

Review Article

Open Access

기능에서 신체분절의 협응과 기여

채정병†

마산대학교 물리치료과

The Coordination and Contribution of Body Segments during Functioning

Jung-Byung Chae†

Department of Physical Therapy, Masan University

Received: February 6, 2017 / Revised: February 21, 2017 / Accepted: February 21, 2017

© 2017 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

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.

| Abstract |

Purpose: This study investigated the coordination and contribution of body segments during functioning.

Methods: The relevant literature related to body segments and function were reviewed.

Results: Efficient control of function is considered with regard to a participant's ability to perform a sequence of movements in body segments, which progresses from the head to the arm, trunk, pelvis, and leg segments. Each segment performs a specific role, which environment explorer using visual information for the head, reaching and grasping for the arms, a stabilizer for the trunk, and the distribution of COM in the pelvis and leg.

Conclusion: During any of the movements, the momentum generated by the proximal segments is transferred to the adjacent distal segments in an appropriate sequence. In assessing function for clinical intervention strategies, the segment coordination, segment sequence, transfer of the center of body mass, asymmetrical ratio, muscle activity, and compensatory strategies should be considered.

Key Words: Function, Segment of body, Coordination

†Corresponding Author : Jung-Byung Chae (jbchae@masan.ac.kr)

I. 서론

기능(function)이란 목적을 가진 움직임에 말한다. 기능을 수행하기 위해서는 움직임에 대한 개념화(conceptualization), 계획(plan), 전략 선택(selection)과 실행(execution)을 필요로 하며(Shumway-Cook & Woollacott, 2012) 두 가지의 주요한 원리와 연관되어 진다.

첫 번째는 안전성(stability)과 관련된 균형조절(balance control)과 자세조절(postural control) 요소이며, 두 번째는 다양한 신체 분절의 움직임에 대한 자유도(degree of freedom) 숙련(skill)과 관련이 있다. 또한 기능은 머리부터 발끝까지의 “분절적인” 협응과 다른 분절 간의 상호 연관(linkage)에서 선택된 독립적인 제어를 동시에 요구하는 모듈을 가진다(Assaiente, 1995).

인간의 움직임을 의식적 움직임(conscious movement)과 무의식적 움직임(unconscious movement)으로 구분하여 보면 안정성과 관련된 균형조절과 자세조절의 대부분이 무의식적 수준에서 제어됨을 보이고, 과제 수행에 선택되는 전략들은 의식적 수준에서 주로 수행된다.

과제 수행에 관련된 움직임들이 균형조절과 자세조절을 전제로 하는 만큼 기능의 많은 영역들은 의식적 제어 보다 무의적 제어가 더 큰 범위를 차지한다.

정상 움직임이란 그 움직임에 대한 목표를 정하고 있으며, 효율적, 자율적, 수의적 또는 자율화 되는 것으로 정상움직임은 현 시점의 상황(context)에 적응한다(Rohlfs, 2010).

기능(function)은 행위 수행의 명사적 의미로 생활속에서 보여 지는 걷기(walk), 팔 뻗어 잡기(reaching & grasp), 구르기(rolling), 누운 자세에서 서기(supine to stand), 앉은 자세에서 서기(sit to stand), 씻기(washing), 옷 입기(dressing), 먹기(eating), 마시기(drinking) 등의 목적을 가진 움직임들을 말하며, 기능(functioning)이란 앞서 말한 기능(function)을 연속적으로 수행하는 절차와 질(quality), 상태 등을 포함하는 행위 수행의 동사적 의미로 해석할 수 있다.

평가와 치료계획, 중재전략 제공의 알고리즘(algorithm)에서 이루어지는 가설(hypothesis) 설정은 치료에 참여하는 참가자(participant)들의 기능(functioning)을 관찰하고 분석하는데 초점이 더 크다 하겠다(Rothstein et al., 1986).

