

복부 할로잉 운동의 이해와 임상적 적용 : 문헌적 고찰

이현옥¹ · 박두진^{2*}

¹부산가톨릭대학교 물리치료학과, ²부산가톨릭대학교 생명과학대학원 물리치료학과

Understanding and Clinical Application of Abdominal Hollowing Exercise : A Literature Review

Hyun-Ok Lee, P.T., Ph.D¹., Du-Jin Park, P.T., MS.^{2*}

¹Dept. of Physical Therapy, Catholic University of Pusan

²Dept. of Physical Therapy, Graduate School of Life Sciences, Catholic University of Pusan

ABSTRACT

Purpose : To provide the understanding of abdominal hollowing exercise, this study reviewed literatures related with TrA and AHE.

Methods : We reviewed the prior studies related with TrA and AHE.

Results : Crook lying is easier to facilitate isolated contraction of TrA from EO than the others. The contraction of the TrA is shown to be the highest muscle activity in prone lying. Additionally, wall support standing(or standing) is shown a higher contraction of entire abdominal muscle than the others. However, learning and teaching correct AHE have innate difficulties in four positions.

Conclusion : We have to consider that Rehabilitative Ultrasonic Imaging(RUSI) can facilitate accurate AHE. In the country, physical therapists will be necessary more training and efforts to use ultrasound because very few use ultrasound in clinical field. It will be necessary to study the effects of RUSI feedback and examine effects of exercises in combination with AHE.

Key Words : Transverse abdominis, Abdominal hollowing exercise, Rehabilitative ultrasonic imaging.

I. 서 론

“코어(Core)”는 흔히 상자로 비유되고, 앞쪽은 복부 근육들, 뒤쪽은 척추 주위근들과 둔근들, 지붕 역할을 담당하는 횡격막, 바닥 역할을 담당하는 골반저근과 고관절 주위근들로 구성된다. 이런 코어 시스템(core system)은 사지의 움직임 유무와 관계없이 우리의 신체와 척추에 안정성을 제공하기 때문에 많은 사람들로 부터 관심을 받고 있다(Akuthota와 Nadler, 2004).

“코어 안정성(core stability)”에 대한 중요성은 운동 선수들에게 특히 강조되었고, 물리치료사들에 의해 요통 환자들의 치료적 중재로 코어 안정성을 증가시키는 척추 안정화 운동의 임상적 적용이 점차적으로 증가하고 있다(Ferreira 등, 2006).

심부 근육들의 기능 개선에 중점을 둔 척추 안정화 운동들은 요통 환자들의 치료적 중재에 중요한 요소라 여겨져 왔다(Hungerford 등, 2003). 심부 근육들 중 복횡근은 해부학적인 특징 때문에 하나의 코어 안정근으로서 많은 물리치료사들로부터 관심을 받고 있다(Hodges, 2003; Goldby 등, 2006).

II. 본 론

1. 복횡근의 기능

7~12번째 늑연골에 기시하는 복횡근의 상부 섬유들은 흉곽에 안정성을 제공하고, 흉요추 근막(thoracolumbar fascia; TLF)에 기시하는 중부 섬유들은 척추 조절에 기여 하며, 장골능에 기시하는 하부 섬유들은 천장 관절의 느슨함(laxity)을 감소시키는 압박력을 생산하고 복부의 내장 기관들을 지지하는 역할을 한다(Richardson 등, 2002). 특히, 양쪽 복횡근의 활동은 TLF를 포함하는 요부의 근막 구조들의 긴장도를 증가시키거나(Barker 등, 2006) 복부 내의 압력(intra-abdominal pressure; IAP) 변화를 통해 척추의 안정성에 많은 기여를 한다(Hodges 등, 2005).

복횡근의 상부, 중부, 하부 섬유들은 각자의 주행 방향에 따라 전체적인 척추의 안정성에 많은 기여를 한

다. 그 중에서도 우리는 중부 섬유들에 대해 주목할 필요가 있다. 복횡근 섬유 중에 중부 섬유들만이 유일하게 TLF에 부착한다(Tesh 등, 1987). 상지와 하지 사이에서 하나의 연결 고리에 역할을 하는 TLF (Vleeming 등, 1995)는 복횡근의 수축으로 긴장도가 증가하여 일상에서 물건을 들어 올리는 동작들을 수행할 때, 피드백을 제공하는 고유수용기의 역할을 함으로써 상지와 하지의 안정성에 기여를 한다(Akuthota와 Nadler, 2004). 사체를 대상으로 실험한 선행 연구에서도 자극을 통해 TLF의 긴장도를 증가시킬 때 체간의 굴곡과 신전 동안 척추의 강성도(stiffness)가 증가하였다고 보고하였다(Barker 등, 2006). 결과적으로, 복횡근의 수축과 TLF 및 전방에 위치한 근막에 의해 형성된 근육-근막계(musculofascial unit)는 심부에 위치한 하나의 코르셋 역할로 척추의 안정화에 많은 기여를 한다(Hides 등, 2006).

