

굴곡과 신전 수동운동 상태에서 개별경추의 진자운동 및 병진운동의 운동학적인 특징

경희대학교 의과대학 응급의학교실

박성혁 · 최한성 · 홍훈표 · 고영관

— Abstract —

Kinematical Characteristics of the Translational and Pendular Movements of each Cervical Vertebra at the Flexion and Extension Motion

Sung Hyuk Park, M.D., Han Sung Choi, M.D., Hoon Pyo Hong, M.D., Young Gwan Ko, M.D.

*Department of Emergency Medicine, Kyung Hee University Medical Center,
School of Medicine, Kyung Hee University, Seoul, Korea*

Purpose: The aim of this study was to determine the kinematical characteristics of the pendular and the translational movements of each cervical vertebra at flexion and extension for understanding the mechanism of injury to the cervical spine.

Methods: Twenty volunteers, young men (24~37 years), with clinically and radiographically normal cervical spines were studied. We induced two directional passive movements and then took X-ray pictures. The range of pendular movement could be measured by measuring the variation of the distance between the center point of two contiguous cervical vertebrae, and the range of translational movement could be measured by measuring the variation of the shortest distance between the center point of a vertebra and an imaginary line connecting the center points of two lower contiguous cervical vertebrae. The measurements were done by using a picture archiving and communicating system (PACS).

Results: The total length of all cervical vertebrae in the neutral position was, on average, 133.66 mm, but in both flexion and extension, the lengths were widened to 134.83 mm and 134.79 mm, respectively. The directions of both the pendular and the translational movements changed at the 2nd cervical vertebra, and the ranges of both movements were significantly larger from the 5th cervical vertebra to the 7th cervical vertebra for flexion and combined flexion and extension motion ($p < 0.05$).

Conclusion: The kinematical characteristics for flexion and extension motions were variable at each level of cervical vertebrae. The 1st and the 2nd cervical vertebrae and from the 5th to the 7th cervical vertebrae were the main areas of cervical spinal injury. This shows, according to "Hook's law," that the tissues supporting this area could be weak, and that this area is sensitive to injury. (J Korean Soc Traumatol 2006;19:126-134)

Key Words: Kinematics, Cervical spine, Injury mechanism

* Address for Correspondence : **Han Sung Choi, M.D.**

Department of Emergency Medicine, Kyung Hee University Medical Center
1, Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea
Tel : 82-2-958-8275, Fax : 82-2-958-8746, E-mail : hsg3748@hanmail.net

접수일: 2006년 10월 2일, 심사일: 2006년 10월 11일, 수정일: 2006년 10월 20일, 승인일: 2006년 10월 25일

* 2005년 20차 대한외상학회 학술대회에서 구연 발표된 내용입니다.

I. 서 론

경추 손상은 척수 손상을 동반할 경우에 심한 불구 및 죽음까지 초래 할 수 있는 손상으로서 개인, 가족 및 사회에 미치는 영향이 크기 때문에 그 치료 및 재활의 중요성이 강조되어 왔다. 안전벨트의 착용이 늘어남에 따라 흉추와 요추의 골절은 감소되고 있으나, 신전(extensive) 손상이나 신연-굴곡(distractive flexion) 손상과 같은 경추의 골절이나 탈구의 발생률은 늘어나고 있다.(1,2) 경추손상의 가장 흔한 원인은 교통사고, 추락, 둔기에 의한 손상 등이며 최근 스포츠손상의 빈도가 증가하는 추세이다.(3,4)

경추손상은 발생하는 부위에 따라서 크게 상부 경추 손상(upper cervical spine injury)과 하부 경추 손상(lower cervical spine injury)으로 나눌 수 있으며, 이 중 하부경추 손상은 다시 경추의 골절 및 탈구가 발생하는 손상기전에 따라서 압박 굴곡 손상(compressive flexion injury), 수직 압박 손상(vertical compression injury), 신연 굴곡 손상(distractive flexion injury), 압박 신전 손상(compressive extension injury), 신연 신전 손상(distractive extension injury), 그리고 측굴곡 손상(lateral flexion injury)의 6가지로 나눌 수 있다.(5,6) 전체 경추를 보았을 때 가장 흔한 손상 부위는 손상기전에 상관없이 하부경추 중에서 제 5-7 경추(cervical vertebra) 사이와 상부경추인 제 1-2 경추에서 주로 발생한다.(7,8) 그러나 왜 이러한 경추 부위에 손상이 집중되는지에 대해서는 아직까지 명확히 알려져 있지 않다.

이러한 특별한 부위에 경추의 손상이 집중되는 이유를 알기 위해서는 경추손상을 발생시킬 수 있는 각각의 경추 손상기전에서 개별 경추의 움직임에 연구하여서 개별 경추에 가해지는 힘과 이를 보호하기 위한 추간판(intervertebral disc)의 탄성(elasticity) 및 경추 주위의 근육과 인대의 인장력(tensile force)이 각각의 경추 부위에 따라서 어떻게 다른지 아는 것이 필요하며, 이를 알 수 있다면 척추의 부상 예방 및 치료에 매우 중요한 자료로 사용할 수 있다.(9)

경추손상이 발생할 수 있는 손상 기전에 따라서 개별 경추에 가해지는 힘의 방향과 경추의 운동방향은 매우 많지만 가장 많은 경추손상이 발생하는 손상기전은 굴곡(flexion)과 신전(extension)에 의해서이다.(7,10-13) 굴곡과 신전에 의해 유발되는 개별 경추 사이의 움직임은 크게 6가지의 방향으로 설정할 수 있다.(14) 이 중에서 경추와 추간판에 큰 하중을 가하지 않는 회전방향을 제외하면 크게 각운동(angular movement), 진자운동(pendular movement), 그리고 병진운동(translational move-

ment)으로 나눌 수 있다.(15,16) 일정한 힘을 가한 후에 각각의 경추의 이러한 세 가지 운동의 정도와 방향을 알 수 있다면, 가해진 힘으로부터 어느 경추 부위가 손상에 가장 취약한지를 알 수 있을 것이다.

