

Compression Garment 재질이 하지 근수축 특성에 미치는 영향

이윤곤, 신성훈*
영남대학교 체육학부

Effects of Compression Garment Fabrics on Lower Extremity Muscle Contraction Properties

Yungon Lee, Sunghoon Shin*
School of Kinesiology, Yeungnam University

요약 압축의복 착용의 신체적 이점은 다양하지만 압축의복 재질이 하지 근수축 특성에 미치는 영향은 알려지지 않았다. 본 연구의 목적은 압축의복 재질이 하지 근수축 특성에 미치는 영향을 확인하는 것이었으며, 압축의복 재질과 하지근육 간의 상호작용 효과를 밝히는 데 있었다. 실험 기간인 약 3개월 동안 16명의 젊은 남성 성인이 실험에 참여하였다. 참가자는 동일한 사이즈로 구성된 4가지 재질(control: nylon 75% + spandex 25%, type A: polyester 77% + spandex 23%, type B: polyester 83% + spandex 17%, type C: nylon 77% + spandex 23%)의 압축의복을 무작위 순서로 착용하였다. 하지근육 여섯 부위(RF, VM, VL, GT, ST, BF)가 근장력계(TMG)를 통해 측정되었고, 근수축 특성 변인 5가지(Dm, Tc, Td, Ts, Tr)가 수집되었다. 통계분석을 위해 이원 반복 측정 분산분석(two way repeated measures ANOVA with two within factors)이 실시되었다. 연구 결과, 각 하지근육 부위에 따른 근수축 특성의 차이는 있었으나($p < .05$), 압축의복 재질에 따른 근수축 특성의 차이는 없었다($p > .05$). 더불어서, 압축의복 재질과 하지근육 부위에 따른 근수축 특성의 상호작용 효과는 나타나지 않았다($p > .05$). 결론적으로 동일한 압박 강도의 재질에도 불구하고, 압축의복 재질이 근수축 특성에 직접적인 영향을 미치지 않았다. 따라서 향후 연구에서 압축의복의 디자인 설계 및 압박 강도와 같은 다양한 설정이 고려될 필요가 있다.

Abstract The physical benefits of wearing compression garments vary, but the effect of compression garment fabrics on lower extremity muscle contraction properties is unknown. The purpose of this study was to determine this effect and to reveal the interaction effect between the compression garments fabrics and the lower extremity muscles. Sixteen young men took part in this experiment. Participants wore compression garments composed of four fabrics of the same size in random order. Six lower extremity muscles were measured using a tensiomyography (TMG), and five muscle contraction properties were collected. There was a significant difference in the muscle contraction properties of each of the lower extremity muscles ($p < .05$), but there was no significant difference in lower extremity muscle contraction properties based on variations in the compression garment fabrics ($p > .05$). In addition, there was no interaction between the compression garment fabrics and the lower extremity muscles ($p > .05$). In conclusion, a variation in the compression garment fabrics of the same compression intensity did not directly affect the muscle contraction properties. Therefore, it is necessary to consider various other settings, such as the design and intensity of compression garments in future studies.

Keywords : Compression Garment, Fabrics, Muscle, Muscle Contraction Properties, Tensiomyography

이 연구는 2021년도 영남대학교 학술연구조성비로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sunghoon Shin(Yeungnam Univ.)

email: sshin27@ynu.ac.kr

Received November 30, 2021

Revised December 27, 2021

Accepted February 4, 2022

Published February 28, 2022

1. 서론

근육 표면에 가해지는 압력은 운동 효과를 극대화할 수 있다[1]. 이러한 근압박은 근육으로의 동맥 유입(arterial inflow)을 부분적으로 감소시키지만, 근육으로부터 정맥 유출(venous outflow)을 일시적으로 크게 제한함으로써[2], 운동 시 골격근의 근비대와 근력을 증가시키는 효과를 가져온다[3]. 일례로, 1주간의 가압 운동(kaatsu training)은 중년 남성의 대퇴사두근 근단면적(muscle cross-sectional area)과 근육량(muscle volume)을 각각 3.5%와 4.8% 늘렸고[4], 6주간의 저부하 혈류제한운동(low-load vascular restriction training)은 고강도 저항운동(80% 1-RM) 프로토콜과 유사하게 노년 남성의 하지근력을 증가시켰다[5]. 이러한 처치는 운동 중 압박된 근육의 생리적 반응 수준(즉, circulation)을 높여[6], 운동능력을 향상하는데 효율적인 방법으로 여겨진다[1].

