

목뼈 가동 운동과 머리목 굽힘 운동이 만성 목통증 환자의 동적균형과 보행변인에 미치는 영향: 무작위 임상시험

최태석 · 유병호¹ · 이상빈[†]

남서울대학교 물리치료학과 일반대학원, ¹남서울대학교 물리치료학과

Effects of Cervical Mobilization and Craniocervical Flexion Exercise on the Dynamic Balance and Gait Variability in Chronic Neck Pain Patients: Randomized Controlled Trial

Tae-Seok Choi · Byeong-Ho Ryu¹ · Sang-Bin Lee[†]

Department of Physical Therapy, Graduate School of Namseoul University

¹Department of Physical Therapy, Namseoul University

Received: November 20, 2019 / Revised: December 9, 2019 / Accepted: December 20, 2019

© 2020 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The aim of this study is to find a more efficient intervention method through a study of the gait variables and dynamic balance of chronic neck pain patients.

METHODS: Forty subjects aged between 40 and 60 years were allocated randomly to two groups; The first group performed PA (Posteroanterior Mobilization), and the second group conducted CCF (Craniocervical Flexion Exercise). The gait variability measured the speed, cadence, and dynamic balance in the forward, leftward, rightward, and rearward directions. An independent t-test, Wilcoxon signed-rank test, and paired t-test were used for statistical analysis.

RESULTS: In the dynamic balance measurements, the

variability of PA ($p < .000$) and CCF ($p < .000$) in the rightward direction, PA ($p < .004$) in leftward direction and forward direction increased significantly ($p < .013$). In an analysis of the gait variability, the cadence increased significantly in the PA group ($p < .022$) and not significantly in the CCF group ($p < .056$). On the other hand, there was no increase in the speed variable, in the PA group ($p < .437$). In the CCF group, the cadence increased significantly ($p < .022$). The differences in the PA and CCF group differences were not significant.

CONCLUSION: The PA group showed a significant increase in the forward ($p < .013$), leftward ($p < .004$), and rightward directions ($p < .000$). Speed was significant in the CCF group, and cadence was significant in the PA group. The dynamic Balance was effective in the rightward direction in both groups, but there was no significant difference between the two groups.

Key Words: Neck pain, Dynamic balance, Gait parameters, Mobilization, Exercise

[†]Corresponding Author : Sang-Bin Lee

sblee@nsu.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0002-0584-7054>

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. 서 론

목 통증의 유병률은 최근 세계적으로 더욱 증가하고 있다[1]. 목통증의 과정은 일생 동안에 걸쳐서 재발과 회복을 반복하며 발생 때마다 회복의 정도는 다르게 나타난다[2]. 이와 관련하여 최근에는 목 운동조절에 영향을 미치는 머리목굽힘운동과 자세 및 움직임에 관한 연구가 급증하고 있다. 목 근육에서 운동능력이 손상되면 근육 강도, 지구력, 힘의 안정감 및 목 근육의 움직임에 변화를 일으키며[3], 자세유지근인 심부경추굴곡근(Deep Neck Flexor)의 활동성 감소와 근육 반응의 지연을 가져오게 된다[4]. 목 근육의 모든 기능은 통증의 영향을 받고 있으며, 이에 관련하여 심부 목 근육과 표면 근육의 기능적인 역할에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다[5].

선행연구에서는 만성 목 통증 환자에게 머리목굽힘 운동을 실시하여 심부경추굴곡근에 효과적인 운동이 될 수 있다고 하였다[6]. 목 통증이 있는 환자에게 심부 경추굴곡근을 훈련하면 목 통증, 두통 및 인지 장애를 줄이는데 효과적이다. 만성 목 통증이 있는 여성에서 심부경추굴곡근의 운동은 통증을 줄이고 근육의 활성화를 증가시키며, 특히 약화된 근육에서 효과가 크게 나타난다[6]. 이러한 결과는 환자의 신경근 조절에 대한 평가와 함께 선택적 운동 중재가 목 통증 환자에게 유의할 것임을 시사한다[7]. Falla 등[5]은 심부목굽힘근 검사(Craniocervical Flexion Test)로 목 근육의 기능 검사를 실시한 연구에서 만성 목 통증이 있는 사람은 심부경추굴곡근의 활동에 변화를 가져오게 되는데 이것은 표면 근육의 활성화와 관련이 있다고 주장했다.

