

## 젖산염의 섭취가 육상 선수의 장시간 달리기 운동수행력에 미치는 영향

### The effect of polylactate ingestion on exercise performance in elite distance runners

허성훈(대구대학교 강사) · 안경준(대구대학교 강사) · 김윤미(대구대학교 강사) · 권영우(영남대학교 강사) 이종삼\*(대구대학교 교수)

Sung-Hoon Hur *Daegu Univ.* Kyung-Jun An *Daegu Univ.* Yoon-Mi Kim *Daegu Univ.* Yeung-Woo Kwon *Yeungnam Univ.* Jong-Sam Lee\* *Daegu Univ.*

#### 요약

본 연구의 목적은 육상 선수를 대상으로 젖산염의 섭취에 따라 혈중 생리적 지표와 운동수행력에 미치는 효과를 규명하여 운동 선수들의 경기력 향상에 기초 자료를 제공함에 있다. 대구 소재 D대학교의 재학중인 중-장거리 육상 선수 총6(남 5, 여 1)명을 선정하였다. 실험 절차는 총 4회(음료를 섭취하지 않은 조건, No drink; 물을 섭취한 경우, Water; 이온 음료, Ion fluid; 젖산염이 함유된 음료, Polylactate)의 실험에 참가하였으며, 운동 강도 적용은 Karvonen et al.(1957)의 예비심박수 산출 공식을 이용해 예비심박수의 65, 85, 90%에 해당되는 목표 심박수를 적용해 산출하였다. 음료의 섭취는 총 8회(운동 전 -30, -5분, 운동 중 15, 30, 45, 60, 75, 90분)에 걸쳐 이루어졌으며, 혈액 표본 채집 및 생리적 변인의 측정은 총 4회(-40, -5, 90분, All-out) 채집하여 분석한 결과, 첫째, 장시간 달리기 운동 중 음료 섭취에 따른 혈중 생리적 지표(glucose, lactate, pH,  $\text{HCO}_3^-$ )의 유의한 변화를 나타내지 못했다. 둘째, 장시간 달리기 운동 중 음료 섭취에 따른 운동수행력(time to exhaustion)을 분석한 결과, 장시간 달리기 운동 중 음료 섭취 형태에 따른 운동수행력은 음료를 섭취하지 않은 조건(ND:  $12.4 \pm 8.7$ 분), 물을 섭취한 경우(Water:  $21.8 \pm 1.1$ 분), (PS:  $28.2 \pm 12.5$ 분), 젖산염이 함유된 음료(CM:  $36.7 \pm 7.6$ 분) 순으로 운동 수행 시간이 향상된 것으로 나타났으나 젖산염이 함유된 음료는 이온 음료와 비교해 유의한 기록의 향상은 나타나지 않았다.

#### Abstract

This study aims to find out the effect of polylactate ingestion on physiological indices exercise performance in elite distance runners. Six (5 male and 1 female) elite distance runners (age:  $21.3 \pm 0.7$  years, height:  $168.0 \pm 7.1$  cm, body weight:  $55.1 \pm 7.8$  kg,  $\text{VO}_{2\text{max}}$ :  $66.6 \pm 3.3$  mL · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>) volunteered for this study. In a single blind and random cross over design, subjects participated separated 4 trials; No Drink (ND), Water, PS (ion fluid), CM (polylactate). Blood sample were collected during the four phases of treadmill exercise; rest exercise (-40 min), before exercise (-5 min), after exercise (90 min) and all-out. Runners performed continuous exercise with ingestion of drink (ND, Water, PS, CM) at 65% of THR (target heart rate) for 90 minutes followed by 85% of THR with 5° for 20 minutes (if completed 85% running performance then applied 90% of THR with 5°) until volitional time to exhaustion (TTE). There were no differences between the conditions for any physiological indices. Running TTE increased for CM compared to between ND and Water trials ( $12.41 \pm 5.60$  min and  $21.82 \pm 0.69$  min, respectively). However, time to exhaustion did not differ between both conditions ( $28.22 \pm 8.06$  and  $32.09 \pm 9.90$  minutes for PS and CM). This study demonstrated that ingestion of polylactate does not sufficiently large to improve extracellular buffering capacity and endurance exercise performance.

Key words : polylactate, endurance, performance

## I. 서론

장시간 격렬한 지구성 운동은 생리학적 불균형(세포 내 산-염기 균형과 완충 역량, 저혈당증, 내인적 에너지 저장, 체액과 전해질 손실)을 일으켜 운동 수행력을 저하시킨다(Lancha Jr et al., 2015; Coyle, 2004). 이러한 이유로 운동 선수들은 운동 역량의 최적화를 위해서 에너지 기질의 재보충을 권고받는다.

지구성 운동 수행력을 향상시키는 기전은 다양하지만 그 중 주요한 전략은 탄수화물을 섭취해 혈중 글루코스 농도를 유지하고 탄수화물 산화를 증가시키는 것이다(Pfeiffer et al., 2010; Stellingwerff et al., 2013; Close et al., 2016). Jeukendrup(2004)은 glucose와 fructose가 혼합된 6-8%의 스포츠 음료는 위장관의 흡수를 증진하고, 탄수화물 산화 능력을 증가시켜 지구성 운동 수행력을 향상시킬 수 있다고 하였다. 이에 대부분의 스포츠 음료들은 복합적인 탄수화물의 조합으로 구성되어 왔으나, 소수의 연구자들은 에너지원으로 젖산염의 효과에 대해 연구하였다(Fahey et al., 1991; Swensen et al., 1994; Azevedo et al., 2007). 이에 대한 기전은 운동 중 탄수화물 대사(당신생 전구체)와 젖산 서들이다(Brooks, 1985).

운동 시 탄수화물 에너지는 혈중 젖산으로부터 1/3이 파생되며, 젖산 주입(infusion)은 젖산 산화를 유의하게 증가시키는데 이는 운동 수행근 내의 글리코겐 절약(glycogen sparing)효과를 나타낼 수 있다고 하였다(Emhoff et al., 2013).

