



양측 및 편측 신장성 운동이 근손상 및 근생리학적 지표에 미치는 영향

박종연¹ MS, 이호성^{1,2} PhD

¹단국대학교 일반대학원 운동의과학과, ²단국대학교 부설 메디스포츠연구소

Effects of Bilateral and Unilateral Eccentric Exercise on Muscle Damage and Muscular Physiological Indices in Healthy Men

Jong-Yeon Park¹ MS, Ho-Seong Lee^{1,2} PhD

¹Department of Kinesiological Medical Science, Dankook University, Cheonan; ²Institute of Medical-Sports, Dankook University, Cheonan, Korea

PURPOSE: This study aimed to determine the effects of bilateral and unilateral eccentric exercises on muscle damage and muscular physiological indices in healthy men.

METHODS: Using a randomized crossover design, nine adult males without musculoskeletal disorders were divided into a bilateral eccentric exercise group (BEG, n=9) and a unilateral eccentric exercise group (UEG, n=9). Bilateral and unilateral eccentric exercises involved five sets of six repetitions of the rhythm metronome speed eccentric contraction 3 seconds at 110% one repetition maximum (1RM) using bilateral of BEG and the dominant and non-dominant of UEG separated by four weeks, respectively. Muscle damage (flexed and extended ROM, CIR, and VAS) and muscular physiological indices (muscle activity, muscle fatigue, and muscle tone) were measured before, immediately after (0 hour), 24, 48, 72, and 96 hours following bilateral and unilateral eccentric exercises.

RESULTS: The flexed ROM, CIR, VAS, muscle activity, and muscle tone were significantly increased after both bilateral and unilateral eccentric exercises ($p < .05$, respectively). Extended ROM and muscle activity significantly decreased after both bilateral and unilateral eccentric exercises ($p < .05$, respectively). However, there was no significant interaction between side (S) and time and side (T×S).

CONCLUSIONS: These results showed that there was no difference in muscle damage and physiological indices after measuring and setting the 1RM muscle strength separated by bilateral and unilateral eccentric exercises.

Key words: Bilateral eccentric exercise, Unilateral eccentric exercise, Muscle damage, Muscular physiological index

서론

저항성 운동(resistance exercise)은 신체의 움직임에 따라 양측운동(bilateral exercise)과 편측운동(unilateral exercise)으로 구분되며, 양측 운동은 척추를 기준으로 신체의 좌·우측이 동시에 사용되는 운동으로 스쿼트 및 푸쉬업 등이 있으며, 균형 및 좌우 협응 발달에 도움을

줄 수 있지만[1], 양측(우세측 및 비우세측)에서 근력의 차이가 발생하였다고 보고되었다[2-4]. 반면에 편측운동은 편측만을 사용하는 운동으로 런지 및 스텝업 등을 예로 들 수 있으며, 집중적인 근력 및 근육의 조절 능력 발달에 효과적이라고 보고되었다[5]. 또한, 편측운동은 양측운동과 비교해서 기저면이 작아서 불안정성이 높고 신경과 근육의 상호작용을 증가시키는 운동방법으로 보고되었다[6]. 선행 연구에 의

Corresponding author: Ho-Seong Lee Tel +82-41-550-3838 E-mail hoseh28@dankook.ac.kr

Keywords 양측 신장성 운동, 편측 신장성 운동, 근손상 지표, 근생리학적 지표

Received 21 Jan 2022 **Revised** 21 Feb 2022 **Accepted** 22 Feb 2022

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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.

하면, 양측운동의 1RM 80% 체스트 프레스(chest press)와 편측운동의 1RM 40% 체스트 프레스의 큰가슴근(pectoralis major, 대흉근)의 활성도를 비교한 결과, 큰가슴근의 활성도는 양측 및 편측운동 모두에서 우세측과 비교해서 비우세측에서 유의하게 높은 것으로 나타났다[7]. 또한, 양측운동의 1RM 85% 스쿼트(squat)와 편측운동의 1RM 42.5% 스플릿 스쿼트(split squat)를 시행한 후에 넙다리네갈래근(quadriceps femoris, 대퇴사두근)의 활성도를 비교한 결과, 넙다리네갈래근의 활성도는 양측운동의 비우세측이 편측운동의 비우세측과 비교해서 유의하게 높은 것으로 나타났다[8]. 결과적으로, 근활성도는 양측 및 편측운동 모두에서 우세측과 비교해서 비우세측에서, 편측운동의 비우세측과 비교해서 양측운동의 비우세측에서 유의하게 높은 것으로 나타났다. 하지만 앞서 언급한 선행연구들은 편측운동의 운동강도를 양측운동의 운동강도의 50%로 임의 설정하였으며, 양측 및 편측운동의 양측이 각각 같은 운동강도에 의해 비교되지 않았다. 따라서 양측운동의 운동강도와 편측운동의 우세측과 비우세측의 운동강도는 동일하게 설정하여 비교분석할 필요가 있다고 생각된다.