목 통증과 관련하여 Poole, Treleaven 그리고 Jull [8]은 목 통증이 있는 노인은 정상적인 노화로 인해 나타나는 균형 및 보행의 장애보다 더 심한 균형과 보행 장애를 보이게 되는데, 이것은 목 근육에 대한 체성 감각의 입력에 변화가 발생하여 자세 제어 시스템에 영향을 일으키게 됨으로써 발생할 수 있다고 하였으며 Courtine 등[9]은 중추신경이 보행에 따라 운동을 제어하는 일반적인 감각 운동과 함께 실행할 때 머리 수용체에서는 감각 입력의 통합으로 보행의 변화를 가져오며 이는 곧 중추신경 메커니즘과 함께 걷는 동안 목 근육에 영향을 주게 되

로 이를 평가해야 하는 임상가는 목의 통증과 운동의 관리에서 목 근육의 구심성 입력을 개선하고 목통증이 있는 환자의 균형 및 보행 평가를 고려해야 한다고 하였다.

또한 Sjölander 등[10]의 연구에서 만성 목 통증이 있는 환자는 감각 및 운동 조절 장애와 큰 연관성이 발견되었다.

만성 목 통증 환자에서는 까다로운 자세를 유지하는 능력이 감소하며 정상과 비교하여 수직 자세와 머리 안정성에서 큰 차이가 보이는데 이와 관련하여 Michaelson 등[11]은 고유감각과 운동조절의 결핍이 만성 목 통증 환자에서 보이는 운동기능 저하의 임상적 주요 원인이 라고 하였고, 결과적으로 자세 능력과 머리 안정화의 정량적 측정이 만성 목 통증을 진단과 재활에 효율을 증가시킬 수 있다고 하였다.

만성 목통증의 치료와 관련하여, 관절 가동운동은 목 통증을 감소와 보행과 균형 등 운동기능의 개선, 그리고 목 주위 근육들의 활성화 등의 효과를 위해 널리 사용되고 있다. 관절 가동운동은 정상적인 활액 관절 구조와 구성을 유지하는데 중요하다. 관절 가동운동의 효과와 관련하여 Sambajon 등[12]은 섬유성 관절 캡슐의 팽창을 통한 유체역학 개선, 기계 수용체의 자극을 통한 통증 감소 등에 효과가 있다고 하였으며 Bronfort 등[13]은 관절 가동운동의 최적의 치료 횟수와 비용 효율성을 고려하고 연구 데이터를 합성한 결과, 첨단 기술을 통한 재활운동 효과와도 거의 유사하므로 목 통증을 치료하기 위해 실행 가능한 옵션으로서 관절 가동운동의 사용에 관해 확신을 가지고 널리 권고해야 한다고 주장하였다.

이처럼 만성 목 통증을 효과적 중재를 위해 많은 연구들이 이루어지고 있다. 그러나 좀 더 과학적인 근거와 고유수용감각 등 다양한 인체 조직들에 대한 영향 및 보행에 대한 과학적 근거는 충분하지 않은 실정이다. 이에 본 연구는 만성 목 통증 환자의 보행변인과 동적균형의 연구를 통해 보다 효율적인 중재 방법을 찾아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 3개월 이상 목통증을 호소하는 40명을

대상으로 군산의 S 병원에서 실험을 진행하였으며 대상자 중 남자는 11명, 여자는 29명으로 구성되었다. 두 그룹 사전-사후 실험 디자인으로 3자에 의한 눈에 보이지 않는 배정 봉투를 이용하여 무작위 배정이 PA (Posteroanterior Mobilization)와 CCF (Craniocervical Flexion Exercise) 두 그룹으로 이루어졌고 즉각적인 효과를 측정하였다. 실험자나 평가자는 배정 순서를 알 수 없도록 실험을 진행하였다. 연구의 목적과 과제에 대해서는 대상자들에게 충분히 설명하고 참여 동의를 얻어 진행하였다. 최근 3개월간 목 부위의 운동이나 가동운동을 받지 않은 대상으로 제한하였으며 시각적 문제, 신경학적 문제 및 보행에 지장이 있는 대상자들은 연구에서 제외하였다. 일반적인 특성에서 연구 대상자의 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 1).