이와 함께, 젖산염의 섭취는 혈중 산-염기 완충제인 중탄산염( $\text{HCO}_3^-$ )의 농도를 증가시킬 수 있다. 즉, 젖산이 글루코스로 전환 시( $2\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) 또는 근육에 축적된 젖산이 이산화탄소로 산화 시( $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^- + 3\text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ )  $\text{H}^+$ 가 소모되면 중탄산염의 저하를 감소시켜 혈중 중탄산염의 농도를 유지할 수 있다(Morris et al., 2016).

이러한 이론적 근거를 바탕으로 Fahey 등(1991)은 5명의 사이클 선수를 대상으로 polylactate(80% polylactate, 20% sodium lactate)와 glucose polymer(multidextrin)를 운동 전 5분, 운동 중 20분 마다 섭취하게 한 후,  $\text{VO}_2\text{max}$ 의 50%로 180분 동안 사이클 운동시의 생리적 변화를 관찰한 결과, polylactate 음료의 섭취 시 혈중 글루코스 유지와 혈중 완충 작용으로 지구력 향상에 기여할 수 있음을 보고하였다.

Swensen 등(1994)은 사이클 선수 5명을 대상으로 하여, glucose polymer 수용액(7% 용액; 체중당 0.3g의 탄수화물)과 glucose polymer(6.25g) + polylactate(0.75g)를 100ml에 함유시켜 운동 중 매 20분 섭취토록 한 후,  $\text{VO}_2\text{max}$  70%에서 지칠 때 까지 사이클 운동 시, 생리적 지표(FFA, glucose, glycerol, insulin, lactate, pH)는 유의한 차이를 나타나지 않았으며, glucose polymer 섭취와 비교하여 생리적 또는 수행력에 있어 주목할 만한 이점이 없었다고 보고하였다.

Azevedo 등(2007)은 6명의 사이클 선수를 대상으로  $\text{VO}_2\text{peak}$  62%에서 90분 동안 지속적인 운동을 수행한 후,  $\text{VO}_2\text{peak}$  86%의

고강도로 스스로 지칠 때 까지 운동을 수행하게 하였다. 피험자들은 운동 2분 전과 90분 운동을 수행하는 동안 매 15분 마다 cytomax(lactate-polymer, fructose, glucose and glucose polymer) 스포츠 음료를 섭취한 후 동위원소 표식 방법(isotope tracer)을 사용하여 기질 산화 유형에 관한 연구를 보고하였다. 연구 결과, fructose 또는 glucose 보다 lactate가 보다 더 신속히 에너지 기질로서 사용되어지며, 운동수행력(TTE, time to exhaustion)의 향상을 보고하였다.

이와 같이, 현재까지 운동 중 외인적인 젖산염의 섭취에 대한 잠재적인 효능을 평가한 연구는 Fahey 등(1991), Swensen 등(1994), Azevedo 등(2007)의 연구가 제한적으로 보고되어 젖산염의 잠재적인 효험에 대해 종합적인 결론을 이끌어 내기에는 쉽지 않다고 할 수 있다. 또한, 보고된 연구 모두 사이클 운동을 적용한 결과이므로 다양한 운동 형태를 적용한 연구 결과와 비교할 필요성이 있다.

이에 본 연구에서는 달리기 운동은 사이클 운동과 비교해 근육 동원의 패턴과 에너지 대사가 다르게 나타난다는 점을 고려하여(Millet et al., 2009), 달리기 운동 시 젖산염(polylactate) 섭취에 따른 혈중 생리학적 지표 및 운동수행력에 미치는 효과를 규명하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상 및 최대산소 섭취량 테스트

본 연구를 위해 경북소재 D대학에 재학중인 중-장거리 육상선수 총 6남 5, 여 1)명을 선정하였다. 모든 실험 참가에 앞서 피험자들에게 카페인, 알코올, 및 자극적인 음식의 섭취를 금하도록 하였으며 실험 참가 전날 밤 10시 이후부터는 적당량의 물을 제외한 여타 어떠한 영양소가 함유된 음식 및 수분의 섭취를 제한하였다.

모든 실험 절차는 생명윤리위원회의 승인을 받았다(1040621-201411-HRBR-032-02). 실험 참가 전 피험자의 신체적 특성 및 최대 유산소 역량을 파악하기 위하여 체성분 분석기(X-SCAN plus II, Jawon Medical, Korea)를 사용해 키, 몸무게, 및 체지방률 등을 측정하였으며, PAR O medics gas analyzer(Sandy, Utah, U.S.A)를 사용해 최대산소섭취량을 측정하였다. 피험자의 신체적 특성을 아래의 <Table 1>에 나타내었다.

Table 1. Characteristics of the subjects

	Mean±SD
Age (yr)	21.3±0.7
Height (cm)	168.0±7.1
Body weight (kg)	55.1±7.8
Body Fat (%)	13.4±1.1
$\text{VO}_2\text{max}$ ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	66.6±3.3

## 2. 연구내용 및 절차

모든 피험자는 실험 시작 최소 일주일 전까지 점증적으로 운동 강도가 증가하는 Bruce protocol(Bruce et al., 1963)을 이용해 최대 산소섭취량 테스트를 수행하였으며 본 실험에 적용된 운동 강도의 산출은 Karvonen et al., (1957)의 예비심박수 산출 공식을 이용해 예비심박수의 65, 85, 90%에 해당하는 목표 심박수(THR, target heart rate)를 적용해 산출하였다. 이 후, 총 4회의 실험에 참가하였으며 각각의 실험 시 6일간의 wash-out 기간을 설정해 7일째 계획된 실험에 참여할 수 있도록 하였다. 모든 실험의 참가 시 실험 참가 최소 24시간 동안 심한 훈련에 참여 하지 못하게 하였으며 흡연, 음주 및 카페인의 섭취도 제한시켰다. 피험자는 또한 최소 7 시간 이상의 충분한 수면을 취한 후 실험에 참가하도록 하였으며 실험 전날 밤 10시 이후 물을 제외한 음식물의 섭취를 제한해 공복 상태에서 테스트에 임할 수 있도록 통제하였다. 실험 시작 시간을 항상 동일하게 설정하여 오전 6시에 시작되도록 하였다.