굴곡과 신전에서 각운동의 변화량에 대해서는 많은 문헌 보고가 있었는데, 모든 경추 부위에서 일정한 운동범위를 가진다는 보고들부터 다른 부위에서보다 제 5-7 경추에서 조금 더 많은 운동범위를 가진다는 보고들까지 다양한 실험결과들을 보여주고 있다.(9,17-19) 머리를 움직일 때 각각의 경추들은 각운동 뿐 아니라 중축방향(진자운동)과 횡축방향(병진운동)으로도 이동이 발생하게 된다. 그러나 이러한 운동에 대해서는 아직까지 연구가 이루어져 있지 않았다.

따라서 우리는 경추손상의 가장 중요한 기전으로 알려져 있는 굴곡과 신전의 수동운동 상태에서 각각의 경추의 진자운동과 중심간 병진운동의 운동학적인 특징을 알아보고자 이번 연구를 시작하였다. 이러한 연구결과를 통해서 우리는 여러 가지 사고에서 발생하는 경추손상의 기전을 이해하는데 도움을 얻을 수 있을 것으로 생각하였다.

II. 대상 및 방법

경희의료원에 근무하는 전공의, 인턴, 병원직원 그리고 실습학생 중에서 과거에 경추질환의 병력이나 경추손상의 경험이 없는 건강한 남자 지원자 20명을 선발하였다. 지원자들의 평균체중은 71.42 ± 11.37 (64~88) kg였고, 평균신장은 174.74 ± 7.31 (165~184) cm였고, 평균연령은 27.01 ± 3.71 (24~37) 세였다. 우리는 지원자들에게 전체적인 실험방법을 설명하였으며 촬영되는 단순 방사선의 횡수, 노출되는 방사능의 누적량, 그리고 방사선 노출에 따라 발생할 수 있는 문제점을 설명한 후에 동의를 얻어서 실험을 시행하였다.

운동범위의 측정은 두 명씩 짝을 지어서 Fig. 1과 같이 검사보조자의 왼손으로 피검사자의 몸통을 고정하고 오른손으로 환자의 머리를 전방과 후방으로 운동범위가 제한될 때까지 힘을 가해서 경추의 굴곡과 신전의 최대수동운동(maximal passive movement) 상태를 만들었고, 가장 운동범위가 커져 있을 때를 각각 촬영하였다.

개별 경추의 각운동, 진자운동, 그리고 병진운동의 모습을 모식도로 나타내었다(Fig. 2). 각운동은 인접한 두 경추가 전방으로 이루는 각도의 변화를 주는 운동이며, 진자운동은 인접한 두 척추뼈 몸통들(vertebral bodies)의 중심점(center point)사이의 거리에 변화를 주는 중축(vertical axis)으로의 운동이며, 병진운동은 측정하고자 하는 경추의 중심점과 바로 아래에 인접한 2개의 경추의 중심점을 연결한 선의 연장선과의 최단거리에 변화를 주는 횡축

(horizontal axis)으로의 운동이다.

단순 방사선 검사는 지원자의 고환을 보호장비로 가리고 직립위의 자세로 촬영하였으며, 기타 촬영 조건은 우리가

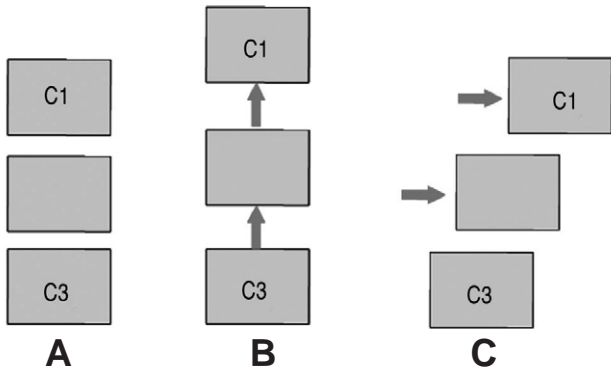


Fig. 2. Schematic lateral views of the movements of the each cervical vertebra: (A) neutral posture, (B) pendular movement, (C) translational movement

이전 실험에서 사용하였던 방식을 따랐다. (20, 21) 굴곡과 신전에서 경추의 움직임을 보기위해서 경부의 좌측면 사진(lateral view)을 촬영하였다. 경부의 단순방사선 좌측면 사진에서 제 2 경추부터 제 7 경추까지의 중심점은 측면사진에서 각각의 척추뼈 몸통이 사각형으로 나타나게 되는데 이때 대응되는 모서리를 연결하는 2개의 선을 그어서 만나는 지점으로 정하였다. 제 1 경추뼈몸통(first cervical vertebral body)은 방사선 촬영소견에서 모서리의 계측이 어려워서 전융기(anterior tubercle)의 가장 높은 지점(superior margin)과 가장 낮은 지점(inferior margin) 그리고 후융기(posterior tubercle)의 가장 높은 지점과 가장 낮은 지점을 네 개의 모서리로 정하여 마찬가지로 대응되는 모서리를 연결하는 2개의 선을 그어서 만나는 지점을 중심점으로 정하였다(Fig. 3).

굴곡과 신전 수동운동 상태에서 진자운동의 방향은 각 경추의 중심점 사이의 거리가 중립위(neutral posture)에서 촬영하였을 때의 거리보다 멀어지면 양수로 거리가 가까워지면 음수로 표기하였다. 병진운동의 방향은 측정하려