일시적인 혈류 압박을 유도하는 장비는 대표적으로 전자동 공압 장비인 Kaatsu, 수동식 압박밴드, 기능성 압축의복(compression garment) 등이 있다. 특히 지속해서 인체 근육 표면에 압력을 가하는 압축의복에 의한 압박 효과는 운동 상황에서 더욱 두드러지는데, 이는 근육의 생리적 피로를 줄이고 운동기능을 증진한다[7,8]. 예를 들면, 압축의복 착용의 회복 효과는 고강도 운동 후 지연성근통증(delayed onset muscle soreness)을 감소시키고[9], 근피로(muscle fatigue)를 줄이는 것으로 보고되었으며[10], 근육 손상으로부터 회복을 증진하는데 효과적이라고 밝혀졌다[9]. 또한, 압축의복 착용의 운동능력 향상 효과는 카운터 무브먼트(counter movement jump) 점프에서 수직 점프 높이를 증가시키고[11], 사이클 에르고미터 운동(cycle ergometer exercise) 중 무산소성 파워를 높이는 것으로 보고되었으며[12], 중장거리 런닝(distance running)에서 근기능(muscle function)을 극대화하는데 도움을 줄 수 있다고 밝혀졌다[13]. 이처럼 다양한 운동에서 압축의복의 착용은 근육의 부상을 예방하고[14], 효율적인 하지근육 활성화를 통해 궁극적으로 운동수행 향상에 기여한다[15].

운동 중 근손상 및 운동 수행력은 하지 근수축 특성(muscle contraction characteristics)의 영향을 받는다[16,17]. 최근 근수축 특성을 측정 평가하는 장비로 긴장력계(Tensiomyography, TMG)가 활용되고 있는데, TMG는 일정 강도(0-100 milliamperes, mA)의 전기 자극 중 근수축 신호 곡선(근육 배변위 시간 곡선)의

maximum displacement (Dm), contraction time (Tc), delay time (Td), sustain time (Ts), relaxation time (Tr) 등을 산출한다. 특히 근수축 특성 중 Tc와 Dm이 하지근육 부상 및 운동기능과 밀접하게 관련되어 있다. 선행연구를 살펴보면, 전방십자인대(anterior cruciate ligament) 부상을 입은 남성 축구선수는 손상된 하지의 대퇴사두근에서 전기 자극 중 근수축 신호 곡선의 Tc가 손상이 없는 하지에 비해 높은 값이 나타났다[18]. 이외에도, 여성 럭비선수의 외측광근 전기 자극에서 근수축 신호 곡선의 Dm 값이 낮을수록 무산소성 파워가 증가되었다[19]. 이러한 결과를 고려했을 때, TMG로부터 산출된 근수축 특성을 이해하는 것은 근육과 관련된 부상을 예방 관리하고, 근기능을 통한 수행력을 예측 평가하는데 있어서 중요하다.

인체 근육 표면에 압력을 가하여 근육의 안정성을 높이고 운동기능을 증진할 수 있는 압축의복의 효과는 이미 선행연구에서 밝혀졌지만, 압축의복의 재질이 실제로 근수축 메커니즘에 어떠한 구체적 변화를 주는지에 대한 실증연구는 전혀 없었다. 즉, 압축의복의 재질 차이가 근수축에 미치는 영향은 구체적으로 분석되지 않았다. 압축의복은 신축성이 뛰어난 탄성 직물(elastic fabric) 소재로 구성되어 있지만[20], 그 미세한 재질 차이에 따라 운동 수행력과 회복의 정도는 상이할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 다양한 압축의복 재질이 하지 근수축 특성에 미치는 영향을 확인하는 것이며, 압축의복 재질과 각 하지근육 부위 사이의 상호작용 효과가 있는지를 밝히는 데 있다.

2. 연구방법

2.1 연구대상자

본 연구의 실험 기간은 약 3개월 동안 진행되었다. 연구 참가자는 최근 6개월 내 근골격계 질환이 없는 젊은 남성 16명으로 선정되었다. 참가자의 구체적인 신체적 특성은 <Table 1>에 제시되었다.

Table 1. Physical characteristics of male participants (n= 16)

Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
21.25±0.77	173.12±5.77	69.12±7.90

Data are mean±SD.

