일회성 저항성 운동 강도가 태권도 선수의 통증 자각도 및 근육 기계적 속성에 미치는 영향

장종오¹ PhD, 김언호² PhD, 이보근³ MS, 곽태진³ MS, 이윤빈⁴ MS, 이진석³ PhD

¹용인대학교 태권도학과, ²동국대학교 체육교육학과, ³한국스포츠정책과학원, ⁴국민대학교 대학원

The effects of Acute Resistance Exercise Intensity on Pain Perception and Muscle Mechanical Properties of Taekwondo Athletes

Jong-Oh Jang¹ PhD, Eon-Ho Kim² PhD, Bo-Geun Lee³ MS, Tae-Jin Kwak³ MS, Yun-Bin Lee³ MS, Jin-Seok Lee³ PhD

¹Department of Taekwondo, Yongin University, Yongin; ²Department of Physical Education, Dongguk University, Seoul; ³Korea Institute of Sports Science, Seoul;

⁴Department of Physical Education, Graduate School, Kookmin University, Seoul, Korea

PURPOSE: The purpose of this study was to investigate the effect of acute resistance exercise intensity on pain perception, muscle mechanical properties, oxygen saturation (OS) and lactate in taekwondo athletes.

METHODS: A total of 21 national and university taekwondo athletes participated in the study. The participants were randomly classified into 70% of one repetition maximum (1 RM) (70% group, n=7), 30% of 1 RM (30% group, n=7), and 30% all-out group of 1 RM (30%A group, n=7). We measured resting pain perception, muscle mechanical properties, lactate, heart rate (HR) and OS, and those were measured immediately after exercise (IAE), 5- and 15-minute after recovery according to exercise intensity.

RESULTS: The 70% group showed that heat pain threshold (HPT) became numerically sensitive IAE compared to rest. Pain visual analog scale (VAS) and HR increased significantly IAE compared to rest, and lactate increased significantly IAE, 5- and 15-minute after exercise compared to rest, respectively. Dynamic stiffness (DS) decreased significantly in 15-minute after the exercise compared to IAE. In 30% group case, pain VAS and HR increased significantly IAE compared to rest, and lactate increased significantly IAE, 5- and 15-minute after exercise compared to rest, respectively. DS decreased significantly in 15-minute after the exercise compared to IAE. The 30%A group showed that pain VAS and HR increased significantly IAE compared to rest. Lactate increased significantly IAE, 5- and 15-minute after exercise compared to rest, respectively. DS decreased significantly in immediately and 5-minute after the exercise compared to rest, respectively. Frequency increased IAE compared to rest.

CONCLUSIONS: HPT, pain VAS, lactate, HR, and OS were found to be no difference between resistance exercise intensity. The intensity of 1 RM 30% all-out has been shown to contribute to muscle-adaptation effects of resistance exercise by further increasing muscle tension and dynamic stiffness as much as 70% of 1 RM.

Key words: Taekwondo, Resistance exercise, Pain perception, Muscle mechanical properties

서 론

태권도는 올림픽과 같은 메가 이벤트 대회에서 효자 종목 역할을 톡톡히 할 뿐만 아니라 170여 국가에서 약 6천만 명 이상 동호인이 활

동할 정도로 한국을 대표하는 문화유산의 하나이다. 태권도는 다양하고 파괴력 있는 ‘차기’ 기술을 바탕으로 한다[1]. 태권도 겨루기에서 승리하기 위해서는 반복적인 발차기 동작을 필연적으로 행해야 하며, 하체의 강한 근력, 파워, 근지구력 및 민첩성 등이 태권도 경기력을 결정

Corresponding author: Jin-Seok Lee Tel +82-2-970-9627 Fax +82-2-970-9502 E-mail stay0420@gmail.com

Keywords 태권도, 저항성운동, 통증자각도, 근육 기계적 속성

Received 1 Jul 2020 **Revised** 13 Aug 2020 **Accepted** 19 Aug 2020

© 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.

요인으로 작용한다[2,3]. 특히, 강한 근력과 파워는 태권도 경기력의 중요한 체력 요인인데 이는 2016 리우올림픽 출전선수 5명 전원 메달이라는 값진 성과를 토대로도 입증할 수 있다[1,4]. 2016 리우올림픽을 계기로 고강도 저항성 운동이 태권도 종목 경기력에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 선입견을 떨쳐버리고 태권도 종목 현장에서 저항성 운동은 태권도 종목의 중요한 훈련 과정의 하나로 자리매김하고 있다.

저항성 운동은 운동 강도 및 반복 횟수 등에 따라 효과가 다양하다[5]. Bompal [6]은 근력 향상 목적이라면, 1 repetition maximum (1 RM) 85% 이상 강도로 6회 이하 반복, 근비대는 1 RM 67-85% 강도로 6-12회 반복, 근지구력은 1 RM 67% 이하 강도로 12회 이상 반복, 근파워는 1 RM의 75-90% 강도로 1-5회 반복할 것을 권장한 바 있다. 저항성 운동 강도 및 반복 횟수에 대한 근거 자료는 현재 저항성 운동 지침으로 폭넓게 활용되고 있다[7]. 그러나 다른 선행연구에서는 30% 1 RM 즉 저강도로 지칠 때까지 반복하는 저항성 운동이 고강도-저반복 횟수 및 저강도-저반복 횟수보다 동화작용을 더욱 유도함을 입증하면서 보편적으로 행해오던 운동 지침에 대한 새로운 학설을 제기하며[8], 다양한 후속 연구를 보고하고 있다[9,10].

