

지연성근육통 증재 후 통증의 변화가 뇌파와 자율신경계에 미치는 융합적 분석

김경윤, 배세현*
동신대학교 물리치료학과 교수

Convergence analysis of pain changes on brain wave and autonomic nervous system after intervention for delayed onset muscle soreness

Kyung-Yoon Kim, Seahyun Bae*
Professor, Dept. of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Dongshin University

요약 본 연구의 목적은 지연성근육통의 통증 변화가 자율신경계와 뇌파에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 지연성근육통이 유발된 28명을 대조군(n=14)과 실험군(경피신경자극과 키네시오테이핑 적용, n=14)으로 구분하였다. 증재는 지연성근육통 유발 1일 후부터 5일 동안 실시하였다. 평가는 VAS(visual analog scale), 심박변이, 뇌파를 사용하여 지연성근육통 유발 전, 유발 24시간 후, 5일 치료 후, 치료 중단 3일 후에 측정하였다. 실험 결과 지연성근육통이 발생하면 교감신경계의 활성 증가 또는 부교감신경계 활성 억제가 되며, 증재로 인한 통증 감소는 반대의 활동이 나타났다. 통증 발생 시 alpha파의 감소가 나타났으나 유의하지 않았다. 본 연구 결과 통증 변화는 자율신경계와 뇌파에 영향을 미칠 수 있었으며, 이러한 결과는 통증 관리와 치료 전략 개발 및 연구에 도움이 될 것이다.

주제어 : 지연성근육통, 통증, 자율신경계, 뇌파, 심박변이, 융합

Abstract This study aimed to investigate the effect of changes in pain on the autonomic nervous system and brain waves after inducing delayed-onset muscle soreness(DOMS). Based on voluntary participation, 28 participants with induced-DOMS were randomly divided into control(non-treatment, n=14) and experiment groups(transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and kinesio taping, n=14). Intervention was performed from first day to fifth days after the onset of DOMS. Measurements were performed using the Visual Analogue Scale(VAS), Heart Rate Variability(HRV), and brain wave before DOMS induction, 24 hours after, fifth day after, and eighth day after. According to the study results, when DOMS occurred, the activity of the sympathetic nervous system was increased or the activity of the parasympathetic nervous system was suppressed, and reduction of pain due to interventions showed the opposite activity. A decreased in alpha was seen during pain, but was not significant. These results will help develop and study pain management and treatment strategies.

Key Words : Delayed onset muscle soreness, Pain, Autonomic nervous system, Brain wave, Heart rate variability, Convergence

*Corresponding Author : Seahyun Bae(b6881@naver.com)

Received November 26, 2020

Accepted February 20, 2021

Revised December 23, 2020

Published February 28, 2021

1. 서론

고강도 운동이나 익숙하지 않은 운동 후 24시간에서 48시간 후에 불편한 통증이 발생하는 현상에 다양한 이론들이 존재한다. 빠른 연속 근섬유(fast twitch fiber)의 선택적 미세 손상으로 인한 발생이라는 이론[1], 히스타민, 사이토카인 및 프로스타글라딘 축적으로 발생한다는 염증 이론[2], 그리고 근방추의 신경 종말을 기계적으로 자극하여 발생한다는 급성 축삭 병증(acute axonopathy) 즉, 근육 손상보다 신경 미세손상이라는 이론[3] 등 지연성근육통(Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS)에 대한 다양한 이론들이 존재한다.

이러한 DOMS의 통증은 유형 III과 IV의 들신경섬유(afferent nerve fiber) 활성으로 중추신경계에 전달된다[4]. DOMS는 운동이 끝난 후 24~48시간 이내에 발생하며, 48~72시간에 통증이 최고조에 달하게 된다[5]. DOMS로 발생한 통증은 유연성, 근력, 지구력 감소 및 스트레스로 인해 일상생활에 문제를 발생시킨다[6].

