

Case Study

Open Access

비 절단부에 적용한 PNF 상지 패턴과 견갑골 움직임에 의한 방산이 절단부 주변 근육 활성화도에 미치는 영향 -단일 사례연구-

최수홍 · 이민형¹ · 하경진² · 이상열^{3†}

경성대학교 대학원 물리치료학과, ¹부산대학교병원 재활의학팀, ²동아대학교병원 재활치료실,
³경성대학교 물리치료학과

Effects of Irradiation on the Muscle Activity Around an Amputation Site During
Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Pattern Exercise for Upper Extremity and
Scapular Exercise on the Non-Amputated Part
-A Case Study-

Su-Hong Choi · Min-Hyung Rhee¹ · Kyung-Jin Ha² · Sang-Yeol Lee^{3†}

Department of Physical Therapy, Graduated school of Kyungsung University,

¹Department of Rehabilitation Medicine, Pusan National University Hospital,

²Department of rehabilitation therapy center Dong-a University Hospital,

³Department of Physical Therapy, Kyungsung University

Received: February 13, 2019 / Revised: March 6, 2019 / Accepted: March 13, 2019

© 2019 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: This study verifies the muscle activity around the amputation site during proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) pattern exercise for the upper extremities on the non-amputated part in upper extremity amputees and provides basic data on effective exercise around an amputation site.

Methods: Manual resistance was applied to the PNF upper extremity pattern of the non-amputated part to generate muscle activity around the amputation site. The resistance was adjusted to an intensity that could cause maximal isometric contraction. The muscle activity of the amputation site and the non-amputated part was measured using a surface electromyogram for the upper trapezius, middle trapezius, infraspinatus, serratus anterior, and pectoralis major.

Results: During the scapular exercise in the painless range, the amputated side showed significantly lower muscle activity and a lower muscle contraction ratio compared with the non-amputated side. During the PNF pattern exercise in the painless range, the amputated side showed lower muscle activity and a lower muscle contraction ratio compared with the non-amputated side.

†Corresponding Author : Sang-Yeol Lee (sjslh486@ks.ac.kr)

When the direct scapular exercise of the amputated side was compared with the PNF pattern exercise of the non-amputated side, their muscle contraction ratios were similar.

Conclusion: This study confirmed the effectiveness of the PNF pattern exercise of the non-amputated part as a way to indirectly train the injured site with no pain for rehabilitation of patients with serious body injuries, such as amputation. It is necessary to develop effective exercise programs for the rehabilitation of the amputation site based on the results of this study.

Key Words: Amputation, Irradiation, PNF pattern

I. 서 론

팔의 절단은 흔하지는 않지만 외상, 감염, 악성 종양 등으로 인해 종종 필요한 과정이고, 절단부의 위치와 연부조직의 내구도 그리고 환자의 기능적 목표에 따라 치료계획의 수립이 달라진다(Fitzgibbons & Medvedev, 2015). 절단부의 위치는 절단환자의 기능적인 회복과 일상생활 회복을 가능하게 하는 척도가 되며 또한 잔존 부위의 근육 및 뼈대 계통을 이용한 재활의 수준을 결정하는 주요 기준이 된다(Freeland & Psonak, 2007). 따라서 절단부 주변 근육의 재교육과 훈련은 재활의 필수적인 과정이고 이후 의지(prosthesis)를 이용하여 일상생활로의 복귀를 준비하는 중요한 절차이다.

절단환자는 절단부의 구조적 제한으로 인해 통증과 근육뼈대계통의 기능제한을 갖는다(Jayakaran et al., 2013; Kesiktaş et al., 2015). 특히 절단되어 상실한 부위에서 느껴지는 이상감각과 통증으로 정의되는 환상통은 절단환자의 80% 이상에서 관찰되고 절단부의 치료적 운동에 제한 요소로 작용된다(Casale et al., 2009; Ehde et al., 2000). 또한 절단부를 포함하고 있는 근육은 구조적 결손으로 인해 기능을 잃게 되고 주변 연부조직에도 영향을 미친다(Carlsen et al., 2014). 이에 따라 절단부의 재활을 위한 치료적 중재에 대한 연구가 다양하게 이루어져 오고 있다.