스포츠 현장에서는 주기화를 고려하여 목적에 따른 저항성 운동을 수행한다. 이때 훈련 강도는 중요한 요인으로 작용하는데 현장에서 그 강도를 신뢰도 있게 적용하기에는 한계점이 있다. 아울러, 평소 고강도 형태의 저항성 운동을 할 뿐만 아니라 대부분 저항성 운동 외에 플라이오메트릭(plyometric), 인터벌 훈련을 복합적으로 행하기에 오버트레이닝에 각별히 주의할 필요가 있다. 이에, 저항성 운동 프로그램을 효과적으로 적용하기 위해서는 부하 정도를 면밀히 산출할 수 있는 모니터링 과정이 필요하다. 저항성 운동 강도와 반복 횟수, 즉 트레이닝양을 설정하는 절대적인 평가 지표로 1 RM이 활용된다[11]. 그러나 고강도 훈련을 지속하는 선수에게 빈번한 1 RM 측정은 부상 위험과 함께 오히려 효과적인 훈련을 방해하는 요소로 작용할 수 있는 제한점이 있다. 1 RM 측정 외에 통증인지를 평가하는 방법이 대안이 될 수 있다. 운동 시 선수들은 부하 정도에 따라 통증을 인지한다. 운동의 강도가 높고 수행 시간이 길수록 활성화되는 근육과 근력 사용량이 많아지며, 이는 통증인지에 영향을 미친다. 즉 지속적인 운동은 통증역치를 증가시킨다[12]. 통증역치를 평가하는 방법은 선수들에게 측정 시 위험 부담이 적은 탓에, 안전하게 부하 정도를 평가하기 위해 모니터링 과정의 하나로 통증역치를 활용할 필요가 있다. 보편적으로 선행연구에서는 통증을 평가하기 위해 주관적 통증자각도(visual analogue scale, VAS)를 활용하지만, 통증역치를 활용한 pain perception을 활용한다면 트레이닝양에 대한 보다 신뢰도 있고 효율적인 모니터링을 할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구 목적은 국가대표 및 대학 태권도 선수를 대상으로 일회성 저항성 운동 강도별 열통증역치, 주관적 통증자각도, 혈중 젖

Table 1. Participant's characteristics

	70% (n=7)		30% (n=7)		30%A (n=7)	
	M (n=6)	F (n=1)	M (n=6)	F (n=1)	M (n=5)	F (n=2)
Age (yr)	19.7 ±	1.6	18.7 ±	0.8	20.6 ±	1.8
Height (cm)	178.1 ±	9.1	183.2 ±	5.6	177.1 ±	7.4
Weight (kg)	73.9 ±	12.2	78.4 ±	9.4	72.4 ±	13.8
SMM (kg)	35.4 ±	6.4	36.6 ±	7.6	33.9 ±	7.4
LBM (kg)	62.2 ±	10.5	66.8 ±	10.6	59.9 ±	12.3
BF (%)	16.1 ±	5.3	15.1 ±	6.7	17.2 ±	6.5
BMI (kg/m ²)	23.2 ±	2.4	23.3 ±	2.1	22.9 ±	2.8

Values are mean ± SD.

SMM, skeleton muscle mass; LBM, lean body mass; BF, body fat content; BMI, body mass index.

산 농도, 근육 기계적 속성, 심박수 및 산소포화도에 미치는 영향을 검증함으로써 주 3회 이상 저항성 운동을 하는 태권도 선수에게 저항성 운동 강도와 반복 횟수를 설정하기 위한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 남녀 국가대표 및 대학 태권도 선수 27명을 대상으로 모집하였다. 부상 또는 개인적 사정으로 실험에 참여하지 못한 6명을 제외하고 총 21명이 연구대상자로 참여하였고 1 RM의 70% 그룹(n=7), 1 RM의 30% 그룹(n=7), 1 RM의 30% all-out 그룹(n=7)으로 무작위(Randomized cross-over analyze) 분류되었다(Table 1). 연구대상자는 실험 목적 및 절차 등에 관한 설명을 듣고 동의서를 작성하였으며, 흡연, 알코올 및 카페인 섭취를 금하고 실험에 참여하였다.

2. 연구절차

연구대상자는 저항성 운동 강도에 따른 Pain perception (열통증역치, 통증자각도), 혈중 젖산 농도, 근육 기계적 속성, 운동자각도, 심박수, 산소포화도 측정에 임하였다. 측정 전 각 그룹 대상자들의 최대 근력(1 RM) 측정을 통해 개인별 저항성 운동 강도를 산출하였다. 안정 시 신체구성, 열통증역치, 통증자각도, 혈중 젖산 농도, 근육 기계적 속성, 운동자각도, 심박수, 산소포화도를 측정하고 강도와 반복 횟수가 다른 저항성 운동(① 1 RM의 70% 15회, ② 1 RM의 30% 25회, ③ 1 RM의 30% all-out (실패 시까지) 직후 5분 후, 15분 후 열통증역치, 통증자각도, 혈중 젖산 농도, 근육 기계적 속성, 심박수, 산소포화도 측정에 임하였다.

Fig. 1. 열통증역치 측정 모습.

1) 신체구성

연구대상자들은 생체전기저항측정기(Inbody470, Inbody Co., Korea)를 사용하여 체중(kg), 체지방률(%), 근육량(kg), 제지방량(kg)을 측정하였다. 측정 2시간 전부터 식이와 격렬한 운동을 금하며, 배뇨하도록 하였다.

2) Pain Perception

Pain Perception은 열통증역치 및 주관적 통증자각도를 토대로 평가하였다(Fig. 1). 열통증역치는 Medoc Pathway Pain and Sensory Evaluation System, ATS model (Pathway, Medoc Ltd., Israel)을 사용하여 평가하였다. 본 측정 시스템은 Advanced Thermal Simulator Thermode를 사용하여 열 및 냉 자극에 대한 제어가 가능하다. 열통증역치는 30×30 mm 접촉부를 외측광근에 위치한 후 32°C부터 0.5°C/s 속도로 온도를 증가하며, 대상자가 “뜨거움”을 느끼면 즉시 버튼을 누르도록 하는 방법이다. 3회씩 측정하도록 하였으며, 모든 자료는 평균치를 토대로 산출하였다.

주관적 통증자각도는 10점 척도의 설문지를 5점 척도로 수정·보완하여 평가하였다[13]. 그룹별 운동 전과 운동 종료 직후, 5분 후, 15분 후 총 네 시점에 걸쳐 주관적 통증자각도를 검사하였다.

3) 혈중 젖산 농도

젖산은 finger tip 방법으로, 손끝에서 capillary tube에 20 μ L의 혈액을 채취하여 젖산분석기(Biosen C-line, EKF Co., Germany)를 사용하여 분석하였다. 저항성 운동 전, 안정시 측정을 한 뒤 운동이 끝난 직후, 5분 뒤, 15분 뒤 채혈하여 혈중 젖산 농도를 평가하였다.

