

전신 기울임 운동시 축 회전 유무에 따른 체간근 활성화도 변화

Changes of Muscle Activation Pattern of Trunk Muscles during Whole-body Tilts with and without Axial Rotation

김솔비¹, 장윤희^{1,✉}, 김신기¹, 배태수¹, 문무성¹, 박종철²
Sol Bi Kim¹, Yun Hee Chang^{1,✉}, Shin Ki Kim¹, Tae Soo Bae¹, Mu Seong Mun¹, and Jong Chul Park²

¹ 근로복지공단 재활공학연구소 (Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering)

² 스트라텍 (StraTek)

✉ Corresponding author: yhchang@korec.re.kr, Tel: 032-500-0773

Manuscript received: 2011.10.18 / Accepted: 2012.4.13

Determining of the exercise intensity is very important in terms of induction of low fatigue during exercise. Little information is available on the contraction level of the trunk muscles during whole body tilts with and without axial rotation. This study was to investigate the difference muscle activation level according to axial rotation. Twenty subjects were participated. The muscle activities of the five trunk muscles were bilaterally measured at eight axial rotation angles with 12 tilt angles along 15° intervals. The results showed that tilt with 45° axial rotation was more balanced in the same tilt angle and was maintained approximately level of 40% MVC at over 60° tilt angle with respect to co-contraction of abdominal and back muscle. Lumbar stabilization exercise using whole body tilts would be more effective with axial rotation than without axial rotation in terms of muscle co-contraction.

Key Words: Axial Rotation (축 회전), Lumbar Stabilization Exercise (요부 안정화 운동), Muscle Co-contraction (근육 동시수축), Whole Body Tilt (전신 기울임)

1. 서론

요통은 통증 및 일상생활동작의 제한과 함께 치료를 위한 많은 경제적 비용을 동반하게 되므로 요통을 예방하고 치료 및 재발방지를 위한 운동은 매우 중요하다.^{1,2} 요부안정화 운동은 지난 20 여 년 동안 허리근육 강화 및 만성요통의 치료를 위해 강조되었으며, 많은 선행연구들을 통해 그 효과에 대한 다양한 검증들이 이루어졌다.^{3,4} Bergmark⁵ 등은 척추에 직접 부착되어 있는 소근육(local muscle)의 역할을 강조하였고, 특히 다열근의 강화를 주장한 반면, Panjabi⁶ 등은 척추의 전반적인 안정화를 담당하는 대근육(global muscle)의

역할을 강조하였다. 그러나 최근 Cholewicki와 McGill⁴ 등의 다수의 연구에서 척추의 안정성은 특정 단일근육의 작용보다는 척추 주변 근육들의 동시수축(co-contraction)을 통한 안정화가 매우 중요하다고 보고하였다.

척추 기능장애의 대부분은 척추의 오정렬, 불안정성, 운동패턴의 손상에 의해 축적되는 미세외상(micro trauma)의 결과로 인해 발생되므로, 척추 주변 근육의 균형 잡힌 등척성 지지와 함께 몸통 근육에 의한 척추 조절력 강화는 미세 손상을 예방할 수 있다고 하였다.⁷ 이러한 이론을 배경으로 최근 임상에서 많이 사용되고 있는 요부 안정화 기구(lumbar stabilization exerciser)는 3 차원 공간상

에서 항중력 자세를 유지하며 신체의 기울임과 다양한 각의 회전을 통해 특정 근육을 활성화시켜 요부의 근력을 강화하는 방법으로 널리 사용된다.^{8,9} 이는 척추 자세유지근(postural muscle) 및 심부 근육을 강화하는데 효과적이라 알려져 있으며, 척추의 움직임 없이 척추부 근육의 등척성 수축을 유발하므로 미세수해제거술 후 조기 재활치료에도 널리 활용되고 있다. Anders⁹ 등은 신체 기울임(whole-body tilt)을 통한 근활성도 분석 연구에서 전면 기울기에서는 요부 신전근(lumbar extensor), 후면 기울기에서는 복근(abdominal muscle), 측면 기울기에서는 내/외복사근(internal/external oblique)의 활동이 우수하다고 하였지만, 임상에서의 정확한 훈련 프로토콜을 제시하기 위해서는 좀 더 구체적인 기울기 각도에서의 근육 사용 패턴에 대한 연구가 필요하다.

