.8333±0.654	0.2727
	운동 후 20분	0±0.9487	−0.1667±0.5426	0.4567
	운동 후 30분	1.6±0.5099	−0.3333±0.7601	p<0.05*

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 6] 시간에 따른 그룹 및 세트별 산소포화도 변화

3) 맥박 변화

① 동질성 검정

두 집단 간의 맥박 수치의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 9 >와 같이 1 세트에서 각 시간별 그룹 간 차이($p>0.05$)는 유의하지 않은 것으로 나타났다.

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 8 >과 같이 대조군은 1 세트($p<0.001$)와 2 세트($p<0.01$) 모두 시간에 따른 유의한 차이가 나타났다. 사후분석 결과, 1 세트에서는 운동 전보다 운동 후($p<0.001$)와 운동후 10 분($p<0.05$)에 유의하게 증가했다. 2 세트에서는 운동 전보다 운동 직후에 증가하였다($p<0.01$).

실험군 또한 1, 2 세트 모두 시간에 따른 유의한 차이를 나타냈다 ($p<0.0001$). 1 세트($p<0.001$)와 2 세트($p<0.05$) 모두 운동 전보다 운동 후 유의하게 증가했다.

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 그룹 간 차이를 분석한 결과, < 표 9 >과 같이 각 시간별 그룹 간 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$).

그러나, 각 그룹의 세트에 따른 변화량을 비교했을 때, 운동 후 20 분에서 실험군과 대조군의 변화량 차이가 유의하게 나타났다($p<0.05$).

< 표 8 > 그룹 내 시간에 따른 맥박 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
대조군	1st	70.2 ±2.746	123.6 ±8.501aaa	96.8 ±3.967a	90.2 ±3.967	87 ±3.633	p<0.001***
	2nd	83.8 ±2.905	119.6 ±8.376bb	99.2 ±5.669	93.6 ±4.686	89.8 ±3.353	p<0.01**

Friedman test, Values are Means±S.E.M, aaaP<0.001, aP<0.05 vs 1st Pre-exercise, bbP<0.01 vs 2nd pre-exercise

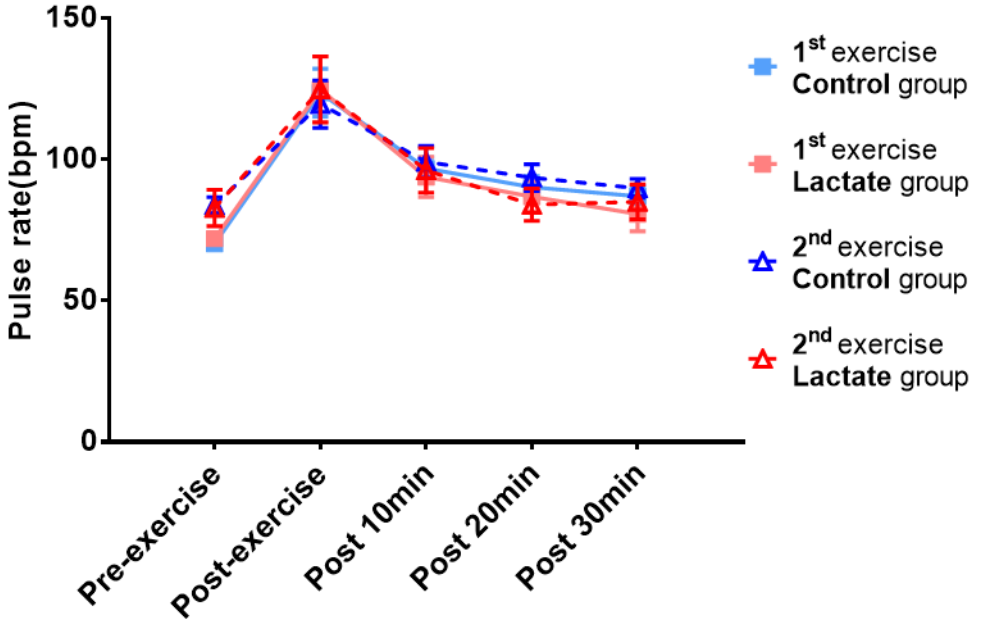
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
실험군	1st	72 ±1.549	124.8 ±11.57aaa	93.83 ±7.134	86.83 ±5.412	80.67 ±6.081	p<0.001***
	2nd	82.83 ±6.426	124.8 ±11.71bb	96.17 ±7.914	84 ±5.745	85 ±6.164	p<0.001***

Friedman test, Values are Means±S.E.M, aaaP<0.001 vs 1st Pre-exercise, bbP<0.01 vs 2nd pre-exercise

< 표 9 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 맥박 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	70.2±2.746	72±1.549	0.4935
	운동 직후	123.6±8.501	124.8±11.57	0.316
	운동 후 10 분	96.8±3.967	93.83±7.134	0.3506
	운동 후 20 분	90.2±3.967	86.83±5.412	0.4156
	운동 후 30 분	87±3.633	80.67±6.081	0.2684
2nd HIIE	운동 전	83.8±2.905	82.83±6.426	0.487
	운동 직후	119.6±8.376	124.8±11.71	0.3506
	운동 후 10 분	99.2±5.669	96.17±7.914	0.3961
	운동 후 20 분	93.66±4.686	84±5.745	0.1753
	운동 후 30 분	89.8±3.353	85±6.164	0.4481
각 그룹별 세트 간 차이 (1st – 2nd)	운동 전	−13.6±2.943	−10.83±5.594	0.4848
	운동 직후	4±5.089	0±2.898	0.3485
	운동 후 10 분	−2.4±2.581	−2.333±2.044	0.5
	운동 후 20 분	−3.4±1.03	2.833±1.424	p<0.05*
	운동 후 30 분	−2.8±1.319	−4.333±3.509	0.3983

Mann-whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 7] 시간에 따른 그룹 및 세트별 맥박 변화

4. 심리적 변인

1) 각성도

① 동질성 검정

두 집단 간의 각성도 수치의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 11 >와 같이 1 세트에서 각 시간별 그룹 간 차이($p>0.05$)는 유의하지 않았다.

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 10 >과 같이 대조군은 1, 2 세트 모두 시간에 따른 유의한 차이를 나타냈다($p<0.01$). 사후분석 결과, 1, 2 세트 모두 운동 전보다 운동 직후 유의하게 증가했다($p<0.01$).

실험군도 1, 2 세트 모두 시간에 따른 유의한 차이를 나타냈다($p<0.001$). 사후분석 결과, 1, 2 세트 모두 운동 전보다 운동 직후 유의하게 증가했다 ($p<0.05$).

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 그룹 간 차이를 분석한 결과, 운동 후 10 분과 20 분에 대조군보다 실험군의 각성도가 유의하게 낮았다($p<0.05$).

각 그룹의 세트에 따른 변화량을 비교했을 때, 운동 전에서 실험군과 대조군의 변화량 차이가 유의하게 나타났다($p<0.05$).

< 표 10 > 그룹 내 시간에 따른 각성도 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
대조군	1st	2.6 ±0.2449	5.80 ±0.2^{aa}	4.4 ±0.2449	3.8 ±0.3742	3 ±0.4472	p<0.01**
	2nd	2.8 ±0.5831	5.8 ±0.2^{bb}	4.6 ±0.2449	3.8 ±0.2	3.4 ±0.6782	p<0.01**

Friedman test, Values are Means±S.E.M, ^{aa}P<0.01 vs 1st Pre-exercise, ^{bb}P<0.01 vs 2nd Pre-exercise

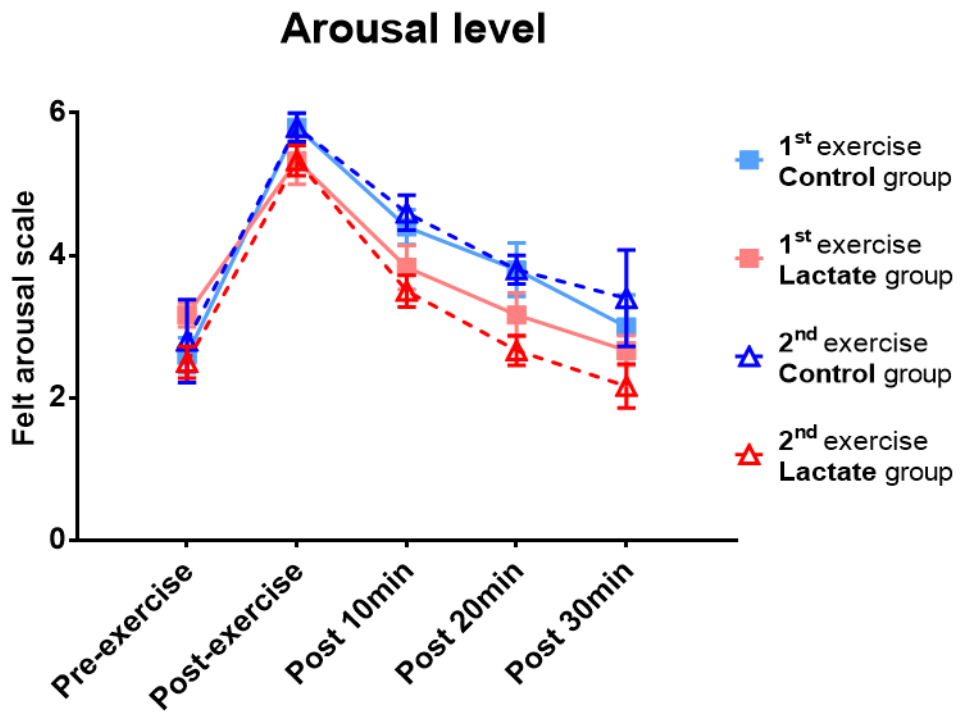
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
실험군	1st	3.167 ±0.1667	5.333 ±0.3333^{a}	3.833 ±0.3073	3.167 ±0.3073	2.667 ±0.2108	p<0.001***
	2nd	2.5 ±0.2236	5.333 ±0.2108^{b}	3.5 ±0.2236	2.667 ±0.2108	2.167 ±0.3073	p<0.001***

Friedman test, Values are Means±S.E.M, ^{a}P<0.05 vs 1st Pre-exercise, ^{b}P<0.05 vs 2nd Pre-exercise

< 표 11 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 각성도 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	2.6±0.2449	3.167±0.1667	0.1212
	운동 직후	5.8±0.2	5.333±0.3333	0.2727
	운동 후 10분	4.4±0.2449	3.833±0.3073	0.1883
	운동 후 20분	3.8±0.3742	3.167±0.3073	0.1948
	운동 후 30분	3±0.4472	2.667±0.2108	0.3701
2nd HIIE	운동 전	2.8±0.5831	2.5±0.2236	0.2597
	운동 직후	5.8±0.2	5.333±0.2108	0.1753
	운동 후 10분	4.6±0.2449	3.5±0.2236	p<0.05*
	운동 후 20분	3.8±0.2	2.667±0.2108	p<0.05*
	운동 후 30분	3.4±0.6782	2.167±0.3073	0.0844
각 그룹별 세트 간 차이 (1st – 2nd)	운동 전	−0.2±0.5831	0.667±0.2108	p<0.05*
	운동 직후	0±0	0±0.2582	0.5
	운동 후 10분	−0.2±0.2	0.3333±0.2108	0.1515
	운동 후 20분	0±0.3162	0.5±0.4282	0.2619
	운동 후 30분	−0.4±0.5099	0.5±0.4282	0.1537

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 8] 시간에 따른 그룹 및 세트별 각성도 변화

2) 정신피로도

① 동질성 검정

두 집단 간의 정신피로도 수치의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 13 >와 같이 첫번째 운동 세트에서 각 시간별 그룹 간 차이($p>0.05$)는 유의하지 않았다.