IAP 변화에 있어서도 복횡근의 중부 섬유들의 역할은 매우 크다. 실제로 복횡근의 상부와 하부 섬유들의 부착부는 주행 방향이 중간 섬유와 다르다. 중간 섬유들은 원통 모양으로 몸통을 둘러싸고 있기 때문에 IAP를 조절하는데 가장 큰 잠재력을 가진다고 하였다(Urquhart 등, 2005a). 근전도를 이용한 선행 연구에서도 복횡근의 중간 섬유가 다른 복부 근육들 보다 IAP와 더 밀접한 연관성을 가진다고 하였으며(Cresswell 등, 1992), 호흡을 하는 동안 근육 활동에 대한 역치(threshold) 또한 가장 낮음을 보고 하였다(Urquhart 등, 2005a). 복횡근의 상부와 하부 섬유들도 IAP의 변화에 기여를 하지만 중부 섬유들이 IAP 조절과 증가에 두 섬유들 보다 더 많은 역할을 담당하는 것을 보여주는 결과이다. 이처럼 복횡근의 중부 섬유들은 TLF 긴장도와 IAP를 증가시켜 척추에 안정화에 많은 기여를 하기 때문에 지속적인 연구와 관심이 필요하다.

복횡근 하부 섬유의 중요성은 Snijders 등(1995, 1998)에 의해 제시된 천장 관절의 역학적 모델을 통해 알 수 있다. 천장 관절은 강한 인대 조직들에 의해 보호 받고 있으므로 탈구가 쉽게 일어나지 않는다. 그러나 점탄성 인대들(viscoelastic ligaments)은 지속적인 하중에 의해 영구적인 변형(creep)이 생기기 마련이다. 점

탄성 인대들의 변형을 보완하기 위해서 장골 사이에 있는 천골을 압박하는 외적 근육의 힘이 필요하다. 복횡근의 하부 섬유들을 포함한 몇 개의 근육들은 천장 관절의 느슨함을 줄여줄 수 있는 압박력을 생성하여 천장 관절의 안정성을 높여주는 역할을 한다(Richardson 등, 2002).

2. 복횡근의 기능 이상

건강한 사람들은 빠른 상지 또는 하지 움직임 이전에 복횡근이 30~100ms 정도 먼저 수축을 한다(Hodges 등, 1997a; Hodges 등, 1997b). 이와 같은 복횡근의 선행적 자세 조절 능력은 척추의 움직임이나 하중이 가해지기 전에 척추를 안정화하여 척추에 가해질 수 있는 전단력과 압박력을 감소시켜 손상을 최소화한다. 하지만 요통을 가진 사람들의 경우, 복횡근의 선행적 수축이 지연된다고 하였다(Hodges와 Richardson, 1996; Ferreira 등, 2004). 더하여 사지를 이용한 저항도의 과제를 수행할 때, 요통환자에게는 복횡근의 두께 변화가 감소되었다(Ferreira 등, 2004). 이처럼, 요통 환자들은 복횡근의 운동 조절 능력의 결여와 근력의 약증을 보이므로 복횡근의 기능을 향상시킬 수 있는 운동이 필요하다.

3. 복부 할로잉 운동

요통 관리와 관련된 선행 연구들은 재활 초기 단계에서 내복사근과 외복사근 같은 천층에 위치한 근육들의 수축을 최소화 하면서 복횡근의 운동 조절 능력을 회복하는 것이 효과적인 요통 치료를 위해 필수적이라 하였다(Cresswell 등, 1992; Hodges와 Richardson, 1996). 복부 안으로 당기기 방법(abdominal draw-in maneuver; ADIM)으로 알려진 복부 할로잉 운동(abdominal hollowing exercise; AHE)은 선택적으로 복횡근의 활동을 촉진시킬 수 있고(Teyhen 등, 2005; Springer 등, 2006), 요통 환자의 통증 경감에도 효과적이다(Macedo 등, 2009). 그리고 AHE는 일반적인 안정화 운동들 보다 복횡근의 단면적을 개선하는데 더

좋은 결과를 보였다(Hodges와 Richardson, 1996; Akuthota와 Nadler, 2004). 그러므로 AHE는 요통 환자들의 재활 초기에 복횡근의 기능을 개선하고 통증을 경감시키는데 효과적인 운동이다.

4. 복부 할로잉 운동의 방법

일반적으로 사용되는 AHE의 방법은 Richardson과 Jull(1995)에 의해 체계화 되었다. 이 운동 방법은 척추, 늑골 그리고 골반의 움직임 없이 배꼽을 안쪽 위로 천천히 당겨 유지하는 것이다. 이 운동을 하는 동안 정상적인 호흡이 가능하도록 적당한 강도로 배꼽을 넣어야 한다. Richardson과 Jull(1995)에 의해 체계화된 AHE 방법이 전통적인 방법으로 주로 사용되고 있지만, 이 방법을 변형한 방법도 사용되어지고 있다. 이 변형된 AHE 방법은 Critchley(2002)의 연구 결과를 통해 그 효과가 증명되었다. Critchley(2002)는 전통적인 AHE 방법과 전통적인 AHE 방법에 추가적으로 골반저근(pelvic floor muscle)을 동시 수축시킨 변형된 AHE 방법을 비교하였다. 그 결과, 골반저근을 추가적으로 함께 수축시킨 변형된 방법이 기존의 전통적인 AHE 방법보다 복횡근의 수축이 유의하게 증가되었다. 이런 Critchley(2002)의 연구 결과를 바탕으로 Mew(2009)의 연구에서는 변형된 AHE 방법을 적용하여 누운 자세와 선 자세 사이에 복부 근육의 두께 변화를 비교하였다. 실제로 변형된 AHE 방법은 운동 대상자에게 “소변을 참듯이 아래 배에 힘을 주세요”라는 구두 명령을 통해 골반저근의 수축을 유도하여 복횡근의 수축을 더욱 촉진시키는 것이다. 이런 방법은 척추 안정화에 중요한 역할을 하는 복횡근과 골반저근 같은 심부 근육들을 동시에 활성화할 수 있으므로 제한된 시간 동안 치료를 행하는 임상에서 시간 대비 효용성 측면에서 효과적이라 사료된다.

