J Korean Soc Phys Ther Vol. 25, No. 1, February, 2013 pISSN 1229-0475 • eISSN 2287-156X

The Journal of Korean Society of Physical Therapy Original Article

3차원 뉴튼(3D-NEWTON)을 이용한 척추 주위근 기능 평가의 유용성

한나미[1], 김현동[1], 황지선[1], 배중혁[2]

[1]인제대학교 부산백병원 재활의학과, [2]인제대학교 부산백병원 물리치료실

The Utility of Measuring Paravertebral Muscle Function with 3D-NEWTON

Nami Han[1], Hyun Dong Kim[1], Ji Sun Hwang[1], Jung-Hyuk Bae[2]

[1]Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Inje University Busan Paik Hospital, College of Medicine, Inje University,
[2]Department of Physical Therapy, Inje University Busan Paik Hospital

Purpose: This study evaluated the validity of measuring paravertebral muscle function with 3D-NEWTON (Hanmed, Korea) by assessing the correlation between Biodex (Biodex, USA) and surface electromyography (EMG).

Methods: Nineteen healthy adults participated. The function of their paravertebral muscle was measured in three ways. Maximum endurance time was measured in seconds when 3D-NEWTON was inclined forward for assessing extensor function, and inclined backward for assessing flexor function. Using surface EMG, maximum muscle activity was obtained from the eractor spinae and rectus abdominis during the 3D-NEWTON measurement. Maximum muscle activity was the mean activity from 10 seconds when the root mean squared firing data was highest. Through Biodex the peak torques of the extensor and flexor were measured during isometric exercises. The Spearman correlation coefficiencts from 3D-NEWTON, surface EMG, and Biodex were calculated.

Results: The data from surface EMG and Biodex were statistically correlated when measured for flexor function, but less so for extensor function. In the case of 3D-NEWTON, the correlation coefficient with Biodex was 0.50 (p=0.05), while the coefficient with surface EMG was 0.53 (p=0.02) when measured for extensor function. Similarly, the correlation coefficienct with Biodex was 0.60 (p=0.01), while the surface EMG was 0.51 (p=0.03) for flexor function.

Conclusion: 3D-NEWTON was a useful method for measuring paravertebral muscle function and can give helpful information for treating people with diseases associated with the lumbar spine.

Keywords: Muscle function, Paravertebral muscle, Biodex, Electromyography

I. 서론

만성 요통은 현대인이 겪게 되는 만성 질환 중 심혈관 질환을 제외하고는 가장 흔히 의료기관을 방문하게 되는 원인 중의 하나로, 많은 일상적인 활동을 제한시켜 삶의 질을 저하시키는 흔한 증상이며, 인구의 약 80%가 일생에 한 번은 요통을 겪게 된다고 알려져 있다.[1,2] 요통의 원인이 되는 신체적 원인으로는 근력의 약화, 인대 및 척추의 과다 사용 또는 신경근 자극에 의한 근육의 강직 등을 들 수 있으며, 특히 만성 요통은 이차적으로 요천추부의 근력 약화를 야기하여 이로 인해 통증과 요천추부 불안전성을 야기하는 악순환을 초래하게 된다. 이러한 불안전성을 야기하는 요추부 주변 근육으로는 요천추부

Received January 10, 2013 Revised February 14, 2013
Accepted February 15, 2013
Corresponding author Nami Han, namih@unitel.co.kr

Copyright © 2013 by The Korean Society of Physical Therapy
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 굴곡근, 신전근, 측굴 및 회전근들이 주로 연구되고 있으며, 특히 신근의 약화가 우세하여 이에 대한 근력 강화 운동이 요천추부의 손상을 방지하고 통증을 완화하는 데 중요한 역할을 한다고 알려져 있다.[3-5] 이 외에도 고관절 외전근의 근력과 요추부 불안전성에 대한 상관관계가 연구되는 등 요천추부의 주위 근육들이 요통의 발생에 미치는 영향이 크다는 점에 대해서는 이견의 여지가 없다.[6] 실제 임상적으로도 체간의 안정성을 증진하여 요통을 줄여주기 위한 목적으로 요천추부 근육에 대한 여러 가지 운동 요법이 치료 과정 중에 기본적으로 포함되어 시행되고 있다.[7-9]

