인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련이 뇌졸중 환자의 균형에 미치는 영향

김미선¹, 최우성², 최종덕³

¹식품의약품안전평가원 의료기기심사부 정형재활기과, ²충남대학교 의공학연구소, ³대전대학교 보건의료과학대학 물리치료학과

Effects of Active Craniocervical Movement Training Using a Cognitive Game on Stroke Patients' Balance

Mi-sun Kim¹, PhD, Woo-sung Choi², MSc, Jong-Duk Choi³, PhD

¹Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Medical Device Evaluation Department Orthopedic and Restorative Device Division, Cheongju, ²Institute of Biomedical Engineering, Chungnam National University, ³Department of Physical Therapy, College of Health & Medical Science, Daejeon University, Daejeon, Korea

Article Info

Received December 2, 2020

Revised January 15, 2021

Accepted January 18, 2021

Corresponding Author

Jong-Duk Choi

E-mail: choideu@dju.kr

<https://orcid.org/0000-0002-9663-4790>

Key Words

Cognition

Exercise therapy

Postural balance

Proprioception

Stroke

Background: Compared with normal people, stroke patients have decreased voluntary craniocervical motion, which affects their balance.

Objects: This study was conducted in order to examine the effects of active craniocervical movement training using a cognitive game on stroke patient's cervical movement control ability, balance, and functional mobility.

Methods: The subject of this study were 29 chronic stroke patients who were randomly allocated to either an experimental, cognitive game group (n = 15), or control group (n = 14), to which only neuro-developmental treatment (NDT) was applied. The intervention was conducted 5 times per week, 30 minutes per each time, for a total of 4 weeks. Active angle reproduction test, static stability test, limits of stability test, and Time up and Go (TUG) test, respectively, were carried out in order to evaluate cervical movement control ability, static balance, dynamic balance, and functional mobility. Paired t-test was used in order to compare differences between prior to after the intervention, along with an independent-test in order to compare prior to and after-intervention differences between the two groups.

Results: After the craniocervical training with a body-driven cognitive game, the experimental group showed significant differences in flexion, extension, and lateral flexion on the affected side, and rotation on the affected side in the active angle reproduction test. The experimental group indicated significant differences in sway length both with eyes-open and with eyes-closed in the static stability test and in limits of stability test and TUG test. The control group to which NDT was applied had significant differences in flexion in the active angle reproduction test and in limits of stability test and TUG test.

Conclusion: The above results mean that craniocervical training using a body-driven cognitive game positively influences stroke patient's cervical movement control ability and as a result their balance and functional mobility.

INTRODUCTION

수의적인 두경부의 움직임은 시각과 청각적 환경을 정상적으로 탐구하는 행동으로[1], 일상생활에서 서 있거나 보행 중 자주 수행된다[2].

두경부의 움직임은 주변 환경에 대해 신체의 기준을 설정해주며 머리와 시각계, 전정계를 위한 안정된 지지 기저면을 제공하고[3] 시각, 전정기관, 체성감각 시스템을 자극시키면서 목과 머리에 위치한 감각수용기들을 자극한다[4].

경추부의 고유수용감각은 자세조절과 시각운동조절에 주로 관여한다[5,6]. 정상인에서도 자세 유지 시 두경부의 동적 움직임은 자세 불안정성을 유발하여 균형조절에 부정적인 영향을 미친다[7]. 정적 선 자세의 유지와 관련된 자세조절 시 수의적인 머리 회전의 효과에 대한 연구에서 건강한 사람과 전정계의 병변이 있는 사람 모두에게서 머리가 회전하는 동안 신체의 흔들림이 증가한다고 하였다[8,9]. Kocaja 등[10]은 머리의 수평 회전은 건강한 노인들에게서 신체의 흔들림을 증가시켰다고 보고하였다. 또한, 경추부의 고유수용감각이 저하된 만성 경부통증 환자들은 서 있는 자세에서의 정적, 동적 균형이 저하된다고 하였다[11,12].

