

Original Article

Effects of Passive Warm-up on Flexibility, Exercise Performance, and Lactate Oxidation Rate in Track and Field Athletes

Dohyun Kim, Eunsook Kim, Jaeyoung Choi, Jimin Lee and Sungjin Yoon*

Department of physical education, Korea University

Article Info

Received 2023. 10. 12.

Revised 2024. 02. 27.

Accepted 2024. 03. 14.

Correspondence*

Sungjin Yoon
jiss@korea.ac.kr

Key Words

Warm-up,
Track and field athletes,
Flexibility,
Exercise performance,
Lactate oxidation rate

PURPOSE This study sought to investigate the effects of passive warm-up on flexibility, exercise performance, and lactate oxidation rate in track and field athletes. **METHODS** A total of eight male athletes with more than three years of athlete experience were recruited as participants, and passive warm-up (PW) and active warm-up (AW) treatments were conducted in a single-group crossover study design. The participants performed thermal stimulation at 40°C for 20 minutes as a PW and performed a 60-70% HRmax cycle as an AW. Flexibility and exercise performance were measured after each treatment. Anaerobic power was measured using the Wingate test, and lactic acid concentration was measured. **RESULTS** Body temperature significantly increased in both PW and AW, and no significant difference was observed in exercise performance between treatments. Flexibility and lactic acid oxidation rate were significantly higher in PW than in AW. **CONCLUSIONS** In track and field sprinters, PW did not exhibit any significant difference in anaerobic power and exercise performance compared to AW even though no physical exercise was performed, and PW was effective in body temperature, lactic acid oxidation rate, and flexibility. PW suggests the possibility of replacing AW.

서론

워밍업(warm-up)은 운동수행능력 향상과 부상 예방을 위해 보편적으로 사용되는 주요 전략 중 하나이다(McCray et al., 2015). 워밍업을 실시하는 주요 목표 중 하나는 체온을 상승시키는 것이며, 이는 다양한 방법으로 실시될 수 있다(Jabbar et al., 2022).

워밍업은 사이클, 달리기 등과 같은 신체활동을 실시하는 능동적 워밍업(active warm-up)과 열찜질, 마사지 등과 같이 외부 수단을 사용하는 수동적 워밍업(passive warm-up) 2가지 범주로 나눌 수 있다(Bishop, 2003a; Fradkin et al., 2010; Su et al., 2017). 운동 또는 경기 전에 보편적으로 능동적 워밍업을 실시하고 있으며 사이클, 달리기 등과 같은 형태로 수행할 수 있다(Behm et al., 2016; Su et al., 2017). 워밍업으로 인한 심부 및 근육 온도의 상승은 근육 섬유유의 수축 속도 증가, 무산소 대사 능력 증가, 말초 및 중추 신경계 내 신경전도 개선 등 다양한 생리적 이점을 유도한다(Hadamus et

al., 2022; Turki et al., 2020).

워밍업으로 근육 온도가 1°C 증가하면 운동수행능력이 약 2~5% 향상된다(Racinais & Oksa, 2010; Turki et al., 2020). 심부 및 근육 온도는 운동 강도와 지속시간이 증가될수록 상승하지만, 워밍업으로 피로가 유발되면 운동수행능력이 감소될 수 있다(Faulkner et al., 2013; Morales-Artacho et al., 2017; Racinais & Oksa, 2010). 중강도로 능동적 워밍업을 15분 실시하였을 때, 약 체온이 0.2~0.4°C 상승하였고 중강도로 능동적 워밍업을 30분 실시하였을 때 체온이 약 0.6~0.8°C 상승하였으며, 고강도 인터벌 트레이닝을 실시하였을 때 체온이 약 0.4~0.6°C 상승하였고 30분 이상 실시하였을 때 체온이 0.8°C 상승하였다(Bogerd et al., 2010; Munten et al., 2021; Riera et al., 2014). 30분 이상 또는 고강도 능동적 워밍업은 에너지 인산염 농도를 점차 고갈시키며, 근육 글리코겐 함량과 열저장 용량(heat storage capacity)을 감소시키므로써 운동수행 능력을 저해할 수 있는 잠재적인 가능성이 존재한다(Bishop et al., 2001; Silva et al., 2018).

반면에, 수동적 워밍업은 에너지를 고갈시키지 않고 코어 온도를 증가시킬 수 있는 방법으로 적외선 온열요법, 사우나, 열침수, 열패치 등 다양한 방법으로 실시될 수 있다(McGowan et al., 2015;

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

Munro et al., 2017). 수동적 워밍업 방법 중 열 자극은 심부 온도를 약 2°C 증가시켰으며, 수동적 워밍업은 능동적 워밍업과 달리 에너지를 고갈시키지 않고 코어 온도와 근육 온도를 증가시킬 수 있다(Laukkanen et al., 2018; Munro et al., 2017). 수동적 워밍업으로 상승된 근육 및 심부 온도는 혈관을 확장시켜 혈류량을 증가시키고 인대와 건의 신축성을 증가시키게 된다(Aguilar et al., 2012; Schoenfeld et al., 2015; Takeuchi et al., 2021). 이외에도, 근육 온도의 상승은 근육 수축 속도와 관련이 있는 세포 내 효소 활동과 대사 반응을 향상, 운동 단위 동원 촉진, 신경 자극 속도를 향상시킨다(Bishop, 2003b; Satkunskiene et al., 2022). 이처럼 수동적 워밍업으로 인한 근육 온도의 상승은 앞에 제시된 여러 기전들을 통해 근육 수축 속도를 증가시켜 무산소성 운동수행능력 뿐만 아니라 관절가동범위를 개선시킬 것으로 기대된다.