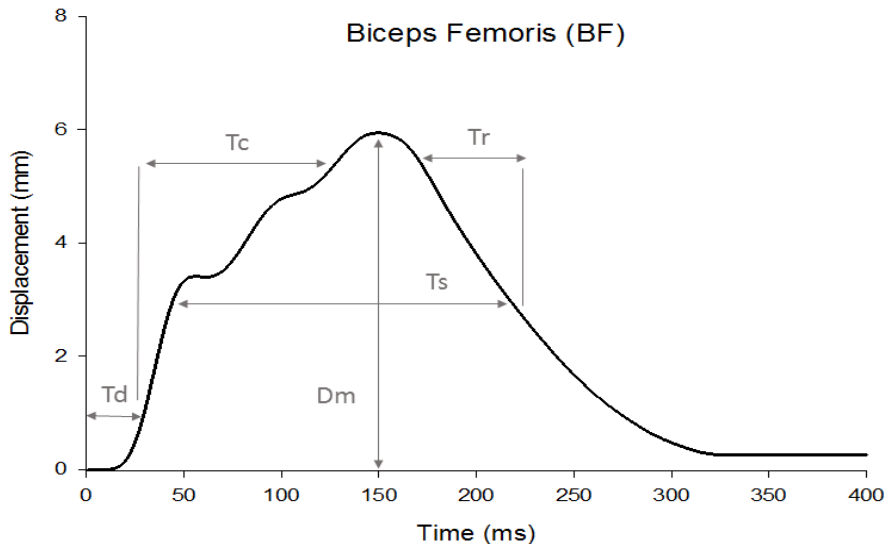


Fig. 1. Examples of muscle contraction properties calculated during electrical stimulation on the muscle surface from TMG. Dm: maximum displacement; Tc: contraction time; Td: delay time; Ts: sustain time; Tr: relaxation time.

2.2 측정변인

참가자의 근수축 특성을 측정하기 위해 TMG (BMC Ltd., Slovenia)가 사용되었다. TMG는 비침습적인 방법으로 단일 전기 자극에 기초하여 기계적 반응에 의한 근수축을 측정하는 장비이다[21,22]. TMG의 신뢰도와 타당도는 선행연구에서 검증되었고[22], TMG로 측정된 근수축 신호 곡선에서 산출된 변인은 다음과 같다 <Fig. 1>.

- 1) Dm (mm): 근수축에 의한 배위(muscle belly)의 최대 변위를 나타낸다.
- 2) Tc (ms): Dm의 10-90%까지 이르는 시간을 나타낸다.
- 3) Td (ms): Dm의 10% 이르는 시간을 나타낸다.
- 4) Ts (ms): 50% 근수축과 50% 근이완 사이의 시간을 나타낸다.
- 5) Tr (ms): 근이완의 90-50%까지 이르는 시간을 나타낸다.

2.3 실험절차

압축의복 재질은 기성품(control: nylon 75% + spandex 25%)과 나머지 3가지 시제품(type A: polyester 77% + spandex 23%; type B: polyester 83% + spandex 17%; type C: nylon 77% +

spandex 23%)으로 구성되었으며, 기성품을 기준으로 다른 3가지 시제품이 각각 비교되었다. 기성품(Skins™, Sydney, Australia)의 경우 의복의 압박효과를 검증하는 여러 선행연구에서 보편적으로 사용되고 있다 [9,10,12]. 먼저, 참가자는 동일한 사이즈로 구성된 4가지 재질의 압축의복을 무작위 순서로 착용하였고, 접이식 침대 위에 편안하게 누웠다. 이때 참가자의 하지근육 여섯 부위는 TMG를 통해 평가되었다. 구체적으로 하지근육 전면부(anterior)인 대퇴직근(rectus femoris, RF), 내측광근(vastus medialis, VM), 외측광근(vastus lateralis, VL) 및 후면부(posterior)인 대둔근(gluteus maximus, GT), 반건양근(semi-tendinosus, ST), 대퇴이두근(biceps femoris, BF) 등의 근수축이 측정되었다. 전면부 측정 시, 삼각형 웨지 쿠션이 참가자의 무릎 밑으로 배치되었다. 참가자는 정면으로 누워있는 상태에서 무릎 관절 각도를 120° 유지하였다[23]. 후면부 측정 시, 반원형 웨지 쿠션이 참가자의 발목 아래로 배치되었다. 참가자는 엎드려 누워있는 상태에서 무릎 관절 각도를 180° 유지하였다[23]. 근수축 측정은 TMG 제조사 전문가 교육에 참여한 단일 연구자에 의해 동일한 방법으로 반복되었다. 각 하지근육에는 TMG로부터 연결된 2개의 패치 전극(5 x 5 cm)이 3 cm 간격으로 참가자의 각 근육 중심 피부 표면에 부착되었다. 부착된 전극은 근수축을 유도하였고, 전극 사이의 수직으로 고정된 측정



Fig. 2. Example of measuring lower extremity muscle contraction by compression garment fabrics. Left: control (skins, nylon 75% + spandex 25%); Right: type A (polyester 77% + spandex 23%).

Table 2. Results of lower extremity muscle contraction properties by compression garment fabrics.