피험자가 실험실에 도착하면 가벼운 운동 복장을 제외한 신발과 양말을 벗게 한 후 체중을 측정하였으며 무선심박수 측정계(Polar S610; Polar Electro Oy, Finland)를 착용시킨 후 편안하게 의자에 앉은 상태로 5~10분 경과 후 안정시 심박수를 측정한 후 안정시 체혈을 실시하였다. 이 후, 첫 번째 음료를 제공해 섭취토록 했으며 진공채혈관을 이용한 채혈(음료제공 후 -5분에 실시)이 끝난 직후인 운동시작 전 3분에 두 번째 음료를 섭취케 하였다. 음료 섭취 후 충분한 워업 시간을 부여한 후 THR의 65%의 운동 강도로 운동을 시작하였다. 실제적인 항정상태의 운동 강도에 도달하기까지 2~3분의 전이국면을 거칠 수 있도록 하여 운동시작 초기에 경험할 수 있는 운동 강도의 상승에 따른 심혈관계 및 근육 조직의 부적응 현상을 최소화시켰다. THR의 65%(경사도 0°)의 강도에 도달한 후 스톱워치(stopwatch)를 작동시켜 90분간 운동을 수행하도록 하였다. 운동시작 후 매 15분마다 총 6회에 걸쳐 개인의 체중을 고려해 계산된 양의 음료가 제공되도록 하였다. 90분의 운동이 종료되면 운동 강도를 THR의 85%(경사도 5°)로 증가시켜 20분간 운동을 수행케 함으로써 근육 내 남아있는 글리코젠의 고갈을 유도하였으며 이 후 운동 강도를 THR의 90%(경사도 5°)까

지 증가시켜 지쳐 더 이상 운동을 지속할 수 없을 때까지(TTE, time to exhaustion) 운동을 수행하게 하였다.

실험자는 피험자가 발휘할 수 있는 운동 수행력을 최대한 이끌어 내기 위해 운동 중 피험자에게 지속적으로 구두 격려하였으며 피험자가 트레드밀 속도를 따라가지 못해 운동을 중단할 수밖에 없는 상태까지 운동을 지속시켜 완전한 탈진 상태를 유도하였다. 운동 수행 중 무선 심박수 측정계를 이용해 지속적으로 심박수의 변화를 관찰하였으며 매 30초 마다 심박수가 저장되도록 하였다. 예비심박수를 이용해 설정된 목표심박수에서  $\pm 5$  bpm를 벗어나지 않도록 트레드밀 속도를 조절하였다. 실험 중 어떠한 경우에도 피험자에게 섭취 음료의 종류 및 기대되는 효과 등 일체의 정보도 제공하지 않았으며 음료의 색을 식별할 수 없도록 투명하지 않은 플라스틱 용기를 사용해 음료를 제공하였다. 전체적인 실험 절차는 <Figure 1>에 나타내었다.

## 3. 음료 섭취 프로토콜

음료 섭취량은 운동 중 일반 스포츠 음료 섭취시 권장되는 양(70kg 체중의 성인 기준 매 15분마다 200mL)을 기준으로 설정하여(Lambert et al., 1996) 체중 1kg당 2.86mL의 음료가 섭취되도록 하였다. 운동 중 서로 다른 수분의 섭취에 따른 효과를 테스트하기 위해 젖산염을 함유한 음료(CM, cytomax powder, cool citrus, USA), 이온 음료(PS, Pocari sweat, Otsuka Pharmaceutical Co., Ltd), 젖산 및 이온이 함유되어 있지 않은 정수된 물(Water, Water + L-Aspartame, ACROS), 및 운동 중 음료 섭취를 제한한 경우(ND, No treatment) 동일한 피험자를 사용해 crossover design을 이용하였으며 피험자에게는 음료의 종류를 알리지 않고 실험자만이 음료의 종류와 제공 순서를 알도록 하는 무작위 단일맹검법(single blinded and randomized order)을 사용하였다.

실험에 사용된 음료 간 맛을 식별하지 못하도록 아스파탐(L-Aspartame L-phenylalanine methyl, ACROS)을 첨가해 무열량의 단맛이 나도록 하였다. 음료의 섭취는 총 8회(운동 전 2회, 운동 중 6회) 섭취하도록 하였다.

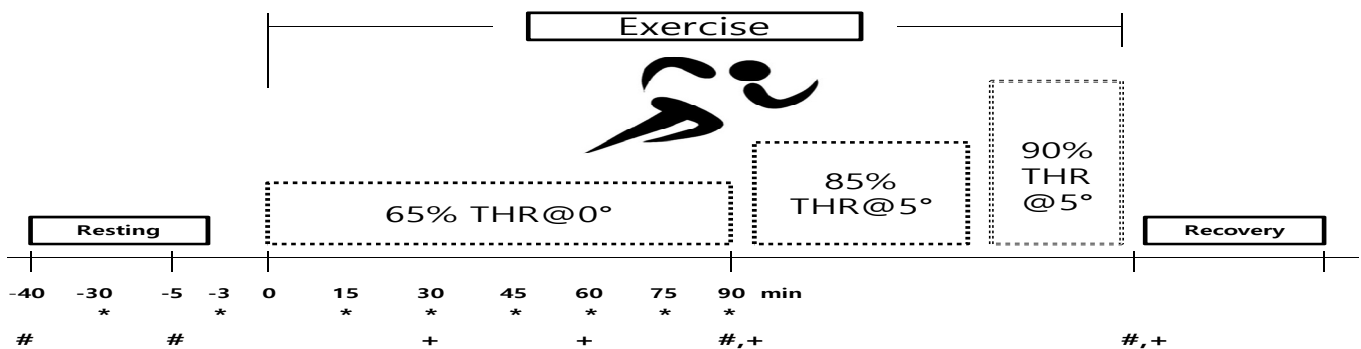


Fig 1. Description of the experimental protocol. Runners performed continuous exercise with ingestion of drink (ND, Water, PS, CM) at 65% of THR (target heart rate) for 90 minutes followed by 85% of THR with 5° for 20 minutes (if completed 85% running performance then applied 90% of THR with 5°) until volitional fatigue.  
#: Ingestion of drink, +: Blood Sampling, \*: Finger tip checker