만성 요통을 가진 환자들에 대한 치료 과정 중 중요한 또 한 가지는 요천추부 주변 근육의 기능에 대한 정확한 평가이다. 척추 주위근에 대한 기능 평가는 치료의 효과를 판정하기 위해서 뿐만 아니라, 치료 전 정확한 치료 계획을 세우고, 치료 과정 중 생길 수 있는 부작용을 방지하며 환자의 적극적인 참여를 유도하는 데 큰 역할을 한다. 요천추부 주변 근육의 기능 평가를 위해 사용되는 대표적인 평가 도구로는 도수근력검사, 근전도, 척추 주위의 근육면적 측정, 등속성 운동기구를 이용한 최대 우력 측정 등이 있다. 일상적인 치료 환경에서 가장 쉽게 이용할 수 있는 도수근력검사는 치료사의 주관적 판단에 의존하므로, 변화의 정도를 수치화하기 어렵고 측정자 사이의 신뢰성이 충분하지 않다는 단점이 있다.[10] 초음파나 컴퓨터 단층촬영, 자기공명영상 등을 이용한 척추 주위 근육에 대한 면적의 측정은 정량화된 분석은 가능하지만, 치료 과정 중에 추적관찰을 위해 사용하기에는 접근성이 떨어지며 비용적인 측면에서 효율이 떨어져 일상적으로 적용하는 데에는 제한이 있다.[11,12] 척추 주위근의 기능 평가에 있어서 정량화가 가능하면서 신뢰성을 인정받고 있는 검사법은 표면근전도를 이용한 방법과 등속성 운동기를 이용한 측정이다. 이 두 가지 장비들은 척추 주변 근육의 근력, 최대 우력 등을 측정하고 근육의 전기적 신호를 분석한 객관화된 자료로서 의학적인 영역을 포함한 관련 분야에서 척추 주위근의 기능에 대한 지표로 흔히 사용되고 있다.[13-20]

최근에는 운동 요법의 한 방법으로 3차원 척추 안정화 운동 시스템이 개발되어 임상에서 사용되고 있다. 이들 기계는 요천추부 근육을 여러 방향으로 활성화 시킨다는 점에서 근육의 재조건화와 균형훈련에 효과적인 것으로 알려져 있다. 또한 자세의 안정성이 요통에 영향을 미친다는 여러 연구 결과를 근거로 3차원 척추 안정화 시스템을 통한 자세의 안정성 향상이 요통에 긍정적인 효과를 가져오는 것으로 생각되고 있다.[21-23] 3차원 척추 안정화 운동 시스템으로 개발되어 사용되고 있는 3D-NEWTON (Hanmed, Gimhae, Korea)의 또 다른 장점은 운동치료의 효과를 측정하고 지표로 삼을 수 있도록 치료 전후의 평가를 위해 사용할 수 있다는 점이다. 요통과 관련하여 척추 주위근의 기능에 대한 정량적인 평가와 운동 요법이 모두 중요하므로, 3D-NEWTON을 평가와 치료에 모두 이용할 수 있다는 점은 요통 환자의 치료에 큰 강점으로 작용할 수 있다. 그러나, 3D-NEWTON을 이용한 척추 주위근 기능 평가의 결과와 이미 증명된 표면근전도나 등속성 운동기와의 상관관계는 연구된 바가 없다.

그러므로 본 연구에서는 요통을 호소하지 않는 성인을 대상으로 3D-NEWTON, 표면근전도, 등속성 운동기를 각각 사용하여 척추 주위근의 기능을 측정하여 각 도구간의 측정 결과를 비교하여 상관관계를 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

인제대학교 의과대학 또는 물리치료학과에 재학하는 학생 중 18세 이상의 정상인으로서 자발적으로 참여의사를 밝히고 임상시험 심사위원회와 윤리위원회의 승인된 동의서에 서면 동의한 19명을 대상으로 하였다(인제대학교 부산백병원 임상시험센터 10-189). 연구 이전에 척추와 관련된 증상을 경험하였거나 척추와 관련된 질환으로 진단받은 경험이 없는 자발적인 참여자를 우선 모집하였고, 이들을 대상으로 방사선 검사, 혈액 검사, 근전도 검사를 시행하여 이상을 보인 경우는 연구 대상에서 제외하였다. 대상군은 남자 19명으로 평균연령은 22.7세였다.

