

미소티타늄(microtitanium) 처리된 전신 의복이

격렬한 언덕 달리기 후 운동의 신진대사 소비량에 미치는 영향

주요어: 회복, 건의 정도, 단기 잠복 반사, 달리기의 경제성 (running economy), 스포츠 의류, 성능

목적: 격렬한 달리기 후 회복 중 마이크로티타늄(microtitanium) 처리된 스포츠 의복을 착용할 경우 후속 운동의 달리기 경제성(running economy)의 효과 크기를 결정하기 위함이다.

설계: 이중맹검교차법(double-blind crossover)은 10 명의 건강한 남성에게 달리기 대사량에 관한 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)의 효과를 결정하기 위해 사용되었다. 참가자들은 40 분간 트레드밀 달리기(5% 그레이드에서 10 분과 10% 그레이드에서 10 분을 총 2 세트)를 한 후 몸통과 팔 다리에 밀착되는 나일론-폴리우레탄 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 처리된 의복과 그렇지 않은 의복을 무작위로 지급하였다. 그 후 대사량 측정을 위해, 두 번째 날 휴식 시 그리고 세 번째 날 1 단계 트레드밀 달리기를 완료할 때까지 총 48 시간 동안 계속 착용하고 있다.

방법: 몸무게 대비 달리기 신진대사량은 간접적인 칼로리측정을 통해 평가되었고, 효과 크기는 원거리 달리기 성과 개선을 위한 경제성(0.9%)에서 최소한의 유의한 변화에 바탕을 두었다.

결과: 대조군에서 48 시간 동안 대사량에 따른 피로효과는 작았다. (2.2% 95%CL \pm 1.2%) 반대로, 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복은 대조군과 달리 현저하게 달리기 대사량을 축소시켰다. cost (-3.1% \pm 0.9%) 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 호흡 교환 비율(respiratory exchange ratio: 0.011 \pm 0.005)은 증가했고, 환기 역치(ventilatory threshold) 이하에서 격렬할 경우 분당 환기량은 낮았다 (-4.0% \pm 0.9%).

결론: 격렬한 운동에서 회복 시 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)처리된 의복을 착용할 경우 신속한 내구성 회복이 가능할 정도로 후속 달리기 경제성이 개선되었다. 후속 연구는 수행 결과에 관한 의복 효과 크기를 입증하기 위해, 민감 또는 둔감한 신경, 근-건부위(musculotendinous), 또는 대사 매커니즘을 분석해야 한다.

1. 소개

스포츠 의류는 성과를 높이고 회복 증진을 위해, 운동을 주도 하는 생리적 반응을 조절 가능한 화합물을 적용하기도 한다. 이러한 화합물 중 하나로 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)이 있는데, 수증에서 마이크로 티타늄을 확산시킨다. 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)은 후에 의류에 필수 요소가 되는 원단에 마이크로 티타늄을 결합시키는 즉, 세포와 조직과 밀접할 경우 제조 과정에서 염색 시 적용한다. 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)은 신경계와 근-건에 생리적인 영향을 미친다. 사람이 나일론 우레탄 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 처리된 의복을 간헐적으로 고강도의 달리기 수반되는 4 일간 착용할 경우, 비 처리된 플라시보 대조군과 비교하여 상대적으로 관절 운동 범위(ROM)를 증가시키고 달리기 대사량을 감소시켰다. 이러한 관찰은 달리기 경제성이 중요한 원거리 달리기에서 시작되었다.

근육 섬유 특징, 체질량, 근육과 힘줄의 탄력, 근-건 탄성(muscle-tendon elasticity) 등 많은 생리적 요소는 달리기 경제성에 영향을 미친다. 이 중에서, 근육 수축성 (섬유의 부차적인 형태)과 건 경도는 성공 예측 (훈련된 최적의 값)과 근-건 부위에 중요한 결정 요인으로 평가된다. 힘 발달 속도(RFD)가 달리기나 점프 시 근-건 성능에 중요한 결정요인이 되기 때문에, 신경근 흥분율 변화 또한 신경근 조정력 개선과 함께 수축 성능에 영향을 미친다. 그러므로, 스트레스 부하 후 신경근 조정력 개선, 건 경도 축소 약화, 경제성 축소는 일반적인 운동 훈련과 같이 격렬한 운동 후 골격근 축소 기능을 개선할 수 있는 여지가 있다.