2. 측정도구 및 방법

보행 측정에 사용된 G-walker (BTS Bioengineering corp., USA)의 측정자 내 신뢰도는 (ICC = .81 - .93), 측정자 간 신뢰도는 (ICC = .70 - .75)이다[14]. 장비의 부착은 환자의 요추 5번 뼈에 고정하였으며 블루투스로 측정 자료가 컴퓨터로 자동 전송되었다. 보행 측정 시 환자는 제자리에서 서서 기기를 초기화한 후 직선 보행을 하였으며 왼발, 오른발 각각 5스텝 이상을 수행하도록 하였고 스텝 수와 보행속도를 보행 파라미터 데이터로 사용하였다. 동적균형을 측정하기 위해 전문 균형 장비인 Balance Trainer BT4 (HUR Labs, Finland)를 사용하였으며 Forward, Rearward, Leftward, Rightward의 동적균형이 데이터로 사용되었다. 본 검사의 측정자 내 신뢰도는 (ICC = .80 - .94)이다[15]. 자료 측정 시 대상자들은 충분한 설명을 듣고 측정 과정을 이해한 후에 시작하였으며 자료의 측정은 실험 전과 실험 후에 즉시 수행되었다.

머리목굽힘운동을 실시하기 위해 사용된 슬링은 Newton Sling (Body Balance Korea, Korea)을 사용하였으며 10kg의 강도를 가진 탄성줄을 사용하였으며 환자는 Hooklying position 상태에서 실시하였다. 목빗근등 표면 근육의 활성화를 방지하고 턱이 들리지 않게 하기 위해 대상자들에게 실험 전에 교육을 실시하였다. 10초간 머리를 누른 상태를 유지하도록 하였으며 총 7분을 시행하였다. 목뼈뒤앞가동운동 적용 시에는 대상자의 얼굴이 베드의 구멍에 들어가도록 하여 엎드린 자세를 취하고, 시술자는 환자의 가시돌기에 엄지의 지절을 놓고 뒤 앞 방향으로 적용하였다. 시술자는 물리치료 10년 이상의 경력을 가졌으며 가동운동은 Maitland grade III 등급을 사용하였다. 시술 시간은 1분간 적용하고 30초 휴식 후 3세트를 실시하였다.

3. 자료분석

자료분석을 위하여 SPSS 23.0 프로그램을 사용하였으며 그룹 간의 비교는 Independent-T test를 실시하였으며 변수 간 전후 비교를 위해 Paired T-test, Wilcoxon signed-rank test를 실시하였다. 통계학적 유의수준 α 는 .05로 하였다. 샘플 사이즈는 Jull 등[16]의 연구를 참고하여 설정하였다.

III. 연구결과

1. 동적균형 비교

동적균형 측정 결과 Forward는 PA 그룹에서 유의하게 증가하였고($p < .013$), CCF 그룹에서도 유의한 결과가 나왔다($p < .049$). Rearward 변수에서 PA는($p < .645$), CCF는($p < .228$)로 유의하지 않게 나왔으며, Leftward에서는 PA 그룹에서($p < .004$), CCF 그룹에서($p < .071$)로

Table 1. Characteristics of the Subjects

	PA (n = 20)	CCF (n = 20)	p
Female	15	14	1.000
Male	5	6	
Weight (kg)	62.00 ± 5.61	62.45 ± 5.67	.870
Height (cm)	162.35 ± 7.00	162.60 ± 7.29	.912