참가자들의 기능(functioning)을 관찰하고 분석하는데는 질환의 치유단계, 즉, 보호 단계(염증반응기, 급성기), 운동통제 단계(회복과 치유기, 아급성기), 기능회복 단계(성숙과 리모델링기, 만성기)에 따른 전략수립이 필요하며 기능적 움직임의 생체 역학적인 연관성과 조절능력을 고려하여야 한다. 이에 본 연구는 임상에서 이루어지는 기능에 대한 관찰과 분석의 과정에서 신체분절의 의미와 분절 간의 협응과 결과적 기여를 고찰하고 중재전략 모형에 필요한 요소를 알아보고자 하였다.

II. 본론

1. 신체분절(segment of body)

기능(functioning) 관찰과 분석을 위한 신체 분절의 분류는 크게 머리(head), 팔(arm), 몸통(trunk), 골반(pelvis), 다리(leg)를 포함한다.

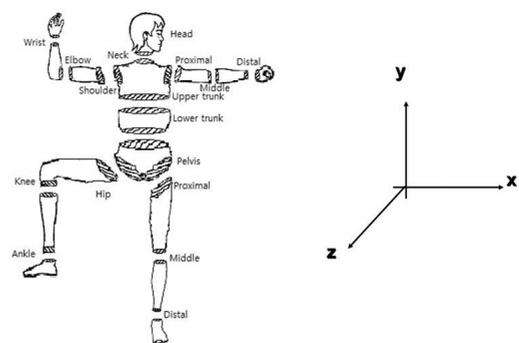


Fig. 1. Segment of body.

1) 머리(head)

시각계(visual system), 안뜰계(vestibular system), 체성감각계(somato-sensory system)는 균형조절에 중요한 3가지 감각구조(sensory organization)영역이다.

이러한 구조에 입력되는 정보는 중력(gravity)과 환경(environment)에 대하여 공간에서 신체위치와 움직임에 대한 정보의 소스(source)가 된다.

각각의 감각은 각기 다른 종류의 정보를 수집하며 자세조절에 대해 서로 다른 기준틀을 제공한다(Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

자세조절에는 세 개 감각 모두가 기여하지만 일시적 외부 동요에 반응하여 어린 아이들은 시각에 강하게 의존하는 경향이 있고 어른들은 체성감각 정보에 더 의존한다(Wade & Jones, 1997).

Precht 등(2001)은 정상발달(normal development)과정에서 신생아의 자발적 머리조절, 항중력 조절의 출현(emerging)이 매우 서툴다는 것에 주목하고, 이것이 그 시기에서 머리와 목을 조절하는 운동과정의 미성숙(움직임 협응 부족) 또는 근력부족(근·골격 제약) 때문이라고 가정했다. 근전도와 비디오 기록을 이용한 연구에서 협응성 근 활동의 존재를 알아본 결과, 중력에 저항하는 근 활동의 조직화된 패턴을 발견하지 못했다. 이런 발견을 통해 신생아에서의 머리조절이 안 되는 것은 단지 근력부족 뿐만 아니라 조직화된 신체 분절의 협응과 근 활동이 없기 때문임을 알 수 있었다.

많은 기능에서 머리분절은 축성분절로서 안정적인 의미를 가지지만 무엇보다 머리분절은 시각적 정보(visual information) 수집을 통한 환경탐색(environment exploration)과 목표물(target)의 개념화(target conceptualization)에 더 중요한 기여를 하며, 시각적 정보수집 과정에서 움직임이 관찰되면 공이 손에 닿기 전에 먼저 대항근과 작용근의 활성이 일어남을 보고하고 있고(Ghez et al., 2000), 많은 운동학자들은 인간의 운동발달과 활동수행력의 발달에 시각정보가 약 60~65% 작용하며 외부 수용기인 시각계는 앞먹임(feed-forward)을 만드는데 결정적인 역할을 한다고 하

였다.