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 12 >과 같이 대조군의 1 세트에서만 시간에 따른 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 사후분석결과, 1 세트의 운동 전에 비하여 운동 후 20 분에서 유의하게 증가하였다($p<0.01$).

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 그룹 간 차이를 분석한 결과, 두 그룹간의 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$).

각 그룹의 세트에 따른 변화량을 비교했을 때도 두 그룹간의 변화량의 차이가 유의하지 않았다($p>0.05$).

< 표 12 > 그룹 내 시간에 따른 정신피로도 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
대조군	1st	27.7 ±7.333	38.64 ±7.73	48.42 ±10.64	**53.8 ±12.33aa**	52.86 ±14.38	p<0.05*
	2nd	52.8 ±6.711	54.8 ±12.24	60.3 ±7.688	62.54 ±9.254	59.38 ±12	0.8088

Friedman test, Values are Means±S.E.M, aaP<0.01 vs 1st Pre-exercise

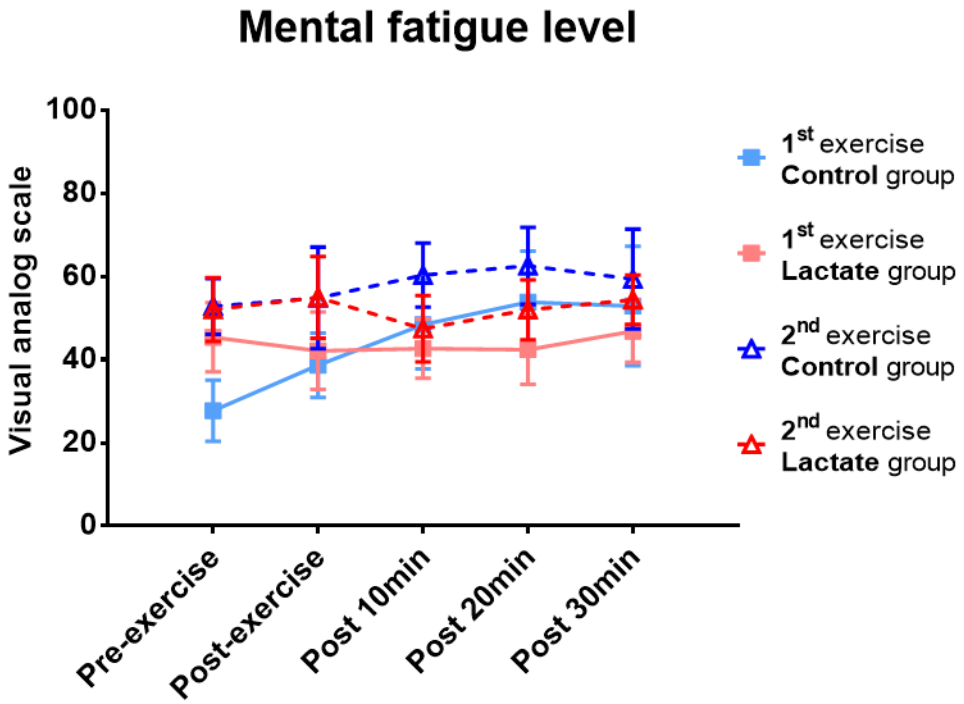
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
실험군	1st	45.37 ±8.308	42.13 ±9.311	42.65 ±7.116	42.3 ±8.313	46.83 ±7.506	0.6626
	2nd	52.02 ±7.651	54.93 ±9.812	47.42 ±7.964	51.95 ±7.199	54.83 ±5.937	0.8781

Friedman test, Values are Means±S.E.M

< 표 13 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 정신피로도 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	27.7±7.333	45.37±8.308	0.2684
	운동 직후	38.64±7.73	42.13±9.311	0.4654
	운동 후 10분	48.42±10.64	42.65±7.116	0.3312
	운동 후 20분	53.8±12.33	42.35±8.313	0.2143
	운동 후 30분	52.86±14.38	46.83±7.506	0.3312
2nd HIIE	운동 전	52.8±6.711	52.02±7.651	0.4654
	운동 직후	54.8±12.24	54.93±9.812	0.5
	운동 후 10분	60.3±7.688	47.42±7.964	0.1753
	운동 후 20분	62.54±9.254	51.95±7.199	0.2684
	운동 후 30분	59.38±12	54.38±5.937	0.3312
각 그룹별 세트 간 차이 (1st – 2nd)	운동 전	−25.1±12.08	−6.65±12.65	0.2684
	운동 직후	−16.16±6.453	−12.8±3.16	0.4654
	운동 후 10분	−11.88±5.828	−4.767±5.01	0.2684
	운동 후 20분	−8.74±5.826	−9.6±5.931	0.4654
	운동 후 30분	−6.52±2.798	−7.55±5.372	0.3961

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 9] 시간에 따른 그룹 및 세트별 정신피로도 변화

3) 집중도

① 동질성 검정

두 집단 간의 집중도 수치의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 15 >와 같이 1 세트에서 두 그룹간 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 14 >와 같이 대조군, 실험군 모두 시간에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았다(p>0.05).

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 그룹 간 차이를 분석한 결과, 운동 후 30 분에서 대조군이 실험군보다집중도가 유의하게 높았다(p<0.05).

각 그룹의 세트에 따른 변화량을 비교했을 때, 운동 후 20 분에서 두 그룹 간의 세트에 따른 변화량의 차이가 유의했고(p>0.05) 대조군은 2 세트가 1 세트보다 더 높은 집중도를 보였으나 실험군은 2 세트가 1 세트보다 더 낮았다.

< 표 14 > 그룹 내 시간에 따른 집중도 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
대조군	1st	46.56 ±5.087	67.68 ±10.56	68.9 ±7.23	54.32 ±8.143	57.14 ±13.36	0.118
	2nd	58.22 ±5.187	68.88 ±9.255	66.82 ±3.181	68.12 ±5.909	73.26 ±4.427	0.3263

Friedman test, Values are Means±S.E.M

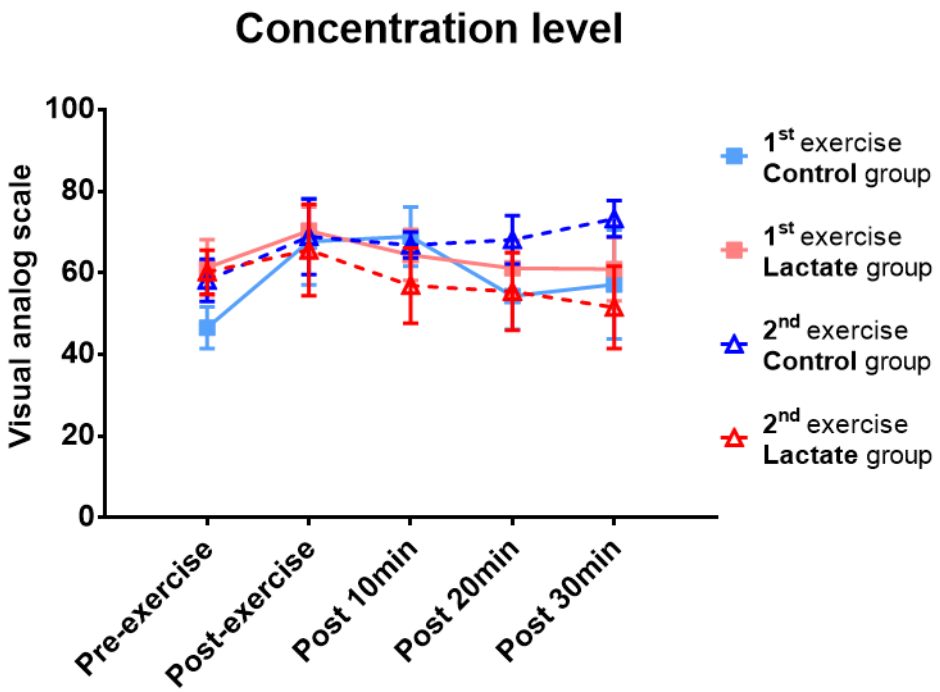
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
실험군	1st	61.28 ±6.833	70.32 ±5.784	64.4 ±6.249	61.15 ±6.743	60.93 ±7.744	0.569
	2nd	60.18 ±5.377	65.58 ±11.18	56.88 ±9.203	55.45 ±9.522	51.57 ±10.1	0.8325

Friedman test, Values are Means±S.E.M

< 표 15 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 집중도 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	46.56±5.087	61.28±6.833	0.0628
	운동 직후	67.68±10.56	70.32±5.784	0.5
	운동 후 10분	68.9±7.23	64.4±6.249	0.3312
	운동 후 20분	54.32±8.143	61.15±6.743	0.3312
	운동 후 30분	57.14±13.36	60.93±7.744	0.4654
2nd HIIE	운동 전	58.22±5.187	60.18±5.377	0.3961
	운동 직후	68.88±9.255	65.58±11.18	0.4654
	운동 후 10분	68.82±3.181	56.88±9.203	0.3463
	운동 후 20분	68.12±5.909	55.45±9.522	0.2684
	운동 후 30분	73.26±4.427	51.57±10.1	p<0.05*
각 그룹별 세트 간 차이 (1st − 2nd)	운동 전	−11.66±8.84	1.1±5.693	0.0887
	운동 직후	−1.2±3.972	4.733±7.033	0.3961
	운동 후 10분	2.08±6.568	7.517±3.874	0.2684
	운동 후 20분	−13.8±5.947	5.7±5.532	P<0.05*
	운동 후 30분	−16.12±12.81	9.367±9.572	0.1645

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 10] 시간에 따른 그룹 및 세트별 집중도 변화

5. 혈중 BDNF (Brain-derived neurotrophic factor)

① 동질성 검정

두 집단 간의 혈중 BDNF 수치의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 17 >와 같이 1 세트에서 실험군이 대조군보다 혈중 BDNF 수치가 유의하게 더 높았다($p<0.05$).

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 16 >와 같이 대조군과 실험군 모두 시간에 따른 변화는 유의하지 않았다($p>0.05$).

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 그룹 간 차이를 분석한 결과, < 표 17 >와 같이 각 시간별 두 그룹 간 차이는 모두 유의하지 않았다($p>0.05$).

또한 각 그룹의 세트에 따른 변화량 비교에서도 두 그룹 간 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$).