4) 근육 기계적 속성

근육 기계적 속성은 Myoton Pro (Myoton Pro, Myoton AS Co., Estonia)를 사용하여 근긴장도(Frequency, Hz), 동적경직도(Stiffness, N/m), 점탄성(Decrement)을 측정하였다. 측정 시 대상자를 편하게 앉은 자세에서 불필요한 긴장을 하지 않도록 지시하고 외측광근(muscle belly)의 중앙(middle) 부위에 probe가 수직이 되도록 위치한 후 측정하였다. 부위마다 3회씩 측정하여 평균값을 사용하였다. 그룹별 운동 전과 운동 종료 직후 총 두 가지 시점에 걸쳐 근육 기계적 속성을 측정하였다.

5) 심박수 및 산소포화도

심박수와 산소포화도는 fairy-a4 (fairy-a4, HeXin ZONDAN Co., China)를 사용하여 측정 및 평가하였다. 그룹별 운동 전과 운동이 끝난 직후, 5분 후, 15분 후 총 네 시점에 걸쳐 대상자의 검지에서 심박수와 산소포화도를 측정하였다.

6) 저항성 운동 프로그램

저항성 운동 전 연구대상자들은 1 RM을 측정하였다. 측정 전 Leg Extension 동작에 관하여 설명하고 익숙하게 하는 과정과 준비운동을 하였으며, Leg Extension 머신을 사용하여 간접측정방식으로 1 RM을 산출하였다[14,15]. 저항성 운동은 Burd et al. [8]의 선행연구를 근거로 수정·보완하여 그룹별 강도를 토대로 1 RM의 70% 강도 15회 또는 1 RM의 30% 강도로 25회 또는 1 RM의 30%로 근수축을 지속할 수 없을 때까지 Leg Extension을 수행하도록 하였다.

3. 자료처리방법

모든 데이터는 SPSS/PC Ver. 25.0을 이용하여 평균과 표준편차를 산

출하였다. 열통증역치, 통증자각도, 혈중 젖산 농도, 심박수, 산소포화도, 근육 기계적 속성 비교를 위해 Two-way repeated measures ANOVA를 하였고 사후검증은 Scheffe를 사용하였다. 시점과 처치에 대한 각 주효과에 대한 검증은 One-way ANOVA와 Dunnett 방법을 하였다. 통계적 유의 수준은 $\alpha=.05$ 로 하였다.

연구 결과

1. 1 RM 및 운동 강도

1 RM 및 운동 강도, 반복 횟수는 Table 2에 제시한 바와 같다. 30%A 그룹은 1세트와 비교하여 2, 3세트 각각 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.05$).

2. Pain Perception 변화

우측 외측광근 열통증역치는 그룹과 시점에 대한 상호작용 효과는

Table 2. Exercise intensity, number of repetitions and maximum number of repetitions compared to 1RM

	70% (n=7)	30% (n=7)	30%A (n=7)
1 RM (kg)	152.8±64.0	163.2±62.4	139.9±59.7
El (kg)	107.0±44.8	49.0±18.7	42.0±17.9
Sets	1	15.0±0.0	25.0±0.0
	2		33.3±11.5
	3		22.4±7.4*
			23.7±7.2*

Values are mean ± SD.

1 RM, 1 repetition maximum; El, exercise intensity.

* $p<.05$; difference in 1 set.

Table 3. Change in heat pain threshold

Variables	70% (n=7)	30% (n=7)	30%A (n=7)	F	p
Heat pain threshold (°C)					
Right side					
Rest	45.8±2.0	46.2±1.6	45.6±2.4	G	1.118 .349
				T	.051 .824
Immediately after exercise	45.3±0.9	46.8±0.8	45.9±1.3	G×T	.415 .667
Left side					
Rest	46.0±1.4	46.8±1.5	44.6±1.6	G	2.628 .100
				T	1.406 .251
Immediately after exercise	45.7±1.7	47.0±1.2	46.0±1.8	G×T	1.831 .189

Values are mean ± SD.

G, group; T, time.

Table 4. Change in pain VAS

Variables	70% (n=7)	30% (n=7)	30%A (n=7)	F	p
Pain VAS (score)					
Rest	1.0±1.3	0.3±0.8	0.7±0.8	G	.892 .427
Immediately after exercise	3.1±1.2a	2.9±0.7a	3.6±0.8a	T	92.179 .001*
5-min after exercise	0.7±0.8	0.9±1.1	1.3±0.5		
15-min after exercise	0.3±0.5	0.4±0.8	0.7±0.5	G×T	1.128 .359

Values are mean ± SD.

VAS, visual analogue scale; G, group; T, time; a, difference in rest.

* $p<.05$.

나타나지 않았으며($F=.415, p=.667$), 그룹과 시점에 대한 주효과는 각각 나타나지 않았다(각 $F=1.118, p=.349$; $F=.051, p=.824$) (Table 3). 좌측 외측광근 열통증역치는 상호작용이 나타나지 않았으며($F=1.831, p=.189$), 그룹과 시점에 대한 주효과는 각각 나타나지 않았다(각 $F=2.628, p=.100$; $F=1.406, p=.251$). 우측 외측광근 열통증역치의 운동 전과 후 변화율에 대한 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않았다($F=.385, p=.686$). 좌측 외측광근 열통증역치의 운동 전과 후 변화율에 대한 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않았다($F=1.919, p=.176$).

주관적 통증자각도는 상호작용이 나타나지 않았고($F=1.128, p=.359$), 그룹에 대한 주효과는 나타나지 않았으며($p=.427$), 시점에 대한 주효과는 나타났다($F=92.179, p=.001$) (Table 4). 시점별 차이를 비교한 결과, 세 그룹 모두 운동 전보다 운동 직후 유의하게 높게 나타났다($p<.05$).

3. 혈중 젖산 농도 변화

혈중 젖산 농도는 상호작용이 나타나지 않았으며($F=1.909, p=.096$), 그룹에 대한 주효과는 나타나지 않았으나($F=2.286, p=.130$) 시점에 대한 주효과가 나타났다($F=79.197, p=.001$) (Table 5). 시점별 차이를 비교한 결과, 세 그룹 모두 운동 전과 비교하여 운동 직후, 운동 후 5분, 운동 후 15분에서 각각 유의하게 높은 수치를 나타냈다(각, $p<.05$).

