

목뼈와 등뼈 펴 복합운동이 척주세움근 근활성도에 미치는 영향

김대진¹ · 강민혁^{2†}

¹부산가톨릭대학교 일반대학원 물리치료학과, ²부산가톨릭대학교 보건과학대학 물리치료학과

Effects of Combined Extension Exercises for the Cervical and Thoracic Spine on the Activity of Erector Spinae Muscles

Dae-Jin Kim, P.T., B.S.¹ · Min-Hyeok Kang, P.T., Ph.D.^{2†}

¹Department of Physical Therapy, Graduate School, Catholic University of Pusan

²Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: September 27, 2023 / Revised: November 3, 2023 / Accepted: November 8, 2023

© 2023 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: The purpose of this study was to compare the effects of new exercises (combined cervical and thoracic extension exercises) with those of conventional cervical extensor strengthening exercises (sitting cervical extension exercises) and thoracic extensor strengthening exercises (prone thoracic extension exercises).

Method: Fifteen healthy subjects performed sitting cervical extension exercises, prone thoracic extension exercises, and combined cervical and thoracic extension exercises. During each exercise, electromyography was used to measure muscle activity in the erector spinae with C4 and T4 levels. The measured data were analyzed using one-way repeated analysis of variance.

Results: With different exercises, there were significant differences in activity in the erector spinae muscle ($p < 0.05$). The activity in the erector spinae muscle increased significantly during the combined cervical and thoracic extension exercises compared to the sitting cervical extension ($p < 0.05$) and prone thoracic extension exercises ($p < 0.05$). The sitting cervical extension exercises significantly increased activity in the cervical erector spinae muscle compared to the prone thoracic extension exercises ($p < 0.05$). Activity in the thoracic erector spinae muscles was significantly increased during the prone thoracic extension exercises compared to during the sitting cervical extension exercises ($p < 0.05$).

Conclusion: These findings suggest that the newer exercises effectively increase activity in the cervical and thoracic extensor muscles.

Key Words: Electromyography, Erector spinae, Exercise

†Corresponding Author : Min-Hyeok Kang (kmhyuk01@gmail.com)

I. 서론

스마트폰과 같은 영상 단말기의 장시간 사용은 전방머리자세와 같은 부적절한 자세를 유발할 수 있다고 하였다(Janwantanakul et al., 2012). 전방머리자세는 물건 들어올리기와 같은 일상생활동작 수행 시 목을 지지하기 위한 목뼈 척추세움근(cervical erector spinae)의 과도한 근수축을 요구하여(Alowa & Elsayed, 2020), 목뼈 염좌 및 두통과 같은 증상이 나타날 수 있다. 이러한 증상을 예방하기 위해서는 전방머리자세를 지닌 사람들의 목뼈 펴 근육 강화 운동은 중요하다. 또한, 전방머리자세를 지닌 사람들은 등뼈 척추뒤틀림(kyphosis)이 동반되고(Raine & Twomey, 1994), 척추뒤틀림 자세는 올바른 척추 자세에 비해 등뼈 척추세움근(thoracic erector spinae)의 근활성도 감소가 나타난다(Tatsuihro & Keishoku, 2013). 따라서, 전방머리자세로 인한 부상 위험성 감소 및 전방 머리자세 교정을 위해서는 목뼈 펴 근육들뿐만 아니라 등뼈 펴 근육들을 강화시켜 줄 수 있는 운동이 필요하다.

전방머리자세를 지닌 대상자들을 위한 목뼈 펴 운동으로는 팔꿈치로 지지한 엎드린 자세 능동적 목뼈 펴 운동(active cervical extension in prone on elbow position), 타월을 이용한 능동적 목뼈 펴 운동(active cervical extension with towel), 비탄력성 밴드를 이용한 앉은 자세 목뼈 펴 운동(cervical extension with non-elastic band in sitting) 등이 있다(Goodarzi et al., 2018; Hartley & Kordecki, 2018). 이러한 운동들 중에서 비탄력성 밴드를 이용한 운동은 특정 근육의 최대 힘을 일정하게 유도하는데 효과적이라고 보고되고 있다(Jeon, 2019). Rivard 등(2017)은 비탄력성 밴드를 이용해 수직 저항을 적용시킨 목뼈 펴 운동이 목뼈 펴 근육의 근활성도를 촉진시킬 수 있다는 사실을 증명하였다.

