

## 전방머리자세를 가진 성인들에게 목 돌림 수행 시 시각적 생체되먹임 적용이 목의 가쪽 굽힘 움직임 패턴과 목빗근 근활성도에 미치는 영향

양노열 · 오재섭<sup>†</sup>

위드알앤에이, <sup>1</sup>인제대학교 의생명공학대학 물리치료학과

Effects of Visual Biofeedback on Movement Patterns of Neck Lateral Bending and Muscle Activation of Sternocleidomastoid During Neck Rotation in Adults with Forward Head Posture

No-Yul Yang, OT, PhD, Jae-Seop Oh, PT, PhD<sup>†</sup>

With Rehabilitation & Assistive Technology

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, College of Biomedical Science and Engineering, Inje University

Received: August 14, 2014 / Revised: October 13, 2014 / Accepted: October 20, 2014

© 2014 J Korean Soc Phys Med

### | Abstract |

**PURPOSE:** The purpose of this study was to investigate that the differences in sternocleidomastoid muscle activity, neck rotation angle, neck lateral bending angle and neck lateral bending onset time between conditions with and without visual biofeedback during neck rotation.

**METHODS:** Ten male and four female adults with condition of forward head posture were recruited in this study. Subjects conducted to left and right maximal neck rotation under the conditions with and without visual biofeedback. During neck rotation, kinematic data of neck rotation, neck lateral bending movement, and electromyography activities of bilateral sternocleidomastoid muscles were collected. Differences in dependent variables between conditions with

and without visual biofeedback were analyzed using paired t-test.

**RESULTS:** There were significant decreases in lateral bending angle, while lateral bending movement onset time was delayed significantly when applying visual biofeedback ( $p < .05$ ). However, there were no significant differences in the activation of left and right sternocleidomastoid muscles and neck rotation angle between conditions with and without visual biofeedback ( $p > .05$ ).

**CONCLUSION:** These findings suggest that visual biofeedback may be effective for axial rotation of cervical spine during neck rotation in adults with forward head posture.

**Key Words:** Bending movement onset time, Electromyography, Forward head posture, Rotation-bending angle, Visual biofeedback

<sup>†</sup>Corresponding Author : ysrehab@infe.ac.kr

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.

## I. 서론

전방머리자세(forward head posture)는 사무직 근로자 및 장시간 책상에 앉아있는 학생에게서 많이 발생하는 현대사회의 대표적인 목 질환이다(Bae, 2007; Good 등, 2001). 전방머리자세는 하부 목뼈와 상부 등뼈부위의 굽힘이 증가되어있고, 상부 목뼈의 펴이 증가된 자세로(Choi, 2011), 자세의 지속은 목통증을 야기할 수 있다(Fernández-de-las-Peñas 등, 2005). 이전 연구에서는 비정상적인 목뼈의 정렬은 주변구조물 및 연부조직의 변형 및 손상을 야기한다고 보고하였다(Uthaikhup와 Jull, 2009). Cho 등(2008)의 연구에서는 전방머리자세의 지속은 정상인에 비해 목 근육의 피로도가 증가함을 보였고, 이러한 결과는 머리의 불안정한 정렬을 안정시키기 위한 목과 등 근육의 과도한 긴장과 수축의 반복현상이라고 보고하였다. 이러한 목뼈 주변구조물 및 연부조직의 변형은 목의 움직임에도 영향을 미친다(Shin, 2008).

목의 축돌림(axial rotation)은 목통증이 없는 일상생활을 하기 위해 필수적이다(Lee, 2010). Sahrman (2002)은 특히 목 굽힘과 돌림을 담당하는 외재근인 목빗근(sternocleidomastoid)의 단축은 전방머리자세를 가진 환자가 목 돌림을 할 때 축돌림 뿐 아니라 가쪽 굽힘 모멘트를 발생시킬 수 있다고 하였다. 만약 이러한 움직임이 반복적으로 발생되게 되면 결과적으로 통증을 유발하고 제한된 관절가동범위가 발생한다. 따라서 목의 축돌림은 임상에서 통증 없는 목의 돌림을 위한 표시자(indicator)로 사용되고 있으며, 임상가들은 목통증 환자에게 목의 축돌림을 유도하여야 한다고 하였다(Sahrman, 2002).