Cholewicki와 McGill⁴은 요통 환자의 근력 강화 훈련은 최대 자발적 수축(MVC, Maximal Voluntary Contraction)의 25% 정도 수준에서 낮은 강도로 요부 주변 근육의 균형 있는 동시수축을 유도하는 것이 효과적이라고 제안하였다. 이런 측면을 고려할 때 각 기울기 및 회전각도에서의 근육 사용 패턴과 활동 수준(muscle activity)에 대한 연구는 운동 프로그램 계획에 있어 무엇보다 중요하다.

3 차원 요부 안정화 기구의 특성상 단순히 전후면 기울기 각도에 따른 요추부 근육의 사용 패턴과 전후 기울임 상태에서 회전이 부가되었을 때 발생하는 근육의 활성도 및 사용패턴에는 차이가 있을 것이다. 따라서 본 연구는 요부의 효과적인 운동각도 선정을 위해 전후면 기울임 상태에서 회전이 부가되었을 때 동일 각도선 상에서 회전여부에 따른 근육의 활성도 및 사용 패턴에 대한 차이를 알아보고자 한다.

2. 연구방법

2.1 대상자

본 연구는 정상 성인 남성 20 명을 대상으로 실시하였으며(평균연령 22.7 세±0.95, 평균신장 1.74m±0.07, 평균체중 64.20kg±7.24), 선정 기준은 근골격계 질환 및 요통에 대한 경험이 없는 자로 하였다. 이들에게 실험에 대한 충분한 설명을 하고 연구 동의서에 서명한 후 실험에 임하였다.

2.2 실험장비

실험에 사용된 장비는 Size Korea 인체 치수를 기반으로 하여 3 차원 공간에서 전신의 기울임 및 회전이 가능하도록 지그를 제작하였다.(Fig. 1)

본 실험장비는 중립상태의 기립자세(upright position)로 부터 각 전후 방면으로 최대 90° 기울임 및 360° 회전이 가능하도록 설계함으로써 3 차원상에서 다방면의 전신 기울임이 가능하도록 제작하였다. 제작된 지그는 15° 간격으로 전방/후방 90°까지 기울임이 가능하며, 각 전후방 기울임 각도에서 45° 간격으로 360° 회전이 가능하도록 설계하였다. 지그 내에서 대상자의 발목, 대퇴부, 고관절 부분은 고정부에 의해서 고정되었고, 나머지 체간 부위는 지지되지 않은 상태로 기립자세를 유지할 수 있도록 하였다. 경사면의 기울기 및 회전 각도에 따라 피검자는 몸을 중립 상태로 유지할 수 있어야 하며, 체간의 기립을 유지하는 동안 팔의 움직임에 의한 광배근(latissimus dorsi)의 활동을 배제하기 위하여 양팔을 가슴에서 교차시켜 고정된 후 실시하였으며, 모든 동작은 검사자에 의해 정확하게 조절되었다. 기울임 각도는 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° 전/후방 방면으로 실시하였으며, 각 전후방 6 개의 기울임 각도에서 좌우 회전(±45°, ±90°)을 각각 실시하였다.

2.3 표면 근전도

표면 근전도(sEMG, Surface Electromyography)는 Telemyo 2400T/R (Noraxon, USA)를 이용하여 척추의 안정성에 관여하는 척추 유지근들 중 표면 근전도로 측정이 가능한 5 개의 표재근, 즉 복직근(Rectus Abdominis), 외복사근(External Oblique), 내복사근(Internall Oblique), 척추기립근(Erector Spinae), 다열근(Multifidus)을 선택하여 실험하였다.⁹

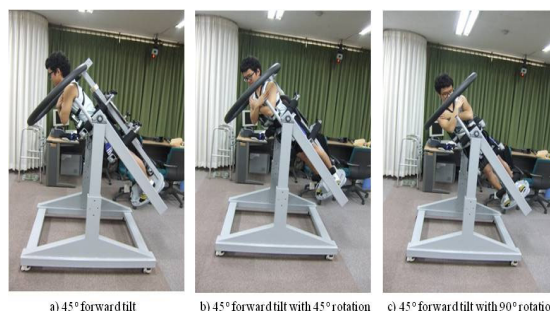


Fig. 1 Schematic demonstrations of an example of whole body tilts and tilt with axial rotation

전극은 Disposable Ag-AgCl electrodes (Noraxon, USA)를 사용하였으며, 전극부착위치는 SENIAM 프로젝트에서 제시한 방법을 이용하여, 체간부 양측 5 개 근육의 벨리(Muscle belly)에 부착하였다.¹⁰

Raw sEMG 는 FIR band pass (10Hz~450Hz) 를 사용하여 필터링(filtering) 하였고, RMS 300ms 로 평활화(smoothing) 처리하였다. 샘플링 주파수 (sampling frequency)는 1000Hz 이며, 해당 실험을 반복 측정하였다.