Muscles	Compression Garment Fabrics				P-value	
	Control	Type A	Type B	Type C		
Dm (mm)	RF	6.65±2.78	6.38±2.81	5.79±2.71	6.82±2.56	C M* C×M
	VM	7.46±1.25	7.32±1.59	7.29±1.29	7.31±1.50	
	VL	4.60±1.32	4.57±1.57	4.68±1.95	5.01±1.87	
	GT	7.92±1.88	8.34±1.77	8.45±1.84	8.24±1.92	
	ST	6.20±2.31	6.43±2.74	6.74±2.71	6.73±2.15	
	BF	3.43±2.08	4.62±2.90	4.11±2.55	4.04±2.97	
Tc (ms)	RF	25.86±4.82	26.65±7.14	26.35±8.36	26.27±7.11	C M* C×M
	VM	24.07±4.30	25.52±3.79	25.20±3.99	25.27±4.45	
	VL	24.51±6.11	24.44±5.06	24.46±5.18	25.41±3.95	
	GT	41.14±8.12	41.90±9.18	41.49±10.37	37.69±5.48	
	ST	40.68±10.49	38.19±12.10	37.87±11.96	40.78±11.04	
	BF	33.35±20.42	39.55±18.43	37.43±17.39	30.17±10.92	
Td (ms)	RF	23.11±2.11	22.68±2.78	22.17±2.24	23.12±2.50	C M* C×M
	VM	22.20±1.85	22.38±1.72	22.52±2.66	22.55±2.26	
	VL	22.46±2.37	22.19±2.31	22.57±2.97	22.79±2.59	
	GT	31.07±3.20	30.94±4.60	31.39±3.93	30.98±2.77	
	ST	27.41±5.00	26.86±5.42	27.59±5.63	28.18±5.59	
	BF	24.17±4.72	28.76±12.36	27.91±10.79	25.42±4.61	
Ts (ms)	RF	113.09±94.12	114.19±78.41	138.26±102.76	110.83±74.69	C M* C×M
	VM	159.54±79.60	156.73±66.88	161.98±84.75	145.96±71.14	
	VL	44.87±32.45	45.94±28.73	50.50±38.95	43.86±18.13	
	GT	234.32±44.06	214.02±61.25	229.14±35.31	226.37±46.15	
	ST	160.53±29.33	178.07±45.72	170.26±42.07	157.48±35.24	
	BF	227.75±63.47	210.82±64.15	214.05±64.31	201.41±71.42	
Tr (ms)	RF	49.39±55.93	47.94±57.45	64.92±66.98	54.40±56.42	C M* C×M
	VM	74.96±50.75	89.32±53.06	85.26±38.77	69.11±46.85	
	VL	14.84±14.89	17.01±16.93	18.09±21.67	14.55±10.32	
	GT	151.83±67.76	103.53±67.25	118.47±66.57	124.83±64.70	
	ST	75.48±34.67	69.55±37.60	77.91±35.57	78.41±37.33	
	BF	59.16±27.25	74.31±37.52	60.52±27.57	47.61±23.11	

Data are mean±SD. Control (skins, nylon 75% + spandex 25%); Type A (polyester 77% + spandex 23%); Type B (polyester 83% + spandex 17%); Type C (nylon 77% + spandex 23%). mm: millimeters; ms: milliseconds. RF: rectus femoris; VM: vastus medialis; VL: vastus lateralis; GT: gluteus maximus; ST: semitendinosus; BF: biceps femoris. Dm: maximum displacement; Tc: contraction time; Td: delay time; Ts: sustain time; Tr: relaxation time. C: compression garment fabrics; M: muscles. * indicates significant difference (p < .05).

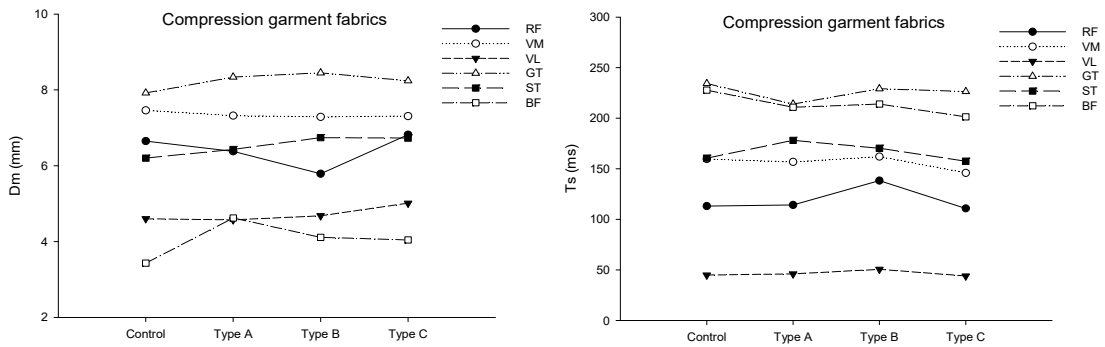


Fig. 3. Example of comparison of lower extremity muscle contraction properties by compression garment fabrics. There was no significant difference in lower extremity muscle contraction by compression garment fabrics ($p > .05$). Control (skins, nylon 75% + spandex 25%); Type A (polyester 77% + spandex 23%); Type B (polyester 83% + spandex 17%); Type C (nylon 77% + spandex 23%). RF: rectus femoris; VM: vastus medialis; VL: vastus lateralis; GT: gluteus maximus; ST: semitendinosus; BF: biceps femoris. Dm: maximum displacement; Ts: sustain time.

