J. Biomed. Eng. Res.
Vol. 21, No. 2, 189-201, 2000

척추의 3차원 수학적 척추 모델 개발

한정수* · 안태정** · 이태희**

*한성대학교 산업시스템공학부(안전과학기술연구소)
**한양대학교 대학원, **한양대학교 기계공학부

(1999년 10월 29일 접수, 2000년 3월 27일 채택)

Developement of Three-Dimensional Mathematical Spinal Model

J.S. Han*, T.J. Ahn**, T.H. Lee**

* Department of Mechanical Systems Engimeering, Han Sung University.
** Department of Mechanical Enineering, Hanyang University

(Received October 29, 1999. Accepted March 27, 2000)

Abstract : Mechanical factors in the human body are considered to play a dominant role in low back pain problems. Various spinal structures, including muscles, act in unison to resist the external load. An estimation of the muscle forces in this structure requires a knowledge of the orientation, location and area of cross-section of the muscles to complete the formulation of a truly three-dimensional mathematical model of the spine. The geometric parameters which are calculated were the line of action, the centroid and physiologic area of cross-section of each muscle as a function of the spinal level. This geometric data were obtained from CT scans of 11 subjects participating in this study.
Key words : Low back pain, Spinal structures, Physiologic data, Mechanical factors

서 론

척추의 손상으로 인한 요통(Low back Pain, LBP)은 현대 산업 사회에서 가장 흔하게 발생하는 재해중의 하나이다. 이는 산업사회에서의 생산성의 저하 및 경제적인 측면에서의 의료비의 과다 지출을 유발할 뿐만 아니라, 개개인의 삶의 질에 커다란 영향을 미치고 있다.

Bigos 등.(1990)에 의하면, 85%의 성인이 일생에 한번 정도는 요통의 경험을 하고 있으며, 그러한 요통은 개개인의 사회생활 및 일상생활에 영향을 미치고 있음을 보고하고 있다.[7, 8] 또한 미국의 NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)에서는 이러한 척추 요통의 주요 원인으로, 척추에 과도하게 작용하는 힘에 의한 상해로 보고하고 있다[13].

따라서, 척추에 작용하는 힘과 요통사이의 관련성 조사는 요통의 원인을 이해하는데 상당히 중요한 역할을 한다. 그러나, 이러한 정보를 얻는데 직접적으로 측정할 수 있는 유용한 방법이 없다.

지금까지 임상용 시체, MRI 또는 EMG 등을 통하여 얻어진 자료를 바탕으로 많은 수학적인 모델들이 허리부위에 작용하는 허리 내부의 힘이나 응력을 구하기 위하여 개발되어 왔으며, 또한 근육에 작용하는 응력에 대한 연구가 있었다[4].

그러므로, 본 연구에서는 실제적인 전달되는 허리의 힘의 작용 상태에 관한 연구의 기초 작업으로서 Fig. 1에서 보는 것과 같이 허리를 구성하는 근육(11 Pairs-Rectus abdominis (Rec. adb.), External Oblique (Ext.Obl.), Internal Oblique (Int.

이 논문은 (1998)년 한국학술진흥재단의 학술 연구비에 의하여 지원되었음.
통신저자 : 한정수, 서울시 성북구 삼선동 2가 389번지
한성대학교 산업시스템 공학부
Tel. (02)760-4323, Fax. (02)760-4358
E-mail : jshan@hansung.ac.kr

Obl.), Transversus (Trans.), Psoas ,Quadratus (Quad.), Illiocostalis (Ilio.), Longissiums (Long.), Multifidus (Mult.), Intersegmentals (Inter.), Latissimus Dorsi (Lat.Dor.))과 척추(7 Pieces-12th Thoracic Vertebra, All Lumber, 1st Sacrum)에 관한 기하학적 자료를 제공하는데 있다.

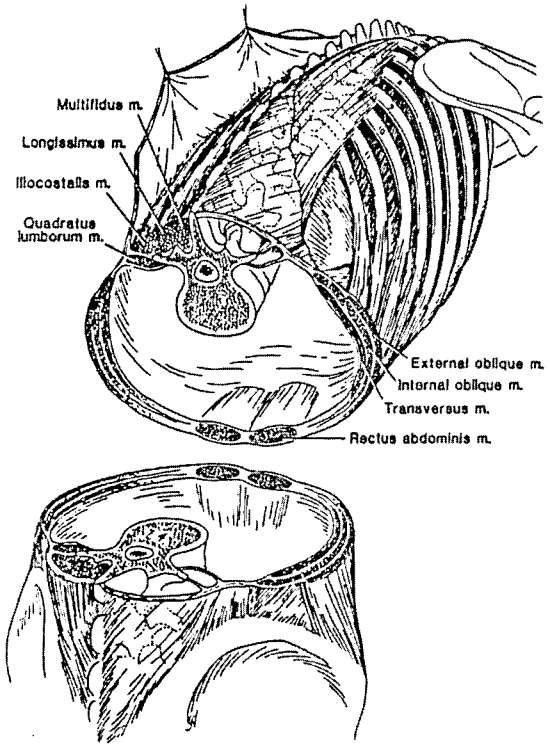

Fig. 1. 복부 공백과 근육 단면도

본 론

1. 화상처리 시스템을 통한 기하학적 자료 수집

일반적으로 CT 화상은 누워있는 상태에서의 인체를 보여주는 것으로 이는 인체가 서있는 상태와는 약간의 차이를 보이나, 서있는 상태는 인체의 근육과 척추가 꼬임이나 굽힘, 등으로부터 자유롭지 못하므로 서있는 상태가 근육이나 척추의 상태를 정확하게 표현한다고 볼 수 없다[14]. 서있는 상태와 누워있는 상태사이의 기하학적 자료는 약 10~20%정도의 차이로 누워있는 상태가 커게 나타난다[15]. 이런 상황을 고려하면 인체의 정확한 기하학적 자료를 찾기는 아직 불가능하다고 생각된다. 그러므로 CT 화상으로부터 근육과 척추의 기하학적인 모양을 얻었으며, 이 자료로부터 화상처리 시스템을 이용하여 기하학적 자료-관심의 대상의 작용선, 단면적과 중심 위치-를 얻었으며, 여기서 얻어진 자료로부터 허리부위의 정적/동적인 힘의 작용 상태에 관한 기초 자료를 제공하고자 한다.

Table 1. 연구 대상자에 관한 자료

신 장(cm)	몸무게(kg)	연 령(세)
175~180(0.02)	63~75(0.05)	21~24(0.09)

허리부위의 근육과 척추의 기하학적인 자료를 얻기 위한 방법으로 11명의 한국인 성인의 CT 화상을 사용하였다. 실험에 참석한 대상은 남자 대학생으로 과거 요통을 느낀 경험이 없었고, 간단한 테스트에 의하여 요통이 없다고 판단되는 신체 건강한 사람으로 했다. Quantax CT기기를 사용하여 11명 각각의 T12부터 S1까지의 각 등뼈의 수평 CT 화상(Fig. 4)과 척추의 측면 CT 화상(Fig. 5)을 얻었다. 이 CT 화상을 가지고 허리부위의 기하학적인 자료인 각 근육의 방향선, 그 방향선의 적용점과 생리학적 단면적을 얻기 위하여 화상처리 시스템 기법을 도입하였다.

1) 화상처리 시스템 구성 및 사양

본 연구에서 이용한 화상처리 설비인 PIAS사의 KIT-500 시스템의 구성은 Fig. 2와 같다. CCD Camera, Video, Digital Camera, 또는 Scanner 등의 각종 화상 입력장치로부터 전송되는 화상은 KIT-500 시스템의 메모리에 저장된다.