4. 근육 기계적 속성 변화

우측 다리의 근긴장도는 상호작용이 나타나지 않았고($F=1.799, p=.117$), 그룹에 대한 주효과는 나타나지 않았으며($F=.973, p=.397$), 시점에 대한 주효과는 나타났다($F=10.588, p=.001$) (Table 6). 시점별 차이를 비교한 결과, 우측의 경우, 30%A 그룹은 운동 전보다 운동 직후 유

Table 5. Changes in blood lactate concentration

Variables		70% (n=7)	30% (n=7)	30%A (n=7)		F	p
Lactate (mmol/L)	Rest	2.0±0.6	2.2±0.9	1.9±0.5	G	2.286	.130
	Immediately after exercise	5.7±1.7a	4.9±1.0a	6.1±1.4a	T	79.197	.001*
	5-min after exercise	6.1±1.5a	4.8±0.6a	6.7±1.6a			
	15-min after exercise	4.1±1.0a	3.4±0.5a	4.3±1.3a	G×T	1.909	.096

Values are mean ± SD.

G, group; T, time.

* $p < .05$.

Table 6. Changes in muscle mechanical properties

Variables			Group	Rest	Immediately after exercise	5-min after exercise	15-min after exercise	F	p
Frequency (Hz)	Right Side	70% (n=7)		21.1±2.9	23.8±2.6	20.9±3.2	19.5±2.9	G	.973
		30% (n=7)		20.1±1.3	23.1±3.5	21.3±2.1	17.8±1.8	T	10.588
		30%A (n=7)		19.4±1.3	23.3±2.7a	23.0±3.9	21.7±2.5	G×T	1.799
	Left Side	70% (n=7)		20.5±3.2	24.4±3.5	22.3±4.3	21.7±5.5	G	.098
		30% (n=7)		20.5±2.4	23.8±4.0	22.8±3.4	19.2±2.8	T	11.497
		30%A (n=7)		19.5±2.1	24.2±4.1	24.6±5.6	20.6±3.0	G×T	.972
Dynamic stiffness (N/m)	Right Side	70% (n=7)		410.4±53.8	512.7±77.4	425.0±71.2d	379.8±58.6	G	3.273
		30% (n=7)		406.6±37.1	477.5±71.8	421.8±53.7d	347.0±48.4	T	15.684
		30%A (n=7)		380.6±28.1	522.4±73.4a	494.0±90.1	464.7±71.7	G×T	2.312
	Left Side	70% (n=7)		398.7±40.1	540.4±106.1a	457.0±93.7	427.1±118.9	G	.521
		30% (n=7)		409.3±50.4	502.0±98.4	460.5±84.6	349.7±82.3	T	17.487
		30%A (n=7)		371.5±21.9	523.1±76.7a	518.6±99.4a	421.3±56.5	G×T	1.407
Decrement	Right Side	70% (n=7)		1.4±0.3	1.3±0.3	1.3±0.2	1.4±0.2	G	.095
		30% (n=7)		1.4±0.2	1.4±0.2	1.4±0.3	1.3±0.1	T	.779
		30%A (n=7)		1.3±0.2	1.2±0.2	1.4±0.3	1.3±0.3	G×T	1.307
	Left Side	70% (n=7)		1.4±0.3	1.3±0.3	1.4±0.3	1.4±0.3	G	.031
		30% (n=7)		1.4±0.3	1.3±0.2	1.4±0.3	1.3±0.3	T	.934
		30%A (n=7)		1.3±0.3	1.4±0.2	1.5±0.4	1.4±0.2	G×T	.340

Values are mean ± SD.

G, group; T, time; a, difference in Rest; b, difference in Immediately after exercise; c, difference in 5-minute after exercise; d, difference in 15-minute after exercise.

* $p < .05$.

의하게 증가하였다($p < .05$). 좌측 다리의 근긴장도는 상호작용이 나타나지 않았고($F = .972, p = .453$), 그룹에 대한 주효과는 나타나지 않았으며($F = .098, p = .907$), 시점에 대한 주효과는 나타났다($F = 11.497, p = .001$) (Table 6). 각 그룹에 대한 시점별 유의한 차이는 나타나지 않았다.

우측 다리의 동적경직도는 상호작용이 나타났고($F = 2.312, p = .046$), 그룹에 대한 주효과는 나타나지 않았으며($F = 3.273, p = .061$), 시점에 대한 주효과는 나타났다($F = 15.684, p = .001$) (Table 6). 사후검증 결과, 70% 및 30% 그룹은 운동 후 15분보다 운동 직후에서 동적경직도가 각각 유의하게 높게 나타났으며(각, $p < .05$), 30%A 그룹의 경우, 운동 전과 비교하여 운동 직후, 운동 후 5분에서 동적경직도가 유의하게 높게 나타났다($p < .05$). 좌측 다리의 동적경직도는 상호작용이 나타나지 않았고($F = 1.407, p = .229$), 그룹에 대한 주효과는 나타나지 않았으며($F = .521, p = .603$), 시점에 대한 주효과는 나타났다($F = 17.487, p = .001$) (Table 6). 시점별 차이를 비교한 결과, 70%와 30%A 그룹은 각각 운동 전보다 운

동 직후에 동적경직도가 유의하게 증가하였다(각, $p < .05$).

우측 다리의 점탄성은 상호작용이 나타나지 않았으며($F = 1.307, p = .270$), 그룹과 시점에 대한 주효과는 각각 나타나지 않았다($F = .095, p = .909$; $F = .779, p = .511$) (Table 6). 좌측 다리의 점탄성은 상호작용이 나타나지 않았으며($F = .340, p = .913$), 그룹과 시점에 대한 주효과는 각각 나타나지 않았다($F = .031, p = .970$; $F = .934, p = .431$) (Table 6).

5. 심박수 및 산소포화도 변화

심박수는 상호작용 효과가 나타나지 않았으며($F = .879, p = .481$), 그룹에 대한 주효과는 나타나지 않았으나($F = .111, p = .895$) 시점에 대한 주효과는 나타났다($F = 65.431, p = .001$). 심박수에 대한 시점별 차이를 비교한 결과, 70% 그룹은 운동 전 73.0 ± 10.6 beats/min, 운동 직후 109.0 ± 12.4 beats/min으로 운동 전보다 운동 직후 유의하게 높게 나타났다, 30% 그룹은 운동 전 71.9 ± 10.4 beats/min, 운동 직후 99.4 ± 16.1

Fig. 2. 심박수 변화. * $p < .05$, difference in rest.

beats/min으로 운동 전보다 운동 직후 유의하게 높게 나타났다(각, $p < .05$) (Fig. 2). 30%A 그룹은 운동 전 68.9 ± 12.5 beats/min, 운동 직후 103.9 ± 17.8 beats/min으로 운동 전보다 운동 직후 유의하게 높게 나타났다($p < .05$). 산소포화도는 상호작용 효과가 나타나지 않았으며 ($F = 1.998$, $p = .158$), 그룹과 시점에 대한 주효과는 각각 나타나지 않았다($F = 2.574$, $p = .104$; $F = 3.776$, $p = .062$) (Fig. 3).

