



■ 육군창, 박소현<sup>1</sup>, 김종선<sup>2</sup>

■ 영남대학교의료원 재활의학과 물리치료실, <sup>1</sup>영남대학교병원 의료기기 임상시험센터, <sup>2</sup>대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

## Kinematics Analysis of Lumbar Spine during Breathing in Lying Position

Goon-Chang Yuk, PT, PhD, COMT; So Hyun Park, PT, PhD<sup>1</sup>; Chung-Sun Kim PT, PhD<sup>2</sup>

Dept. Physical Therapy, Yeungnam University Medical Center; <sup>1</sup>Medical Devices Clinical Trial Center of Yeungnam University Hospital; <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University

**Purpose:** The purpose of this study was to describe the influence of respiration on the segmental motion of the lumbar spine in the lying position.

**Methods:** Twelve healthy females without a history of low back pain participated. Lumbosacral lordosis, intervertebral body angles, intervertebral body displacements, and anterior heights of the intervertebral disc of the lumbar spine were measured at inspiration, expiration and forced expiration in the supine and prone positions via fluoroscopy.

**Results:** The results of lumbar kinematic analysis in the supine position according to respiration pattern were as follows. The L4/5 intervertebral body angle was significantly higher at forced expiration than at expiration ( $p < 0.05$ ). The L3/4 anterior height of the intervertebral disc was significantly higher at expiration than at forced inspiration and the L5/S1 anterior height of the intervertebral disc was significantly higher at inspiration than at forced expiration ( $p < 0.05$ ). There were no significant differences in the intervertebral body displacements and lumbosacral lordosis in the supine position ( $p > 0.05$ ).

The results of lumbar kinematic analysis in the prone position according to respiration pattern were as follows. The L5/S1 anterior height of the intervertebral disc was significantly higher at inspiration than at forced expiration ( $p < 0.05$ ). However, there was no significant difference in the intervertebral body angle, the intervertebral body displacements, and the lumbosacral lordosis ( $p > 0.05$ ).

**Conclusion:** These findings suggested that respiration can affect the intervertebral body angle and anterior height of the intervertebral disc in some segments. The results from this study serve as a step in the development of guidelines for lumbar kinematic analysis for lumbar breathing training.

**Keywords:** Breathing, Fluoroscopy, Lumbar kinematics

논문접수일: 2011년 7월 2일

수정접수일: 2011년 7월 8일

게재승인일: 2011년 9월 17일

교신저자: 박소현, ptpsh812@hanmail.net

## 1. 서론

호흡은 일상생활에서 생존과 신체 활동을 유지하기 위한 필수적이고 자동화된 기능이다. 자연스러운 호흡동안 횡격막과 외측근의 수축에 의해 형성된 음압으로 흡기가 이루어지고 이

후 흉곽의 탄성과 복부근 및 이차 호흡근들의 수축으로 발생된 양압으로는 호기가 발생한다.<sup>1,2</sup> 복강의 윗부분은 횡격막, 앞뒤로는 복횡근과 복사근, 척추기립근이 둘러싸고 있으며, 아랫부분으로는 골반저 근육이 차지하고 있다.<sup>3</sup> 호흡은 복강의 압력과 밀접한 관련이 있으며, 흡기 시 횡격막의 수축과 강제호기

시 복근수축은 복압상승을 일으킨다. 이처럼 복강 주변 근육들의 상호작용에 의해서 복압 변화가 일어날 수 있으며, 이러한 복압 변화는 척추의 안정성에도 영향을 주게 된다.<sup>4</sup>

정상적인 상태에서는 척추 추간판이 추체 분절간의 움직임과 한 추체에서 다음 추체로의 부하 전달을 허용하며, 또한 추체 앞뒤에 위치한 전종인대와 후종인대가 장축으로 추체와 추간판을 단단하게 지지한다. 때문에 복압이 증가하면 요추 각 분절간 움직임과 더불어 요추의 장축을 따라 요추의 전체적인 움직임이 동시에 일어난다.<sup>5</sup> 파스칼의 원칙에 따라 복압이 증가하면 복강내 모든 방향으로 고르게 압력이 분산된다. 이런 압력의 증가는 요추전만각의 볼록한 면에 압박력을 증가시켜 전만각을 줄이고 척추 강성을 증가시키며<sup>6,7</sup> 유압효과(hydraulic effect)로 인해 인접한 척추 간 움직임을 없애거나 최소화시킴으로써 추체간 관절의 배열 유지를 보조하게 된다.<sup>6,8,9</sup>