< 표 16 > 그룹 내 시간에 따른 혈중 BDNF 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간		유의확률 (단측검정)
			운동 직후	30 분 후	
대조군	1st	182.7±4.99	185.1±3.689	181.5±1.444	0.3673
	2nd	184.2±6.644	192±6.428	194.7±15.46	0.9537

Friedman test, Values are Means±S.E.M

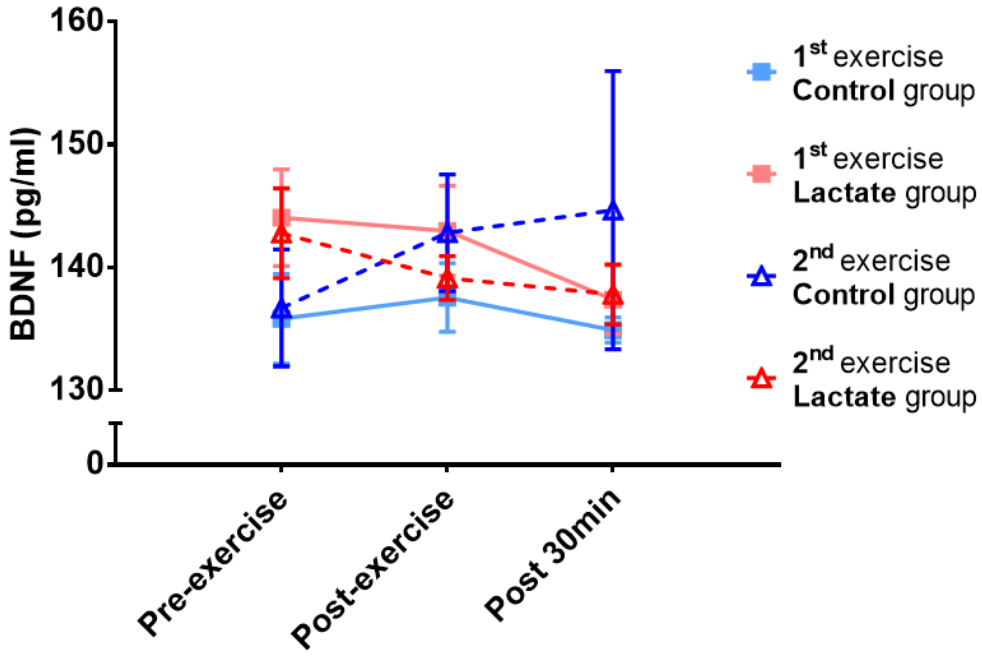
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간		유의확률 (단측검정)
			운동 직후	30 분 후	
실험군	1st	96.97±29.3	96.45±29.14	92.43±27.9	0.0970
	2nd	96.23±29.07	93.75±28.26	92.69±27.96	0.7165

Friedman test, Values are Means±S.E.M

< 표 17 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 혈중 BDNF 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	135.8±3.646	144.1±3.926	p<0.05*
	운동 직후	137.6±2.783	143±3.656	0.2143
	운동 후 30 분	134.9±1.03	137.4±2.791	0.3312
2nd HIIE	운동 전	136.7±4.753	142.8±3.649	0.2143
	운동 직후	142.8±4.752	139.2±1.778	0.3312
	운동 후 30 분	144.7±11.32	137.8±2.438	0.4654
각 그룹별 세트 간 차이 (1st – 2nd)	운동 전	−1.461±8.276	1.48±7.661	0.4654
	운동 직후	−6.818±7.193	5.375±5.081	0.1234
	운동 후 30 분	−13.13±14.9	−0.5167±5.013	0.4654

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 11] 시간에 따른 그룹 및 세트별 혈중 BDNF 변화

6. 스트룹 색상-단어 검사(Stroop Color-Word Test)

1) 스트룹 검사 간섭점수

① 동질성 검정

두 집단 간의 스트룹 검사 간섭점수의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 19 >와 같이 1 세트에서 각 시간별 그룹 간 차이는 유의하지 않았다($p>0.05$).

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 18 >와 같이 대조군과 실험군 모두 시간에 따른 간섭점수의 변화는 유의하지 않았다($p>0.05$).

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 그룹 간 차이를 분석한 결과, < 표 19 >와 같이 각 시간별 두 그룹 간 차이는 모두 유의하지 않았다($p>0.05$). 하지만, 각 그룹별 세트에 따른 변화량을 비교한 결과, 운동 후 20 분에서 실험군이 대조군보다 세트에 따른 변화량이 유의하게 적은 것으로 나타났다($p<0.05$).

< 표 18 > 그룹 내 시간에 따른 간섭점수 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
대조군	1st	22.19 ±8.326	21.08 ±9.066	17.94 ±8.041	14.84 ±8.521	19.25 ±7.401	0.7210
	2nd	24.49 ±6.403	23.15 ±11.33	17.53 ±7.111	37.05 ±12.82	19.49 ±4.616	0.7505

Friedman test, Values are Means±S.E.M

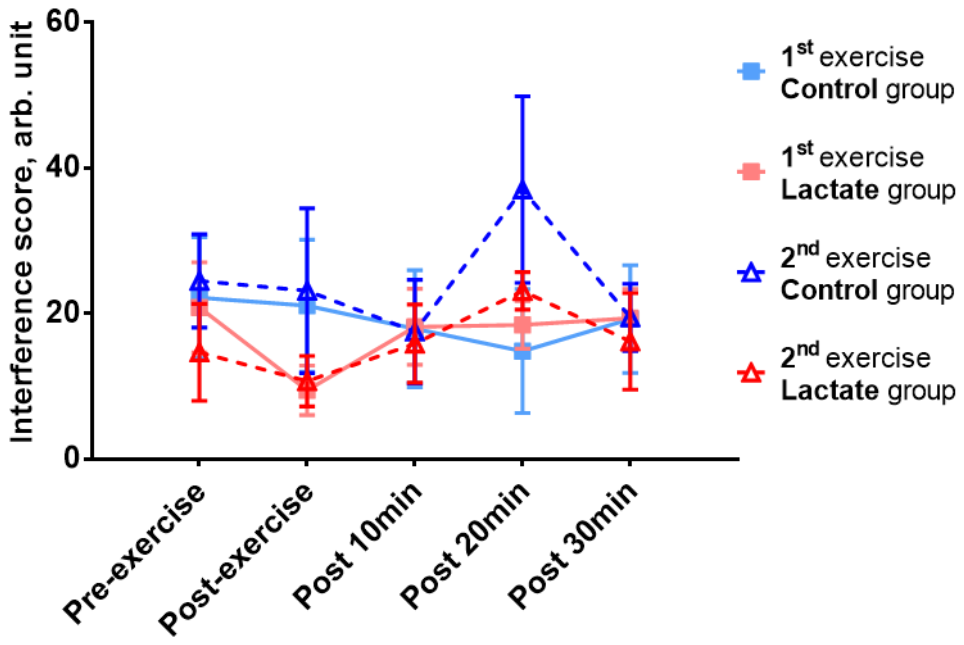
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
실험군	1st	20.85 ±6.205	9.456 ±3.408	18.18 ±5.225	18.46 ±3.284	19.36 ±3.992	0.0504
	2nd	14.68 ±6.655	10.73 ±3.474	15.87 ±5.367	23.12 ±2.587	16.18 ±6.619	0.5037

Friedman test, Values are Means±S.E.M

< 표 19 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 간섭점수 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	22.19±8.326	20.85±6.205	0.5
	운동 직후	21.08±9.066	9.456±3.408	0.2143
	운동 후 10분	17.94±8.041	18.18±5.225	0.4654
	운동 후 20분	14.84±8.521	18.46±3.284	0.4654
	운동 후 30분	19.52±7.401	19.36±3.992	0.4654
2nd HIIE	운동 전	24.49±6.403	14.68±6.655	0.2684
	운동 직후	23.15±11.33	10.73±3.474	0.2143
	운동 후 10분	17.53±7.111	15.87±5.367	0.4654
	운동 후 20분	37.05±12.82	23.12±2.587	0.3312
	운동 후 30분	19.49±4.616	16.18±6.619	0.2684
각 그룹별 세트 간 차이 (1st – 2nd)	운동 전	−2.302±9.879	6.174±6.36	0.2684
	운동 직후	−2.064±14.97	−1.27±3.34	0.4654
	운동 후 10분	0.4104±12.36	2.31±4.667	0.4654
	운동 후 20분	−22.2±5.99	−4.657±2.213	p<0.05*
	운동 후 30분	−0.237±8.323	3.181±4.592	0.5

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 12] 시간에 따른 그룹 및 세트별 간섭점수 변화

2) 스트룹 검사 총 정확도

① 동질성 검정

두 집단 간의 스트룹 검사 총 정확도의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 21 >와 같이 1 세트에서 각 시간별 그룹 간 차이는 유의하지 않았다(p>0.05).

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 20 >와 같이 대조군과 실험군 모두 시간에 따른 스트룹 검사 총 정확도의 변화는 유의하지 않았다(p>0.05).

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 시간별 그룹 간 차이를 분석한 결과, < 표 21 >와 같이 각 시간별 두 그룹 간 차이는 모두 유의하지 않았다(p>0.05).

하지만, 각 그룹별 세트에 따른 변화량을 비교했을 때, 운동 후 20 분에서 두 그룹간의 유의한 차이가 있었고(p<0.05) 대조군은 1 세트보다 2 세트가 낮은 반면 실험군은 1 세트 보다 2 세트에서 더 높았다.

< 표 20 > 그룹 내 시간에 따른 검사 정확도 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
대조군	1st	97.58 ±1.767	98.18 ±1.212	97.58 ±2.424	98.79 ±0.7423	98.18 ±1.212	0.9595
	2nd	99.39 ±0.6061	98.18 ±0.7423	99.39 ±0.6061	96.97 ±1.66	98.79 ±0.7423	0.406

Friedman test, Values are Means±S.E.M

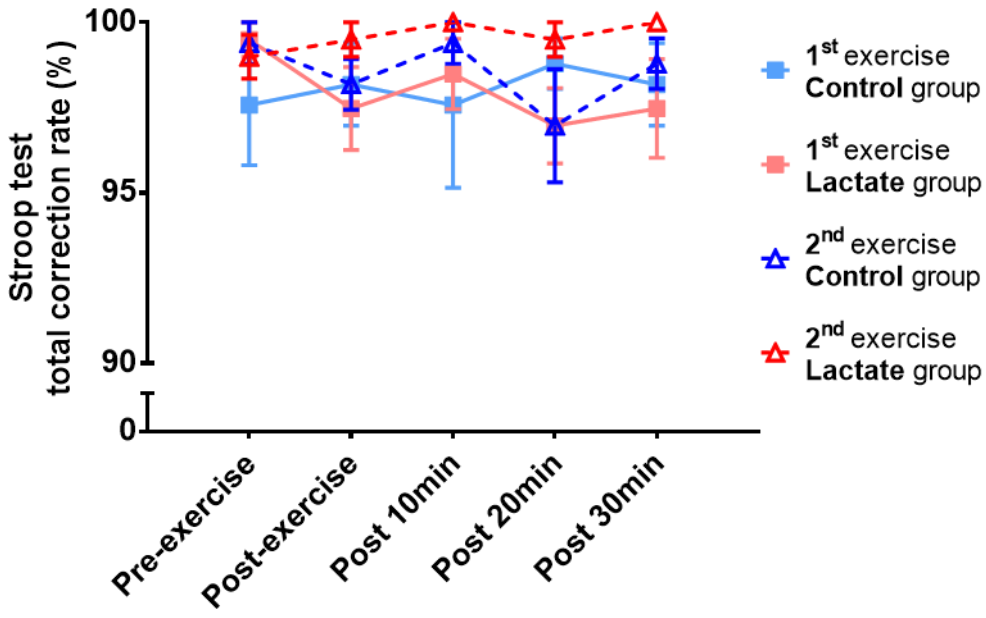
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10 분 후	20 분 후	30 분 후	
실험군	1st	99.49 ±0.5051	97.47 ±1.216	98.48 ±1.035	96.97 ±1.107	97.47 ±1.446	0.6276
	2nd	98.99 ±0.6388	99.49 ±0.5051	100±0	99.49 ±0.5051	100±0	0.406

Friedman test, Values are Means±S.E.M

< 표 21 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 검사 정확도 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	97.58±1.767	99.49±0.5051	0.303
	운동 직후	98.18±1.212	97.47±1.216	0.6082
	운동 후 10분	97.58±2.424	98.48±1.035	0.5758
	운동 후 20분	98.79±0.7423	96.97±1.107	0.197
	운동 후 30분	98.18±1.212	97.47±1.446	0.4351
2nd HIIE	운동 전	99.39±0.6061	98.99±0.6388	0.5758
	운동 직후	98.18±0.7423	99.49±0.5051	0.197
	운동 후 10분	99.39±0.6061	100±0	0.4545
	운동 후 20분	96.97±1.66	99.49±0.5051	0.1515
	운동 후 30분	98.79±0.7423	100±0	0.1818
각 그룹별 세트 간 차이 (1st − 2nd)	운동 전	−1.818±1.212	0.505±0.9312	0.145
	운동 직후	0±1.355	−2.02±1.01	0.1991
	운동 후 10분	−1.818±2.642	−1.512±1.035	0.3485
	운동 후 20분	1.818±1.818	−2.525±1.446	p<0.05*
	운동 후 30분	−0.606±1.134	−2.525±1.446	0.2944

Mann−whitney test, Values are Means±S.E.M



[그림 13] 시간에 따른 그룹 및 세트별 스트룹 검사 정확도 변화

3) 스트룹 검사 총 반응시간

① 동질성 검정

두 집단 간의 스트룹 검사 총 반응시간의 동질성 검정을 실시한 결과, < 표 23 >와 같이 1 세트에서 각 시간별 그룹 간 차이는 유의하지 않았다 ($p>0.05$).