뇌졸중 환자는 균형조절 능력이 감소되는데[13], 선 자세에서 수의적인 머리 움직임 시 균형을 유지하기 위해 비정상적인 감각운동 기전을 통합하는 자세 제어 형태가 나타난다[2]. 뇌졸중 환자들은 선 자세에서 주위를 탐색하는 자연스러운 움직임 시 체간의 동요가 증가되며, 머리 움직임은 감소된다[14]. 또한, 보행 시 정상인에 비해 수의적 두경부 회전에 대한 조절 능력이 저하되고[15], 동요가 머리에 직접적으로 적용될 때 하지와 체간근에 더 큰 자세 제어가 나타나는데[16] 이는 머리 회전이 동적 균형에 중요한 요인이 될 수 있음을 의미한다[17].

최근 컴퓨터 프로그램의 발달로 인해 컴퓨터 게임 기반의 체감형 훈련프로그램이 뇌졸중 환자의 재활치료에 사용되고 있다[18]. 게임 프로그램을 이용한 훈련은 안전한 환경에서의 자가 학습을 통해[19] 과제 수행에 대한 신속하고 정확한 감각 되먹임 제공한다[20]. 또한, 게임을 진행하는 데 있어서 상황 판단력과 순발력 등 인지적인 요소가 포함되어 있어 환자의 치료 흥미와 능동적인 참여를 이끌어 낼 수 있다[21,22].

뇌졸중 환자의 선 자세에서의 머리 움직임은 정상인에 비해 저하되었고, 보행 시 수의적 두경부 회전에 대한 조절이 저하된다. 또한, 주변을 탐색하기 위한 두경부의 움직임 시 균형능력이 감소되는 등 균형에도 영향을 미친다는 연구는 많이 있다[14,15]. 하지만 두경부 움직임을 훈련으로 제시한 연구는 미흡한 실정이고, 더욱이 변화시키고자 하는 신체를 사용하여 인지적 요소가 포함된 능동적 과제를 통한 두경부의 훈련이 자세조절 및 경추부 움직임 조절과 균형에 미치는 영향에 대한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구는 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련이 뇌졸중 환자의 경추 움직임 조절 능력과 이를 통한 균형에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 연구 대상자

본 연구는 대전의 D병원에 입원 중인 뇌졸중 환자 176명을 대상으로 하였다. 연구 대상자의 선정조건은 다음과 같다. (1) 발병기간이 6개월 이상인 환자, (2) 독립 보행이 가능한 환자, (3) 하지 및 척추에 정형외과적인 질환이 없는 환자, (4) 시각적인 문제나 편측무시가 없는 환자[23], (5) 한국판 간이 정신상태검사(mini-mental state examina-

tion, MMSE-K)가 24점 이상인 환자[24]. 선정조건에 해당하는 76명 중 연구에 참여하는 것을 동의하는 대상자 32명은 무작위로 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련군(Active Craniocervical Movement Training, ACMT) 16명과 일반적 중추신경계발달치료군(Neuro-developmental Treatment, NDT) 16명으로 배정되었다. 무작위 방법은 제비뽑기로 하였고, 치료에 참여하지 않는 평가자가 시행하였다. 실험군 중 1명은 치료기간 중간에 퇴원하였고, 대조군 중 1명은 치료기간 중간에 퇴원, 1명은 건강상의 문제로 인해 실험기간을 완전히 수행하지 못하고 탈락하여 실험군 15명, 대조군 14명의 측정값이 최종분석에 포함되었다(Figure 1). 모든 실험 및 절차는 생명윤리 규정 및 헬싱키 선언에 따라 진행되었으며 모든 대상자들에게 본 연구에 대해 충분히 설명하였으며, 실험 참여에 동의한 후 연구를 실시하였다.