하지만 절단환자의 조기 재활에 있어 수술 과정에서 발생한 상처와 통증은 적극적인 운동 중재를 시작하는 과정에서 큰 제한 요소로 작용한다(Flor, 2008). 특히 운동 시 발생하는 통증은 상처 회복을 지연시키

고 반흔조직의 형성을 촉진시켜 조직 치유를 지연시키는 요소로 작용되므로 치료 중재과정에서 고려되어야 한다(Woo, 2012). 그럼에도 불구하고 구조적 결합과 약화된 절단부 주변의 근육을 회복시키기 위한 운동은 재활의 초기 과정부터 반드시 필요하고, 따라서 통증을 최소화 시킬 수 있는 방법의 운동중재들이 제공되어야 한다.

다양한 물리치료 중재의 방법들 중 하나인 고유수용성신경근축진법(proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF)은 고유수용기를 자극하기 위하여 다양한 치료 기법과 패턴을 이용하여 신경근을 활성화시키고 기능적인 활동을 촉진시키는 치료적 방법이다(Adler et al., 2007). 이 방법은 대각선과 나선 방향의 움직임에 이용하여 재활이 필요한 다양한 환자들의 근육 움직임을 촉진시키고 신체활동의 향상과 신경근 반응의 증가를 이끌어 내기 위해 사용된다(Hindle et al., 2012; Moreira et al., 2017). 특히 방산(irradiation)은 저항에 대항하여 신체 반응이 증가되거나 다른 부위로 확산되는 것을 의미하며, 주로 약한 분절의 근육활성도를 증가시키기 위해 강한 분절의 근육에 저항을 적용하여 사용할 수 있다(Munn et al., 2004). 이는 환자의 기능회복을 위한 치료의 한 방법으로서 반대측 효과, 교차 훈련 등의 개념으로도 사용되고 있다(Carroll et al., 2006; Kofotolis & Kellis, 2007).

따라서 본 연구는 우측팔 절단 환자의 좌측팔에 적용한 PNF 패턴 저항운동이 우측 절단부 주변 근육에 방산을 유도하여 효과적인 운동을 이끌어 낼 수 있는지를 확인하기 위해 실시되었고 근육의 기능을

양적으로 평가하는 지표로 사용이 가능하며 근육의 동원을 상대적으로 비교하는 도구로 적합한 근전도를 이용하여 근육 활성도를 측정하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 사례연구의 대상자는 42세 남성으로서 2018년 5월경 작업 중 기계에 손이 말려 들어가며 발생한 오른쪽 위팔뼈 골절, 자뼈골절, 흉벽손상(2nd~11st rib Fx.), 등뼈가시돌기골절(T7~T10), 등뼈가로돌기골절(T8~T9) 어깨뼈 골절 등으로 인하여 입원한 대상자이다. 5월 26일 팔의 모든 신경혈관계통 손상, 위팔뼈 아래 피부 및 위팔세갈래근을 제외한 신경혈관 및 근육의 완전 절단을 확인하였고 순환장애, 절단부 뼈와 피부의 괴사 진행을 막기 위해 정형외과에서 절단 수술을 시행하였다. 수술 시행 후 6월 7일경 후두신경 손상으로 추정되는 삼킴 및 호흡 장애로 기관절제술 시행하였고, 6월 8일 경 절단 부 내부 괴사가 확인 되어 절단 부를 열어 습윤 상처 치료를 실시하였다. 6월 15일 중환자실에서 매트운동에 대한 교육을 1회 받았고, 이후 일반 병실 전실 후 병동에서 가벼운 매트운동치료를 실시하였으며 7월 12일 재활의학과에 위치한 물리치료실로 처음 방문 하였다. 잔존 절단 부의 통증과 환상통을 심하게 호소하였고(VAS 7), 잔존 절단 부에 촉진 시 압통(VAS 8), 능동운동과 저항운동 검사 시 통증(VAS 8)을 호소하였다.