시각적 생체피드백(visual biofeedback) 중재는 정확한 움직임 패턴을 교육하기 위한 치료적 중재로 많이 활용된다(van den Heuvel 등, 2009; Weon 등, 2010). 시각적 생체피드백을 이용한 학습은 자신이 수행한 결과 또는 결과의 원인이 되는 정보를 시각 자극을 되받아 과제수행의 오류를 수정하는 방법으로, 정확한 동작을 학습시키는데 이용되고 있다(Choi, 2010). 자세의 시각적 생체피드백은 최근 환자들에게서 자세 불안정성을

감소시키는 치료로 적용된다(Hamman 등, 1992). 이전 연구에서는 비디오카메라를 이용한 시각적 생체피드백을 통해 어깨뼈의 움직임을 활성화하였다(Weon 등, 2010). 또 다른 연구에서는 턱 당김 검사(cranio-cervical flexion test)에서 압력 생체피드백(pressure biofeedback)을 이용하여 심부 목 굽힘 근육의 활성을 도모하였다(Hudswell 등, 2005).

지금까지의 전방머리자세를 가진 대상자들과 관련된 이전 연구들은 주로 목의 굽힘 및 펴이와 관련된 움직임에 대해서 연구하였으며(Hudswell 등, 2005; Beer 등, 2012), 목 돌림과 관련된 운동형상학 연구는 부족한 실정이다. 또한 전방머리자세를 가진 대상자에게 목 돌림 시 시각적 생체피드백 적용에 따른 목의 운동형상학과 목빗근의 근활성도에 미치는 영향에 대한 연구는 없다. 따라서 본 연구의 목적은 전방머리자세를 가진 성인에게 시각적 생체피드백 적용이 목 돌림 각도(neck rotation angle), 가쪽 목 굽힘 각도(lateral bending angle)와 가쪽 목 굽힘 움직임 개시 시간(lateral bending movement onset time), 목빗근 근활성도에 미치는 영향을 알아보는 것이다. 본 연구의 가설은 시각적 생체피드백을 적용하였을 때 목빗근의 근활성도, 목 돌림 각도, 가쪽 목 굽힘 각도는 감소할 것이라고 설정하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상자

본 연구를 위해 총 80명의 성인을 대상으로 대상자 선정 절차를 진행하였다. 본 연구 대상자의 선정 조건은 시상면에서 봉우리돌기와 바깥귀길을 지나는 수직 선상의 거리가 5cm 이상인 전방머리자세를 가진 성인으로 선정하였으며(Weon 등, 2010)(Figure 1), 제외 조건은 과거나 현재에서 척추수술, 심폐계, 근골격계, 신경계 질환을 가지고 있었던 성인으로 선정하였다. 대상자 선정 조건과 제외 조건을 충족한 성인 남녀 14명(남: 10명, 여: 4명)이 본 연구 대상자로 최종 선정되었으며, 대상자들의 일반적인 특성은 Table 1과 같다. 연구 이전에 모든 연구 실험 대상자들에게 연구의 목적과 방법에

대하여 자세히 설명하였고, 그 후 모든 연구 대상자들은 자발적으로 동의하였다.

Table 1. General characteristics of subjects (N=14)

General characteristic	M±SD	Range
Age (years)	23.64±1.69	20~26
Height (cm)	171.79±7.06	160~181
Weight (kg)	64.93±9.33	51~83
Distance of FHP (cm)	5.76±0.80	5~8