② 각 그룹의 세트 내 시간에 따른 변화

각 그룹 내 시간에 따른 변화를 분석한 결과, < 표 22 >와 같이 대조군은 1,2 세트 모두 시간에 따른 스트룹 검사 총 반응시간의 변화는 유의하지 않았다($p>0.05$). 하지만, 사후분석 결과, 2 세트의 운동 전보다 운동 직후에 유의하게 감소되었다 $p<0.05$).

실험군은 1 세트에서 시간에 따른 유의한 변화는 없었으나($p>0.05$) 2 세트에서 시간에 따른 유의한 변화를 보였다($p<0.05$). 사후분석 결과, 2 세트의 운동 전보다 운동직후 ($p=0.0705$)와 운동 후 20 분에서($p=0.0705$) 반응시간이 감소한 경향을 보였고 특히, 운동 후 10 분과 30 분($p<0.05$)에서 유의하게 감소하였다.

③ 두 그룹의 음료 섭취에 따른 변화

2 세트에서 시간별 그룹 간 차이를 분석한 결과, < 표 23 >와 같이 각 시간별 두 그룹 간 차이는 모두 유의하지 않았다($p>0.05$). 또한 각 그룹별 세트에 따른 변화량을 비교했을 때도 두 그룹간 차이는 유의하지 않았다 ($p>0.05$).

< 표 22 > 그룹 내 시간에 따른 검사 반응시간 변화

구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10분 후	20분 후	30분 후	
대조군	1st	40.04 ±3.319	37.71 ±2.666	38.36 ±3.337	37.67 ±2.365	38.4 ±2.546	0.5512
	2nd	39.77 ±2.867	**35.69 ±2.49^{b}**	38.34 ±3.825	36.75 ±2.603	37.97 ±3.916	0.1257

Friedman test, Values are Means±S.E.M, ^{b}P<0.05 vs 2nd Pre-exercise

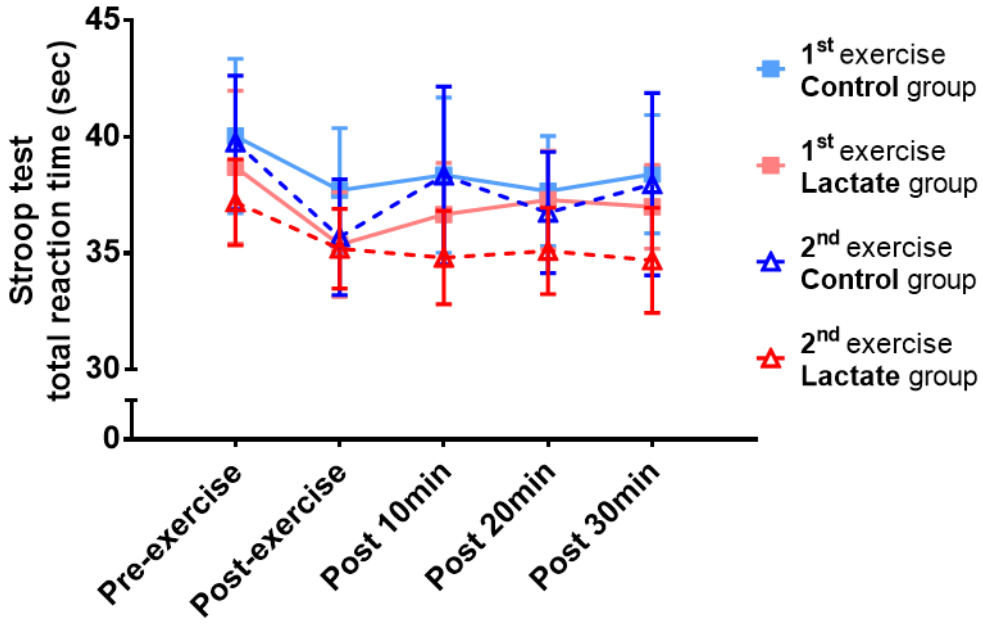
구 분	세트	운동 전	운동 후 회복기간				유의확률 (단측검정)
			운동 직후	10분 후	20분 후	30분 후	
실험군	1st	38.7 ±3.284	35.37 ±2.246	36.67 ±2.214	37.29 ±2.118	37 ±1.807	0.2427
	2nd	37.19 ±1.848	35.2 ±1.713	**34.81 ±2.008^{b}**	35.1 ±1.859	**34.7 ±2.262^{b}**	P<0.05*

Friedman test, Values are Means±S.E.M, ^{b}P=0.0617 vs 2nd Pre-exercise

< 표 23 > 그룹 간 세트 변화량 및 시간대별 검사 반응시간 비교

운 동 세 트	시 간	대조군 (N=5)	실험군 (N=6)	유의확률 (단측검정)
1st HIIE	운동 전	40.04±3.319	38.7±3.284	0.3312
	운동 직후	37.71±2.666	35.37±2.246	0.3312
	운동 후 10분	38.36±3.337	36.67±2.214	0.4654
	운동 후 20분	37.67±2.365	37.29±2.118	0.5
	운동 후 30분	38.4±2.546	37±1.807	0.3961
2nd HIIE	운동 전	39.77±2.867	37.19±1.848	0.3312
	운동 직후	35.69±2.49	35.2±1.713	0.3312
	운동 후 10분	38.34±3.825	34.81±2.008	0.2143
	운동 후 20분	36.75±2.603	35.1±1.859	0.5
	운동 후 30분	37.97±3.916	34.7±2.262	0.3312
각 그룹별 세트 간 차이 (1st – 2nd)	운동 전	0.2716±1.226	1.514±1.685	0.3961
	운동 직후	2.02±1.555	0.1752±1.327	0.1645
	운동 후 10분	0.0156±2.163	1.858±0.5183	0.1234
	운동 후 20분	0.9266±1.278	2.193±1.107	0.2684
	운동 후 30분	0.432±2.371	2.302±1.551	0.4654

Mann-whitney test, Values are Means±S.E.M

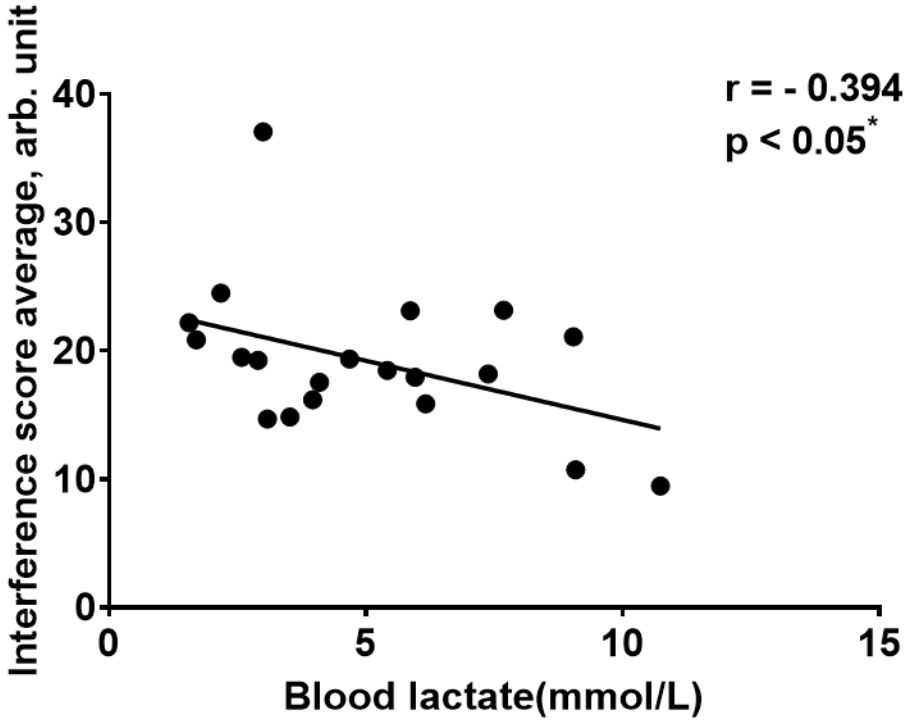


[그림 14] 시간에 따른 그룹 및 세트별 스트룹 검사 반응시간 변화

7. 스트룹 검사 결과와 혈중 젖산의 상관관계

1) 간섭점수와 혈중 젖산의 상관관계

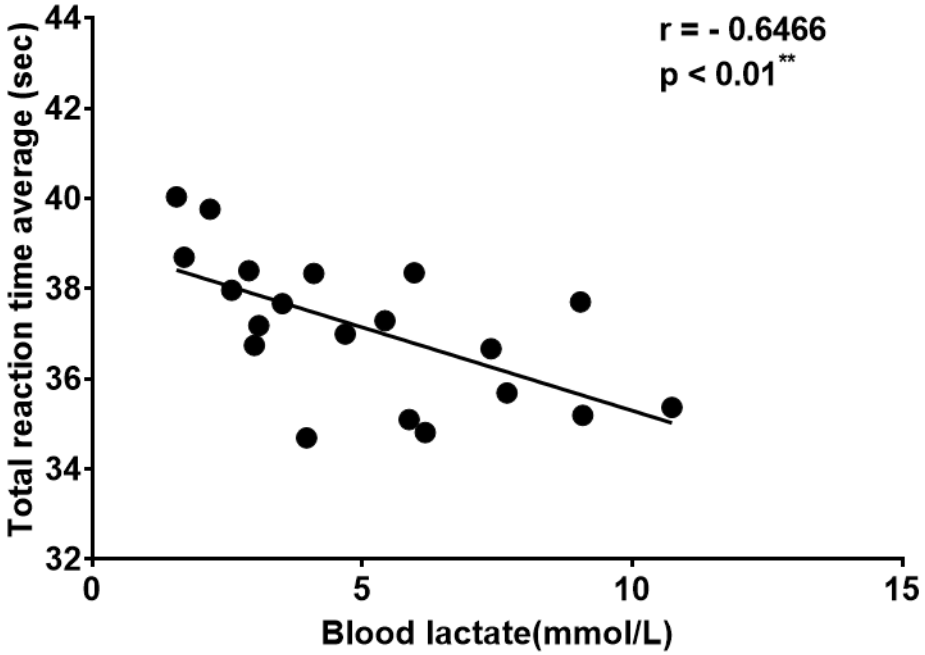
시간별 각 그룹의 젖산 수치의 평균과 간섭점수의 평균 간의 상관관계를 분석하기 위하여 Spearman correlation 분석을 실시한 결과 [그림 15]와 같이 나타났다. 결과에 따르면 간섭점수와 젖산의 상관계수는 -0.4 로 유의수준 .05 수준에서 부적상관을 이루고 있으며 즉, 혈중 젖산 수치가 높을 수록 집행기능검사 결과가 높다는 결과를 의미한다.