#### 4. 혈액 표본 채집 및 생리적 변인의 측정

모든 채혈은 전완 정맥을 통해 이루어졌으며 각 실험 시 총 4회(운동시작 전 40분, 운동시작 전 5분, 운동시작 90분 후, 운동 종료 직후[All-out])에 걸쳐 진공채혈관을 이용해 총 15mL씩 채혈하였다.

채집된 혈액은 Nova Biomedical(Waltham, MA, USA) 분석기를 이용해 pH, glucose, lactate, 중탄산염( $\text{HCO}_3^-$ ) 농도를 분석하는데 사용하였다.

이와 함께, 운동 중 젖산과 글루코스의 변화를 지속적으로 관찰하기 위해 총 4회에 걸쳐 finger tip 방법을 이용해 혈액 표본을 채취하였다. 채취 시간은 운동시작 후 30분, 60분, 90분, 지쳐 더 이상 운동을 지속할 수 없는 상태로 설정하였으며 Accucheck - sensor(USA, Indianapolis, 글루코스) 및 Lactate Pro(JAPAN, KYOTO, 젖산)를 이용해 혈중 농도 변화를 측정하였다.

#### 5. 자료처리 및 평가방법

본 연구를 수집된 모든 자료는 Windows용 SPSS(Ver. 18.0)을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 서로 다른 음료 섭취에 따른 혈중 각 변인에 대한 이원변량분석(음료 vs 시간)을 이용해 요인 간 상호작용 효과를 분석했으며 유의한 상호작용을 나타내지 않을 시 각 요인에 대해 주효과 검증을 실시하였다. 통계적으로 유의한 차를 보이는 결과에 대해 Tukey의 사후검정을 실시하였다.

서로 다른 음료 섭취에 따른 운동수행력의 차이는 반복 측정분산분석을 이용해 분석하였다. 모든 자료에 대한 통계적 유의수준을  $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

### III. 연구결과

#### 1. 음료 처치에 따른 심박수의 변화

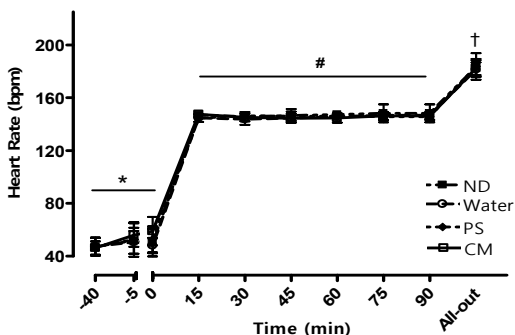


Fig 2. Time course of heart rate running at 65% target heart rate (THR) for 90 minutes followed by exercise to exhaustion at 85% of THR with 5° during each trials.

Data are means  $\pm$  SD. No difference existed between drinks.

\*Significantly different from 15 min ~90 min & All-out ( $P<.001$ ).

†Significantly different from -40, -5 min & All-out ( $P<.001$ ).

‡Significantly different from -40, -5 min 15 min ~90 min ( $P<.001$ ).

음료 처치에 따른 심박수의 변화를 살핀 결과, 음료 섭취와 운동 시간에 따른 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았으나, 운동 시간에 따른 주효과 검증에서 유의한 차이가 나타났다( $P<.001$ ).

안정시 평균 심박수는  $47.0 \pm 4.6$  bpm를 나타냈으며 THR 65% 운동 구간에서는 145 bpm를 THR 85% 구간에서는  $182 \pm 5.3$  bpm를 나타냈다.

#### 2. 음료 처치에 따른 혈중 글루코스, 젖산 농도의 변화

음료 처치에 따른 혈중 글루코스 농도를 살핀 결과, 음료 처치와 운동 시간에 따른 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았으나, 음료 처치와 운동 시간의 주효과 검증은 유의한 차이를 나타냈다( $P<.001$ ).

글루코스는 탄수화물이 함유된 음료(PS & CM)가 탄수화물이 함유되지 않은(ND & Water) 처치 보다 높은 수치를 나타냈으며, 운동 종료 시에는  $7.28 \pm 1.06 \sim 7.91 \pm 1.76$  mmol/L<sup>-1</sup>를 나타내 안정 시와 THR 65% 운동 구간과 비교해 유의하게 증가하는 양상을 나타냈다( $P<.001$ ).

젖산의 농도는 THR 65%의 90분 동안의 운동 구간에서는  $2.2 \sim 2.7$  mmol/L<sup>-1</sup>를 유지하였으며 운동 종료 시에는  $7.2 \pm 2.3 \sim 9.2 \pm 5.4$  mmol/L<sup>-1</sup>를 나타내 안정시와 THR 65% 운동 구간과 비교해 유의하게 증가하는 양상을 나타냈다( $P<.001$ ).

#### 3. 음료 처치에 따른 혈중 pH, $\text{HCO}_3^-$ 농도의 변화

음료 처치에 따른 혈중 pH 살핀 결과, 음료 처치와 운동 시간에 따른 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았으나, 주효과 검증을 실시한 결과, 운동 시간에 따른 유의한 차이는 나타났다( $P<.001$ ). 음료 처치와 운동 시간의 주효과 검증은 유의한 차이를 나타냈다( $P<.001$ ).

pH는 7.38 ~ 7.45를 유지하는 양상을 나타냈다.  $\text{HCO}_3^-$  농도의 변화는 음료 처치와 운동 시간에 따른 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 주효과 검증을 실시한 결과에서는 음료 처치( $P<.05$ )와 운동 시간( $P<.001$ )에 따른 유의한 차를 나타냈다.