앞선 내용을 정리하면, 워밍업은 엘리트 선수들이 운동 및 경기 전에 심부 및 근육 온도를 증가시켜 운동수행능력 향상 및 부상을 예방하는 목적으로 실시되고 있다. 수동적 워밍업은 능동적 워밍업보다 에너지를 고갈시키지 않고 심부 및 근육 온도를 효과적으로 상승시킬 수 있는 방법임에도 불구하고 현장에서 엘리트 선수들에게 많이 실시되지 않고 있다. 기존에 선행연구들에서 열 자극을 이용한 수동적 워밍업으로 다양한 생리적 이점에 대해 보고하였지만(Bishop, 2003a; Cosgray et al., 2004; Marostegan et al., 2022; Miyamoto et al., 2012; Nakamura et al., 2011), 수동적 워밍업과 능동적 워밍업을 비교하여 유연성, 무산소성 파워 및 운동수행능력에 미치는 효과는 검토되지 않아 불명확한 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 수동적 워밍업이 엘리트 육상 단거리 선수의 유연성, 무산소성 파워 및 운동수행능력에 미치는 영향을 능동적 워밍업과 비교 검토하고, 엘리트 육상 단거리 선수의 운동수행능력 향상을 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

연구방법

연구대상

본 연구에서는 육상 단거리 남자 선수 8명을 연구대상자로 모집하였다. 연구대상자의 모집 기준은 육상 경력이 3년 이상이며, 정형외과적 질환이 없는 대상을 선정하였으며, 부상으로 훈련을 제대로 참가하지 못하는 자는 제외하였다. 모든 연구대상자들은 연구 목적과 실험 절차에 관한 설명을 듣고 서면으로 동의서를 작성한 후 연구에 참여하였다. 연구 대상자 특성은 <Table 1>에 제시된 바와 같다.

실험절차 및 측정도구

본 연구에 참여하는 대상자들에게 능동적 워밍업과 수동적 워밍업을 단일 집단 교차연구 설계로 진행하였으며, 처치 간 wash out 기간은 7일로 설정하였다. 실험 절차는 <Figure 1>에 제시되었다.

1. 신체구성

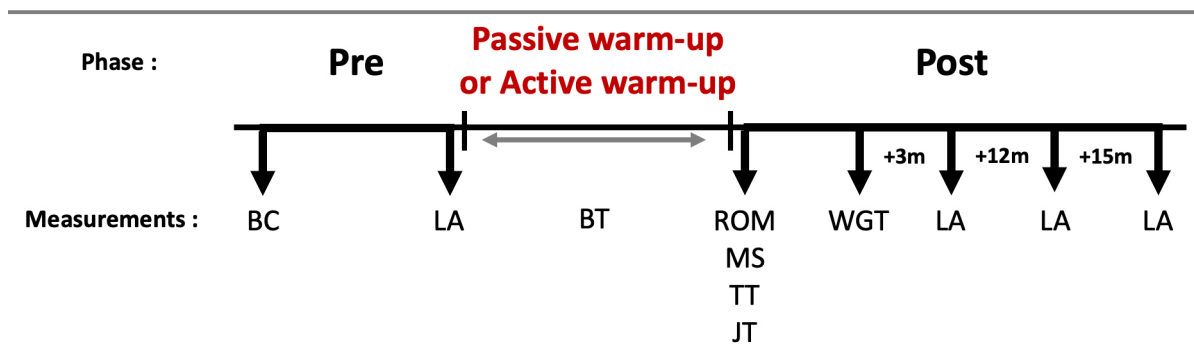
연구 대상자의 신체구성을 확인하기 위해 자동신장계측기(BSM 340, Biopace Co., Republic of Korea)를 사용하여 신장(cm)을 측정하였고, 생체전기저항측정기(Inbody520, Biospace Co., Republic of Korea)를 사용하여 체중(kg), 체지방률(%), BMI(kg/m²)를 측정하였다.

Table 1. Characteristic subjects (Mean ± SD)

Variables	N=8
Age (years)	17.96±0.61
Height (cm)	177.53±4.13
Weight(kg)	59.75±10.86
BMI(kg/m ²)	21.05±3.35
%BF(%)	12.76±6.28

BMI: body mass index, %BF: %body fat

EXPERIMENTAL DESIGN



BC: body composition; BT: body temperature(every 5min measurement); LA: lactate; ROM: range of motion; MS: muscle strength; TT: 100m time trial; WGT: wingate test; JT: jump test

Fig. 1. Experimental design

2. 체온

심부 체온은 고막 온도(tympanic temperature: Tt)를 측정하였으며, 고막온도계(IRT-6520, Key Tronic, Mexico)를 이용하였다. 고막 온도는 처치 전, 처치 5분, 10분, 15분, 20분에 측정하였다.