일반적으로 저항성 운동은 근육의 수축 형태에 따라 근육의 길이가 단축하면서 힘이 발생하는 단축성운동(concentric exercise, CON)과 근육의 길이가 신장하면서 장력에 의해 힘이 발생하는 신장성운동(eccentric exercise, ECC)으로 구분되며, ECC는 CON과 비교해서 운동 후에 시간 경과에 함께 최대 등척성 근력의 감소가 더 오래 지속하였다고 보고되었다[9]. 또한, ECC는 CON과 비교해서 근육이 신장할 때 더 큰 장력이 발생하였으며[10-12], ECC에 의한 장력은 CON보다 근원섬유마디(sarcomere, 근절)에 미세 손상을 주어 근손상을 증가시키는 것으로 보고되었다[13]. 근손상은 익숙하지 않은 운동 형태의 ECC이나 격렬한 운동 및 잘 사용하지 않는 측(비우세측)에서 더 높게 나타났고, 특히 ECC에 의한 근손상은 통증과 부종(swelling)이 발생함과 동시에 관절가동범위 및 근력을 감소시켜 운동수행력에 부정적인 영향을 미쳤다고 보고되었다[9]. 또한, 근손상은 근피로(muscle fatigue) 및 근긴장(muscle tone)에도 영향을 미치며, 근피로는 근손상에 의해 운동 단위의 활성(motor unit activation) 및 근수축력의 저하때문에 증가하였다고 보고되었다[14-15]. 아울러 근피로도에는 근전도(electromyography, EMG)를 이용하여 측정되며, 근피로가 증가할수록 근 활동 전압의 전도 속도 및 운동 단위의 발화율(firing rate)이 감소하였다고 보고되었다[16]. 이외에도 근긴장은 근손상 후에 근육의 대사 및 에너지 부족 상태에 의해 증가하였으며[17], 근긴장도의 증가는 근육의 통증

을 유발할 수 있고, 과도한 근긴장 상태는 손상(damage) 및 부상(injury)을 초래할 수 있다고 보고되고 있다[18,19]. 따라서 저항성 운동 시에는 근손상의 정도를 확인하여 신체적 상태(condition)를 점검할 필요가 있다고 생각된다.

앞서 언급한 것처럼, 여러 선행연구에서 편측운동의 운동강도는 양측운동의 운동강도 50%로 임의 설정하여 비교·분석하고 있지만, 근손상, 근피로 및 근긴장의 정도 및 저항성 운동의 효과를 보다 명확하게 평가하기 위해서는 양측과 편측운동(우세측 vs. 비우세측)의 1RM 근력 간을 각각 설정하여 비교·분석할 필요가 있다. 이에 이 연구에서는 양측 및 편측 ECC의 1RM 근력을 각각 측정하여 설정한 후에 근손상 및 근생리학적 지표에 차이가 나타나는지를 증명하는데 그 목적이 있다.

연구 방법

1. 연구 대상

연구 대상은 6개월간 저항성 운동 경험이 없으며, 근골격계 이상이 없는 성인 남성 9명을 대상으로 무선 할당 교차 설계 방식(crossover design)을 이용하여 양측 신장성 운동 집단(Bilateral eccentric exercise group, BEG; n=9)과 편측 신장성 운동 집단(Unilateral eccentric exercise group, UEG; n=9)으로 분류하였다. 대상자에게 연구 목적 및 방법에 대하여 충분히 설명한 후 자발적으로 참가 동의를 얻었으며, 운동 중재 및 측정은 운동처방사에 의해 시행되어 편향(bias)의 가능성을 최소화하였다. 대상자의 신체적 특성은 Table 1에 제시한 바와 같다.

2. 연구 절차

모든 대상자는 본 실험 1주일 전에 신체조성과 위팔두갈래근(biceps brachii, 상완이두근)의 최대 수의적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하였으며, 바벨걸을 이용하여 양측운동의 1RM과 원암덤벨걸을 이용하여 편측운동의 우세측과 비우세측의 1RM을 각각 측정하였다. 본 실험은 무선 할당 교차 설계를 이용하여 4주간의 간격을 두고 바벨걸의 양측 신장성 운동과 원암덤벨걸의 편측 신장성 운동을 각각 실시하였다. 모든 대상자는 양측 및 편측 신장성 운동 전(Pre), 운동 직후(0 hour), 24시간(24 hours), 48시간(48 hours), 72시간(72 hours) 및 96시간(96 hours)에 근손상 지표(관절가동범위, 상완둘레경 및 시각적 통증 척도) 및 근생리학적 지표(근활성도, 근피로도 및 근긴장도)를 각각 측정하였다.

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Group (n)	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)	Body fat (%)
9	25.14 ± 1.77	173.71 ± 5.06	75.57 ± 4.82	25.14 ± 1.77	22.1 ± 4.91

Values are means and SD.

3. 양측 및 편측 신장성 운동

양측 및 편측 신장성 운동은 1RM의 110%의 강도로 메트로놈 속도에 맞추어 1회당 신장성 수축 3초를 6회씩 5세트를 실시하였으며, 세트 간의 휴식시간은 2분으로 하였다[20]. 또한 양측 및 편측 신장성 운동의 팔꿈관절(elbow joint, 주관절)의 가동범위는 120°로 설정하였으며, 최초 시작 지점은 팔꿈관절이 60°로 굴곡한 상태, 최대 신장 지점은 팔꿈관절이 180°로 신장한 상태로 실시하였습니다. 양측 신장성 운동은 바벨컬을 이용하여 우세측 및 비우세측을 동시에 실시하였으며(Fig. 1), 편측 신장성 운동은 원암 덤벨컬을 이용하여 우세측 및 비우세측을 각각 실시하였다(Fig. 2, Table 2). 또한, 대상자가 신장성 수축만을 할 수 있도록 실험 보조자가 최대 신장 지점에서 최초 시작 지점까지 바벨 또는 덤벨을 들어주었다.