$\text{HCO}_3^-$  농도는 THR 65%의 90분 운동 구간에서는  $>30$  mmol/L<sup>-1</sup>을 유지하였으나, THR 85%의 운동 후 All-out 시에는  $<27$  mmol/L<sup>-1</sup>로 감소되는 경향을 나타냈다.

#### 4. 음료 처치에 따른 달리기 운동수행력 결과

음료 처치에 따른 운동수행력(Time to exhaustion, TTE)을 분석한 결과, 무섭취 그룹(ND:  $12.4 \pm 8.7$ 분)과 비교해 물을 섭취한 그룹(Water:  $21.8 \pm 1.1$ 분)에서 TTE의 향상이 나타났다( $P<.05$ ).

젖산염을 섭취한 그룹은 물을 섭취한 그룹과 비교해 TTE의 향상이 나타났으나, 이온 음료(PS:  $28.2 \pm 12.5$ 분) 그룹과 비교해 젖산염이 함유된 음료(CM:  $36.7 \pm 7.6$ 분)를 비교한 결과에서는 TTE의 유의한 차이가 나타나지 않았다.

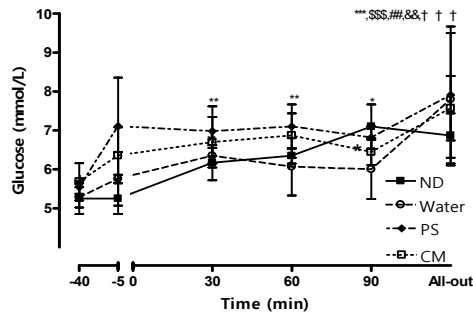


Fig 3. Time course of glucose concentration running at 65% target heart rate (THR) for 90 minutes followed by exercise to exhaustion at 85% of THR with 5° during each trials. Data are means  $\pm$  SD. \*Significantly different from P40 min, \*\*Significantly different from P5 min, \*\*\*Significantly different from P40 (\*\*\* $p < .001$ ); P5 ( $p < .001$ ); E90 ( $p < .001$ ); E60 ( $p < .01$ ); E90 ( $p < .001$ ).

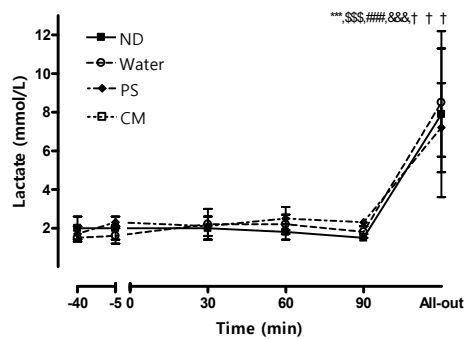


Fig 4. Time course of lactate concentration running at 65% target heart rate (THR) for 90 minutes followed by exercise to exhaustion at 85% of THR with 5° during each trials. Data are means  $\pm$  SD. \*Significantly different from n, P40 (\*\*\* $p < .001$ ); P5 ( $p < .001$ ); E90 ( $p < .001$ ); E60 ( $p < .01$ ); E90 ( $p < .001$ ).

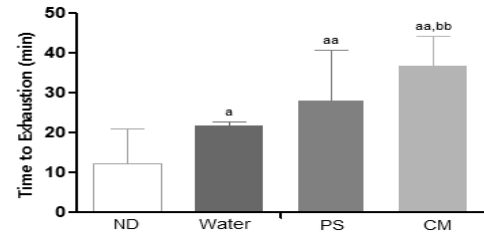


Fig 5. Time to volitional exhaustion running at 65% target heart rate for 90 minutes followed by exercise to exhaustion at 85% of THR with 5° during each trials. Bars represent the mean  $\pm$  SD. <sup>a</sup>Significantly different from ND( $P < .05$ ), <sup>aa</sup>Significantly different from ND( $P < .05$ ), <sup>bb</sup>Significantly different from Water( $P < .01$ ).

## IV. 논의

본 연구는 달리기 선수를 대상으로 음료(음료를 섭취하지 않은 조건, 물을 섭취하는 경우, 이온 음료, 젖산염이 함유된 음료)의 섭취의 조건에 따라 혈중 생리학적 지표와 운동수행력에 미치는 효과를 규명하고자 하였다.

본 연구에서  $VO_{2max}$  65%의 90분 운동 동안에는 이온 음료(PS)와 젖산염이 함유된(CM)음료를 섭취한 경우 혈중 글루코스 농도의 변화를 살펴보면, 운동 강도가 유사한 Azevedo(2007)의 연구와 비슷한 양상을 나타내었다. 하지만 운동 중 젖산염의 섭취에 관한 연구를 수행한 Fahey 등(1991)과 Swensen 등(1994)의 연구 결과에서는 혈중 글루코스가 운동이 종료되는 시점에서 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만 본 연구에서는 All-out 시점에서 혈중

Table 2. Blood pH, bicarbonate response running at 65% target heart rate for 90 minutes followed by exercise to exhaustion at 85% of THR with 5° during each trials.