DOMS 예방 및 치료를 위해 마사지, 스트레칭, 준비운동 및 정리운동, 전기자극, 초음파, 냉치료, 약물치료 등의 다양한 방법으로 시행되고 있다[7]. 그중 키네시오테이핑은 근육의 운동기능을 향상해 통증 감소[8], 근력, 근지구력, 및 근파워 등을 개선하는 효과가 있으며[9], 비침습적 치료 방법으로 피부를 통해 전류를 전달하는 경피신경자극은 관문조절설과 중추신경계 내인성 아편물질 분비로 통증을 조절하는 원리로 사용한다[10]. 이렇듯 DOMS에 대한 선행연구들은 통증 조절에 관한 연구들이 주를 이루고 있다.

통증은 일상생활 활동을 저하해 육체적 문제뿐만 아니라 심리적인 무기력감, 우울감, 스트레스 등을 동반하여 삶의 질을 떨어지게 한다[11]. 이러한 통증은 신체의 스트레스 반응을 증가 시켜 자율신경계의 기능을 변화시키며, 이러한 자율신경계의 변화는 심장박동의 변화를 가져오기 때문에 심박변이도로 자율신경계 변화를 측정할 수 있다. 심박변이도(heart rate variability)는 비침습적인 평가 방법으로 통증과 관련된 교감신경과 부교감계의 균형 상태를 평가할 수 있다[12]. 또한, 통증에 따른 뇌의 변화 측정은 뇌파 변화를 통해 알 수 있다. 뇌파는 두피에서 자발적으로 발생하는 전위로 두피에 전극을 부착하여 뇌에서 발생하는 전위를 비침습적인 방법으로 측정하는 전기신호이다[13].

선행연구의 대부분은 DOMS를 중재하여 통증 감소에 따른 기능 변화에만 초점을 두고 연구하였을 뿐[7-9], 통

증 변화에 따른 자율신경계와 통증인지를 대변하는 뇌파의 변화에 대해서는 연구하지 못하였다. 따라서, 본 연구는 DOMS 대상자에게 경피신경자극과 키네시오테이핑을 적용하여 통증 변화를 알아보고 그 변화에 따른 자율신경계와 통증 인지 변화를 정량화 및 객관화하여 통증 중재 및 관리법에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상

본 연구의 연구대상자 인원수는 G-power 3.1을 사용하여 효과 크기 0.25, 유의수준 0.05, 검정력 80%로 설정하여 계산한 결과 24명으로 나와 연구대상자 선정을 20대 정상 성인 30명으로 하였다. 대상자 30명 중 DOMS가 유발된 28명을 중재하지 않는 대조군(control, n=14), 키네시오테이핑과 경피신경자극 중재를 하는 실험군(experimental, n=14) 그룹으로 무작위 배치하여 실시하였다. 대상자 선정은 최근 6개월간 정형외과적 문제가 없는 자; 심혈관계 질환이 없는 자; 실험에 영향을 주는 약물을 복용하지 않는 자; 관절의 움직임에 제한이 없는 자; 위팔두갈래근(biceps brachii)의 우세 측이 우측인 자를 선정하였다. 모든 대상자의 자료 수집과 인간 연구 윤리는 헬싱키선언에 근거하여 대상자에게 실험에 대해 충분히 설명하고 모두 동의를 구하여 수집하였다. 대상자의 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of study participants

	Control (n=14)	Experiment (n=14)
Age (years)	20.9±1.26	20.4±0.54
Sex (male/female)	6/8	8/6
Height (cm)	166.0±8.14	167.0±9.20
Weight (kg)	62.1±10.02	62.4±12.1

All values showed mean±S.D.

2.2 연구 방법

2.2.1 DOMS 유발

DOMS 유발을 위해 비우세 측 위팔두갈래근 최대등척성근력(1RM) 60% 무게의 덤벨을 이용하였다. 비우세 측 손은 테이블 위에 올려놓고, 어깨관절 45°, 팔꿈치 90°로 굽혀 3초간 유지한 다음 서서히 내리게 하는 편심성 운동(eccentric exercise)을 15회, 7세트, 세트 간

휴식은 1분으로 하여 실시하였다[14]. 팔꿈치가 완전히 펴진 후 수동적으로 원 위치시켰다. 대상자가 운동 중 8 초 동안 팔꿈치 꺾을 유지하지 못할 경우는 운동을 종료 하였다.