2. 연구 도구 및 측정 방법

본 연구는 비 절단 부의 PNF 패턴운동이 절단 부 주변 근육에 방산을 유도하여 효과적인 운동을 이끌어 낼 수 있는지를 확인하기 위하여, 표면 근전도 시스템 BTS FREEEMG (BTS FREEEMG 1000, BTS Bioengineering, Italy)을 이용하였다.

환자의 절단 부에 따른 기능적 잔존 수준을 고려하여 양쪽 팔의 위쪽 등세모근(upper trapezius), 중간 등세모근(middle trapezius), 가시아래근(infraspinatus), 앞톱니근(serratus anterior)과 큰가슴근(pectoralis major)의 근육 활성도를 측정하였다. 측정 전 피부저항을 최소화하기 위하여, 전극 부착부위의 털을 제거 후 알코올 솜으로 닦아내고 전극을 부착하였다. 기록전극은 일회용 Ag/AgCL전극을 사용하였고, 근전도 신호 수집을 위한 표본추출률(sampling rate)은 1,024Hz, 주파수 대역 통과필터(band pass filter)는 20-500Hz, 노치필터(notch filter)는 60Hz로 설정하였다. 측정된 근전도 신호는 Myolab 1.12.129 software (BTS Bioengineering, Italy)를 이용하여 분석하였다. 표면 근전도 전극 부착 부위는 다음과 같다(Criswell, 2002). 위쪽 등세모근은 7번 목뼈와 어깨뼈 봉우리(acromion) 절반거리에 능선을 따라 평행하게 활성 전극 두 개를 2cm 간격으로 부착하였다. 중간 등세모근은 어깨뼈 안쪽 면을 찾고, 전극을 어깨뼈 안쪽 가시 시작점에서 수평하게 2cm 간격으로 부착하였다. 가시아래근은 어깨뼈 가시(spine of the scapula)를 확인하고, 어깨뼈 가시 4cm 아래 2cm 간격으로 평행하게 전극을 부착하였다. 앞톱니근은 팔을 들어 올릴 때, 어깨뼈 끝, 넓은 등근(latissimus dorsi) 바로 앞에서 두 개의 전극을 겨드랑이 밑, 어깨뼈 끝에 수평하게 부착하였다. 큰가슴근은 두개의 전극을 2cm 간격으로 빗장뼈 약 2cm 아래, 겨드랑이 접히는 부분 안쪽으로 빗장뼈 방향으로 부착하였다(Fig. 1, Fig. 2). 표면 전극을 부착한 연구대상자는 바로 앉은 자세에서 다음과 같이 운동을 실시하였다. 먼저 PNF 패턴 저항운동 전 어깨뼈의 움직임에 따른 좌·우측의 근수축을 확인하기 위해 양쪽 어깨뼈의 올림(elevation), 내밌(protraction), 뒤당김(retraction)을 각각 통증이 없는 범위에서 최대한 힘을 주어 실시하고 근육 활성도를 측정하였다. 휴식 후 단일 동작이 아닌 다양한 면에서의 복합적인 동작을 유도하기 위해 견측 팔의 PNF의 펌-벌림-안쪽돌림 패턴(Ex. 1), 펌-모음-안쪽돌림 패턴(Ex. 2), 굽힘-벌림-바깥쪽돌림 패턴(Ex. 3)과 굽힘-모음-바깥쪽돌림 패턴(Ex. 4)을 실시하였으며, 방산 효

과를 최대화시키기 위하여 절단측 잔존 근육과 가장 멀리 떨어진 범위에서 시행하였다. 연구 대상자는 운동 방향과 저항을 정확히 숙지하도록 반복적인 연습을 실시 후 측정하였고, 운동은 임상 경력 10년 이상의 대한고유수용성신경근축진법학회 정회원이 시행하였다. 신호 측정은 5초간 최대 등척성 수축을 유지하도록 하고 3회 반복 측정하여 평균값을 본 연구에 사용하였다. 측정된 신호는 수축 전후 1초를 제외한 3초간의 신호를 분석하였다. 또한 해당 운동을 인한 근피로를 고려하여 운동 간 휴식시간을 1분으로 설정하였다.