2. 실험방법

1) 3D-NEWTON을 이용한 척추 주위근 기능 평가

3D-NEWTON의 test mode를 이용하여 각 대상자가 안정된 자세를 유지할 수 있는 능력을 측정하였다. 기본 위치는 대상자를 3D-NEWTON에 기립자세로 서게 한 후 다리를 고정하고 후두부가 뒤로 기대지 않고 안정감을 느끼는 직립 자세를 취하게 하여 정하였다. 기본 위치에서 정면 방향으로 45° 기울인 후 대상자가 최대로 버틸 수 있는 시간을 초단위로 측정하였다. 측정 중에 대상자는 시각적 피드백을 이용하여 본인의 자세를 바로잡을 수 있도록 하였으며, 시각적 피드백에도 불구하고 자세를 바로잡지 못해 5초 이상 경고음이 울리는 시기까지를 측정하였다. 단, 기립자세에서 정면 45°까지 각도가 변하는 동안은 측정 시간에서 제외하였으며, 측정을 시

작한 이후 30초간은 신체의 균형기관이 적응하는 시간으로 간주하고 경고음이 울려도 측정을 지속하였다. 정면 45°에서의 측정이 끝나면 대상자를 다시 기본 위치로 돌아오게 한 후 3D-NEWTON에서 내려와 5분간 휴식하게 한 후 다음의 7개의 방향으로 기울여 측정을 반복하였다. 측정 방향은 정면(0°), 후면(180°), 우 측면(90°), 좌 측면(-90°), 정면과 우측의 가운데 방향(45°), 정면과 좌측의 가운데 방향(-45°), 후면과 우측의 가운데 방향(135°), 후면과 좌측의 가운데 방향(-135°)으로 설정하여, 총 8방향의 기울임에 대해 시간을 측정하였다. 측정 중에 피로나 통증을 호소하여 대상자가 실험을 중지하기를 원하는 경우에는 즉시 평가를 중지하였다.

2) 표면 근전도를 이용한 근활성도의 측정

표면 근전도 자료 수집을 위해 Delsys-Trigno Wireless EMG system을 이용하였고 표면 근전도의 전극은 Trigno EMG Sensor를 사용하였다. 대상자가 3D-NEWTON을 시행하기 전에 대상자의 체간의 피부에 전극을 부착하였다. 배곧음근(rectus abdominis muscle)과 척주세움근(erector spinae muscle)에서 근전도 신호를 얻기 적절한 위치에 부착하였으며, 부착 위치는 국제 권장사항(international recommendations)을 참조하였다. 전극이 잘 고정되면 대상자를 3D-NEWTON에 위치시키고 8방향으로 시험을 시행함과 동시에 근전도 신호도 기록하였다. 근전도 신호는 3D-NEWTON과 마찬가지로 각 방향별로 환자의 기울임이 목표 각도에 도달하는 시점부터 기록하기 시작하여 시험이 종료되는 시점까지 기록하였다. 각 근육에서 수집된 표면 근전도 아날로그 신호는 디지털 신호로 전환되어 개인용 컴퓨터에서 DELSYS EMG Works Aquistion을 통해 자료를 수집 처리하였다.

근전도 신호의 표본 추출률(sampling rate)은 2,000 Hz로 설정하였고, 주파수 대역폭(bandwidth)은 20~450 Hz를 사용하였다. 각 근육별 근전도 신호는 근전도 값의 정규화 과정을 위해 자발적 기준 수축백분율(%reference voluntary contraction, %RVC)을 측정한 후 root mean square (RMS) 처리하여 분석하였으며, 10초 단위로 구간을 세분한 평균 값 중 가장 크게 측정된 값을 비교를 위한 측정치로 기록하였다.

이전 연구에 의하면 표면 근전도를 이용한 RMS 값의 신뢰도는 0.79에서 0.94로 높게 측정되었다.[24]

3) 등속성 운동기를 이용한 근력 측정

등속성 운동기는 Biodex (Biodex, New York, USA)를 이용하였다. 대상자를 Biodex에 바른 자세로 앉힌 후 골반과 체간을 고정한 상태로 측정을 시작하였으며, 측정은 등척성 방법을 이용하여 최대 우력을 기록하였다. 등척성 측정은 요추 굴곡근에 대해 2회, 요추 신전근에 대해 2회를 시행하여, 각각 높게 측정된 최대 우력 값을 사용하였다.