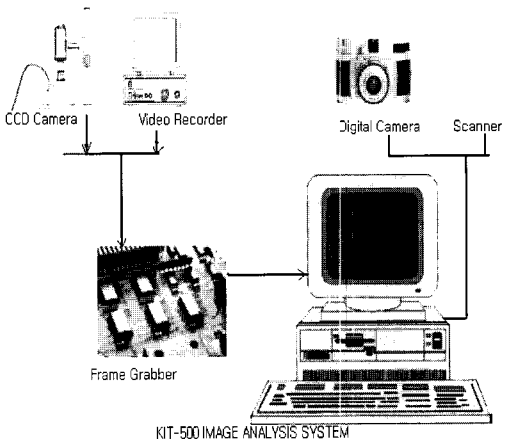

Fig. 2. 화상처리 시스템 구성도

본 연구에서 사용하는 CT 화상을 입력하기 위해서는 CCD Camera를 이용하여 Film으로부터 화상을 시스템에 전송하고, 이 화상을 디지털화 하여 메모리에 저장한다. 저장된 화상은 Fig. 3에서와 같은 순서로 화상처리 조작을—히스토그램, Filtering, Brightness 변환—통하여 화상을 선명히 하고 화상 내에 포함하고 있는 개체들을 확인할 수 있도록 전처리를 행하게 된다. 각 개체를 확인한 후에는 시스템에 내장된 계산 프로그램을 이용하여 화상 계산으로—Scale의 설정, 면적에 의한 설

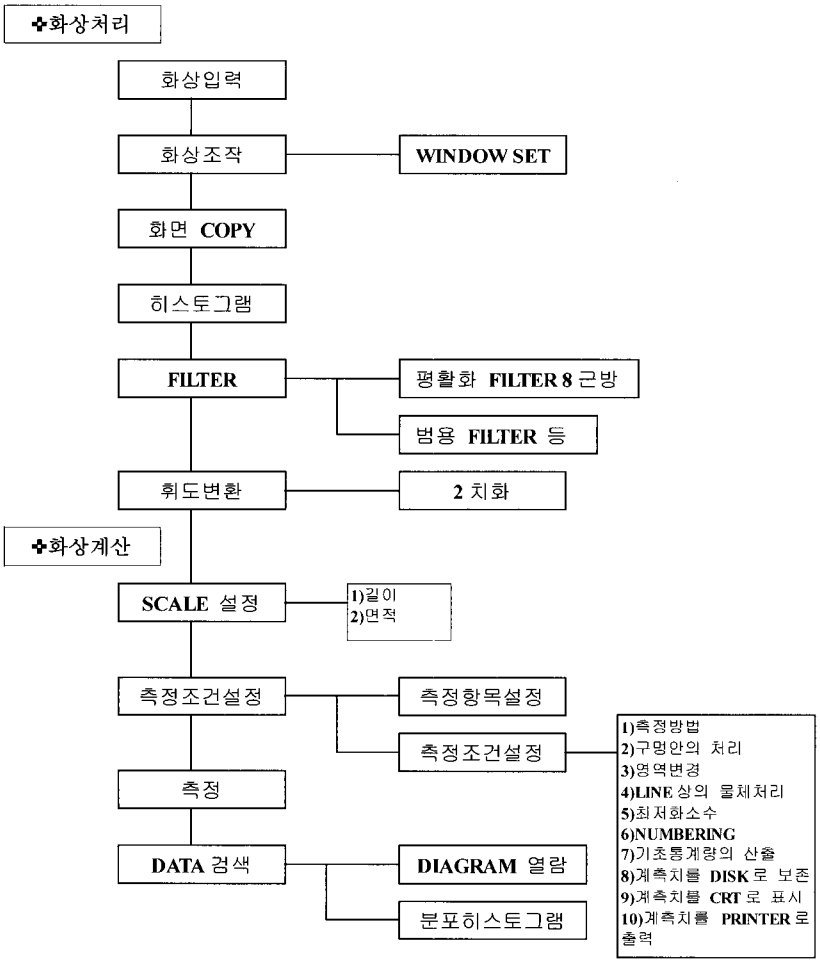

Fig. 3. 화상분석 절차

정, 측정 조건 설정, 측정—필요한 각 개체의 크기, 면적, 각 개체의 중심점, 기준 점에서의 각도 등 사용자가 필요한 각종 측정치를 구할 수 있다. 구하고자 하는 각종 측정치들이 얻어지면 이를 Memory에 보존, 또는 프린터를 이용하여 출력할 수 있으며 또한 측정치들을 Database화하여 3D 분석 등에 응용한다.

2) 화상분석

본 연구에서 사용한 CT 화상을 Fig. 4에 표시하였다. 상기 화상의 경우 화상의 농염이 명확하지 않아서 Edge 검출이 이루어지지 않는 관계로 각종 Filter를 이용하여 화상의 Noise를 제거하여 화상을 명확하게 할 수 있다. 그러나 이러한 조작을 통하여서도 원하는 화상의 선명도가 얻어지지 않거나 화상의 농염 차가 적을 경우는 일부 경계가 분명하지 않은 관계로 다음과 같은 방법을 통하여 수행하였다.

Fig. 4에서와 같이 등뼈의 중심을 원점 O로 하여 이점을 국부 좌표계 X_V , Z_V의 중심점 (0, 0)으로 하고 이 곳을 기준으로 하여 각 근육의 중심점을 구한다. 여기서 Zv축은 복부 방향으로 향하는 축으로 잡았으며, X_V축은 Z_V축을 좌우 방향을 그리고 Y_V축은 머리 방향을 잡았다. 각 근육의 형태 및

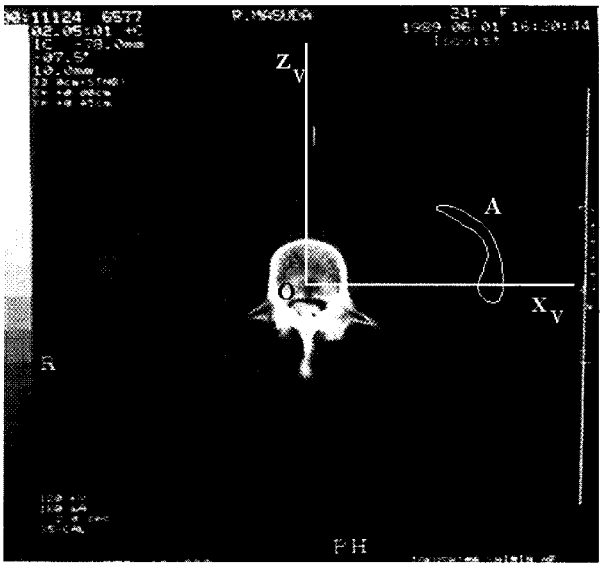

Fig. 4. 등뼈의 수평 CT 화상
(X_V- Z_V Local Coordinate)

크기는 Window 상에서 mouse를 이용하여 Fig. 4에서 A와 같이 폐곡선을 그려서 구할 수 있다. 이러한 폐곡선에 의해 구분된 개체는 인접한 개체와 구분되어 지며 화상처리를 통하여 선명한 개체의 형태를 보여줄 수 있다. 각 근육 개체의 면적, 중심점은 앞에서 설명한KIT-500시스템에 의하여 구할 수 있다.

Fig. 5와 같은 등뼈의 화상의 경우 기준점을 좌측 하단에 임의로 선정할 경우 점 O는 전체좌표계 Z_G , Y_G의 원점(0, 0)이 되고, 이 기준 점으로부터 각 등뼈 중심의 좌표와 각도를 구할 수 있다. 여기서 Z_G축은 국부 좌표계와 같이 복부 방향을 잡았으며, X_G축은 Z_G축의 좌우 방향으로 잡았으며, 그리고 Y_G축은 머리 방향으로 잡았다. 중심점은 Fig. 5와 같은 등뼈의 화상의 경우 기준 점을 좌측 하단에 임의로 선정할 경우 점 O는 전체 좌표계 Z_G , Y_G의 원점(0, 0)이 되고, 이 기준 점으로부터 각 등뼈 중심의 좌표와 각도를 구할 수 있다. 여기서 Z_G축은 국부 좌표계와 같이 복부 방향을 잡았으며, X_G축은 Z_G축의 좌우 방향으로 잡았으며 그리고 Y_G축은 머리 방향으로 잡았다. 중심점은 Fig. 4에서 행한 방법과 같이 각 등뼈를 mouse를 이용하여 Fig. 5의 A와 같이 그 형태를 구한 다음 개체 A에 있는 화소 수를 이용하여 면적을 구할 수 있고 중심점은 각 화소의 Z_G , Y_G좌표의 평균으로 구할 수 있다. 또한 각도는 Z_G축에 대한 각도로서 각 등뼈의 중심점과 원점, Z_G축이 이루는 각도로부터 구할 수 있다.

2. 화상분석 자료를 통한 기하학적 자료수집

화상시스템에 의하여 얻어진 11명 성인의 CT (Y_G- Z_G Global Coordinate) 화상에 대한 각각의 기하학적 자료는 등뼈 기준의 국부 좌표계에 대한 값이며, 이 값들을 전체 좌표계에 대한 근육의 생리학적 단면적의 기하학적 중심의 방향선과 CT 화상의 단면적 중심의 방향선과의 기울기(β_i)에 근거하여 전체 좌표계로 전환하였다. 다음으로 어떤 두 등뼈사이의 층에 있는 근육의 방향선(방향 코사인 l, m 과 n)도 전체 좌표계에 대하여 계산하였다. 일반적으로 어떤 두 등뼈사이의 층에 있는 근육의 작용선은 각 등뼈의 수평 CT 촬영되어진 수평면과 Fig.6에서 보는 것과 같이 직교하지 않는다. 이러한 이유 때문에, 근육의 방향에 수직한 근육의 생리학적 단면적은 기울기 (β_i)와 등뼈의 수평 CT 촬영으로부터 측정이 되어진 그 근육의 단면적에 근거하여 계산하였다[1][6][11].