5. 복부 할로잉 운동의 자세

임상인들은 AHE를 수행하기 위한 시작 자세로 다음과 같은 자세들을 추천한다. 첫 번째는 누운 자세에서

무릎을 90°도 굴곡한 자세(crook lying with knee flexion of 90°)이다(Drysdale 등, 2004). 두 번째는 엎드린 자세(prone lying)에서 발목 아래 수건이나 쿠션을 받친 자세이다(Richardson과 Jull, 1995). 셋 번째는 네발기기 자세(four point kneeling)에서 시선은 바닥을 향하고 대상자의 어깨와 귀가 수평을 이룬 상태에서 손목은 어깨 아래, 무릎은 엉덩이 아래 놓인 자세이다(Norris, 1999). 네 번째는 벽에 기대 선 자세(wall support standing)에서 벽과 대상자의 뒤꿈치 거리가 약15cm(6인치; 15.24cm) 간격을 유지한 자세이다(Norris, 1995). 위와 같은 4가지 자세들이 임상에서 흔히 사용되고 있다.

6. 복부 할로잉 운동의 자세와 관련된 근전도 연구들

AHE를 하는 동안 네발기기 자세와 엎드린 자세 사이의 복부 근육의 활동을 표면 근전도를 통해 분석한 Beith 등의 연구(2001)에서는 복횡근 대신 내복사근을 대상 근육으로 실험하였다. 이는 실제 복횡근과 내복사근의 하부 섬유는 전상장골극(ASIS)의 중간 지점에 서로 평행하게 나란히 주행하여 기능적으로 유사한 부분이 존재하기 때문이다. 이에 복횡근 대신 그 지점에서 가장 천층에 위치한 내복사근의 활동을 검사하였다. 그 결과, 외복사근에 비해 내복사근의 활동이 두 자세 모두에서 유의하게 증가하였으나 외복사근의 활동을 제거한 상태에서 내복사근의 독립적인 활동을 이끌어 내는데 어려움이 있었다. 네발기기 자세와 엎드린 자세에서는 모든 대상자(20명)의 45% 그리고 75%가 내복사근과 외복사근의 동시 수축이 발생하였다. 엎드린 자세의 경우, 내복사근의 평균적인 수축이 최대 수의적 수축(Maximal voluntary contraction; MVC)의 34.7%로 18.5%의 수축을 보인 네발기기 자세보다 더 높은 내복사근의 수축을 보였지만, 내복사근의 독립적인 수축은 네발기기 자세보다 낮게 나타났다.

Urquhart 등(2005b)은 엎드린 자세 보다 누운 자세에서 더 높은 복횡근의 활동을 보여 Beith 등(2001)의 연구와 상반된 결과를 보였다. 이는 엎드린 자세가 흔히 환자들에게 추천하는 자세와 달랐기 때문으로 여겨

진다. 그들은 검상 돌기와 치골 결합부에 두 개의 작은 상자들을 놓고 대상자들을 엎드리게 하여 복부가 지면에 접촉되지 않도록 하였다. 이처럼 제공되는 지지면의 감소로 근육들이 충분히 이완한 후 더 큰 수축을 유도할 수 없기 때문에 상반된 결과를 보인 것으로 사료된다. 또한, 누운 자세는 엎드린 자세보다 외복사근의 활동이 현저히 감소하였다. 이는 누운 자세가 엎드린 자세보다 외복사근의 활동을 최소화 하면서 복횡근의 독립적인 수축을 유도할 수 있기 때문에 AHE의 시작 자세로 더 적합한 자세라는 것을 보여주는 결과이다.

최근에는 AHE의 4가지 자세들 사이의 근활성도를 분석한 연구들이 있다. 이 연구들(Chanthapetch 등, 2009; Park과 Lee, 2010)은 표면 근전도를 사용하였는데, 복횡근과 내복사근을 분리하지 않고 복횡근/내복사근(TrA/IO)을 하나로 구분하여 실험하였다. Beith 등(2001)의 연구에서는 복횡근과 내복사근의 기능적 그리고 위치적으로 유사한 부분 때문에 복횡근 대신에 천층에 위치한 내복사근을 대상 근육으로 선택한 것과 같이 Marshall 과 Murphy(2003)의 사체 연구의 결과를 바탕으로 복횡근/내복사근의 활성도를 하나로 측정하였다. 10구의 사체 중 9구 사체의 하부 복부지역에서 복횡근과 내복사근 사이에 하나의 선명한 근막 분리가 부족하여 이 부분에서 이들 근육들이 융화되어 있기 때문에, 두 근육의 구조적 차이점을 구별하는 것이 불가능하다고 하였다. 두 근육의 이런 형태학적인 특성으로 인해 천장 관절의 압박력(compression)을 제공하는데 복횡근 뿐만 아니라 내복사근 하부 섬유도 기여를 한다고 하였다(Richardson 등, 2002).