치료적 중재에서 제공되는 과제지향적 접근은 선택된 과제의 특성과 과제에 제공되는 목표물에 대해 입력되는 시각적 정보가 뇌 기능의 전체적 활성화와 스스로의 운동전략(motor strategy), 운동계획(motor plan)의 선택을 만들어 줄 수 있으며, 여러 상황에서 반복적으로 활동촉진 훈련이 제공됨으로 기능 수행력은 증가하게 된다.

또한 앞먹임(feed-forward)과 되먹임(feed-back)은 교차지배의 원리와 주변 환경과 상태에 따라 변화되며 시각적 정보에 의해 앞먹임과 되먹임이 수정되어 일어난다(Pearson et al., 2000).

감각구조에서 시각계와 안뜰계 그리고 체성감각계는 결손된 감각처리 과정에서 상호 보완적 관계를 가진다. 예를 들어 감각실조(sensory ataxia)를 가진 환자들은 걸을 때 바닥을 쳐다 보면서 걸어가는 시각적 보상전략을 활용한다.

또한 걸어 갈 때 앞에 펼쳐진 다양한 환경 자극의 수용과 지면의 상황을 탐색하여 걸음걸이의 전략을 즉각적으로 대처하는 조절은 시각적 정보 수집이 움직임을 만들고 생성하는 주요한 요소임을 보여주며, 팔을 뻗어 무언가를 잡으려 할 때, 목표물이 유리잔이거나 종이컵 인지에 따라 팔을 뻗어 잡기에서 손에 동원되는 근육의 양과 섬세성을 조절하게 되는 것 또한 시각적 정보를 통한 행위 제어로 나타난다. 임상의 중재에서 기능의 촉진을 위한 전략의 틀(frame-work)을 설계할 때 시각적 개입을 포함하는 방법은 움직임의 개념화를 향상 시키는데 매우 중요한 요소이다.

2) 팔(arm)

당신이 누군가 커피를 마시는 모습을 관찰해 보면 그 사람은 컵의 모양과 크기에 따라 손의 모양을 다르게 형성(shaping)하고 테이블에 놓여 있는 컵의 위치에 따라 팔을 뻗어 들어 올려서 입으로 조심스럽게 가져가 마시는 모습을 볼 수 있을 것이다.

일상적인 장면이지만 끊임없이 변화하는 다양한 상황(context)에서 움직임의 선택, 지각(perception), 인

지(cognition)과정을 통해 움직임의 모양(form)이 만들어지는 과정(process-oriented)이다(Mulder, 1991).

팔 분절의 의미는 한마디로 뻗어서 잡기(reaching & grasp)이다. 기능에서 팔의 움직임에는 반드시 원위부(distal)의 목표물에 대한 접촉을 필요로 하며, 대부분의 팔 기능은 열린 사슬 운동(open kinematic chain) 체계에서 이루어진다.

그러므로 임상적 중재에서 팔에 대한 접근은 반드시 목표물에 대한 거리조절과 닿기의 절차를 필요로 한다.

팔의 움직임 조절이 과제 목표에 따라 변화한다는 것은 매우 흥미로운 일이다. 예를 들어 팔이 물체 방향으로 나아가는 데는 팔의 모든 분절은 하나의 단위로 조절되지만 팔이 목표물을 잡는 데에는 운반과 관련된 움직임을 수행하고 손은 물체를 잡는 것과 관련된 움직임을 수행하기 때문에 손은 팔의 다른 분절과는 달리 독립적으로 조절된다.

이 경우 목표물에 뻗기 움직임은 뻗기와 잡기라는 두 가지 아래 요소로 나눌 수 있으며 이러한 움직임은 각기 다른 뇌 영역의 조절로 이루어진다(Jeanerod, 1990).

팔 분절은 어깨(shoulder)관절, 팔꿈치(elbow)관절, 손목(wrist)관절로 세분화 하여 구분할 수 있다.