센서로부터 근수축 반응 신호가 수집되었다. 전극의 진폭은 40-100 milliamperes (mA)에서 20 mA씩 조절되었다. 각 자극으로부터 얻어진 근수축 데이터 중 최대치가 최종적으로 수집되어 데스크톱에서 모니터링 되어 엑셀 파일로 저장되었다. 근수축 측정의 예시는 <Fig. 2>에 제시되었다.

2.4 자료처리

독립변인은 압축의복 재질 4가지(control, type A, type B, type C) 및 하지근육 여섯 부위(RF, VM, VL, GT, ST, BF)로 정해졌다. 종속변인은 TMG로 산출된 근수축 특성 변인 5가지(Dm, Tc, Td, Ts, Tr)로 설정되었다. 통계분석을 위해 이원 반복 측정 분산분석(two way repeated measures ANOVA with two within factors)이 실시되었다. 하지근육 여섯 부위의 주 효과는 Bonferroni 방법으로 다중비교(multiple comparison)되었다. 모든 통계적 유의수준은 .05로 설정되었고, SPSS (ver. 20) 프로그램이 사용되었다. 이원 반복 측정 분산분석의 효과 크기(effect size)는 부분에타제곱(η^2)으로 계산되었다. 여기서, 부분에타제곱 0.01 값은 작은 효과 크기, 0.06 값은 중간 효과 크기, 0.14 값은 큰 효과 크기를 나타낸다.

3. 연구결과

연구 결과에서 언급된 모든 결과는 <Table 2>에 구체

적으로 제시되었고, 압축의복 재질에 따른 하지 근수축 비교의 예시는 <Fig. 3>와 같다.

3.1 Dm (mm)

하지근육 간의 유의한 차이가 있었다($F = 12.30$, $p < .05$, $\eta^2 = .45$). 다중비교 결과, VM은 VL과 BF 보다 높은 값을 나타냈고($p < .05$), VL은 GT와 ST 보다 낮은 값을 보였다($p < .05$). GT와 ST는 BF 보다 높은 값을 나타냈다($p < .05$). 압축의복 재질 간의 유의한 차이는 없었으며, 압축의복 재질과 하지근육 사이의 상호작용 효과는 나타나지 않았다.

3.2 Tc (ms)

하지근육 부위에 따른 주효과가 있었다($F = 15.82$, $p < .05$, $\eta^2 = .51$). 다중비교 결과, RF, VM, VL은 GT와 ST 보다 낮은 값을 나타냈다($p < .05$). 압축의복 재질에 따른 주효과는 없었으며, 압축의복 재질과 하지근육 사이의 상호작용 효과는 나타나지 않았다.

3.3 Td (ms)

하지근육 사이의 유의한 차이가 있었다($F = 15.14$, $p < .05$, $\eta^2 = .50$). 다중비교결과, RF, VM, VL은 GT와 ST 보다 낮은 값을 나타냈다($p < .05$). 압축의복 재질 사이의 유의한 차이는 없었고, 압축의복 재질과 하지근육 사이의 상호작용 효과는 나타나지 않았다.

3.4 Ts (ms)

하지근육 부위에 의한 주효과가 있었다($F = 29.08$, $p < .05$, $\eta^2 = .66$). 다중비교결과, RF는 VL 보다 높은 값을 나타냈고($p < .05$), GT, BF 보다 낮은 값을 보였다($p < .05$). VM은 VL 보다 높은 값을 나타냈고($p < .05$), GT 보다 낮은 값을 보였다($p < .05$). VL은 GT, ST, BF 보다 낮은 값을 나타냈고($p < .05$), GT는 ST 보다 높은 값을 보였다($p < .05$). ST는 BF 보다 낮은 값을 나타냈다($p < .05$). 압축의복 재질에 의한 주효과는 없었으며, 압축의복 재질과 하지근육 사이의 상호작용 효과는 나타나지 않았다.

3.5 Tr (ms)

각 하지근육 별로 유의한 차이가 있었다($F = 20.18$, $p < .05$, $\eta^2 = .57$). RF는 GT 보다 낮은 값을 나타냈다($p < .05$). VM은 VL 보다 높은 값을 보였고($p < .05$), GT 보다 낮은 값을 나타냈다($p < .05$). VL은 GT, ST, BF 보다 낮은 값을 보였고($p < .05$), GT는 ST와 BF 보다 높은 값을 나타냈다($p < .05$). 각 압축의복 재질 별로 유의한 차이는 없었고, 압축의복 재질과 하지근육 사이의 상호작용 효과는 나타나지 않았다.