정상인을 대상으로 한 이전 연구에서 등속성 운동기를 이용한 근력 측정의 신뢰도는 0.80에서 0.99로 보고된 바 있다.[14]

3. 자료 분석

3D-NEWTON과 표면 근전도, Biodex를 사용한 측정치로 Spearman correlation coefficient를 시행하여 세 가지 측정치가 통계적으로 유의한 상관관계가 있는지를 알아보았다. 자료에 대한 통계 처리는 SPSS 13.0 for Windows 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였으며, p-value가 0.05보다 작은 경우 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

III. 결과

1. 3D-NEWTON을 이용한 척추 주위근 기능 측정 결과

19명의 연구 대상자 모두가 실험 중 근육의 피로를 호소하며 중지하기를 원하여 8개의 모든 방향으로 측정하지 못하였다. 이들 중 12명의 경우 정면(0°), 후면(180°), 우 측면(90°)의 3개의 방향으로 측정을 시행한 후 검사를 중단하였으며, 4명은 정면(0°), 후면(180°), 우 측면(90°), 좌 측면(-90°)의 4개의 방향까지, 나머지 3명은 정면(0°)과 후면(180°)의 두 방향으로만 측정한 후 검사를 중지하였다. 자료 분석을 위해서는 19명 모두에게서 측정 가능하였던 정면과 후면의 2가지 방향으로 측정한 결과만을 이용하였다.

정면으로 기울여 측정한 경우 측정치의 최소값은 187초, 최대값은 480초로 평균 335.2 (±87.5)초였으며, 후면으로 기울여 측정한 경우 최소값은 65초, 최대값은 256초로 평균은 144.6 (±53.0)초였다.

2. 표면 근전도를 이용한 근활성도의 측정 결과

정면으로 기울여 측정한 경우 척주세움근의 RMS 최소값은 73.47%RVC, 최대값은 107.51%RVC였으며, 배곧음근의 최소값은 8.05%RVC, 최대값은 48.86%RVC였다. 후면으로 기울여 측정한 경우 척주세움근의 최소값은 6.85%RVC, 최대값은 33.42%RVC였으며, 배곧음근의 최소값은 69.40%RVC, 최대값은 169.19%RVC였다. 동시 측정으로 각각의 방향으로의 기울임 측정 시 척주세움근과 배곧음근의 측정치를 모두 얻을 수 있었지만, 자료 분석에는 두 근육 중 더 크게 활성화된 근육의

측정치만을 사용하였다. 즉, 정면으로 기울여 측정한 경우 척주세움근의 측정치를, 후면으로 기울여 측정한 경우 배곧음근의 측정치를 이용하여 자료를 분석하였다.

3. 등속성 운동기를 이용한 근력 측정 결과

측정된 요추부 신전근의 최대 우력은 290.7~438.9 ft-lbs의 분포를 보였으며, 골곡근의 최대 우력은 51.8~132.3 ft-lbs의 분포를 보였다.

4. 각 측정치 사이의 상관관계

기존의 Biodex와 표면근전도는 요추부 신전근의 기능을 측정한 경우 상관계수가 0.43이었으며, 신뢰도는 0.07이었다. 굴곡근의 기능을 측정한 경우는 상관계수가 0.57, 신뢰도가 0.01로 측정되어 신전근의 기능에 비해 통계학적으로 유의한 결과를 얻었다(Figure 1).

이번 연구에서 중점적으로 살펴보고자 하는 3D-NEWTON의 경우 신전근의 기능에 대한 측정치는 Biodex와는 0.50 (p=0.05), 표면 근전도와는 0.53 (p=0.02)의 상관 계수를 보였으며, 굴곡근의 기능에 대한 측정치는 Biodex와는 0.60 (p=0.01), 표면 근전도와는 0.51 (p=0.03)의 상관 계수를 보였다(Figure 2, 3).