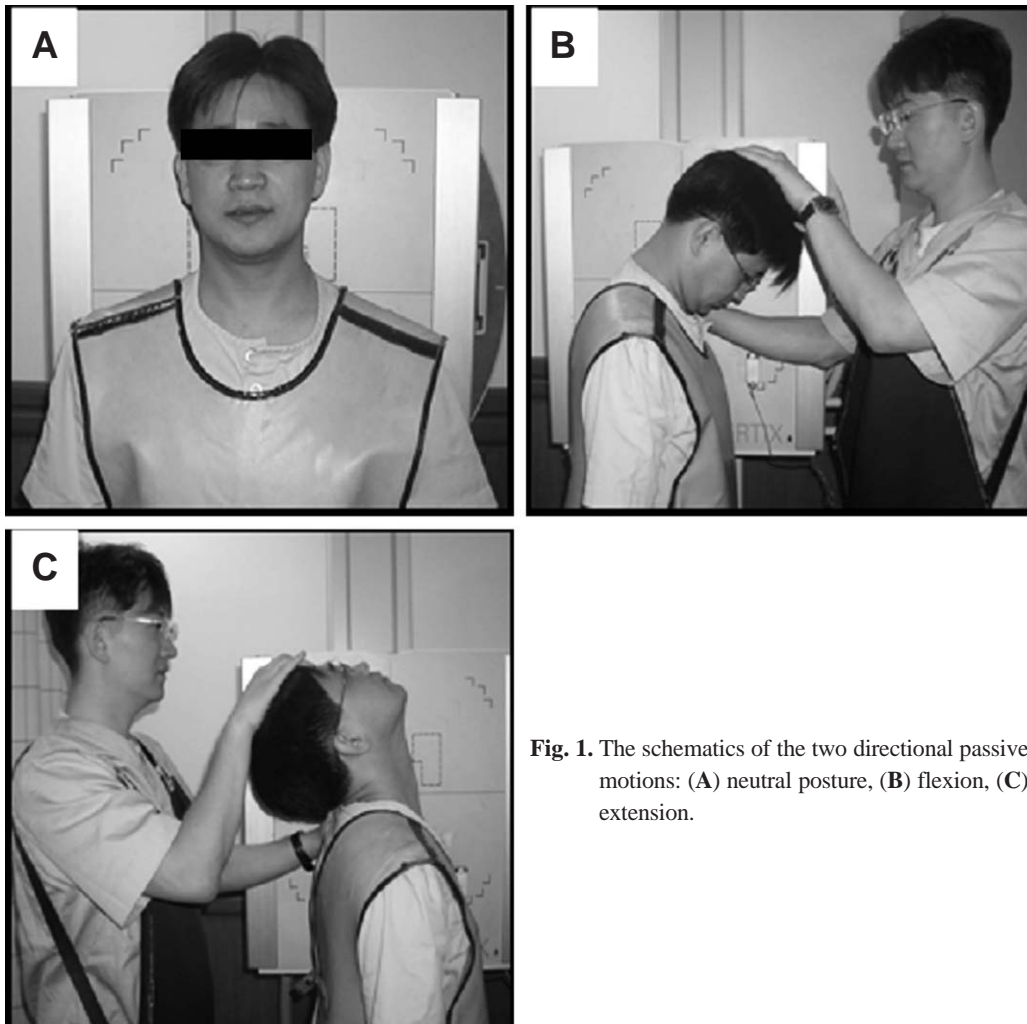


Fig. 1. The schematics of the two directional passive motions: (A) neutral posture, (B) flexion, (C) extension.

는 경추의 중심점이 인접한 아래 두 경추의 중심점을 연결한 연장선(imaginary axis line) 보다 전방으로 움직이면 음수(negative number)로 후방으로 움직이면 양수(positive number)로 표기하였다. 굴곡-신전 수동운동상태(flexion-extension passive movement)에서 경추의 진자운동과 병진운동의 운동량의 크기는 중립위, 전굴곡 수동운동 상태, 그리고 후굴곡 수동운동 상태에서의 운동량의 크기를 조사하여서, 같은 방향으로 움직인 경우는 보

다 큰 운동량을 보인 방향의 운동을 채택하여 방향과 크기로 정하였다. 다른 방향으로 움직인 경우에 운동의 방향은 가장 큰 운동량을 보인 운동의 방향을 채택하였고, 운동량의 크기는 각각의 방향으로 가장 큰 운동량을 보인 두개의 크기를 합산하였다. 모든 거리의 측정은 의료영상저장전송시스템(Picture Archiving and Communicating System, PACS)을 이용하여 3배 확대를 한 상태에서 계측하였다(Fig. 3). 각 경추부위의 계측치는 ANOVA를