3. 햄스트링 유연성(ROM)

햄스트링 유연성은 관절각도계(Goniometer, Baseline ce, USA)를 이용하여 측정하였다. 햄스트링의 유연성은 능동적 하지직각상검사(active straight leg raise test: ASLR test)를 실시하여 측정하였다. 대상자가 똑바로 누운 자세에서 한 쪽 다리는 바닥에 고정하고 다른 한쪽 다리를 무릎을 편 상태를 유지한 채 통증을 호소하기 직전까지 최대로 들어 올렸다. 관절 각도계의 축을 대퇴골 대전자(greater trochanter) 돌출부에 놓고 고정자는 바닥과 평행하게 배치하였다. 가동자는 올린다리의 대퇴골 외측 상과를 지점으로 측정하였다.

4. 근력

하지 등척성 근력은 힘 동력계(Powrlink, Aerobis co, Germany)를 사용하여 무릎 신근의 최대 수직 등척성 근력을 측정하였다. 고정식 의자에 앉아 어깨, 등 및 허리를 고정한 후 무릎 관절의 펌 동작을 실시하였다. 양측 다리를 각각 2회씩 5초 간 실시하여 최대값을 기록하였다.

약력은 휴대용 약력계(TKK5401, Takei co, Japan)를 이용하여 측정하였다. 양발은 어깨너비로 벌리고 바르게 선 후 팔을 펴서 내린 후 허벅지에 닿지 않게 하였다. 손가락의 두 번째 마디에 약력계 손잡이를 맞춘 후 최대 힘으로 잡아당기도록 하였으며, 좌우 교대로 각 2회씩 실시하여 최대값을 기록하였다.

배근력은 휴대용 배근력계(TKK5102, Takei co, Japan)를 이용하여 상지(허리, 등)와 하지를 포함한 전신 근력을 측정하였다. 배근력계 발판 위에 올라간 뒤 무릎을 편 상태에서 상체를 앞으로 굽혀 손잡이를 잡도록 하였다. 팔꿈치를 펴고 팔을 몸 옆에 두도록 하며 줄의 길이는 무릎 위 10cm에서 당기도록 하였다. 약 3초간 손잡이를 잡아당기도록 하였으며 2회를 측정하여 최대값을 기록하였다.

5. 100m time trial

능동적 워밍업과 수동적 워밍업을 각각 실시한 후 100m 기록을 측정하였다. 공인 육상 트랙에서 100m 경기와 동일한 방식으로 한 명씩 측정하였다. 기록 측정 장치는 훈련용 기록 측정기(FxChip BLE & TX Junior Pro, FREELAP, Switzerland)를 사용하였다.

6. 무산소성 파워

무산소성 파워는 사이클 에르고미터(Powermax-II, Combi, Japan)에서 30초간 최대 페달링을 하는 원게이트 테스트를 실시하여 측정하였다. 사이클 에르고미터에 승차하여 대상자의 신장과 체형에 맞게 안장과 핸들을 조정하였다. 2분간 가벼운 페달링 후 대상자의 체중(kg) × 0.075(kp)로 부하를 설정하여 30초간 최대 페달링을 실시하여 측정하였다. 산출된 결과로 최대파워와 평균파워를 기록하였다.

7. 혈중 젖산 농도

혈중 젖산 농도 측정은 원게이트 테스트 전, 3분 후, 15분 후, 30

분 후에 측정하였다. 대상자의 손끝을 알코올 솜으로 소독한 뒤 사혈 침을 이용하여 1회 0.3 μ 씩 채혈한 후 젖산 측정기(Lactate Pro2, Arkray, Japan)를 이용하여 젖산을 측정하였다.

8. 점프수행능력

점프수행능력은 수직 점프측정기(Jumping Meter, ASUS ICP Electronic, Japan)를 이용하여 반동 점프(counter movement jump: CMJ)와 스쿼트 점프(Squat jump: SJ)를 측정하였다. 측정 전 착지판 위에서 CMJ, SJ 동작을 숙지하게 한 후 테스트를 진행하였다. CMJ는 똑바로 선 상태에서 양손을 어깨에 X자로 고정하였고, 순간적으로 무릎을 굽혔다 펴며 수직으로 뛰어오른 뒤 착지판에 착지한 것을 기록하였다. SJ는 무릎을 90° 굽힌 자세에서 시작하여 반동 없이 수직으로 뛰어올라 착지판에 착지하게 하였다. CMJ와 SJ 모두 2회씩 시도하여 최대값을 기록하였으며, 측정 결과는 체공시간(msec), 도약고(cm)를 결과값으로 산출하였다.

워밍업 프로토콜

1. 능동적 워밍업(active warm-up)

능동적 워밍업은 무선 심박수 측정기(Polar RS400, Polar, Finland)를 착용한 후 사이클링을 20분간 지속적으로 실시하도록 하였다. 워밍업 강도는 최대심박수(HRmax)의 60-70%로 설정하였고, 설정된 HRmax가 유지되도록 심박수를 지속적으로 모니터링하여 확인하였다.

2. 수동적 워밍업(passive warm-up)

수동적 워밍업은 열 자극 Hyperthermia Colour Therapy (MX-3000, Medix System, Korea) 안에서 40°C로 20분간 처치하였다. 대상자들은 기기 안에 누운 상태로 들어가 얼굴을 제외한 목까지 전신에 열 자극을 가하도록 하였다(Figure 2).

자료처리

본 연구에서는 자료 분석을 위해 SPSS(Ver. 23.0) 프로그램을 사용하였으며, 측정 항목별 기술통계치 평균(mean)과 표준편차(SD)를 산출하였다. 독립변수 간의 상호작용을 확인하기 위해 이원변량분석(two-way repeated measured ANOVA)을 실시하였으며 유의한 차이에 대한 사후검증은 Bonferroni's 방법을 사용하였다. 상호작용이 나타나지 않았을 경우, 각 독립변수의 주효과를 확인하였으며 통계학적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.