대부분의 요통 치료프로그램에서 운동을 강조하고 있지만 운동 중 잘못된 호흡이 척추 분절에 역학적으로 어떤 영향을 미칠지에 대한 관심은 높지 않았다. 임상적으로 추간판 병변이나 척추불안정성이 있을 경우 복압에 의해 발생한 역학적 변화가 병변 부위를 자극하여 증상을 유발시킬 수 있다. 특히 급성기 요통환자에게 있어서 기침, 무거운 물건 들기, 강한 힘을 내기 위해 숨을 잠시 멈추는 동작은 발살바 현상과 같은 복압 상승을 일으켜 병변이 있는 추간판이나 추체에 전단력과 염력을 가중시킴으로써 요통을 발생 시킨다.<sup>4,8</sup> 잘못된 숨참기와 호흡이 건강한 사람들의 혈압이나 운동수행에 영향을 미칠 수 있기 때문에 스포츠 분야에서도 운동 동안의 적절한 호흡을 매우 중요시 하고 있다.<sup>10-12</sup> 특히 요통운동이나 요가, 필라테스 등에서는 안전한 호흡과 근조절을 위해 중력이나 신체부하가 가장 적게 가해지는 자세인 양와위나 복와위에서 복압증가를 유발하지 않는 방식의 복부근 및 체간근 조절을 많이 강조하고 있다.<sup>13,14</sup>

복압과 복벽을 이루는 근육들과의 관련성에 대한 연구에서 복근 수축하면 반드시 복압 증가가 동반되며,<sup>15</sup> 다른 연구에서는 정상적인 호흡에 따라라도 복압이 변화한다고 하였다.<sup>4</sup> 이처럼 복근 수축이나 호흡에 따른 복압변화는 요추분절의 강성에도 영향을 미치게 된다. 그러나 호흡과 척추의 운동학에 대한 기존의 연구들은 주로 호흡 동안 복압과 체간근 활성, 호흡량 및 호흡주기와의 관계에 대한 것들이었으며<sup>11,12,15</sup> 실제 요추 분절들 간에서 일어난 운동학적 변화를 알아보고자 한 시도는 없었다. 요추 분절간 변화를 보기 위해 엑스레이와 같은 관절 투시 측정장비를 사용할 수 있지만 엑스레이는 피험자가 강한 방사선에 노출됨으로 장시간 촬영이 불가능한 단점이 있다. 반면 이동형 엑스선 투시촬영장치는 피폭량이 적고 동적 움직임에 대한 촬영이 용이하기 때문에 척추 분절의 동적 분석을 하고자 하는 다른 연구들에서 유용하게 활용되고 있다.<sup>16,17</sup>

따라서 본 연구에서는 누운 자세에서 일상적인 호흡동안 일어나는 추체간 각(intervertebral body angles), 추간판 전방높이(anterior heights of intervertebral disc), 추체간 전위(intervertebral body displacements), 요추전만각(lumbosacral lordosis)의 변화를 보기 위해 이동형 엑스선 투시촬영장치를 이용하여 양와위와 복와위에서 흡기(inspiration)와 호기(expiration), 최대호기(forced expiration) 시 요추 분절들에서 보여지는 운동학적 특징을 분석하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구는 2011년 5월 1일에서 2011년 6월 10일까지 근골격계 질환의 병력이 없는 20대 건강 성인여성 12명을 대상으로 실시하였다. 연구 대상자의 선정 기준은 다음과 같다. 지난 12개월 동안 요통이나 요부 질환의 병력이 없는 정상인으로 측정에 영향을 미칠 수 있는 정형외과적, 신경계적 손상, 그리고 자세조절에 영향을 줄 수 있는 전정기관의 손상이 없는 건강한 자를 대상으로 하였다. 만약 여성 대상자의 경우 임신 했을 것으로 추정되거나 임신이 확인된 자는 대상자에서 제외하였다.