		TIME				Main effect (Fluid type)	Fluid type	Time	Fluid type * Time
		P40	P5	E90	All-out				
pH	ND	7.39 $\pm$ 0.02	7.39 $\pm$ 0.02	7.34 $\pm$ 0.13	7.34 $\pm$ 0.08	7.40 $\pm$ 0.08	.053	.000	.510
	Water	7.40 $\pm$ 0.01	7.42 $\pm$ 0.01	7.40 $\pm$ 0.03	7.43 $\pm$ 0.04 <sup>##</sup>	7.43 $\pm$ 0.04			
	PS	7.38 $\pm$ 0.04 <sup>##</sup>	7.38 $\pm$ 0.04 <sup>b,##</sup>	7.41 $\pm$ 0.11	7.41 $\pm$ 0.07	7.41 $\pm$ 0.07			
	CM	7.40 $\pm$ 0.02 <sup>##</sup>	7.47 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	7.43 $\pm$ 0.11	7.45 $\pm$ 0.08 <sup>cc</sup>	7.45 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>			
	Main effect (Time)	7.39 $\pm$ 0.02 <sup>###</sup>	7.42 $\pm$ 0.05 <sup>###</sup>	7.40 $\pm$ 0.10	7.42 $\pm$ 0.07 <sup>###</sup>				
$HCO_3^-$ (mmol/L)	ND	33.7 $\pm$ 1.6 <sup>bb,##,##</sup>	33.7 $\pm$ 1.6 <sup>##,##</sup>	31.7 $\pm$ 1.4 <sup>cc,##</sup>	24.0 $\pm$ 3.4 <sup>b</sup>	30.8 $\pm$ 4.6	.019	.000	.317
	Water	36.5 $\pm$ 0.9	35.0 $\pm$ 1.9 <sup>a,*</sup>	31.5 $\pm$ 1.6 <sup>cc,***,SSS</sup>	26.5 $\pm$ 3.0 <sup>*,SS</sup>	32.4 $\pm$ 4.4 <sup>c</sup>			
	PS	31.6 $\pm$ 4.3 <sup>b</sup>	34.0 $\pm$ 8.8	27.4 $\pm$ 2.1 <sup>*</sup>	25.4 $\pm$ 4.6	29.6 $\pm$ 6.2			
	CM	36.4 $\pm$ 2.7	32.7 $\pm$ 2.4 <sup>*</sup>	32.3 $\pm$ 2.4 <sup>*,**</sup>	27.9 $\pm$ 4.4 <sup>*,#</sup>	32.3 $\pm$ 4.2 <sup>c</sup>			
	Main effect (Time)	34.5 $\pm$ 3.3 <sup>###,SSS</sup>	33.8 $\pm$ 4.5 <sup>###,SSS</sup>	30.7 $\pm$ 2.7 <sup>SSS</sup>	25.9 $\pm$ 3.9				

Values were expressed by mean  $\pm$  SD. P40, Pre-exercise 40 minutes; P5, Pre-exercise 5minutes; E90, Exercise 90minutes; All-out, after time to exhaustion; ND, no fluid was provided throughout the exercise time; Water, deionized water was provided throughout the exercise time; PS, ion fluid was provided throughout the exercise time; CM, lactate contained fluid was provided throughout the exercise time; Significant difference to P40( $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ ); Significant difference to P5( $p < .01$ , <sup>SSS</sup> $p < .001$ ); Significant difference to E90( $p < .05$ , <sup>##</sup> $p < .01$ ); Significant difference to All-out( $p < .01$ , <sup>SSS</sup> $p < .001$ ); Significant difference to ND( $p < .05$ ); Significant difference to  $H_2O$ ( $p < .05$ , <sup>bb</sup> $p < .01$ ); Significant difference to PS( $p < .05$ , <sup>cc</sup> $p < .01$ ).

글루코스 농도는 90분 운동시와 유의한 차이는 없었지만 다소 증가하였다. 이는 장시간 운동 시 적용된 운동 강도의 차이에서 기인된 것으로 생각된다. 즉, 선행 연구(Fahey et al., 1991; Swensen et al., 1994)의 연구에서 설정한 운동 강도는  $VO_{2max}$ 의 50%~70%의 운동 강도를 적용하였으나, 본 연구에서는 실제 경기 중 스포린트 구간을 가정해 고강도[THR 85~90%(경사도 5°)] 운동 구간을 설정해 적용하였다. 따라서 본 연구에서 All-out 시점에서 THR 85%~90%의 수준에서 운동이 수행되었음을 고려해 볼 때, 본 연구의 All-out 시점에서 혈중 글루코스가 다소 증가한 것은 속근 섬유유의 사용(Gollnick, 1985)과 혈중 에피네프린의 수준의 증가에 따른 인슐린 방출의 감소로 인해 글리코겐 포스포릴라제(glycogen phosphorylase)를 자극하여 간과 활동근에서 글리코겐의 분해가 증가된 것으로 생각된다(McArdle et al., 2005).

장시간 달리기 운동 중 음료 섭취 형태에 따른 혈중 Lactate 농도의 변화는 음료와 시간의 상호작용에 유의한 차가 나타나지 않았으며, All-out과 운동 시간의 흐름에 따라(-40분, -5분, +90분) 유의한 차이를 나타내었다( $P < .001$ ). 본 연구 결과를 살펴보면, 혈중 lactate 농도의 변화는 THR 65%에서 90분 운동 수행이 이루어지는 동안 혈중 lactate 농도는 1.5~2.5mM 사이에서 유지 되었으며, All-out시에 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 연구 결과는 운동 강도 측면( $VO_{2peak}$ 의 62%)에서 유사하게 이루어진 Azevedo 등(2007)의 결과와 유사한 경향을 보였다. Brooks 등(1986)은 운동 강도와 젖산 농도와의 관계에 대해 젖산은 산소와는 관계 없이 당분해 과정의 흐름에 의해 휴식과 운동 중에 생성되며 운동 중에는 강도에 비례하여 젖산 생성물이 증가하지만  $VO_{2max}$ 의 65%에 상응하는 운동 강도 까지는 이용률이 균형을 이루기 때문에 혈중 젖산 농도는 거의 변화가 없다고 보고 하였다.

이와 함께, 또한 생성된 젖산은 휴식과 운동 중 주로 근육과 심장을 포함하는 신체 여러 조직에서 대부분 산화되어 에너지원으로 이용되어지며, 일부는 간에서 글루코스 신생합성의 전구체로서 이용되어져 장시간 운동중 글루코스 생성에 기여함으로써 글루코스 농도를 정상 수치로 유지하도록 도움을 준다고 보고하였다.