2. 측정 방법 및 도구

평가는 중재 전과 4주간의 중재 후 총 2회 실시하였고 3회 반복 측정 후 평균값을 사용하였다. 모든 평가에서 치료에 참여하지 않고 평가에 대한 동일한 능력이 검증된 임상 5년 차의 동일한 경력수준을 가지고 있는 세 명의 치료사가 측정하였다.

1) 경추 움직임 조절 능력 평가

경추 움직임 조절 능력 평가를 위해 동작 분석 시스템 장비(Bioval; RM Ingenierie, Rodez, France)를 이용하여 능동 각도 재현 검사(active angle reproduction test)를 실시하였다. 대상자는 바르게 앉아 벨트로 몸통이 움직이지 않도록 고정하고, 이마에 밴드를 이용하여 장치를 고정하였다. 머리가 중립에 위치한 자세를 시작 자세로, 검사자가 수동적으로 대상자의 머리를 움직여 목표 위치에 놓은 후 10초 동안 유지하고 위치를 기억하라고 지시하였다. 수동적으로 목표위치에서 시작 자세로 돌아온 후, 대상자가 능동적으로 두경부를 움직여 바로 전에

Figure 1. Study design. ACMT, active craniocervical movement training; NDT, neuro-developmental treatment.

위치했던 관절 위치에 가도록 하였다. 목표 위치는 정상인의 정상범주로 제시되는 표준 각도의 50%가 되는 위치인[25,26] 굴곡, 신전 30°, 측방 굴곡 20°, 회전 30° 위치로 설정하였다[27-29]. 측정 각도는 목표 각도에 미달 시 음의 각도로, 목표 각도를 지나친 경우 양의 각도로 기록하였고, 자료분석 시에는 측정값의 절대값을 이용하였다. 오차값이 클수록 움직임 조절 능력이 떨어짐을 의미한다.

2) 정적 균형능력 평가

대상자의 선 자세에서의 정적 균형능력 평가를 위하여 균형 평가 시스템 장비(Biorescue; RM ingenierie)를 이용하여 정적 안정성 검사(static balance test)를 실시하였다. 대상자는 장비의 발판 위에 바르게 서고 팔은 체간 옆에 편안하게 놓고 다리는 30도 정도 벌린 후 전방을 주시하도록 하였다. 눈을 뜨고 1분간, 눈을 감고 1분간 서 있는 자세를 유지하도록 하고 압력 중심의 총 동요거리를 측정하였다. 동요거리는 cm로 측정되었고 값이 작을수록 정적 균형능력이 좋은 것을 의미한다.

3) 동적 균형능력 평가

대상자의 동적 균형을 평가하기 위해 Time up and Go test (TUG)를 시행하였다[30]. 팔 받침이 있는 의자에 앉아 있다가 신호 소리를 듣고 일어나 3 m를 안전한 범위 내에서 빨리 걷고 돌아와서 앉을 때까지의 보행 속도를 초 단위로 측정하고, 지팡이와 같은 보행보조기가 있는 사람은 보조기를 갖고 측정하였다. 본 평가는 측정자 내 신뢰도 $r = 0.99$, 측정자간 신뢰도 $r = 0.98$ 로 높은 신뢰도와 내적 타당도를 가지고 있다[31].