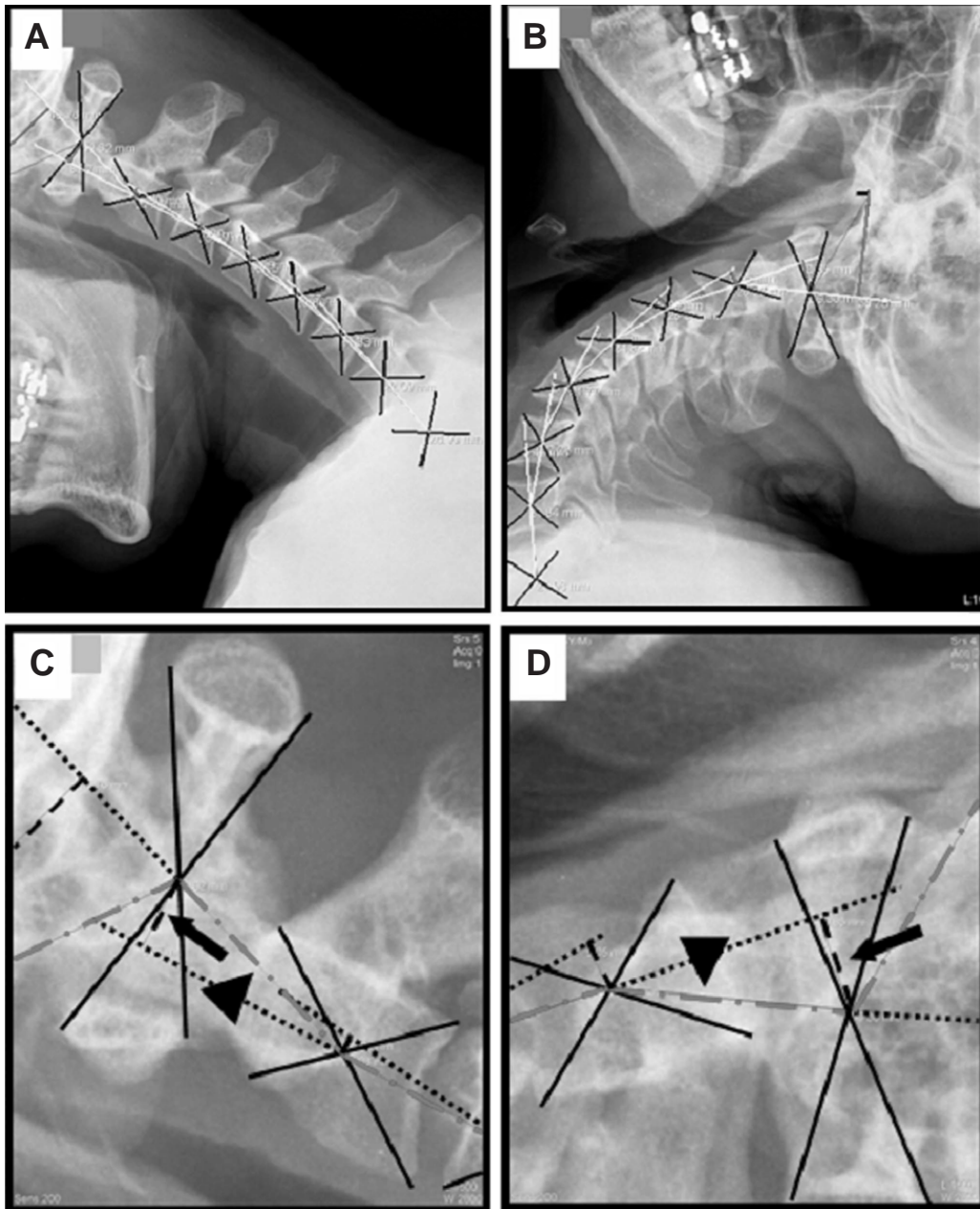


Fig. 3. Method used to measure the range of the pendular and translational movements at the flexion (A, C) and extension motions (B, D). The pendular movement was indicated by the variation of the distances between the central point of the two contiguous vertebral bodies (arrow head) and the translational movement was indicated by the variation of the shortest distance between the center point of a vertebra and a imaginary axis line connecting the center points of lower 2 contiguous cervical vertebrae (arrow).

사용하여 다른 경추부위들과의 차이점을 비교하여 SPSS 12.0 package를 이용하여 통계처리 하였으며 유의수준은 p값이 0.05보다 작은 것으로 하였다.

Ⅲ. 결 과

굴곡과 신전 수동운동 상태에서 개별 경추의 중심간 거리와 측정하려는 경추의 중심점과 인접한 아래 두 경추의 중심점을 연결한 연장선과의 최단거리를 Table 1에 나타내었다. 경추의 중심간 거리는 경추부위에 따라서 대개 20~27 mm 사이이며 굴곡과 신전 수동운동에 따라서 1~2 mm 범위로 변화하는 것을 볼 수 있다. 전체의 경추의 중심간 거리는 중립위에서 평균 133.66 ± 4.52 mm 이었으나, 굴곡과 신전 수동운동에서는 134.83 ± 3.75 mm 와 134.79 ± 4.34 mm로 전체의 길이가 증가하였다. 굴곡과 신전 수동운동에서 측정하려는 경추의 중심점과 인접한 아래 두 경추의 중심점을 연결한 연장선과의 최단거리는 제 1 경추를 제외하고는 대개 0~5 mm 사이에 위치하고 있었으며 전체적으로는 중립위에서는 3.59 ± 5.60 mm이

였지만 굴곡 수동운동에서는 0.89 ± 6.83 mm로 전방으로 이동하였고, 신전 수동운동에서는 5.56 ± 3.65 mm로 후방으로 이동하였다.

굴곡과 신전 수동운동 상태에서 경추의 중심간 거리의 변화량(진자운동량)과 방향 그리고 측정하려는 경추의 중심점과 인접한 아래 두 경추의 중심점을 연결한 연장선과의 최단거리의 변화량(병진운동량)과 방향을 Table 2와 Fig. 4와 5에 나타내었다. 굴곡 수동운동에서 두 경추의 진자운동의 방향은 제 1-2 경추 사이와 제 3-4 경추 사이는 증가하였으며 다른 모든 부위에서는 감소하였다. 진자운동량은 제 1-2 경추 사이와 제 5-6 경추 사이가 각각 0.61 ± 1.26 mm와 -0.44 ± 0.51 mm로 가장 컸으며 방향은 서로 각각 반대여서 유의한 차이를 보였으나, 그 외의 모든 다른 부위에서는 유의한 운동량의 차이를 보이지 않았다(Fig. 4A). 신전 수동운동에서 진자운동의 방향은 제 1-2 경추 부위에서는 감소하였고 다른 모든 부위에서는 증가하였다. 진자운동량은 제 1-2 경추 부위와 제 4-5 경추 부위가 각각 -1.05 ± 1.52 mm와 0.71 ± 0.56 mm로 가장 컸으며 방향은 반대여서 통계적으로 유의한 차이를 보였으

Table 1. Mean distance of the pendular and translational movements of the each cervical vertebra at the flexion and extension motion

Level of cervical vertebrae	Mean distance between the central point of the two vertebrae			Level of cervical vertebrae	Mean distance between the central point of a vertebra and a each imaginary axis line		
	Neutral	Flexion	Extension		Neutral	Flexion	Extension
C1-C2	25.53 ± 1.95	26.79 ± 1.56	24.47 ± 1.95	C1	14.69 ± 3.98	14.79 ± 4.72	12.56 ± 2.33
C2-C3	23.77 ± 1.13	23.69 ± 1.36	24.15 ± 1.57	C2	-0.31 ± 0.98	-1.84 ± 0.11	2.12 ± 0.55
C3-C4	21.12 ± 1.22	21.23 ± 1.01	21.54 ± 0.91	C3	-0.10 ± 0.63	-2.01 ± 0.30	3.94 ± 0.22
C4-C5	20.45 ± 1.25	20.44 ± 1.23	21.16 ± 1.54	C4	0.92 ± 0.37	-2.81 ± 0.15	4.88 ± 1.38
C5-C6	20.87 ± 0.83	20.44 ± 0.48	21.16 ± 0.69	C5	3.22 ± 0.73	-2.19 ± 0.50	5.00 ± 1.20
C6-C7	21.92 ± 0.66	21.73 ± 0.40	22.32 ± 0.37	C6	3.11 ± 0.26	-1.09 ± 0.40	4.88 ± 1.90
C1-C7	133.66 ± 4.52	134.83 ± 3.75	134.79 ± 4.34	C1-7	3.59 ± 5.60	0.89 ± 6.83	5.56 ± 3.65

Values given are mean \pm 2 standard deviation (mm)

C1 = first cervical vertebra

Table 2. Mean range of the pendular and translational movements of the each cervical vertebra at the flexion and extension motion