Fig. 2. Passive warm-up

연구결과

체온의 변화

처치 간의 체온 변화는 (Figure 3)에 제시한 바와 같다. 체온은 처치와 측정 시점 간 상호작용의 효과가 나타났으며($F_{4,56}=4.214, p=.015, \eta^2=.231$), 사후분석 결과 측정 시점 간 차이를 살펴보면 PW에서 사전 보다 처치 10분, 15분, 20분에 유의하게 증가하였으며, AW에서 사전 보다 처치 15분과 20분에 유의하게 증가하였다($p<.05$). 처치 간의 차이를 살펴보면 PW가 AW 보다 처치 20분에 유의하게 높게 나타났다($P<.05$).

근력과 운동수행능력

처치 간의 근력은 (Table 2)에 제시한 바와 같다. 우측과 좌측 하지 등척성 근력 모두 처치 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다($df=14$,

$t=-.549, p=.591; df=14, t=-.277, p=.786$). 우측과 좌측 악력 모두 처치 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다($df=14, t=.068, p=.947; df=14, t=.467, p=.648$). 배근력은 두 처치 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다($df=14, t=-.453, p=.658$).

처치 간의 운동수행능력은 (Table 2)에 제시한 바와 같다. 최대 파워는 처치 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다($df=14, t=-.370, p=.717$). 100m 타임 트라이얼은 처치 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다($df=14, t=-.201, p=.844$). CMJ는 처치 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다($df=14, t=-.390, p=.702$). SJ는 처치 간의 유의한 차이가 나타나지 않았다($df=14, t=-.255, p=.803$).

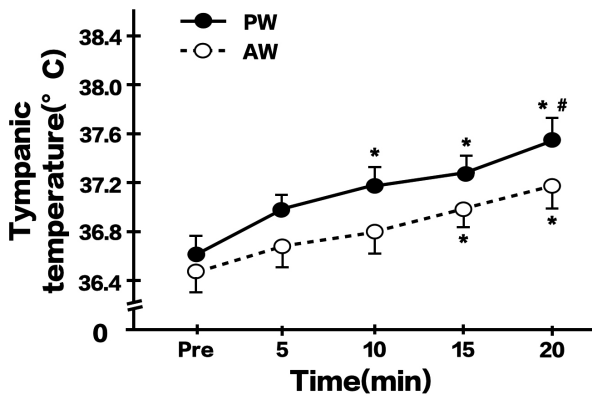


Fig. 3. Changes in tympanic temperature
PW: passive warm-up; AW: active warm-up
*: $p<.05$ Significantly different from pre,
#: $p<.05$ Significantly different from AW

Table 2. Changes in strength and performance (Mean ± SD)

Variables	PW	AW	t	p
Isometric strength (kg)	R 55.05±11.80	51.91±11.03	-.549	.591
	L 50.97±9.45	49.41±12.74	-.277	.786
Grip strength (kg)	R 39.70±6.95	39.98±9.42	.068	.947
	L 36.24±4.44	37.63±7.18	.467	.648
Back strength (kg)	133.06±18.15	128.62±20.97	-.453	.658
Peak Power (W)	562.25±84.74	546.50±85.57	-.370	.717
100m Time Trial(s)	13.62±1.10	13.50±1.15	-.201	.973
CMJ (cm)	48.75±6.70	47.50±6.43	-.390	.702
SJ (cm)	45.93±5.72	45.16±6.42	-.255	.803

PW: passive warm-up; AW: active warm-up, R: right; L: left; CMJ: counter movement jump; SJ: squat jump
* $p<.05$

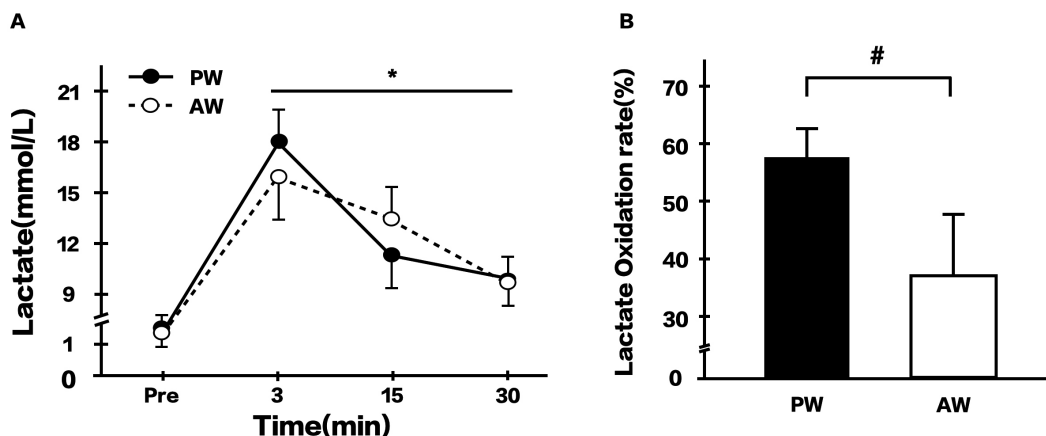


Fig. 4. Changes in lactate and late oxidation rate
PW: passive warm-up; AW: active warm-up
*: $p<.05$ Significantly different from pre, #: $p<.05$ Significantly different from AW