4. 측정방법

1) 신체조성

신체조성은 체성분 측정기(Inbody 770, Inbody, Korea)를 이용하여 체중 및 체지방률을 측정하였고 신체질량지수(BMI)를 산출하였다. 대상자는 간편한 복장으로 전해질 티슈를 이용하여 손바닥과 발바닥을 닦은 후 발 전극을 정확히 밟고, 손 전극을 왼 후 양손을 30° 정도 넓힌 상태에서 측정하였다(ACSM, 2006). 지침서에 따라 측정오차를 최소화하기 위해 측정 2시간 이전에 식사, 음료, 알코올 및 카페인 등 섭취 및 격렬한 신체활동을 제한하였다.

2) 근손상 지표

관절가동범위(range of motion, ROM)는 각도계(Baseline 12-1027 digital goniometer, Baseline, USA)를 이용하여 팔꿈관절의 굴곡 및 신전의 최대 범위를 각각 2회씩 측정한 후에 평균값을 사용하였다. 측정 방법은 각도계의 고정자를 가쪽위관절용기(lateral epicondyle, 외측상과)와 어깨뼈봉우리돌기(acromion process, 견봉)을 연결하는 선상과 일치시킨 후에 움직이는 자는 가쪽위관절용기와 노뼈(radius, 요골)의 붓돌기(styloid proces, 경상돌기)를 연결하는 선상에 위치하여 측정하였다[21]. 상완둘레경(circumference, CIR)은 자를 이용하여 위팔두갈래근의 중앙부(팔꿈관절으로부터 9 cm)를 측정하였으며, 2회씩 측정 한 후에 평균값을 사용하였다[22]. 시각적 통증 척도(visual analogue scale, VAS)는 100 mm의 일정한 선을 그어 왼쪽 처음 위치 '0 mm'는 근육 통증이 완벽하게 없는 상태이고 오른쪽의 마지막 위치 '100 mm'은 가장 심한 근육 통증을 느끼는 정도를 나타낸다[22]. 위팔두갈래근의 축진을 통해 대상자가 자각된 근육 통증에 대한 정도를 수직으로 그어 확인하였다.

3) 근생리학적 지표

근활성도 및 근피로도는 무선 근전도(Wireless EMG System, Trigno Wireless, Delsys, USA)를 이용하여 측정하였다. 위팔두갈래근의 전극은 Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscle (SENIAM)의 권고 사항에 제시된 바와 같이 근육과 평행하게 부착하



Fig. 1. Bilateral eccentric exercise.



Fig. 2. Unilateral eccentric exercise.

Table 2. Bilateral and unilateral eccentric exercises program

Order	Type	Contents	Rest
Bilateral eccentric exercise	Barbell curl	1RM 110%×6 reps×5 sets×3 sec	2 min
	One arm dumbbell curl (dominant)	1RM 110%×6 reps×5 sets×3 sec	2 min
Unilateral eccentric exercise	One arm dumbbell curl (Non-dominant)		

었다. 근활성도는 신호의 정량화를 위하여 사전에 MVIC를 측정하였으며, 2회를 측정하여 최대값을 실측치로 하였다. MVIC의 측정 자세는 선 자세에서 팔꿈치를 90°로 구부리고 최대 힘을 발휘하게 하여 측정하였다. EMG 신호의 샘플링 주파수(sampling frequency)는 1,024 Hz로 설정하였으며, rawEMG 파형은 1회의 MVIC를 실시한 파형을 측정 시작과 종료까지의 구간의 값을 평균 제곱(root mean square, RMS)으로 도출한 후 사전에 측정된 MVIC에 대비하여 %MVIC 값으로 정량화하였다. 근피로도에는 rawEMG 파형으로 중앙 주파수(median frequency, MDF) 값을 구하여 나타내었다[23].

근긴장도는 MyotonPro (Myoton AS, Tallinn, Estonia) 장비를 이용하여 측정하였다. 모든 측정은 Multiscan Mode를 이용하여 Tap 반복 횟수 5번, 기계적 Impulse 전달 시간 15 millisecond, 전달 간격을 8초로 설정하여 전극 부착 위치와 동일한 위치에서 측정하였다[24,25]. 또한, 근긴장도는 2회 측정하여 최대값을 실측치로 하였으며, 측정 오차(Coefficient of variation, CV)가 3% 이상일 경우 재측정하였다.

5. 자료처리방법

이 연구에서 수집된 모든 자료는 SPSS Window Ver. 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 변인의 평균과 표준편차를 산출하였다. 양측 및 편측 신장성 운동 집단에서 시기(Pre, 0 hour, 24 hours, 48 hours, 72 hours 및 96 hours) 및 양측(우세측 및 비우세측) 간에 근손상 및 근생리학적 지표를 검정하기 위해 이원 반복측정 분산분석(Two-way repeated ANOVA)을 실시하였으며, 시기 간에 통계학적으로 유의

한 차이가 나타날 경우에는 일원 반복측정 분산분석(One-way repeated ANOVA)을, 양측 간에 통계학적으로 유의한 차이가 나타날 경우에는 독립 표본 t-검정(Independent samples t-test)을 실시하였다. 모든 통계적 유의 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

연구 결과

1. 근손상 지표

양측(BEG) 및 편측 신장성 운동 집단(UEG)에서 운동 전과 시간 경과에 따른 우세측 및 비우세측의 굴곡 관절가동범위(ROM)의 변화는 Table 3에, 신전 ROM의 변화는 Table 4에 각각 제시하였다. 굴곡 ROM은 BEG 및 UEG 모두에서 시기 간에 유의한 상호작용 효과가 나타났으며, 일원 반복측정 분산분석의 결과, BEG에서 우세측의 굴곡 ROM은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours에($p < .05$), BEG에서 비우세측의 굴곡 ROM은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours 및 72 hours에 각각 유의하게 높은 것으로 나타났다($p < .05$). 또한 UEG에서 우세측의 굴곡 ROM은 운동 전과 비교해서 0 hours, 24 hours 및 48 hours에($p < .05$), UEG에서 비우세측의 굴곡 ROM은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours 및 48 hours에 각각 유의하게 높은 것으로 나타났다($p < .05$).