[그림 15] 간섭점수와 혈중 젖산의 상관관계

2) 스트룹 검사 총 반응시간과 혈중 젖산의 상관관계

시간별 각 그룹의 젖산 수치의 평균과 스트룹 검사 총 반응시간 평균 간의 상관관계를 분석하기 위하여 Spearman correlation 분석을 실시한 결과 [그림 16]와 같이 나타났다. 결과에 따르면 스트룹 검사 총 반응시간과 젖산의 상관계수는 -0.65 로 유의수준 .001 수준에서 부적상관을 이루고 있으며 혈중 젖산 수치가 높을수록 스트룹 검사 총 반응 시간이 낮은 것을 의미한다.



[그림 16] 스트룹 검사 총 반응시간과 혈중 젖산의 상관관계

V. 논 의

성인 남성의 한번의 고강도 인터벌 운동만으로 혈중 젖산 수치, 뇌 젖산 흡수량 그리고 집행기능이 일시적으로 증가한다. 그러나, 이와 같은 향상은 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인해 약화된다. 이뿐만 아니라, 젖산과 집행기능의 상관관계가 제시되면서 젖산이 집행기능에 미칠 수 있는 영향에 대한 관심이 제기되었다(Hashimoto et al., 2018; H. Tsukamoto et al., 2016). 따라서, 본 연구에서는 선행연구 결과들을 토대로 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인해 약화되는 집행기능의 향상을 유지하는데 있어 외부의 젖산 섭취가 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 그 결과, 본 연구를 통해 젖산 섭취가 반복된 운동으로 감소된 집행기능의 유지에 미치는 긍정적인 영향과 젖산섭취와 집행기능의 인과관계를 확인하였다.

본 연구에서 집행기능은 스트룹 색상-단어 검사를 이용하여 측정하였고 점수가 낮을수록 집행기능의 우수성을 나타내는 간섭점수(Hashimoto et al., 2018)와 총 검사 정확도 그리고 총 반응시간을 확인하였다. 먼저, 운동 후 20분에서 실험군이 대조군에 비해 반복된 운동에 따른 간섭점수의 감소와 검사 정확도가 개선되었다. 또한, 대조군과 달리 실험군의 검사 반응시간이 운동 전보다 운동 후 30분간 개선되어 전반적인 스트룹 검사에서 실험군이 대조군에 비해 개선되는 결과를 보였다. 따라서, 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인한 집행기능 감소에 대하여 젖산 섭취의 개선 효과가 있는 것으로 사료된다. 이는 외상성 뇌손상 모델의 쥐에게 100mM L-lactate 주입으로 인지적 회복 개선을 보고한 선행연구결과와 비슷한 경향을 나타낸다(Holloway et al., 2007). 뿐만 아니라, 경도 외상성뇌손상 환자들에게 수술 전 고삼투압성 소듐 락테이트 WI(hyperosmolar sodium lactate)를 주입함에 따라 수술 후 환자들의

인지 기능 개선에 대한 긍정적 효과를 보고하여(Bisri et al., 2016) 외부에서 젖산 주입이 인지기능 개선에 효과가 있음을 보고하였다.

집행기능과 관련된 여러 후보군 중에서도 먼저 혈중 젖산 수치를 살펴보면, 피험자들은 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인해 혈중 젖산 수치가 1 세트에 비해 2 세트에 낮은 수치를 기록했다. 이러한 현상은 선행연구의 결과와 일치하며(Hashimoto et al., 2018; H. Tsukamoto et al., 2016) 고강도 인터벌 운동과 유사한 형태인 축구 경기에서 선수들의 전·후반 혈중 젖산 수치 기록에서도 확인할 수 있다(Stølen et al., 2005). 강도가 높거나 오랜 시간 동안의 운동은 신체 내 ATP, PCR 그리고 글리코겐 등의 에너지를 점차 고갈시킨다. 젖산의 전구체인 글루코스와 글리코겐 등의 고갈은 젖산 생성과정의 감소를 의미하며 혈중 젖산 수치의 감소를 유도한다(Hashimoto et al., 2018). 또한 신경활동 시 이온과 신경전달물질의 전달에 필요한 에너지가 부족하게 되고 중추피로를 유발할 수 있음을 의미한다(Matsui et al., 2017).

반복된 고강도 인터벌 운동으로 인한 감소된 혈중 젖산 수치는 젖산 섭취를 통해 유지되는 경향을 보인다. 운동 후 시간대 중 유일하게 운동 후 20 분에서 실험군의 혈중 젖산 수치가 1 세트에 비해 2 세트에 더 높게 나타나며 유지되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 뇌 젖산 흡수량이 혈중 젖산 수치와 비례하여 증가한다는 선행연구결과를 참고 했을 때(Bouzat et al., 2014; Rasmussen et al., 2011; Van Hall et al., 2009), 뇌 젖산 흡수량이 유지되었을 가능성을 생각해 볼 수 있다. 또한, 운동강도가 고강도일수록 뇌의 대사 중 젖산의 비중이 커지기 때문에(K. J. Smith & Ainslie, 2017) 운동 시 뇌에서 젖산의 사용률 증가를 의미한다.

정리해보면, 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인해 에너지가 점차 고갈되었고 뇌에서 젖산의 대사 비율이 증가된 상태에서 부족한 젖산을 섭취를 통해

보충함으로써 혈중 젖산 농도와 뇌 젖산 흡수량이 유지되었을 것이다. 즉, 신경활동시 신경전달물질과 이온수송을 위해 필요한 젖산의 감소로 유도되는 피로와 집행기능 감소를 중재했을 가능성을 의미한다(Barros, 2013; Hashimoto et al., 2018; Hu & Wilson, 1997; D. Smith et al., 2003). 하지만, 젖산 섭취 후 대조군과 비교했을 때, 실험군의 혈중 젖산 수치의 통계적으로 유의한 증가를 확인하지 못했고 신체 내 젖산 대사과정과 뇌 젖산 흡수량을 직접적으로 확인하지 못했으므로 섭취한 젖산이 뇌에서 직접적으로 사용되어 집행기능 감소 개선의 결과를 유도했다고 단정지을 수 없다. 그럼에도 불구하고 젖산 수치 증가의 경향과 집행기능의 감소 개선 시점이 동일하다는 점, 선행연구결과(Hashimoto et al., 2018; H. Tsukamoto et al., 2016)에서 제시된 바와 같이 측정변인 중 유일하게 혈중 젖산 수치가 집행기능과 유의한 상관관계를 보였다는 점에서 이와 같은 결과 해석은 추후 연구를 통해 검증할 필요가 있다.

다음으로 심혈관 및 혈액 변인을 살펴보면 먼저, 혈당의 경우 운동 후 시간대에서 실험군이 대조군보다 혈당 수치가 높았으며 세트에 따른 혈당 감소량도 적었다. 두 그룹 간의 차이가 섭취한 음료의 젖산 함유 유무라는 점에서 젖산을 실험군의 혈당 유지의 원인 중 하나로 생각해볼 수 있다. 또한, 운동 시 사용되는 에너지기질의 변화와 연관지어 생각해보면 혈당의 변화를 이해하는데 용이하다. 운동 시와 같이 신체 내 글루코스가 부족하게 되는 상황에서 근육, 심장 그리고 뇌 등의 조직에서 사용되는 에너지기질 중 젖산의 비중이 점차 증가한다(Brooks, 2018; Rasmussen et al., 2011). 또한, 운동 시 대부분의 글루코스 생성이 코리 사이클(cori cycle)과 같은 당신생합성과정을 통해 젖산으로부터 이루어지기 때문에(Brooks, 2018) 신체 내는 젖산을 필요로 하고 있는 상황이다. 게다가, 젖산은 빠르게 에너지를 제공하는데 효율적

일 수 있다. 해당과정에서 글루코스(Glucose)가 피루브산(Pyruvate)으로 분해되는 동안 여러 과정을 거치고 2ATP(Adenosine triphosphate)가 사용되는데 반해 젖산은 젖산 탈수소효소(lactate dehydrogenase, LDH)를 통해 바로 피루브산으로 전환될 수 있어 필요한 에너지를 빠르게 제공할 수있다(Gropper & Smith, 2012). 따라서, 젖산 섭취 후 간과 같은 기관을 통해 글루코스로 전환되어 혈중 글루코스의 증가로 나타났을 수도 있으며 필요한 글루코스 대신 젖산이 산화과정을 통해 필요한 에너지를 제공하여 혈당 감소가 적었을 가능성도 존재한다. 하지만 이러한 결과 해석은 혈당과 젖산의 대사과정을 직접 확인하지 못했으므로 해석하는데 제한이 따르며 추후 연구가 필요한 부분이다.

본 연구에서 산소포화도와 맥박을 살펴보면 먼저 산소포화도는 두 그룹간의 유의한 차이는 없었으나 운동 후 30 분의 시간대에서 두 그룹 간 세트에 따른 변화량의 유의한 차이가 있었다. 산소포화도와 집행기능 관련 선행연구를 살펴보면, 노목식(normoxic) 상태에서와 달리 저산소성(hypoxic) 상태에서 운동 전에 비해 운동 후의 혈중 젖산 수치가 더 높아졌고(Komiyama et al., 2017) 산소포화도와 집행기능의 감소가 일어났으며 산소포화도와 집행기능의 관련성을 주장하였다(Ochi et al., 2018). 하지만, 본 연구의 결과에서 우선적으로 세계보건기구 WHO 의 기준에 따라 모든 시간대의 산소포화도 수치가 95%이상으로 정상 수치에 해당된다(Organization, 2011). 또한, 산소포화도는 집행기능과 유의한 상관관계가 없었으며 집행기능의 변화가 일어난 시점과 달리 운동 후 30 분의 시간대에서 그룹 간 차이가 있었다. 뿐만 아니라, 유의한 차이가 나타난 대조군과 실험군의 세트에 따른 변화량 수치가 각 0~1% 수준으로 측정 기계 매뉴얼에서 제공하는 측정오류치(±2%)를 참고한다면, 접산섭취를 통한 산소포화도의 변화와 이를 통해 집행기능을 설명하는데 어

려움이 따른다. 맥박은 피험자의 운동의 강도가 목표한 대로 고강도로 충분히 이루어 졌는지 확인하기 위하여 측정하였다. 피험자의 나이와 심박수 절대치를 계산할 결과값을 고려했을 때, 운동직후 평균 최대 심박수의 70% 정도까지 증가하여 충분한 고강도 운동이 되었음을 간접적으로 확인할 수 있었다. 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않았지만 세트에 따른 변화가 운동 후 20 분에서 두 그룹간 유의한 차이가 있었다. 그러나, 두 그룹간의 세트에 따른 맥박 수 변화량 차이가 근소하며 산소포화도와 동일하게 기계 매뉴얼에서 제공하는 측정 오류치(±2%)를 참고했을 때, 집행기능의 변화와 연관지어 해석하는데 어려움이 따른다. 무엇보다 집행기능과의 상관관계 가 유의하지 않았으므로 락테이트 섭취에 따른 집행기능의 개선에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