등뼈 펴 근육들을 강화시킬 수 있는 운동으로는 무릎 꿇고 엎드린 자세 등뼈 펴 운동(thoracic extension exercise in kneeling), 엎드린 자세 등뼈 펴 운동(thoracic extension exercise in prone) 등이 있다(Kang et al., 2021;

Park et al., 2015; Vaughn & Brown, 2007). 이러한 운동들은 공통적으로 등뼈의 폼 또는 중력을 저항으로 이용하여 등뼈 펴 근육들의 수축을 유도하는 운동들이다. 이전 연구에 따르면, 칼달기를 테이블 끝에 위치시킨 엎드린 자세에서 등뼈를 지면과 수평하게 유지시키는 운동보다 등뼈를 추가적으로 폼 시키는 운동 시 등뼈 펴 근육들의 근활성도가 유의하게 증가하였다(Park et al., 2015). 따라서, 중력에 대항하는 등뼈 펴 운동은 등뼈 펴 근육들의 근활성도를 증가시키는 효과적인 전략이 될 수 있을 것이다.

기존 연구들에서는 대부분 목뼈 펴 근육들과 등뼈 펴 근육들의 근활성도를 증가시킬 수 있는 개별적인 운동 방법들의 효과들을 제시하였다(Kang et al., 2021; Schomacher et al., 2015; Won et al., 2011). 하지만, 전방머리자세와 같은 특정 정렬 및 자세를 지닌 성인들에게서는 두 가지 근육들의 강화가 함께 필요할 수 있음에도 불구하고, 두 가지 근육들을 함께 강화시킬 수 있는 운동방법에 대한 연구는 부족한 실정이다. 목뼈 및 등뼈 펴 근육들을 강화시키는 운동들이 공통적으로 목뼈 및 등뼈의 폼을 이용한다는 사실을 고려할 때(Goodarzi et al., 2018; Park et al., 2015), 두 가지 움직임을 결합한 운동은 목뼈 및 등뼈 펴 근육들의 근활성도를 함께 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다. 따라서, 본 연구는 목뼈 및 등뼈 폼을 이용한 새로운 운동방법과 기존의 목뼈 펴 근육 강화운동(앉은 자세 목뼈 펴 운동) 및 등뼈 펴 근육 강화운동(엎드린 자세 등뼈 펴 운동)의 효과를 비교하기 위해 실시되었다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자 선정 기준은 12개월 동안 목 통증 또는 병리학적으로 문제가 없는 15명의 건강한 성인(남성: 10명, 여성: 5명, 나이: 29.60±5.77, 신장: 171.67±5.59, 체중: 67.53±9.02)이 참여하였다(Nam et

al., 2013; Peolsson et al., 2010). 대상자 제외 기준은 목뼈의 외상, 골절 및 불안정성, 염증, 감염, 신경학적 손상, 또는 선천적 척추 기형이 있는 경우 대상자에서 제외되었다(Edmondston et al., 2007; Ruivo et al., 2016). 본 연구의 목적을 기재한 광고문을 통해 자발적인 참여 의사를 밝힌 사람만을 대상자로 선정하였다. 본 연구의 대상자들은 실험 전 설명을 듣고 자발적으로 참여를 하였으며, 본 연구는 부산가톨릭대학교 기관 생명윤리위원회의 승인을 받아 진행되었다(CUPIRB-2022-032).

본 연구의 표본크기는 Power analysis를 이용하였다. 본 연구에서의 적정 표본수를 산출한 결과, 척추세움근 근활성도를 확인하기 위해서는($\alpha=0.05$, 효과크기=0.8, 80% 검정력) 최소 15명이 필요한 것으로 측정되었으므로, 본 연구의 대상자 수 15명을 최종 대상으로 선정하였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 목뼈 및 등뼈 척추세움근 근활성도 측정

운동 시 목뼈와 등뼈 척추세움근의 근활성도는 표면 근전도 시스템(Ultium EMG system, Noraxon Inc., USA)을 통해 측정하였다. 근전도 데이터의 표본추출률은 2,000Hz, 주파수대역폭은 10-450Hz로 각각 설정하고, 수집된 근전도 데이터는 제곱평균제곱근(root mean square)으로 변환 처리하였다. 근전도 전극을 신체 피부에 부착하기 앞서 피부 저항을 최소화하기 위해서 근전도 전극 부착 부위를 소독용 알코올 솜으로 닦고, 근육의 근섬유 방향과 평행하게 전극을 부착하였다. 목뼈와 등뼈 척추세움근의 근전도 전극은 Tsang 등(2018)이 제시한 방법에 따라 4번째 목뼈(C4) 척추세움근과 4번째 등뼈(T4) 척추세움근에 양쪽으로 부착되었다. 목뼈 척추세움근의 최대 수의적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하기 위해 대상자는 머리를 테이블 밖으로 앞드린 자세를 취한 후 양 팔을 몸통 옆에 위치하였다.