신전 ROM은 BEG 및 UEG 모두에서 시기 간에 유의한 상호작용 효과가 나타났으며, 일원 반복측정 분산분석의 결과, BEG에서 우세측의 신전 ROM은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours 및 48 hours에($p <$

Table 3. Changes in ROM on flexed angle by BEG and UEG

	Side	Pre	0 hr	24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	F
Flexed angle (deg)								
BEG	D	43.98±2.62	52.84±1.64*	50.62±3.22*	51.92±2.90*	48.76±2.54	46.50±1.40	T=8.134* S=.679
	ND	44.18±1.81	54.76±2.77*	52.66±2.22*	54.68±2.17*	50.91±1.89*	47.78±1.17	T×S=.084
UEG	D	44.64±1.93	50.35±2.35*	49.66±1.93*	50.73±2.02*	47.57±1.55	45.32±1.55	T=14.612* S=.122
	ND	43.87±1.60	52.43±2.61*	49.24±1.79*	49.52±1.69*	45.73±1.37	42.92±1.99	T×S=.928

Values are means and SD.

BEG, bilateral eccentric exercise group; UEG, unilateral eccentric exercise group; T, time; S, side; D, dominant; ND, non-dominant. $p < .05$, significantly different from Pre.

Table 4. Changes in ROM on extended angle by BEG and UEG

	Side	Pre	0 hr	24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	F
Extended angle (deg)								
BEG	D	167.51±1.09	156.44±4.42*	155.80±5.33*	157.10±4.40*	161.81±3.97	166.07±1.31	T=9.331* S=.011
	ND	168.43±0.61	156.31±5.85*	156.81±6.83*	155.75±5.07*	159.98±3.48*	164.77±1.84	T×S=.134
UEG	D	166.13±1.51	157.04±3.31*	156.41±3.32*	158.24±3.77*	162.00±2.73	166.12±1.62	T=9.162* S=.003
	ND	165.86±1.46	156.85±3.59*	155.24±4.83*	157.50±3.58*	163.11±2.01	166.40±1.43	T×S=.067

Values are means and SD.

BEG, bilateral eccentric exercise group; UEG, unilateral eccentric exercise group; T, time; S, side; D, dominant; ND, non-dominant. $p < .05$, significantly different from Pre.

.05), BEG에서 비우세측의 신전 ROM은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours 및 72 hours에 각각 유의하게 낮은 것으로 나타났다 ($p < .05$). UEG에서 우세측의 신전 ROM은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours 및 48 hours에 ($p < .05$), UEG에서 비우세측의 신전 ROM은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours 및 48 hours에 각각 유의하게 낮은 것으로 나타났다 ($p < .05$).

BEG 및 UEG에서 운동 전과 시간 경과에 따른 우세측 및 비우세측의 상완둘레경(CIR)의 변화는 Table 5에 제시하였다. CIR은 BEG 및 UEG 모두에서 시기 간에 유의한 상호작용 효과가 나타났으며, 일원 반복측정 분산분석의 결과, BEG에서 우세측의 CIR은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours 및 48 hours에 ($p < .05$), BEG에서 비우세측의 CIR은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours, 72 hours 및 96 hours에 각각 유의하게 높은 것으로 나타났다 ($p < .05$). UEG에서 우세측의 CIR은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours 및 72 hour에 ($p < .05$), UEG에서 비우세측의 CIR은 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours 및 72 hours에 유의하게 높은 것으로 나타났다 ($p < .05$).

BEG 및 UEG에서 운동 전과 시간 경과에 따른 우세측 및 비우세측

의 시각적 통증 척도(VAS)의 변화는 Table 6에 제시하였다. VAS는 BEG 및 UEG 모두에서 시기 간에 유의한 상호작용 효과가 나타났으며, 일원 반복측정 분산분석의 결과, BEG에서 우세측의 VAS는 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours 및 72 hours에 ($p < .05$), BEG에서 비우세측의 VAS는 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours, 72 hours 및 96 hours에 각각 유의하게 높은 것으로 나타났다 ($p < .05$). UEG에서 우세측의 VAS는 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours, 72 hours 및 96 hours에 ($p < .05$), UEG에서 비우세측의 VAS는 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours, 72 hours 및 96 hours에 각각 유의하게 높은 것으로 나타났다 ($p < .05$).