PA : Posteroanterior Mobilization CCF : Craniocervical Flexion Exercise

Table 2. Pre-Test and Post-Test Comparison of the Dynamic Balance

			group	N	M ± SD	t	p
Forward	PA	Pre		20	5.00 ± .62	2.717	.013*
		Post		20	5.49 ± .31		
	CCF	Pre		20	5.11 ± .56	2.100	.049*
		Post		20	5.44 ± .36		
Rearward	PA	Pre		20	2.53 ± .28	.467	.645
		Post		20	2.57 ± .30		
	CCF	Pre		20	2.50 ± .35	1.245	.228
		Post		20	2.59 ± .23		
Leftward	PA	Pre		20	5.19 ± .41	3.186	.004*
		Post		20	5.51 ± .31		
	CCF	Pre		20	5.06 ± .66	1.906	.071
		Post		20	5.35 ± .26		
Rightward	PA	Pre		20	4.93 ± .56	4.477	.000*
		Post		20	5.47 ± .31		
	CCF	Pre		20	4.77 ± .65	4.139	.000*
		Post		20	5.38 ± .32		

Mobilization CCF : Craniocervical Flexion Exercise

* p < .05

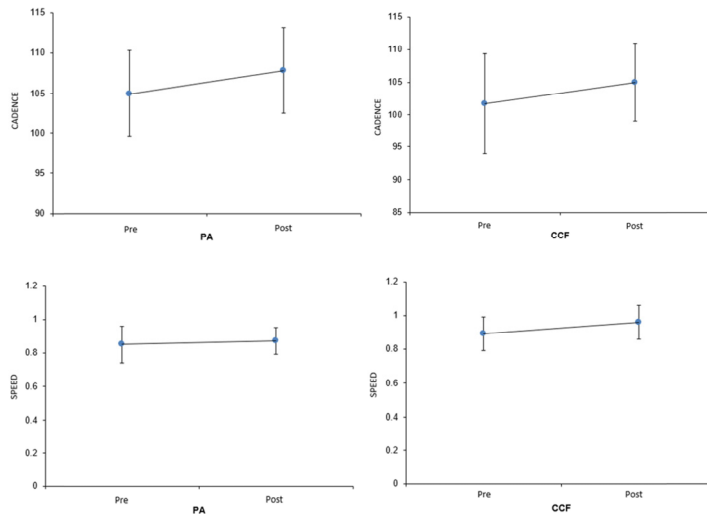


Fig. 1. Pre-test and post-test comparison of the gait variability.

PA 그룹에서만 유의한 결과가 나왔으며, Rightward에서는 PA (p < .000), CCF (p < .000)로 유의하게 증가하였다(Table 2).

< .022) 유의하게 증가하였고, CCF 그룹에서는(p < .056)으로 유의하지 않았다, 보행속도 변수에서는 PA 그룹에서(p < .437)로 유의하지 않았으나 CCF 그룹에서는(p < .022)로 유의하게 증가하였다(Fig. 1)(Table 3).

2. 보행변위 비교

보행변위의 분석에서는 스텝 수는 PA 그룹에서(p

Table 3. Pre-Test and Post-Test Comparison of the Gait Variability

	Group		N	M ± SD	t (z)	p
Cadence (Steps/min)	PA	Pre	20	104.95 ± 11.45	2.481	.022*
		Post	20	107.84 ± 11.39		
	CCF	Pre	20	101.66 ± 16.48	(1.904)	.056
		Post	20	105.02 ± 12.77		
Speed (m/sec)	PA	Pre	20	.85 ± .24	.793	.437
		Post	20	.87 ± .16		
	CCF	Pre	20	.89 ± .21	(2.277)	.022*
		Post	20	.96 ± .20		

* p < .05

Table 4. Difference Between the Two Groups of Gait Variability

	Group	M ± SD	t	p
Cadence (Steps/min)	PA	107.84 ± 11.38	.378	.704
	CCF	105.02 ± 12.77		
Speed (m/sec)	PA	.87 ± .16	1.532	.133
	CCF	.96 ± .20		

PA : Posteroanterior Mobilization CCF : Craniocervical Flexion Exercise

Table 5. Difference Between the Two Groups of Dynamic Balance

	Group	M ± SD	t	p
Forward	PA	5.49 ± .31	.662	.507
	CCF	5.44 ± .36		
Rearward	PA	2.57 ± .30	.141	.888
	CCF	2.59 ± .23		
Leftward	PA	5.51 ± .31	1.788	.081
	CCF	5.35 ± .26		
Rightward	PA	5.47 ± .31	1.122	.261
	CCF	5.37 ± .32		

PA : Posteroanterior Mobilization CCF : Craniocervical Flexion Exercise

3. 그룹 간의 비교

보행변위의 비교에서 보행속도는 그룹 간 유의한 차이가 없었으며($p < .704$), 스텝 수 또한 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p < .133$)(Table 4).