복횡근/내복사근을 함께 측정한 연구들 중 Chanthapetch 등(2009)의 연구에서는 누운 자세, 엎드린 자세, 네발기기 자세 그리고 벽에 기대 선 자세들 모두 복직근과 외복사근의 활동을 최소화하면서 복횡근/내복사근의 독립적인 활동을 촉진할 수 있는 자세라고 하였다. 모든 자세에서는 AHE를 하는 동안 복횡근 MVC의 25%정도를 유지하여 권장되는 복횡근의 활동 수준을 보였다. 그리하여 4가지 자세 모두가 요통 환자를 위한 초기 단계에 AHE의 시작 자세로 적합하다고 하였다. 하지만 대상자의 80% 이상이 복직근과 외복사근

으로부터 복횡근/내복사근을 독립적으로 활동시킬 수 없었다. 특히 엎드린 자세와 벽에 기대 선 자세는 다른 두 자세에 비해 외복사근의 평균적인 활동이 높았고, 복직근과 외복사근의 활동 없이 복횡근/내복사근을 독립적으로 활동한 대상자가 한 명도 존재하지 않았다. 이는 엎드린 자세와 벽에 기대 선 자세가 다른 자세들보다 복횡근/내복사근의 독립적인 활동을 이끌어 내는데 어려움이 있음을 보여주는 것이다.

Park과 Lee(2010)의 연구에서도 복횡근/내복사근이 4가지 자세에서 유의한 차이를 보였다. 사후 분석 결과, 누운 자세와 엎드린 자세 사이에서 유의한 차이를 보였으며, 엎드린 자세에서 가장 높은 복횡근/내복사근의 활동을 보였다. 하지만 엎드린 자세는 대상자의 13.9% (5/36명)만이 복직근과 외복사근의 활동을 최소화하면서 복횡근/내복사근의 독립적인 활동을 할 수 있었다. 반대로 누운 자세는 대상자의 30.6% (11/36명)가 복횡근/내복사근의 독립적인 활동을 보여, 4가지 자세 중 가장 많은 대상자들이 정확한 AHE를 실시할 수 있었다. AHE와 관련된 EMG 연구들의 결과를 종합하여 볼 때, 누운 자세가 다른 자세들에 비해 외복사근의 활동을 최소화하면서 복횡근의 독립적인 활동을 촉진하는 것으로 사료된다. 하지만 Park과 Lee(2010)는 AHE를 교육하는데 내재되어 있는 어려움을 해결하기 위해 실시간 초음파 피드백 영상(real-time ultrasound imaging) 같은 도구들을 이용하는 것이 바람직하다고 하였다. 이런 피드백 도구들은 심부 근육들의 독립적인 활동을 도울 수 있기 때문이다. 실시간 초음파 피드백 영상의 효과에 대한 고찰 이전에 초음파에 대한 이해와 AHE의 자세와 관련된 초음파 연구들의 고찰이 선행되어야 할 것이다.

7. 초음파에 대한 이해

초음파 영상을 이용한 평가는 높은 영상 해상도를 가진 CT나 MRI 보다 경제적이고 전리 방사선의 노출도 없기 때문에 많은 사람들로 부터 선호 받고 있다. 근골격계 분야에서 초음파의 유용성과 적용은 많은 연구자들에 의해 증명되었다. 진단적 초음파는 근골격계의

측정과 진단을 포함하는 의학적 평가(Hashimoto 등, 1999) 뿐만 아니라 재활 프로그램들의 효과를 평가하는데도 많이 이용된다(Raney 등, 2007). 그리고 근육의 두께를 측정하기 위한 도구로서 초음파의 신뢰도는 많은 연구들을 통해 증명되었다(McMeeken 등, 2004; Teyhen 등, 2005; Norasteh 등, 2007).

2006년 이후부터 의생물학 세계 초음파 연맹(World Federation of Ultrasound in Medicine and Biology; WFUMB)으로부터 승인 받은 재활적 초음파 영상(Rehabilitative Ultrasonic Imaging; RUSI)은 복횡근을 포함하는 심부 근육들과 조직들의 기능 및 상태를 평가하기 위해 물리치료사들에 의해 사용되는 비침습적인(non-invasive) 방법이다(Whittaker 등, 2007). 전외측 복부벽(anterolateral abdominal wall)의 재활적 초음파 영상 또는 실시간 초음파 영상은 간결한 시간적 피드백을 제공할 뿐만 아니라 초음파 스크린에 실시간으로 나타나는 대상자의 심부 복근들의 두께 및 움직임을 통해 수행에 대한 지식(knowledge of performance)을 지속적으로 제공할 수 있다. 심부 복근들의 정확한 영상을 얻기 위한 방법은 다음과 같다. 탐촉자(transducer)는 12번째 늑연골과 장골능 사이의 중간 부분에 놓는다(McMeeken 등, 2004). 그리고 탐촉자 위치를 표준화

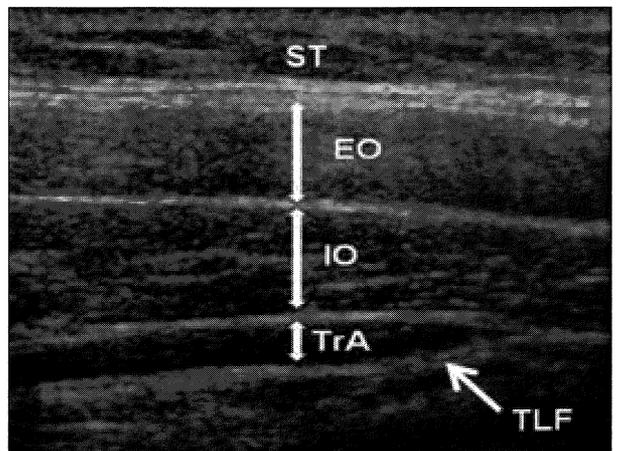


그림 1. A transverse view of an ultrasound image of a subject's anterolateral abdominal wall. TLF: Thoracolumbar Fascia, TrA: Transversus abdominis, IO: Internal abdominal oblique, EO: External abdominal oblique, ST: Soft tissue

하기 위해서 복횡근과 TLF가 만나는 공간이 초음파 영상의 오른쪽 끝 부분에 나타나도록 한다(Teyhen 등, 2005; Springer 등, 2006)(그림 1).