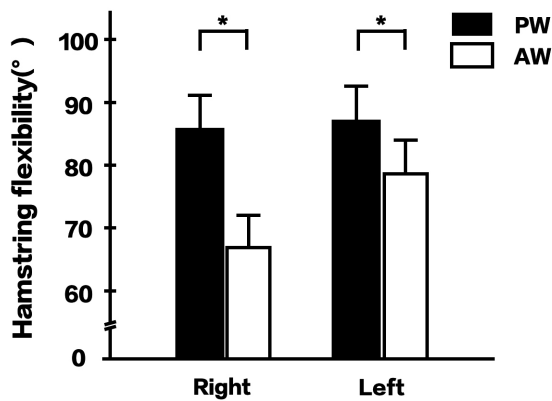


Fig. 5. Changes in hamstring flexibility
PW: passive warm-up; AW: active warm-up
*: $p < .05$ Significantly different from pre

젖산

처치 간의 젖산 변화는 (Figure 4A)에 제시한 바와 같다. 젖산은 처치와 측정 시점 간 상호작용의 효과가 나타났으며($F_{3,42}=7.690$, $p=.000$, $\eta^2=.982$), 사후분석을 진행하였다. 측정 시점 간 차이를 살펴보면 PW와 AW 모두 사전 보다 원게이트 테스트 3분, 15분, 30분 후에 모두 유의하게 증가하였다($p < .05$). 처치 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > .05$). 젖산 산화율은 (Figure 4B)에 제시하였으며, 젖산 산화율은 PW가 AW 보다 유의하게 높게 나타났다($df=14$, $t=-4.254$, $p=.001$).

유연성

처치 간의 햄스트링 유연성은 (Figure 5)에 제시한 바와 같다. 우측과 좌측 햄스트링 ROM 모두 PW가 AW 보다 유의하게 높게 나타났다($df=14$, $t=-2.377$, $p=.032$; $df=14$, $t=-3.454$, $p=.004$).

논의

엘리트 선수들은 운동수행능력 향상과 부상 예방을 위해 워밍업을 필수적으로 실시하며, 워밍업은 목적 중 하나는 체온을 상승시키는 것이다. 워밍업으로 체온을 상승시키는 방법으로 신체 운동을 통해 실시되는 능동적 워밍업뿐만 아니라, 외부 열 자극에 노출시키는 수동적 워밍업 방법이 있다. 열 자극이 신체에 미치는 다양한 생리적 이점에도 불구하고 열 자극을 통한 수동적 워밍업에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 열 자극을 통한 수동적 워밍업이 엘리트 육상 단거리 선수의 관절 가동범위, 무산소성 파워 및 운동수행능력에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

본 연구에서 엘리트 육상 단거리 선수들을 대상으로 열 자극을 이용한 수동적 워밍업과 중강도 사이클 운동을 통한 능동적 워밍업을 실시하였다. 그 결과, 수동적 워밍업과 능동적 워밍업에서 모두 체온이 상승되었으며, 워밍업 20분에는 수동적 워밍업이 능동적 워밍업보다 체온이 더 높게 나타났다. 열 자극 또는 운동은 교감신경전달

물질 호르몬인 에피네프린을 촉진시키며, 심부 온도와 근육 온도 상승에 영향을 미치게 된다(Andrade et al., 2015; McGowan et al., 2015). 본 연구에서 수동적 워밍업에서는 체온이 약 0.9°C 상승하였고 능동적 워밍업에서 체온이 약 0.5°C 상승하여 기존의 선행연구들과 비슷한 결과를 나타내었다(Bogerd et al., 2010; Munten et al., 2021; Racinais & Oksa, 2010; Silvka et al., 2012). 이처럼, 열 자극을 이용한 수동적 워밍업은 체온을 상승시키는 워밍업의 주된 목적을 달성할 수 있는 방법으로 보여진다.

수동적 워밍업과 능동적 워밍업을 실시한 후에 근력과 운동수행능력에서 차이를 살펴본 결과 차이가 나타나지 않았다. Kim, Kim et al.(2020)의 연구에서 열 환경과 상온 환경에 노출시킨 후에 무산소성 운동수행능력을 측정한 결과 열 환경에 노출시켰을 때 최대파워가 높게 나타났다고 보고하였다. 수동적 워밍업과 능동적 워밍업으로 인한 체온 상승은 혈관을 확장시켜 근육으로 혈류를 촉진시킨다(Bishop, 2003a; Coco et al., 2020; Poprzęcki et al., 2007). 또한, 심부 온도의 증가는 MLCK(myosin light chain kinase)와 MLCP(myosin light chain phosphatase)을 활성화시켜 운동 단위 동원 증가를 통한 타입 II 근섬유 수축 속도를 증가시키게 된다(Brunner-Ziegler et al., 2011; Naperalisky et al., 2010; Quod et al., 2008; Tsurubami et al., 2020). 수동적 워밍업 보다 능동적 워밍업이 대사 및 심혈관 기능 개선시켜 운동수행능력 향상에 더 적합한 것으로 간주되는 경향이 있으며, 현장에서도 일반적으로 능동적 워밍업을 실시하고 있다. 그럼에도 불구하고, 본 연구에서 두 가지 워밍업에 따른 운동수행능력에서 차이가 나타나지 않은 것으로 보았을 때, 열 자극을 통한 수동적 워밍업은 보편적으로 실시되는 능동적 워밍업과 비슷한 생리적 반응을 유도하였으며, 현장에서 경기 또는 운동 전에 수동적 워밍업을 적용할 수 있을 가능성을 시사하고 있다.