검사자의 한 손은 대상자의 뒤통수에 올려두고, 다른 손은 대상자의 턱 아래에 위치하였다. 검사자의 뒤통수에 위치한 손으로 바닥을 향한 저항에 대하여 대상자는 턱의 기울임 없이 최대한 버텼다(Hislop et al., 2013). 등뼈 척추세움근의 최대 수의적 등척성 수축은 대상자를 테이블 가장자리에 깔돌기가 정렬되도록 옆드리게 하고, 양 손은 각지를 끼고 뒤통수에 위치하였다. 대상자는 등뼈에 수직으로 누르는 검사자의 저항에 대하여 등뼈를 최대한 들어 올리게 하고 측정하였다(Hislop et al., 2013). 운동 시 측정된 근전도 데이터 값을 정규화시키기 위해 목뼈 척추세움근과 등뼈 척추세움근의 최대 수의적 등척성 수축을 각 근육마다 5초씩 2회 실시하였다. 측정값의 중간 3초의 평균값을 계산하고, 총 2회의 평균값을 근활성도 정규화(%MVIC)를 위해 사용하였다(Kang & Oh, 2017; Sciascia et al., 2012).

3. 실험 절차

모든 대상자는 앉은 자세 목뼈 폼 운동, 앞드린 자세 등뼈 폼 운동, 목뼈와 등뼈 폼 복합운동을 무작위 순서로 실시하였다. 대상자는 세 가지 운동 조건을 각각 3회씩 실시하며, 각 횟수 사이마다 휴식시간이 1분간 제공되었다(Tsang et al., 2021).

1) 앉은 자세 목뼈 폼 운동

대상자들은 다리에 손을 위치하고 머리와 목을 중립 위치에 유지하면서 의자에 편안하게 앉았다. 대상자의 몸통을 의자에 고정하기 위해 두 개의 벨트가 사용되었는데 하나는 어깨뼈 높이에, 다른 하나는 엉덩뼈능선 높이에 사용되었다. 머리를 감싼 비탄력성 밴드는 팽팽해지도록 길이를 유지하며 대상자의 1.5m 앞에 위치한 기둥에 고정하였다(Fig. 1). 그 후 대상자가 낼 수 있는 최대 힘으로 목뼈 폼 동작을 5초간 수행하였다(Magee, 2010).



Fig. 1. Sitting cervical extension exercise.

2) 엎드린 자세 등뼈 펴 운동

대상자는 목을 중립 자세를 유지하면서 칼돌기(xiphoid process)가 테이블 가장자리와 정렬되도록 엎드린 자세를 취한 후 팔을 양가슴에 교차시켰다. 대상자의 골반 및 다리는 비탄력성 스트랩으로 고정하였고, 대상자는 8번째 등뼈(T8)지점이 테이블로부터 약 7cm 정도 떨어지도록 등뼈 펴 운동을 실시하였고, 이 자세를 5초간 실시하였다(Fig. 2).



Fig. 2. Prone thoracic extension exercise.

3) 목뼈와 등뼈 펴 복합운동

대상자는 바로 누워 무릎을 구부린 자세(hook-lying)에서 턱은 기울임 없는 중립자세를 유지하고, 양 팔꿈치는 90° 구부린 상태에서 몸통 옆에 위치하였다. 검사자의 지시에 따라 대상자는 뒤통수를 바닥을 향해 최대한 누르는 등척성의 힘과 함께 양쪽 팔꿈치를 바닥을 향해 누르며, 위가슴(upper thorax)을 최대한 들어올렸다(Fig. 3).

4. 자료 분석

본 연구에서 운동 시 중간 3초의 근전도 데이터 값을 계산한 후, 운동 조건별로 3회 평균값을 근활성도 정규화(%MVIC) 및 데이터 분석에 이용하였다.