대부분의 초음파는 B-mode가 주로 사용되며, 초음파 주파수는 1~10MHz 사이가 주로 사용되고 있다. 낮은 주파수는 더 깊은 조직을 볼 수 있고 높은 주파수는 천층에 위치한 조직들을 더 자세히 볼 수 있는 장점 때문에(Hides 등, 1998), 초음파를 통해 복부 근육들의 두께 변화를 관찰한 대부분의 연구들은 연구자들의 개인적인 성향에 따라 5~7.5MHz의 초음파 탐촉자를 사용한다.

8. 호흡에 따른 측정 방법의 차이

복부 근육들은 호흡 보조근으로써 역할을 수행하고 있기 때문에 호흡의 패턴에 따라 두께의 차이가 존재할 수 있다. 대부분의 AHE와 관련된 초음파 연구들은 호흡이 미치는 영향을 통제하기 위해서 호기 끝 지점에서 복부 근육들의 두께를 측정한다. 하지만 AHE를 하는 동안 흡기 끝 지점에서 복부 근육들의 두께를 측정한 선행 논문(Mew, 2009)도 존재한다. AHE를 하는 동안 복부 근육의 두께 측정이 호기 끝 지점에서 이루어지는 것이 효과적인지 아니면 흡기 끝 지점에서 이루어지는 것이 효과적인지 의견이 분분하다. AHE는 복횡근의 독립적인 활동을 이끌어 내기 위해 고안된 안정화 운동이고 복횡근은 호기를 하는 동안 활동이 증가하는 근육이기 때문에 호기를 하는 끝 지점에서 측정을 하게 되면 가중(summation)의 법칙에 의해 복횡근의 활동이 더욱 증가하게 될 것이다. 반대로 AHE를 하는 동안 흡기를 적용하게 되면, AHE으로 인해 증가된 복횡근의 활동이 흡기로 인해 감소하게 되기 때문에 복횡근의 활동에 가중을 줄 수도 없고, 서로 상충되는 활동 메커니즘을 나타내므로 호기 시에 측정을 하는 것이 더 바람직하다고 사료된다.

9. 복부 할로잉 운동의 자세와 관련된 초음파 연구들

Mew(2009)는 누운 자세와 선 자세에서 AHE를 하

는 동안 복부 근육의 두께 변화를 비교하였다. AHE를 하는 동안 선 자세는 누운 자세에 비해 복횡근의 두께가 0.88mm 증가하였고($p < 0.01$), 내복사근과 외복사근의 두께는 각각 0.59mm, 0.87mm 감소하였다($p < 0.01$). 하지만 누운 자세와 선 자세에서 AHE를 하는 동안 복부 근육의 두께 변화를 비교한 선행 연구들은 Mew(2009)의 연구와 상반된 결과를 보였다. Park(2010a)은 AHE를 하는 동안 선 자세는 누운 자세에 비해 복횡근의 두께가 0.39mm 증가하였고($p < 0.05$), 내복사근과 외복사근의 두께도 각각 0.34mm, 0.15mm 증가하였다고 하였다. 반면 Manshadi 등(2011)은 남녀 모두 누운 자세에서 AHE를 하는 동안 복횡근의 두께 변화가 선 자세보다 더 많은 증가를 보였으며, 남성의 경우는 선 자세에서 누운 자세보다 내복사근과 외복사근의 더 큰 두께 증가를 보였다. 이는 AHE를 하는 동안 복횡근의 활동과 두께 변화 사이에 높은 상관성($p < 0.001$, $R^2 = 0.87$)을 보고한 선행 연구(McMeeken 등, 2004)를 바탕으로 볼 때, 선 자세가 누운 자세에 비해 복횡근의 활동을 촉진시킬 수 있는 기능적인 자세라는 결론에 도달하기는 어렵다. 그리고 네발기기 자세에서 AHE를 하는 동안 복부 두께 변화를 비교한 선행 연구들(Critchley와 Coutts, 2002; Park, 2010b) 모두 전반적으로 복횡근, 내복사근, 외복사근의 두께가 증가 되었다. 만약 근육의 두께 변화가 근육의 활동을 보여주는 지표라고 가정을 한다면, AHE의 자세와 관련된 초음파 연구들의 부족과 상충된 연구 결과들로 인해 AHE를 적용하기 위한 효과적인 자세를 단정 짓기에는 어려움이 따른다. 하지만 AHE의 자세와 관련된 초음파 연구들 모두 복횡근의 독립적인 활동을 이끌어 내는 것이 어렵다는 것을 보여준다. 그러므로 AHE를 하는 동안 다양한 자세에서 복횡근의 독립적인 활동을 이끌어 내기 위해서는 피드백 이용한 훈련이 필요할 것이다.