Ⅳ. 고찰

최근 만성 요통에 대한 치료법 중 하나인 척추 안정화(lumbar stabilization)는 근 · 골격계 질환의 예방 및 재활, 일상생활동

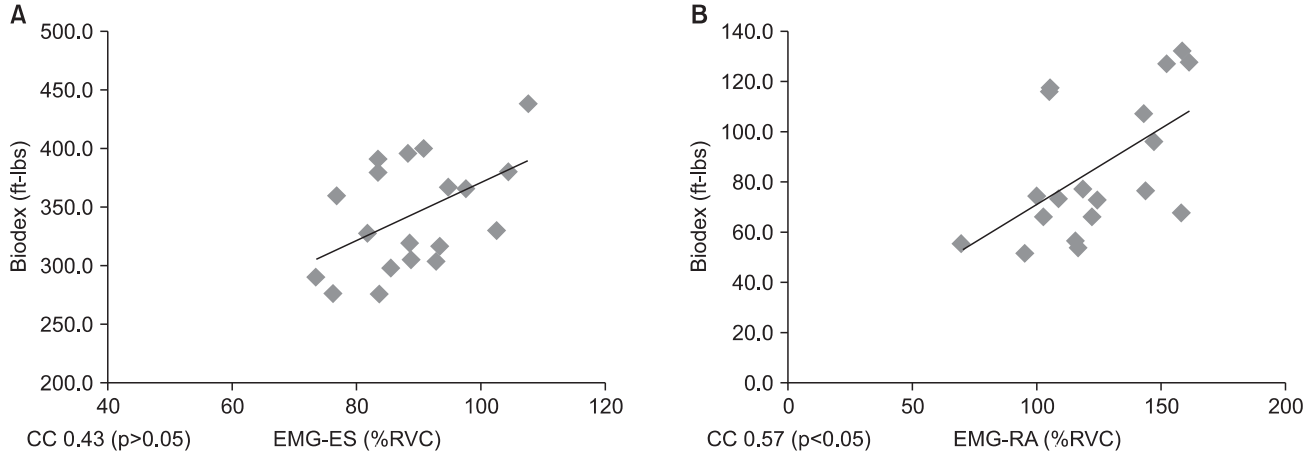

Figure 1. Correlation between Biodex (Biodex, New York, USA) and surface EMG for extensor function (A) and flexor function (B). CC: correlation coefficient, EMG: electromyography, ES: erector spinae, %RVC: %reference voluntary contraction, RA: rectus abdominis.

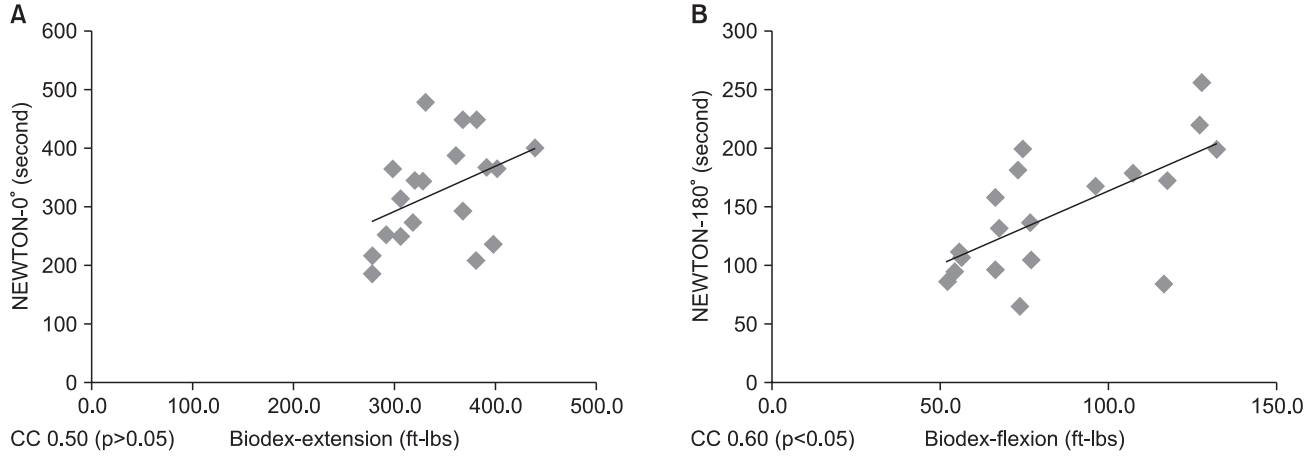

Figure 2. Correlation between 3D-NEWTON (Hanmed, Gimhae, Korea) and Biodex (Biodex, New York, USA) for extensor function (A) and flexor function (B). CC: correlation coefficient.