5. 통계 분석

본 연구의 모든 통계적 분석은 IBM SPSS Statistics ver. 26.0(IBM Corp., USA)을 사용하였다. Shapiro-Wilk 검정을 통해 변수들의 정규성 검정을 실시하였으며, 모든 변수들이 정규분포를 보였다($p > 0.05$). 본 연구에서는 운동에 따른 목뼈 척주세움근과 등뼈 척주세움근의 근활성도 변화를 분석하기 위해 일요인 반복측정 분산분석(One-way repeated ANOVA)을 이용하였

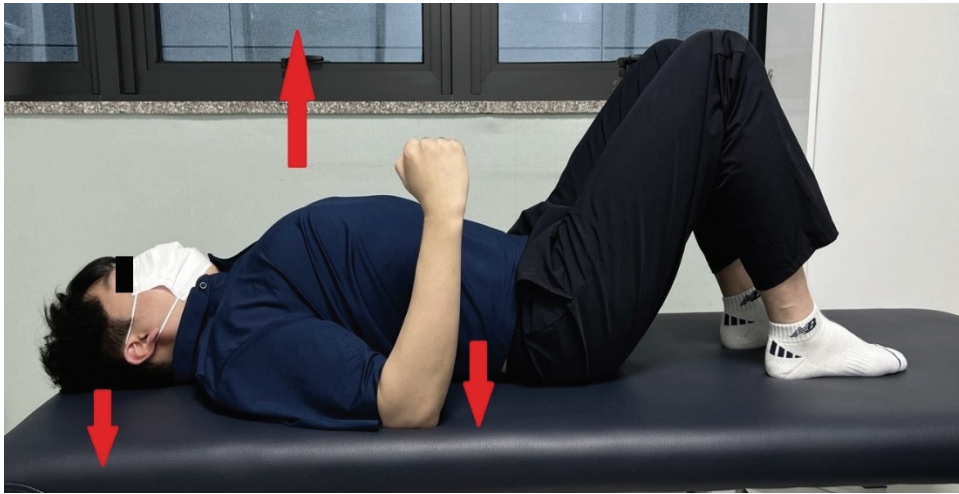


Fig. 3. Combined cervical and thoracic extension exercise.

고, Bonferroni 검정을 이용해 사후분석을 실시하였다. 모든 통계적 유의수준은 0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

본 연구는 목뼈 및 등뼈 폼을 이용한 새로운 운동방법과 기존의 목뼈 폼 및 등뼈 폼 운동 시 척주세움근의 근활성도를 비교하였다. 그 결과 척주세움근의 근활성도는 운동조건에 따라 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

사후검정 결과 척주세움근의 근활성도는 목뼈와 등뼈 폼 복합운동에서 앉은 자세 목뼈 폼 운동($p < 0.01$)과 엎드린 자세 등뼈 폼 운동($p < 0.01$)에 비해 유의하게 더 증가하였다(Table 1). 앉은 자세 목뼈 폼 운동은

엎드린 자세 등뼈 폼 운동보다 목뼈 척주세움근의 근활성도를 유의하게 증가시켰다($p < 0.01$) (Table 1). 등뼈 척주세움근의 근활성도는 목뼈 폼 운동보다 등뼈 폼 운동에서 유의하게 증가되었다($p < 0.01$) (Table 1).

IV. 고찰

본 연구는 목뼈 및 등뼈 폼을 함께 적용한 새로운 운동방법과 기존의 목뼈 폼 및 등뼈 폼 근육 강화운동의 효과를 비교하기 위해 실시되었다. 본 연구의 결과는 목뼈와 등뼈 폼 복합운동이 기존 목뼈 폼 운동과 등뼈 폼 운동보다 척주세움근의 근활성도를 증가시킬 수 있다는 사실을 확인하였다.

Table 1. Muscle activity data

	SCEE	PTEE	CTEE	P
Left C4 ES(%MVIC)	37.54±10.63	20.81±5.28	58.57±12.73	< 0.01*
Right C4 ES(%MVIC)	38.83±13.43	21.98±6.20	63.41±17.59	< 0.01*
Left T4 ES(%MVIC)	14.97±5.39	33.49±10.76	68.33±13.77	< 0.01*
Right T4 ES(%MVIC)	14.03±7.05	35.16±11.46	58.53±18.7	< 0.01*

* $p < 0.05$.