3. 중재방법

본 연구에서는 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련을 구현하기 위해 두경부의 움직임을 인식하여 시각적으로 나타낼 수 있는 동작 분석 시스템 장비(Bioval; RM Ingenierie)를 사용하였다. 대상자의 능동적 움직임과 판단력을 필요로 하는 3종류의 인지적 게임 프로그램(Rally, Speed boat, Squirrel)이 사용되었다. 환자는 이마에 동작 인식이 가능한 장치를 고정해 놓은 후 화면을 바라보고 빠르게 앉은 자세를 유지하게 하였다. 전방에 설치되어 있는 화면을 주시하고 각 단계의 게임마다 머리의 굴곡, 신전, 좌우 측방굴곡, 좌우 회전 등의 움직임으로 화면에 나타나는 장애물을 피하거나 이동을 하여 점수를 얻는 게임 훈련을 시행하였다. 실험군에서는 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련을 30분간 주 5회, 총 4주간 적용하였다. 추가적으로 자세 및 움직임 조절 향상을 위한 앉은 자세 및 선 자세에서의 균형훈련, 일어서기 훈련을 중심으로 한 신경발달치료를 30분간 적용하였다. 대조군에서는 신경발달치료만 60분간 주 5회 4주간 적용하였다.

4. 분석방법

본 연구에서 수집된 자료는 윈도우용 SPSS version 25.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 통계처리를 하였다. 연구대상자들의

일반적인 특성에 대해 기술분석을 이용하여 평균과 표준편차를 계산하였다. 각 군에서 실험 전후 차이를 비교하기 위해 짝비교 t-검정을 실시하였고, 두 군에서 전후 시점별 변화량의 차이를 비교하기 위해 독립 t-검정을 실시하였다. 통계적 검증을 위한 유의 수준은 0.05로 하였다.

RESULTS

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

대상자의 일반적 특성은 Table 1에 제시되었다. 두 군간 일반적 특성에는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

2. 경추 움직임 조절능력 비교

경추 움직임 조절 수준차이를 알아보기 위한 능동 각도제한 검사에서 실험군은 굴곡, 신전, 마비측 측방굴곡, 마비측 회전에서 실험 전후 통계적으로 유의하게 나타났고, 대조군은 신전에서 실험 전후 통계적으로 유의하게 나타났다($p < 0.05$). 두 군간 능동 각도 제한 변화량은 신전에서 통계학적으로 유의하게 나타났다($p < 0.05$) (Table 2).

3. 균형능력 비교

정적 안정성 능력에서 실험군에서만 눈뜬 상태에서의 동요거리, 눈감은 상태에서의 동요거리 측정값이 실험 전후 통계적으로 유의하게 나타났다($p < 0.05$). 두 군간 정적 안정성 변화량은 눈감은 상태에서의 동요거리에서 통계학적으로 유의하게 나타났다($p < 0.05$). 동적 안정성 능력에서 두 군 모두 일어나 걷기 검사 측정값은 실험 전후 통계적으로 유의하게 나타났다($p < 0.05$). 두 군간 동적 안정성 변화량은 통계학적으로 유의하게 나타났다($p < 0.05$) (Table 3).

DISCUSSION

본 연구는 뇌졸중 환자들을 대상으로 4주간의 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련을 적용하여 경추 움직임 조절 능력과 균형에 차이가 있는지 알아보기 위하여 실시하였다. 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련은 경추의 움직임 조절 능력과 균형능력을 향상시키는데 도움이 되는 것으로 나타났다.

경추의 고유수용감각은 자세조절과 시각운동조절에 주로 관여하는

Table 1. General characteristics of subjects

Variable	Experimental group ($n_1 = 15$)	Control group ($n_2 = 14$)	p-value
Sex (M/F)	10 (66.7)/5 (33.3)	8 (57.1)/6 (43.0)	0.61
Age [y]	58.07 $\pm$ 6.72	59.07 $\pm$ 4.36	0.64
Paretic side (left/right)	7 (46.7)/8 (53.0)	7 (50.0)/7 (50.0)	0.86
Time since onset (mo)	19.00 $\pm$ 9.50	19.50 $\pm$ 8.49	0.88

Values are presented as number (%) or mean $\pm$ standard deviation. p-value, difference between the group.