모든 대상자는 실험에 참가하기 전 연구 목적과 방법, 방사선 노출에 대한 잠재적인 위험에 대한 설명을 충분히 들은 후 이에 자발적 동의를 한 후에 연구에 참여하였다.

### 2. 실험절차

본 연구에서는 검사실의 실내 온도와 주위 환경을 대상자가 불편함을 느끼지 않도록 가장 편안하게 만들고, 진행과 측정절차를 알려주기 위해서 연구 보조원이 시범을 보인 후 시행하였다. 시상면 상에서 대상자의 요추 3번에서 천골까지의 측면을 촬영할 수 있도록 이동형 엑스선 투시촬영장치의 위치를 조정한 후 예비촬영으로 대상자의 촬영부위가 정확히 맞추어졌는지를 확인한 후 본 촬영에 들어갔다.

대상자에게 허리의 편안한 상태를 취하도록 구두 명령하였고 검사자가 요추의 중립위치를 확인한 후 실험 동작을 실시하였다. 대상자는 양와위와 복와위의 중립위에서 흡기와 호기, 최대호기를 실시하였다. 양와위에서는 무릎을 70° 구부린 후 호흡을 실시하였고, 복와위에서는 다리를 편 자세에서 호흡을 실시하였다. 호흡을 3회 반복하도록 한 후 3회째를 분석에 사용하였다.

### 3. 영상 촬영 및 분석 장비

본 연구에서는 양와위와 복와위 자세에 따른 3가지 호흡법이 하부요추의 분절에 미치는 영향을 측정하기 위해 이동형 엑스선 투시촬영장치(ARCADIS Orbic, SIEMENS, 미국)를 이용하였다. 촬영된 영상은 의료영상저장전송시스템(Picture Archiving Communication System, PACS)을 통해 PC로 불러온 후 Labview program(National Instrument, 미국)을 이용하여 요추 3번에서 천추까지 점을 찍어 각 분절의 좌표를 디지털화 하여 추출하였다. 사전에 실시한 좌표의 디지털화의 측정자 내 신뢰도 분석에서 10개의 동일한 영상을 2회 반복측정한 ICC값은 0.99(95% 신뢰구간: 0.96~0.99)로 높은 신뢰도를 보였다.

### 4. 영상분석방법

영상을 분석하기 위한 각도에 대한 정의는 다음과 같다.

추체간 각은 인접하여 두부에 위치한 추체의 중간선과 미부에 위치한 추체의 중간선(mid plane)이 이루는 각을 의미한다.<sup>18,19</sup> 각도는 미부에 인접하여 위치한 추체상에서 두부에 위치한 추체가 복측으로 벌어지는 각은 양의 값으로 하였고, 그 반대는 음의 값으로 하였다.

요추 분절들(요추 3~5번)의 추간판 전방높이는 인접한 두 추체 중간선들 간의 이등분선상에서 상부 추체의 전방하부모서

리와 하부 추체의 전방상부모서리가 이등분선과 직각으로 만나는 지점의 높이들을 더한 값이다(Figure 1). 그러나 요추 5번 천골 간의 추간판 전방높이는 본 연구에서 얻어진 영상에서는 천골의 추체중심점을 구할 수 없었기 때문에 요추 5번 추체의 하부 관절면을 연결한 선과 천골의 상부 관절면을 연결한 선이 이루는 이등분선 상에서 요추 5번 전방하부모서리와 천골의 전방상부모서리가 이루는 이등분선과 직각으로 만나는 지점의 높이들을 더한 값을 사용하였다. 본 연구에서는 영상 왜곡으로 인한 값의 차이를 보정하기 위해서 측정된 이 값을 두부에 위치한 추체의 평균길이를 나눈 정규화(normalization)한 값을 사용하였다.