Abbreviation: CTEE, combined cervical and thoracic extension exercise; ES, erector spinae; MVIC, maximum voluntary isometric contraction; PTEE, prone thoracic extension exercise; SCEE, sitting cervical extension exercise.

열린사슬운동은 팔다리의 먼 쪽을 사용하여 자유롭게 움직일 수 있고, 몸쪽에서는 고정된 상태로 비체중 부하에서 수행되는 단일 관절 운동이며, 주로 관절가동범위가 제한된 환자에게 근력강화를 위해 적용한다. 반대로, 닫힌사슬운동은 체중부하 자세 또는 먼쪽이 고정된 상태로 몸쪽 및 먼쪽에 저항을 동시에 적용하는 다관절 운동이다(Prentice & Voight, 2005; Stensdotter et al., 2003). Kim 등(2006)은 닫힌사슬운동이 관절 주변 근육들의 공동 수축을 일으키며, 기능적인 운동이나 재활훈련에 적합한 방법이라고 하였다. 또한 닫힌사슬운동은 열린사슬운동보다 더 많은 근방추와 관절 수용기를 활성화한다고 하였다(Baker et al., 2002; Kramer et al., 1997). 이전 연구에서 닫힌사슬운동은 열린사슬운동보다 관절의 안정화를 위해 근활성도를 더 촉진시켰으며(Stensdotter et al., 2003), 근력강화에도 더 효과적이라는 사실을 증명하였다(Kwon et al., 2012). 본 연구와 유사하게 닫힌사슬운동과 열린사슬운동의 효과를 비교한 이전 연구에서도 닫힌사슬운동을 적용한 운동 전략이 척추세움근의 더 큰 근활성도를 유도한다고 제시하였다(Pozzi et al., 2022). 이러한 닫힌사슬운동의 특징을 고려할 때, 본 연구에서도 닫힌사슬운동인 목뼈와 등뼈 폼 복합 운동 시 목뼈와 등뼈 주변 근육들의 수축이 촉진되어 열린사슬운동인 목뼈 폼 운동 및 등뼈 폼 운동보다 척추세움근의 근활성도가 유의하게 증가한 것으로 생각된다(목뼈 척추세움근: 21.03~41.43%MVIC, 등뼈 척추세움근: 23.37~53.36%MVIC, $p<0.05$). 본 연구의 각 운동 자세 차이는 척추세움근의 근활성도가 목뼈 폼 운동 및 등뼈 폼 운동에 비해 목뼈와 등뼈 폼 복합운동에서 증가된 또 다른 이유가 될 수 있다. 목뼈와 등뼈 폼 복합운동은 목뼈를 바닥을 향해 최대한 누르는 등척성의 힘과 함께 체간을 들어올림으로써 목뼈에 가해지는 힘은 더 증가되었다. 따라서, 목뼈와 등뼈 폼 복합운동에서는 최대 목뼈 폼 뿐만 아니라 체간의 무게가 추가적인 저항으로 이용되어 목뼈 척추세움근의 근활성도를 증가시켰을 것이다. 또한, 이 운동 자세에서 목뼈가 축으로써 역할을 하므로, 이 자세를 유지하기 위해 더 큰

목뼈 척추세움근의 수축이 유도되었을 것으로 사료된다. 본 연구에서 목뼈와 등뼈 폼 복합운동은 양쪽 팔꿈치를 90° 구부린 상태에서 바닥을 향해 최대한 누르며 어깨뼈 뒤당김 자세를 유도하였다. 어깨뼈 뒤당김근은 기능적으로 등뼈 폼근으로 작용하고(Wang et al., 1999), 어깨뼈 뒤당김 운동은 등뼈 폼근의 근활성도를 증가시킨다(Youdas et al., 2021). 반면에 등뼈 폼 운동은 T8 지점이 테이블로부터 약 7cm 정도만 떨어지도록 등뼈 폼을 제한하였다. 따라서, 어깨뼈 뒤당김을 최대한 이용한 목뼈와 등뼈 폼 복합운동이 제한된 등뼈 폼을 이용한 등뼈 폼 운동에 비해 더 큰 등뼈 척추세움근 수축을 유도한 것으로 생각된다.