4. 논의

본 연구는 압축의복 재질이 하지 근수축 특성에 미치는 영향을 확인하는 데 목적이 있었고, 압축의복 재질과 하지근육 부위 사이의 상호작용 효과를 밝히는 데 있었다. 연구 결과를 요약하면, 각 하지근육 부위에 따른 근수축 특성의 차이는 있었으나, 압축의복 재질에 따른 근수축 특성의 차이는 없었다. 더불어서, 압축의복 재질과 하지근육 부위에 따른 근수축 특성의 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 연구결과에 대한 주요 정리는 다음과 같다.

먼저, 본 연구에서 대퇴부 근육 부위(RF, VM, VL, GT, ST, BF)의 근수축 특성은 각각 달랐다. 대퇴 전면부 RF, VM, VL 보다 후면부 ST에서 근수축 특성 변인 중 하나인 Tc는 높은 값을 나타냈다. 일반적으로 각 부위별 근수축 특성은 운동 형태에 따라서 수축이나 이완 정도가 상이할 수 있다[24]. 예를 들어, 보행은 대표적인 하지 대퇴부의 대근 운동으로 분류되는데, 보행 중 활보장(stride length)이 짧을수록 VM에서 Tc 값이 낮은 음의

상관을 나타냈고, ST에서는 Tc 값이 높은 양의 상관관계를 보였다[25]. 이는 근수축 특성이 근육의 위치, 형태 및 크기에 따라서 다르게 기여한다는 사실을 보여준다. 본 연구의 결과에서 근육 부위별 재질에 의한 상호작용 효과는 없었기 때문에 운동 중 압축의복의 재질 특성에 의한 근육 부위별 추가적인 근수축 변화나 상호작용에 의한 기능의 극대화는 기대하기 어렵다고 판단된다.

본 연구는 압축의복 재질이 하지 근수축 특성에 미치는 영향을 밝히는 데 주된 관심이 있었다. 일반적으로 압축의복의 경우 신축성이 뛰어난 탄성 소재로 구성되어 있고[20], 사용되는 재질의 신축성에 따라 압축 효과가 다르다고 밝혀진 바 있다[26]. 구체적으로, 나일론(nylon)과 스판덱스(spandex)로 구성된 의료용 압축의복 재질은 나일론 75%, 스판덱스 25% 특성과 비교하여 나일론 63%, 스판덱스 37% 특성에서 압축 강도가 더 강하다고 보고되었다[26]. 이러한 압축의복 재질(신축성 및 복원력 등) 차이에 의해서 신체가 느끼는 착용감은 달라질 수 있으므로[27], 재질 특성은 압축의복 성능에서 고려되어야 할 중요 지표로 알려져 있다[26]. 궁극적으로 압축의복에 의한 신체적 이점은 근피로를 방지하고 운동 수행력 증진으로 이어진다[7-15]. 즉, 신체가 받아들이는 근피로나 운동 수행력은 미세한 압축의복의 재질 특성에 의해서 충분히 조절되거나 보강될 수 있다고 여겨진다.

이와 같은 논리적 근거에 의하여 본 연구는 압축의복 재질에 따른 근수축 효과를 직접적으로 밝히고자 하였으나, 재질에 의한 근수축 변화는 없었다. 이러한 결과가 나타난 원인에 대해 몇 가지 가능성을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 시제품 개발 과정에 있는 압축의복은 기존의 기성품인 압축의복과 비교하여 재질의 혼합 비율이 유사한 범위 내로 구성되었다. 사용된 압축의복의 경우 나일론, 폴리에스터, 스판덱스 재질로 혼합되었고, 공통으로 스판덱스 재질이 포함되었다. 압축의 주요 영향요인으로 여겨지는 스판덱스 재질 비율은 각각 control 25%, type A 23%, type B 17%, type C 23%로 제품별로 차이가 다소 미비하였다. 이는 재질 내 압축에 실제적인 영향을 미칠만한 성분의 비율이 근수축 특성의 변화를 유도하기에 미흡한 수준이었을 가능성이 있다. 재질에 따른 근수축 특성의 차이를 분명하게 밝히기 위해서는 착용감을 동등하게 유지하여 불편하지 않은 범위 내에서 특정 재질의 비율 구성을 달리하여 재검증할 필요가 있을 것으로 보인다.