요추 추체간 전위측정은 인접한 추체 중간선들 간의 이등분선 상에서 일어나는 추체중심점(center point)의 이동으로 정의된다. 두 인접한 추체간의 전후방 전위를 측정하기 위해서는 각 추체 중간선들 간의 이등분선(bisectrix plane)을 먼저 찾아야 한다. 그리고 이등분선상에서 인접한 추체중심점으로 수직으로 선을 내린 지점들 간의 거리를 계산한다(Figure 1). 본 연구의 영상에서는 천골의 추체중심점을 구할 수 없었기 때문에 요추 5번/천골 간의 추체간 전위 값은 요추 5번의 추체 중간선과 천골의 상부 관절면이 이루는 이등분선 상에서 요추 5번의 추체 중심점과 천골 상부 관절면 중간점이 이등분선과 직각으로 만나는 점들 사이의 거리로 하였다. 본 연구에서는 추체 중심점으로부터 이등분선상으로 수직으로 내린 점들 간의 거리를 두부

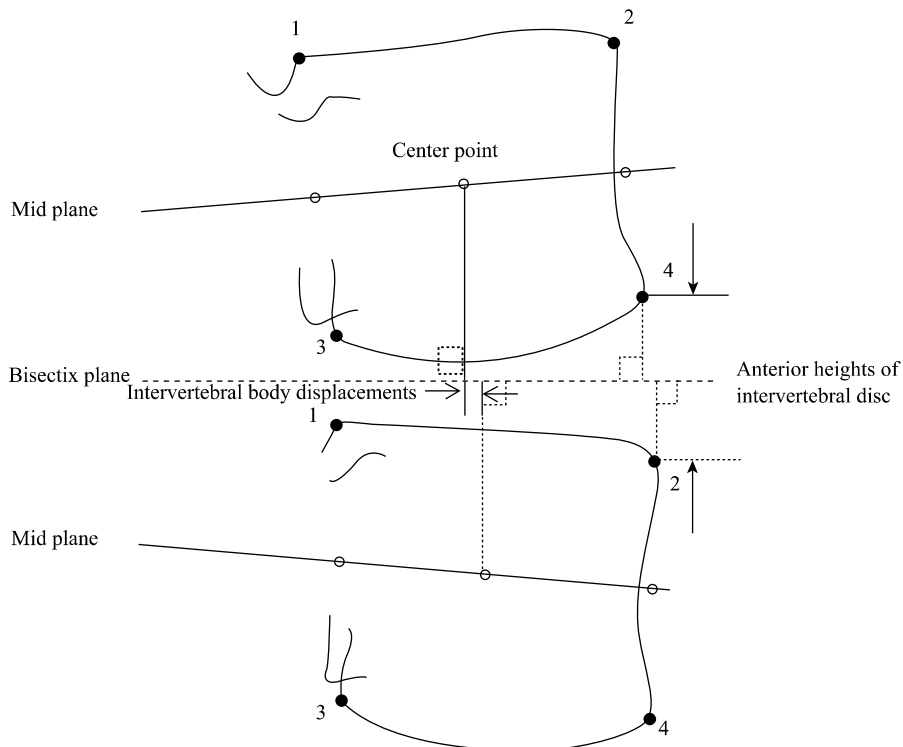


Figure 1. Measurement of intervertebral angle, displacement and anterior heights of the disc.

에 위치한 추체의 평균깊이(mean depth)로 나누어 정규화한 값을 전위 값으로 사용하였다.<sup>18</sup> 따라서 추간관 전방높이와 전위값은 단위가 없는 값으로 표시하였다.<sup>18</sup>

요추추전만각은 요추 3번의 추체 중간선과 천골의 상부 관 절면을 그은 선이 이루는 각을 의미한다.

### 5. 자료분석

자료 분석은 SPSS 17.0 for window를 이용하여 통계 처리한다. 통계 분석은 양와위와 복와위에서의 흡기와 호기, 최대호기에 대한 집단 내 운동학적 특성의 차이에 대한 분석을 위해 반복측정 일요인 분산분석(repeated measures one factor analysis)을 실시하였다. 통계학적 유의수준을 검증하기 위한 유의수준을 0.05로 설정하였다.

## III. 결과

### 1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 대상자의 일반적인 특징은 다음과 같다. 평균 연령은 23.3±2.7세이고, 키는 158.1±5.7 cm, 체중은 51.6±8.6 kg이다.

### 2. 누운 자세에서 호흡에 따른 운동학적 분석

본 연구결과 양와위에서 호흡에 따른 추체간 각 변화에서 요추 4/5번에서 최대호기 시 13.94±2.17로 호기 시 13.23±2.56 보다 유의하게 큰 각을 나타내었다(p<0.05)(Figure 2A). 추간관 전방높이는 요추 3/4번이 호기 시 0.34±0.04로 흡기 시 0.32±0.04보다 유의하게 높게 나타났고(p<0.05), 요추5번/천추1번은 흡기 시 0.44±0.07로 최대호기인 0.40±0.07보다 유의하게 높게 나타났(p<0.05) (Figure 2C). 추체간 전위와 요추추전만 각은 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05)(Figure 2E, 2G).