III. 연구 결과

양쪽 어깨뼈의 움직임 동안 나타난 좌·우 근육

활성도와 그에 따른 좌·우 근육 활성화 비율은 다음과 같이 나타났다(Table 1, 2).

통증이 없는 범위에서 어깨뼈를 움직이는 동안 견측에 비해 절단측이 현저히 낮은 근육 활성도를 나타냈고(Table 1), 또한 낮은 근수축 비율을 나타냈다(Table 2).

PNF 패턴을 이용한 견측의 저항운동 동안 나타난 좌·우 근육 활성도와 그에 따른 좌·우 근육 활성화 비율은 다음과 같이 나타났다(Table 3, 4).

통증이 없는 범위에서 PNF 패턴 저항운동을 하는 동안 견측에 비해 절단측이 낮은 근육 활성도를 나타냈고(Table 3), 또한 낮은 근수축 비율을 나타냈다(Table 4). 절단측 어깨뼈를 직접 움직인 경우와 견측 PNF 패턴 저항운동을 한 경우를 비교하였을 때 근수축이 비슷한 수준으로 나타났다.

Table 1. Muscle activities according to scapular exercise (unit: mV)

Muscle	Side	Elevation	Protraction	Retraction
Upper trapezius	non-AS	355.46	118.37	394.50
	AS	80.09	33.88	89.92
Middle trapezius	non-AS	23.03	30.92	107.72
	AS	32.27	11.60	51.55
Infraspinatus	non-AS	64.38	60.07	143.07
	AS	9.50	7.00	9.79
Serratus anterior	non-AS	104.84	237.67	19.33
	AS	3.57	2.47	3.69
Pectoralis major	non-AS	90.27	293.07	106.80
	AS	7.37	7.23	8.23

Note. non-AS: non-amputation side, AS: amputation side

Table 2. Ratio of muscle activities according to scapular exercise (unit: %)

Muscle	Elevation	Protraction	Retraction
Upper trapezius	22.53	28.62	22.79
Middle trapezius	140.12	37.52	47.86
Infraspinatus	14.75	11.65	6.84
Serratus anterior	3.41	1.04	19.09
Pectoralis major	8.16	2.47	7.71

Note. %=amputation side/non-amputation side *100

Table 3. Muscle activities according to PNF pattern for upper extremity (unit: mV)

Muscle	side	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4
Upper trapezius	non-AS	122.66	337.13	413.88	136.36
	AS	29.41	34.18	65.07	20.70
Middle trapezius	non-AS	115.81	80.70	184.72	38.46
	AS	33.14	31.20	31.50	25.16
Infraspinatus	non-AS	152.58	64.61	152.57	42.13
	AS	7.56	7.71	9.38	6.04
Serratus anterior	non-AS	31.11	178.12	274.62	124.67
	AS	2.29	12.86	15.86	7.81
Pectoralis major	non-AS	31.91	30.62	16.86	14.55
	AS	7.30	6.96	5.80	7.25

Note. Ex. 1: extension abduction internal rotation pattern, Ex. 2: extension adduction internal rotation pattern, Ex. 3: flexion abduction external rotation pattern, Ex. 4: flexion adduction external rotation pattern

Table 4. Ratio of muscle activities according to PNF pattern for upper extremity (unit: %)

Muscle	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4
Upper trapezius	23.98	10.14	15.72	15.18
Middle trapezius	28.62	38.66	17.05	65.41
Infraspinatus	4.95	11.94	6.15	14.34
Serratus anterior	7.37	7.22	5.78	6.26
Pectoralis major	22.88	22.72	34.37	49.86