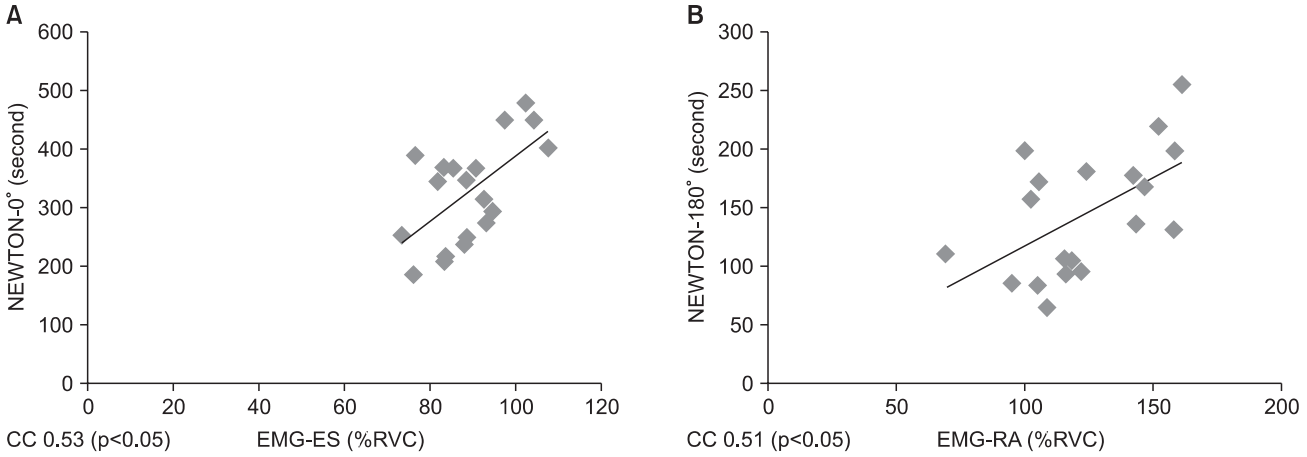

Figure 3. Correlation between 3D-NEWTON (Hanmed, Gimhae, Korea) and surface EMG for extensor function (A) and flexor function (B). CC: correlation coefficient, EMG: electromyography, ES: erector spinae, %RVC: %reference voluntary contraction, RA: rectus abdominis.

작의 향상을 위해 널리 사용되고 있다. 척추 안정화란 척추에 가해지는 외력을 적절하게 조절하여 척추와 척추 사이의 추간판, 척추를 이루는 작은 관절 및 주변 조직에 가해지는 반복적인 미세외상을 감소시켜 손상을 치유하고 척추를 안정적으로 움직일 수 있도록 하는 것이다.[25] 척추의 안정성은 3가지 구성요소에 의해 결정되어 지는데, 첫 번째는 수동적인 하부시스템에 해당하는 척주, 관절면, 추간판, 인대 등의 척추의 구조(spinal column), 두 번째는 능동적인 하부시스템에 해당하는 척추 주위의 근육들(spinal muscles), 마지막 요소는 신경학적 조절(neural control)이다.[26] 척추의 정렬이 맞지 않거나 과도한 부하가 적용되어 척추의 구조만으로는 안정성을 유지하기가 힘들 때, 척추 주위의 근육들이 수축을 하면서 척추의 안정성에 기여하게 된다. 이들 요소들 중 운동 요법을 통해 개선을 기대할 수 있는 것이 하부 시스템에 해당되는 척추 주위의 근육들이다.

본 연구에서 사용된 3D-NEWTON은 만성 요통에 대한 운동 요법을 위해 개발된 기구로서, 척추질환의 치료, 재활, 예방에 이용하도록 제작되었다. 3D-NEWTON은 인간이 경험하는 중력의 모든 영역 내에서 신체위치의 변화를 통해 척추 주변의 근육들에 입체적인 트레이닝을 시켜 척추 안정화에 긍정적으로 기여한다는 점에서 이미 많은 임상 기관에서 적용되고 있다. 3D-NEWTON을 이용한 훈련은 척추 주위근에 영향을 미쳐 여러 중력 방향의 자극이 가해져도 척추를 안정된 자세로 유지할 수 있게 해주는데, 이는 근력, 근 지구력, 근섬유의 신장력 및 위치감각 등이 포괄적으로 반영된 결과라 할 수 있다. 뿐만 아니라, 3D-NEWTON은 척추균형을 분석하고 평가하여 안정화 정도를 평가하는 기능도 가지고 있어 실제로 치료 과정의 준비 과정에서부터 치료 후 효과 판정에 이르기까지 효율적으로 이용되고 있다. 3D-NEWTON으로 그러므로 기존의 근력 측정 방법과 3D-NEWTON을 이용한 포괄적인 척추 주위근 기능 측정 높은 상관관계에 있다면 진단 검사에서부터 계획 수립, 치료, 치료 효과 판정까지 만성 요통의 운동 요법을 유기적으로 연관하여 시행할 수 있을 것으로 생각되었다.