FHP: forward head posture, M: mean, SD: standard deviation

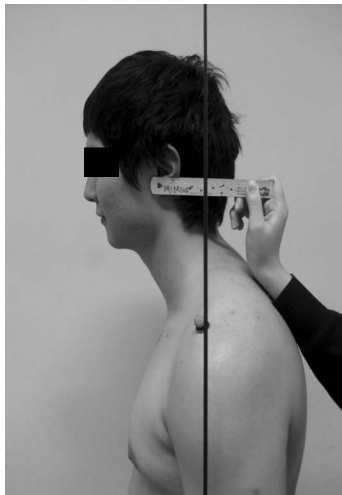


Fig. 1. Measure of subjects with forward head posture

## 2. 실험도구

### 1) 근활성도(Muscle activity)

본 실험에서는 목빗근의 활성도를 측정하기 위하여 MP150 WSW(BIOPAC System Inc. CA, USA) 근전도 기기를 사용하였다. 근전도 신호의 표본 추출률은 1000 Hz로 설정하였고 증폭된 파형을 대역통과필터(band pass filter) 20~450Hz를 적용하였다. 수집된 신호를 정량화하기 위해 실효평균값(root mean square, RMS)처리를 하였다. 목 돌림 동안 수집된 근활성도 신호는 최대 수의 적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction) 백분율로 정규화 하였다.

### 2) 운동형상학(Kinematics)

목뼈의 돌림 및 가쪽 굽힘 각도와 가쪽 굽힘 움직임 개시 시간을 측정하기 위하여 삼차원 동작 분석 시스템인 Zebris CMS20(Zebris Meditechnic GmbH, Isny, Germany)을 사용하였다. 본 연구에서 목뼈의 돌림 및 가쪽 굽힘 각도와 가쪽 굽힘 움직임 개시 시간을 측정하기 위해 능동적 삼중 표식자(active triplet marker)를 뒤통수뼈, 네 번째 등뼈와 다섯 번째 등뼈 사이에 각각 하나씩 부착하였다(Walsh 등, 2007). 목뼈의 돌림 및 가쪽 굽힘 각도는 각각 수평면(horizontal plane)과 이마면(frontal plane)에서 나타나는 등뼈에 부착된 삼중 표식자에 대한 뒤통수뼈에 부착된 삼중 표식자의 상대적 움직임의 절대값으로 계산되었다. 초음파 신호를 감지하는 3개의 마이크로 구성된 측정감지기(transducer sensor)는 대상자의 이마면과 평행하게 하여 100cm 떨어진 곳에 위치하였다. 측정감지기의 중심부는 측정테이블에 앉아있는 각 대상자의 일곱 번째 목뼈 가시돌기의 높이에 맞추어 고정하였다. 매 측정시마다 중립자세(neutral position)를 맞추어 영점조정(calibration)을 실시하였고, 모든 각도의 변화는 CMS20을 통해 20Hz의 표본추출률(sampling rate)로 측정되었다. Windata v.2.22.25 프로그램을 이용하여 각 표식자의 정보를 삼차원상 좌표로 전환 및 각 좌표간의 각도 변화 자료를 실시간으로 수집하였다.

## 3. 실험방법

본 연구를 위해 대상자의 전방머리자세의 정도를 측정하고 양쪽 목빗근에 전극을 부착하였다. 전극 부착 전 표면근전도 신호에 대한 피부 저항을 감소시키기 위해 부착 부위를 가는 사포로 3~4회 문질러 피부 각질층을 제거하고, 소독용 알코올을 피부 지방을 제거한 후에 소량의 전해질 젤을 바른 표면 전극을 피부에 부착하였다. 양쪽 목빗근 근활성도 측정을 위한 근전도 전극은 2개의 채널을 이용하여 Cram과 Kasman (1997)이 제시한 방법으로 양극표면전극을 2cm 간격으로 유양돌기(mastoid process)와 복장패임(sternal notch) 사이 거리의 중간에 있는 근육 힘살 부위에 근육섬유배열 방향과 평행하게 부착하였다. 전극 부착 후 목빗근의 최대

근 수축 정도를 알아보기 위하여 Kendall 등(2005)의 도수 근력 측정 방법으로 5초간 최대 수의적 등척성 수축을 2회 측정하였다. 이를 위해 대상자는 바로 누운 자세에서 고개를 반대쪽으로 돌린 후 머리를 들어올리는 자세를 취하였고, 검사자는 머리의 전외측에 저항을 가하였다. 2회 측정한 최대 등척성 수축 값 중 처음 1초와 마지막 1초를 제외한 중간 3초의 2회 평균값을 근 활성화 정규화 과정을 위해 이용하였다.