본 연구에서 앉은 자세 목뼈 폼 운동은 엷드린 자세 등뼈 폼 운동보다 목뼈 척추세움근의 근활성도를 유의하게 증가시켰다($p<0.05$). 본 연구의 등뼈 폼 운동은 목을 중립 자세를 유지한 상태에서 실시되었으므로 등뼈 폼 운동 시 목에는 중력에 의한 저항만이 제공되었다. 반면에 목뼈 폼 운동은 머리에 비탄력성 밴드를 이용한 최대 저항이 적용되었다. 따라서, 이러한 저항의 강도 차이에 의해 목뼈 폼 운동이 등뼈 폼 운동보다 목뼈 척추세움근의 근활성도를 증가시킨 것으로 생각된다.

본 연구에서 등뼈 척추세움근의 근활성도는 목뼈 폼 운동보다 등뼈 폼 운동에서 유의하게 증가되었다($p<0.05$). 목뼈 폼 운동 시에는 대상자의 체간에 두 개의 벨트를 이용하여 체간을 의자에 고정하였다. 하지만, 등뼈 폼 운동은 대상자가 테이블에 엷드린 자세에서 중력에 대항하여 능동적인 등뼈 폼 동작을 시행하였다. 따라서, 목뼈 폼 운동에 비해 등뼈 폼 운동 시 등뼈 척추세움근의 능동적 수축이 유도되어 등뼈 폼 운동 시 등뼈 척추세움근의 근활성도가 유의하게 증가한 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫 번째, 본 연구의 대상자는 건강한 성인이었다. 그렇기 때문에 전방 머리자세를 지닌 대상자에게 목뼈와 등뼈 폼 복합운동의 적용이 척추세움근에 어떠한 영향을 미치는지 추후에 이를 밝혀낼 연구가 필요할 것으로 생각된다.

두 번째는 단지 목뼈와 등뼈 척주세움근의 근활성도만 측정하였다는 부분이다. 목뼈와 등뼈의 다른 폼근 등의 근활성도에 미치는 영향을 추후 연구가 필요할 것이다. 세 번째는 본 연구의 대상자 수가 15명으로 결과를 일반화하기에 대상자 수가 부족하다는 제한점이 있다.

V. 결론

본 연구를 통해 목뼈와 등뼈 폼 복합운동은 목뼈 폼 및 등뼈 폼 운동보다 척주세움근의 근활성도를 증가시킬 수 있다는 사실이 확인되었다. 이러한 연구 결과는 임상가들이 목뼈 폼 근육들과 등뼈 폼 근육들의 근활성도를 효과적으로 증가시킬 수 있는 운동 프로그램을 설계하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

Acknowledgements

이 논문은 2023년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

Reference

- Alowa Z, Elsayed W. The impact of forward head posture on the electromyographic activity of the spinal muscles. *Journal of Taibah University Medical Sciences*. 2020;16(2):224-230.
- Baker V, Bennell K, Stillman B, et al. Abnormal knee joint position sense in individuals with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Orthopaedic Research*. 2002;20(2):208-214.
- Edmondston SJ, Chan HY, Ngai GC, et al. Postural neck pain: an investigation of habitual sitting posture, perception of good posture and cervicothoracic kinaesthesia. *Manual Therapy*. 2007;12(4):363-371.
- Goodarzi F, Rahnama L, Karimi N, et al. The effects of forward head posture on neck extensor muscle thickness: an ultrasonographic study. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 2018;41(1):34-41.
- Hartley RA, Kordecki ME. Rehabilitation of chronic brachial plexusneuropaxia and loss of cervical extension in a highschool football player: a case report. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2018;13(6):1061-1072.
- Hislop HJ, Avers D, Brown M. Daniels and Worthingham's muscle testing: techniques of manual examination and performance testing. 9th ed. St. Louis. Elsevier. 2013.
- Janwantanakul P, Sitthipornvorakul E, Paksaichol A. Risk factors for the onset of nonspecific low back pain in office workers: a systematic review of prospective cohort studies. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 2012;35(7):568-577.
- Jeon IC. Comparison of test-retest measurement reliability of iliopsoas strength between break and make test in subjects with lumbar extension syndrome. *Journal of Musculoskeletal Science and Technology*. 2019;3(2):54-58.
- Kang MH, Oh JS. Effects of a pelvic belt on hip muscle forces and abdominal muscle activities during isometric hip adduction and abduction. *Physical Therapy Korea*. 2017;24(2):19-26.
- Kang NY, Im SC, Kim K. Effects of a combination of scapular stabilization and thoracic extension exercises for office workers with forward head posture on the craniovertebral angle, respiration, pain, and disability: a randomized-controlled trial. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2021;67(3): 291-299.
- Kim SY, Kim TY. Theoretical basis and application of the neurac technique which uses the sling exercise therapy.