2. 근생리학적 지표

BEG 및 UEG에서 운동 전과 시간 경과에 따른 우세측 및 비우세측의 근활성도의 변화는 Table 7에 제시하였다. 근활성도는 BEG 및 UEG 모두에서 시기 간에 유의한 상호작용 효과가 나타났으며, 일원 반복측정 분산분석의 결과, BEG에서 우세측의 근활성도는 운동 전과 비교해서 0 hours, 24 hours 및 48 hours에 ($p < .05$), BEG에서 비우세측의 근활

Table 5. Changes in CIR by BEG and UEG

	Side	Pre	0 hr	24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	F
BEG	D	30.76±0.85	31.91±0.86*	31.73±0.80*	31.68±0.67*	31.33±0.59	31.28±0.60	T=6.623* S=.003 T×S=1.295
	ND	30.46±0.75	31.45±0.66*	31.41±0.67*	31.75±0.53*	31.72±0.49*	31.62±0.56*	
UEG	D	30.27±0.50	31.76±0.50*	30.86±0.50*	31.89±0.61*	30.90±0.51*	30.26±0.55	T=11.156* S=.057 T×S=1.820
	ND	30.21±0.49	30.97±0.58*	30.78±0.47*	31.02±0.55*	30.71±0.54*	30.52±0.58*	

Values are means and SD.

BEG, bilateral eccentric exercise group; UEG, unilateral eccentric exercise group; T, time; S, side; D, dominant; ND, non-dominant.

$p < .05$, significantly different from Pre.

Table 6. Changes in VAS by BEG and UEG

	Side	Pre	0 hr	24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	F
BEG	D	0.00±0.00	1.55±0.37*	2.88±0.35*	4.77±0.52*	2.55±0.44*	0.67±0.33	T=68.613* S=2.177 T×S=.805
	ND	0.00±0.00	1.44±0.26*	2.88±0.26*	5.77±0.40*	3.77±0.76*	1.88±0.65*	
UEG	D	0.00±0.00	1.00±0.28*	3.22±0.33*	4.22±0.36*	2.33±0.33*	0.77±0.27*	T=52.075* S=.907 T×S=.135
	ND	0.00±0.00	1.00±0.23*	3.11±0.53*	4.55±0.70*	2.22±0.40*	0.88±0.30*	

Values are means and SD.

BEG, bilateral eccentric exercise group; UEG, unilateral eccentric exercise group; T, time; S, side; D, dominant; ND, non-dominant.

$p < .05$, significantly different from Pre.

Table 7. Changes in muscle activity by BEG and UEG

	Side	Pre	0 hr	24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	F
BEG	D	70.50±1.20	51.85±3.37*	51.44±5.43*	60.22±3.61*	65.28±2.70	69.43±1.72	T=13.969* S=.170 T×S=.669
	ND	72.90±0.85	50.78±3.99*	51.74±2.99*	55.55±3.26*	58.15±3.53*	72.05±0.87	
UEG	D	73.57±1.35	56.75±2.09*	60.52±2.63*	66.00±3.03*	69.92±4.12	69.75±2.82	T=12.725* S=.022 T×S=.259
	ND	74.51±0.99	58.63±2.27*	59.22±3.19*	64.36±2.66*	70.24±2.28	73.04±1.22	

Values are means and SD.

BEG, bilateral eccentric exercise group; UEG, unilateral eccentric exercise group; T, time; S, side; D, dominant; ND, non-dominant.

$p < .05$, significantly different from Pre.

Table 8. Changes in muscle fatigue by BEG and UEG

	Side	Pre	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	F
BEG	D	67.99±2.49	66.57±2.73	66.72±1.77	65.10±2.36	66.35±2.05	66.45±2.52	T=.421 S=.085, T×S=.432
	ND	66.43±3.11	65.30±3.36	64.75±2.49	65.76±2.52	65.63±2.58	64.46±2.75	
UEG	D	68.62±3.70	68.57±2.47	68.01±2.04	68.48±2.35	69.92±1.88	71.17±3.15	T=.634, S=2.818 T×S=.711
	ND	63.38±3.23	65.00±2.77	63.74±2.32	62.49±2.26	64.00±2.02	63.20±2.30	

Values are means and SD.

BEG, bilateral eccentric exercise group; UEG, unilateral eccentric exercise group; T, time; S, side; D, dominant; ND, non-dominant. $p < .05$, significantly different from Pre.

Table 9. Changes in muscle tone by BEG and UEG

	Side	Pre	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h	F
BEG	D	14.72±0.20	15.88±0.34*	15.73±0.36*	15.75±0.32*	15.46±0.32*	15.13±0.33	T=12.989* S=1.063, T×S=1.098
	ND	14.56±0.21	15.94±0.48*	15.96±0.40*	15.24±0.27*	15.33±0.35*	15.67±0.45*	
UEG	D	14.92±0.31	15.73±0.35*	15.85±0.30*	16.14±0.31*	15.68±0.32*	15.40±0.25	T=6.402* S=3.892, T×S=.000
	ND	14.48±0.24	15.01±0.20*	15.20±0.23*	15.44±0.25*	15.20±0.18*	14.84±0.22	

Values are means and SD.

BEG, bilateral eccentric exercise group; UEG, unilateral eccentric exercise group; T, time; S, side; D, dominant; ND, non-dominant. $p < .05$, significantly different from Pre.

성도는 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours 및 72 hours에 각각 유의하게 낮은 것으로 나타났다($p < .05$). UEG에서 우세측의 근활성도는 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours 및 48 hours에 각각 유의하게 낮은 것으로 나타났다($p < .05$).

BEG 및 UEG에서 운동 전과 시간 경과에 따른 우세측 및 비우세측의 근피로도의 변화는 Table 8에 제시하였다. 근피로도는 BEG 및 UEG 모두에서 시기, 양측, 시기 및 양측 간에 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다.