동적균형의 그룹 간 비교에서 Forward ($p < .507$), Rearward ($p < .888$), Leftward ($p < .081$), Rightward ($p < .261$)로 나타나 모두 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 5).

IV. 고 찰

본 연구에서는 만성 목 통증이 있는 환자 40명을 대상으로 목뼈가동운동과 머리목굽힘운동을 실시하여 보행 변인과 동적균형을 측정하였다. 동적균형 변인에서는 Forward는 PA, CCF 그룹 모두 유의한 결과를 보여주었고, Rightward에서도 두 그룹 모두에서 유의하

였다. 하지만 Leftward에서는 PA 그룹만 유의하였고, Rearward에서는 유의한 결과를 보여주지 못하였다. 이와 같은 결과는 목뼈가동운동과 머리목굽힘운동이 동적균형에 일부 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 결과를 보여주고 있으며 특히, PA 그룹에서 좀 더 유의한 결과를 보여주었다.

이와 같은 결과는 CCF 운동이 심부굴곡근을 활성화시키고 만성 목 통증 환자의 재활에 효과적이라고 주장한 연구[11]와 연관성이 깊다고 생각한다. 즉, 자세 조절의 개선은 또한 기계적 수용체 활성의 변화에 의해 유발된 신경근 기능의 변화에 기인할 수 있다[17]. 이러한 변화는 척추 반사의 강도 및 축진의 변화와 관련이 있으나 관절 안정화 근육의 기계적 수용기의 억제로 자세 제어에 변화가 생길 수도 있다. 기계적 수용기 활동과 신경근 기능 사이의 관계는 관절운동 반사로 불리고 있다[18]. 이것은 운동조절 이론과 관련된 정보와 행동 영역과 관련이 높다[19]. 또한, 동적균형 훈련을 포함한 가동운동은 운동조절 능력을 향상시키고 관절가동 범위를 현저하게 향상시켜 기능적 장애가 개선되었다고 보고한 선행연구[20]와 유사한 결과를 보여주었다.

본 연구에서 Rearward에서 유의한 변화가 나타나지 않은 요인으로는 환자의 심리적 두려움도 있을 것으로 사료된다. 그러므로 측정 오차 이상으로 목표를 달성하고 자세 조절을 개선하기 위해 구심성 자극 및 안락한 측정 공간이 필요할 수 있다고 사료된다. 앞으로의 연구는 더 많은 치료, 더 긴 추적 관찰 및 균형 훈련과 같은 다른 효과적인 재활 기술과 함께 무작위 통제 시험을 통해 가동운동의 효과를 조사해야 할 것이다.

보행 변위의 분석에서 스텝 수는 PA 그룹에서 유의하게 증가하였고, CCF 그룹에서는 유의하지 않았다. 보행속도 변수에서 PA 그룹에서는 유의하지 않았으나 CCF 그룹에서는 유의하게 증가하였다. 이와 같은 결과는 Findling 등[21]의 연구 결과와도 부분적으로 일치하는데, 만성 목 통증 환자는 걸음 폭이 좁고 걸음 길이가 짧으며 걸음걸이 속도가 느려지는 등 보행의 변화를 일으킬 수 있다고 하였다. 일반적으로 보행은 시각, 전정, 고유감각 및 체성 감각과 깊은 관계가 있는 것으로 알려져 있다[22]. 또한, Treleven [23]는 경추로부터의