10. 피드백을 이용한 복부 할로잉 운동의 효과

근골격계의 피드백 훈련은 두 가지 주된 목표들이 존재한다. 첫 번째 목표는 손상이나 질병에 의해 손상될 수 있는 감각-운동 고리들(sensory-motor loops)을

재건하기 위해 중추신경계를 활성화시키는 것이다 (Levitt 등, 1995; Henry와 Teyhen, 2007). 두 번째 목표는 더 큰 각성적 인식(cognitive awareness)의 발전을 돕는 것이다(Henry와 Teyhen, 2007).이런 두 가지 목표를 성취하기 위한 근골격계의 피드백 훈련은 임상에서 많이 적용되고 있다.

근골격계의 피드백 훈련은 안정화 운동(stabilization exercise)에서도 많이 사용되고 있다. 그 중에서 심부 체간 근육, 특히 복횡근(TrA)의 선택적 수축을 유도하기 위한 목적으로 초기 단계에서 실시되는 AHE에서 많이 사용되고 있다. 피드백을 이용한 AHE는 천층에 위치한 복근들(superficial abdominal muscles)의 활동을 줄이면서 심부 복근의 선택적 수축을 활성화시키는데 도움을 준다(Teyhen 등, 2005; Henry와 Westervelt, 2005; Park, 2010b). AHE의 피드백 훈련을 위해 사용되는 대표적인 가구는 피드백 압력계(pressure biofeedback unit; PBU)와 재활적 초음파 영상(또는 실시간 초음파 영상)이 있다.

PBU는 척추에 안정성을 제공하는 심부 근육들의 재훈련을 돕기 위해 물리치료사들에 의해 고안된 도구이고 공기의 압력 변화를 통해 요추의 움직임을 감지할 수 있다. 압력을 변화를 확인할 수 있는 계기판의 사용은 치료를 하는 동안 유용한 시각적 피드백을 제공하고 심부 복근들의 피로도를 객관적으로 측정할 수도 있다 (Cairns 등, 2000). PBU도 AHE를 위한 훌륭한 피드백 도구이지만 복횡근의 독립적인 활동과 전체적인 복

부 근육들의 움직임을 실시간 관찰할 수 없는 한계가 있다. 재활적 초음파 영상은 이런 부분들을 보완해 줄 수 있는 피드백 도구이다. 최근에는 재활적 초음파 영상을 이용한 AHE의 효과에 대한 연구들이 이루어지고 있다. AHE와 관련된 재활적 초음파 영상 피드백의 효과는 표1에 구체적으로 제시하였다.

Henry 등(2005)과 Worth 등(2007)의 연구에서는 재활적 초음파 영상을 사용한 그룹이 다른 그룹에 비해 정확한 AHE를 수행하는데 걸린 소요 시간, 즉 시도 횟수가 감소하였다. 그리고 Park(2010b)의 연구에서는 네발기기 자세에서 AHE를 하는 동안 재활적 초음파 피드백 영상을 사용한 그룹이 다른 그룹에 비해 복횡근의 두께가 0.57mm 증가하였고($p < 0.01$), 외복사근의 두께 변화는 0.57mm감소하였다($p < 0.01$).

내복사근의 경우에도 통계학적으로 유의한 차이는 없었지만 두께 감소를 보였다. 이는 재활적 초음파 영상 피드백이 건강하거나 요통을 가진 사람들에게 정확한 AHE를 교육하는데 효과적인 도구임을 보여주는 것이다. 그러나 Teyhen 등(2005)의 연구에서는 짧은 기간 동안의 재활적 초음파 영상 피드백의 적용은 정확한 AHE를 수행하는데 미치는 영향은 미미하다고 하였다. 우리는 이런 연구 결과를 바탕으로 조금 더 지속적이고 장기전으로 재활적 초음파 영상 피드백을 적용할 수 있도록 노력해야 할 것이며, 지속적인 초음파 영상 피드백의 적용 후 지속 효과를 분석하는 연구들도 필요할 것이다. 또한, 재활적 초음파 영상 피드백에 대한 연구

Table 1. A Comparison among studies on rehabilitative ultrasound imaging feedback

	Henry et al.	Teyhen et al.	Worth et al.	Park
Subjects	NLBP(48)	LBP(30)	LBP(19)	NLBP(32)
Measurement Muscles	Lateral abdominal muscles	Lateral abdominal muscles	Lateral abdominal muscles	Lateral abdominal muscles
Task	AHE	AHE	AHE	AHE
Position	Supine	Quadruped Sitting, Supine	Supine	Four point kneeling
Feedback Type	G1:minimal verbal G2:verbal+tactile G3:RUSI feedback	G1:verbal+tactile G2:RUSI feedback	G1:verbal+tactile G2:RUSI feedback	G1:verbal+tactile G2:RUSI feedback
Conclusion	Positive	Positive	Positive	Positive

G1: Group 1, G2: Group 2, G3: Group 3

들이 양적으로 많이 부족하므로 더 많은 연구들이 활발히 이루어져야 할 것이다.

11. PNF를 적용한 복부 할로잉 운동

최근에 고유수용성 신경근 촉진법(proprioceptive neuromuscular facilitation; PNF)의 방산(irradiation)이라는 테그닉을 활용한 연구가 있다(Chon 등, 2010). 방산은 자극 또는 저항에 대한 반응이 다른 부위로 증가하는 것이다. 연구자들은 AHE를 하는 동안 상대적으로 강한 발목의 배측굴곡근(dorsiflexors)에 저항을 주어 복횡근의 활동을 증가하도록 PNF 방산을 적용하였다. 그 결과, 일반적인 AHE를 수행한 그룹보다 방산을 적용한 그룹에서 내복사근과 외복사근의 활동은 유의한 차이가 없었지만 복횡근의 활동은 유의하게 증가되었다. 발목의 배측 굴곡근에 방산의 적용한 AHE은 요통 환자들의 복횡근에 활동을 촉진하기 위해 충분히 적용할 수 있을 것이라 사료된다.