BEG 및 UEG에서 운동 전과 시간 경과에 따른 우세측 및 비우세측의 근긴장도의 변화는 Table 9에 제시하였다. 근긴장도는 BEG 및 UEG 모두에서 시기 간에 유의한 상호작용 효과가 나타났으며, 일원 반복측정 분산분석의 결과, BEG에서 우세측의 근긴장도는 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours 72 hours 및 96 hours에 각각 유의하게 높은 것으로 나타났다($p < .05$). UEG에서 우세측의 근긴장도는 운동 전과 비교해서 0 hour, 24 hours, 48 hours 및 72 hours에 각각 유의하게 높은 것으로 나타났다($p < .05$).

논 의

이 연구에서는 양측 및 편측(우세측 vs. 비우세측) ECC의 1RM 근력을 각각 측정하여 설정한 후에 근손상 및 근생리학적 지표에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과, 굴곡 ROM, 신전 ROM, CIR, VAS, 근활성

도 및 근긴장도는 두 집단 모두에서 시기(T) 간에 유의한 차이가 나타났지만, 양측(S), 시기 및 양측(T×S)에서는 상호작용 효과가 나타나지 않았다. 따라서 이 연구에서 양측 및 편측 ECC의 1RM 근력을 각각 측정하여 설정한 후에 근손상 및 근생리학적 지표의 변화에는 차이가 나타나지 않는다는 사실을 확인하였다.

이 연구에서 근손상 지표(ROM, CIR 및 VAS)는 BEG 및 UEG 모두에서 시기 간에 유의한 차이가 나타났다. 통상, 근원섬유마디는 신장성 수축 운동에서 발생하는 장력에 취약하여 미세 손상이 초래하며 [20], 신장성 운동에 의한 근육의 수축은 액틴(actin) 및 미오신(myosin)의 필라멘트(filament)결합을 감소시켜 미세 손상이 발생하였다고 보고되었다[24-25]. 또한, 근손상은 염증 및 효소 유출, 결합조직의 파괴와 관련이 높다고 보고되고 있다[26]. 특히 근손상 후에 발생하는 염증반응(inflammatory response)은 주로 구심성 신경에 의한 화학적 자극으로 대사 과정 중에 노폐물이 혈관 투과성(vasopermeability)을 증가시켜 손상 부위에 호중구(neutrophil)와 사이토카인(cytokine) 등이 침윤되어 활성산소가 생성된다고 보고하였다[27]. Stupka et al. [28]은 근손상 이후 1-3일 동안 호중구의 농도가 상승함을 확인하였으며, 호중구의 축적으로 손상 부위에 근통증을 발생시켰다고 보고하였다. 이러한 생리학적 반응은 부종을 발생시켜서 ROM이 감소하였으며, CIR과 통증이 증가하였다고 보고되고 있다[10,29,30]. 또한, 신장성 운동에 의한 근손상 지표의 변화는 운동 후 8-20시간 내에 나타나기 시작하여 24-72시간에 최고치를 이르러 이후 점차 회복하는 추이를 보였다고 보고되었다[31]. 이 연구에서는 선행연구를 근거로 1RM의 110% 강도의 신장성 운동을 실시하였으며, BEG 및 UEG의 우세측과 비우세측 모두에서 근손상이 발생하였다. 특히 굴곡 및 신전 ROM, CIR, VAS는

BEG의 우세측과 비교해서 비우세측에서 약간 오래 지속되었지만, UEG에서는 양측(우세측 vs. 비우세측) 모두 동일한 시기까지 지속되었다. 선행연구에 의하면, 양측운동은 우세측의 근력 및 근활성도가 감소하는 양측운동손실(bilateral deficit)이 발생하며, 양측운동손실은 양측운동 시 운동신경세포(motor neuron)에서 중추신경계까지의 신경 연결(synapse)이 억제되어 발생하였다고 보고되었다[2-4]. 또한, Oda & Moritani [32]는 양측운동 시 우세측 및 비우세측의 근활성도를 비교한 결과, 근활성도는 우세측과 비교해서 비우세측에서 유의하게 높게 나타났다고 하면서, 이러한 차이는 양측운동손실의 영향 때문이며, 이 연구에서 굴곡 및 신전 ROM, CIR, VAS가 BEG의 우세측과 비교해서 비우세측에서 약간 오래 지속되었다는 결과를 지지하였다고 생각된다. 하지만 BEG에서 굴곡 및 신전 ROM, CIR, VAS는 양측(S), 시기 및 양측(T×S) 간에 상호작용 효과가 나타나지 않았다. 선행연구에 의하면, 양측운동 시 우세측의 근활성도는 운동강도의 증가에 따라 양측운동손실이 감소하였다고 보고되었다[33]. 또한, 양측운동 시 우세측의 근활성도는 최대하 운동강도의 증가에 따라 양측운동손실이 점차적으로 감소하였다고 보고되었다[34]. 아울러 신장성 운동 시 발생하는 장력은 운동강도 및 반복 횟수에 영향을 받았으며[13,35], 근손상은 장력이 높아짐에 따라 증가하였다고 보고되었다[20]. 이 연구에서는 1RM 110%의 운동강도를 설정하여 양측 신장성 운동을 진행하였으며, 1RM 110%의 운동강도는 고강도 저항성 운동으로 알려져 있다[36]. 따라서 이 연구에서 1RM 110%의 운동강도로 인해 BEG에서 양측운동손실이 감소하였다고 생각된다. 향후 연구에서는 운동강도 및 부하에 따른 양측 신장성 운동과 근손상 지표의 상관성을 검토할 필요가 있다고 생각된다. 한편, 이 연구에서 UEG에서 굴곡 및 신전 ROM, CIR, VAS는 우세측과 비우세측 간에 어떠한 차이도 나타나지 않았다. 선행연구에 의하면, 양측운동의 1RM 80% 체스트 프레스와 편측운동의 1RM 40% 체스트 프레스의 큰가슴근의 활성도를 비교한 결과, 큰가슴근의 활성도는 양측 및 편측운동 모두에서 우세측과 비교해서 비우세측에서 유의하게 높은 것으로 나타났다[7]. 하지만 서론에서 언급한 것처럼, 편측운동의 운동강도는 양측운동의 운동강도 50%로 임의 설정하였으며, 양측 및 편측운동의 양측(우세측 및 비우세측)이 각각 같은 운동강도에 의해 비교되지 않았다. 이에 이 연구에서는 양측 및 편측 ECC의 1RM 근력을 각각 측정하여 설정한 후에 근손상 지표에 미치는 영향을 검토하였다. 따라서 이 연구에서 UEG에서 우세측과 비우세측 간에 차이가 나타나지 않은 이유는 1RM 근력의 설정이 다르기 때문으로 생각된다. 즉 이 연구는 UEG에서 우세측과 비우세측의 운동 부하가 같았기 때문에 근손상 지표의 결과도 차이가 나타나지 않았다고 생각된다.