비정상적인 정보는 감각 운동 제어 시스템 내에서 입력의 통합에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 따라서 감각 운동조절 시스템에서 기능장애는 보행의 장애와 연관성이 있다고 사료된다. 목 부위의 기능적 구조적 문제는 척추에서 고유감각, 관절 역학 및 근방추 감도의 변화로 자세 불안정성과 보행 속도에 영향을 줄 수 있으므로[24] 보행 측정은 경추로부터 구심성 입력의 변화로 인한 목 통증과 관련된 보행 문제를 감지하는데 더 유용할 수 있다. 보행 파라미터의 변화는 불안정성에 대한 보상작용일 수 있으며, 안정성을 위해서 목통증이 있는 사람들이 취하는 행동이다. 이전 연구에 따르면 목 통증이 있는 환자는 양측 방향보다 앞쪽 방향의 균형 장애가 더 크다고 알려져 있다[25]. 보폭이 짧으면 베이스에 더 가깝게 의지하고 전방-후방 변위가 감소하고 결과적으로 보행속도가 느려질 수 있다[26]. Seidel과 Krebs [27]는 보행 중 지지의 기초가 신경계 요소보다 생체 역학에 더 관련이 있으며 더 이상 불균형의 지표로 간주되어서는 안된다는 것을 보여주었다. 또한, 목 통증 환자의 보행 중 좁은 폭이 생체 역학적 요인과 더 관련이 있는지는 알려지지 않았으며 추가 조사가 필요하다고 하였으며 비정상적인 경추 구심성 입력 및 전정 입력의 증가에 의해 걸음걸이에 방해가 될 수 있고 체성 감각 시스템 내에서 입력의 통합이 변경될 수 있으며 전정 시스템의 2차 문제를 유발할 수 있다고 하였다.

한편, 그룹 간의 비교에서 보행속도는 PA와 CCF 간 유의한 차이가 없었으며, 스텝 수 또한 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 동적균형의 그룹 간 비교에서 Forward, Rearward, Leftward, Rightward 모두 유의한 차이를 보이지 않았다. 사전 사후 결과에서 동적균형이 유의한 결과가 나타났고 보행 변위에서도 일부 유의한 결과가 나타났으나 그룹 간 비교에서 유의한 차이를 보이지 않은 것은 두 그룹 모두 효과를 보였기 때문인 것이라고 생각된다. 장시간의 실험을 통해 일시적인 실험 환경 변화와 환자의 심리적 영향을 최소화하여 실험한다면 보다 나은 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 연구의 제한점으로는 균형기능 평가를 위해 다양한 인자를 평가해야 하나 본 연구에서는 동적균형을 측정하고 정적균형을 측정하지 않았는데 이와 같은 이유는

환자들이 정적균형 측정시 최소한의 기준을 맞추기 어려웠기 때문이다. 하지만, 동적균형으로 좀 더 많은 환자를 평가할 수 있다는 점에서는 장점으로 보인다. 차 후 연구에서는 균형기능 평가 시 측정이 용이한 다양한 방법을 사용할 필요가 있다고 생각된다.

V. 결 론

본 연구에서는 PA와 CCF 그룹에서 동적균형과 보행 변위를 비교하였다. 동적균형에서는 PA 그룹이 Forward, Leftward, Rightward에서 전반적으로 유의하게 증가하였는데 이와 같은 결과는 가동운동이 동적균형에서 보다 효과적임을 보여주었다. 또한, 보행 변위에서도 PA 그룹에서는 스텝 수가 유의하게 증가하였고 CCF에서는 유의하지 않았다. 하지만, 보행속도는 반대의 결과를 가져왔는데, 보행속도는 CCF 그룹에서, 스텝 수는 PA 그룹에서 유의한 결과를 보여주었다.