먼저 기존의 근전도 측정방법과 등속성 운동기를 이용한 측정 방법은 이미 여러 연구에서 그 상관관계가 증명된 바 있다. 정상성인 42명을 대상으로 주관절부 근육에 대한 평가를 시행한 연구에서는 등속성 검사 요소와 근전도 검사 요소 중 평균 진폭의 경우 비교적 높은 상관관계를 보였다고 하였다.[16] 또 등장성 최고 수축력은 근전도에서 측정한 평균 진폭과 비교적 낮았지만 연관성이 있다고 하였다.[27] 이들 연구로 미루어 보아 최고의 근수축력을 평가함에는 근전도 방법이 등속성 운동기를 이용한 방법과 모두 높은 상관관계를 보이지는 않았지만, 일부 평균 진폭과 관련된 지표는 상관관계가 높은 유용한 지표로 사용될 수 있음을 보여주었다.[16]

본 연구에서도 근전도와 Biodex로 측정한 지표의 경우 굴곡근에 대한 측정은 높은 상관관계를 보였으며, 신전근의 경우 통계학적으로 유효하지는 않았지만 상관관계가 있는 것으로 생각되었다. 두 측정 방법의 상관관계가 있다 하더라도 연구를 위해서는 두 가지 방법이 모두 시행하는 것이 신뢰성 확보를 위해 추천되지만, 근전도를 이용한 측정치가 환자에게 생소한 단위로 환산되어 분석이 어렵다는 점을 고려할 때 임상적인 활용도는 Biodex가 더 높을 것으로 생각되었다. 그러나, 신전근의 경우 통계적 유의성이 확보되지 않았다는 점을

보완하기 위해 향후 신전근에 대해서는 더 많은 표본수에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서 중점적으로 증명하고자 하는 3D-NEWTON로 측정된 지표들은 표면 근전도로 측정된 신전근과 굴곡근 각각의 지표들과 모두 신뢰도 높은 상관관계를 보였다. Biodex로 측정된 지표들과 비교했을 때에는 신전근의 경우 통계적으로 유효하지 않은 정도의 상관관계를 보였으나, 굴곡근의 경우는 통계적으로 신뢰성 있는 상관관계를 보였다. 이러한 결과로 볼 때 3D-NEWTON을 이용한 척추 주위근의 기능 평가는 임상적인 면에서 활용도가 높을 것으로 생각된다. 치료 과정 중에 수시로 반복 측정하여 환자가 이해하기 쉬운 수치로 결과를 표현할 수 있어서 환자의 변화 추세를 쉽게 관찰할 수 있으며, 상관관계를 고려할 때 기존의 평가 방법을 대체하여 활용할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다.

위의 결과를 바탕으로 3D-NEWTON은 척추 주위근의 기능 평가에도 임상적으로 편리하게 이용할 수 있을 것으로 생각되었다. 하지만, 여러 가지 지표 중 신전근에 대한 지표가 통계학적으로 유효한 상관관계를 보이지 않았다는 점이 한계로 작용할 수 있다. 이는 연구에 참여한 표본의 개체수가 많지 않았고, 3D-NEWTON을 이용한 측정 과정 중 피실험자의 통증 또는 균형감각, 시각적인 바이오 피드백 능력에 의해 측정 시 오차가 생길 수 있었기 때문일 것으로 생각되었다. 이를 보완하기 위해 더 다양하고 많은 인구를 대상으로 연구가 이루어져야 할 필요가 있다. 또한 3D-NEWTON으로 검사할 때 주관적인 평가 중지 기준에 의해 올 수 있는 측정 오차를 최소화하기 위한 측정 세부 수칙에 대한 보완이 필요하며, 피실험자에게 측정 과정을 충분히 설명하여 실제 측정 시 최대능력을 발휘할 수 있도록 해야 할 것이다. 실험의 부작용으로 측정 후 대퇴부의 근육통을 호소하는 경우가 있었는데, 이는 측정 시 대퇴부의 근육을 많이 사용했다는 증거로 볼 수 있다. 그러므로, 대퇴부 근력의 영향을 최소화할 수 있도록 측정 방법을 개선하는 것도 필요하다.