Table 2. A comparison of cervical movement control ability between groups

AART	Experimental group (n ₁ = 15)		Control group (n ₂ = 14)		p-value
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	
Felxion	9.49 ± 5.50	4.76 ± 3.74 ^a	6.58 ± 3.87	5.32 ± 2.13	0.06
Extension	10.16 ± 6.15	4.88 ± 2.77 ^a	7.26 ± 3.48	5.57 ± 2.80 ^a	0.04 ^b
Paretic side lateral flexion	5.52 ± 3.39	3.12 ± 2.83 ^a	4.35 ± 3.16	2.77 ± 1.30	0.54
Non-Paretic side lateral flexion	4.90 ± 2.88	4.16 ± 2.92	5.12 ± 2.70	3.71 ± 2.10	0.65
Paretic side rotation	15.08 ± 8.81	10.07 ± 5.60 ^a	10.19 ± 6.61	7.99 ± 5.49	0.21
Non-Paretic side rotation	12.81 ± 9.98	10.37 ± 7.29	11.49 ± 5.69	8.32 ± 5.35	0.75

Values are presented as mean ± standard deviation. AART, active angle reproduction test. ^ap < 0.05 by paired t-test within the group, ^bp < 0.05 by independent t-test between group.

Table 3. A comparison of balance between groups

Outcome measure	Experimental group (n ₁ = 15)		Control group (n ₂ = 14)		p-value
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	
Static stability					
Eye open	44.97 ± 11.65	39.73 ± 10.30 ^a	41.65 ± 11.61	38.19 ± 10.09	0.44
Eye close	56.15 ± 22.88	44.01 ± 13.82 ^a	50.66 ± 20.20	47.37 ± 19.73	0.05 ^b
Dynamic stability					
TUG	27.43 ± 9.82	20.90 ± 7.05 ^a	29.19 ± 18.27	26.77 ± 17.10 ^a	0.00 ^b

Values are presented as mean ± standard deviation. TUG, time up and go test. ^ap < 0.05 by paired t-test within the group, ^bp < 0.05 by independent t-test between group.

데[6], 경추의 감각운동 기전의 변화를 통해[32,33] 관절위치감각 능력의 향상이 가능하다[5,6]. Humphreys와 Irgens [34]는 만성 경부통이 있는 환자에게 눈-머리-경추의 협응을 유도하는 두경부 운동프로그램을 시행한 결과 경추의 고유수용감각이 향상되었다고 하였고, Jull 등 [35]은 경추의 굴곡, 신전, 측방굴곡, 회전 등의 능동적 움직임을 포함한 훈련의 결과 회전 시 능동 재위치감각이 향상되었다고 보고하였다. 본 연구의 경추의 움직임 조절 능력 측정을 위한 능동 각도재현 검사에 대한 전후 비교 결과 실험군에서 굴곡, 신전, 마비측 측방굴곡, 마비측 회전에서의 능동 각도재현 오차가 통계학적으로 유의한 차이를 보여서 관절각도조절능력에 향상이 있었다. 신전에 대한 능동 각도재현 오차에서는 실험군과 대조군 모두 통계학적으로 유의한 차이를 보였으나 변화량을 비교해 본 결과 실험군과 대조군간에 군 간 유의한 차이가 나타나 실험군이 대조군에 비해 향상된 능력을 보였다. 본 연구에서 사용한 인지적 게임을 이용한 두경부 훈련은 상황을 판단하여 능동적으로 두경부의 움직임을 유도하는 방식으로 이를 통해 경추부의 움직임 조절 능력이 향상된 것으로 보인다.