2.4 실험절차 및 분석방법

연구대상자는 실험하기에 적절한 반바지와 셔츠로 갈아입었으며, MVC 는 등척성 도수 근육 검사 (Isometric Manual Muscle Test)로 3 회 측정하였다.¹¹

측정 간 30 초의 휴식 시간을 가졌으며, MVC 는 3 회 측정 후 그 중 최고값을 사용하였다.

MVC 측정 후 10 분 정도의 휴식 시간을 가진 후 본 실험에 임하였다. 대상자는 제작된 지그 위에서 기립자세를 취하였으며, 각도 선정은 실험순서에 의한 편향성을 배제하기 위해 무작위로 실시하였다. 선정된 각도에서 기립자세를 10 초 정도 유지하였으며, 각 순서마다 30 초의 휴식 시간을 두었다. 근활성도 측정단위는 %MVC 를 사용하였으며, %MVC 는 실험을 수행하는 동안 측정된 근수축값(μV)의 최고 또는 평균값을 등척성 도수근육검사동안 측정된 최대 근수축값으로 나눈 다음 100 을 곱하여 정규화(normalization)한 것이다.

본 연구는 통계 프로그램 (SPSS ver. 12.0, SPSS Inc.,USA)을 사용하였다. 각 전후면 기울기 및 회전각에 대한 근육 활성도의 차이를 분석하기 위해 반복 측정 분산분석(repeated measured ANOVA)을

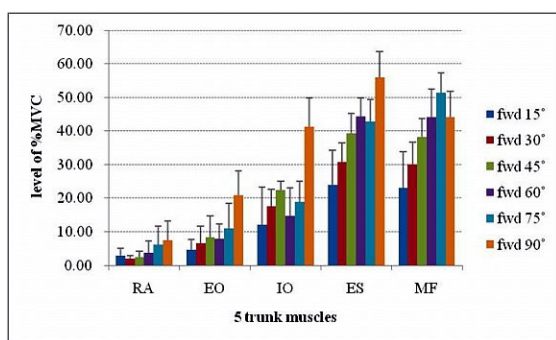


Fig. 2 Changes in the % MVC level of 5 trunk muscles due to increased forward tilt angle. Fwd indicates forward

Table 1 Result of the Repeated Measures ANOVA for %MVC of the SEMG of 5 trunk muscle during whole body tilt and 45 ° axial rotation

	Forward tilt		Backward tilt		Tilt with 45° axial rotation	
	F	P	F	P	F	P
RA	2.934	<0.05	33.189	<0.001	6.811	<0.001
EO	3.214	<0.05	3.805	<0.01	3.502	<0.05
IO	1.706	NS	3.228	<0.05	1.662	NS
ES	3.959	<0.01	1.888	NS	4.178	<0.05
MF	3.621	<0.01	3.754	<0.01	5.337	<0.01

NS indicates not significant (RA, Rectus Abominis; EO, External Oblique; IO, Internal Oblique; ES, Erector Spinae; MF, Multifidus)

실시하였으며, 유의성에 대한 사후 검정은 Bonferroni 검정을 실시하였다. 통계적 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

3. 결과

3.1 전방 기울임

본 연구에 제시된 각 근육의 %MVC 값은 척추를 중심으로 양측의 평균값을 사용하였다. 전방기울임에서 각도가 증가할수록 다열근과 척추기립근의 활성도가 증가하였으며, 반복측정 분산분석의 다변량 검정 결과 전방기울임 각도 변화에 따라 내복사근을 제외한 4 개 근육의 활성도가 유의하게 변화하였음을 알 수 있었다. (Table 1) 전방기울임 60°, 75°에서 다열근과 척추기립근의 근활성도는 40%MVC 를 초과하며, 90°에서는 다열근보다 척추기립근의 활성도를 증가시켰다. (Fig. 2)