생체 역학적 모델의 또 다른 목적은 허리 추간판에 작용하는 축방향 압축력의 예측에 있기 때문에, 어떤 두 등뼈사이의 근육의 방향선, 유효 단면적 그리고 중심 좌표(모멘트 팔의 길이) [2][12]를 구하기 위하여 두 인접한 등뼈사이에 있는 추간판을 가로질러 절단하는 수평면을 그렸으며, 앞의 요소를 계산하기 위해 절단된 추간판 위에 국부 좌표계를 그렸다.

이를 바탕으로 하여, 화상시스템에 의하여 얻어진 11명 성인의 CT 화상에 대한 각각의 기하학적 자료로부터, 이 자료를 일반화하기 위하여 각 근육의 방향선, 그 방향선의 적용점과 근육의 생리학적 단면적에 대한 평균값을 구하였다. 이 평균값은 국부 좌표계에 대한 근육의 자료이므로, 이 자료를 가지고 Eqs.(1)과 (2)를 이용하여 전체 좌표계의 값을 구하였다. Eqs. (1)과 (2)는 벡터 관계식에 의하여 표현되어졌으며, 여기에 연관된 벡터분석이 Fig.6에 나타나있다[3][5].

$$\overline{r_{p1}} = \overline{R_1} + Q_1 \overline{r_1}$$
$$\overline{r_{p2}} = \overline{R_2} + Q_2 \overline{r_2} \qquad (1)$$
$$\overline{d} = (\overline{r_{p1}} - \overline{r_{p2}}) \div \left| \overline{r_{p1}} - \overline{r_{p2}} \right|$$

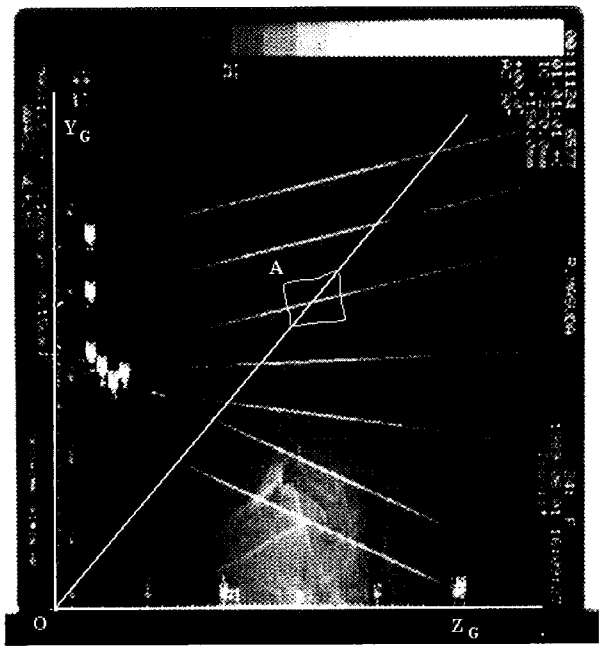

Fig. 5. 척추의 측면 CT 화상

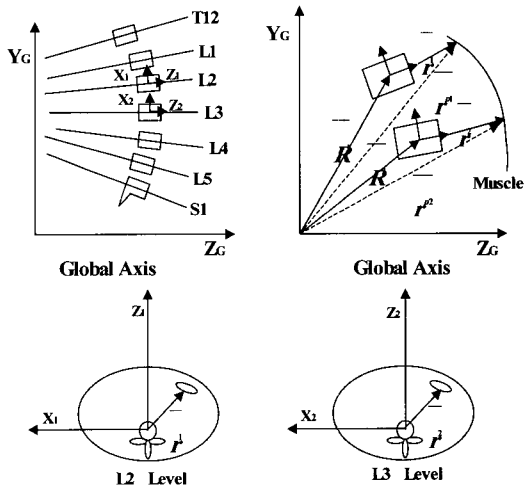

Fig. 6. CT화상에 관한 단면적과 등뼈의 방향의 도식

여기서,

$\overline{r_{p1}}$, $\overline{r_{p2}}$: 전체 좌표계에 대한 근육단면적의 중심 위치까지의 거리 벡터

$\overline{R_1}$, $\overline{R_2}$: 전체 좌표계에 대한 등뼈 중심의 위치까지의 거리 벡터

$\overline{r_1}$, $\overline{r_2}$: 등뼈중심의 국부 좌표계에 대한 근육 단면적의 중심 위치까지의 거리 벡터

Q_1 , Q_2 : 전체 좌표계에 대한 국부 좌표계의 변환 행렬

$\overline{d} = |\ l\ \ m\ \ n|^T$: 전체 좌표계에 대한 근육의 방향 코사인

위와 같이 구한 CT 화상 상의 단면적은 실질적인 근육의 생리학적 단면적이 아니므로 근육의 생리학적 단면적은 다음과 같이 계산식을 통하여 보정된다(Fig. 7).

$$\overline{d} \cdot \overline{r} = |\overline{d}||\overline{r}| \cos \beta_i$$

$$\cos \beta_i = \overline{d} \cdot \overline{r} \quad (2)$$

$$A0 = A \sin \beta_i$$

$$= A\sqrt{1 - (\overline{d} \cdot \overline{r})^2}$$

여기서,

$\overline{r}$: 전체 좌표계에 대한 CT 화상 촬영 방향의 근육 단면적 중심의 방향 벡터(단위 벡터)

$\overline{d}$: 전체 좌표계에 대한 근육중심의 방향 벡터(단위 벡터)

A : CT 화상의 단면적

$A0$: 근육의 생리학적 단면적

β_i : A와 $A0$의 사잇각

결 론

11명 성인의 CT 화상 자료에 대한 화상처리 시스템을 통하여 구해진 국부 좌표계에 대한 기하학적 자료의 평균한 값을 Table. 2과 3에 나타냈으며, 이것을 바탕으로 전체 좌표계에 대한 근육의 위치와 생리학적 단면적이 Table. 4에 나타나 있다. 각 등뼈 사이의 전체 좌표계에 대한 추간판의 중심의 위치와 각 등뼈 사이의 근육에 대한 단면적, 위치와 방향 코사인의 자료가 Table. 5에 제공되었으며, 마지막으로 각 등뼈 사이의 근육의 방향 코사인, 위치 그리고 단면적에 대한 추간판 상의 국부 좌표계를 통하여 얻어진 자료를 Table. 6에 표시하였다. 이 자료들을 통하여 본 연구에서 관심을 가진 허리 부위의 각 등뼈와 그 관련 근육을 Fig. 8에 보는 것과 같이 개략적으로 표현하였으며, 근육들은 좌우 대칭을 이루고 있다.

L3부분에서의 전체 좌표계에 대한 근육 단면도를 Fig. 9에서 표현하였으며, 이것은 다른 부분에 비하여 Table. 2에서 보는 것과 같이 CT 화상(Fig. 5)의 촬영상의 기울기가 적어 전체 좌표계와 국부 좌표계에서 측정한 값의 차이가 비교적 적

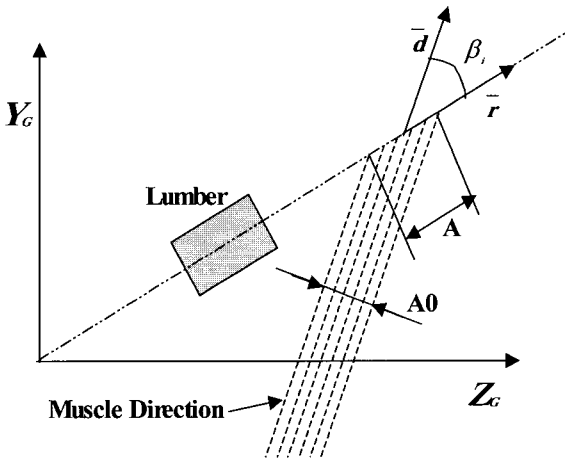

Fig. 7. 근육의 CT화상의 단면적(A)과 생리학적 단면적(A0)

Table 2. 각 추체(Vertebrae)의 Level 별 중심 좌표

POSITON OF CENTER OF DISC W.R.T GLOBAL AXIS			
LEVEL	Y	Z	ANGLE
T12	31.90	20.51	13.5
L1	28.73	21.24	13.0
L2	25.29	22.09	13.0
L3	21.78	22.89	2.5
L4	18.18	23.26	- 7.5
L5	14.77	23.06	-24.0
S1	11.67	21.28	-24.0