Level of cervical vertebrae	Mean range of the pendular movement			Level of cervical vertebrae	Mean range of the translational movement		
	Flexion	Extension	Flexion-Extension		Flexion	Extension	Flexion-Extension
C1-C2	0.61 ± 1.26	-1.05 ± 1.52	-1.66 ± 1.20	C1	0.11 ± 1.07	-2.13 ± 3.84	-2.27 ± 1.65
C2-C3	-0.08 ± 1.07	0.38 ± 1.03	0.45 ± 0.77	C2	-1.53 ± 1.29	2.43 ± 2.68	4.30 ± 2.62
C3-C4	0.11 ± 0.56	0.43 ± 0.35	0.54 ± 0.39	C3	-1.92 ± 1.12	4.03 ± 1.54	5.7 ± 1.98
C4-C5	-0.01 ± 0.54	0.71 ± 0.56	0.72 ± 0.40	C4	-3.73 ± 1.06	4.14 ± 0.93	7.87 ± 0.91
C5-C6	-0.44 ± 0.51	0.28 ± 0.23	0.72 ± 0.31	C5	-5.41 ± 1.48	2.13 ± 0.91	7.54 ± 0.71
C6-C7	-0.19 ± 0.56	0.40 ± 0.49	0.58 ± 0.43	C6	-4.92 ± 0.05	2.11 ± 0.77	7.03 ± 0.58
C1-C7	-0.02 ± 0.79	0.19 ± 0.96	0.21 ± 0.68	C1-7	-2.72 ± 2.29	1.97 ± 2.81	4.69 ± 1.81

Values given are mean \pm 2 standard deviation (mm)

C1 = first cervical vertebra

나 다른 모든 부위에서는 통계적인 운동량의 차이가 없었다(Fig. 4B). 굴곡-신전 수동운동에서 진자운동의 방향은 제 1-2 경추 사이를 제외하고는 모두 증가하는 방향으로 움직였으며, 제 1-2 경추 사이의 진자운동량은 다른 모든 경추 부위와 유의한 차이를 보였다(Fig. 4C).

굴곡 수동운동에서 경추의 병진운동의 방향은 제 1 경추만 후방으로 이동하였고 다른 모든 경추는 전방으로 이동하였으며, 병진운동량은 제 5 경추와 제 6 경추에서 가장 컸다. 제 1 경추는 운동량에 있어서 제 2 경추를 제외한 나머지 모든 경추와 유의한 차이를 보였고, 제 2 경추는 제 4, 5, 6 경추들과 유의한 차이를 보였으며, 제 3 경추는 제 5, 6 경추들과 유의한 차이를 보였다(Fig. 5A). 신전 수동운동에서 병진운동의 방향은 제 1 경추만 전방으로 이동하였고 그 외의 다른 모든 경추는 후방으로 이동하였다. 병진운동량은 방향이 반대인 제 1 경추는 다른 모든 경추들과 유의한 차이를 보였다. 그러나 운동량의 크기가 가장 큰 제 3, 4 경추는 다른 경추들과 병진운동의 크기에

서 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 5B). 굴곡-신전 수동운동에서 병진운동의 방향은 제 1 경추를 제외하고는 모두 후방으로 이동하였다. 병진운동량은 운동의 방향이 반대인 제 1 경추는 제 2 경추를 제외한 모든 경추와 유의하게 차이를 보였고, 운동량이 가장 큰 제 4, 5 경추는 제 1, 2, 3 경추와 통계적으로 유의한 운동량의 차이를 보였고, 다음으로 운동량이 큰 제 6 경추는 제 1, 2 경추와 통계적으로 유의한 운동량의 차이를 보였다(Fig. 5C).

굴곡과 신전 수동운동 상태에서 전체적으로 제 2 경추를 중심으로 상부와 하부의 경추가 다른 방향으로 움직였고 진자운동과 병진운동량은 대체로 제 5-7 경추 부위에서 가장 큰 모습을 보여주고 있었다.