아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복이 격렬한 달리기 후 근건 기능을 개선한다면, 근육 수축 성능과 달리기 경제성 또한 개선할 수 있다는 것을 뒷받침 한다. 격렬한 트레이드밀 달리를 한 세트 한 후 회복 중 하퇴삼두근(tricep surae)에 적용된 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 테이프가 신장 반사(stretch-reflex) 응답 시간을 축소하고 건 경도 감소를 약화시켰다. 그러므로, 우리는 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복이 격렬한 달리에 연이은 달리기 시 증가되는 대사량(저 경제성)을 약화시킬 수 있다고 가정하였다.

2. 방법

평균 나이 29.2 (7.1)세, 몸무게 78.0 kg(1.5), 신장 181.3 m (9.3), 최대 산소 섭취량 (VO_2max) 65.1 mL $kg^{-1}min^{-1}$ (7.9) 조건의 10 명의 건강한 남성을 대상으로 실험하였다. 달리기와 같은 스포츠에 정상적으로 참여할 수 있는 18-45 세의 연령에 최대 산소 섭취량은 $max >50$ mL $kg^{-1} min^{-1}$ 를 전제 하에, 건염(tendinopathy) 또는 하지 트라우마(lower limb trauma) 및 질환과 같은 병력이 있는 경우와 진통제를 복용하고 있는 경우는 제외하였다. 모든 참가자들에게 잠재적인 위험을 공지하고 매시대학 연구 윤리 위원회(Massey University Research Ethics Committee)로부터 승인 받은 프로토콜(protocol)에 따라 서면 동의를 받았다.

본 연구 설계는 그림 1 에서 볼 수 있다. Wadsworth 등에 따르면, 참가자들이 실험실에 처음 방문했을 때, 외부 호흡이 아닌 동력 트레이드밀에서 측정된 최대 산소 섭취량을 테스트 받았다. 환기 역치(VT)는 이산화탄소 환기 당량의 동시 증가 없이 산소 환기 당량이 처음과 같이 유지되는 트레이드밀 런닝 속도에서 환기 당량법(ventilatory equivalence method)을 이용하여 결정하였다 (VE/VCO₂)

2-3 일 후 2 차 방문에서는 4 km h⁻¹에서 4 분간 걷기, 9 km h⁻¹에서 6 분 달리기, VT 속도의 -1.5 km h⁻¹ 시작하는 달리기 단계와 각각의 진행 단계별로 0.5 km h⁻¹ 증가하는 연속 프로토콜을 비교하여 테스트 절차의 적응(familiarization)과 달리기 경제성의 기준 측정을 비교하였다. 프로토콜은 VT 에서 발생된 네 번째 단계와 0.5 km h⁻¹ 이상 VT 에서 최종 단계를 결정하였다. 본 프로토콜은 정상 평형상태에서 VT 이하의 3 가지 추정, 그리고 Type-II 근육 섬유가 상대적으로 낮은 경제성 상태에서 2~ VT 이상을 제공한다. 동일한 프로토콜은 회복 달리기 경제성 측정에 사용되었다. 체중은 평소 의복 및 신발을 신은 상태에서 달리기 전 화장실을 다녀온 후 측정하였다. 호기 가스(expired gas)는 메타볼릭 카트(metabolic cart)를 이용하여 수집하였다. 달리기 경제성은 해당일 체중에 조절된 분당 산소에 대한 에너지 당량(energy equivalent)으로 표현된 운동 대사량으로, 각각의 단계에서 마지막 2 분 데이터를 이용하여 결정하였다. 대사력(metabolic power) (J kg⁻¹ min⁻¹)은 비단백성호흡상(non-protein respiratory quotient)을 이용하여 산정하였다.