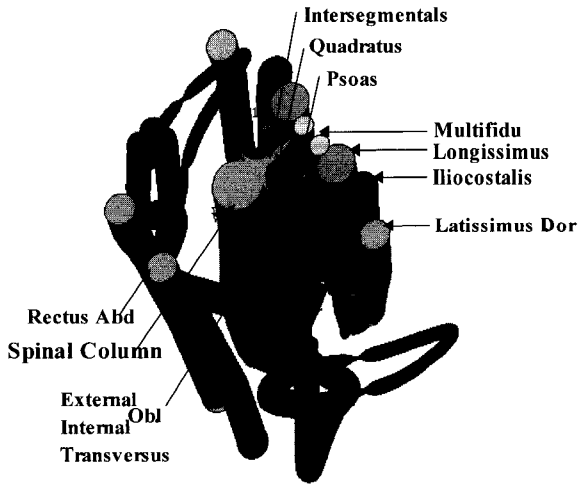

Fig. 8. 복부 부위의 각 등뼈와 근육들의 개략도

기 때문에 다른 부분에서의 CT 화상보다 가장 정확한 기하학적 자료를 가지고 있으며, 다른 부분에 비하여 요통과도 상당

Table 3. T12~S1의 Level 별 근육의 국부 좌표계

LEFT AND RIGHT MUSCLES W.R.T LOCAL AXIS						
NO	XL	ZL	Al	XR	ZR	AR
LEVEL T12						
1	3.23	12.23	5.02	-2.98	12.10	5.29
2	7.18	5.81	3.34	-7.24	5.97	3.08
3	7.18	5.81	3.34	-7.24	5.97	3.08
4	7.19	5.81	3.34	-7.42	5.97	3.08
5	1.13	0.05	0.51	-1.01	0.20	0.56
6	2.80	-1.80	0.40	-2.49	-1.84	0.55
7	10.33	-3.75	4.74	-10.61	-2.99	5.10
8	0.08	-0.41	0.14	-0.06	-0.38	0.10
9	1.16	-4.56	2.13	-0.98	-4.46	2.00
10	6.37	-5.12	6.03	-6.11	-5.14	5.93
11	3.34	-4.71	7.94	-3.14	-4.77	7.33
LEVEL L1						
1	3.50	11.14	5.82	-3.86	10.94	6.46
2	7.05	5.40	2.85	-7.85	5.09	2.85
3	7.55	5.08	3.40	-7.80	5.03	3.35
4	7.60	5.12	3.52	-8.06	5.06	3.53
5	2.61	-0.64	2.83	-2.62	-0.78	2.20
6	4.35	-2.94	2.35	-4.26	-3.04	2.02
7	10.74	-3.62	3.49	-10.59	-3.84	3.38
8	0.11	-0.42	0.24	-0.09	-0.41	0.22
9	1.30	-4.62	2.41	-1.17	-4.71	2.62
10	6.10	-5.39	6.21	-6.63	-5.29	6.03
11	3.78	-5.11	8.84	-3.42	-5.15	8.61
LEVEL L2						
1	3.71	9.18	5.08	-3.68	9.10	5.37
2	9.02	6.71	2.94	-9.20	6.60	2.71
3	11.01	4.51	4.00	-11.28	4.53	3.40
4	11.48	3.94	6.85	-11.81	4.25	6.08
5	3.14	-0.73	4.92	-3.14	-0.84	4.65
6	4.86	-3.01	3.38	-4.52	-2.83	3.33
7	9.77	-3.88	2.60	-9.80	-3.83	2.52
8	0.40	-2.35	0.42	-0.38	-2.43	0.38
9	1.39	-4.83	3.69	-1.27	-4.74	3.69
10	6.16	-5.54	7.39	-6.12	5.27	7.77
11	3.50	-5.36	8.73	-3.44	-5.22	8.65
LEVEL L3						
1	3.60	7.46	4.85	-3.99	7.27	5.38
2	9.36	3.46	2.82	-9.73	3.21	3.24
3	10.61	1.96	6.39	-10.83	1.89	6.63
4	11.46	1.80	7.12	-11.80	1.47	7.99
5	3.68	-0.60	8.87	-3.69	-0.56	8.64
6	6.03	-3.17	4.28	-6.19	-3.01	3.99
7	8.66	-4.48	1.69	-8.81	-3.72	1.80
8	0.61	-4.12	0.87	-1.00	-3.82	0.88
9	1.35	-5.04	3.67	-1.71	-4.21	3.73
10	5.64	-5.20	8.09	-5.29	-4.29	7.08
11	3.11	-5.43	7.59	-3.01	-4.55	7.41
LEVEL L4						
1	3.78	6.37	4.41	-3.98	6.23	4.82
2	9.51	2.47	2.17	-9.90	2.05	2.31
3	10.20	2.54	6.65	-10.73	2.21	7.08
4	11.30	1.72	7.65	-11.87	1.61	7.93
5	4.16	-0.50	12.03	-4.22	-0.59	12.37
6	7.05	-2.82	5.56	-6.87	-1.40	5.18
7	5.64	-4.35	1.40	-5.67	-4.29	1.54
8	0.77	-4.56	0.98	-1.04	-4.06	0.86
9	1.68	-5.63	5.66	-2.16	-4.35	5.65
10	5.40	-4.88	6.29	-5.23	-3.79	6.02
11	3.57	-5.56	5.49	-4.00	-4.39	5.47
LEVEL L5						
1	3.12	6.56	5.98	-3.33	6.48	5.68
2	10.26	4.98	2.84	-10.69	4.93	3.04
3	10.26	4.98	2.84	-10.69	4.93	3.04
4	10.26	4.98	2.84	-10.69	4.93	3.04
5	4.78	0.75	13.44	-4.89	0.72	13.25
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.62	-3.28	0.60	-0.77	-2.43	0.54
9	1.79	-5.21	5.35	-1.80	-5.49	5.42
10	4.96	-4.84	6.64	-5.02	-3.68	6.21
11	3.31	-5.88	5.37	-3.38	-5.61	5.46
LEVEL S1						
1	2.39	8.26	5.62	-2.49	8.34	5.62
2	0.88	0.57	0.15	-1.00	0.50	0.19
3	0.88	0.57	0.15	-1.00	0.50	0.19
4	0.88	0.57	0.15	-1.00	0.50	0.19
5	4.80	2.95	11.80	-5.09	3.16	11.57
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.08	-0.41	0.05	-0.06	-0.43	0.05
9	1.57	-4.24	3.42	-1.53	-4.22	3.32
10	2.86	-4.40	3.42	-2.98	-4.22	2.92
11	2.17	-4.23	2.86	-2.25	-4.28	3.04