Paloski 등[7]은 능동적 머리 움직임에 따라 선 자세에서의 동요가 증가하였고, 특히 속도에 따라 자세 불안정성에 직접적인 영향을 미친다고 하였다. Sjöström 등[11]은 경추부의 고유수용감각이 저하되면 정적, 동적 선 자세에서의 균형이 저하된다고 하였다. 또한, Lamontagne 등[2]은 뇌졸중 환자의 두경부의 움직임은 강한 감각자극을 유도하여 감각운동 기전 통합에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 본 연구의 균형능력 중 정적 안정성 검사에서 실험군은 중재 전후 향상된 것으로 나타났고, 눈감고 동요거리의 변화율에서 두 군간 통계학적으로 유

의한 차이가 나타났다. van Nes 등[36]은 눈을 감고 있을 때 시각적 정보의 차단으로 인하여 고유수용감각에 더욱 많이 의존하게 된다고 하였는데 이는 본 연구의 눈 감고 동요거리에 대한 전후 비교결과 값과 일치했다. 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련으로 경추의 고유수용감각이 증가되었고 그로 인해 균형능력이 유의하게 증가된 것으로 보인다.

원활한 보행과 균형의 유지를 위해서는 머리, 체간, 골반의 협응이 필수적이다[37,38]. 일상생활에서 서 있거나 보행 시 나타나는 수의적인 두경부의 움직임은 공간에서의 다양한 방향의 움직임을 통해 환경을 탐색하거나 외부적 청각자극에 반응하기 위해 자주 수행된다[1,2,38]. 이러한 두경부의 움직임은 시각, 전정기관, 경추의 고유수용감각 등 감각정보들의 통합을 야기하고 이로 인해 넘어짐 없이 지속적인 보행을 가능하게 한다[2]. Lamontagne 등[15]의 보고에 의하면 뇌졸중 환자는 보행 시 수의적 두경부 회전 조절 능력이 저하되었는데, 이는 근육의 약화나 고유수용감각의 저하로 인해[39,40] 보행 시 균형이 저하되었기 때문이라고 하였다[41]. 본 연구의 동적 안정성에 대한 일어나 걷기 검사에 대한 전후 비교 결과 실험군과 대조군 모두 통계학적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 일어나 걷기 검사의 변화량을 비교에서 실험군이 대조군에 비해 유의하게 증가된 결과를 나타냈다. 실험군은 능동적인 두경부의 움직임 훈련을 통해 경추의 움직임 조절 능력이 향상되었고, 특히 마비측으로의 회전에 대한 조절 능력이 향상으로 인해 기능적 보행 능력 또한 향상된 것으로 보인다.

본 연구에는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 연구 대상자의 수가 많지 않았기 때문에 본 연구의 결과를 전체 편마비 환자에게 일반화

시키는데 어려움이 있다. 둘째, 4주간의 치료를 통해 그 효과를 평가한 것이므로 본 연구를 통해 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련에 대한 장기 효과를 판단할 수는 없을 것이다. 그러므로 향후에는 많은 대상자를 포함시켜 장기간의 효과를 평가할 수 있는 연구들이 지속적으로 이어져야 할 것이며 보다 다양한 측면에서 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련의 효과를 규명할 수 있는 연구들이 계획되어야 할 것이다.

뇌졸중 환자들을 대상으로 하여 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련과 같이 능동적으로 두경부를 움직이는 훈련이 실제 임상 치료에 활용되어야 할 것이며, 향후 이와 관련된 많은 연구들이 지속적으로 시행되어야 할 것이다.

CONCLUSIONS

본 연구는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자들에게 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련이 균형에 미치는 영향을 알아보기 위해 시행되었다. 본 연구로 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련은 경추 움직임 조절을 향상시키고 이로 인해 정적 및 동적 균형이 향상되어 기능적 이동성에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 그러므로 뇌졸중 환자들을 대상으로 하여 인지적 게임을 이용한 능동적 두경부 움직임 훈련과 같이 능동적으로 두경부를 움직이는 훈련이 실제 임상 치료에 활용되어야 할 것이며, 향후 이와 관련된 많은 연구들이 지속적으로 시행되어야 할 것이다.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: MK, JDC. Data curation: MK. Formal analysis: MK, WC, JDC. Investigation: MK. Methodology: MK, WC, JDC. Project administration: JDC. Supervision: JDC. Validation: JDC. Visualization: WC. Writing - original draft: MK, JDC. Writing - review & editing: WC, JDC.