수동적 워밍업과 능동적 워밍업을 실시하고 원게이트 테스트 후 회복기 혈중 젖산 농도와 햄스트링 유연성 변화를 살펴보았다. 혈중 젖산 농도는 두 가지 워밍업에서 모두 원게이트 테스트 3분 후 가장 높게 증가하였으며, 15분 후와 30분 후에 감소하였다. 게다가, 원게이트 테스트 30분 후 젖산 산화율은 수동적 워밍업이 능동적 워밍업보다 높게 나타났다. Park et al.(2021)의 연구에서 열 자극 후에 젖산탈수소효소(lactate dehydrogenase: LDH) 농도가 증가하였다고 보고하였으며, Kim, Kim et al.(2020)의 연구에서 열 환경과 상온 환경에 노출시켰을 때 열 환경에서 젖산 산화율이 높았다고 보고하였다. 체온 상승으로 인한 근육 내 온도 증가는 혈류를 증가시키고 젖산탈수소 효소인 LDH를 촉진시켜 혈액 내 수소 이온 농도를 조절하여 젖산 대사를 증가시키게 된다(Bishop, 2003b; Coco et al., 2020; Poprzęcki et al., 2007). 본 연구에서 햄스트링 유연성은 수동적 워밍업이 능동적 워밍업 보다 높게 나타났다. Petrofsky et al.(2013)의 연구에서 열 자극이 인대와 근육의 유연성을 증가시켰다고 보고하였으며, Bartolomé et al.(2021)의 연구에서 열 환경에 노출시킨 후에 햄스트링 유연성이 증가하였다고 보고하였다. 근육 내 온도 증가는 인대와 건의 신축성을 증가시키고 연조직의 손상을 감소시켜 부상을 예방할 수 있다(Aguilar et al., 2012; Bien, 2011; Herman et al., 2012). 운동 전에 열 자극을 통한 수동적 워밍업은 체온을 상승시켜, 젖산 산화율과 햄스트링 유연성에 영향을 미친 것으로 보여진다. 이는, 수동적 워밍업이 회복을 촉진하고 부상 예방에 영향을 미칠 수 있으며, 추후 근 피로를 유발시켜 회복과 부상 예방

에 관한 연구를 진행할 필요가 있다고 사료된다.

본 연구 결과를 해석할 때 다음과 같은 몇 가지 제한점을 고려해야 한다. 첫째, 본 연구에서는 심부 온도를 측정하였지만, 근육 온도를 직접적으로 측정하지 못하였다. 열 노출에 의한 심부 온도와 근육 온도의 상승은 열 생성 및 체온 조절 반응과 같은 요인에 영향을 받는다고 보고되었으며(Heinonen et al., 2011; Kim, Monroe et al., 2020). 심부 온도의 상승이 근육 온도 상승에 영향을 미쳤을 것이라 생각된다. 둘째, 본 연구에서는 분자생물학적 변인은 측정하지 못하였다. 분자생물학적 변인은 유연성, 운동수행능력 및 젖산 산화의 변화 사이의 인과 관계를 확립하는데 통찰력을 제공할 가능성이 있으므로, 추후 연구에서 추가적으로 확립할 필요가 있다.

결론 및 제언

본 연구 결과를 종합하면 엘리트 육상 단거리 선수들에게 열 자극을 통한 수동적 워밍업은 체온을 상승시켜 젖산 산화율과 유연성의 효과를 확인하였으며, 신체 운동을 실시하지 않았음에도 불구하고 능동적 워밍업과 운동수행능력에서 비슷한 효과를 나타냈다. 이는, 수동적 워밍업이 보편적으로 실시되고 있는 능동적 워밍업을 대체할 수 있는 워밍업 방법이 될 수 있다는 것을 시사하고 있으며, 추후 수동적 워밍업과 능동적 워밍업을 병행 실시하여 효과적인 워밍업 방법에 대한 연구를 진행할 필요가 있다고 사료된다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: D Kim, S Yoon, Data curation: E Kim, J Choi, Formal analysis: D Kim, Methodology: S Yoon, Project administration: D Kim, Visualization: E Kim, J Choi, J Lee, Writing - original draft: D Kim, E Kim, Writing - review & editing: D Kim, S Yoon