XL, ZL : x, z position w.r.t local cordinate for left side muscl

XR, ZR : x,z position w.r.t for right side muscle

AL, AR : cross-sectional area for left and right side muscle, respectively

Table 4. T12~S1의 level 별 근육의 전체 좌표계

LEFT AND RIGHT MUSCLES W.R.T GLOBAL AXIS								
NO	GXL	GYL	GZL	AREA	GXR	GYR	GZR	AREA
LEVEL T12								
1	3.23	34.76	32.41	4.763	- 2.98	33.73	32.28	5.005
2	7.18	33.26	26.16	3.310	- 7.24	33.30	26.32	2.970
3	7.18	33.26	26.16	3.255	- 7.24	33.30	26.32	2.956
4	7.19	33.26	26.16	3.264	- 7.42	33.30	26.32	2.963
5	1.13	31.92	20.57	0.499	- 1.01	31.95	20.71	0.543
6	2.80	31.48	18.76	0.380	- 2.49	31.47	18.73	0.517
7	10.33	31.03	16.87	4.743	-10.61	31.20	17.61	4.915
8	0.08	31.81	20.12	0.138	- 0.06	31.81	20.14	0.105
9	1.16	30.84	16.08	2.124	- 0.98	30.86	16.18	1.992
10	6.37	30.71	15.53	6.004	- 6.11	30.70	15.51	5.921
11	3.34	30.80	15.93	7.874	- 3.14	30.79	15.87	7.266
LEVEL L1								
1	3.50	31.23	32.09	5.129	- 3.86	31.19	31.90	5.767
2	7.05	29.94	26.50	2.701	- 7.85	29.87	26.20	2.633
3	7.55	29.87	26.19	3.379	- 7.80	29.86	26.14	3.334
4	7.60	29.88	26.23	3.445	- 8.06	29.86	26.17	3.492
5	2.61	28.58	20.61	2.825	- 2.62	28.55	20.48	2.195
6	4.35	28.07	18.38	2.346	- 4.26	28.04	18.28	2.013
7	10.74	27.91	17.71	3.485	-10.59	27.86	17.50	3.379
8	0.11	28.63	20.83	0.213	- 0.09	28.63	20.84	0.197
9	1.30	27.69	16.73	2.404	- 1.17	27.67	16.65	2.620
10	6.10	27.51	15.99	6.203	- 6.63	27.54	16.09	6.032
11	3.78	27.58	16.26	8.828	- 3.42	27.57	16.22	8.605
LEVEL L2								
1	3.71	27.35	31.03	4.761	- 3.68	27.33	30.95	4.991
2	9.02	26.79	28.62	1.518	- 9.20	26.77	28.52	1.400
3	11.01	26.30	26.48	3.849	-11.28	26.30	26.50	3.327
4	11.48	26.17	25.93	5.262	-11.81	26.24	26.23	4.485
5	3.14	25.12	21.38	4.917	- 3.14	25.10	21.28	4.632
6	4.86	24.61	19.15	3.375	- 4.52	24.65	19.33	3.323
7	9.77	24.41	18.31	2.560	- 9.80	24.42	18.36	2.519
8	0.40	24.76	19.80	0.360	- 0.38	24.74	19.72	0.348
9	1.39	24.20	17.38	3.686	- 1.27	24.22	17.47	3.615
10	6.16	24.04	16.69	7.300	- 6.12	24.10	16.95	7.314
11	3.50	24.08	16.86	8.733	- 3.44	24.11	17.00	8.364
LEVEL L3								
1	3.60	22.11	30.35	4.754	- 3.99	22.10	30.15	5.276
2	17.88	21.56	14.42	1.820	-18.14	21.56	14.19	2.091
3	9.48	22.15	28.84	5.067	-10.03	22.12	28.46	5.258
4	12.97	21.82	23.53	6.828	-13.54	21.82	23.43	7.660
5	3.68	21.76	22.29	8.837	- 3.69	21.76	22.33	8.628
6	6.03	21.65	19.73	4.209	- 6.19	21.65	19.88	3.522
7	8.66	21.59	18.42	1.681	- 8.81	21.62	19.18	1.799
8	0.61	21.60	18.78	0.869	- 1.00	21.62	19.08	0.875
9	1.35	21.56	17.85	3.645	- 1.71	21.60	18.68	3.729
10	5.64	21.56	17.70	7.910	- 5.29	21.60	18.61	6.849
11	3.11	21.55	17.47	7.573	- 3.01	21.59	18.35	7.340
LEVEL L4								
1	3.78	17.34	29.58	4.404	- 3.98	17.36	29.43	4.816
2	9.51	17.85	25.70	1.922	- 9.90	17.91	25.29	1.980
3	10.20	17.84	25.78	5.915	-10.73	17.89	25.45	6.132
4	11.30	17.95	24.96	6.354	-11.87	17.97	24.85	6.556
5	4.16	18.24	22.76	11.175	- 4.22	18.25	22.67	11.414
6	7.05	18.54	20.47	5.564	- 6.87	18.36	21.87	5.185
7	5.64	18.74	18.95	1.405	- 5.67	18.74	19.00	1.539
8	0.77	18.77	18.74	0.818	- 1.04	18.71	19.24	0.696
9	1.68	18.91	17.68	5.150	- 2.16	18.74	18.94	5.322
10	5.40	18.81	18.43	6.126	- 5.23	18.67	19.51	5.892
11	3.57	18.90	17.75	5.463	- 4.00	18.75	18.90	5.112
LEVEL L5								
1	3.12	12.10	29.05	5.615	- 3.33	12.13	28.98	5.260
2	10.26	12.74	27.61	2.562	-10.69	12.76	27.57	2.753
3	10.26	12.74	27.61	2.562	-10.69	12.76	27.57	2.753
4	10.26	12.74	27.61	2.562	-10.69	12.76	27.57	2.753
5	4.78	14.46	23.74	11.944	- 4.89	14.47	23.72	11.451
6	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
7	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
8	0.62	16.10	20.06	0.495	- 0.77	15.75	20.84	0.493
9	1.79	16.88	18.30	5.276	- 1.80	17.00	18.04	5.249
10	4.96	16.73	18.64	6.634	- 5.02	16.26	19.69	6.066
11	3.31	17.16	17.69	5.074	- 3.38	17.05	17.94	5.287
LEVEL S1								
1	2.39	8.31	28.82	4.880	- 2.49	8.28	28.90	5.224
2	0.88	11.43	21.80	0.139	- 1.00	11.46	21.74	0.179
3	0.88	11.43	21.80	0.138	- 1.00	11.46	21.74	0.179
4	0.88	11.43	21.80	0.141	- 1.00	11.46	21.74	0.182
5	4.80	10.47	23.97	11.348	- 5.09	10.38	24.17	11.199
6	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
7	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
8	0.08	11.83	20.91	0.044	- 0.06	11.84	20.89	0.039
9	1.57	13.39	17.41	2.900	- 1.53	13.38	17.43	2.760
10	2.86	13.46	17.26	2.974	- 2.98	13.38	17.43	2.525
11	2.17	13.39	17.42	2.864	- 2.25	13.41	17.37	3.036