후속 시험은 7 일 간의 휴정(washout)단계를 거친 후 2 개의 실험 블록을 포함하였다: 피로를 유도하는 달리기, 휴식, 그리고 48 시간 후 달리기 경제성 회복 측정 (그림 1). 참가자들은 이중맹검교차법에 따라, 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)의류 착용한 실험군과 미 착용한 대조군으로 분리하였다. 의복은 달리기 후 착용하여 회복 시까지 계속하여 착용하였으며, 여기에는 수면 및 기타 운동 테스트 또한 포함하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 실험에 적용한 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복은 일본 화이텐(phiten)사에서 제조한 것이다. 화이텐사는 본 논문 발행에 대한 승인 권리와 무관하다. 의복은 나일론 81%와 폴리우레탄 19%에 피부에 밀착되는 타입으로 검은색이며 목부터 몸통 하지를 감싸며, 발과 발목은 테니스 양말을 신어 감쌌다. 실험 전 다른 연료 기반의 영향을 방지하기 위해, 대조군 및 실험군 모두 실험 전 48 시간 동안 운동 및 식이요법을 기제하였다.

실험군의 실험 날 (그림 1B) 축소된 후속 달리기 경제성의 원인인 하지 피로는 평지 달리기 중 70% 최대 산소 섭취량을 유도한 속도에서 40 분간 트레이드밀에 의해 유도되었다. 5%에서 10 분과 -10%에서 10 분 비교 달리기는 Braun 과 Dutoo 의 프로토콜에서 10 분 추가되어 수정되었다. 참가자들은 오르막 부분에서 거의 최대 효과를 나타냈다. 실험실 환경은 섭씨 20 도, 습도는 44-50%였다. 참가자들은 달리는 동안 팬 냉각기를 이용하였다.

표본 크기(n=10)는 우리의 실험실에서 결정되는 대사량 (2.2%)과 그것의 일반적인 오류 2.5% 대한 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복의 평균 효과로부터 유추한 달리기 경제성에서 상당한

변화를 담기 위해 충분한 크기를 기반으로 하였다. 모든 결과 변수는 불균일한 오류와 백분율로 표현하기 위해 모델링 전 로그로 전환하였다. 결과는 실험 순서, 취급, 단계의 상호 작용을 비교한 호흡간 데이터의 선형 혼합 모델로 평가하였다. (고정효과). 무작위적 효과는 유사성에 포함되었다.

인구 통계값은 규모 기반 추론에 의해 평가되었다. 1 차 결과에 따르면, 달리기의 지구력 성능 개선과 관련하여 대사량에서 가장 미비하게 중요한 변화는 0.9%이었다. 이 값은 달리기 지구력을 결정하는 신체적인 요소의 선형 모델로부터 유추되었다. 3.8% 성능 개선 시 달리기 경제성이 5% 개선되고, 성능이 7%로 개선될 경우 가치 있는 것으로 고려되었다. 따라서, 대사량 효과 크기 산정에 대한 분모는 검증자(qualifier)에 상응하는 0.3%로 나눈 역치 값이다.: 최소=0.0-0.3, 소 =0.3-0.9 중 0.9-1.6, 대=1.6-2.5, 최대=2.5-4.0, 극최대 >4.0. 다른 변수의 경우, 표준차이가 사용되었다. (최소=0.0-0.3, 소 =0.3-0.9 중 0.9-1.6, 대=1.6-2.5, 최대=2.5-4.0, 극최대 >4.0.), 상당한 효과 확률에 정성적인 조건을 할당하기 위한 역치는: <0.5% 극 최대 불확실, <5% 최대 불확실, <25% 불확실, <75% 가능, >75% 확실, >95% 최대 확실, > 99.5%> 극 최대 확실이나 상당한 증가 및 감소를 포함하는 불확실성의 효과는 명확하게 나타나지 않았다.