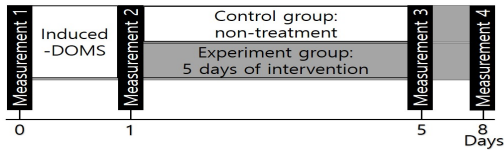


Fig. 1. Experiment timeline

2.2.2 증재 방법

경피신경자극은 침대에 편안하게 누운 후, 비우세 측 위팔두갈래근에 통증이 심한 부위에 양극을, 근육에 음극을 부착하고 저빈도 주파수 7 Hz로 15~20mA 강도로 30 분간 적용하였다[15]. 키네시오테이핑은 경피신경자극 적용이 끝나면 5X5cm² 규격을 사용하여 팔꿈관절을 펴 위치에서 Y자 테이프의 기시부를 팔꿈치 앞쪽 및 안쪽 5 cm 아래에 부착하고, 테이프의 한쪽은 팔을 최대한 편 상태에서 손목을 뒤로 젖히고 안쪽 근육 결을 따라 어깨의 중앙에 부착하고, 나머지 한쪽도 근육 선을 따라 어깨 중앙부 위쪽에 부착하였다[16]. 하루에 한 번씩 테이핑을 교체하였다. 모든 증재는 DOMS가 유발된 다음 날부터 시작하여 5일 동안 시행하였다.

2.3 측정 방법

심박변이도와 뇌파 검사를 위해 약 22~24℃로 실내 온도를 유지해 정서적으로 안정감을 줄 수 있게 하였으며, 편안한 의자에 앉아 눈을 감은 상태에서 움직임이 제한한 상태에서 측정하였다. 심전도 전극 부착은 양쪽 손목에 부착하는 양극표준 팔다리유도 I을 사용하였다. 뇌파 전극의 부착은 국제 10-20system에 따라 Fp1, Fp2에 측정 전극을 부착하고 기준전극은 A1, A2, 접지는 목 C7 위치에 부착하였다. 대상자의 주관적 통증 변화를 알아보기 위해 VAS를 3번씩 반복하여 사용하였다.

DOMS는 운동이 끝난 후 24~48시간 이내에 발생하며, 48~72시간에 통증이 최고로 발생되기 때문에[5] 모든 측정은 DOMS 유발 전, DOMS 유발 24시간 후, 5일 증재 후(DOMS 유발 후 7일째), 증재 없이 3일이 지난 후(DOMS 유발 후 9일째), 총 4번의 결과를 측정하여 비교하였다.

2.4 분석 방법

심박변이도와 뇌파 데이터 수집은 증재 전과 후에 각각 300초 동안 측정하였다. 샘플링 주파수 256 Hz로 실시간 데이터를 수집한 후 분석 프로그램을 이용하여 분석하였다. 뇌파의 데이터는 중간값을 사용하기 위해 120~240초 부분을, 심박변이도는 300초 모두를 선택하였으며, 고속푸리에 변환(fast fourier transform, FFT)을 사용하여 뇌파 데이터는 4~50 Hz Band pass filter를 적용하였으며, 8~13 Hz 상대파워 α -wave 값을 구하였다. 심전도 데이터는 주파수 영역 분석의 측정지표 중 LF(low frequency, 0.04~0.15 Hz)/HF(high frequency, 0.15~0.4 Hz) ratio의 변화를 측정하였다.

통계분석은 SPSS Statistics 18.0 통계 프로그램을 사용하였다. 시기 변화와 증재법의 변화 비교는 two-way repeated measure ANOVA 실시하였고, 사후분석은 Bonferroni로 비교 분석하였다. 통계학적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 하였다.

3. 결과

3.1 통증 변화

통증 VAS 검사 결과 시기별($p < .001$), 시기와 그룹간 상호작용에서 유의한 변화가 나타났다($p < .05$). 대조군과 실험군 모두 DOMS 유발 후와 5일 치료 후, DOMS 유발 후와 치료 중단 후 3일 후에서 차이를 나타냈으며 ($p < .01$), 대조군에서는 5일 치료 후와 치료 중단 후 3일 후에서도 차이를 나타냈다($p < .01$). 두 군간 차이는 5일 치료 후의 시기에서 나타났다($p < .05$).