참고문헌

- Aguilar, A. J., DiStefano, L. J., Brown, C. N., Herman, D. C., Guskiewicz, K. M., & Padua, D. A. (2012). A dynamic warm-up model increases quadriceps strength and hamstring flexibility. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(4), 1130-1141.
- Andrade, D. C., Henriquez-Olguin, C., Beltran, A. R., Ramirez, M. A., Labarca, C., Cornejo, M., ... & Ramirez-Campillo, R. (2015). Effects of general, specific and combined warm-up on explosive muscular performance. *Biology of Sport*, 32(2), 123-128.
- Bartolomé, I., Siquier-Coll, J., Pérez-Quintero, M., Robles-Gil, M. C., Grijota, F. J., Muñoz, D., & Maynar-Mariño, M. (2021). 3-Week passive acclimation to extreme environmental heat (100±3°C) in dry sauna increases physical and physiological performance among young semi-professional football players. *Journal of Thermal Biology*, 100, 103048.
- Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D., & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: A systematic review. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(1), 1-11.
- Bien, D. P. (2011). Rationale and implementation of anterior cruciate ligament injury prevention warm-up programs in female athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 271-285.
- Bishop, D. (2003a). Warm Up I: Potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Medicine*, 33(6), 439-454.
- Bishop, D. (2003b). Warm Up II: Performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33(7), 483-498.
- Bishop, D., Bonetti, D., & Dawson, B. (2001). The influence of three different warm-up intensities on sprint kayak performance in trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 1026-1032.
- Bogerd, N., Perret, C., Bogerd, C. P., Rossi, R. M., & Daanen, H. A. M. (2010). The effect of pre-cooling intensity on cooling efficiency and exercise performance. *Journal of Sports Sciences*, 28(7), 771-779.
- Brunner-Ziegler, S., Strasser, B., & Haber, P. (2011). Comparison of metabolic and biomechanic responses to active vs. passive warm-up procedures before physical exercise. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 909-914.
- Coco, M., Buscemi, A., Ramaci, T., Tusak, M., Di Corrado, D., Perciavalle, V., ... & Musumeci, G. (2020). Influences of blood lactate levels on cognitive domains and physical health during a sports stress. Brief review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 9043.
- Cosgray, N. A., Lawrance, S. E., Mestrich, J. D., Martin, S. E., & Whalen, R. L. (2004). Effect of heat modalities on hamstring length: A comparison of pneumatherm, moist heat pack, and a control. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(7), 377-387.
- Faulkner, S. H., Ferguson, R. A., Gerrett, N., Hupperets, M., Hodder, S. G., & Havenith, G. (2013). Reducing muscle temperature drop after warm-up improves sprint cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(2), 359-365.
- Fradkin, A. J., Zazryn, T. R., & Smoliga, J. M. (2010). Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 140-148.
- Hadamus, A., Jankowski, T., Wiaderna, K., Bugalska, A., Marszałek, W., Błażkiewicz, M., & Białoszewski, D. (2022). Effectiveness of warm-up exercises with tissue flossing in increasing muscle strength. *Journal of Clinical Medicine*, 11(20), 6054.
- Heinonen, I., Brothers, R. M., Kempainen, J., Knuuti, J., Kalliokoski, K. K., & Crandall, C. G. (2011). Local heating, but not indirect whole body heating, increases human skeletal muscle blood flow. *Journal of Applied Physiology*, 111(3), 818-824.
- Herman, K., Barton, C., Malliaras, P., & Morrissey, D. (2012). The effectiveness of neuromuscular warm-up strategies, that require no additional equipment, for preventing lower limb injuries during sports participation: A systematic review. *BMC Medicine*, 10, 75.
- Jabbar, A. K., Abdulkareem, H. S., & Khefi, S. M. (2022). The effect of active warm-up exercises on flexibility and achievement among effectiveness high jump players. *European Journal of Humanities and Educational Advancements*, 3(10), 149-155.
- Kim, E.-S., Kim, D., Kim, J. W., & Yoon, S. (2020). The effects of heat stress on HSP72, inflammatory markers, blood lactate concentration and anaerobic performance in young adults. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 82, 539-549.
- Kim, K., Monroe, J. C., Gavin, T. P., & Roseguini, B. T. (2020). Skeletal muscle adaptations to heat therapy. *Journal of Applied Physiology*, 128(6), 1635-1642.
- Laukkanen, J. A., Laukkanen, T., & Kunutsor, S. K. (2018, August). Cardiovascular and other health benefits of sauna bathing: a review of the evidence. In *Mayo clinic proceedings* (Vol. 93, No. 8, pp. 1111-1121). Elsevier.
- Marostegan, A. B., Gobatto, C. A., Rasteiro, F. M., Hartz, C. S., Moreno, M. A., & Machado-Gobatto, F. B. (2022). Effects of different inspiratory muscle warm-up loads on mechanical, physiological and muscle oxygenation responses during high-intensity running and recovery. *Scientific Reports*, 12, 11223.
- McCrary, J. M., Ackermann, B. J., & Halaki, M. (2015). A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *British Journal of Sports Medicine*, 49(14), 935-942.
- McGowan, C. J., Pyne, D. B., Thompson, K. G., & Rattray, B. (2015).