3. 결과

후속 대사량에 관한 달리기 효과에 대한 기준점을 제시하기 위해, 우리는 달리기 기준치에서 정상 비 처리된 달리기 의복을 입은 그룹에 관하여 48 시간 대조군 의복의 달리기 경제성을 결정했다. 여기서, 체중은 전체 평균 대사력을 다소 높게 설정하고 ((2.2% 95%CL ± 0.8%, p = 5.00E-9) 반대로, 평균 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 마이너스 기준 축소는 최소로 (-0.9% ± 0.7%, p = 0.02) 설정했다. 그러므로, 48 시간에 대한 1 차 결과는 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복이 그렇지 않은 경우에 비하여 대사량이 축소하는 것으로 나타났다 (그림 2A 와 B 그리고 표 1). 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 달리기 속도가 이하에서 4.0% (±0.7%, p < 1.00E-18, 표준화된 차이 -0.17 ± 0.03)의해 VT (1-3 단계) 일 경우 의복은 분당 환기량이 낮았다. VT(5 단계) 이상일 경우 효과는 미세 ((0.7% ± 1.2%, p = 0.34, 0.03 ± 0.04) (그림 2D)했다. 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 착용 시 호흡교환율(respiratory exchange ratio) 증가는 미비했으나 (표 1), 산소 소비량 당 분당 환기량은 미비하게 감소(-0.3 ± 0.5%, p = 0.36, -0.01 ± 0.03)하였고, 더불어 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) (그림 2C.) 착용 시 운동의 산소 소비량 또한 낮은 것으로 나타났다.

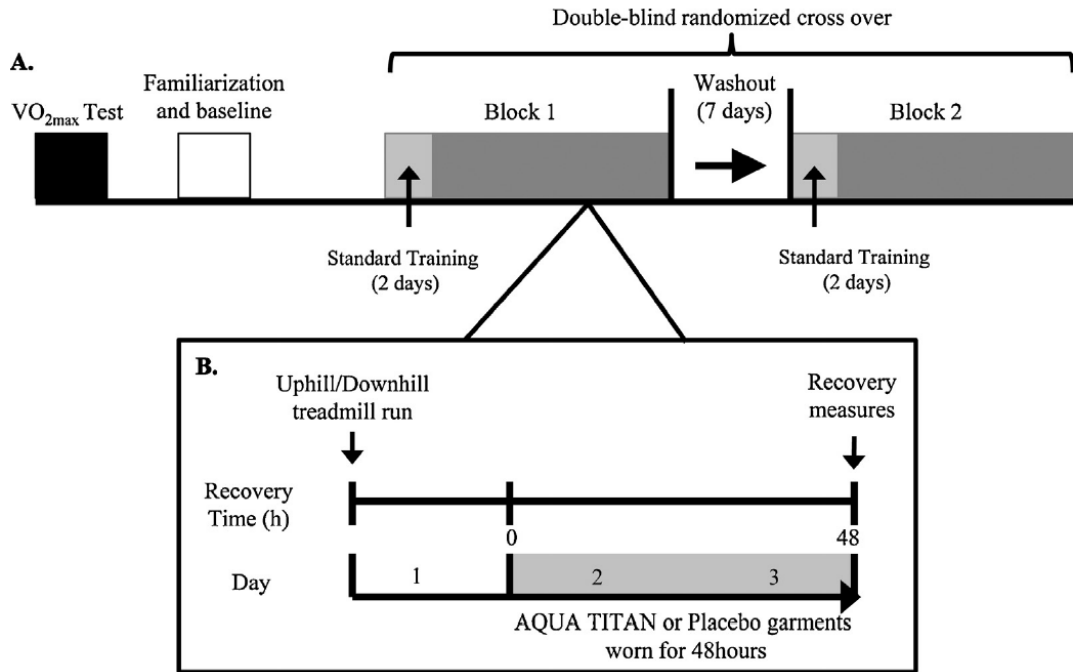


그림 1. 기준치과 적응도(familiarization) 측정에 따른 실험 교차 설계(A)와 두 개의 실험 그룹 중 한 그룹의 세부내역 (B)