- The Journal of Korean Academy of Orthopedic Manual Physical Therapy*. 2006;12(2):52-65.
- Kramer J, Handfield T, Kiefer G, et al. Comparisons of weight-bearing and non-weight-bearing tests of knee proprioception performed by patients with patello-femoral pain syndrome and asymptomatic individuals. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 1997;7(2):113-118.
- Kwon YJ, Park SJ, Kim K. The effect of open and closed chain exercise on lower extremity muscle activity in adults. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2012;7(2):173-182.
- Magee, David J. (2010). *Orthopedic physical assessment* 5th ed. St. Louis: Saunders, Elsevier.
- Nam SH, Son SM, Kwon JW, et al. The intra- and inter-rater reliabilities of the forward head posture assessment of normal healthy subjects. *Journal of Physical Therapy Science*. 2013;25(6):737-739.
- Park KH, Kang MH, Kim TH, et al. Selective recruitment of the thoracic erector spinae during prone trunk-extension exercise. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2015;28(4):789-795.
- Peolsson A, Brodin LA, Peolsson M. A tissue velocity ultrasound imaging investigation of the dorsal neck muscles during resisted isometric extension. *Manual Therapy*. 2010;15(6):567-573.
- Pozzi F, Plummer HA, Sanchez N, et al. Electromyography activation of shoulder and trunk muscles is greater during closed chain compared to open chain exercises. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2022;62:102306.
- Prentice WE, Voight ML. *Techniques in musculoskeletal rehabilitation*. McGraw-Hill/Appleton & Lange. 2001.
- Raine S, Twomey L. Posture of the head, shoulders and thoracic spine in comfortable erect standing. *The Australian Journal of Physiotherapy*. 1994;40(1):25-32.
- Rivard J, Unsleber C, Schomacher J, et al. Activation of the semispinalis cervicis and splenius capitis with cervical pulley exercises. *Musculoskeletal Science and Practice*. 2017;30:56-63.
- Ruivo RM, Carita AI, Pezarat-Correia P. The effects of training and detraining after an 8 month resistance and stretching training program on forward head and protracted shoulder postures in adolescents: randomised controlled study. *Manual Therapy*. 2016;21:76-82.
- Schomacher J, Erlenwein J, Dieterich A, et al. Can neck exercises enhance the activation of the semispinalis cervicis relative to the splenius capitis at specific spinal levels? *Manual Therapy*. 2015;20(5):694-702.
- Sciascia A, Kuschinsky N, Nitz AJ, et al. Electromyographical comparison of four common shoulder exercises in unstable and stable shoulders. *Rehabilitation Research and Practice*. 2012;2012:783824.
- Stensdotter AK, Hodges PW, Mellor R, et al. Quadriceps activation in closed and in open kinetic chain exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2003;35(12):2043-2047.
- Tatsuhiko M, Keishoku S. Influence of different spinal alignments in sitting on trunk muscle activity. *Journal of Physical Therapy Science*. 2013;25(4):483-487.
- Tsang SM, Chan KT, Ho PL, et al. Comparison between velocity-specific exercise and isometric exercise on neck muscle functions and performance: a randomised clinical trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2021;22(1):81.
- Tsang SMH, Szeto GPY, Xie YF, et al. Association of electromyographic activation patterns with pain and functional disability in people with chronic neck pain. *European Journal of Applied Physiology*. 2018; 118(7):1481-1492.
- Vaughn DW, Brown EW. The influence of an in-home based therapeutic exercise program on thoracic kyphosis angles. *Journal of Back and Musculoskeletal*

- Rehabilitation*. 2007;20(4):155-165.
- Wang CH, McClure P, Pratt NE, et al. Stretching and strengthening exercises: their effect on three-dimensional scapular kinematics. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1999;80(8):923-929.
- Won DY, Kim SY, Kim YS, et al. The effects of the neck extensor strength exercise and the thoracic extensor strength exercise on the forward head posture and the cervical range of motion. *Journal of Korean Physical Therapy Science*. 2011;18(2):41-49.
- Youdas JW, Kleis M, Krueger ET, et al. Recruitment of shoulder complex and torso stabilizer muscles with rowing exercises using a suspension strap training system. *Sports Health*. 2021;13(1):85-90.