다음으로 심리적 변화 중 각성도를 먼저 살펴보면, 선행연구에서는 운동으로 인한 각성 수준의 증가가 스트룹을 통해 측정되는 집행기능의 증가와 긍정적인 상관관계를 보였다(Byun et al., 2014). 본 연구에서는 운동전에 비해 운동 후 각성도가 증가한 것은 선행연구들과 일치한다. 그러나, 실험군에 비해 대조군의 각성도가 유의하게 증가하였고 이에 반해 집행기능은 실험군이 대조군보다 더 개선된 것으로 나타났다. 또한 각성도와 집행기능의 상관관계는 유의하지 않았다. 정신 피로도의 경우에는 본 연구에서 기대했던 젖산 섭취를 통한 중추피로의 개선 효과는 정신피로도 수치의 감소로 나타날 것으로 예상하였다. 하지만, 실험군과 대조군의 그룹 간 유의한 차이가 없었으며 집행기능과의 상관관계도 유의하지 않았다. Pageaux et al. (2015)의 연구를 참고했을 때, 정신피로도 수치의 변화가 꼭 중추피로의 변화를 나타내지는 않는 것으로 사료된다. 마지막으로 집중도를 살펴보면, 선행연구에서 일반적으로 집중도가 부족한 주의력 결핍 및 과잉 행동 장애(ADHD)의 경우 집행기능

에 손상있는 것으로 알려져 있다(Shuai et al., 2017). 그러나, 본 연구에서는 실험군이 대조군에 비해 집중도가 낮았음에도 불구하고 실험군의 집행기능의 감소량이 적은 것으로 나타났다. 또한 집중도는 집행기능과의 상관관계도 유의하지 않았다. 이처럼 본 연구에서 심리적 변인들의 결과는 앞서 언급된 선행연구들의 결과와 다소 다른 양상을 나타내며 해석하는데 어려움이 있고 추후 연구가 필요하다. 그럼에도 불구하고 Hashimoto et al. (2018)의 연구결과처럼 심리적 변화와 집행기능의 상관관계가 유의하지 않았기 때문에 실험군의 집행기능의 감소 개선에 중요한 영향을 미치는 요인이 아닌 것으로 사료된다.

BDNF 는 신경영양인자 중 하나로 신경생성(neurogenesis), 신경보호(neuroprotection), 신경가소성(neuroplasticity) 등을 가능케 하는 것으로 알려져 있다(Levy et al., 2018). 이 때문에 운동으로 인한 인지 기능 개선에 있어 가장 흔히 사용되는 지표 중 하나이다. 선행연구에서는 인지기능의 주요 생체지표인 BDNF 와 젖산의 상관관계가 제시되었을뿐만 아니라 젖산이 BDNF 신호전달을 매개할 가능성에 대해서 제기되었다. 운동으로 증가된 혈중 젖산 수치와 혈중 BDNF 가 서로 상관관계가 있었고(Ferris et al., 2007) 휴식 시 젖산 주입이 혈중 BDNF 를 증가시켰으며(Schiffer et al., 2011) 뇌손상 설치류 동물모델의 젖산을 이용한 치료가 BDNF 증가와 인지기능 개선을 유도하였다(Brooks, 2018). 하지만, 선행연구의 결과와는 달리 본 연구에서는 혈중 젖산 섭취 그리고 운동으로 인한 혈중 BDNF 의 유의한 변화가 나타나지 않았다. 또한 혈중 BDNF 수치는 스트룹 검사결과와도 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 따라서, Hashimoto et al. (2018)의 연구에서 제시된 바와 같이 집행기능의 개선과 감소에는 BDNF 수치가 유의한 영향을 미치지 못한 것으로 보인다.

본 연구는 많은 제한점과 추가적인 연구가 필요하다. 첫번째로, 본 연구에서의 작은 표본 크기는 통계적 검정력에 있어 제한적이다. 2 시간 30 분의 긴 시간동안 고강도의 운동과 반복적으로 동시에 변인들을 측정하는 복잡한 실험과정으로 인해 많은 피험자들이 중도 포기하였다. 추후 연구에서는 충분한 피험자 모집을 통해 표본 수를 확보하고 연구 설계를 교차설계로 진행한다면 보다 검정력 있는 연구결과를 얻을 수 있을 것이다. 두번째로, 젖산 음료 제조와 섭취 방법의 한계점이다. 인체에 적합한 젖산 제조와 섭취 방법에 대한 선행연구가 부족한 관계로 < 부록 >과 같이 파일럿 테스트를 통해 실험음료 제조의 농도와 섭취시점을 설정하였다. 3 명의 피험자만으로 도출해낸 실험음료 제조 및 성취 방법이기때문에 본 연구에 있어 가장 적합한 방법이라고 하기에는 어려움이 따른다. 몇몇 선행연구에서는 젖산 섭취를 시도하였으나 극심한 위 통증으로 인해 실패하였고 혈관으로 직접적인 주입을 통한 연구가 주로 진행되었다(Morris, 2012). 그렇기 때문에 본 연구는 젖산 섭취를 통한 실험을 진행하여 피험자들의 안전에 이상 없이 집행기능의 개선을 확인했다는 부분에서는 의미가 있지만 이후 추가적인 연구를 통해 적정 섭취 농도와 시점 등을 설정하여 연구를 진행한다면 보다 의미 있는 결과가 나타날 것이다.

VI. 결 론

본 연구는 성인 남성을 대상으로 두 세트의 고강도 인터벌 운동을 실시하여 두 번째 운동 세트에서 젖산 섭취를 통해 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인해 감소되는 집행기능의 감소를 개선하는데 미치는 영향을 확인하는데 목적이 있다. 연구 결과를 종합해보면, 실험음료 중재가 개입된 2 세트 운동 후 20 분에서 실험군이 대조군보다 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인해 감소되는 혈중 젖산의 수치를 개선하는 경향이 나타났다. 동일한 시간대인 2 세트 운동 후 20 분에서 실험군이 대조군보다 세트에 따른 스트룹 검사 간섭점수의 감소가 유의하게 작았다. 이뿐만 아니라 혈중 젖산과 간섭점수, 혈중 젖산과 스트룹 검사 반응시간이 유의한 상관관계가 나타났다. 이외 혈당, 산소포화도, 맥박, 각성도, 집중도가 2 세트에서 그룹 간 유의한 차이 또는 세트에 따른 변화량의 차이가 나타났지만 스트룹 검사 결과와 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 결과적으로 젖산 섭취가 반복된 고강도 인터벌 운동으로 인해 감소되는 집행기능을 개선하는데 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 표본 수가 작아 통계적 검정력이 제한적이며 젖산 음료 제조 및 섭취 방법의 적합성이 확실하지 않다는 한계점이 존재한다. 따라서, 추후 연구에서는 충분한 표본 수를 확보하고 추후 연구를 통해 적절한 젖산 농도와 섭취 시점을 설정하여 추가적인 연구가 진행될 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 기존의 선행연구를 통해 제시되었던 젖산과 집행기능의 상관관계에서 나아가 인과관계를 확인하였다. 또한, 기존의 선수들의 퍼포먼스 연구가 신체적 기능에 편중되어 있고 젖산의 섭취를 통한 인지기능 변화 관련 연구가 부족하다는 점에서 의미가 있다. 따라서, 본 연구의 결과는

향후 선수들의 피로, 인지적 퍼포먼스 개선 관련 연구와 인지 관련 임상연구에 있어 젖산의 역할을 재고려해볼 필요가 있음을 시사한다.

참고 문헌

Abd-Elfattah, H. M., Abdelazeim, F. H., & Elshennawy, S. (2015). Physical and cognitive consequences of fatigue: A review. *Journal of advanced research, 6*(3), 351-358.

Alves, C. R., et al. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual and motor skills, 118*(1), 63-72.

Barros, L. F. (2013). Metabolic signaling by lactate in the brain. *Trends in neurosciences, 36*(7), 396-404.

Bélanger, M., Allaman, I., & Magistretti, P. J. (2011). Brain energy metabolism: focus on astrocyte-neuron metabolic cooperation. *Cell metabolism, 14*(6), 724-738.

Bisri, T., Utomo, B. A., & Fuadi, I. (2016). Exogenous lactate infusion improved neurocognitive function of patients with mild traumatic brain injury. *Asian journal of neurosurgery, 11*(2), 151-159. doi:10.4103/1793-5482.145375

Bouzat, P., et al. (2014). Cerebral metabolic effects of exogenous lactate supplementation on the injured human brain. *Intensive Care Medicine, 40*(3), 412-421. doi:10.1007/s00134-013-3203-6

Bouzier-Sore, A. K., et al. (2006). Competition between glucose and lactate as oxidative energy substrates in both neurons and astrocytes: a comparative NMR study. *European Journal of Neuroscience, 24*(6), 1687-1694.

Brooks, G. A. (2018). The science and translation of lactate shuttle theory. *Cell metabolism, 27*(4), 757-785.

Byun, K., et al. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. *Neuroimage, 98*, 336-345.

Chang, E. C.-H., et al. (2017). Relationship between mode of sport training and general cognitive performance. *Journal of Sport and Health Science, 6*(1), 89-95. doi:https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.07.007

Coco, M., et al. (2019). Role of lactic acid on cognitive functions. *Phys Sportsmed*, 1-7. doi:10.1080/00913847.2018.1557025

Costigan, S. A., Eather, N., Plotnikoff, R. C., Hillman, C. H., & Lubans, D. R. (2016). High-Intensity Interval Training for Cognitive and Mental Health in Adolescents. *Med Sci Sports Exerc, 48*(10), 1985-1993. doi:10.1249/MSS.0000000000000993

Dalsgaard, M. K., Ide, K., Cai, Y., Quistorff, B., & Secher, N. H. (2002). The intent to exercise influences the cerebral O2/carbohydrate uptake ratio in humans. *The Journal of physiology, 540*(2), 681-689.

DE OLIVEIRA, M. C., Orbetelli, R., & NETO, T. L. D. B. (2011). Call accuracy and distance from the play: A study with Brazilian soccer referees. *International journal of exercise science, 4*(1), 30.

Egner, T., & Hirsch, J. (2005). The neural correlates and functional integration of cognitive control in a Stroop task. *Neuroimage, 24*(2), 539-547.

Engel, F. A., Ackermann, A., Chtourou, H., & Sperlich, B. (2018). High-Intensity Interval Training Performed by Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in physiology, 9*, 1012-1012. doi:10.3389/fphys.2018.01012

Evans, W. J., & Lambert, C. P. (2007). Physiological basis of fatigue. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 86*(1), S29-S46.

Ferris, L. T., Williams, J. S., & Shen, C.-L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Med Sci Sports Exerc, 39*(4), 728.

Grego, F., et al. (2004). Effects of long duration exercise on cognitive function, blood glucose, and counterregulatory hormones in male cyclists. *Neuroscience letters, 364*(2), 76-80.

Gropper, S. S., & Smith, J. L. (2012). *Advanced nutrition and human metabolism*: Cengage Learning.

Hashimoto, T., et al. (2018). Maintained exercise-enhanced brain executive function related to cerebral lactate metabolism in men. *Faseb j, 32*(3), 1417-1427. doi:10.1096/fj.201700381RR

Hills, S. P., & Russell, M. (2018). Carbohydrates for soccer: A focus on skilled actions and half-time practices. *Nutrients, 10*(1), 22.