표 1. 아쿠아티탄 의복이 격렬한 언덕 달리기 후 운동의 신진대사 소비량에 미치는 영향에 대한 통계 요약

결과	아쿠아티탄 음의 통계 효과 (%)±95%CL ^b	효과 크기 ^a 95%CL ^b	p-값	효과 규모 ^d	추론 ^d
정상 산소 소비량 ^c					
Stages 1-3	-3.9±0.9	-0.9±0.2	1.0E-17	중	최대확실
Stages 4	-1.9±1.4	-0.4±0.3	0.01	소	확실
Stages 5	-2.8±1.5	-0.7±0.4	3.6 E-04	소	매우 확실
All Stages	-3.3±0.6	-0.8±0.2	6.0 E-21	소	최대확실
정상 대사량 ^c					
Stages 1-3	-3.7±0.9	-0.9±0.2	1.0 E-17	중	최대확실
Stages 4	-2.1±1.4	-0.5±0.3	0.003	소	확실
Stages 5	-2.5±1.5	-0.6±0.3	8.8 E-05	소	확실
All Stages	-3.1±0.6	-0.7±0.2	3.0 E-21	소	최대확실
호흡교환비율 ^c					
Stages 1-3	0.014±0.004	0.12±0.04	2.5 E-06	최소	최대확실
Stages 4	-0.007±0.007	-0.07±0.06	0.122	최소	최대확실
Stages 5	0.020±0.08	0.18±0.07	8.1 E-05	최소	가능
All Stages	0.011±0.003	0.10±0.03	1.5 E-06	최소	최대확실

a. Stage 1-3 > 환기 역치(VT), Stage 4 약 VT, Stage 5>VT
b. 상하 신뢰 한계에서 획득한 평균값에서 이 값을 가감
c. 산소(VO₂kg⁻¹)와 대사량(KJ kg⁻¹km⁻¹) 데이터는 백분율로 산정하고 호흡교환비율은 원시 단위(raw unit)로 산정하였다.
d. 결과 값에 대한 규모 기반 추론은 달리기 대사량의 효과 크기 이내로 결정되며, 1.3%는 달리기 지구력의 경제성의 변화에 최소 수준의 역치 값이다.

4. 토의

본 연구의 목적은 격렬한 운동 후 48 시간 회복 기간 동안 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 처리된 의복이 후속 달리기 경제성에 미치는 영향을 살펴보기 위함이다. 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)의복은 비 처리된 의복에 비하여 $3.1\% \pm 6\%$ 까지 후속 달리기 대사량을 감소시킨다. 이러한 달리기 경제성은 이전 연구와 일치하다. Braun 과 Dutto 는 언덕 달리기가 후속 달리기 중 48 시간 대사량에 미치는 평균 피로가 3.2%라고 언급하였다. 미처리된 의복을 착용할 경우와 비교하였을 때, 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)이 처리된 의복을 착용하였을 경우 달리기 경제성이 달리기 이전 수준으로 회복되었음이 나타났다. 의복은 초기 근육 수축력을 유지하여 후속 달리기 시 대사량 복원이 상대적으로 좋은 결과를 나타내었다.