어깨분절은 신체의 지점에서 근위부(proximal) 관절로서 움직임의 방향을 정하는 기여를 가진다. 즉 손이 나아가서 목표물을 잡기 위한 뻗기의 방향은 어깨분절이 정한다.

손목분절은 원위부 관절로서 과제(task)를 수행(performance)하는 역할을 하며, 과제의 특성과 목표물의 형태, 재질에 따라 그 모양을 달리 선택하게 되며 뇌의 길질영역의 조절로서 섬세하고 부드러운 움직임(fine motor)을 보인다.

팔꿈치분절은 어깨분절과 손목분절 사이에 위치하면서 과제 수행에 대한 거리와 길이조절의 지렛대 역할을 담당한다.

뻗기는 근육 뼈대계와 신경계의 복잡한 상호작용으로 이루어지며 근육 뼈대계 요소는 관절가동범위,

몸통의 유연성, 근육의 특성, 신체분절 간의 연계된 생역학적 관계가 포함된다.

특히, 어깨뼈 돌림, 위팔뼈 머리의 적절한 움직임, 아래팔의 뒤침 능력, 100~120도에 가깝게 어깨관절과 팔꿈치관절을 굽힐 수 있는 능력, 중립위치보다 약간 손목관절을 펼 수 있는 능력, 손으로 잡고 손에서 뺄 수 있는 손의 충분한 운동성과 같은 관절동작 유형이 정상적으로 팔을 움직이는 필수적인 요소라 하겠다(Charness, 1994). 뻗기에서의 자세 안정성은 팔의 조절이 과제의 특성에 의존적인 것과 마찬가지로 자세 안정성에 대한 요구도 또한 과제에 따라 다양하게 변한다. 예를 들면, 앉아서 팔을 뻗는 과제에 동반되는 자세 안정성 요구는 서서 하는 과제보다 덜 엄격하며 따라서 몸통 근육만을 필요로 하지만 서서 팔을 뻗는 동안은 자세의 안정성 요구가 커지고 불안정해지는 것을 막기 위해 다리와 몸통 근육의 광범위한 활동이 필요하게 된다. 자세 안정성 요구는 팔 움직임의 속도와 정확성에 영향을 미치게 되는데 외부 지지에 의해 자세 안정성의 요구가 감소하면 팔 움직임은 빨라지는데 이유는 사전 자세 안정이 필요하지 않기 때문이다(Cordo & Nashner, 1982).

그러므로 팔을 뻗는 과제에 본질적으로 필요한 충분한 자세를 다시 조절할 수 있도록 도와주는 것은 팔을 뻗는 과제를 재훈련 시키는 과정에 필수적이다.

3) 몸통(trunk)

몸통은 신체의 가장 중심부위로 중심선(mid line)을 가지고 근위부 분절로서 움직임에 대한 예측성 자세 조절(anticipatory postural control)을 담당하는 안정인자 분절이다.

예측성 자세조절의 예로, 서 있는 어른에게 팔을 들어 올리라고 했을 때 팔의 주작용 근육보다 앞서 자세조절 근육이 활성화 되어 작용함을 보여준다(Hodges, 1999).

이는 움직임의 준비단계로서 과제 상황에 대한 적응성이며, 자세조절 근육이 움직임의 불안정화 영향을 미리 보상하기 위해 나타내는 반응이다.

연구자들은 다가오는 사건(event)에 대해 감각운동계가 미리 선택하여 조율하는 것을 예측적 중추 세트(predictive central set)라고 했다. 수의적인 움직임을 하기 전 움직임의 상황과 국소성 움직임의 속도는 자세조절 예측성에 영향을 미친다(Cordo & Nashner, 1982).

“당신이 누군가의 골반을 보조로 잡아주면서 걸음 훈련을 가르치고 있는 상황을 상상해 보라.

당신은 걸음훈련 도중 보조로 도와주는 당신의 두 손을 대상자에게서 뺄 계획이다.