3.2 자율신경계와 뇌파의 변화

자율신경계 변화 검사 결과 시기별, 시기와 그룹간 상호작용에서 유의한 변화가 나타났다($p < .01$). 실험군에서 DOMS 유발 후와 5일 치료 후에서 차이를 나타냈다 ($p < .05$). 뇌파 변화 검사 결과 시기별과 시기와 그룹간 상호작용은 없었다($p > .05$). DOMS 유발 후 뇌파의 감소가 발생하였으며, 5일 동안 치료 후 뇌파의 상승이 나타났지만, 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$).

Table 2. Changes in the pain score

		Pre ^a	After DOMS ^b	5days treatment ^c	3days follow-up ^d	Post-hoc	F 1/2
VAS (score)	Control (n=14)	0	6.14±1.07	3.71±2.29	1.43±1.62	b-c ^{**} b-d ^{***} c-d ^{**}	66.02 ^{***} /3.24 [*]
	Experiment (n=14)	0	4.57±1.81	1.29±0.76	0.57±0.54	b-c ^{***} b-d ^{**}	
t			2.294	3.545 [*]	1.251		

All values showed mean±S.D. ***p<.001, **p<.01, *p<.05, VAS: visual analog scale, DOMS: delayed onset muscle soreness 1: Main effect of pain change, 2: Interaction between pain change and groups

Table 3. Changes of ANS and alpha waves

			Pre ^a	After DOMS ^b	5days treatment ^c	3days follow-up ^d	Post-hoc	F 1/2
ANS	LF/HF ratio (ms ²)	Control (n=14)	1.73±1.05	2.29±1.04	2.32±0.62	1.92±0.97		4.98 ^{**} /4.69 ^{**}
		Experiment (n=14)	1.66±0.71	2.67±0.53	0.89±0.50	1.72±0.95	b-c ^{***}	
	t		0.145	-0.858	3.233	0.439		
alpha waves	Fp1 (ratio)	Control (n=14)	0.344±0.130	0.287±0.117	0.332±0.092	0.312±0.112		2.25/0.66
		Experiment (n=14)	0.331±0.048	0.240±0.130	0.357±0.084	0.358±0.031		
	t		0.227	0.884	-0.468	-0.868		
	Fp2 (ratio)	Control (n=14)	0.361±0.107	0.257±0.164	0.338±0.080	0.287±0.116		1.73/0.71
		Experiment (n=14)	0.323±0.038	0.271±0.127	0.338±0.069	0.359±0.026		
t		0.709	-0.262	-0.003	-1.349			

All values showed mean±S.D. ***p<.001, **p<.01, *p<.05, ANS: autonomic nervous system, DOMS: delayed onset muscle soreness 1: Main effect of ANS and alpha waves change, 2: Interaction between ANS and alpha waves change and groups

4. 고찰 및 결론

일상생활에 있어 여러 가지 원인으로 인하여 통증을 경험하게 된다. 특히, 익숙하지 않은 동작의 반복과 갑작스러운 운동 시 DOMS가 유발되는데 근육(muscle belly)과 근건 접합부(musculotendinous junction)에서 자주 발생하며, 근육의 미세손상[1], 염증 이론[2], 신경 미세손상 이론[3] 등 다양한 이론이 존재한다.

DOMS 통증은 들신경 신경섬유(afferent nerve fiber)가 활성화되어 통증이 중추신경계로 전달된다[4].