논 의

1. 연구대상자의 1 RM 및 운동 강도

본 연구에서 강도별 반복 횟수는 30%A 그룹이 70%, 30% 그룹과 비교하여 유의하게 높게 나타났다($p < .05$). 반복 횟수, 즉 운동량 증가는 글리코겐의 분해에 따른 젖산 축적과 ATP 고갈 등을 통해 피로를 가중하며, 그 결과 근수축력 저하를 초래한다[16]. 또한, 고강도 운동 직후에는 보유하고 있던, 에너지량과 에너지를 생산하는 능력이 감소되어 피로 유발을 가중한다[17]. 피로는 중추와 말초신경 활성화에 따라 상이하고 운동 형태, 강도, 시간, 반복 횟수 등에 따라 생리적 기능은 영향을 받는다[18]. 산소공급 부족, 열의 축적, 부산물 축적은 Na^+/K^+ 의 균형과 Ca^{2+} 의 순환 과정 및 액토미오신(actomyosin)의 상호작용을 방해하여 피로를 유발하는 원인이 된다[17]. 이러한 근거를 토대로, 30%A 그룹의 운동 강도는 상대적으로 많은 반복 횟수로 30% 그룹과 비교하여 피로물질 축적을 가중할 수 있음을 확인한 결과라고 볼 수 있다.

2. Pain Perception 변화

통증은 피부로부터 전달되는 구심성 뉴런(afferent neuron)이 시상하부 시상하부로 신경을 전달하는 것에 기인한다[19]. 운동신경에서 뇌의 감각 영역으로의 이동과정[20] 통증을 느끼는 과정이라 한다. 또한, 통각 수용성 물질인 Substance P는 통증감각을 활성화하는 흥분성 신경펩타이드가 존재하며, Excitatory amino acids도 통증에 관여한다[21].

Fig. 3. 산소포화도 변화.

Bandler et al. [22]은 생리학적으로 심혈관 조절과 관련된 시스템이 내인성 통증 조절과 간접적으로 연결되어 있다고 하였으며, Lautenbacher & Rollman [23]은 통증자각 방식에 따른 열과 전기자극을 비교한 결과, 두 자극 방식의 경우, 자극에 관여하는 섬유, 척추 전달 시스템을 독립적으로 처리하는 메커니즘이 존재한다고 보고한 바 있다.

Koltyn & Arbogast [24]은 1 RM 75% 강도의 저항성 운동 후 5분에 통증역치가 유의하게 높았고, 주관적 통증자각도는 유의하게 감소하였음을 보고하였다. Assa et al. [25]은 평소 저항성 운동을 빈번히 수행하는 스포츠 선수들의 통증역치 수준은 일반인과 지구력 선수보다 유의하게 높다고 보고하였다. 본 연구결과에서 열통증역치는 저항성 운동 강도에 따라 그룹 간 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 주관적 통증자각도는 시점에서 운동 전과 비교하여 운동 직후에 유의한 차이를 나타냈다($p < .05$). 주관적 통증자각도에 대한 결과는 심박수와 혈압의 심리적 영향에 의해 영향을 미쳤을 가능성이 있으며[24] 이는 본 연구 결과의 심박수와 주관적 통증자각도 결과를 토대로 증명할 수 있다. 열통증역치의 경우, 수치상 경향을 보면, 70% 그룹만 전보다 후에 감소함으로써 민감하게 나타나는 것으로 관찰되었지만 그 외 그룹에서는 둔감한 양상을 관찰할 수 있었다. 열통증역치는 피부 통각 수용기 밀도와 배열에 의해 영향을 받을 수 있으며, 이는 체질량과 근육량의 차이에 기인할 수 있다[26]. 본 연구대상자인 태권도선수들의 경우, 체지방이 낮고, 근육량이 높은 특징이 있다. 또한, Hainline et al. [27]은 운동선수의 경우 높은 수준의 훈련 및 시합을 통해 통증을 지속 경험한 탓에 통증에 내성이 있으며, 이와 관련하여 본 연구대상자가 운동선수인 점을 고려한다면, 훈련을 통해 지속적으로 겪었던 익숙한 강도 또는 통증 수준이었기 때문으로 생각할 수 있다. 개인 체력 수준을 고려하지 못한 저항성 운동은 그 운동 형태와 강도에 따라 운동 효과가 감소할 수 있으며, 근육 통증 유발과 함께 운동 상해를 초래할 수 있으므로[28] 체력 수준을 고려한 운동강도가 적용되어야 할 것으로 여겨진다. 다만, 본 연구에서는 운동선수의 훈련 일정 등으로 연구대상자 수

가 작았던 관계로 통계적인 유의함을 관찰하기에 어려움이 있었다. 추후 연구에서는 더욱 많은 연구대상자를 모집하거나 교차실험(cross-over) 처치를 통해 연구결과의 신뢰도를 확보할 필요가 있을 것으로 생각된다.

3. 혈중 젖산 농도 변화

근피로는 젖산, 무기인산 등과 같은 부산물 축적과 근세포 내액 산성화 등에 의해 야기되며, 운동기능 및 신체활동에 제한을 초래한다[29]. 인체 피로를 반영하는 지표로 알려진 혈중 젖산 농도는 안정시 2.2 mmol/L 이내를 정상 범위로 판정하며, 운동 시에는 시간과 강도에 따라 증가한다[30].