엘리트 육상 선수들을 대상으로 장시간 지칠 때까지의 달리기 운동에 따른 혈중 pH와 중탄산염( $HCO_3^-$ )변화에 대해 분석한 결과 pH는 운동 수행 시간에 따라 유의한 변화가 나타났으며,  $HCO_3^-$ 는 음료 처치와 시간에 따른 유의한 상호작용이 나타나지 않았으나 운동 수행 시간에 따라 개별 음료 처치와 시간에 따른 유의한 차이가 나타났다. 일반적으로 운동 강도를 점증적으로 증가하는 운동에서는 동맥혈의 이산화탄소분압과 pH 등이 점차 감소하여 호흡상과 대사성 변화를 초래하여 효율적인 기체 운반과 조직에서의 확산기능을 유도함으로써 적절한 산소운반을 도모하는 것으로 보고되고 있으며(Wanger et al., 1986), 운동 시 생성되는 젖산은 조직에서 방출되는  $H^+$ 의 85%이상 원인이 되며, 젖산의 생성으로 인하여 수소이온 농도 수준이 인체 내 중화능력을 초과한다면 세포 내 pH는 감소하게 된다(Sahlin, 1978). 하지만 본 연구에서는 혈중 pH농도가 무 섭취 경우 운동 90분 후와 All-out상태에서 혈중 pH

농도가 7.4보다 낮게 나타났지만 물, 이온 음료 그리고 젖산염의 섭취를 통해서 혈중 pH농도 7.4수준을 벗어나지 않았다. 이는 음료섭취로 인해 체내 중화 능력에 긍정적인 효과가 있는 것으로 사료된다.

본 연구에서 젖산염의 섭취가 달리기 운동수행력(TTE)을 측정한 결과, 본 연구에서는 무섭취(ND:  $12.4 \pm 8.7$ 분), 물(Water:  $21.8 \pm 1.1$ 분), 이온 음료(PS:  $28.2 \pm 12.5$ 분), 젖산염이 함유된 음료(CM:  $36.7 \pm 7.6$ 분)의 순서로 운동 수행 시간이 향상되었다. 음료를 섭취하지 않은 조건보다 물을 섭취한 경우에서 운동 수행 시간이 증가한 것은 장시간 운동하는 동안 적절한 수분 섭취는 탈수, 체온의 상승, 감소된 혈류 흐름 및 산소 운반 그리고 심혈관계의 스트레스를 최소화시켜 운동 수행의 긍정적인 효과를 나타낸 것으로 생각해 볼 수 있다(Coyle, 2004). 탄수화물이 기본적으로 함유된 두 음료(PS & CM)에서 탄수화물이 함유 섭취가 이루어지지 않은 두 조건(섭취하지 않은 조건, ND; 물을 섭취한 경우, Water)보다 운동 수행 시간이 더 향상 되었다. 이는 장시간 운동시 근 글리코겐과 혈중의 글루코스가 에너지 공급을 위해 골격근에서 산화되며 외인적 글루코스 섭취로 인해 혈중의 글루코스 이용률이 증가되면서 탄수화물 산화의 증가와 피로를 지연의 연구 결과를 나타낸 것으로 생각된다(Coyle, 2004).

이와 함께, 근 글리코겐과 간 글리코겐 및 당원신생합성이 고강도 운동시 주요 원료로 사용 되어지며, 장기간의 운동 중에 저장된 탄수화물의 지속적인 이용은 피로 유발을 지연시키고 운동 수행을 연장시키는 역할을 한다(Coggan & Coyle, 1987). 이와 함께, 체계적인 영양학적 준비가 우수한 선수일지라도 전적으로 최대 운동강도에서 운동할 때 저장된 글리코겐에 의존하게 된다고 하였다(McArdle et al., 2005). 따라서, 혈중 글루코스의 감소의 변화가 나타나지 않았음에도 운동을 지속하지 못했으므로 글리코겐 고갈에 따른 피로의 차이도로 인해 운동수행력의 차이를 나타낸 것으로 생각해 볼 수 있다.

본 연구에서는 젖산염이 함유된 음료(CM)를 섭취한 경우, 이온 음료(PS)의 섭취시 보다 TTE의 유의한 차이를 나타내지 않았으나 TTE 시간이 다소 증가하였다. 따라서, 젖산염이 함유된 음료가 당원신생합성, 혈액 완충작용 효과의 가능성을 생각해 볼 수 있다. Morris 등(2016)은 사이클 선수를 대상으로 calcium lactate 섭취가 혈중  $HCO_3^-$  증가를 통해 고강도 운동수행력을 증가시킬 수 있음을 보고하였다. 하지만, 본 연구에서는 젖산염의 섭취는  $HCO_3^-$ 의 농도의 증가됨을 관찰할 수 없었으나 다른 음료 섭취와 비교해 운동 90분 동안 혈중  $HCO_3^-$ 의 수치가 유지됨을 확인할 수 있었다. 따라서, 젖산염의 섭취가  $HCO_3^-$  농도 유지에 기여해 고강도 운동 수행시 혈중 완충 작용에 일부 기여한 것으로 생각할 수 있으나 운동수행력의 향상을 나타내기에는 부족한 것으로 생각된다.

이와 함께, 본 연구에서 사용한 CM(poly lactate)은 다양한 에너지 기질(succinates, L-arginine)을 함유하고 있어 젖산염의 독립적인 효과인지 다양한 에너지 기질의 추가적인 효과가 나타난 것인지는 명확하지 않은 것으로 판단된다. 즉, succinates은 운동 중 근

글리코겐의 고갈, TCA 순환 흐름의 감소와 피로의 증가에 관여하는 잠재적인 물질이며(Bowtell et al., 2007), L-arginine은 혈관확장, 미토콘드리아 호흡, 근형질세포의  $Ca^{2+}$ 의 처리에 관여해 운동수행력을 향상시키는 것으로 제시된 바 있다(Jones, 2014).