ORCID

Mi-sun Kim, <https://orcid.org/0000-0003-0453-2998>

Woo-sung Choi, <https://orcid.org/0000-0002-6597-9120>

REFERENCES

1. Leung J, Alais D, Carlile S. Compression of auditory space during rapid head turns. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2008;105(17):6492-7.
2. Lamontagne A, Paquet N, Fung J. Postural adjustments to voluntary head motions during standing are modified following stroke. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2003;18(9):832-42.
3. Keshner EA, Woollacott MH, Debu B. Neck, trunk and limb muscle responses during postural perturbations in humans. *Exp Brain Res* 1988;71(3):455-66.
4. Peterson BW, Choi H, Hain T, Keshner E, Peng GC. Dynamic and kinematic strategies for head movement control. *Ann N Y Acad Sci* 2001;942:381-93.
5. Norré ME, Forrez G, Stevens A, Beckers A. Cervical vertigo diagnosed by posturography? Preliminary report. *Acta Otorhinolaryngol Belg* 1987;41(4):574-81.
6. Heikkilä H, Johansson M, Wenngren BI. Effects of acupuncture, cervical manipulation and NSAID therapy on dizziness and impaired head repositioning of suspected cervical origin: a pilot study. *Man Ther* 2000;5(3):151-7.
7. Paloski WH, Wood SJ, Feiveson AH, Black FO, Hwang EY, Reschke MF. Destabilization of human balance control by static and dynamic head tilts. *Gait Posture* 2006;23(3):315-23.
8. Barin K, Seitz CM, Welling DB. Effect of head orientation on the diagnostic sensitivity of posturography in patients with compensated unilateral lesions. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1992;106(4):355-62.
9. Kogler A, Lindfors J, Odkvist LM, Ledin T. Postural stability using different neck positions in normal subjects and patients with neck trauma. *Acta Otolaryngol* 2000;120(2):151-5.
10. Kocaja DM, Allway D, Earles DR. Age differences in postural sway during volitional head movement. *Arch Phys Med Rehabil* 1999;80(12):1537-41.
11. Sjöström H, Allum JH, Carpenter MC, Adkin AL, Honegger F, Ettlin T. Trunk sway measures of postural stability during clinical balance tests in patients with chronic whiplash injury symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)* 2003;28(15):1725-34.
12. Field S, Treleaven J, Jull G. Standing balance: a comparison between idiopathic and whiplash-induced neck pain. *Man Ther* 2008;13(3):183-91.
13. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther* 1987;67(2):206-7.