Note. %=amputation side/non-amputation side *100

IV. 고 찰

상지 절단 환자는 절단 부의 구조적 결함과 주변조직의 결손으로 인한 통증과 기능장애로 직접적인 움직임을 수행하기가 어렵다(Kesikatas et al., 2015). 이러한 이유로 재활에 있어 큰 어려움을 겪지만 환자의 기능회복, 의지 착용 등 사회로의 복귀를 위한 과정으로서 반드시 필요하다(Fitzgibbons & Medvedev, 2015). 본 연구는 우측 위팔뼈의 근위 부 절단 수술을 시행한 대상자가 수술 후 초기 운동을 시작하는 과정에서 좌측팔을 이용한 PNF 패턴 저항운동을 통해 방산에 의한 절단 부 주변 근육들의 활동을 확인하기 위하여 실시하였고, 이를 비교분석 하기 위해 대상자의 우측 어깨뼈를 통증이 없이 최대움직임을 이끌어 내는 과정에서 근육 활성도를 측정하였다. 그 결과 Table 3.

에 제시된 내용과 같이 견측의 PNF 패턴 저항운동을 통해 절단 부의 근육 활동을 통증 없이 직접 수축에 가까운 수준으로 이끌어 낼 수 있음을 확인하였다. 이는 건강한 성인을 대상으로 한 PNF 패턴운동에서 운동을 시행하지 않은 반대 측의 근육 사용을 증명한 선행연구의 결과들(Park et al., 2012; Park and Lee, 2016)과 마찬가지로 절단 수술을 통해 뼈대, 근육, 신경의 손상을 입은 환자의 경우에서도 동일하게 방산을 통한 효과가 나타날 수 있음을 시사하는 부분이다. 이러한 결과는 본 연구의 대상자와 같이 절단술 이후 주변부 상처 조직과 통증에 민감하여 직접 운동을 꺼려 하는 환자들에게 절단부를 직접 운동하지 않고도 절단부 주변 근육 수축을 이끌어 낼 수 있다는 점에서 의미가 있다.

운동 시 발생하는 통증은 재활에 있어서 기능적인

동작을 유도하는데 방해가 될 뿐만 아니라 상처 회복을 지연시키는 요소로 작용되며(Woo, 2012), 통증과 함께 야기되는 근 방호는 불필요한 근육 긴장을 유발하여 근 피로와 근육통을 다시 일으키는 이른바 통증의 악순환을 발생시킨다. 따라서 통증은 치료를 계획함에 있어서 반드시 고려해야 하는 부분이다. 본 사례 연구에서는 건측의 PNF 패턴 저항운동을 통해 유도된 방산이 통증 없이 절단 부 근육 활성을 이끌어 냈고 이는 방산의 효과가 단지 근육 활성화 증가에만 있는 것이 아니라 통증이 있는 환자들에게 다양하게 활용될 수 있음을 추측할 수 있게 한다.

방산에 대한 근거로서 자극 효과의 합성을 통한 신경생리학적 가중(summation)을 들 수 있다. 이러한 가중에는 역치 이하의 약한 자극이 누적되어 나타나는 시간적 가중(temporal summation)과 다른 부위에 동시에 적용된 자극이 서로 흥분과 반응을 이끌어 내는 공간적 가중(spatial summation)이 있고 시간적 가중과 공간적 가중은 동시에 사용가능 하였을 때 더 큰 반응을 이끌어 낼 수 있는 것으로 알려져 있다(Sherrington, 1907). 이와 같이 방산은 자극의 빈도와 강도가 증가 될 경우 일어 날 수 있고 이는 운동단위를 동원하거나 억제 시킬 수 있다(Adler et al., 2007).