복와위의 결과를 살펴보면 호흡에 따른 추체간 각 변화는 유의한 차이를 보이지 않았지만(Figure 2B), 추간관 전방높이는 요추5번/천추1번에서 흡기 시 0.47±0.08로 최대호기인 0.43±0.08보다 유의하게 높게 나타났(p<0.05) (Figure 2C). 추체간 전위와 요추추전만각은 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05) (Figure 2F, 2H).

## IV. 고찰

복압은 호흡주기와 호흡 자세에 따라 변화된다. 흡기 시 횡경막

이 수축하여 아래로 내려오면서 복강의 압력이 증가되고 호기 시 횡경막이 이완되어 흉곽으로 올라가면 복강의 압력이 감소하게 된다. 그리고 최대호기 시에는 복근의 강한 수축으로 인해 복부 전방에서 후방으로 가해진 압력이 다시 복압을 증가시켜 요추 전체와 요추 각 분절에 영향을 미친다.<sup>11</sup> 그렇지만 요추 분절에서 호흡과 자세에 따른 운동학적 분석이 현재까지 시도되지 않았기에 본 연구에서는 양와위와 복와위에서 흡기와 호기, 최대호기동안 발생한 요추 분절간 움직임 분석하고자 이 동형 엑스선 투시촬영장치를 이용하였고 일부 추체간 각과 추간관 전방높이에서 호흡에 따른 변화를 확인할 수 있었다.

본 연구결과 각 호흡에 따른 추체간 각은 양와위에서 요추 4/5번이 최대호기 시 호기 시 보다 유의하게 크게 나타났다. 이는 최대호기 시 잔기량 배출을 위한 복부근의 강한 수축이 골반내압을 증가시켜 하부요추에 압력을 전달하였고 요추 5번 상에서 요추 4번의 추체가 그 압력을 받았기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 복와위에서는 추체간 각은 호흡에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다. 그리고 요추 5번/천추 1번 추체간 각은 천추 1번의 추체 중심선을 결정할 수 없었기 때문에 분석이 시도되지 않았다.

각 호흡에 따른 추간관 전방높이는 양와위에서 요추 3/4번이 호기 시에 흡기 시 보다 유의하게 높았으며, 요추 5번/천추 1번에서는 흡기 시에 최대호기 시 보다 유의하게 높았다. 이는 흡기 시 요추 3/4번에서는 후방으로 가해지는 압력을 받아 요추전만이 감소되면서 추간관 전방높이가 낮아지게 된 반면 하부에 위치한 요추 5/천추1번에서는 하방으로 가해지는 압력을 받음으로 골반저 공간의 확장과 더불어 두 추체간의 전방간격이 더 벌어지게 된 것으로 생각된다. 복와위에서도 양와위와 비슷한 경향의 요추분절간 추간관 전방높이의 변화를 볼 수 있었다. 복와위에서는 요추 5번/천추1번의 추간관 전방높이에서만 흡기 시 최대호기 시 보다 유의하게 높은 차이를 볼 수 있었다. 복와위에서 양와위에 비해 추체간 각이나 추간관 전방높이의 변화가 적었던 것은 양와위에서는 호흡 시 복부의 전방 움직임이 자유로운 편이지만 복와위에서는 복부 전면이 바닥과 마주하게 됨으로써 상대적으로 복부의 전방 움직임 범위가 제한되었기 때문으로 생각된다. Yuk<sup>20</sup>은 신체 움직임 동안 실시된 요추분절 운동학적 분석에서 요추안정화를 위한 복부근 조절이 일부 추체간 각과 추간관 전방높이에 변화를 주며, 특히 신체 지질의 움직임 중간범위와 끝범위에서 요추분절의 안정성에 도움을 준다고 보고하였다. 다른 연구에서는<sup>11</sup> 호흡 시 복부근의 수축과 별개로 작용하는 횡경막의 역할을 강조했다. 횡경막의 일부인 횡격막 다리(crural diaphragm)가 우측 요추 3번과 좌측 요추 2번에 부착되어 있기 때문에 흡기 시 횡경막이 복부근과 별개로 상부 요추분절들의 강성에 영향을 줄 수 있다고 했