Thornton et al. [31]은 저항성 운동강도를 1 RM의 85%, 45%로 분류하여 젖산 농도를 살펴본 결과, 85% 그룹이 45%보다 운동 직후부터 휴식 후 20분까지 혈중 젖산 농도가 더욱 높다고 보고하였다. Lagally et al. [32]는 저항성 운동을 1 RM의 30%, 60%, 90%로 분류하여 강도별 혈중 젖산 농도를 비교해본 결과, 모두 운동 전과 비교하여 증가하였음을 보고하였다. 본 연구에서 혈중 젖산 농도는 선행연구와 동일하게 모두 운동 전보다 후에 유의하게 증가하였다. 이는 저항성 운동을 통한 자극이 안정시보다 운동 중 에너지 대사과정을 촉진하여 부산물 축적을 증가시켰기 때문으로 판단된다. 비록 통계적인 유의함은 관찰되지 않았으나 혈중 젖산 농도는 각 구간에서 30%A, 70%, 30% 그룹 순으로 높았다는 것에 주목할 필요가 있다. 이러한 결과는 30%A 그룹의 운동강도가 70% 그룹보다 높은 자극을 유도했음을 의미한다. 1 RM과 같은 절대적인 운동강도가 낮더라도 인체에서 느끼는 운동강도를 증가할 수 있음을 시사한다.

4. 근육 기계적 속성 변화

동적경직도는 근육의 강건함을 의미하는 한편 활동 형태에 따라 근육이 굳어지는 상태를 의미한다[33]. 동적경직도는 탄성, 근육적응, 신장성, 휴식과 근긴장도에 기인된다. 근육 내 결합 조직과 골막 및 긴장성 근육이 활발하게 수축하여 근긴장도가 변화하므로 동적경직도에 영향을 미친다. 특히, 긴장성근육(tonic muscle)은 더 많은 근주막(perimysium)을 포함하므로 위상성근육(phasic muscle)보다 단단하며, 증가된 근주막으로 인해 해당 근육의 동적경직도를 높게 된다[34]. 근육 움직임은 액틴(actin)과 미오신 필라멘트(myosin filament), 근절 세포골격 성분 및 결합 조직 사이의 교차결합을 포함한 여러 내부 구조에 의해 저항을 생성한다[35]. 이러한 저항값은 운동강도에 따라 상이하며 저항력이 높을수록 근육 손상을 초래할 수 있다. 또한, 근육 손상에 반응된 세포 골격 단백질과 근육 내부에 결합 조직이 증가하므로 훈련을 통해 동적경직도는 증가할 수 있다[36]. Butler et al. [37]는 동적경직도가 증가하면 근 기능이 향상되며, 최대 효율적인 근 기능을 발휘

할 수 있는 동적경직도 수준이 존재할 것으로 보고하였다. 동적경직도가 높을수록 골 손상을 일으킬 수 있지만, 동적경직도가 감소할 경우, 연조직 손상을 발생시킬 수 있기 때문이다. Nakamura et al. [38]은 운동 직후, 5분간 정적 스트레칭을 수행한 결과, 동적경직도가 감소한다고 보고하였다. Ke-tien [39]은 20주간 저항성 운동 후 태권도 선수들의 하체 근육 동적경직도가 증가하였으며, Klich et al. [40]은 배구, 핸드볼, 테니스선수들을 대상으로 저항성 운동 후 상부 승모근, 극하근, 후면삼각근, 대흉근 동적경직도를 살펴봄으로써 과도한 저항성 운동에 대한 위험성을 경고한 바 있다. 또한, Mroczek et al. [41]은 6주간 플라이오메트릭 훈련을 한 결과, 배구선수의 전경골근, 장비골근, 단비골근 동적경직도가 증가하였다고 보고하였다. 본 연구에서 동적경직도는 모든 그룹이 운동 전과 비교해 운동 직후에 높았고 30%A 그룹만 운동 후 5분까지 동적경직도가 높은 수치를 보였다. 이러한 결과는 저항성 운동에 따른 당연한 결과로 보인다. 다만, 운동 후 회복기에서 30%A 그룹만 동적경직도가 상승한 것은 운동강도와 운동수행 시간이 다른 두 그룹보다 높았던 만큼 부산물의 축적과 함께 자극에 따른 구조적 변화에 기인했을 가능성이 있다[29,31,32].

근긴장도는 근육이 수동적으로 당겨졌을 때 수축되는 반사작용을 통해 근방추에 영향을 미치고 중력에 저항하며 신체 유지 및 활동을 위해 활성화된다. 또한, 근육은 신장반사의 증가된 흥분성에 의해 근긴장도가 증가한다. 이에, 증가된 근긴장도는 척수의 외경근 섬유의 내관과 복잡한 관계가 있는 근방추의 비정상적인 활동으로 볼 수 있다[42]. Um et al. [43]은 일반인을 대상으로 우세와 비우세 다리의 근 긴장도를 비교한 결과, 대퇴직근, 전경골근, 비복근, 대퇴이두근에 근 긴장도가 우세 다리보다, 비우세 다리에서 평균적으로 높은 근긴장도를 보임을 관찰한 바 있다. Wang [44]은 일반인을 대상으로 저항성 운동을 15분간 수행한 후 비복근 근긴장도가 증가하고 근수축이 감소하며, 운동 강도가 근긴장도에 영향을 미치지 않음을 보고하였다. 본 연구에서는 30%A 그룹에서 운동 전과 비교하여 운동 후 유의하게 증가하였다($p < .05$). 이는, 저항성 운동량 그 자체가 근 긴장도에 영향을 미친 것으로 생각된다. 저항성 운동 시 근육은 지속해서 근 긴장도가 촉진되고 이는, 수행 강도에 따라 차이가 나타난 것으로 생각된다. 아울러, 본 연구에서 점탄성은 본 연구에선 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 점탄성은 근육의 기계적 성질에 중요한 역할을 한다. 특히, 신장과 수축을 지속적으로 수행하는 근육과 힘줄이 점탄성에 따라 조직 이완에 작용하여 외부 저항력을 감소시킬 수 있으므로 근긴장과 동적경직도에 영향을 미치는 요인으로 여겨진다[45]. 추후 더욱 많은 연구대상자를 대상으로 근전도 측정 등을 병행함으로써 저항성 운동 강도에 따른 근긴장도의 변화를 보다 명확히 규명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

5. 심박수 및 산소포화도 변화

자율신경계는 교감신경계와 부교감신경계로 구분되어 두 신경계의 균형에 의해 심박수를 조절하며[46], 자율신경계는 운동 시작에 따라 심박수를 증가하고 운동 종료에 따라 심박수를 감소한다[47]. 교감신경계에서 카테콜아민(catecholamine)을 동방결절(sinoatrial node)로 분비하여[48] 심박수를 증가하고 부교감신경계에서 아세틸콜린(acetylcholine)을 분비하여 심박수를 감소하는 것이다[46]. 카테콜아민 분비량은 통상적으로 고강도일 경우, 높은 증가량을 보인다[49-51].