III. 결 론

복횡근의 중요성은 형태학적인 연구들을 통해 강조되어 왔고, 요통 환자들은 복횡근의 운동 조절이 결여되었기 때문에 복횡근의 기능을 향상시킬 수 있는 운동이 필요하다.

AHE는 요통 환자들의 재활 초기에 복횡근의 기능을 개선하고 통증을 경감시키는데 효과적인 운동 방법이다. AHE를 수행하기 위한 시작 자세로 누운 자세, 엎드린 자세, 네발기기 자세 그리고 벽에 기대 선 자세가 추천된다. 누운 자세는 다른 자세들에 비해 복횡근의 독립적 수축이 용이하며, 엎드린 자세는 다른 자세에 비해 복횡근의 높은 수축을 유도할 수 있다. 그리고 선 자세는 전체적인 복부 근육을 다른 자세에 비해 활성화시킬 수 있는 이점이 있지만 4가지 자세 모두 정확한 AHE를 실시하는데 많은 어려움이 존재한다. 그러므로 정확한 AHE를 실시하기 위해 실시간 초음파 영상 피드백 또는 재활적 초음파 영상 피드백의 적용이 추천된다.

하지만 우리나라의 임상에서 초음파를 사용하는 물리치료사들이 많이 부족하기 때문에, 재활적 초음파 사용에 대한 더 많은 교육과 훈련이 선행되어야 할 것이다. 그리고 재활적 초음파를 활용한 다양한 연구와 AHE를 결합한 운동의 효과를 규명할 수 있는 연구들이 많이 이루어졌으면 하는 바람이다.

참 고 문 헌

- Akuthota V, Nadler SF. Core strengthening. Arch Phys Med Rehabil. 85(3 Suppl 1):S86-92, 2004.
- Barker PJ, Guggenheimer KT, Grkovic I et al. Effects of tensioning the lumbar fasciae on segmental stiffness during flexion and extension: Young Investigator Award winner. Spine. 31(4):397-405, 2006.
- Beith ID, Synnott RE, Newman SA. Abdominal muscle activity during the abdominal hollowing manoeuvre in the four point kneeling and prone positions. Man Ther. 6(2):82-87, 2001.
- Cairns MC, Harrison K, Wright C. Pressure Biofeedback: A useful tool in the quantification of abdominal muscular dysfunction? Physiotherapy. 86(3):127-138, 2000.
- Chanthapetch P, Kanlayanaphotporn R, Gaogasigam C et al. Abdominal muscle activity during abdominal hollowing in four starting positions. Man Ther. 14(6):642-646, 2009.
- Chon SC, Chang KY, You JS. Effect of the abdominal draw-in manoeuvre in combination with ankle dorsiflexion in strengthening the transverse abdominal muscle in healthy young adults: A preliminary, randomised, controlled study. Physiotherapy. 96(2):130-136, 2010.
- Cresswell AG, Grundström H, Thorstensson A. Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. Acta Physiol Scand. 144(4):409-418,

- 1992.
- Critchley D. Instructing pelvic floor contraction facilitates transversus abdominis thickness increase during low-abdominal hollowing. *Physiother Res Int.* 7(2):65-75, 2002.
- Critchley DJ, CouttsFJ. Abdominal muscle function in chronic low back pain patients: measurement with real-time ultrasound scanning. *Physiotherapy.* 88(6):322-332, 2002.
- Drysdale CL, Earl JE, Hertel J. Surface Electromyographic Activity of the Abdominal Muscles During Pelvic-Tilt and Abdominal-Hollowing Exercises. *J Athl Train.* 39(1):32-36, 2004.
- Ferreira PH, Ferreira ML, Hodges PW. Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity. *Spine.* 29(22):2560-2566, 2004.
- Ferreira PH, Ferreira ML, Maher CG et al. Specific stabilisation exercise for spinal and pelvic pain: a systematic review. *Aust J Physiother.* 52(2):79-88, 2006.
- Goldby LJ, Moore AP, Doust J et al. A randomized controlled trial investigating the efficiency of musculoskeletal physiotherapy on chronic low back disorder. *Spine.* 31(10):1083-1093, 2006.
- Hashimoto BE, Kramer DJ, Wiitala L. Applications of musculoskeletal sonography. *J Clin Ultrasound.* 27(6):293-318, 1999.
- Henry SM, Westervelt KC. The use of real-time ultrasound feedback in teaching abdominal hollowing exercises to healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther.* 35(6):338-345, 2005.
- Henry SM, Teyhen DS. Ultrasound imaging as a feedback tool in the rehabilitation of trunk muscle dysfunction for people with low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 37(10):627-634, 2007.
- Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Use of real-time ultrasound imaging for feedback in rehabilitation. *Man Ther.* 3(3):125-131, 1998.
- Hides J, Wilson S, Stanton W et al. An MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during "drawing-in" of the abdominal wall. *Spine.* 31(6):E175-178, 2006.
- Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine.* 21(22):2640-2650, 1996.
- Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Phys Ther.* 77(2):132-142; discussion 142-144, 1997a.
- Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res.* 114(2):362-370, 1997b.
- Hodges PW. Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthop Clin North Am.* 34(2):245-254, 2003.
- Hodges PW, Eriksson AE, Shirley D et al. Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *J Biomech.* 38(9):1873-1880, 2005.
- Hungerford B, Gilleard W, Hodges P. Evidence of altered lumbopelvic muscle recruitment in the presence of sacroiliac joint pain. *Spine.* 28(14):1593-1600, 2003.
- Levitt R, Deisinger JA, Remondet Wall J et al. EMG feedback-assisted postoperative rehabilitation of minor arthroscopic knee surgeries. *J Sports Med Phys Fitness.* 35(3):218-223, 1995.
- Macedo LG, Maher CG, Latimer J et al. Motor control exercise for persistent, nonspecific low back pain: a systematic review. *Phys Ther.* 89(1):9-25, 2009.
- Manshadi FD, Parnianpour M, Sarrafzadeh J et al.