근전도 전극 부착 및 최대 수의적 등척성 수축 측정 후, 대상자는 두 면의 벽으로부터 수직으로 100cm 떨어진 지점에 머리의 중앙이 위치하도록 놓인 의자에 시선은 수평으로 앞을 보고 체간은 곧게 앉은 자세를 취하였다. 목 돌림은 시각적 생체 되먹임 적용의 유무로 두 조건으로 나누어 실시하였다. 시각적 생체 되먹임 비적용 조건(Figure 2)에서 검사자는 대상자에게 일정한 속도로 5초에 걸쳐 평상시에 주로 사용하는 움직임을 통해 최대 좌우 목 돌림을 각각 실시하도록 구두 지시를 하였고, 대상자는 최대 목 돌림 후 끝 범위에서 5초간 그 자세를 유지하였다. 시각적 생체 되먹임 조건에서는 대상자의 눈높이에 맞게 테이프를 이용하여 벽에 안내선(guideline)을 표시하였고, 시각적 생체 되먹임 장치(laser)를 머리 위에 장착하였다(Figure 3, 4). 대상자는 시각적 생체 되먹임 장치의 불빛으로 이 선을 따라가면서 5초에 걸쳐 최대 좌우 목 돌림을 각각 실시하였고,

끝 범위에서 5초간 최대 목 돌림을 유지하였다. 목 돌림의 방향 및 시각적 되먹임 적용 조건은 무작위 순서로 실시하였고, 각 조건에 따라 왼쪽 최대 목 돌림과 오른쪽 최대 목 돌림은 각각 3회씩 실시하였다. 검사자는 목 돌림 시 어깨 및 등뼈에서 나타나는 보상적 움직임을 육안으로 관찰하였으며, 불필요한 어깨 올림 및 등뼈 돌림이 나타났을 경우 목 돌림을 다시 측정하였다. 각 조건 간에는 5분간의 휴식 시간이 주어졌으며, 각 목 돌림 측정 간에는 1분간의 휴식 시간이 주어졌다.

자료 분석을 위하여 목빗근의 근활성도, 목뼈의 돌림 및 가쪽 굽힘 각도는 최대 목 돌림을 5초간 유지하였을 때 처음과 마지막 1초를 제외한 중간 3초간의 자료를 수집하였다. 가쪽 굽힘 움직임 개시 시간은 정면을 바라본 상태에서 끝 범위까지 좌우 목 돌림을 수행하는 동안 가쪽 굽힘이 1도 이상 증가 되었을 때로 설정하였다. 각 조건별로 3회 반복된 목빗근의 근활성도, 목뼈의 돌림 및 가쪽 굽힘 각도, 가쪽 굽힘 움직임 개시 시간의 평균값을 자료 분석에 사용하였다.

#### 4. 분석 방법

전방머리자세를 가진 성인에게 목 돌림 수행 시 시각적 생체되먹임 적용이 목의 가쪽 굽힘 움직임 패턴과 목빗근 근활성도에 미치는 영향을 알기 위해 짝 비교 t-검정(paired t-test)을 실시하였다. 목의 가쪽 굽힘 각도



Fig. 2. Non-applied visual biofeedback



Fig. 3. Applied visual biofeedback



Fig. 4. Device for visual feedback

Table 2. Comparison of muscle activation of sternocleidomastoid during non-applied and applied visual biofeedback (N=14)

		M±SD		t	p
		Non-applied visual biofeedback	Applied visual biofeedback		
Left neck rotation	Left sternocleidomastoid (% MVIC)	3.411±2.662	2.671±1.923	-0.765	0.46
	Right sternocleidomastoid (% MVIC)	24.023±9.292	27.502±11.858	-1.523	0.15
Right neck rotation	Left sternocleidomastoid (% MVIC)	33.654±18.809	32.812±16.375	0.254	0.81
	Right sternocleidomastoid (% MVIC)	3.962±1.973	5.125±4.325	-1.456	0.17

Values are expressed as mean±standard deviations.  
MVIC: maximal voluntary isometric contraction

는 모두 절대값 처리되었다. 모든 통계처리는 SPSS vers. 18.0 프로그램을 이용하였고 유의수준은 α=0.05로 하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 근활성도 변화

왼쪽과 오른쪽 목 돌림 시 왼쪽 및 오른쪽 목빗근의 근활성도는 시각적 생체 되먹임 적용 유무 조건들에 대해 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05)(Table 2).