Alcaraz et al. [52]은 최대 6회 반복을 기준으로 100%, 8회 반복 75%, 10회 반복 50% 저항성 운동에 따른 심박수 변화를 살펴본 결과, 고강도일 때 저강도보다 심박수가 유의하게 높음을 보고하였다. Cornelissen et al. [53]은 10주간 저강도(33% HR reserve)와 중강도(66% HR reserve) 트레이닝에 따른 심박수 변화를 비교한 결과, 운동과 회복 중, 휴식에 따른 심박수는 중강도 그룹에서 상대적으로 높음을 보고한 바 있다. Martinmäki & Rusko [54]은 10분간 최대 29%와 61% 강도로 사이클에르고미터 운동을 수행하고 심박수 변화를 관찰한 결과, 두 강도 모두 심박수는 운동 전과 비교하여 운동 후와 회복기에서 유의한 차이를 나타냈으며, 회복기에는 61% 강도가 29% 강도와 비교하여 유의하게 높음을 관찰하였다.

Trepanowski et al. [55]은 벤치 프레스(bench press) 운동을 지속적으로 수행한 결과, 근육에 사용되는 산소소비량이 증가한 결과를 바탕으로 산소포화도가 감소하였음을 시사한 바 있다. 본 연구에서 그룹간 심박수는 운동 전과 비교하여 운동 직후에 유의하게 높게 나타났다(각, $p < .05$). 이는 각 강도에서 안정시보다 활동량이 증가한 것에 기인한 결과로, 저강도라도 안정시와 비교하여 에너지소비량이 증가하고 운동 중 대사과정이 개입됨으로 심박수가 증가한 결과로 보인다. 또한, 운동 형태가 장시간 산소 유입이 가능한 유산소성 운동과 비교하여 단시간 근력 사용에 집중하는 저항성 운동인 점을 고려한다면 간헐적 호흡을 하는 발살바 호흡이 잦음으로 말미암아 간헐적 호흡에 의한 산소 부족 현상이 나타난 것으로 여겨진다.

결론

열통증역치와 통증자각도, 젖산, 심박수, 산소포화도는 저항성 운동 강도 간 차이가 없음을 확인하였다. 아울러, 1 RM의 30% all-out 저항성 운동은 1 RM의 70%의 저항성 운동 못지 않게 열통증역치와 통증자각 반응 및 젖산을 분비함으로써 인체 내 스트레스를 유도하며 특히, 근긴장도와 동적 경직도를 더욱 증가시킴으로써 저항성 운동에 따른 근육 적응 효과에 기여함을 입증하였다.

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 CONTRIBUTION

Conceptualization: JS Lee, JO Jang, EH Kim; Data curation: BG Lee, TJ Kwak, YB Lee; Formal analysis: JS Lee; Funding acquisition: JS Lee; Methodology: JO Jang, EH Kim, BG Lee, TJ Kwak, YB Lee; Project administration: JS Lee; Visualization: BG Lee, JS Lee; Writing-original draft: JS Lee; Writing-review & editing: JS Lee.

ORCID

Jin-Seok Lee <https://orcid.org/0000-0002-4194-6025>

REFERENCES

1. Korea Taekwondo Association. www.koreataekwondo.org. 2016.
2. Yoon JW, Park JC. The muscular power training program development for a taekwondo condition power improvement. *Korean J Sports Sci*. 2007;16(4):817-27.
3. Choi KS. Effect of different set composition during resistance training on isokinetic muscular functions and cross-sectional area of quadriceps muscle in taekwondo athletes. *Korean Soc Well*. 2015;10(2):221-9.
4. Lee ES. A study on the determinate factor of performance in Taekwondo competitor. *Korean Soc Stud Phys Educ*. 2003;8(3):207-16.
5. Hass CJ, Feigenbaum MS, Franklin BA. Prescription of resistance training for healthy populations. *Sports Med*. 2001;31(14):953-64.
6. Bompa TO. Power training for sport: Plyometrics for maximum power development. Oakville, Canada: Mosaic Press, 1996.
7. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 10th ed., Philadelphia, USA; Wolters Kluwer, 2018.
8. Burd NA, West DW, Staples AW, Atherton PJ, Baker JM, et al. Low-load high volume resistance exercise stimulates muscle protein synthesis more than high-load low volume resistance exercise in young men. *PloS one*. 2010;5(8):e12033.
9. Giessing J, Eichmann B, Steele J, Fisher J. A comparison of low volume'