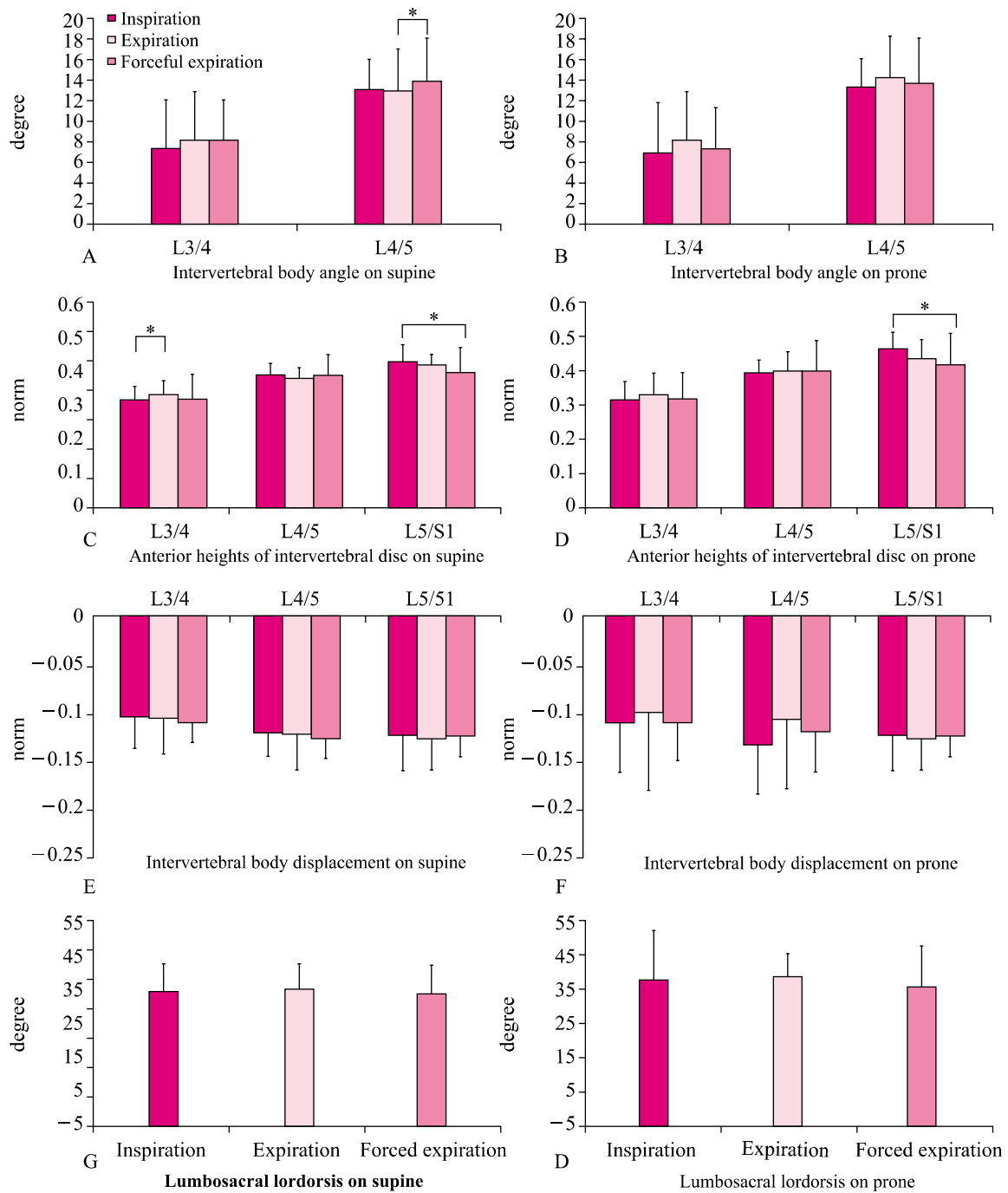


Figure 2. Results of lumbar spine kinematics in supine and prone depending on breathing.