DOMS의 통증을 중재를 위해 여러 방법 중 키네시오 테이핑은 기계적 자극에 의한 통증 감소 [8], 경피신경자극은 관문조절설과 중추성 아편물질 분비로 인한 통증 조절 이론[10]을 통해 통증이 감소한다고 하였다. DOMS의 선행연구들은 통증 감소를 통한 운동기능 변화 연구가 대부분이었으나 본 연구는 중재에 따른 통증의 변화가 자율신경계와 뇌에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

본 연구에서 각 군의 VAS 수치 변화를 살펴보면 대조군, 실험군 모두 DOMS 유발 24시간 후가 되면 DOMS 유발 전보다 통증의 수치가 상승하였으나, 중재 5일 후 통증 수치가 유의하게 낮아지는 것을 알 수 있다. 중재 후 대조군과 실험군의 통증 비교와 시기 & 그룹간 상호작용이 통계적으로 유의한 결과를 나타내 DOMS 발생 후 자연치유보다는 중재를 통한 방법이 통증 감소가 빠르다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 DOMS에 키네시오테이핑과 경피신경자극기를 사용한 선행연구의 결과와 같다[15-17].

DOMS 유발 후 중재에 따른 통증 변화가 자율신경계에 미치는 영향을 알아보기 위하여 LF/HF ratio를 분석 결과 DOMS 유발 전보다 DOMS 유발 후에 LF/HF ratio 수치가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 중재 후에는 LF/HF ratio 수치가 감소하며 실험군에서는 통계적으로 유의한 감소가 나타났다. 또한, 시기 & 그룹간 상호작용이 통계적으로 유의한 결과를 나타내 DOMS 유발 후 중재가 자율신경계에 영향을 미침을 알 수 있었다.

통증 수치와 비교해보면 통증이 증가하면 LF/HF ratio 수치가 증가하고 감소하면 LF/HF ratio 수치가 감소하는 비례관계에 있음이 나타났다.

LF/HF ratio는 저주파수와 고주파수 대역의 파워 비이며, 자율신경계의 상대적 균형 상태를 나타내며 이 수치가 증가하면 교감신경의 활성화 또는 부교감신경이 억제되었다는 것을 나타낸다[18]. 즉, DOMS로 통증이 발생하면 자율신경계의 교감신경계의 활성화 증가 또는 부교감신경계 활성화 억제가 되며, 증재로 인한 통증 감소는 교감신경계 활성화 억제 또는 부교감신경계 활성화 증가가 나타난 것이다. 이러한 결과는 급성 통증이 나타나면 교감신경계가 활성화된다는 이론과[19], 저빈도 경피신경전기 자극은 교감신경계를 활성화 시키기보다 억제하고 부교감신경계는 활성화해 통증을 조절한다는 Stein 등[20]의 이론으로 설명 가능하다.

또한, Yilmaz 등[18]은 LF/HF ratio의 정상 범위를 1.5 ~ 2.0 ms² 라 하였는데 실험군의 증재 후 수치를 제외한 모든 구간은 정상 범위에 있었다. 이는 DOMS의 통증이 급성기 통증이기 때문에 자율신경계에 이상을 나타내지는 않은 것으로 생각되며 실험군의 증재 후 낮은 LF/HF ratio 수치는 본 연구에서 시행한 경피신경자극 증재 방법이 대상자를 침대에 편안하게 눕게 한 이완된 자세에서 시행하였는데 이 자세가 대상자의 호흡 주기를 느리고 깊은 호흡을 발생시켜서 HF의 수치를 높여[21] 발생한 것으로 생각된다.

DOMS 유발 후 증재에 따른 통증 변화가 뇌파에 미치는 영향을 분석한 결과 DOMS 유발 후 alpha 파가 유발 전보다 감소하는 현상이 나타났으나, 증재에 따른 효과는 발생하지 않았다. 즉, 통증이 발생하면서 alpha 파가 감소하였으나 시간이 지남에 따라 DOMS 유발 전으로 회복되었다. 이러한 alpha 파는 정신적으로 안정될 때 잘 나타나며, 불안정 상태나 높은 스트레스, 암산 등의 정신 활동에서 억제된다. Harmony 등[22]은 뇌파의 alpha 파는 스트레스 상태일 때 억제가 된다고 하였는데 DOMS로 발생된 급성 통증은 정신적 스트레스를 발생시켜 뇌파의 변화를 발생시킨 것으로 생각된다.

Ploner 등[23]은 대상자의 급성 통증이 발생한 후 통증을 인식하면 alpha 파의 감소가 나타난다고 하였으며, Saithong 등[24]은 급성 통증의 감소와 alpha 파 증가 사이의 상관관계가 있다고 하였다. 이러한 선행연구는 본 연구의 결과의 내용을 뒷받침하고 있다.