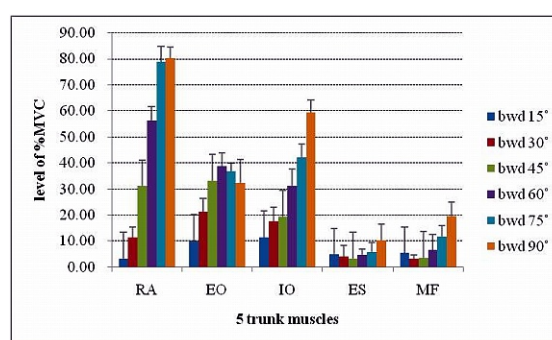


Fig. 3 Changes in the % MVC level of 5 trunk muscles due to increased backward tilt angle. Bwd indicates backward

Table 2 Comparison of 5 muscle activities (%MVC) between whole body tilts (>60°) with and without 45°, 90° axial rotation in the forward and backward directions, respectively

	Muscle (%MVC)	Axial rotation angle (°)			Mean difference		
		0° (1)	45° (2)	90° (3)	(1)-(2)	(1)-(3)	(2)-(3)
Fwd 60°	RA	3.74±3.48	4.38±3.67	10.11±4.33	-0.64	-6.37***	-5.73***
	EO	7.84±4.37	11.02±7.17	25.81±10.79	-3.18	-17.97***	-14.79***
	IO	14.81±8.18	13.79±7.02	21.80±10.94	1.02	-6.99*	-8.01***
	ES	44.35±13.54	34.50±10.40	16.07±5.77	9.85***	28.28***	18.43***
	MF	44.17±18.22	35.44±11.13	15.51±7.25	8.73*	28.66***	19.93***
Fwd 90°	RA	7.57±5.58	12.63±11.04	27.57±21.57	-5.06**	-20.00***	-14.94***
	EO	20.95±19.23	36.44±35.95	44.66±25.62	-15.49**	-23.71**	-8.22
	IO	41.28±34.61	31.20±25.97	26.96±14.42	10.08***	11.32*	1.24
	ES	55.95±30.81	44.21±18.68	19.42±3.68	11.74**	36.53***	24.79***
	MF	44.08±17.69	39.38±10.95	22.91±14.78	4.70	21.17***	16.47***
Bwd 60°	RA	56.27±22.32	33.05±11.41	10.11±4.33	23.22**	46.16***	22.94***
	EO	38.80±22.01	36.16±16.59	25.81±10.79	2.64	12.99*	10.35*
	IO	31.11±18.63	22.49±7.92	21.80±10.94	8.62*	9.31	0.69
	ES	4.50±2.46	4.75±2.72	16.07±5.77	-0.25	-11.57***	-11.32***
	MF	6.68±5.87	5.94±3.02	15.51±7.25	0.74	-8.83***	-9.57***
Bwd 90°	RA	80.18±12.31	54.37±14.67	27.57±21.57	25.81***	52.61***	26.80***
	EO	32.20±9.17	43.64±19.06	44.66±25.62	-11.44**	-12.46*	-1.02
	IO	59.30±44.80	36.10±19.34	26.96±14.42	23.20*	29.34***	6.14**
	ES	10.27±6.35	11.23±4.69	19.42±3.68	-0.96	-9.15***	-8.19***
	MF	19.65±15.32	11.16±9.25	22.91±14.78	8.49***	-3.26*	-11.75***

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

3.2 후방 기울임

반복분산분석 결과 후방기울임 각도 변화에 따라 척추기립근을 제외한 4 개 근육의 활성도가 유의하게 변화하였으며, (Table 1) 후방기울임에서는 복직근과 내외복사근의 활성도가 신전근에 비해 우세하였다. 후방기울임 60° 이상에서는 복근의 활성도가 60%MVC 이상으로 급격히 증가하며, 75°, 90°각도에서는 최대 80%MVC 수준까지 증가한다. (Fig. 3)

3.3 축회전 후방기울임

후방기울임에서는 요부 신전근에 비해 복근의 활성도가 상대적으로 우세하다. 후방기울임 60° 에서 45° 축회전 시 복근의 활성도는 30-40%MVC 수준으로 감소하지만 척추기립근 및 다열근의 근 활성도는 10%MVC 의 낮은 수준을 나타낸다. (Table 2)

4. 토론

본 연구는 요부 안정화 기기의 효과적인 훈련 계획수립을 위해 전후방 기울임 및 축회전에 대한 근전도 값을 측정하여 회전 유무에 따른 체간근육의 활동 패턴과 수축레벨을 제시하고자 하였다.