본 실험에서 사용된 PNF 패턴 저항운동은 정상인을 대상으로 편측팔을 이용한 반대측 하지 근육 활성도를 확인한 선행연구의 방법과 같이 각 동작의 끝 범위에서 저항을 적용하였고 대상자가 통증을 느끼지 않는 범위에서 가장 강한 저항의 강도로 실시하였다(Kim et al., 2006). 이를 통해 대상자는 몸통과 팔의 운동단위 동원능력을 증가시켰고, 근육 동원의 증가는 몸통과 연결된 절단 부 주변의 근육 활성도를 증가시키는 방산의 효과로 나타났다. 다만 본 연구 대상자의 경우 방산의 효과가 몸통과 어깨뼈를 연결하는 앞뿔근, 어깨뼈와 위팔뼈를 연결하는 가시아래근과 같이 단일 관절을 연결하는 국소근육에 비해 큰가슴근, 위쪽 등세모근, 중간 등세모근과 같은 다관절을 연결하는 대근육이 높은 근육 활성비율을 나타냈다.

국소근육과 대근육을 기능적으로 분류하는 경우

국소근육은 신체분절의 안정성을 제공하는 역할, 대근육은 주로 움직임을 만들어 내는 기능을 하는 것으로 알려져 있다(Richardson et al., 2004). PNF 패턴운동이 기능적 움직임을 강조한다는 측면에서 이러한 결과는 의미 있다고 사료된다. 실제로 PNF 패턴 저항운동을 통한 방산효과와 관련된 선행연구를 살펴보면 넙다리네갈래근(quadriceps femoris), 넙다리두갈래근(biceps femoris), 앞정강근(tibialis anterior), 장딴지근(gastrocnemius)과 같은 대근육 위주의 연구가 주를 이룬다(Kim, 2017; Kwak et al., 2012; Lee & Yun, 2012; Park et al., 2011). 따라서 기능적 움직임을 고려한 PNF 패턴은 방산을 통해 새로운 움직임을 유도시키는 역할을 할 수 있다고 판단된다. 다만 본 연구의 대상자가 흉벽손상과 어깨뼈의 골절을 동반 했다는 점에서 방산의 효과가 실제로 국소근육에 적게 미치는 것인지, 골절 주변부 근육이라는 위치 특성 때문에 통증 또는 다른 손상이 문제가 되어 적은 근육 활성을 나타낸 것인지는 추후 연구를 통해 확인해야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 기존 방산에 대한 연구들이 주로 사지의 근육 활성도를 연구한 것과는 달리 사지절단이라는 대상자의 특성으로 인해 몸통 부의 근육을 대상으로 실험을 진행 하였다는 점에서 의미가 있다. 하지만 팔절단 환자를 1명을 대상으로 실험한 단일사례연구로서 실험의 결과를 전체 절단환자에 일반화시키기에 한계가 있다. 따라서 향후 유사한 환자를 대상으로 하는 추가 연구들이 필요 할 것으로 판단된다. 또한 방산의 효과가 단지 연결된 근육사슬(muscle chain)에 포함된 대근육에 주로 나타나는 것인지 신체 분절을 조절하는 국소근육에도 영향을 줄 수 있는지에 대한 통제된 연구가 필요 할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 사례연구는 상지 절단환자를 대상으로 하여 건측 PNF 패턴의 적용과 견갑골 운동의 적용이 절단부

의 근육에 방산을 유도 하여 근육 활성화도가 증가 하는 지를 확인하기 위해 실시하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 통증으로 인하여 절단부에 직접적인 접촉을 할 수 없거나 저항을 가할 수 있는 사지가 없는 절단 환자의 경우, 손상된 부위를 통증 없이 간접적으로 훈련시키기 위한 방법으로서 비 절단부의 PNF 패턴운동과 견갑골 운동의 적용이 절단부의 근육 활성을 유발 할 수 있는 것으로 생각되며 이를 바탕으로 비 절단부를 이용한 절단부 근육을 활성화시켜 재활의 초기에 적용 할 수 있는 운동 프로그램의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