본 연구 결과 정상 성인을 대상으로 DOMS를 유발 후 통증의 증재로 적합한 키네시오테이핑과 경피신경자극은

통증의 감소와 자율신경계의 변화를 나타내었지만, alpha 파의 변화에는 영향을 주지 못하였다. 증재로 인한 통증의 변화에 따른 자율신경계의 변화를 살펴본 결과 급성 통증이 발생하면 교감신경계의 활성화 증가 또는 부교감신경계 활성화 억제가 되며, 증재로 인한 급성 통증 감소는 교감신경계 활성화 억제 또는 부교감신경계 활성화 증가가 나타난다. 또한, 뇌파의 변화는 급성 통증이 발생하면 alpha 파의 감소가 나타났으나 본 연구에서는 통계적으로 유의하지는 않았다.

본 연구의 제한점은 한 지역의 20대 성인 대상으로 편중이 되어 본 연구 결과를 전체 성인에게 일반화하기는 어려움이 있다는 것이다. 다음 연구에는 결과의 일반화를 위하여 대상자 범위를 넓혀 자율신경계와 뇌의 변화에 관한 후속 연구를 진행하려고 한다. 이러한 제한점에도 불구하고 본 연구는 급성 통증 변화에 따른 자율신경계와 뇌파의 변화를 확인했다는 것에 의의가 있으며, 통증 관리와 치료 전략 개발 및 연구에 도움이 될 것이다.

REFERENCES

- [1] K. Cheung, P. Hume & L. Maxwell. (2003). Delayed onset muscle soreness: Treatment strategies and performance factors. *Sports Med*, 33(2), 145-164. DOI: 10.2165/00007256-200333020-00005
- [2] B. Vadasz et al. (2020). Improving characterization and diagnosis quality of myofascial pain syndrome: a systematic review of the clinical and biomarker overlap with delayed onset muscle soreness. *Eur J Phys Rehabil Med* 56(4), 469-478. DOI: 10.23736/S1973-9087.20.05820-7
- [3] B. Sonkodi, I. Berkes & E. Koltai. (2020). Have we looked in the wrong direction for more than 100 years? delayed onset muscle soreness is, in fact, neural microdamage rather than muscle damage. *Antioxidants* 9(3), 212. DOI: 10.3390/antiox9030212
- [4] P. M. Clarkson & M. J. Hubal. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil*, 81(11), S52-69.
- [5] C. Kisner, L. A. Colby & J. Borstad. (2017). *Therapeutic exercise: foundations and techniques*. F.A. Davis.
- [6] K. L. Sellwood, P. Brukner, D. Williams, A. Nicol & R. Hinman. (2007). Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med* 41(6), 392-397. DOI: 10.1136/bjism.2006.033985.
- [7] D. A. J. Connolly, S. P. Sayers & M. P. McHugh. (2003). Treatment and prevention of delayed onset muscle