4.1 전후방기울임

전후방 기울임에 대한 5 개 체간근 활성도는 기존연구와 유사하였으며, 전방기울임에서는 다열근 및 척추기립근, 후방기울임에서는 복직근 및 내외복사근의 활동이 우세하였다.^{9,12,13} Hoffer 와 Andressen¹⁴ 에 의하면 25%MVC 수준의 근수축이 관절의 최대 강직을 제공한다고 하였으며, McArdle¹⁵ 등은 근육의 지속적인 수축을 유도하기 위해서는 30-40%MVC 수준의 저항도 수축을 유도해야 한다고 하였다. 본 연구결과에서 전후방 기울임이 60° 이상이 되면 각각 요부신근과 복근의

활성도가 40%MVC 를 초과하게 되며, 특히 후방기울임에서는 복직근의 활성도가 최대 80%MVC 수준까지 증가하게 된다. 전후방기울임이 증가함에 따라 체간부 등배근과 복근 활성도의 과도한 수축 양극화 현상은 편측의 과도한 근수축으로 인해 더 쉽게 근피로를 유발할 수 있으며, 특히 다열근이 약한 요통환자들에게는 오히려 근피로를 유발하여 지속적인 훈련을 하지 못하는 문제를 유발할 수 있으며, 나아가 운동으로 인한 2 차적인 손상 가능성도 제기된다.¹⁶ 과도한 후방기울임에서는 요통환자보다는 복근의 집중적인 강화를 필요로 하는 그룹에게 적용하는 것이 효과적일 것이다. 또한 연구결과에서 90° 전방기울임에서 다열근보다 척추기립근의 활동이 과도하게 증가한 것은 중력에 수직으로 대항하는 자세에서는 오히려 소근육보다 대근육의 활동이 우세하다는 것을 의미하며, 90°의 과도한 전방기울임은 대근육 강화에 효과적일 것이라 사료된다.

4.2 축회전 전후방기울임

전방기울임 상태에서 45° 축회전을 실시한 결과 전방기울임이 증가할수록 다열근과 척추기립근의 활성도는 감소하고, 복근의 활성도는 증가함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 회전을 동반하지 않은 전방기울임보다 45° 축회전 상태에서 기울임 각도를 증가시키는 것이 체간부 편측의 과도한 근수축을 감소시키고 체간부 전후 근육의 조화로운 근수축을 유도할 수 있다는 점에서 장점이 될 것으로 사료된다. 다수의 선행연구에서 주장하였던 지속적이면서도 저강도의 동시수축 유도가 운동에 효과적이라는 측면에서 볼 때 축회전이 없는 전후방 기울임보다 축회전을 동반한 3 차원 요부 안정화 운동이 더 효과적일 것이라 생각된다.^{4,15,16} 또한 회전이 없는 60° 전방기울임에서 다열근과 척추기립근의 활성도는 40%MVC 이상이 된다. 반면에 45° 축회전을 실시할 경우 90° 를 제외한 모든 각도에서 40%MVC 수준을 유지함을 볼 수 있다. 또한 회전이 없을 경우 상대적으로 약했던 복근의 활성도도 유의하게 증가함으로써 어느 정도 복근과 요부신전근의 대칭적인 수축 면에서도 효과적일 것이라 사료된다. 전후방기울임에서 90° 축회전은 선행연구에서처럼 복부 측면에 위치한 내외복사근의 활동성이 우세하므로 90° 축회전은 척추측만증 등으로 인한 편측 근육의 강화를 목적으로 운동할 때 효과적일 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 3 차원 요부 안정화 기기를 이용하여 전후방 기울임시 축회전 유무에 따른 근활성도 정도를 평가하여 효과적인 척추안정화 운동방법을 제시하고자 하였다. 연구결과 회전이 없는 기울임보다 45° 축회전을 부가한 전후방기울임 상태에서 복근과 요부신전근의 수축 비율이 보다 대칭적으로 나타났으며, 60° 이상의 전후방기울임에서 나타난 40% MVC 이상의 과도한 근활성도도 45° 축회전에서는 유의하게 감소한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 근피로를 줄이고, 지속적인 저강도의 동시수축이 요부안정화 운동에 효과적이라는 측면에서 볼 때 45° 회전을 부가한 전후방기울임 운동이 보다 효과적인 운동법이 될 수 있으리라 사료된다. 본 연구는 남성만을 대상으로 실험한 제한점이 있으며, 사후 여성 및 요통환자를 대상으로 성별, 통증 유무의 차이에 따른 근활성도 변화에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2011 년도 정부(중소기업청)의 재원으로 중소기업기술혁신사업에 의거한 기금을 지원받아 수행된 연구임(No. S1071793).