Table 5. 전체 좌표계에서의 각각의 추간판 level에서의 근육별 방향성분, 좌표, 단면적

LEFT AND RIGHT MUSCLES W.R.T GLOBAL AXIS														
NO	GXL	GYL	GZL	l	m	n	AREA	GXR	GYR	GZR	l	m	n	AREA
LEVEL T12-L1														
1	3.36	32.99	32.25	-0.0783	0.9930	0.0889	4.95	- 3.42	32.96	32.09	0.2412	0.9651	0.1021	5.392
2	7.12	31.60	26.33	0.0387	0.9941	-0.1014	3.01	- 7.55	31.58	26.26	0.1758	0.9839	0.0332	2.80
3	7.36	31.56	26.18	-0.1074	0.9942	-0.0086	3.32	- 7.52	31.58	26.23	0.1608	0.9857	0.0497	3.14
4	7.39	31.57	26.20	-0.1199	0.9926	-0.0208	3.35	- 7.74	31.58	26.24	0.1812	0.9826	0.0417	3.23
5	1.87	30.25	20.59	-0.4058	0.9139	-0.0119	1.66	- 1.82	30.25	20.59	0.4284	0.9015	0.0614	1.37
6	3.58	29.77	18.57	-0.4117	0.9056	0.1021	1.36	- 3.38	29.76	18.50	0.4556	0.8826	0.1162	1.27
7	10.53	29.47	17.29	-0.1271	0.9579	-0.2579	4.11	-10.60	29.53	17.55	-0.0060	0.9995	0.0315	4.15
8	0.10	30.22	20.48	-0.0081	0.9756	-0.2193	0.18	- 0.08	30.22	20.49	0.0087	0.9766	-0.2150	0.15
9	1.23	29.26	16.41	-0.0434	0.9782	-0.2033	2.26	- 1.08	29.26	16.41	0.0582	0.9874	-0.1473	2.31
10	6.24	29.11	15.76	0.0834	0.9865	-0.1408	6.10	- 6.37	29.12	15.80	0.1587	0.9716	-0.1757	5.98
11	3.56	29.19	16.09	-0.1369	0.9855	-0.0998	8.35	- 3.28	29.18	16.04	0.0864	0.9906	-0.1060	7.94
LEVEL L1-L2														
1	3.61	29.29	31.56	-0.0517	0.9632	0.2637	4.94	- 3.77	29.26	31.43	-0.0469	0.9699	0.2388	5.38
2	8.04	28.37	27.56	-0.4605	0.7356	-0.4969	2.11	- 8.53	28.32	27.36	0.3282	0.7561	-0.5662	2.02
3	9.28	28.08	26.34	-0.6950	0.7166	-0.0590	3.61	- 9.54	28.08	26.32	0.6978	0.7126	-0.0723	3.33
4	9.54	28.03	26.08	-0.7226	0.6891	0.0554	4.35	- 9.94	28.05	26.20	0.7199	0.6940	-0.0111	3.99
5	2.87	26.85	21.00	-0.1482	0.9653	-0.2150	3.87	- 2.88	26.82	20.88	0.1427	0.9642	-0.2234	3.41
6	4.61	26.34	18.77	-0.1422	0.9659	-0.2165	2.86	- 4.39	26.35	18.80	0.0732	0.9523	-0.2963	2.67
7	10.25	26.16	18.01	0.2635	0.9508	-0.1632	3.02	-10.20	26.14	17.93	-0.2160	0.9474	-0.2362	2.95
8	0.26	26.69	20.32	-0.0728	0.9635	0.2576	0.29	- 0.23	26.69	0.28	0.0710	0.9588	0.2751	0.27
9	1.35	25.94	17.06	-0.0264	0.9829	-0.1825	3.05	- 1.22	25.94	17.06	0.0262	0.9723	-0.2321	3.12
10	6.13	25.78	16.34	-0.0180	0.9802	-0.1971	6.75	- 6.38	25.82	16.52	-0.1402	0.9602	-0.2417	6.67
11	3.64	25.83	16.56	0.0807	0.9821	-0.1704	8.78	- 3.43	25.84	16.61	0.0054	0.9749	-0.2224	8.48
LEVEL L2-L3														
1	3.66	24.73	30.69	0.0208	0.9914	0.1292	4.76	- 3.84	24.72	30.55	0.0597	0.9867	0.1513	5.13
2	13.45	24.18	21.52	-0.5052	0.2982	0.8098	1.67	-13.67	24.16	21.35	0.5056	0.2949	0.8108	1.75
3	10.24	24.22	27.66	0.3041	0.8287	-0.4699	4.46	-10.66	24.21	27.48	-0.2619	0.8742	-0.4089	4.29
4	12.23	24.00	24.73	-0.2872	0.8385	0.4632	6.05	-12.68	24.03	24.83	0.3127	0.8025	0.5081	6.07
5	3.41	23.44	21.84	-0.1546	0.9538	-0.2575	6.88	- 3.41	23.43	21.80	0.1575	0.9417	-0.2972	6.63
6	5.45	23.13	19.44	-0.3606	0.9158	-0.1769	3.79	- 5.36	23.15	19.61	0.4791	0.8634	-0.1583	3.42
7	9.22	23.00	18.36	0.3651	0.9303	-0.0360	2.12	- 9.30	23.02	18.77	-0.3233	0.9084	-0.2652	2.16
8	0.51	23.18	19.29	-0.0627	0.9495	0.3075	0.61	- 0.69	23.18	19.40	0.1904	0.9615	0.1981	0.61
9	1.37	22.88	17.62	0.0149	0.9841	-0.1769	3.67	- 1.49	22.91	18.08	0.1532	0.8972	-0.4143	3.67
10	5.90	22.80	17.19	0.1911	0.9089	-0.3707	7.61	- 5.71	22.85	17.78	-0.2666	0.8039	-0.5317	7.08
11	3.30	22.81	17.17	0.1485	0.9620	-0.2291	8.15	- 3.22	22.85	17.68	-0.1471	0.8733	-0.4644	7.85
LEVEL L3-L4														
1	3.69	19.73	29.96	-0.0361	0.9865	0.1598	4.58	- 3.99	19.73	29.79	-0.0030	0.9887	0.1498	5.05
2	13.70	19.71	20.06	0.5760	0.2550	-0.7760	1.87	-14.02	19.73	19.74	-0.5760	0.2550	-0.7760	2.04
3	9.84	20.00	27.31	-0.1340	0.8080	0.5740	5.49	-10.38	20.01	26.95	0.1340	0.8080	0.5740	5.70
4	12.13	19.89	24.25	0.3760	0.8700	-0.3220	6.59	-12.71	19.89	24.14	-0.3760	0.8700	-0.3220	7.11
5	3.92	20.00	22.53	-0.1335	0.9821	-0.1325	10.01	- 3.95	20.01	22.50	0.1465	0.9846	-0.0957	10.02
6	6.54	20.09	20.10	-0.3038	0.9267	-0.2211	4.89	- 6.53	20.01	20.88	0.1760	0.8428	-0.5086	4.35
7	7.15	20.17	18.68	0.7226	0.6796	-0.1266	1.54	- 7.24	20.18	19.09	-0.7350	0.6769	0.0402	1.67
8	0.69	20.19	18.76	-0.0557	0.9983	0.0139	0.84	- 1.02	20.16	19.16	0.0134	0.9985	-0.0537	0.79
9	1.52	20.24	17.77	-0.1228	0.9903	0.0652	4.40	- 1.94	20.17	18.81	0.1553	0.9839	-0.0888	4.53
10	5.52	20.18	18.06	0.0858	0.9633	-0.2543	7.02	- 5.26	20.13	19.06	-0.0211	0.9558	-0.2933	6.37
11	3.34	20.22	17.61	-0.1703	0.9798	-0.1049	6.52	- 3.50	20.17	18.63	0.3227	0.9290	-0.1815	6.23
LEVEL L4-L5														
1	3.45	14.72	29.31	0.1241	0.9873	0.0990	5.01	- 3.66	14.75	29.21	-0.1223	0.9887	0.0863	5.04
2	9.89	15.30	26.66	-0.1376	0.9281	-0.3459	2.24	-10.29	15.33	26.43	0.1394	0.9056	-0.4006	2.37
3	10.23	15.29	26.70	-0.0126	0.9414	-0.3371	4.24	-10.71	15.32	26.51	-0.0075	0.9243	-0.3816	4.44
4	10.78	15.35	26.29	0.1742	0.8781	-0.4457	4.46	-11.28	15.36	26.21	-0.1976	0.8693	-0.4531	4.65
5	4.47	16.35	23.25	-0.1560	0.9563	-0.2474	11.56	- 4.55	16.36	23.19	0.1684	0.9500	-0.2630	11.43
6	7.05	18.54	20.47	0.0000	0.0000	0.0000	2.78	- 6.87	18.36	21.87	0.0000	0.0000	0.0000	2.59
7	5.64	18.74	18.95	0.0000	0.0000	0.0000	0.70	- 5.67	18.74	19.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.77
8	0.69	17.44	19.40	0.0500	0.8951	-0.4430	0.66	- 0.90	17.23	20.04	-0.0790	0.8756	-0.4766	0.59
9	1.74	17.90	17.99	-0.0531	0.9545	-0.2935	5.21	- 1.98	17.87	18.49	-0.1822	0.8734	0.4517	5.29
10	5.18	17.77	18.53	0.2032	0.9739	-0.1014	6.38	- 5.13	17.47	19.60	-0.0867	0.9932	-0.0779	5.98
11	3.44	18.03	17.72	0.1469	0.9885	0.0352	5.27	- 3.69	17.90	18.42	-0.3029	0.8292	0.4699	5.20
LEVEL L5-S1														
1	2.76	10.20	28.94	0.1872	0.9806	0.0587	5.25	- 2.91	10.20	28.94	-0.2124	0.9770	0.0204	5.24
2	5.57	12.09	24.71	0.8445	0.1176	0.5225	1.35	- 5.85	12.11	24.65	-0.8513	0.1138	0.5121	1.47
3	5.57	12.09	24.71	0.8445	0.1176	0.5225	1.35	- 5.85	12.11	24.65	-0.8513	0.1138	0.5121	1.47
4	5.57	12.09	24.71	0.8445	0.1176	0.5225	1.35	- 5.85	12.11	24.65	-0.8513	0.1138	0.5121	1.47
5	4.79	12.47	23.86	-0.0059	0.9983	-0.0581	11.65	- 4.99	12.43	23.94	0.0503	0.9927	-0.1092	11.32
6	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
8	0.35	13.97	20.48	0.1231	0.9732	-0.1942	0.27	- 0.42	13.80	20.86	-0.1775	0.9841	-0.0109	0.27
9	1.68	15.14	17.86	0.0614	0.9672	0.2466	4.09	- 1.66	15.19	17.73	-0.0741	0.9833	0.1663	4.00
10	3.91	15.09	17.95	0.5087	0.7935	0.3340	4.80	- 4.00	14.82	18.56	-0.4859	0.6371	0.5403	4.30
11	2.74	15.27	17.55	0.2874	0.9554	0.0680	3.97	- 2.81	15.23	17.65	-0.2933	0.9446	0.1473	4.16