다.<sup>3</sup> 특히 Shirley 등<sup>11</sup>은 복압과 척추의 관계에 대한 연구에서 호흡 주기 동안 요추 2번과 4번의 전-후 전위, 복부근과 횡경막의 근활성, 복부 내압을 측정한 결과 최대호기 시 요추분절의 강성이 가장 커진다고 했다. 이러한 결과들은 복부근과 호흡근의 활성과 복압이 바뀌면서 요추의 움직임도 변화될 수 있음을 의미한다. 특히 추간판 탈출증이 있는 환자들의 경우 과도한 흡기나 최대호기시 발생된 압력 상승으로 병변이 있는 추간판의

후방탈출이 심해질 수도 있기에 조심스러운 호흡이 필요하다. 요추 불안정성에 대한 방사선 연구에서는 연구자에 따라 다르지만 시상면 상에서 굴곡-신전 시 3 mm나 4.5~5 mm의 전위 또는 추체의 10~15% 전위, 요추 1번에서 요추 4번의 각 분절간에서 15° 이상 또는 요추 5번-천골 분절간에서 25° 이상의 각이 보여지면 불안정이 있다고 간주했다.<sup>21</sup> 본 연구에서는 호흡에 따른 추체간 전위를 알아보았고 양와위와 복와위

모두에서 유의한 전위 차이를 보이지 않았다. 이전 연구에서 Frobin 등<sup>19</sup>은 건강한 척추에서 추체간 전위가 적게 나타남을 보고하였다. 건강한 성인 여성을 대상으로 한 Yuk<sup>20</sup>의 연구에서도 네발기기 자세에서 신체 움직임 동안 추체간 전위는 유의한 차이가 없었으며 이는 본 연구결과와 일치한다.

본 연구에서 각 호흡에 따른 요추추전만각은 양와위와 복와위 모두에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 누운 자세에서의 일상적인 호흡으로 인한 복압변화가 요추추전만각에는 영향을 주지 않음을 의미한다.

Frobin 등<sup>19</sup>은 방사선 왜곡 보상 분석(distortion compensated roentgen analysis, DCRA)을 이용하여 촬영된 방사선 영상의 왜곡을 보정하는 방법을 제시했으며 본 연구에서도 Frobin이 제시한 방법으로 영상 분석을 실시하였다. 추체간 각과 요추추전만각은 각도로 표시하였으나, 추체간 전위나 추간판 높이는 방사선 조사 시 발생할 수 있는 왜곡과 오차를 줄이기 위해 측정된 값을 두부에 위치한 추체의 평균길이를 나눈 정규화한 값을 사용하였기 때문에 단위 없는 값으로 표시되었다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 측정에 사용된 이동형 엑스선 투시촬영장치의 기술적 여건 때문에 촬영범위가 좁아서 전체 요추 분절들이 아닌 요추 3번부터 천골까지의 동작만을 평가할 수밖에 없었다. 그리고 건강한 여성만을 대상으로 측정이 이루어졌기 때문에 본 연구결과가 모든 연령대나 척추 퇴행 또는 병변 상태를 대변하지는 못한다. 또한 호흡 시 발생된 개별 복압 차이와 복부 지방량<sup>22</sup>등을 고려하지 못하였다.

본 연구에서는 양와위와 복와위에서 호흡으로 인한 복압 변화가 일부 추체와 추간판에 운동학적 변화를 줄 수 있음을 확인할 수 있었다. 이는 잘못된 숨참기 또는 강한 호기와 같은 과도한 호흡이 복압 상승을 통해 병변이 있는 요추 추간판이나 추체에 부적절한 자극을 줌으로써 환자들의 증상을 악화시킬 수 있음을 의미한다. 따라서 환자들을 대상으로 한 운동을 실시할 때는 요추분절의 안정성을 위한 올바른 호흡에 대한 인식과 교육이 필요할 것으로 사료되며, 향후에는 다양한 자세와 운동 방법에서 호흡에 따른 복압변화와 이러한 변화가 척추분절들에 미치는 영향에 대한 연구들도 필요할 것이다.