후속 연구에서는 장거리 달리기 선수이지만 개별 훈련 종목에 따른 고강도 트레이닝을 수행하는 방식의 차이를 고려해 고강도 및 스프린트 구간에서의 세포 내 완충역량을 살펴야 할 것으로 생각된다. 즉, 젖산과  $H^+$ 의 생성과 제거, 산화 그리고 에너지 대사에 관여에 주요한 역할을 하는 monocarboxylate 수송체(MCT1 & MCT4)와 더불어  $H^+$ -sensitive chemoreceptors인 acid-sensing ion channels (ASIC)를 탐색하여야 할 것으로 생각된다(Levin & Buck, 2014).

## V. 결론 및 제언

본 연구는 엘리트 육상 선수들을 대상으로 장시간 지칠 때까지의 달리기 운동 중 젖산염 음료의 섭취가 혈중 생리학적 반응과 운동수행력에 미치는 영향을 살펴 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 장시간 달리기 운동 중 음료 섭취 처치에 따른 생리적 지표 변화를 분석한 결과, 음료의 처치와 운동 시간의 혈중 생리적 지표(glucose, lactate, pH,  $HCO_3^-$ )의 유의한 상호작용은 나타나지 않았으나, 운동 시간에 따른 유의한 차이가 나타났다.

둘째, 장시간 달리기 운동 중 음료 섭취에 따른 운동수행력(time to exhaustion)을 분석한 결과, 무섭취(ND:  $12.4 \pm 8.7$ 분), 물(Water:  $21.8 \pm 1.1$ 분), 이온 음료(PS:  $28.2 \pm 12.5$ 분), 젖산염이 함유된 음료(CM:  $36.7 \pm 7.6$ 분) 순으로 운동 수행 시간이 향상된 것으로 나타났으나, 젖산염이 함유된 음료는 이온 음료와 비교해 유의한 기록의 향상은 나타나지 않았다.

## 참고문헌

Azevedo, J.L., Tietz, E., Two-Feathers, T., Paull, J., & Chapman, K. (2007). Lactate, fructose and glucose oxidation profiles in sports drinks and the effect on exercise performance. *PLoS ONE*, 2(9), e927.

Bowtell, J. L., Marwood, S., Bruce, M., Constantin-Teodosiu, D., & Greenhaff, P. L. (2007). Tricarboxylic acid cycle intermediate pool size functional importance for oxidative metabolism in exercising human skeletal muscle. *Sports Medicine*, 37, 1071-1088.

Brooks, G. A. (1985). Lactate: glycolytic end product and oxidative substrate during sustained exercise in mammals - the "lactate shuttle." In Gilles R, (Ed), Circulation, Respiration, and

Metabolism-Current comparative approaches (pp. 208-218). Berlin: Springer-Verlag.

Bruce, R. A., Blackman, J. R., Jones, J. W., & Strait, G. (1963). Exercise testing in adult normal subjects and cardiac patients. *Pediatrics*, 32, 742-756.

Close, G. L., Hamilton, D. L., Philp, A., Burke, L. M., & Morton, J. P. (2016). New strategies in sport nutrition to increase exercise performance. *Free Radical Biology and Medicine*, 98, 144-158.

Coggan, A. R., & Coyle, E. F. (1987). Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *Journal of Applied physiology*, 63(6), 2388-2395.

Coyle, E. F. (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *Journal of Sports Sciences*, 22(1), 39-55.

Emhoff, C. A. W., Messonnier, L. A., Horning, M. A., Fattor, J. A., Carlson, T. J., & Brooks, G. A. (2013). Direct and indirect lactate oxidation in trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology*, 115(6), 829-838.

Fahey, T. D., Larsen, J. D., Brooks, G. A., Colvin, W., Henderson, S., & Lary, D. (1991). The effects of ingesting polylactate or glucose polymer drinks during prolonged exercise. *International Journal of Nutrition*, 1, 249-256.

Jeukendrup, A. E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, 20(7-8), 669-677.

Jones, A. M. (2014). Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Medicine*, 44(1), 35-45.

Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales medicinae experimentalis et biologiae Fenniae*. 33(3), 307-315.

Lambert, G. P., Chang, R. T., Joensen, D., Shi, X., Summers, R. W., Schedl, H. P., & Gisolfi, C. V. (1996). Simultaneous determination of gastric emptying and intestinal

Lancha Junior, A. H., de Salles Painelli, V., Saunders, B., & Artioli, G. G. (2015). Nutritional strategies to modulate intracellular and extracellular buffering capacity during high-intensity exercise. *Sports Medicine*, 45(1), 71-81.

Levin, L. R., & Buck, J. (2014). Physiological roles of acid-base sensor. *Annual Review of Physiology*, 77, 347-362.

Millet, G. P., Vleck, V. E., & Bentley. (2009). Physiological differences between cycling and running: Lessons from triathletes. *Sports Medicine*, 39(3), 179-206.

Morris, D. M., Beloni, R. K., & Roslanova, E. (2016). Metabolic and exercise performance responses to two different oral doses of calcium lactate. *Journal of Sports Nutrition and Therapy*, 1(3), 1-5.

- 
- Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Zaltas, E., Hodgson, A. B., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrate oxidation from a drink during running compared with cycling exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(2), 327-334.
- Sahlin, K. (1978). Intracellular pH and energy metabolism in skeletal muscle of man. With special reference to exercise. *Acta Physiologica Scandinavica Supplementum*, 455, 1-56.
- Swensen, T., Crater, G., Bassett, J. R., & Howley, E. T. (1994). Adding polylactate to a glucose polymer solution does not improve endurance. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 430-434.
- Wagner, P. D., Gale, G. E., Moon, R. E., Torre-Bueno, J. R., Stolp, B. W., & Saltzman, H. A. (1986). Pulmonary gas exchange in humans exercising at sea level and stimulated altitude. *Journal of Applied Physiology*, 61(1), 260-270.