#### 2. 목돌림 각도 변화

목 돌림 시 시각적 생체되먹임의 적용은 목 돌림에

동반되는 가쪽 목 굽힘 각도가 왼쪽 목 돌림과 오른쪽 목 돌림에서 시각적 생체되먹임의 비적용에 비해 유의하게 낮게 굽힘 되었다(p<0.05). 목 돌림 시 시각적 생체되먹임의 적용은 목 돌림의 가쪽 목 굽힘 움직임 개시 시간이 왼쪽 목 돌림과 오른쪽 목 돌림에서 시각적 생체되먹임의 비적용에 비해 유의하게 늦게 개시되었다(p<0.05). 또한, 목 돌림각도는 목 돌림 시 시각적 생체되먹임 유무에 관계없이 유의하지 않았다(p>0.05)(Table 3).

### IV. 토 의

전방머리자세는 현대인에게서 나타나는 대표적인 목의 부정렬 자세이다. 하지만 이전 연구들은 대부분

Table 3. Comparison of neck rotation angle during non-applied and applied visual biofeedback (N=14)

		Non-applied visual biofeedback	Applied visual biofeedback	t	p
Left neck rotation	Rotation angle (°)	56.722±9.643	59.091±8.578	-1.213	0.25
	Lateral bending angle (°)	13.523±8.462	10.566±6.521	2.182	0.05*
	Lateral bending onset time (s)	0.502±0.404	0.864±0.712	-2.353	0.04*
Right neck rotation	Rotation angle (°)	57.662±9.495	55.918±9.213	1.046	0.32
	Lateral bending angle (°)	12.502±7.694	9.713±7.007	2.613	0.02*
	Lateral bending onset time (s)	0.576±0.323	0.923±0.676	-2.402	0.03*

\*p<0.05.

Values are expressed as mean±standard deviations.

시상면에서 나타나는 목의 비정상적인 움직임에만 초점을 맞춰왔으며, 목 돌림 시 나타날 수 있는 움직임에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전방머리자세를 가진 성인에게 목 돌림 시 시각적 생체되먹임 적용 유무에 따른 목의 움직임 패턴과 근활성도 변화에 대하여 연구를 실시하였다.

본 연구의 결과는 목 돌림 수행 시 시각적 생체되먹임 작용은 목의 가쪽 굽힘 정도를 유의하게 감소시켰고, 가쪽 굽힘 움직임 개시시간을 유의하게 늦추었다. 이는 시각적 생체되먹임 적용이 적용하지 않은 경우에 비해 상대적으로 목의 축돌림에 근접한 움직임을 유도했다는 것을 보여준다. Sahrman (2010)은 외재성 목 돌림근인 목빗근을 우세하게 사용하는 사람들에게서 능동적 목 돌림 시 목뼈의 가쪽 굽힘이 함께 동반될 수 있으며, 이러한 보상적인 목뼈 가쪽 굽힘을 억제하고 축돌림을 향상시키는 것이 목뼈에 가해지는 전단력을 감소시키는데 효과적이라고 하였다. Park 등(2011)은 척추에 가해지는 지속적인 반복적인 스트레스를 감소시키기 위해서는 보상 움직임을 개시시간을 늦추는 중재 방법이 중요하다고 제시하였다. 이전 연구들을 종합해 보았을 때, 전방머리자세를 가진 성인들의 목 돌림 움직임 시 목뼈 및 주변 연부조직에 가해지는 부하를 줄이기 위해서는 목뼈의 가쪽 굽힘 각도 및 개시시간을 지연시키는 것이 중요하다. 본 연구에서는 시각적 생체되먹임을 적용 조건에서 대상자들이 안내선을 따라 목 돌림을 수행함으로써 불필요한 목의 가쪽 돌림 움직임이 감소하였고, 이로 인하여 가쪽 돌림 각도 및 개시시간이 지연된 것으로 사료된다.