참고문헌

1. Frymoyer, J. W., Pope, M. H., and Clements, J. H., "Risk factors in low-back pain. An epidemiological survey," *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*, Vol. 65, No. 2, pp. 213-218, 1983.
2. Nachemson, A. L., "Advances in low-back pain," *Clinical Orthopaedics and Related Research*, pp. 266-278, 1985.
3. Hodges, P. W. and Richardson, C. A., "Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain: A motor control evaluation of transversus abdominis," *Spine*, Vol. 21, No. 22, pp. 2640-2650, 1996.
4. Cholewicki, J. and McGill, S. M., "Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: Implications for injury and chronic low back pain," *Clinical Biomechanics*, Vol. 11, No. 1, pp. 1-15, 1996.
5. Bergmark, A., "Stability of the lumbar spine. A study

- in mechanical engineering,” *Acta Orthopaedica Scandinavica, Supplement*, Vol. 60, No. 230, pp. 5-54, 1989.
6. Panjabi, M., Abumi, K., Duranceau, J., and Oxland, T., “Spinal stability and intersegmental muscle forces. A biomechanical model,” *Spine*, Vol. 14, No. 2, pp. 194-200, 1989.
 7. Sahrman, S. A., “Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes,” New York: Mosby, 2002.
 8. Lavender, S. A., Tsuang, Y. H., and Andersson, G. B. J., “Trunk muscle activation and cocontraction while resisting applied moments in a twisted posture,” *Ergonomics*, Vol. 36, No. 10, pp. 1145-1157, 1993.
 9. Anders, C., Brose, G., Hofmann, G. O., and Scholle, H. C., “Evaluation of the EMG-force relationship of trunk muscles during whole body tilt,” *Journal of Biomechanics*, Vol. 41, No. 2, pp. 333-339, 2008.
 10. Hermens, H. and Freriks, B., “European recommendations for Surface ElectroMyography, results of the SENIAM project,” *Roessingh Research and Development*, 1999.
 11. Cynn, H. S., Oh, J. S., Kwon, O. Y., and Yi, C. H., “Effects of Lumbar Stabilization Using a Pressure Biofeedback Unit on Muscle Activity and Lateral Pelvic Tilt During Hip Abduction in Sidelying,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 87, No. 11, pp. 1454-1458, 2006.
 12. Anders, C., Brose, G., Hofmann, G. O., and Scholle, H. C., “Gender specific activation patterns of trunk muscles during whole body tilt,” *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 101, No. 2, pp. 195-205, 2007.
 13. Anders, C., Scholle, H. C., Wagner, H., Puta, C., Grassme, R., and Petrovitch, A., “Trunk muscle co-ordination during gait: Relationship between muscle function and acute low back pain,” *Pathophysiology*, Vol. 12, No. 4, pp. 243-247, 2005.
 14. Hoffer, J. A. and Andreassen, S., “Regulation of soleus muscle stiffness in preammillary cats: Intrinsic and reflex components,” *Journal of Neurophysiology*, Vol. 45, No. 2, pp. 267-285, 1981.
 15. McArdle, W. D., Katch, F. I., and Katch, V. L., “Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance,” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 23, No. 12, p. 1403, 1991.
 16. Biederman, H. J., Shanks, G. L., Forrest, W. J., and Inglis, J., “Power spectrum analyses of electromyographic activity: discriminators in the differential assessment of patients with chronic low-back pain,” *Spine*, Vol. 16, No. 10, pp. 1179-1184, 1991.