IV. 고 찰

경추 손상의 기전을 이해하기 위한 기존의 연구들은 몇 가지 문제점들을 가지고 있었다. 우선 전체적인 경부의 움

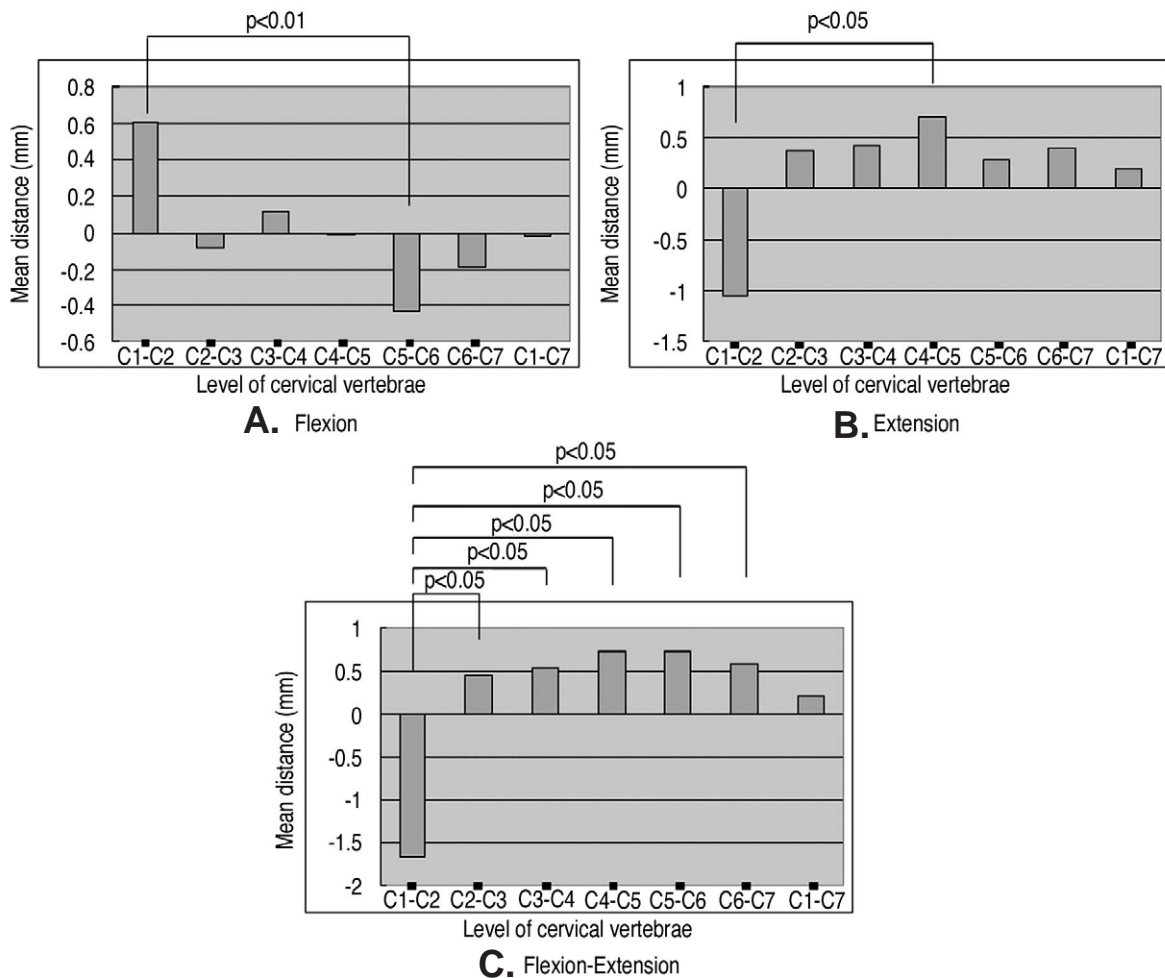


Fig. 4. Bar chart representation of the mean range of the pendular movement of the each cervical vertebra at the flexion (top left), extension (top right), and combined flexion and extension motion (bottom).

직립에만 관심을 가지고 개별 경추의 움직임에 대한 연구가 거의 없었고, 개별 경추의 움직임에 대한 일부의 연구도 대부분 각운동에만 집중되었으며, 대부분의 실험이 시체(cadaver)를 통한 *in vitro* 연구였다. 우리는 이번에 *in vivo* 연구를 통해서 경추 손상이 발생할 수 있는 가장 흔한 기전인 굴곡과 신전 수동 운동에서 개별 경추가 움직일 수 있는 3가지 방향의 움직임 중에서 이제까지 조사가 이루어지지 않았던 진자운동과 병진운동의 움직임의 방향 및 운동량에 대한 연구 결과를 얻었으며 운동량이 다른 부위와 차이를 보이는 부위들과 경추의 주요 손상 부위가 일치한다는 사실을 알 수 있었다.

이번 연구에서 굴곡과 신전 수동운동에서 각각의 경추의

진자운동과 병진운동의 방향은 제 2 경추를 중심으로 그 위와 아래에서 서로 반대로 움직이는 것을 볼 수 있었는데, 이렇게 운동의 방향이 바뀌는 부위는 같은 힘에서도 더 많은 전단력(shearing force)이 가해지기 때문에 손상의 위험성이 더욱 크게 된다.(22,23) 실제로 이 부위에서의 경추손상이 많이 발생하며, 이러한 사실은 이번 연구결과와 잘 연관되는 것을 볼 수 있다. 제 2 경추를 중심으로 그 위와 아래 경추 부위의 각운동방향이 서로 다르다는 것은 다른 문헌에서도 소개가 된 적이 있다.(24,25) 그러나 우리는 이번 연구에서 진자운동과 병진운동에서도 이러한 움직임의 특성이 나타난다는 것을 발견하였다.