Table 6. 국부 좌표계에서의 각각의 추간판 level에서의 근육별 방향성분, 좌표, 단면적

LEFT AND RIGHT MUSCLES W.R.T LOCAL AXIS												
NO	XL	ZL	l	m	n	AREA	XR	ZR	l	m	n	AREA
LEVEL T12-L1												
1	3.36	11.69	-0.0783	0.9462	0.3034	4.95	- 3.42	11.52	0.2412	0.9160	0.3093	5.39
2	7.12	5.60	0.0387	0.9909	0.1284	3.01	- 7.55	5.53	0.1758	0.9501	0.2501	2.80
3	7.36	5.44	-0.1074	0.9697	0.2139	3.32	- 7.52	5.50	0.1608	0.9481	0.2657	3.14
4	7.39	5.47	-0.1199	0.9709	0.2023	3.35	- 7.74	5.51	0.1812	0.9468	0.2576	3.23
5	1.87	-0.29	-0.4058	0.8923	0.1929	1.66	- 1.82	- 0.29	0.4284	0.8634	0.2577	1.37
6	3.58	-2.37	-0.4117	0.8581	0.2961	1.36	- 3.38	- 2.44	0.4556	0.8324	0.3039	1.27
7	10.53	-3.69	-0.1271	0.9914	-0.0233	4.11	-10.60	- 3.41	-0.0060	0.9657	0.2520	4.15
8	0.10	-0.41	-0.0081	0.9999	0.0157	0.18	- 0.08	- 0.40	0.0087	0.9999	0.0199	0.15
9	1.23	-4.59	-0.0434	0.9987	0.0310	2.26	- 1.08	- 4.59	0.0582	0.9949	0.0847	2.31
10	6.24	-5.25	0.0834	0.9925	0.0905	6.10	- 6.37	- 5.21	0.1587	0.9860	0.0550	5.98
11	3.56	-4.91	-0.1369	0.9822	0.1279	8.35	- 3.28	- 4.96	0.0864	0.9885	0.1234	7.94
LEVEL L1-L2												
1	3.61	10.16	-0.0517	0.8792	0.4547	4.94	- 3.77	10.02	-0.0469	0.8914	0.4332	5.38
2	8.04	6.05	-0.4605	0.8285	-0.2978	2.11	- 8.53	5.85	0.3282	0.8641	-0.3573	2.02
3	9.28	4.80	-0.6950	0.7115	0.1026	3.61	- 9.54	4.78	0.6978	0.7106	0.0894	3.33
4	9.54	4.53	-0.7226	0.6590	0.2022	4.35	- 9.94	4.65	0.7199	0.6787	0.1418	3.99
5	2.87	-0.69	-0.1482	0.9889	0.0129	3.87	- 2.88	- 0.81	0.1427	0.9898	0.0050	3.41
6	4.61	-2.97	-0.1422	0.9898	0.0117	2.86	- 4.39	- 2.94	0.0732	0.9945	-0.0650	2.67
7	10.25	-3.75	0.2635	0.9631	0.0576	3.02	-10.20	- 3.83	-0.2160	0.9763	-0.0105	2.95
8	0.26	-1.38	-0.0728	0.8809	0.4491	0.29	- 0.23	- 1.42	0.0710	0.8723	0.4643	0.27
9	1.35	-4.73	-0.0264	0.9987	0.0469	3.05	- 1.22	- 4.72	0.0262	0.9996	-0.0013	3.12
10	6.13	-5.47	-0.0180	0.9994	0.0328	6.75	- 6.38	- 5.28	-0.1402	0.9899	-0.0129	6.67
11	3.64	-5.24	0.0807	0.9952	0.0579	8.78	- 3.43	- 5.19	0.0054	1.0000	0.0082	8.48
LEVEL L2-L3												
1	3.66	8.28	0.0208	0.9649	0.2581	4.76	- 3.84	8.15	0.0597	0.9573	0.2790	5.13
2	13.45	-0.88	-0.5052	0.1863	0.8275	1.67	-13.67	- 1.04	0.5056	0.1829	0.8281	1.75
3	10.24	5.22	0.3041	0.8845	-0.3464	4.46	-10.66	5.03	-0.2619	0.9213	-0.2809	4.29
4	12.23	2.28	-0.2872	0.7683	0.5626	6.05	-12.68	2.38	0.3127	0.7267	0.6015	6.07
5	3.41	-0.66	-0.1546	0.9798	-0.1230	6.88	- 3.41	- 0.70	0.1575	0.9732	-0.1633	6.63
6	5.45	-3.08	-0.3606	0.9313	-0.0497	3.79	- 5.36	- 2.91	0.4791	0.8768	-0.0386	3.42
7	9.22	-4.16	0.3651	0.9266	0.0893	2.12	- 9.30	- 3.76	-0.3233	0.9359	-0.1366	2.16
8	0.51	-3.22	-0.0627	0.8993	0.4260	0.61	- 0.69	- 3.11	0.1904	0.9260	0.3212	0.61
9	1.37	-4.92	0.0149	0.9990	-0.0406	3.67	- 1.49	- 4.46	0.1532	0.9448	-0.2831	3.67
10	5.90	-5.35	0.1911	0.9506	-0.2391	7.61	- 5.71	- 4.76	-0.2666	0.8682	-0.4098	7.08
11	3.30	-5.37	0.1485	0.9841	-0.0943	8.15	- 3.22	- 4.86	-0.1471	0.9280	-0.3350	7.85
LEVEL L3-L4												
1	3.69	6.89	-0.0361	0.9925	0.1163	4.58	- 3.99	6.72	-0.0030	0.9943	0.1063	5.05
2	13.70	-3.00	0.5760	0.2209	-0.7849	1.87	-14.02	- 3.33	-0.5760	0.2209	-0.7849	2.04
3	9.84	4.23	-0.1340	0.8323	0.5372	5.49	-10.38	3.87	0.1340	0.8323	0.5372	5.70
4	12.13	1.17	0.3760	0.8551	-0.3590	6.59	-12.71	1.07	-0.3760	0.8551	-0.3590	7.11
5	3.92	-0.55	-0.1335	0.9754	-0.1749	10.01	- 3.95	- 0.58	0.1465	0.9795	-0.1383	10.02
6	6.54	-2.98	-0.3038	0.9162	-0.2608	4.89	- 6.53	- 2.20	0.1760	0.8198	-0.5439	4.35
7	7.15	-4.40	0.7226	0.6734	-0.1559	1.54	- 7.24	- 3.99	-0.7350	0.6780	0.0106	1.67
8	0.69	-4.32	-0.0557	0.9980	-0.0296	0.84	- 1.02	- 3.92	0.0134	0.9952	-0.0970	0.79
9	1.52	-5.32	-0.1228	0.9922	0.0219	4.40	- 1.94	- 4.27	0.1553	0.9791	-0.1314	4.53
10	5.52	-5.02	0.0858	0.9513	-0.2956	7.02	- 5.26	- 4.02	-0.0211	0.9421	-0.3341	6.37
11	3.34	-5.47	-0.1703	0.9743	-0.1469	6.52	- 3.50	- 4.46	0.3227	0.9202	-0.2214	6.23
LEVEL L4-L5												
1	3.45	6.40	0.1241	0.9771	-0.1699	5.01	- 3.66	6.29	-0.1223	0.9750	-0.1816	5.04
2	9.89	3.68	-0.1376	0.7994	-0.5499	2.24	-10.29	3.45	0.1394	0.7628	-0.5926	2.37
3	10.23	3.72	-0.0126	0.8145	-0.5456	4.24	-10.71	3.53	-0.0075	0.7860	-0.5807	4.44
4	10.78	3.32	0.1742	0.7241	-0.6255	4.46	-11.28	3.24	-0.1976	0.7136	-0.6298	4.65
5	4.47	0.12	-0.1560	0.8532	-0.4697	11.56	- 4.55	0.06	0.1684	0.8429	-0.4819	11.43
6	7.05	-3.15	0.0000	0.0000	0.0000	2.78	- 6.87	- 1.75	0.0000	0.0000	0.0000	2.59
7	5.64	-4.67	0.0000	0.0000	0.0000	0.70	- 5.67	- 4.61	0.0000	0.0000	0.0000	0.77
8	0.69	-3.88	0.0500	0.7413	-0.6275	0.66	- 0.90	- 3.21	-0.0790	0.7134	-0.6523	0.59
9	1.74	-5.36	-0.0531	0.8390	-0.5102	5.21	- 1.98	- 4.87	-0.1822	0.9632	0.1733	5.29
10	5.18	-4.81	0.2032	0.9098	-0.3445	6.38	- 5.13	- 3.70	-0.0867	0.9347	-0.3287	5.98
11	3.44	-5.66	0.1469	0.9610	-0.2270	5.27	- 3.69	- 4.95	-0.3029	0.9256	0.2010	5.20
LEVEL L5-S1												
1	2.76	7.41	0.1872	0.9197	-0.3205	5.25	- 2.91	7.41	-0.2124	0.9008	-0.3477	5.24
2	5.57	2.78	0.8445	0.3200	0.3472	1.35	- 5.85	2.72	-0.8513	0.3123	0.3408	1.47
3	5.57	2.78	0.8445	0.3200	0.3472	1.35	- 5.85	2.72	-0.8513	0.3123	0.3408	1.47
4	5.57	2.78	0.8445	0.3200	0.3472	1.35	- 5.85	2.72	-0.8513	0.3123	0.3408	1.47
5	4.79	1.85	-0.0059	0.8884	-0.4144	11.65	- 4.99	1.94	0.0503	0.8625	-0.4506	11.32
6	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
7	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
8	0.35	-1.85	0.1231	0.8101	-0.5069	0.27	- 0.42	- 1.43	-0.1775	0.8946	-0.3738	0.27
9	1.68	-4.72	0.0614	0.9839	-0.1749	4.09	- 1.66	- 4.86	-0.0741	0.9659	-0.2409	4.00
10	3.91	-4.62	0.5087	0.8608	-0.0450	4.80	- 4.00	- 3.95	-0.4859	0.8474	0.1489	4.30
11	2.74	-5.05	0.2874	0.9004	-0.3042	3.97	- 2.81	- 4.94	-0.2933	0.9228	-0.2408	4.16

한 관련성이 있기 때문이다.