Holloway, R., et al. (2007). Effect of lactate therapy upon cognitive deficits after traumatic brain injury in the rat. *Acta Neurochirurgica, 149*(9), 919-927. doi:10.1007/s00701-007-1241-y

Hu, Y., & Wilson, G. S. (1997). A temporary local energy pool coupled to neuronal activity: fluctuations of extracellular lactate levels in rat brain monitored with rapid-response enzyme-based sensor. *Journal of neurochemistry, 69*(4), 1484-1490.

Huijgen, B. C., et al. (2015). Cognitive functions in elite and sub-elite youth soccer players aged 13 to 17 years. *PloS one, 10*(12), e0144580.

Hwang, H. (2015). The effects of red ginseng intake on central and peripheral fatigue in non-trained and trained mice. *전국체육대회기념*, 23-29.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic bulletin & review, 9*(4), 637-671.

Katakam, A. (2018, 2018.07.05). Data check: A historical breakdown of when teams score at the Fifa World Cup. Retrieved from https://scroll.in/field/884136/data-check-a-historical-breakdown-of-when-teams-score-at-the-fifa-world-cup

Kluger, B. M., Krupp, L. B., & Enoka, R. M. (2013). Fatigue and fatigability in neurologic illnesses: proposal for a unified taxonomy. *Neurology, 80*(4), 409-416.

Komiyama, T., et al. (2017). Cognitive function during exercise under severe hypoxia. *Scientific reports, 7*(1), 10000.

Laursen, P., & Buchheit, M. (2018). *Science and application of high-intensity interval training : solutions to the programming puzzle*. In (pp. 1 online resource).

Levy, M. J. F., et al. (2018). Neurotrophic factors and neuroplasticity pathways in the pathophysiology and treatment of depression. *Psychopharmacology, 235*(8), 2195-2220. doi:10.1007/s00213-018-4950-4

Lovell, R., Midgley, A., Barrett, S., Carter, D., & Small, K. (2013). Effects of different half-time strategies on second half soccer-specific speed, power and dynamic strength. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 23*(1), 105-113.

Mangine, G. T., et al. (2014). Visual tracking speed is related to basketball-specific measures of performance in NBA players. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 28*(9), 2406-2414.

Matsui, T., et al. (2017). Astrocytic glycogen-derived lactate fuels the brain during exhaustive exercise to maintain endurance capacity. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 114*(24), 6358-6363.

McMorris, T. (2016). Developing the catecholamines hypothesis for the acute exercise-cognition interaction in humans: Lessons from animal studies. *Physiology & behavior, 165*, 291-299.

Morris, D. (2012). Effects of oral lactate consumption on metabolism and exercise performance. *Current sports medicine reports, 11*(4), 185-188.

Nybo, L., & Secher, N. H. (2004). Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Progress in neurobiology, 72*(4), 223-261.

Ochi, G., et al. (2018). Hypoxia-induced lowered executive function depends on arterial oxygen desaturation. *J Physiol Sci, 68*(6), 847-853. doi:10.1007/s12576-018-0603-y

Organization, W. H. (2011). Pulse oximetry training manual. *Geneva: World Health Organization*.

Pageaux, B., Marcora, S. M., Rozand, V., & Lepers, R. (2015). Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise. *Frontiers in human neuroscience, 9*, 67.

Pattyn, N., Van Cutsem, J., Dessy, E., & Mairesse, O. (2018). Bridging Exercise Science, Cognitive Psychology, and Medical Practice: Is "Cognitive Fatigue" a Remake of "The Emperor's New Clothes"? *Frontiers in psychology, 9*(1246). doi:10.3389/fpsyg.2018.01246

Pinto, N., Salassi III, J. W., Donlin, A., Schroeder, J., & Rozenek, R. (2019). Effects of a 6-Week Upper Extremity Low-Volume, High-Intensity Interval Training Program on Oxygen Uptake, Peak Power Output, and Total Exercise Time. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 33*(5), 1295-1304.

Powers, S. K., & Howley, E. T. (2018). *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance* (Tenth ed.).

Quistorff, B., Secher, N. H., & Van Lieshout, J. J. (2008). Lactate fuels the human brain during exercise. *The FASEB Journal, 22*(10), 3443-3449.

Rasmussen, P., Wyss, M. T., & Lundby, C. (2011). Cerebral glucose and lactate consumption during cerebral activation by physical activity in humans. *The FASEB Journal, 25*(9), 2865-2873. doi:10.1096/fj.11-183822

Richeson, J. A., et al. (2003). An fMRI investigation of the impact of interracial contact on executive function. *Nature neuroscience, 6*(12), 1323.

Riske, L., Thomas, R. K., Baker, G. B., & Dursun, S. M. (2017). Lactate in the brain: an update on its relevance to brain energy, neurons, glia and panic disorder. *Therapeutic advances in psychopharmacology, 7*(2), 85-89. doi:10.1177/2045125316675579

Roy, B. A. (2013). High-Intensity Interval Training: Efficient, Effective, and a Fun Way to ExerciseBrought to you by the American College of Sports Medicine www. acsm. org. *ACSM's Health & Fitness Journal, 17*(3), 3.

Russell, M., West, D. J., Harper, L. D., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2015). Half-time strategies to enhance second-half performance in team-sports players: a review and recommendations. *Sports Medicine, 45*(3), 353-364.

Sakamoto, S., Takeuchi, H., Ihara, N., Ligao, B., & Suzukawa, K. (2018). Possible requirement of executive functions for high performance in soccer. *PloS one, 13*(8), e0201871.

Scarpina, F., & Tagini, S. (2017). The Stroop Color and Word Test. *Frontiers in psychology, 8*, 557-557. doi:10.3389/fpsyg.2017.00557

Schiffer, T., et al. (2011). Lactate infusion at rest increases BDNF blood concentration in humans. *Neuroscience letters, 488*(3), 234-237.

Shields, G. S., Bonner, J. C., & Moons, W. G. (2015). Does cortisol influence core executive functions? A meta-analysis of acute cortisol administration effects on working memory, inhibition, and set-shifting. *Psychoneuroendocrinology, 58*, 91-103. doi:10.1016/j.psyneuen.2015.04.017

Shuai, L., et al. (2017). Executive Function Training for Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Chinese medical journal, 130*(5), 549-558. doi:10.4103/0366-6999.200541

Smith, D., et al. (2003). Lactate: a preferred fuel for human brain metabolism in vivo. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism, 23*(6), 658-664.

Smith, K. J., & Ainslie, P. N. (2017). Regulation of cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Experimental physiology, 102*(11), 1356-1371.

Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer. *Sports Medicine, 35*(6), 501-536.

Thompson, W. R. (2018). Worldwide survey of fitness trends for 2019. *ACSM's Health & Fitness Journal, 22*(6), 10-17.

Towlson, C., Midgley, A. W., & Lovell, R. (2013). Warm-up strategies of professional soccer players: practitioners' perspectives. *Journal of sports sciences, 31*(13), 1393-1401.

Trapp, E. G., Chisholm, D. J., Freund, J., & Boutcher, S. H. (2008). The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *International journal of obesity, 32*(4), 684.

Tsukamoto, H., et al. (2016). Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiology & behavior, 155*, 224-230.

Tsukamoto, H., et al. (2016). Repeated high-intensity interval exercise shortens the positive effect on executive function during post-exercise recovery in

healthy young males. *Physiol Behav, 160*, 26-34. doi:10.1016/j.physbeh.2016.03.029

Tsukamoto, H., et al. (2017). Impact of Exercise Intensity and Duration on Postexercise Executive Function. *Med Sci Sports Exerc, 49*(4), 774-784. doi:10.1249/mss.0000000000001155

Van Hall, G., et al. (2009). Blood lactate is an important energy source for the human brain. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism, 29*(6), 1121-1129.

Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PloS one, 7*(4), e34731.

Walton, C. C., Keegan, R. J., Martin, M., & Hallock, H. (2018). The Potential Role for Cognitive Training in Sport: More Research Needed. *Frontiers in psychology, 9*, 1121-1121. doi:10.3389/fpsyg.2018.01121

Zając, A., Chalimoniuk, M., Maszczyk, A., Gołaś, A., & Lngfort, J. (2015). Central and Peripheral Fatigue During Resistance Exercise - A Critical Review. *Journal of human kinetics, 49*, 159-169. doi:10.1515/hukin-2015-0118

강현. (2017). 무작위 배정과 배정확률에 변화를 주는 무작위 배정. *Anesthesia and Pain Medicine, 12*(3), 201-212.

김경배. (2015). 고강도 인터벌 트레이닝의 방법과 적용. *대한운동사협회 워크샵, 42*, 10-10.

김유범. (2016). *유형별 운동프로그램이 중년 여성의 BDNF 농도 및 인지기능에 미치는 영향.* (국내석사학위논문), 서울대학교 대학원, 서울. Retrieved from http://www.riss.kr/link?id=T14226763

박세윤. (2016). 신체활동 연구에서 실행기능 (executive function) 의 의미와 검사방법, 연구현황 및 기전. *한국여성체육학회지, 30*(3), 311-329.

Abstract

The effect of lactic acid consumption on executive function after acute repeated high-intensity interval exercise in adult male

Hae-Sung Cho

Department of Physical Education
The Graduate School
Seoul National University

Background: Recent studies suggested Exercise-enhanced executive function(EF) is correlated with increased blood lactate levels and brain lactate uptake. A single bout of high-intensity interval exercise(HIIE) increases the level of blood lactate, brain lactate uptake, and EF, but the repeated HIIE decreases. However, advanced research is not sufficient to explain to the cause-and-effect relationship between lactate and EF because several studies showed that exercise changes variables such as psychological variables and brain-derived neurotrophic

factor(BDNF) which are related to cognitive function. Therefore, this research identifies that lactate affects the maintaining exercise-induced improvement of EF.

Methods: Eleven healthy adult male subjects performed two sets of HIIE and had a rest for 30 minutes after the each set. Participants consumed the experimental drink at 10 minutes after the 2nd HIIE started. Cardiovascular and blood variables(blood lactate & glucose, pulse rate, and peripheral oxygen saturation), Psychological variables(Arousal, mental fatigue, concentration) and blood level of BDNF measured. EF was evaluated by the computerized Color-word Stroop task. Variables measured total 10 times such as pre-exercise, post-exercise, post 10, 20, 30 minutes for each set.

Results: At 20 minutes after 2nd HIIE, lactate group showed a tendency to have higher blood lactate levels than the control group's as well as blood lactate level of 2nd set was higher than the that of 1st set. Also, change in interference score of the lactate group within two set is significantly lower than that of the control group. Moreover, blood lactate is correlated with interference score. On the other hand, blood glucose, arousal level and concentration level were not correlated with interference score although there are significant differences between the two groups at the 2nd HIIE.

Conclusions: We conclude that lactate consumption maintain the exercise-induced improvement in EF at 20 minutes after 2nd HIIE and

it related to tendency to blood lactate increase.

Keywords : High-intensity interval exercise, Performance, Fatigue, Brain energy, Lactate, Executive function
Student Number : 2018-26888

부 록

1. 2019 PAR-Q+

2019 PAR-Q+

모두를 위한 신체활동준비설문지

규칙적인 신체활동의 건강에 대한 이로움이 잘 알려져 있다. 더 많은 사람들이 주당 매일 신체활동에 참여해야 한다. 신체활동의 참여는 대부분의 사람들에게서 매우 안전하다. 이 설문지는 당신이 신체적으로 더 활동적으로 수행하기 전에 의사나 운동전문가로부터의 조언이 필요한지 또는 그렇지 않은지를 알려줄 것이다.