- high-intensity-training and high volume traditional resistance training methods on muscular performance, body composition, and subjective assessments of training. *Biol Sport*. 2016;33(3):241.
10. Watanabe Y, Madarame H, Ogasawara R, Nakazato K, Ishii N. Effect of very low-intensity resistance training with slow movement on muscle size and strength in healthy older adults. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2014;34(6):463-70.
 11. Niewiadomski W, Laskowska D, Gąsiorowska A, Cybulski G, Strasz A, et al. Determination and prediction of one repetition maximum (1 RM): Safety considerations. *J Hum Kinet*. 2008;19:109-20.
 12. Kim JM, Ahn DH. Pain physiology and principles of physical therapy. *Phys Ther Korea*. 1998;5(2):106-17.
 13. Huskisson EC. Measurement of pain. *Lancet*. 1974;304(7889):1127-31.
 14. Lee JS, Ahn JY, Yoon SJ. The effects of low-intensity strength training after heat stress on lower extremity musculoskeletal system and growth related factors in older women. *Korean J Sports Sci*. 2017;26(5):989-1000.
 15. Brzycki M. Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *J Phys Edu Recreat Dance*. 1993;64(1):88-90.
 16. Ogasawara R, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. Low-load bench press training to fatigue results in muscle hypertrophy similar to high-load bench press training. *Int J Clin Med*. 2013;4(02):114.
 17. Duchene J, Goubel F. EMG spectral shift as an indicator of fatigability in an heterogeneous muscle group. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;61(1-2):81-7.
 18. Green HJ. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *J Sport Sci*. 1997;15(3):247-56.
 19. Kosek E, Ekholm J. Modulation of pressure pain thresholds during and following isometric contraction. *Pain*. 1995;61(3):481-6.
 20. Pertovaara A, Kempainen P, Leppänen H. Lowered cutaneous sensitivity to nonpainful electrical stimulation during isometric exercise in humans. *Exp Brain Res*. 1992;89(2):447-52.
 21. Larson AA, Giovengo SL, Russell IJ, Michalek JE. Changes in the concentrations of amino acids in the cerebrospinal fluid that correlate with pain in patients with fibromyalgia: implications for nitric oxide pathways. *Pain*. 2000;87(2):201-11.
 22. Bandler R, Carrive P, Zhang SP. Integration of somatic and autonomic reactions within the midbrain periaqueductal grey: viscerotopic, somatotopic and functional organization. *Prog Brain Res*. 1991;87:269-305.
 23. Lautenbacher S, Rollman GB. Sex differences in responsiveness to painful and non-painful stimuli are dependent upon the stimulation method. *Pain*. 1993;53(3):255-64.
 24. Koltyn KF, Arbogast RW. Perception of pain after resistance exercise. *Br J Sports Med*. 1998;32(1):20-4.
 25. Assa T, Geva N, Zarkh Y, Defrin R. 2019). The type of sport matters: Pain perception of endurance athletes versus strength athletes. *Eur J Pain*, 2019;23(4):686-96.
 26. Gracely RH, Wall PD, Melzack R. Textbook of pain. New York, USA; Churchill Livingstone: Edinburgh, 1994.
 27. Hainline B, Turner JA, Caneiro JP, Stewart M, Moseley GL. Pain in elite athletes—neurophysiological, biomechanical and psychosocial considerations: a narrative review. *Br J Sports Med*. 2017;51(17):1259-64.
 28. Bodine SC, Stitt TN, Gonzalez M, Kline WO, Stover GL, et al. Akt/mTOR pathway is a crucial regulator of skeletal muscle hypertrophy and can prevent muscle atrophy in vivo. *Nat Cell Biol*. 2001;3(11):1014-9.
 29. Pedersen BK, Saltin B. Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. *Scand J Med Sci Sports*. 2006;16(S1):3-63.
 30. Beneke R, Leithäuser RM, Ochentel O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int J Sport Physiol Perform*. 2011;6(1):8-24.
 31. Thornton MK, Potteiger JA. Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(4):715-22.
 32. Lagally KM, Robertson RJ, Gallagher KI, Goss FL, Jakicic JM, et al. Perceived exertion, electromyography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(3):552-9.
 33. Moromugi S, Koujima Y, Arikawa S, Okamoto A, Tanaka T, et al. Muscle stiffness sensor to control an assistance device for the disabled. *Artif Life Robot*. 2004;8(1):42-5.
 34. Schleip R, Naylor IL, Ursu D, Melzer W, Zorn A, et al. Passive muscle stiffness may be influenced by active contractility of intramuscular connective tissue. *Med Hypotheses*. 2006;66(1):66-71.
 35. Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech*. 2001;16(2):87-101.
 36. McHugh MP. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*. 2003;13(2):88-97.
 37. Butler RJ, Crowell III HP, Davis IM. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clin Biomech*. 2003;18(6):511-7.
 38. Nakamura M, Ikezoe T, Takeno Y, Ichihashi N. Acute and prolonged

- effect of static stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit in vivo. *J Orthop Res.* 2011;29(11):1759-63.
39. Ke-tien Y. Training periodization in lower limb performance and neuromuscular controlling in taekwondo athletes. *Life Sci J.* 2012;9(3):850-7.
40. Klich S, Pietraszewski B, Zago M, Galli M, Lovecchio N, et al. Ultrasonographic and myotonometric evaluation of the shoulder girdle after an isokinetic muscle fatigue protocol. *J Sport Rehab.* 2019;1(aop):1-6.
41. Mroczek D, Superlak E, Seweryniak T, Maćkała K, Konefał M, et al. The effects of a Six-week plyometric training program on the stiffness of anterior and posterior muscles of the lower leg in male volleyball players. *Cent Eur J Sport Sci Med.* 2017;20(4):107-15.
42. Chakravarty A, Mukherjee A. Spasticity mechanisms—for the clinician. *Front Neurol.* 2010;1:149.
43. Um GM, Wang JS, Park SE. An analysis on muscle tone of lower limb muscles on flexible flat foot. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(10):3089-92.
44. Wang JS. Therapeutic effects of massage and electrotherapy on muscle tone, stiffness and muscle contraction following gastrocnemius muscle fatigue. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(1):144-7.
45. Taylor DC, Brooks DE, Ryan JB. Viscoelastic characteristics of muscle: passive stretching versus muscular contractions. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(12):1619-24.
46. Kingsley JD, Figueroa A. Acute and training effects of resistance exercise on heart rate variability. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016;36(3):179-87.
47. Daanen HA, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NL. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sport Physiol Perform.* 2012;7(3):251-60.
48. Guyton AC, Hall JE. Guyton and Hall textbook of medical physiology. 13th ed., Eastbourne, UK: Gardners Books, 2015.
49. Buchheit M, Laursen PB, Ahmaidi S. Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *Am J Physiol-Heart Circ Physiol.* 2007;293(1):133-41.
50. Kjær M. Epinephrine and some other hormonal responses to exercise in man: with special reference to physical training. *Inter J Sports Med.* 1989;10(01):2-15.
51. Jae-Ryang Y. The effects of running exercise on hormone reactions and mood changes according to exercise intensity,” a doctoral dissertation at the Graduate School of Seoul National University. 1993.
52. Alcaraz PE, Sánchez-Lorente J, Blazejich AJ. Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *J Strength Cond Res.* 2008;22(3):667-71.
53. Cornelissen VA, Verheyden B, Aubert AE, Fagard RH. Effects of aerobic training intensity on resting, exercise and post-exercise blood pressure, heart rate and heart-rate variability. *J H Hypertens.* 2010;24(3):175-82.
54. Martinmäki K, Rusko H. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2008;102(3):353-60.
55. Trepanowski JE, Farney TM, McCarthy CG, Schilling BK, Craig SA, et al. The effects of chronic betaine supplementation on exercise performance, skeletal muscle oxygen saturation and associated biochemical parameters in resistance trained men. *J Strength Cond Res.* 2011;25(12):3461-71.