목의 축돌림과 같은 정확한 관절의 움직임을 만들어 내기 위해서는 주변 근육의 적절한 상호수축이 필요하다. 본 연구결과에서는 시각적 생체되먹임을 적용하였을 때 목 돌림 시 목빗근을 우세하게 사용하는 사람들에게서 주로 나타나는 목뼈의 가쪽 굽힘 각도를 유의하게 감소시키고 개시시간을 유의하게 지연시켰으나, 왼쪽과 오른쪽 목빗근의 근활성도에는 변화를 주지 못했으며, 목 돌림 관절가동범위에도 유의한 차이를 발생시키지 못했다. 목빗근은 목뼈의 가쪽 굽힘뿐 아니라 목 돌림의 주요 근육으로써 작용한다. 따라서, 시각적 생

체되먹임 적용하였을 때 나타난 목뼈의 가쪽 굽힘 감소 정도가 목빗근의 근활성도를 감소시킬 정도로 충분하지 못하였을 뿐만 아니라, 생체되먹임 조건 유무에 따른 목 돌림 각도에 유의한 차이가 없었던 본 연구 결과가 목빗근의 근활성도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 비록 목 돌림 시 목뼈 돌림과 함께 짝 움직임(coupled motion)으로써 목뼈 가쪽 굽힘이 함께 발생하기는 하지만(Ishii 등, 2004), 지나친 목뼈의 가쪽 굽힘은 목뼈 및 주변 연부조직에 전단력(shear force)을 가하게 된다(Sahrman, 2010). 시각적 생체되먹임을 이용하여 목 돌림 시 목뼈의 가쪽 굽힘이 감소하였음에도 불구하고 목뼈 돌림 각도는 유의한 차이가 없었던 본 연구 결과는 전방머리자세를 가진 성인들의 일반적인 목 돌림 시 불필요한 목의 가쪽 돌림을 동반한다는 사실을 뒷받침해 줄 수 있는 근거가 될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과를 종합해 볼 때, 전방머리자세를 가진 성인에게 목 돌림 시 불필요한 목의 가쪽 굽힘을 최소화시킬 수 있는 목의 축돌림을 교육하기 위한 프로그램 임상에서 개발 및 적용할 때 시각적 생체되먹임 방법을 고려할 필요가 있을 것으로 생각된다. 하지만 일시적인 시각적 생체되먹임 방법은 목빗근의 근활성도 및 목 돌림 관절가동범위를 변화시키는데 어려움이 있으므로, 시각적 생체되먹임 방법은 임상적인 목적 및 판단 하에 전방머리자세를 가진 성인들에게 적용되어야 할 것이다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 20대 성인만을 대상으로 실시하였고, 대상자 수가 많지 않아 일반화하는데 어려움이 있다. 따라서 향후 연령과 대상자 수를 고려한 연구가 필요하다. 둘째, 근활성도 측정을 위해 표면전극을 사용하였는데 표면전극은 목빗근 주변의 다른 근육의 영향을 받을 수 있기 때문에 순수한 목빗근 근전도 신호를 얻을 수 없었다. 셋째, 모든 각 값에 절대값을 적용하였다. 이것은 목 돌림 동안 발생된 가쪽 굽힘의 방향성을 고려하지 않은 것이다. 하지만 우리연구의 목적은 목 돌림 시 발생하는 목의 가쪽 굽힘의 정도를 비교하는 것이므로 향후 목 돌림 동안 움직임의 방향을 고려하는 연구가 필요할 것이다.

## V. 결론

본 연구는 전방머리자세를 가진 성인 남녀 14명을 대상으로 목 돌림 시 시각적 생체피드백 적용이 목뼈의 돌림 각도, 목뼈의 가쪽 굽힘 움직임 패턴과 목빗근의 근활성도에 미치는 영향에 대해서 알아보았다. 그 결과, 시각적 생체피드백 적용이 목 돌림 시 목뼈의 가쪽 굽힘 각도를 유의하게 감소시켰다. 하지만, 목 돌림 각도 및 목빗근의 근활성도는 시각적 생체피드백 적용 유무의 조건들에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 본 연구 결과를 토대로, 시각적 생체피드백 적용은 목 돌림 시 불필요한 목뼈 가쪽 굽힘을 동반하는 전방머리자세를 가진 성인들에게 올바른 축돌림을 유도할 수 있는 훈련 프로그램의 일환으로써 사용 가능할 것이다.