참고문헌

1. Carpenter DM, Nelson BW. Low back strengthening for the prevention and treatment of low back pain. Med Sci Sports Exerc. 1999;31(1):18-24.
2. Alston W, Carlson KE, Feldman DJ et al. A quantitative study of muscle factors in the chronic low back syndrome. J Am Geriatr Soc. 1966;14(10):1041-7.
3. Bortz WM 2nd. The disuse syndrome. West J Med. 1984;141(5):691-4.
4. Dolce JJ, Crocker MF, Doleys DM. Prediction of outcome among chronic pain patients. Behav Res Ther. 1986;24(3):313-9.
5. Foster DN, Fulton MN. Back pain and the exercise prescription. Clin Sports Med. 1991;10(1):197-209.
6. Seo JK, Kim SY. The relationship between hip abductor muscle strength and lumbar instability in patients with chronic low back pain. J Korean Soc Phys Ther. 2011;23(4):15-21.
7. Ito T, Shirado O, Suzuki H et al. Lumbar trunk muscle endurance testing: an inexpensive alternative to a machine for evaluation. Arch Phys Med Rehabil. 1996;77(1):75-9.
8. Lee HO. Activation of trunk muscles during stabilization exercised in four-point kneeling. J Korean Soc Phys Ther. 2010;22(5):33-8.
9. Kang SS, Goo BO. The effects of Yoga low back pain exercise and lumbar extensor muscle endurance exercise on chronic low back pain patients. J Korean Soc Phys Ther. 2012;24(2):107-12.
10. Hoppenfild S, Hutton R. Physical examination of the spine and extremities. New York, Appleton-Century-Crofts, 1976.
11. Koumantakis GA, Watson PJ, Oldham JA. Trunk muscle stabilization training plus general exercise versus general exercise only: randomized controlled trial of patients with recurrent low back pain. Phys Ther. 2005;85(3):209-25.
12. Kim JS, Ju MY, Bae SS. The effect of dynamic lumbar stabilization exercise on low back pain patients. J Korean Soc Phys Ther. 2001;13(3):495-507.
13. Park YJ, Choi KS, Lee SG. Effect of lumbar extensor strengthening in chronic low back pain patients. J Korean Acad Rehab Med. 2000;24(2):295-300.
14. Smith SS, Mayer TG, Gatchel RJ et al. Quantification of lumbar function. Part 1: Isometric and multispeed isokinetic trunk strength measures in sagittal and axial planes in normal subjects. Spine (Phila Pa 1976). 1985;10(8):757-64.
15. Lee KW, Hwang JH, Bang HJ. Isometric evaluation of the lumbar extensors in chronic low back pain. J Korean Acad Rehab Med. 1997;21(1):1-7.
16. Han TR, Kim SK. Comparison between isokinetic method and electromyographic method in muscle power measurement. J Korean Acad Rehab Med. 1989;13(2):239-47.
17. Fuglsang-Frederiksen A, Månsson A. Analysis of electrical activity of normal muscle in man at different degrees of voluntary effort. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1975;38(7):683-94.
18. Yi T, Lee JH, Lee YJ et al. Comparisons of spinal stabilization exercise and lumbar extensor strengthening exercise in chronic low back pain. J Korean Acad Rehab Med. 2008;32(5):570-5.
19. Chang JS, Lee HY, Lee MY. The study of lumbar erector spinae and rectus abdominis activations according to the different gait velocities in young healthy adults. J Korean Soc Phys Ther. 2012;24(3):186-90.
20. Kang MH, Yoon JY, Yang JL et al. The effect of visual biofeedback on EMG activity of trunk muscles and endurance holding time for correct position during whole-body tilt exercise. Phys Ther Korea. 2011;18(1):9-17.
21. Lee GC. Postural stability change in young people with low back pain. J Korean Soc Phys Ther. 2012;24(3):181-5.
22. Liu-Ambrose T, Eng JJ, Khan KM et al. The influence of back pain

on balance and functional mobility in 65- to 75-year-old women with osteoporosis. Osteoporos Int. 2002;13(11):868-73.
23. Mann L, Kleinpaul JF, Pereira Moro AR et al. Effect of low back pain on postural stability in younger women: influence of visual deprivation. J Bodyw Mov Ther. 2010;14(4):361-6.
24. Lee J, Jung MY, Kim SH. Reliability of spike and turn variables of surface EMG during isometric voluntary contractions of the biceps brachii muscle. J Electromyogr Kinesiol. 2011;21(1):119-27.
25. França FR, Burke TN, Hanada ES et al. Segmental stabilization and muscular strengthening in chronic low back pain: a comparative study. Clinics (Sao Paulo). 2010;65(10):1013-7.
26. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. J Spinal Disord. 1992; 5(4):383-9.
27. Stewart CR, Nandedkar SD, Massey JM et al. Evaluation of an automatic method of measuring features of motor unit action potentials. Muscle Nerve. 1989;12(2):141-8.