둘째, 본 연구에서 압박 강도가 재질의 특성을 반영할 수준으로 적절히 설정되지 못하였을 가능성도 있다. 본 연구에서 참가자에게 편안한 압박 강도로 동일하게 고려하였지만, 압축의복의 특성상 상대적으로 압박 강도를 높였을 때 압박의 재질에 따른 효과가 더욱 명확히 드러날 수 있었을 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구결과에서 재질 차이에 따른 근수축의 영향은 없는 것으로 보아, 실제 근수축 특성의 변화는 재질 보다는 압박 강도와 더욱 밀접하게 관련되어 있을 것으로 여겨진다. 압축 효과를 증명한 대부분의 선행연구에서 근육의 회복과 기능 향상은 근 표면에 가해지는 압력 수준에 의해 조절된다고 주장되었다[1-4,9]. 예를 들어, 일반적으로 압축이 없는 일반의복과 비교하여 압축의복 착용은 런닝 중 근육의 진동을 감소시켜 에너지 소비 측면에서 효율적이라고 보고되었으며[7], 8mmHg (low) 강도의 압축의복에 비해 15-20mmHg (mid-high) 강도의 압축의복 착용이 런닝 동안 근육의 피로를 줄인다고 밝혀졌다[28]. 이러한 결과를 고려했을 때, 압축의복 효과에서 근수축 특성은 재질의 차이보다는 재질의 압축 강도에 의해 조절될 수 있는 것으로 예상된다. 따라서 후속 연구에서는 압축의복의 재질 외에도 제품 디자인이나 압박 강도 등을 함께 고려하여 근수축의 변화를 확인한다면, 재질 외에 어떤 요인이 근수축에 직접적인 영향을 미치는지를 보다 명확히 밝힐 수 있을 것이다.

4. 결론

결론적으로, 압축의복 재질에 따른 근수축 특성의 차이는 없었다. 이는 균일한 압박 강도의 재질에도 불구하고, 압축의복 재질이 근수축 특성에 직접적인 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다.

References

[1] T. Abe, K. Kawamoto, T. Yasuda, C. F. Kearns, T. Midorikawa, Y. Sato, "Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes", *International Journal of KAATSU Training Research*, 1, 19-23, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3806/ijtr.1.19>

[2] S. D. Patterson, L. Hughes, P. Head, S. Warmington, C. Brandner, "Blood flow restriction training: a novel approach to augment clinical rehabilitation: how to

do it", *British journal of sports medicine*, 1648-1649, 2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bisports-2017-097738>

- [3] J. Loenneke, C. Fabs, L. Rossow, T. Abe, M. Bembem, "The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling", *Medical hypotheses*, 78, 151-154, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.10.014>
- [4] T. Abe, S. Hinata, K. Koizumi, Y. Sato, "Day-to-day change in muscle strength and MRI-measured skeletal muscle size during 7 days KAATSU resistance training: A case study", *International Journal of KAATSU Training Research*, 1, 71-76, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3806/ijtr.1.71>
- [5] M. Karabulut, T. Abe, Y. Sato, M. G. Bembem, "The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men", *European journal of applied physiology*, 108, 147, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1204-5>
- [6] T. Higgins, G. A. Naughton, D. Burgess, "Effects of wearing compression garments on physiological and performance measures in a simulated game-specific circuit for netball", *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 223-226, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.018>
- [7] A. Bringard, S. Perrey, N. Belluye, "Aerobic energy cost and sensation responses during submaximal running exercise-positive effects of wearing compression tights", *International journal of sports medicine*, 27, 373-378, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2005-865718>
- [8] I. Angelakos, C. Mills, J. O'Halloran, "The effects of compression garments on stability and lower limb kinematics during a forward lunge", *Journal of Human Kinetics*, 71, 59-68, 2020.
- [9] J. Hill, G. Howatson, K. Van Someren, J. Leeder, C. Pedlar, "Compression garments and recovery from exercise-induced muscle damage: a meta-analysis", *British journal of sports medicine*, 48, 1340-1346, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bisports-2013-092456>
- [10] M. J. Hamlin, C. J. Mitchell, F. D. Ward, N. Draper, J. P. Shearman, N. E. Kimber, "Effect of compression garments on short-term recovery of repeated sprint and 3-km running performance in rugby union players", *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 2975-2982, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182711e0b>
- [11] B. Doan, Y. H. Kwon, R. Newton, J. Shim, E. Popper, R. Rogers, L. Bolt, M. Robertson, W. Kraemer, "Evaluation of a lower-body compression garment", *Journal of sports sciences*, 21, 601-610, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/0264041031000101971>
- [12] A. T. Scanlan, B. J. Dascombe, P. R. Reaburn, M. Osborne, "The effects of wearing lower-body