Di Prampero 등은 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복 착용 시 원거리 달리기 성능 시 나타날 수 있는 커다란 변화를 예측하기 위해 제공된 달리기 성능의 생물학에너지 예측변수에 대한 선형 모델에서 생물 에너지와 $VO_2\max$ 보존에 관한 연구 사이에서 동일한 당량이 가정되었다. 현 연구에서 성능을 직접적으로 측정하지는 않았으나, 예측 모델은 경제성의 평균 개선이 2.4% 수준인 것으로 나타났다. 후속 연구는 달리기 대사량이 성과에 유의한 영향을 미치는가에 대하여 입증되어야 하나, 현재 데이터는 회복 기간에 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복이 지속되는 경기에서 신속한 근육 회복으로 추후 경기에서 좋은 성과를 유도할 수 있다고 제안한다. 현재 연구 설계는 48 시간 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복 착용이 후속 운동 시 급성 효과와 레깅스, 양말, 상체 등 부위별 효과를 나타내지는 못하였다.

근-건 단위의 메커니즘의 변화는 대살 경제성 개선으로 설명될 수 있을 것이다. 에너지 저장과 환원은 힘줄이 길어질 때 정적으로 근육이 수축할 때 최적의 효과를 나타낸다. 그러나 건이 너무 길어질 경우 뼈까지 힘이 전달되어 손상이 발생할 수 있다. 최적의 건 경도는 해당 운동 또는 과업에 적정해야 최적이라고 할 수 있다. 만약 달리기 유형을 정상적으로 휴식중인(운동 전) 건 정도에서 최대치까지 지속적으로 전개할 경우, 어떠한 건 정도의 변화는 달리기 경제성을 약화시킬 것이다. 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 테이프와 의복은 관절운동범위(ROM)을 미비하게 증가시켜 보행 메커니즘으로 변경 시 근-건 효율을 개선할 수 있는 것으로 나타났다. (본 경에 대한 데이터 부족) 비교 연구에서, 아킬레스 건 경도는 건에 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 테이프를 적용했을 때 격렬한 운동 후 감소되지 않았다. 유사 효과가 현 결과에서 나타난다.

아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 효과를 설명하기 위한 두 번째 가능 메커니즘은 손상된 근 조직의 회복이다. 이미 많이 알려진 바와 같이, 격렬한 운동으로 인하여 근육이 손상되는 경우가 있다. 이러한 조직 손상은 보폭 길이, 근육 및 관절운동범위를 축소시키고 무릎신전토크(knee extensor torque)를 감소시켜 보폭 성능을 저하시키고, 이로 인하여 수축 기능 저하와 달리기 경제성을 감소시킨다. Braun 과 Dutto 는 축소된 걸음 길이는 달리기 에너지량과 연관되어, 우선적인 Type-I의 섬유 풀(pool)을 손상시켜 상대적으로 Type-II 섬유 점증(recruitment)을 증가시킨다. Type-II 세부

미오신 삼인산 효소 (myosin ATPase) 동형 단백질은 Type-I 보다 단위 힘 생산당 당 1.6-2.1 배 이상의 ATP 를 요구하므로, 비례적으로 높은 산화적 인산화(oxidative phosphorylation)를 요구한다. 우리는 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 착용에 따른 하위 VT 운동 중 4% 낮은 분당 환기량을 관찰했다. 분당 환기량은 운전력있는 근육 구심(muscle afferents)에 의해 근육 수축과 연결된다. 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 착용에 따른 낮은 분당 환기량은 효과 크기를 작게 할 수 있으나, 일부 생리학적인 측면에서 상대적으로 높은 Type-I 섬유 점증(recruitment)을 나타냈다. 조직학적으로, 손상된 근육은 가속화된 근육분화(myogenesis)에 이어 상처 치유 반응과 관련된 면역 과정에 의해 중재된 재생 및 복원 된다. 최근 세포 배상(cell culture) 실험은 가능한 손상 복원 메커니즘을 제안했다. Ishizaki 등은 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 코팅된 고무가 근원섬유(Myofibril) 구성요소(빈쿨린, Type I 과 III 콜라겐)를 상향조정하고 근육세포(Myocyte)와 조골세포 부착도(osteoblast adhesion)를 가속화하고, 그 결과 우리가 관찰한 효과에 대한 잠재적인 메커니즘을 증명한다.