### Author Contributions

Research design: Yuk GC  
 Acquisition of data: Yuk GC, Park SH  
 Analysis and interpretation of data: Yuk GC, Park SH  
 Drafting of the manuscript: Yuk GC, Park SH  
 Research supervision: Kim CS

### Acknowledgements

본 연구는 보건복지부 보건의료연구개발사업의 지원에 의하여 수행된 연구임(A084177).

### 참고문헌

- O'sullivan S, Schmitz T. Physical rehabilitation 5th. London, F.A. Davis Company, 2006:937-996.
- Lee JH, Kwon YJ, Kim K. The effect of chest expansion and pulmonary function of stroke patients after breathing exercise. J Kor Soc Phys Ther.2009;21(3):25-32.
- Williams PL, Bannister LH, Berry MM et al. Gray's anatomy 38th. New York, Churchill Livingstone, 1995:130-50.
- Hongyan L, Daugherty EL, Taichman D et al. Recognition and importance of forced exhalation on the measurement of intraabdominal pressure: A subgroup analysis from a prospective cohort study on the incidence of abdominal compartment syndrome in medical patients. J Intensive Care Med.2008;23(4):268-74.
- Lewit K. Manipulative therapy: Musculoskeletal medicine. New York, Churchill Livingstone, 2009:39-85.
- Richardson CA, Snijders CJ, Hides JA et al. The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. Spine. 2002;27(4):399-405.
- Aspden RM. The spine as an arch. A new mathematical model. Spine. 1989;14(3):266-74.
- Cecin HA. Cecin's sign ("X" Sign): Improving the diagnosis of radicular compression by herniated lumbar disks. Rev Bras Reumatol. 2010;50(1):44-55.
- McGill SM, Norman RW. Reassessment of the role of intra-abdominal pressure in spinal compression. Ergonomics. 1987;30(11):1565-88.
- Tekur P, Chametcha S, Hongasandra RN et al. Effect of yoga on quality of life of CLBP patients: A randomized control study. Int J Yoga. 2010;3(1):10-7.
- Shirley D, Hodges PW, Eriksson AE et al. Spinal stiffness changes throughout the respiratory cycle. J Appl Physiol. 2003;95(4):1467-75.
- Hodges PW, Eriksson AE, Shirley D et al. Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. J Biomech. 2005;38(9):1873-80.
- Barr KP, Griggs M, Cadby T. Lumbar stabilization: Core concepts and current literature, part 1. Am J Phys Med Rehabil. 2005;84(6):473-80.
- Barr KP, Griggs M, Cadby T. Lumbar stabilization: A review

- of core concepts and current literature, part 2. *Am J Phys Med Rehabil.* 2007;86(1):72-80.
15. Cholewicki J, Ivancic PC, Radebold A. Can increased intra-abdominal pressure in humans be decoupled from trunk muscle co-contraction during steady state isometric exertions? *Eur J Appl Physiol.* 2002;87(2):127-33.
  16. Hsu WH, Chen YL, Lui TN et al. Comparison of the kinematic features between the in vivo active and passive flexion-extension of the subaxial cervical spine and their biomechanical implications. *Spine.* 2011;36(8):630-8.
  17. Wong KW, Luk KD, Leong JC et al. Continuous dynamic spinal motion analysis. *Spine.* 2006;31(4):414-9.
  18. Frobin W, Brinckmann P, Biggemann M et al. Precision measurement of disc height, vertebral height and sagittal plane displacement from lateral radiographic views of the lumbar spine. *Clin Biomech.* 1997;12 Suppl 1:S1-S63.
  19. Frobin W, Brinckmann P, Leivseth G et al. Precision measurement of segmental motion from flexion-extension radiographs of the lumbar spine. *Clin Biomech.* 1996;11(8):457-65.
  20. Yuk GC. A kinematic analysis of lumbar spine for pelvic tilting and abdominal muscle contraction in quadruped position. Daegu university. Dissertation of Doctorate Degree. 2011.
  21. Demoulin C, Distree V, Tomasella M et al. Lumbar functional instability: A critical appraisal of the literature. *Ann Readapt Med Phys.* 2007;50(8):677-84, 69-76.
  22. De Keulenaer BL, De Waele JJ, Powell B et al. What is normal intra-abdominal pressure and how is it affected by positioning, body mass and positive end-expiratory pressure? *Intensive Care Med.* 2009;35(6):969-76.