- compression garments during endurance cycling”, *International journal of sports physiology and performance*, 3, 424-438, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1123/ijssp.3.4.424>
- [13] W. C. Hsu, L. W. Tseng, F. C. Chen, L. C. Wang, W. W. Yang, Y. J. Lin, C. Liu, “Effects of compression garments on surface EMG and physiological responses during and after distance running”, *Journal of Sport and Health Science*, 9(6), 685-691, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.01.001>
- [14] X. Borràs, X. Balius, F. Drobnic, L. Til, A. Turmo, J. Valle, “Effects of lower body compression garment in muscle oscillation and tissular injury during intense exercise”, *In Proceedings of the ISBS-Conference Proceedings Archive*, 2011.
- [15] P. Wang, L. Li, M. D. Yan, F. Ru, “Effects of compression garments on lower limb muscle activation via electromyography analysis during running”, *Journal of Donghua University*, 32(1), 2014.
- [16] A. M. Hunter, S. D. Galloway, I. J. Smith, J. Tallent, M. Ditroilo, M. M. Fairweather, G. Howatson, “Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography”, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22, 334-341, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.01.009>
- [17] R. A. de Paula Simola, N. Harms, C. Raeder, M. Kellmann, T. Meyer, M. Pfeiffer, A. Ferrauti, “Assessment of neuromuscular function after different strength training protocols using tensiomyography”, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 1339-1348, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000768>
- [18] P. Alvarez-Diaz, E. Alentorn-Geli, S. Ramon, M. Marin, G. Steinbacher, J. J. Boffa, X. Cuscó, O. Ares, J. Ballester, R. Cugat, “Effects of anterior cruciate ligament injury on neuromuscular tensiomyographic characteristics of the lower extremity in competitive male soccer players”, *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24, 2264-2270, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3319-4>
- [19] P. L. Valenzuela, Z. Montalvo, G. Sánchez-Martínez, E. Torrontegi, J. De La Calle-Herrero, R. Dominguez-Castells, N. A. Maffiuletti, P. De La Villa, “Relationship between skeletal muscle contractile properties and power production capacity in female Olympic rugby players”, *European journal of sport science*, 18, 677-684, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1438521>
- [20] P. Wang, J. McLaren, K. F. Leong, P. J. Des Ouches, “A pilot study: Evaluations of compression garment performance via muscle activation tests”, *Procedia Engineering*, 60, 361-366, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.proeng.2013.07.059>
- [21] R. Dahmane, V. Valenčić, N. Knez, I. Eržen, “Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response”, *Medical and biological engineering and computing*, 39, 51-55, 2001.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02345266>
- [22] J. Tous-Fajardo, G. Moras, S. Rodríguez-Jiménez, R. Usach, D. M. Doutres, N. A. Maffiuletti, “Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography”, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 761-766, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.02.008>
- [23] S. Shin, M. Milosevic, C. M. Chung, Y. Lee, “Contractile properties of superficial skeletal muscle affect postural control in healthy young adults: A test of the rambling and trembling hypothesis”, *PLoS one*, 14, e0223850, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223850>
- [24] Y. Lee, S. Shin, “The Relationship between Anaerobic Power and Contractile Properties of the Lower Extremity Skeletal Muscles during Maximal Cycling Exercise”, *The Korean Journal of Physical Education*, 3, 387-396, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.23949/kjpe.2020.5.59.3.387>
- [25] C. M. Chung, S. Shin, “The effect of lower limb muscle contractile properties on walking”, *The Korea Journal of Sports Science*, 6, 1137-1149, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.35159/kjss.2018.12.27.6.1137>
- [26] L. Wang, M. Felder, J. Y. Cai, “Study of properties of medical compression garment fabrics”, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 4, 15-22, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.3993/jfbi04201102>
- [27] J. Umar, T. Hussain, M. Maqsood, “Modeling the mechanical and compression properties of polyamide/elastane knitted fabrics used in compression sportswear”, *The Journal of The Textile Institute*, 107, 1240-1252, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1100805>
- [28] N. Miyamoto, Y. Kawakami, “Effect of pressure intensity of compression short-tight on fatigue of thigh muscles”, *Medicine and science in sports and exercise*, 46, 2168-2174, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000330>

이 윤 곤(Yungon Lee)

[정회원]



- 2017년 8월 : 영남대학교 체육학부 (체육학 학사)
- 2020년 2월 : 영남대학교 체육학과 (체육학 석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 영남대학교 체육학과 (체육학 박사과정)
- 2021년 6월 ~ 현재 : 영남대학교 생활과학연구소 연구원

〈관심분야〉

보행, 자세제어, 근신경제어 메커니즘

신 성 훈(Sunghoon Shin)

[정회원]



- 1997년 2월 : 서울대학교 체육교육학과 (체육교육 학사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 체육교육학과 (체육학 석사)
- 2007년 8월 : Texas Woman`s University (운동학 석사)

- 2012년 8월 : University of Illinois at Urbana - Champaign (운동학 박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 영남대학교 체육학부 교수

〈관심분야〉

근신경제어, 근역학, 운동장애