굴곡 수동운동과 굴곡-신전 수동운동에서 경추의 병진운

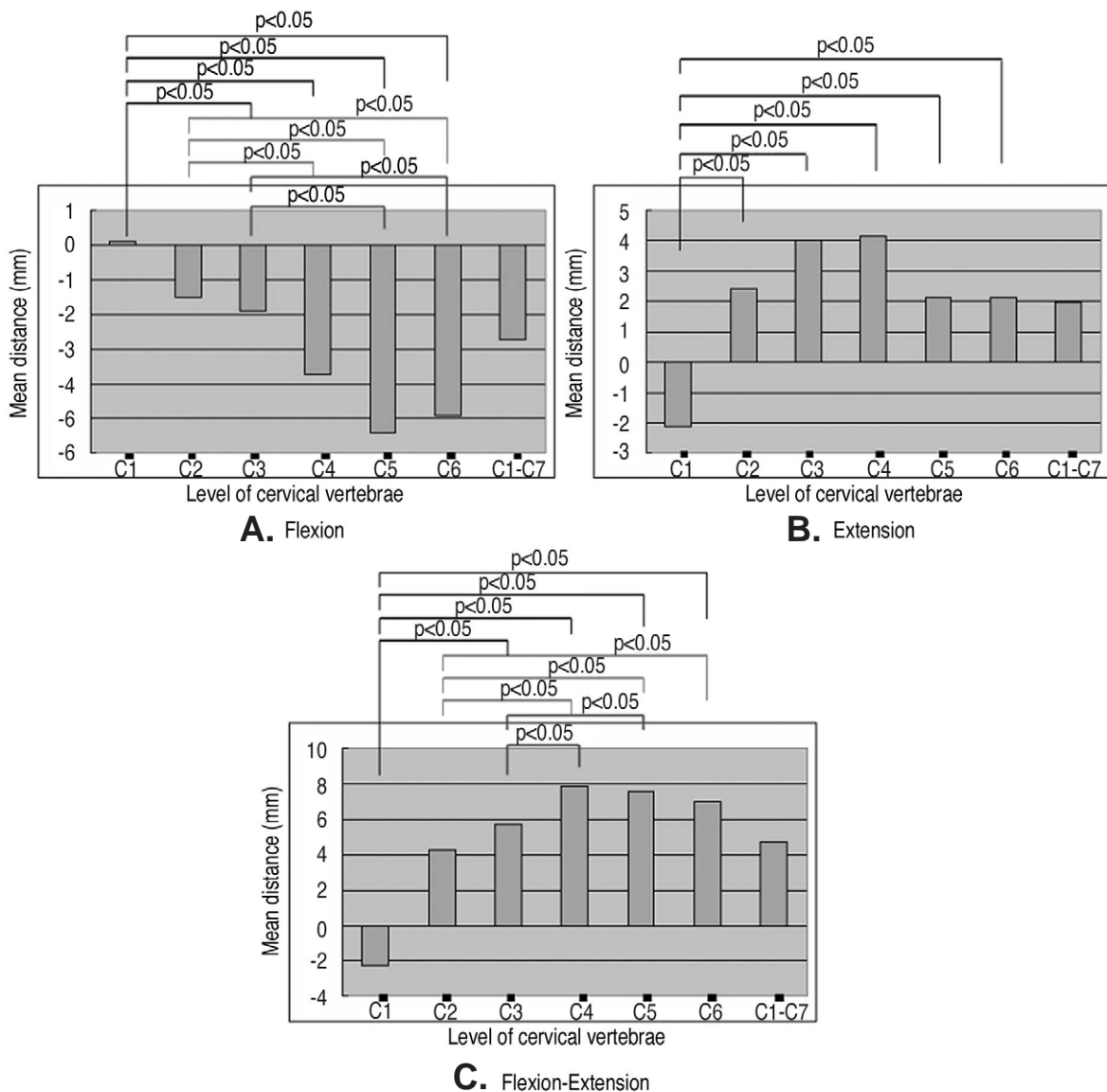


Fig. 5. Bar chart representation of the mean range of the translational movement of the each cervical vertebra at the flexion (top left), extension (top right), and combined flexion and extension motion (bottom).

동의 운동량은 제 5 경추와 제 6 경추에서 다른 경추 부위와 비교하였을 때 유의한 정도로 크다는 사실을 알 수 있었고, 이 부위도 역시 굴곡에 의한 경추 손상에서 가장 잘 이환되는 부위라는 사실과 잘 연관되는 것을 볼 수 있었다. 같은 힘을 가하였는데도 이렇게 더 많은 운동범위를 가지는 부위의 지지조직들의 인장력이 다른 부위보다 약하다는 것을 시사한다. 각 경추 사이의 이러한 지지조직들의 인장력이 실제로 얼마나 되며 모든 경추 부위의 인장력이 같은지에 대해 시체를 통한 연구결과에서 경추 부위는 약 53 N/mm라고 보고되었다.(9) 그러나 살아있는 상태의 인대나 근육의 인장력과는 차이가 있을 수밖에 없으며, 살아있는 사람을 대상으로 한 연구는 실제로 진행하기에 많은 제한점이 있다.

또한 사고에서 경추의 움직임에 대한 운동학적인 분석도 오래전부터 시체를 이용해서 많이 이루어져 왔다.(26,27) 시체를 이용한 실험은 in vivo 상태와의 차이점 및 측정방법의 제한점으로 인하여 매우 제한적인 정보만 얻을 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복할 수 있는 방법으로 수학적 모델링을 이용한 해석 방법이 널리 이용되어 왔으며, 최근에 들어서는 근육과 인대까지 모델링에 고려한 개발이 시도되고 있다.(9,28,29) 그러나 이들 모든 요소를 고려하여 연구를 하더라도 in vivo 상태와 완전히 같은 형태로 만들 수는 없기 때문에 이러한 점은 임상적인 자료들과 비교하여 판단하여야 한다고 생각된다.

In vivo 실험을 통해서 얻은 이번 결과를 수학적인 모델링을 통해서 분석을 해보았다. 경추에 과도한 외력이 가해질 경우에 경추의 안정성은 경추뼈몸통의 견고함, 압박력(compressive power)을 일정부분 흡수하고 지지해 주는 추간판, 후방의 후관절(facet joints), 추체들 사이의 수많은 인대군과 그 외부의 수많은 근육군이 경추의 모든 방향의 운동한계를 유지해 줌으로써 이루어진다. 이때 특히 경추의 압박력에 대해서는 주로 추간판이 그 힘의 완충작용을 하는 요소인데 Reuber 등(44)에 의한 실험에 의하면 신전 보다는 굴곡에서 더 큰 힘이 추간판에 가해진다. 따라서 굴곡에서 추간판의 반발력을 초과하는 힘들은 후방의 인대와 근육이 지지를 하여 운동범위를 제한하게 된다. 이때 이러한 지지력이 모자라게 된다면 추간판의 반발력이 경추뼈몸통에 골절을 유발시키거나, 추간판이 파열되거나, 또는 후방의 인대나 근육이 파열되게 된다. 진자운동의 법칙($F=k\Delta X$; F =힘, k =진자운동상수, ΔX =움직인 거리)을 따르면 일정한 힘이 가해졌을 때 운동범위의 차이는 곧 근육과 인대와 관절로 구성되는 진자운동상수의 차이에 전적으로 의존하게 된다. 길이가 길어지는 운동에서 진자운동상수는 근육과 인대의 인장력에 의해 결정될 것이고 길이가 짧아지는 운동에서는 추간판의 탄성력에 의해 결정될 것이다. 이때 운동의 범위가 특정 부위에 크다는 것은 이

부위의 진자운동상수가 그 특정 부위에서 상대적으로 작다는 것을 의미한다. 이런 부위에서는 굴곡과 신전 운동에서 근육과 인대의 강도가 약하므로 쉽게 손상을 받거나, 반대방향으로의 움직임을 제한하는 지지력이 적으므로 반대방향의 압박력이 커지게 되어 쉽게 골절이 발생할 수 있다.

우리의 이번 연구는 in vivo 상태에서 이루어졌기 때문에, 얻어진 결과는 시체를 이용한 실험보다는 실제와 많이 유사하다고 생각한다. 또한 개별 경추의 움직임을 이제까지 연구되지 않았던 진자운동과 병진운동의 운동량에 대해서 조사하였다. 따라서 이러한 결과를 통한 수학적 모델링은 다른 실험들에 비해서 경추의 손상기전을 이해하는데에도 보다 도움이 되리라 생각한다.

그러나 이번 연구도 몇 가지 제한점이 있었는데, 우선 개별 경추의 움직임의 방향 중에서 특히 회전방향에 대한 부분을 모두 배제하여서 이번 실험결과를 다르게 해석할 수 있는 요소를 충분히 제거하지 못하였다. 그리고 사고 상황에 합당하는 충분한 외력을 가하지 못하여 사고 상황과는 실제 개별경추의 움직임이 다를 수 있다는 문제점이 있다. 또한 측굴곡(lateral flexion), 경부의 회전(neck rotation), 수직압박(vertical compression)에 대한 내용은 입체영상기법이 요구되므로 이번 연구에서는 제외하였다. 이러한 제한점들은 후속연구를 통해서 해결할 예정이다.