Reference

- [1] Collaborators GBDRF. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*. 2016;388(10053):1659-724.
- [2] Aruin AS, Latash ML. Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Exp Brain Res*. 1995;103(2):323-32.
- [3] Courtine G, Papaxanthis C, Laroche D, et al. Gait-dependent integration of neck muscle afferent input. *Neuroreport*. 2003;14(18):2365-8.
- [4] Michaelson P, Michaelson M, Jaric S, et al. Vertical posture and head stability in patients with chronic neck pain. *J Rehabil Med*. 2003;35(5):229-35.
- [5] Sambajon VV, Cillo JE, Jr., Gassner RJ, et al. The effects of mechanical strain on synovial fibroblasts. *J Oral Maxillofac Surg*. 2003;61(6):707-12.
- [6] Yun KH, Kim K. Effect of craniocervical flexion exercise using sling on thickness of sternocleidomastoid muscle and deep cervical flexor muscle. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2013;8(2):253-61.
- [7] Bronfort G, Haas M, Evans RL, et al. Efficacy of spinal manipulation and mobilization for low back pain and neck pain: a systematic review and best evidence synthesis. *Spine J*. 2004;4(3):335-56.
- [8] Falla D, Jull G, Hodges PW. Feedforward activity of the cervical flexor muscles during voluntary arm movements is delayed in chronic neck pain. *Exp Brain Res*. 2004;157(1):43-8.
- [9] Falla DL, Jull GA, Hodges PW. Patients with neck pain demonstrate reduced electromyographic activity of the deep cervical flexor muscles during performance of the craniocervical flexion test. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(19):2108-14.
- [10] Poole E, Treleaven J, Jull G. The influence of neck pain on balance and gait parameters in community-dwelling elders. *Man Ther*. 2008;13(4):317-24.
- [11] Sjolander P, Michaelson P, Jaric S, et al. Sensorimotor disturbances in chronic neck pain—range of motion, peak velocity, smoothness of movement, and repositioning acuity. *Man Ther*. 2008;13(2):122-31.
- [12] Jull GA, Falla D, Vicenzino B, et al. The effect of therapeutic exercise on activation of the deep cervical flexor muscles in people with chronic neck pain. *Man Ther*. 2009;14(6):696-701.
- [13] Haldeman S, Carroll L, Cassidy JD. Findings from the bone and joint decade 2000 to 2010 task force on neck pain and its associated disorders. *J Occup Environ Med*. 2010;52(4):424-7.
- [14] Blosch C, Schäfer R, de Marées M, et al. Comparative analysis of postural control and vertical jump performance between three different measurement devices. *PloS one*. 2019;14(9).
- [15] Mormile M. Reliability and Validity of the GWalk for

- Use in Postural Control. 2017.
- [16] Edmondston S, Björnsdóttir G, Pálsson T, et al. Endurance and fatigue characteristics of the neck flexor and extensor muscles during isometric tests in patients with postural neck pain. *Man Ther.* 2011;16(4):332-8.
- [17] Falla D, O'Leary S, Farina D, et al. The change in deep cervical flexor activity after training is associated with the degree of pain reduction in patients with chronic neck pain. *Clin J Pain.* 2012;28(7):628-34.
- [18] Seidel B, Krebs DE. Base of support is not wider in chronic ataxic and unsteady patients. *Journal of rehabilitation medicine.* 2002;34(6):288-92.
- [19] Sjölander P, Johansson H, Djupsjöbacka M. Spinal and supraspinal effects of activity in ligament afferents. *Journal of Electromyography and Kinesiology.* 2002;12(3):167-76.
- [20] Hoch MC, Andreatta RD, Mullineaux DR, et al. Two-week joint mobilization intervention improves self-reported function, range of motion, and dynamic balance in those with chronic ankle instability. *Journal of orthopaedic research.* 2012;30(11):1798-804.
- [21] Bhatt T, Wening J, Pai Y-C. Influence of gait speed on stability: recovery from anterior slips and compensatory stepping. *Gait & posture.* 2005;21(2):146-56.
- [22] Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor control: translating research into clinical practice.* Lippincott Williams & Wilkins. 2007.
- [23] Field S, Treleaven J, Jull G. Standing balance: a comparison between idiopathic and whiplash-induced neck pain. *Manual therapy.* 2008;13(3):183-91.
- [24] Treleaven J. Sensorimotor disturbances in neck disorders affecting postural stability, head and eye movement control. *Manual therapy.* 2008;13(1):2-11.
- [25] Kristjansson E, Treleaven J. Sensorimotor function and dizziness in neck pain: implications for assessment and management. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy.* 2009;39(5):364-77.
- [26] Findling O, Schuster C, Sellner J, et al. Trunk sway in patients with and without, mild traumatic brain injury after whiplash injury. *Gait & posture.* 2011;34(4):473-8.
- [27] Jull GA. Deep cervical flexor muscle dysfunction in whiplash. *Journal of musculoskeletal pain.* 2000;8(1-2):143-54.