- soreness. *J Strength Cond Res* 17(1), 197-208.
DOI: 10.1519/1533-4287(2003)017<0197:tapodo>2.0.co;2
- [8] T. Halseth, J. W. McChesney, M. Debeliso, R. Vaughn & J. Lien. (2004). The effects of kinesioTM taping on proprioception at the ankle. *J Sports Sci Med* 3(1), 1-7.
- [9] H. H. Host. (1995). Scapular taping in the treatment of anterior shoulder impingement. *Phys Ther* 75(9), 803-812.
DOI: doi.org/10.1093/ptj/75.9.803
- [10] C. G. T. Vance, D. L. Dailey, B. A. Raket & K. A. Sluka. (2014). Using TENS for pain control: the state of the evidence. *Pain Manag* 4(3), 197-209.
DOI: doi.org/10.2217/pmt.14.13
- [11] S. Telles, S. K. Sharma, R. K. Gupta, A. K. Bhardwaj & A. Balkrishna. (2016). Heart rate variability in chronic low back pain patients randomized to yoga or standard care. *BMC Complement Altern Med* 16(1), 279.
DOI: 10.1186/s12906-016-1271-1
- [12] L. M. Tracy, L. Ioannou, K. S. Baker, S. J. Gibson, N. Georgiou-Karistianis & M. J. Giummarra. (2016). Meta-analytic evidence for decreased heart rate variability in chronic pain implicating parasympathetic nervous system dysregulation. *Pain* 157(1), 7-29.
DOI: 10.1097/j.pain.0000000000000360
- [13] A. Friedman et al. (2017). Chronic stress alters striosome-circuit dynamics, leading to aberrant decision-making. *Cell* 171(5), 1191-1205.e28.
DOI: 10.1016/j.cell.2017.10.017
- [14] D. G. Behm, K. M. Baker, R. Kelland & J. Lomond. (2001). The effect of muscle damage on strength and fatigue deficits. *J Strength Cond Res* 15(2), 255-263.
DOI: 10.1519/00124278-200105000-00016
- [15] J. H. Lee, B. C. Yoon, M. J. Jeon, K. H. Jung & M. H. Lee. (2005). The effects of low frequency transcutaneous electrical nerve stimulation on delayed onset muscle soreness and muscle strength. *Journal of KSSPT*, 1(1), 31-37.
- [16] Y. S. Lee, S. H. Bae, J. A. Hwang & K. Y. Kim. (2015). The effects of kinesio taping on architecture, strength and pain of muscles in delayed onset muscle soreness of biceps brachii. *J Phys Ther Sci* 27(2), 457-459.
DOI: 10.1589/jpts.27.457
- [17] S. H. Bae, Y. S. Lee, G. D. Kim & K. Y. Kim. (2014). The Effects of Kinesio-taping Applied to Delayed Onset Muscle Soreness on Changes in Pain. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology* 6(3), 133-142.
- [18] M. Yilmaz, H. Kayancicek & Y. Cekici. (2018). Heart rate variability: Highlights from hidden signals. *J Integr Cardiol* 4(5).
DOI: 10.15761/JIC.1000258
- [19] D. M. Hallman & E. Lyskov. (2012). *Autonomic Regulation in Musculoskeletal Pain*. In: *Pain in Perspective*. IntechOpen. 35-62.
DOI: 10.5772/51086
- [20] C. Stein, P. Dal Lago, J. B. Ferreira, K. R. Casali, R & D. M. Plentz. (2011). Transcutaneous electrical nerve stimulation at different frequencies on heart rate variability in healthy subjects. *Autonomic Neuroscience* 165(2), 205-208.
DOI: 10.1016/j.autneu.2011.07.003
- [21] L. K. McCorry. (2007). Physiology of the Autonomic Nervous System. *Am J Pharm Educ* 71(4), 78.
DOI: 10.5688/aj710478
- [22] T. Harmony et al. (1996) EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology* 24(1), 161-171.
DOI: 10.1016/S0167-8760(96)00053-0
- [23] M. Ploner, J. Gross, L. Timmermann, B. Pollok & A. Schnitzler. (2006). Pain suppresses spontaneous brain rhythms. *Cereb Cortex* 16(4), 537-540.
DOI: 10.1093/cercor/bhj001
- [24] N. Saithong, W. Poolpoem, P. Panavaranan, J. Saetang & Y. Wongsawat. (2012). *EEG-Based Acute Pain Control System*. In: *Computer Aided Surgery*. Tokyo : Springer. 101-112.
DOI: 10.1007/978-4-431-54094-6_12

김 경 윤(Kyung-Yoon Kim)

[정회원]



- 2004년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 (물리치료학석사)
- 2007년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 (이학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 물리치료학과 교수
- 관심분야 : 운동치료학, 신경과학
- E-Mail : redbead7@hanmail.net

배 세 현(Seahyun Bae)

[정회원]



- 2011년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 (이학석사)
- 2014년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 (이학박사)
- 2013년 2월 ~ 2015년 2월 : 청암대학교 물리치료과 초빙교수
- 2015년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 물리치료학과 교수

- 관심분야 : 신경계물리치료, 임상전기생리
- E-Mail : b6881@naver.com