이 연구에서 근생리학적 지표 중에 근활성도 및 근긴장도는 근손상 지표와 동일한 결과를 보였다. 서론에서 언급한 것처럼, 근손상의 발생

은 EMG의 근 활동 전압의 속도[14,15], 전기적 신호 전달율에 영향을 미쳐 근활성도의 감소를 일으키고[16], 근육 대사와 근육 탄력성의 감소, 그리고 에너지 부족 상태를 발생시켜 근긴장도를 증가시켰다고 보고되었다[17]. 따라서 이 연구에서 사용한 근손상의 지표와 근활성도 및 근긴장도는 밀접한 연관성이 있다고 생각된다. 하지만, 이 연구에서 근피로도에는 BEG 및 UEG 모두에서 시기, 양측, 시기 및 양측 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다. 근피로도에는 근피로의 증가에 따라 운동 단위(motor units)의 활성이 감소하여 낮게 나타났다고 보고되었다[14]. 또한, 운동 단위의 활성은 단축성 운동과 비교해서 신장성 운동에서 보다 낮게 나타났다고 보고하였다[37]. Duchateau & Baudry [38]에 의하면, 신장성 운동은 근육 길이가 부하에 의해 강제로 신장하여 힘이 발생하기 때문에 운동 단위의 활성이 낮다고 보고하였다. 아울러 등척성 운동 시 단축성 운동과 신장성 운동에 따른 위팔두갈래근 및 위팔세갈래근(triceps brachii, 상완삼두근)의 활성도를 비교한 결과, 단축성 운동 시에는 위팔두갈래근의 활성도가 발생하고, 신장성 운동 시에는 위팔세갈래근의 활성도가 일어났다고 보고하였다[39]. 따라서 이 연구에서 근피로도가 BEG 및 UEG 모두에서 차이가 나타나지 않은 것은 신장성 운동으로 인해 위팔두갈래근의 운동 단위의 활성이 발생하지 않았기 때문으로 생각된다. 향후 연구에서는 CK, LDH 등의 혈액을 통한 근손상지표를 활용할 필요가 있으며, 양측 및 편측운동의 수축 형태에 따라 주동근 및 길항근의 근피로도의 차이를 검토할 필요가 있다고 생각된다.

결론

이 연구에서는 양측 및 편측(우세측 vs. 비우세측) ECC의 1RM 근력을 각각 측정하여 설정한 후에 근손상 및 근생리학적 지표에 미치는 영향을 검토한 결과, 근손상 및 근생리학적 지표의 변화에는 차이가 나타나지 않는다는 사실을 확인하였다. 따라서 스포츠 현장에서 양측 및 편측(우세측 vs. 비우세측) ECC를 시행할 경우에는 1RM 근력을 각각 설정하여 이용할 필요가 있으며, 향후에는 운동강도 및 부하에 따른 양측 및 편측 신장성 운동의 근손상 및 근생리학적 지표의 상관성을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

CONFLICT OF INTEREST

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

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: J Park, H Lee; Data curation: J Park; Formal analysis: J Park; Methodology: J Park, H Lee; Project administration: J Park, H Lee; Writing-original draft: J Park; Writing-review & editing: H Lee.

ORCID

Jong-Yeon Park <https://orcid.org/0000-0002-5342-4347>
 Ho-Seong Lee <https://orcid.org/0000-0002-5779-1080>