- Abdominal hollowing and lateral abdominal wall muscles' activity in both healthy men & women: An ultrasonic assessment in supine and standing positions. *J Bodyw Mov Ther.* 15(1):108-113, 2011.
- Marshall P, Murphy B. The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *J Electromyogr Kinesiol.* 13(5): 477-489, 2003.
- McMeeken JM, Beith ID, Newham DJ, Milligan P, Critchley DJ. The relationship between EMG and change in thickness of transversus abdominis. *Clin Biomech.* 19(4):337-342, 2004.
- Mew R. Comparison of changes in abdominal muscle thickness between standing and crook lying during active abdominal hollowing using ultrasound imaging. *Man Ther.* 14(6):690-695, 2009.
- Norasteh A, Ebrahimi E, Salavati M et al. Reliability of B-mode ultrasonography for abdominal muscles in asymptomatic and patients with acute low back pain. *J Bodyw Mov Ther.* 11(1):17-20, 2007.
- Norris CM. Spinal Stabilisation: 5. An Exercise Programme to Enhance Lumbar Stabilisation. *Physiotherapy.* 81(3):138-146, 1995.
- Norris CM. Functional load abdominal training: part 2. *J Bodyw Mov Ther.* 3(4):208-214, 1999.
- Park DJ, Lee HO. Activation of abdominal muscles during abdominal hollowing in four different positions. *J Phys Ther Sci.* 22(2):203-207, 2010.
- Park DJ. Changes of Thickness in Abdominal Muscles between Crook Lying and Wall Support Standing during Abdominal Hollowing in Healthy Men. *J Kor Soc Phys Ther.* 22(6):7-12, 2010a.
- Park DJ. The Effect of Real-time Ultrasound Imaging Feedback during Abdominal Hollowing in Four Point Kneeling to Healthy Men. *J Kor Soc Phys Ther.* 22(6):1-6, 2010b.
- Raney NH, Teyhen DS, Childs JD. Observed changes in lateral abdominal muscle thickness after spinal manipulation: a case series using rehabilitative ultrasound imaging. *J Orthop Sports Phys Ther.* 37(8):472-479, 2007.
- Richardson CA, Jull GA. Muscle control-pain control. What exercises would you prescribe? *Man Ther.* 1(1):2-10, 1995.
- Richardson CA, Snijders CJ, Hides JA et al. The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. *Spine.* 27(4):399-405, 2002.
- Snijders CJ, Slagter AH, van Strik R et al. Why leg crossing? The influence of common postures on abdominal muscle activity. *Spine.* 20(18): 1989-1993, 1995.
- Snijders CJ, Ribbers MT, de Bakker HV et al. EMG recordings of abdominal and back muscles in various standing postures: validation of a biomechanical model on sacroiliac joint stability. *J Electromyogr Kinesiol.* 8(4):205-214, 1998.
- Springer BA, Mielcarek BJ, Nesfield TK et al. Relationships among lateral abdominal muscles, gender, body mass index, and hand dominance. *J Orthop Sports Phys Ther.* 36(5):289-297, 2006.
- Tesh KM, Dunn JS, Evans JH. The abdominal muscles and vertebral stability. *Spine.* 12(5): 501-508, 1987.
- Teyhen DS, Miltenberger CE, Deiters HM et al. The use of ultrasound imaging of the abdominal drawing-in maneuver in subjects with low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 35(6):346-355, 2005.

- Urquhart DM, Barker PJ, Hodges PW et al. Regional morphology of the transversus abdominis and obliquus internus and externus abdominis muscles. *Clin Biomech.* 20(3):233-241, 2005a.
- Urquhart DM, Hodges PW, Allen TJ et al. Abdominal muscle recruitment during a range of voluntary exercises. *Man Ther.* 10(2):144-153, 2005b.
- Vleeming A, Pool-Goudzwaard AL, Stoeckart R, van Wingerden JP, Snijders CJ. The posterior layer of the thoracolumbar fascia. Its function in load transfer from spine to legs. *Spine.* 20(7):753-758, 1995.
- Whittaker JL, Thompson JA, Teyhen DS et al. Rehabilitative ultrasound imaging of pelvic floor muscle function. *J Orthop Sports Phys Ther.* 37(8):487-498, 2007.
- Worth S, Henry SM, Bunn Y. Real-time ultrasound feedback and abdominal hollowing exercises for people with back pain. *NZ J physiother.* 35(1):4-11, 2007.
-