CT 화상은 일반적으로 인체가 서있는 자세에 반하여 반듯이 누운 자세로부터 얻어졌다. 이런 CT 화상의 특징 때문에 L5와 S1을 제외한 다른 부분에서의 기하학적 자료를 보다 쉽게 얻을 수 있다. L5와 S1에서의 CT 화상은 Quadratus가 시작하는 장골의 아래 부분까지 촬영이 된다.

평균 국부 좌표계 값(Table. 3)과 전체 좌표계 값(Table. 4)을 통하여 각 등뼈와 그 등뼈의 수평 CT 화상에 나타난 근육들 상호간의 위치의 흐름 파악과 단면적과 중심 위치를 알 수 있다. 이 자료를 통하여 보면, Quadratus, Latissimus Doc.가 다른 근육에 비하여 그 길이가 짧음을 알 수 있다.

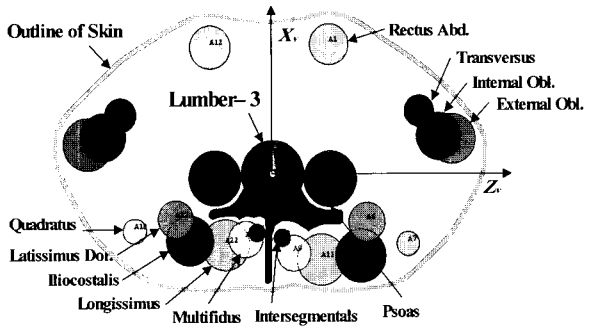

Fig. 9. L3에서의 일반 좌표계에 대한 근육의 단면도

Table들을 통하여 단면적을 비교해 보면, Rectus Abd., Latissimus Doc., Longissimus와 Iliocostalis가 다른 근육에 비해 큰 것을 알 수 있고, 또 Fig. 8을 통하여 보면 이들 근육들이 등쪽과 복부쪽에 분포한다는 것을 알 수 있는데, 이것은 허리에 가해지는 힘의 대부분이 이들 근육에 가장 큰 영향을 미치는 것을 보여 준다고 하겠다. 그리고 Longissimus와 Iliocostalis는 직립 근육이라고 불리운다. 다른 근육에 비하여 Intersegmentals와 Quadratus는 그 단면적이 상당히 작은 것을 알 수 있다. 이것은 앞의 근육에 비하여 작은 영향을 미친다고 할 수 있다.

Rectus Abd., Latissimus Doc., Longissimus, Miocostalis와 Latissimus Dor.은 다른 근육에 비하여 전 부분에서 쉽게 구분을 할 수 있다. External Obl., Internal Obl.와 Transversus는 T12와 L1, L4와 S1사이에서는 구분이 쉽지 않다. 그리고 다른 근육에 비하여 Transversus는 상당히 굴곡이 심하며 옆구리쪽에서부터 등쪽으로 감싸않은 듯이 넓은 범위에 걸쳐서 뻗어 있다. Fig. 1에서는 External Obl., Internal Obl.와 Transversus는 띠모양으로 형성되어 있는데 반하여, Fig. 8와 9에서는 각각의 중심 위치를 측정하고 그 것을 중심으로 계산에 용이성을 제공하기 위하여 원통형으로 이상화하여 표현을 해 다른 근육에 비하여 자료의 활용도 면에 있어서 떨어진다고 할 수 있다.

Psoas는 T12-L2까지는 단면적의 크기 변화가 없다가 L3이후부터는 단면적이 다른 근육에 비하여 상당히 크지는 것을 Table을 통하여 알 수있다. 그리고, L3-4에서 External Obl.와 Internal Obl.의 단면적이 다른 부분에서와는 달리 Transversus에 비하여 크게 나타난다.

Fig. 8, 9와 Table들을 통하여 보면, 하위 요추 부분(L3~L5)에서는 근육의 구분이 다른 부분에 비하여 쉽게 할 수 있다. 이것은 본질적으로 CT 화상을 통한 하위 요추 부분 근육의 정확한 기하학적 자료를 얻는데 대한 용이성을 제공한다는 것을 말하며, 그리고 이 부분은 다른 요추에 비하여 요통의 발생에 많은 연관성이 있는 부분이다.

추간판을 기준으로 한 전체 좌표계 값(Table. 5)과 국부 좌표계 값(Table. 6)을 통하여 방향 코사인과 기타 자료를 통하여 각 근육의 뻗은 형태와 허리의 움직임에 대한 각 등뼈와 그 근육들의 움직임을 예상할 수 있으며, 이 움직임을 통하여 각 등뼈와 그 근육들에 걸리는 축 방향 압축과 팽창에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그리고 이 자료를 통하여 L3와 L4 사이의 거리가 가장 먼 것을 알 수 있다. 그리고 Table. 2에서 등뼈의 기울기를 보면 T12에서 L2까지의 등뼈의 기울기가 유사하다 L3와 L4에서 큰 기울기로 꺽이고, 다시 L5에서 S1까지는 완만함을 보여준다. 이것은 이 두 요추(L3-4)와 L2와 L5 사이에 있는 추간판이 허리의 움직임에 가장 민감하게 반응한다는 것을 말해준다.

이상에서와 같이 허리 부위의 이와 같은 기하학적 자료를 통하여 수학적, 물리학적 이론을 근거로 많은 것을 추론해 낼 수 있다. 기하학적 자료는 요통환자를 위한 새로운 수술 방법이나 기기의 개발을 위하여 척추의 동작을 조절하는 주요 근육이나, 그의 신체적, 역학적 역할 및 척추관절을 구성하는 추간판 내의 응력 해석, 즉 동적 운동 시의 추간판에 발생하는 복합적 응력 분포의 성향, 주요 근육들의 생리학적 역할, 시간에 따른 근육피로에 의한 척추부하의 변화 등과 같은 연구에 기초자료로서의 기능을 제공한다.

참 고 문 헌

1. Dumas GA, Poulin MJ, Roy B, Gagnon M, Jovanovic M : A three-dimensional digitization method to measure trunk muscle lines of action. Spine 13:532-541, 1988
2. Goel VK, Han JS, Ahn AY, et al. : A Comprehensive Model to Estimate Forces in Spinal Structures During Dynamic Lifting. 38th Orthopedic Research Society, Washington, D.C, Feb. 17-20, 1990
3. Han JS, Ahn JY, Geol VK, Takeuchi R, McGowan D : CT-based geometric date of human spine musculature. Part I : Japanese patients with chronic low back pain. Spine 14:448-458, 1992
4. Han JS, Goel VK, Ahn JY, Winterbottom J, McGowan D, Weinstein J, Cook T : Loads in the spinal structures during lifting : Developerment of a three-

dimesional comprehensive biomechanical model. European Spine Journal 1-16, 1995
5. Han JS, Goel VK, Kumer S : A nonlinear optimization force model of the human lumber spine, Int j Ind Ergon 8:289-301, 1991
6. Kumer S : Moment arms of spinal musculature determined from CT scans. Clin Biomech 3:137-144, 1988
7. Magora A : Investigation of the relation between low back pain and occupation. Industrial Medicine, 39:465-471, 1970A
8. Magora A : Investigation of the relation between low back pain and occupation, 2. Work History. Industrial Medicine, 39:504-510, 1970B
9. Marras WS, Sommerich CM : A three- dimensional motion model of loads on the lumber spine, Part I: Model structure. Human Factors, 33:129-137, 1991A
10. Marras WS, Sommerich CM : A three- dimensional motion model of loads on the lumber spine, Part II: Model validation. Human Factors, 33:139-149, 1991B
11. McGill SM, Patt N, Norman RW : Measurement of the trunk musculature of active males using CT scan radiography, implications for force and moment generating capacity about the L4/L5 joint. J Biomech 21:329-341, 1988
12. Nemech G, Ohlsen H : Moment arm lengths of trunk muscles to the lumbosacral joint obtained in vivo with computed tomography. Spine 11:158-160, 1986
13. NIOSH : A work practices guide for manual lifting. National Institute for Occupational Safety and Health. Taft Industries, Cincinnati, OH., 1981
14. Nemeth G, Ohlsen H : Moment arm lengths of trunk muscles to the lumbosacral joint obtained in vivo with computed tomography. Spine 11:273-275, 1987
15. Kumar S : Moment arms of spinal musculature determined from CT scans. Clin Biomech. 3:137-144, 1988