## References

- Bae SS. Treatment of forward head posture and shoulder instability. *J Korean Soc Phys Med.* 2007;2(2):219-28.
- Beer A, Treleaven J, Jull G. Can a functional postural exercise improve performance in the cranio-cervical flexion test? - A preliminary study. *Man Ther.* 2012;17(3): 219-24.
- Cho Wh, Lee YW, Choi HK. An investigation on the biomechanical effects of turtle neck syndrome through EMG analysis. *J Korean Soc Precision Eng.* 2008;1:195-6.
- Choi YJ. The effects of body weight bearing treadmill with visual feedback on the gait of stroke patients. Dankook University. Master Thesis. 2010.
- Choi YJ, Hwang R. Effect of cervical and thoracic stretching and strengthening exercise program on forward head posture. *J Korea Con Ass.* 2011;11(10):293-300.
- Cram JR, Kasman G. Introduction to surface electromyography. Gaithersburg. Aspen publishers. 1997.
- Fernández-de-las-Peñas C, Alonso-Blanco C, Cuadrado ML, et al. Forward head posture and neck mobility in chronic tension-type headache: A blinded, controlled study. *Cephalalgia.* 2006;26(3):314-9.
- Good M, Stiller C, Zauszniewski JA, et al. Sensation and Distress of Pain Scales: Reliability, validity, and sensitivity. *J Nurs Meas.* 2001;9(3):219-38.
- Hamman RG, Mekjavic I, Mallinson AI, et al. Training effects during repeated therapy sessions of balance training using visual feedback. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73(8):738-44.
- Hudswell S, Mengersen MV, Lucas N. The cranio-cervical flexion test using pressure biofeedback: A useful measure of cervical dysfunction in the clinical setting? *Int J Osteopath Med.* 2005;8(3):98-105.
- Ishii T, Mukai Y, Hosono N, et al. Kinematics of the subaxial cervical spine in rotation in vivo three-dimensional analysis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29(24):2826-31.
- Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, et al. Muscles: Testing and function with posture and pain. 5th ed. Baltimore. Lippincott Williams & Wilkins. 2005.
- Lee JH. The effects of scalenus medius muscle relaxed posture on head-neck rotation of general adults. *J Korean Soc Phys Med.* 2010;5(1):1-6.
- Page P, Frank CC, Lardner R. Assessment and treatment of muscle imbalance: The Janda approach. Champaign. Human Kinetics. 2009
- Sahrmann SA. Diagnosis and treatment of movement impairment syndrome. St Louis. MO: Mosby. 2002.
- Sahrmann SA. Movement system impairment syndromes of the extremities, cervical and thoracic spines. St. Louis. MO: Mosby. 2010.
- Shin DC. The effects of a deep cervical flexion exercise on neck-shoulder pain, muscle strengthening, and cervical alignment in sedentary workers. Sahmyook University. Master Thesis. 2008.
- Uthairkhum S, Jull G. Performance in the cranio-cervical flexion test is altered in elderly subjects. *Man Ther.* 2009;14(5):475-9.
- van den Heuvel MR, Balasubramaniam R, Daffertshofer A,

- et al. Delayed visual feedback reveals distinct time scales in balance control. *Neurosci Lett.* 2009; 452(1):37-41.
- Walsh JC, Quinlan JF, Stapleton R, et al. Three-dimensional motion analysis of the lumbar spine during “free squat” weight lift training. *Am J Sports Med.* 2007;53(6):927-32.
- Weon JH, Oh JS, Cynn HS, et al. Influence of forward head posture on scapular upward rotators during isometric shoulder flexion. *J Bodyw Mov Ther.* 2010;14(4): 367-74.