최종 관점은 신경 메커니즘과의 연관성이다. 하지 반사 활동 분열은 달리기 보폭 손상에 의한 것으로 알려져있다. Cronin 등은 손상된 하퇴삼두근(triceps surae) 단기 잠복 반은 결과는 달리기 동안 비효율적인 힘의 전달을 나타냈다. 내리막 달리기가 하퇴삼두근(triceps surae)의 단기 잠복 반사 반응을 축소하기 때문에 현 연구에서 고려하는 유의한 메커니즘이다. 진정, 강도높은 달리기 후 48 시간 동안 하퇴삼두근(triceps surae)에 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 테이프를 적용한 경우 단기 잠복 반응은 감소하고 아킬레스 건 경도와 ROM 은 증가하였다. 후속 감소 결과와 강경한 건은 아마도 보행주기 동안 연결 효과 증진으로 달리기 경제성 또한 개선 가능하다. 후속 조사는 개선된 신경근 조정과 건 경도 회복이 격렬한 운동 후 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 의복을 통한 달리기 경제성 복원에 대한 1차 정상적인 메커니즘에 대한 연구가 요구된다.

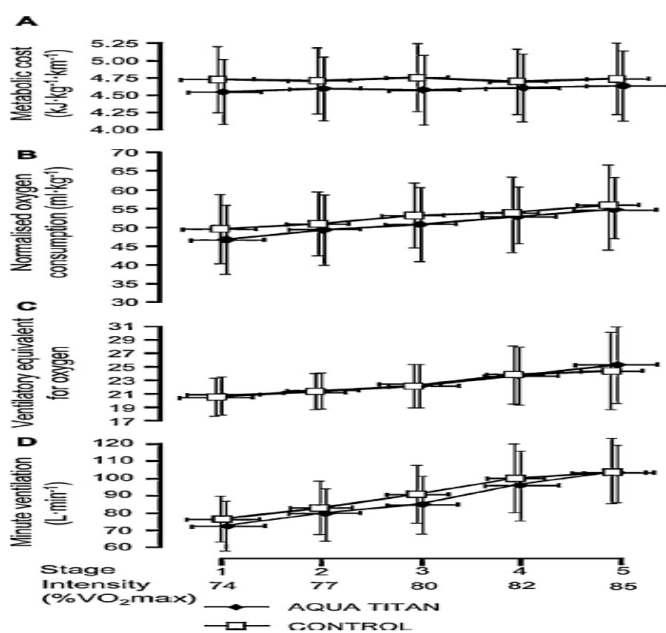


그림 2 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 처리된 의복이 정규 대사량 (A), 달리기 산소 소비량(B), 산소 대비 환기 대량(c), 격렬한 언덕 달리기 후 48 시간 동안 분당 환기량에 미치는 영향. 데이터는 평균과 표준편차로 나타내었다. X 축은 운동 강도(%VO₂max)에 대한 표준편차(SD)를 나타낸 것이다.

5. 결론

격렬한 운동 후 회복 중 아쿠아 티탄(AQUA TITAN) 착용은 후속 달리기 경제성을 회복시켰다. 현재 뒷받침 되는 메커니즘으로는 달리기 시작 전의 최적의 건 정도 조절 및 회복 보다 빠른 단기 잠복 반응을 통한 근건 수축 기능 개선이다. 후속 연구는 회복 중 근육 및 연결 조직 보전 및 기능과 관계된 세포 복원 메커니즘의 잠재적인 변형을 조사하고 느린 회복 기간 또는 운동 중 생리적 변화에 의해 효과가 중재되는 것과 신체적인 성능에 미치는 영향을 살펴보기 위해 용량 반응(dose response)을 결정하는 것이 요구된다. 메커니즘과 상관없이, 달리기 경제성 결과의 규모와 가능성은 아쿠아 티탄(AQUA TITAN)이 연이은 경기 시 격렬한 운동 중 근육 수축 기능에 유의한 영향을 미칠 수 있다는 것을 시사한다.