14. **Keshner EA, Dhaher Y.** Characterizing head motion in three planes during combined visual and base of support disturbances in healthy and visually sensitive subjects. *Gait Posture* 2008;28(1):127-34.
15. **Lamontagne A, De Serres SJ, Fung J, Paquet N.** Stroke affects the coordination and stabilization of head, thorax and pelvis during voluntary horizontal head motions performed in walking. *Clin Neurophysiol* 2005;116(1):101-11.
16. **Roby-Brami A, Feydy A, Combeaud M, Biryukova EV, Bussel B, Levin MF.** Motor compensation and recovery for reaching in stroke patients. *Acta Neurol Scand* 2003;107(5):369-81.
17. **Lee KS.** The relationship of muscle activities of neck, trunk, lower limb and balance following head rotation in stroke patients [thesis]. Gyeongsan: Daegu University; 2010.
18. **Urton ML, Kohia M, Davis J, Neill MR.** Systematic literature review of treatment interventions for upper extremity hemiparesis following stroke. *Occup Ther Int* 2007;14(1):11-27.
19. **Jack D, Boian R, Merians AS, Tremaine M, Burdea GC, Adamovich SV, et al.** Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2001;9(3):308-18.
20. **Gordon SM, Troncale J.** Evaluation of the effectiveness of an addiction treatment training program for physicians. *Am Clin Lab* 2002;21(5):22-4.
21. **Rizzo J, Bernstein D, Gress F.** A performance, safety and cost comparison of reusable and disposable endoscopic biopsy forceps: a prospective, randomized trial. *Gastrointest Endosc* 2000;51(3):257-61.
22. **Sveistrup H.** Motor rehabilitation using virtual reality. *J Neuroeng Rehabil* 2004;1(1):10.
23. **Colarusso RP, Hammill DD.** Motor-Free visual perception test - revised. Novato: Academic Therapy Publications; 1996.
24. **Kwon YC, Park JH.** Korean version of Mini-Mental State Examination (MMSE-K) - part I: development of the test for the elderly -. *J Korean Neuropsychiatr Assoc* 1989;28(1):125-35.
25. **Chen J, Solinger AB, Poncet JF, Lantz CA.** Meta-analysis of normative cervical motion. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999;24(15):1571-8.
26. **Lantz CA, Chen J, Buch D.** Clinical validity and stability of active and passive cervical range of motion with regard to total and unilateral uniplanar motion. *Spine (Phila Pa 1976)* 1999;24(11):1082-9.
27. **Loudon JK, Ruhl M, Field E.** Ability to reproduce head position after whiplash injury. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997;22(8):865-8.
28. **Kristjansson E, Dall'Alba P, Jull G.** Cervicocephalic kinaesthesia: reliability of a new test approach. *Physiother Res Int* 2001;6(4):224-35.
29. **Dumas JP, Arsenault AB, Boudreau G, Magnoux E, Lepage Y, Bellavance A, et al.** Physical impairments in cervicogenic headache: traumatic vs. nontraumatic onset. *Cephalalgia* 2001;21(9):884-93.
30. **Morris S, Morris ME, Iansek R.** Reliability of measurements obtained with the timed "up & go" test in people with Parkinson disease. *Phys Ther* 2001;81(2):810-8.
31. **Podsiadlo D, Richardson S.** The timed "up & go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 1991;39(2):142-8.
32. **Haavik-Taylor H, Murphy B.** Cervical spine manipulation alters sensorimotor integration: a somatosensory evoked potential study. *Clin Neurophysiol* 2007;118(2):391-402.
33. **Taylor HH, Murphy B.** Altered sensorimotor integration with cervical spine manipulation. *J Manipulative Physiol Ther* 2008;31(2):115-26.
34. **Humphreys BK, Irgens PM.** The effect of a rehabilitation exercise program on head repositioning accuracy and reported levels of pain in chronic neck pain subjects. *J Whiplash Relat Disord* 2002;1(1):99-112.
35. **Jull G, Falla D, Treleaven J, Hodges P, Vicenzino B.** Retraining cervical joint position sense: the effect of two exercise regimes. *J Orthop Res* 2007;25(3):404-12.
36. **van Nes IJ, Geurts AC, Hendricks HT, Duysens J.** Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;83(11):867-73.
37. **Cromwell RL, Newton RA, Carlton LG.** Horizontal plane head stabilization during locomotor tasks. *J Mot Behav* 2001;33(1):49-58.
38. **Imai T, Moore ST, Raphan T, Cohen B.** Interaction of the body, head, and eyes during walking and turning. *Exp Brain Res* 2001;136(1):1-18.
39. **Bohannon RW.** Lateral trunk flexion strength: impairment, measurement reliability and implications following unilateral brain lesion. *Int J Rehabil Res* 1992;15(3):249-51.
40. **Tanaka S, Hachisuka K, Ogata H.** Trunk rotatory muscle performance in post-stroke hemiplegic patients. *Am J Phys Med Rehabil* 1997;76(5):366-9.
41. **Kairy D, Paquet N, Fung J.** A postural adaptation test for stroke patients. *Disabil Rehabil* 2003;25(3):127-35.