V. 결 론

경추의 주요 손상기전으로 알려진 굴곡과 신전의 수동운동에서 경추의 운동학적인 특성을 알아보면, 굴곡과 신전의 수동운동에서 개별 경추의 진자운동과 병진운동은 제 2번 경추를 중심으로 운동의 방향이 변하였고, 병진운동량은 제 5-7번 경추 부위에서 유의하게 크다는 것을 발견하였다. 이러한 운동학적인 차이를 보이는 경추 부위는 경추의 중요한 손상 부위와 일치하고 있음을 보여주었다. 앞으로 측굴곡과 경부의 회전방향을 포함하여 실제 손상기전과 보다 유사한 실험모델을 통해서 6가지 운동방향으로의 개별경추의 운동량을 연구한다면 여러 가지 사고에서 발생하는 경추의 손상기전을 이해하는데 많은 도움이 되리라 생각한다.

REFERENCES

- 1) Northrup BE. Evaluation and early treatment of acute injuries to the spine and spinal cord. In: Clark CR ed. The cervical spine. 3rd ed. Philadelphia: Lipponcott-Raven:1998:541-9.
- 2) Lee CK, Yeom JS, Chang BS. Fractures and dislocations of the cervical spine. In: Kim YM, Chung MS, Seong SC eds. Fracture. 2nd ed. Seoul:

- Koonja:2001:559-600.
- 3) Schmitt H, Gerner HJ. Paralysis from sport and diving accidents. *Clin J Sport Med* 2001;11:17-22.
 - 4) Molsa JJ, Tegner Y, Alaranta H, Myllynen P, Kujala UM. Spinal cord injuries in ice hockey in Finland and Sweden from 1980 to 1996. *Int J Sports Med* 1999;20:64-7.
 - 5) Allen BL, Fergusson RL, Lehmann TR and O'Brien RP. A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. *Spine* 1982;7:1-27.
 - 6) Chamman JR, Anderson PA. Cervical trauma. In: Frymoyer JW ed. *The adult spine*. 2nd ed. Philadelphia, Lippincott-Raven:1997:1245-96.
 - 7) Robertson A, Branfoot T, Barlow IF, Giannoudis PV. Spinal injury patterns resulting from car and motorcycle accidents. *Spine* 2002;27:2825-30.
 - 8) Fukushima M, Kaneoka K, Ono K, Sakane M, Ujihashi S, Ochiai N. Neck injury mechanisms during direct face impact. *Spine* 2006;31:903-8.
 - 9) Kim YE. Biomechanical analysis of the spine. In: Suk SI ed. *Spinal surgery*. 2nd ed. Seoul: Newest Medical Publishing Company:2004:39-54.
 - 10) Askins V, Eismont FJ. Efficacy of five cervical orthoses in restricting cervical motion. *Spine* 1997;22:1193-8.
 - 11) Alberts LR, Mahoney CR, and Neff JR. Comparison of the Nebraska collar, a new prototype cervical immobilization collar, with three standard models. *J Orthopaedic Trauma* 1998;12:425-30.
 - 12) Roberts JR, Hedges JR. *Clinical procedures in emergency medicine*. 3rd ed. Philadelphia: Saunders: 1998:772-5.
 - 13) Ehara S, Shimamura T. Cervical spine injury in the elderly: Imaging features. *Skeletal Radiol* 2001;30:1-7.
 - 14) Panjabi MM. Three-dimensional mathematical model of the human spine structure. *J Biomech* 1973;6:761-7.
 - 15) Andersson GBJ, Schultz AB. Effects of fluid injection on mechanical properties of intervertebral discs. *J Biomech* 1982;12:453-8.
 - 16) Ishii T, Mukai Y, Hosono N, Sakaura H, Fujii R, Nakajima Y, et al. Kinematics of the cervical spine in lateral bending. *Spine* 2006;31:155-60.
 - 17) Fredrickson BE, Yuan HA. Nonoperative treatment of the spine: external immobilization. In: Browner BD, Jupiter JB, Levine AM, Trafton PG eds. *Skeletal trauma*. 2nd ed. Philadelphia: Saunders: 1998:807-35.
 - 18) Mimura M, Moriya H, Watanabe T, Takahashi K, Yamagata M, Tamaki TI. Three-dimensional motion analysis of the cervical spine with special reference to the axial rotation. *Spine* 1989;14:1135-9.
 - 19) Bogduk N, Mercer S. Biomechanics of the cervical spine. I: normal Kinematics. *Clin Biomech* 2000;15:633-48.
 - 20) Choi HS, Park HK, Hong HP, Kim MC, Ko YG. A comparison of efficacy of two cervical orthoses in Koreans. *Journal of the Korean society of emergency medicine*. 2004;15:213-21.
 - 21) Choi HS, Ko YG, Kim MC, Hong HP. The sliding phenomenon in men with cervical orthoses in the extensive motion. *Journal of the Korean Society of Traumatology* 2004;17:163-73.
 - 22) Marar BC, Orth MC. Hyperextension injuries of the cervical spine. The pathogenesis of damage to the spinal cord. *J Bone Joint Surg* 1974;56:1655-62.
 - 23) Roaf R. A study of the mechanics of spinal injuries. *J Bone Joint Surg* 1960;42:810-23.
 - 24) Ordway NR, Seymour RJ, Donelson RG, Hojnowski LS, Edwards WT. Cervical flexion, extension, protrusion, and retraction: A radiological segmental analysis. *Spine* 1999;24:240-7.
 - 25) Penning L. Normal movements of the cervical spine. *Am J Roentgenol* 1978;130:317-26.
 - 26) DalCanto RA, Lieberman I, Inceoglu S, Kayanja M, Ferrara L. Biomechanical comparison of transarticular facet screws to lateral mass plates in two-level instrumentations of the cervical spine. *Spine* 2005;30:897-902.
 - 27) Siegmund GP, Myers BS, Davis MB, Bohnet HF, Winkelstein BA. Mechanical evidence of cervical facet capsule injury during whiplash: a cadaveric study using combined shear, compression and extension loading. *Spine* 2001;26:2063-4.
 - 28) Yang KH, King AI. Mechanism of facet load transmission as a hypothesis for low back pain. *Spine* 1984;9:557-65.
 - 29) Reuber M, Schultz A, Dennis F, Spencer D. Bulging of lumbar intervertebral discs. *J Biomech Eng* 1982;104:187-92.