REFERENCES

- Jakobi JM, Chilibeck PD. Bilateral and unilateral contractions: possible differences in maximal voluntary force. *Can J Appl Physiol.* 2001;26(1):12-33.
- Dickin CD, Too D. Effects of movement velocity and maximal concentric and eccentric actions on the bilateral deficit. *Res Q Exerc Sport.* 2006;77(3):296-303.
- Matkowski B, Martin A, Lepers R. Comparison of maximal unilateral versus bilateral voluntary contraction force. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(8):1571-8.
- Bobbert MF, De Graaf WW, Jonk JN, Casius LJR. Explanation of the bilateral deficit in human squat jumping. *J Appl Physiol.* 2006;100(2):493-9.
- Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, Grant EJ, Correia CE, Phillips SM. Hypertrophy with unilateral resistance exercise occurs without increases in endogenous anabolic hormone concentration. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98(6):546-55.
- Heijne A, Fleming BC, Renstrom PA, Peura GD, Beynonn BD, et al. Strain on the anterior cruciate ligament during closed kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(6):935-41.
- Seo SW, Song SH, Kim AR, Lee HS. Can maximum repetition number be used as an indicator of strength imbalance? *Korean J Appl Sports Sci.* 2016;27(4):705-13.
- DeForest C, Schilling. Muscle activity in single- vs. double-leg squats. *Int J Exerc Sci.* 2014;7(4):302-10.
- Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical application. *J Physiol.* 2001;537(2):333-45.
- Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Medicine.* 1989;7:207-34.
- Enoka RM. Eccentric contractions require activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol.* 1992;81:1339-2346.
- Macintyre DL, Reid WD, McKenzie DL. Delayed muscle soreness; the inflammatory response to muscle injury and clinical implications. *Sports Med.* 1995;20:24-40.
- Nosaka K, Newton M. Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;4(1):63-9.
- Gerdle B, Elert JE, Henriksson-Larsén K. Muscular fatigue during repeated isokinetic shoulder forward flexions in young females. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989;58:666-73.
- Mizrahi J, Levin O, Aviram A, Isakov E, Susak Z. Muscle fatigue in interrupted stimulation: effect of partial recovery on force and EMG dynamics. *J Electromyogr Kinesiol.* 1997;7(3):51-65.
- Duchene J, Goubel F. EMG spectralshift as an indicator of fatigue in a heterogeneous muscle group. *Eur J Appl Physiol.* 1990;61(1-2):81-7.
- Sola AE, Bonica JJ. Myofascial pain syndromes. *The Management of Pain.* Philadelphia: Lea & Febiger 1990.
- Masi AT, Nair K, Evans T, Ghandour Y. Clinical, biomechanical, and physiological translational interpretations of human resting myofascial tone or tension. *Int J Ther Massage Bodywork.* 2010;3:16-28.
- Marusiak J, Jaskolska A, Budrewicz S, Koszewicz M, Jaskolski A. Increased muscle belly and tendon stiffness in patients with Parkinson's disease, as measured by myotonometry. *Mov Disord.* 2011;26(11):2119-22.
- Barroso R, Roschel H, Gil S, Ugrinowitsch C, Tricoli V. Effect of the number and the intensity of eccentric muscle actions on muscle damage markers. *Rev Bras Med Esporte.* 2011;17(6).
- Kim J, Kim YT, Lee J. Effect of ice therapy on muscle damage parameters after eccentric muscle contractions. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;23(1):22-33.
- Lee HS, Park WY. Changes in muscle damage markers and circulating leukocytes following local muscle eccentric contractions of the elbow flexors. *Exerc Sci.* 2011;20(3):297-308.
- Longpre HS, Acker SM, Maly MR. Muscle activation and knee biomechanics during squatting and lunging after lower extremity fatigue in healthy young women. *J Electromyogr Kinesiol.* 2015;25(1):40-6.
- Morgan DL, Allen DG. Early events in stretch-induced muscle damage. *J Appl Physiol.* 1999;87(6):2007-15.

25. Morgan DL, proskey U. Popping sarcomere hypothesis explains stretch induced muscle damage. *Proc Aust Physiol Pharmacol Soc.* 2004;34: 19-23.
26. Peake JM, Neubauer O, Della Gatta PA, Nosaka K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J Appl Physiol.* 2017; 122:559-70.
27. Nelson R. *Practice as Research in the Arts: Principles, Protocols, Pedagogies, Resistances*, Palgrave Macmillan, Houndmills. Springer. 2013.
28. Stupka N, Tarnopolsky MA, Yardley NK, Phillips SM. Cellular adaptation to repeated eccentric exercise-induced muscle damage. *J Appl Physiol.* 2001;91:1669-78.
29. Clarkson PM, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(5):512-20.
30. Friden J, Sfikianos PN, Hargens AR. Muscle soreness and intramuscular fluid pressure: comparison between eccentric and concentric load. *J Appl Physiol.* 1986;61(6):2175-9.
31. Lee YS, Chen CH, Shiang TY. The effect of fatigue on pedaling movement and EMG during cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47:834-5.
32. Oda S, Moritani T. Maximal isometric force and neural activity during bilateral and unilateral elbow flexion in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1994;69(3):240-3.
33. McLean SP, Vint PF, Stember AJ. Submaximal expression of the bilateral deficit. *Res Q Exerc Sport.* 2006;77:340-50.
34. Kuruganti U, Chester V. Force production and neuromuscular function in bilateral movements among young females at low and high Speeds. 25th Southern Biomedical Engineering Conference, IFMBE Proceedings. 2009;24:51-4.
35. Joon HC, Koh YC, Lee DY, Kim KH. The study of strategy for energy dissipation during drop landing from different heights. *Korean J Sport Biomech.* 2012;22:315-24.
36. Paschalis V, Koutedakis Y, Jamurtas AZ, Mougios V, Baltzopoulos V. Equal volumes of high and low intensity of eccentric exercise in relation to muscle damage and performance. *J Strength Cond Res.* 2005; 19(1):184-8.
37. Moritani T, Muro M. Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1987;56:260-5.
38. Duchateau J, Baudry S. Insights into the neural control of eccentric contractions. *J Appl Physiol.* 2014;116:1418-25.
39. Lee YH, Jeong HD, Choi HH, Moon CS, Moon CW. Evaluation of muscle fatigue during isometric exercise depending on concentric contraction and eccentric contraction. *J Rehabil Welf Eng Assist Technol.* 2012;6(1):59-65.