- Warm-up strategies for sport and exercise: mechanisms and applications. *Sports Medicine*, 45(11), 1523-1546.
- Miyamoto, N., Fukutani, A., Yanai, T., & Kawakami, Y. (2012).** Twitch potentiation after voluntary contraction and neuromuscular electrical stimulation at various frequencies in human quadriceps femoris. *Muscle & Nerve*, 45(1), 110-115.
- Morales-Artacho, A. J., Lacourpaille, L., & Guilhem, G. (2017).** Effects of warm-up on hamstring muscles stiffness: Cycling vs foam rolling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(12), 1959-1969.
- Munro, L. A., Stannard, S. R., Fink, P. W., & Foskett, A. (2017).** Potentiation of sprint cycling performance: The effects of a high-inertia ergometer warm-up. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1442-1450.
- Munten, S., Ménard, L., Gagnon, J., Dorman, S. C., Mezouari, A., & Gagnon, D. D. (2021).** High-intensity interval exercise in the cold regulates acute and postprandial metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 130(2), 408-420.
- Nakamura, M., Ikezoe, T., Takeno, Y., & Ichihashi, N. (2011).** Acute and prolonged effect of static stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit in vivo. *Journal of Orthopaedic Research*, 29(11), 1759-1763.
- Naperalsky, M., Ruby, B., & Slivka, D. (2010).** Environmental temperature and glycogen resynthesis. *International Journal of Sports Medicine*, 31(8), 561-566.
- Park, T. H., Lee, H. J., & Lee, J. B. (2021).** Effect of heat stimulation on circulating irisin in humans. *Frontiers in Physiology*, 12, 675377.
- Petrofsky, J. S., Laymon, M., & Lee, H. (2013).** Effect of heat and cold on tendon flexibility and force to flex the human knee. *Medical Science Monitor*, 19, 661-667.
- Poprzęcki, S., Zając, A., Wower, B., & Cholewa, J. (2007).** The affects of a warm-up and the recovery interval prior to exercise on anaerobic power and acid-base balance in man. *Journal of Human Kinetics*, 18, 15-28.
- Quod, M. J., Martin, D. T., Laursen, P. B., Gardner, A. S., Halson, S. L., Marino, F. E., ... & Hahn, A. G. (2008).** Practical precooling: Effect on cycling time trial performance in warm conditions. *Journal of Sports Sciences*, 26(14), 1477-1487.
- Racinais, S., & Oksa, J. (2010).** Temperature and neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(s3), 1-18.
- Riera, F., Trong, T. T., Sinnapah, S., & Hue, O. (2014).** Physical and perceptual cooling with beverages to increase cycle performance in a tropical climate. *PLoS ONE*, 9(8), e103718.
- Satkunskiene, D., Ardekani, M. M. Z., Khair, R. M., Kutraite, G., Venckuniene, K., Snieckus, A., & Kamandulis, S. (2022).** Warm-up and hamstrings stiffness, stress relaxation, flexibility, and knee proprioception in young soccer players. *Journal of Athletic Training*, 57(5), 485-493.
- Schoenfeld, B. J., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., & Sonmez, G. T. (2015).** Effects of low- vs. high-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(10), 2954-2963.
- Silva, L. M., Neiva, H. P., Marques, M. C., Izquierdo, M., & Marinho, D. A. (2018).** Effects of warm-up, post-warm-up, and re-warm-up strategies on explosive efforts in team sports: A systematic review. *Sports Medicine*, 48(10), 2285-2299.
- Slivka, D., Tucker, T., Cuddy, J., Hailes, W., & Ruby, B. (2012).** Local heat application enhances glycogenesis. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(2), 247-251.
- Su, H., Chang, N.-J., Wu, W.-L., Guo, L.-Y., & Chu, I.-H. (2017).** Acute effects of foam rolling, static stretching, and dynamic stretching during warm-ups on muscular flexibility and strength in young adults. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(6), 469-477.
- Takeuchi, K., Takemura, M., Nakamura, M., Tsukuda, F., & Miyakawa, S. (2021).** Effects of active and passive warm-ups on range of motion, strength, and muscle passive properties in ankle plantarflexor muscles. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 141-146.
- Tsurubami, R., Oba, K., Samukawa, M., Takizawa, K., Chiba, I., Yamanaka, M., & Tohyama, H. (2020).** Warm-up intensity and time course effects on jump performance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(4), 714-720.
- Turki, O., Dhahbi, W., Gueid, S., Hmaied, S., Souaifi, M., & Khalifa, R. (2020).** Dynamic warm-up with a weighted vest: Improvement of repeated change-of-direction performance in young male soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(2), 196-203.

수동적 워밍업이 엘리트 육상 단거리 선수의 유연성, 운동수행능력 및 젖산 산화율에 미치는 영향

김도현¹, 김은숙¹, 최재영¹, 이지민¹, 윤성진²

¹고려대학교 체육학과, 박사과정

²고려대학교 체육교육과, 교수

[목적] 본 연구는 수동적 워밍업(warm-up)이 엘리트 육상 단거리 선수의 유연성, 운동수행능력 및 젖산 산화율에 미치는 영향을 검증하고자 하였다.

[방법] 연구대상자는 육상 경력 3년 이상인 남자 선수 8명을 선정하여, 수동적 워밍업(passive warm-up: PW)과 능동적 워밍업(active warm-up: AW) 처치를 단일 집단 교차연구 설계로 진행하였다. 대상자들은 수동적 워밍업으로 40℃에서 20분간 열 자극을 실시하였고 능동적 워밍업은 60-70% HRmax 사이클을 실시하였으며, 각 처치 후에 유연성, 운동수행능력을 측정하였으며, 원게이트 검사로 무산소성 파워 측정 후 혈중 젖산 농도를 측정하였다.

[결과] 본 연구 결과 체온은 PW와 AW 모두 유의하게 증가하였고 운동수행능력에서는 처치 간에 차이를 나타나지 않았다. 유연성과 젖산산화율은 PW가 AW 보다 유의하게 높게 나타났다.

[결론] 육상 단거리 선수들에게 수동적 워밍업은 신체 운동을 실시하지 않았음에도 불구하고 능동적 워밍업과 무산소성 파워 및 운동수행능력에서 차이를 나타내지 않았으며, 체온, 젖산 산화율 및 유연성에 효과적이었던 것을 보았을 때 수동적 워밍업은 능동적 워밍업을 대체할 수 있는 가능성을 시사하고 있다.

주요어

워밍업, 육상 단거리 선수, 유연성, 운동수행능력, 젖산 산화율