References

- Adler SS, Beckers D, Buck M. PNF in practice: an illustrated guide. Berlin. Springer. 2007.
- Carlsen BT, Prigge P, Peterson J. Upper extremity limb loss: functional restoration from prosthesis and targeted reinnervation to transplantation. *Journal of Hand Therapy*. 2014;27(2):106-113.
- Carroll TJ, Herbert RD, Munn J, et al. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *Journal of Applied Physiology*. 2006;101(5):1514-1522.
- Casale R, Alaa L, Mallick M, et al. Phantom limb related phenomena and their rehabilitation after lower limb amputation. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2009;45(4):559-566.
- Ehde DM, Czerniecki JM, Smith DG, et al. Chronic phantom sensations, phantom pain, residual limb pain, and other regional pain after lower limb amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2000;81(8):1039-1044.
- Fitzgibbons P, Medvedev G. Functional and clinical outcomes of upper extremity amputation. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2015;23(12):751-760.
- Flor H. Maladaptive plasticity, memory for pain and phantom limb pain: review and suggestions for new therapies. *Expert Review of Neurotherapeutics*. 2008;8(5):809-818.
- Freeland AE, Psonak R. Traumatic below-elbow amputations. *Orthopedics*. 2007;30(2):120-126.
- Hindle KB, Whitcomb TJ, Briggs WO, et al. Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF): its mechanisms and effects on range of motion and muscular function. *Journal of Human Kinetics*. 2012;31:105-113.
- Jayakaran P, Johnson GM, Sullivan SJ. Concurrent validity of the sensory organization test measures in unilateral transtibial amputees. *Prosthetics and Orthotics International*. 2013;37(1):65-69.
- Kesiktas E, Eser C, Gencil E, et al. Reconstruction of transhumeral amputation stumps with ipsilateral pedicled latissimus dorsi myocutaneous flap in high voltage electrical burns. *Burns*. 2015;41(2):401-407.
- Kim HG. Comparison of muscle activity in the contralateral lower extremity from the PNF arm pattern and leg pattern. *PNF and Movement*. 2017;15(2):177-183.
- Kim KH, Park JW, Bae SS. Effect of proprioceptive neuromuscular facilitation applied to the unilateral upper extremity on the muscle activation of contralateral lower extremity. *Journal of the Korean Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*. 2006;4(1):9-18.
- Kofotolis ND, Kellis E. Cross-training effects of a proprioceptive neuromuscular facilitation exercise programme on knee musculature. *Physical Therapy in Sport*. 2007;8(3):109-116.
- Kwak SK, Ki KI, Kim DY, et al. The effects of proprioceptive neuromuscular facilitation applied to the lifting on the EMG activation of contralateral lower extremity. *Journal of the Korean Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*. 2012;10(4):25-31.
- Lee BK, Yun JH. Influence of body weight support and walking

- speed in the static posture of stroke patients using indirect PNF treatment: a case report. *Journal of the Korean Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*. 2012;10(4):71-76.
- Moreira R, Lial L, Teles Monteiro MG, et al. Diagonal movement of the upper limb produces greater adaptive plasticity than sagittal plane flexion in the shoulder. *Neuroscience Letter*. 2017;643(16):8-15.
- Munn J, Herbert RD, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral resistance training: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*. 2004;96(5):1861-1866.
- Park I, Park S, Park J, et al. The effects of self-induced and therapist-assisted lower-limb pnf pattern training on the activation of contralateral muscles. *Journal of Physical Therapy Science*. 2012;24(11):1123-1126.
- Park IS, Lee SY. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation leg patterns on activity of gluteus medius at opposite side. *PNF and Movement*. 2016;14(3):195-202.
- Park TJ, Park HK, Kim JM. The effects of PNF arm patterns on activation of leg muscles according to open and closed kinematic chains. *Journal of Korean Society of Physical Medicine*. 2011;6(2):215-223.
- Richardson CA, Hodges P, Hides J. Therapeutic exercise for lumbopelvic stabilization. London. Churchill Livingstone. 2004.
- Sherrington C. The integrative action of the nervous system. *The Journal of Nervous and Mental Disease*. 1907;34(12):801-802.
- Woo KY. Chronic wound-associated pain, psychological stress, and wound healing. *Surgical Technology International*. 2012;22:57-65.