일반적인 건강 질문들

아래의 7개의 질문을 주의 깊게 읽고 각 문항에 대해 솔직히 답변해 주십시오: "예" 나 "아니오" 로 표시하세요.	예	아니오
1. 의사가 당신의 심장질환□이나 고혈압□에 대하여 이야기 한적이 있습니까?	☐	☐
2. 안정 시나 일상활동 중 또는 신체활동을 할 때 가슴에 통증이 있습니까?	☐	☐
3. 지난 12개월 동안 어지럼증으로 쓰러졌거나 의식을 잃은 적이 있습니까?	☐	☐
4. 심장병이나 고혈압 이외의 다른 만성질환으로 진단받은 적이 있습니까? 여기에 질환에 대하여 기술하세요. _____	☐	☐
5. 현재 만성질환을 치료하기 위해 처방약을 복용하고 있습니까? 여기에 질병과 약에 대하여 기술하세요. _____	☐	☐
6. 신체활동을 통해 더 악화될 수 있는 뼈, 관절 또는 연조직(근육, 인대 또는 힘줄) 문제가 현재(또는 지난 12개월 이내) 있습니까? 과거에 문제가 있었다면 '아니오' 로 대답하십시오. 여기에 질환에 대하여 기술하세요. _____	☐	☐
7. 의사가 의학적인 감독하에서만 신체활동을 해야 한다고 말했습니까?	☐	☐

위의 모든 질문에 "아니오" 로 대답했다면, 당신은 신체활동을 위한 준비가 되었습니다. 참여자 선언에 서명해주세요. 2~3페이지를 작성할 필요가 없습니다.

- 천천히 더 신체적으로 활동하기 시작하세요 - 천천히 시작하고 점진적으로 늘려가세요.
- 귀하의 연령에 맞는 '국제 신체활동 지침' 을 따르십시오(www.who.int/dietphysicalactivity/en/).
- 건강 및 체력 평가에 참여할 수 있습니다.
- 만약 당신이 45세 이상이고 규칙적인 고강도에서 최대 강도로 운동하는 것이 익숙하지 않다면 이러한 강도로 운동에 참여하기 전에 검증된 운동전문가와 상의하세요.
- 또 다른 질문이 있다면, 검증된 운동전문가와 상의하세요.

참여자 선언

만약 당신이 동의를 위해 필요한 법적 연령보다 어리거나 보호자, 부모, 담당 의료인의 동의가 필요한 경우 반드시 이 양식에 서명해야 합니다.

아래에 서명한 나는 이 설문지를 읽고, 충분히 이해했으며 작성하였습니다. 본인은 이 신체활동에 대한 허가가 완료일로부터 최대 12개월동안 유효하며, 나의 상태가 변경되면 무효가 된다는 것을 인정합니다. 또한 기록을 위하여 지역사회/피트니스 센터, 건강관리전문가 또는 지정기관이 본 양식의 사본을 보관할 수 있음을 인정합니다. 이러한 경우, 적용가능한 법에 준수하며, 기밀 유지되어야 할 것입니다.

성명 _____ 날짜 _____

사인 _____ 증인 _____

부모님 / 보호자 / 담당 의료인의 서명 _____

위의 모든 질문에 하나 또는 그 이상 "예" 라고 대답했다면, 2와 3페이지를 작성하세요.

다음과 같은 경우, 더 활동적인 것은 지연시킨다:

- 당신이 감기나 열이 나는 것과 같은 일시적인 질병이 있다면, 좋아질 때까지 기다리는 것이 가장 좋다.
- 당신이 임신 중이라면, 더 신체적으로 활동하기 전에 건강관리중사자, 주치의, 검증된 운동전문가 또는 www.eparmdex.com 사이트의 ePARmed-X+ 설문지를 작성하세요.
- 건강상의 변화 - 어떤 신체적인 활동 프로그램을 지속하기전에 이 문서의 2페이지와 3페이지의 질문에 답변하거나 의사 또는 검증된 운동전문가와 상담하십시오.

Copyright © 2019 PAR-Q+ Collaboration 1 / 4

11-01-2018

2. 젖산 음료 파일럿 테스트

인간을 대상으로 젖산을 섭취한 선행 연구가 부족하고 제조과정이 명확히 제시되어 있지 않은 관계로 본 실험에 사용될 젖산 음료의 적정 농도를 설정하기 위해 여러 번의 파일럿테스트를 진행하였다.

젖산을 제조하는데 필요한 용매를 설정하기 위해 식용수 250ml 에 90% 젖산 수용액 1ml 를 첨가하여 섭취하려고 시도하였으나, PH 1.8 가 측정이 되고 신맛이 너무 강한 관계로 섭취가 불가능하다고 판단되었다. 또한, 이후 식용수 250ml 에 동일한 젖산 수용액 200ul 를 첨가하였으나, PH 2.4 가 측정되었고 신맛 또한 동일하였다. 따라서, 향이 있어 신맛을 가려주고 낮은 PH 를 증가시키는 알칼리성 스포츠 음료인, 포카리 스웨트를 용매로 선택하였다.

두 그룹에게 제공되는 실험음료가 모두 포카리 스웨트를 용매로 하였기 때문에 포카리 스웨트의 다른 영양소가 실험에 있어 미치는 영향을 완벽히 제한하지는 못하였다. 그럼에도 불구하고 두 그룹에게 제공되는 음료의 차이는 오직 포카리 스웨트에 총 용량의 1/1000 양의 젖산수용액 첨가 유무이므로 포카리 스웨트의 다른 영양소가 두그룹에 미치는 영향이 크게 다르지 않을 것으로 판단했다.

실험 2 개월전 본 실험의 처치 음료의 섭취가 혈중 젖산 증가를 유도할 수 있는지 확인하기 위해 파일럿 테스트를 실시한 결과는 부록 2-1, 2-2 와 같다. 건강한 성인 남성 2 명과 여성 1 명, 총 3 명의 피험자가 실험음료를 점심식사 후 2 시간 뒤 섭취한 결과, 부록 2-1 과 같이 섭취 전보다 섭취 후 10 분에 혈중 젖산이 두배 가량 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

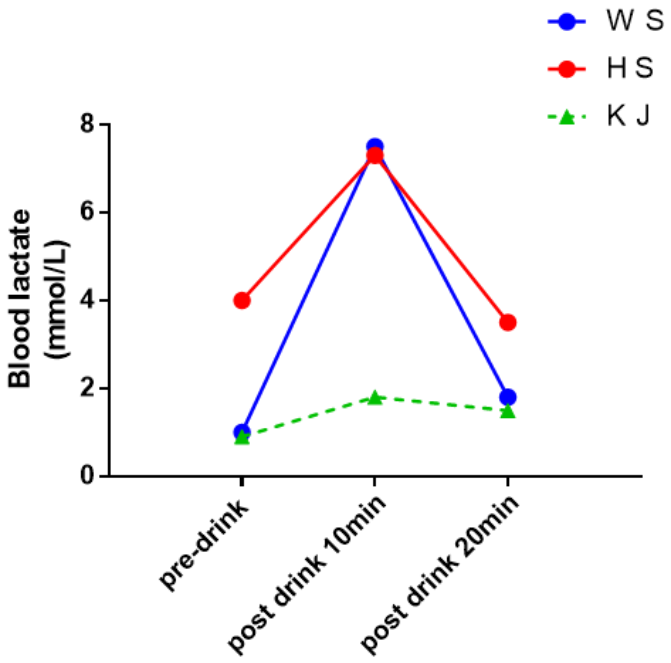
이후, 포카리 스웨트만으로 혈중 젖산 수치가 증가하는지 확인하기 위해 부록 2-1 에서 진행된 파일럿 테스트 피험자 남성 1 명에게 포카리 스웨트를 340ml 를 섭취시킨 후 섭취 전, 섭취 10 분 후, 20 분 후에 혈중 젖산 수치를

확인하였다. 그 결과 혈중 젖산 수치는 유의한 변화가 없는 것으로 판단하여 본 연구의 실험음료의 섭취 타이밍을 운동 후 10분으로 설정하고 젖산의 농도를 0.1%로 설정하였다.

부록 2-1. 2019.06.28 포카리 스웨트(340ml) + 88% 젖산수용액 200ul 첨가한 실험음료 섭취 후 혈중 젖산 측정

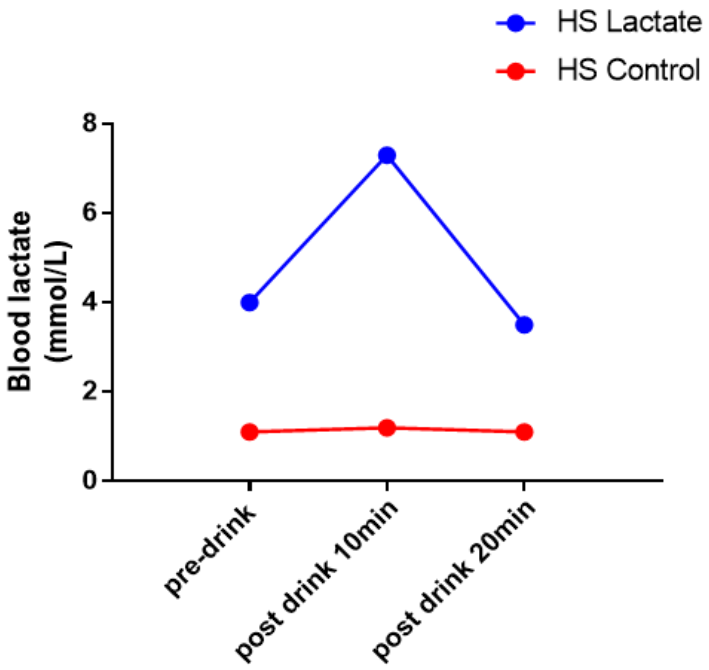
구 분	H S	W S	KJ
연 령 (만 세)	27	26	24
신 장 (cm)	170	172	165
체 중 (kg)	72	72	55
B M I (kg/m2)	24.91	24.33	20.20

구 분	섭취 전 혈 중 젖 산 (mmol / L)	섭취 후 10분 혈 중 젖 산 (mmol / L)	섭취 후 20분 혈 중 젖 산 (mmol / L)
H S	4	7.3	3.5
W S	1	7.5	1.8
K J	0.9	1.8	1.5



부록 2-2. 2019 년 8 월 6 월에 진행되었던 실험의 H S 피험자에게 이전 음료와 다르게 포카리 스웨트(340ml)만 제공 후 혈중 젖산 변화 비교

구 분	섭취 전 혈 중 젖 산 (mmol / L)	섭취 후 10 분 혈 중 젖 산 (mmol / L)	섭취 후 20 분 혈 중 젖 산 (mmol / L)
H S Lactate	4	7.3	3.5
H S Control	1.1	1.2	1.1



성인 남성의 젖산 섭취가 반복된 고강도 인터벌 운동 후의 집행기능 유지에 미치는 영향

지도 교수 문 효 열

이 논문을 체육학석사 학위논문으로 제출함
2020 년 2 월

서울대학교 대학원
체육교육과
조 해 성

조해성의 체육학석사 학위논문을 인준함
2020 년 2 월

위 원 장 김 연 수 (인)

부위원장 송 욱 (인)

위 원 문 효 열 (인)