당신의 구두명령(verbal command)은 두 가지의 경우이다.

구두명령 경우 1. ○○○님 앞으로 걸어가세요.

구두명령 경우 2. ○○○님 저 앞쪽 의자까지 걸어가세요.

그리고 제가 도와주고 있는 이 손을 언제 뺄 지 모릅니다.”

어떤 차이를 보일까?

아마 구두명령 경우 1에서 걸음훈련 중 대상자의 골반으로부터 당신의 두 손이 떨어지는 순간 대상자는 균형이나 체중심을 안정적으로 유지하던 걸음걸이 조절에서 증가된 흔들림(perturbation)을 보이거나 넘어지려 할 것이다.

반면, 구두명령 경우 2에서 동일하게 걸음훈련 중 당신의 도움이 제거 되더라도 대상자의 균형과 자세 조절에는 큰 흔들림이 나타나지 않을 것이다. 예측적 중추 세트의 요소이다.

구두명령 경우 1에서 대상자는 걸어가는 동안 “앞으로 걸어가세요.” 라는 단순한 구두명령 과제의 지시를 수행 했다.

그러나 구두명령 경우 2에서는 대상자는 “저 앞쪽 의자까지 걸어가세요.” 라는 지시를 듣고 걸음을 시작하기 전 현재 서 있는 곳에서 앞쪽의 의자가 있는 곳까지의 거리와 그 사이에 펼쳐진 환경을 해석하고 대상

자 스스로의 움직임 전략을 선택하여 수행한 결과이다.

또한 당신이 손을 언제 뺄 지 모르기 때문에 보조(assistance)에 대한 해석을 통해 걸음훈련 처음부터 대상자는 당신의 보조를 최소화 하면서 스스로 움직임을 조절하는 전략 선택, 실행을 보여준 결과의 차이이다.

연구자들은 의식적 과제를 수행하는 동안 지지를 제공하면 예측성 자세활동이 감소함을 보여준다. 예를 들면 무엇인가를 당기고 있을 때 자신의 팔로 자신을 고정하고 있는 동안 다른 한쪽의 몸을 지지하고 있는 팔의 근육이 제일 먼저 활동하지만 팔의 지지를 제거한 후 동일한 과제를 수행하면 다리근육이 가장 먼저 활동한다(Marsden et al., 1978).

이것은 작용근에 앞서 자세조절 근육을 활동시키는 것이 어려운 대상자들에게 외부에서 지지를 제공하면 팔 기능이 개선됨을 알 수 있으며 기능적인 팔 운동을 연습하는 동안 단계적으로 외부지지를 제거하면 예측성 자세조절 능력을 촉진할 수 있음을 의미한다.

몸통은 머리, 팔, 골반을 이어주는 축성(axial) 부위로서 높은 안정성이 요구되며 척추를 포함하고 있는 몸통의 중요한 기능에는 복압에 영향을 줄 수 있는 호흡기능도 포함될 것이다(Levangie & Norkin, 2011).

몸통을 형성하고 있는 전형적인 등뼈(thoracic vertebrae)의 독특한 점은 6개의 갈비뼈와 관절을 이루는 척추뼈 몸통과 가로돌기를 가지고 있다는 것이다.

갈비우리 1번부터 7번까지의 갈비뼈는 내려갈수록 점차 길이가 증가하고, 8번부터 12번까지는 내려갈수록 점차 길이가 감소하며 1번에서 7번 갈비뼈의 갈비연골은 갈비연골관절을 통해 복장뼈에 직접 부착되지만 8번에서 10번 갈비뼈의 갈비연골은 위쪽 갈비뼈의 갈비연골을 통해 복장뼈에 간접적으로 부착된다(Williams, 1995).

몸통의 운동은 굽힘(flexion), 펴기(extension), 가쪽 굽힘(lateral flexion), 돌림(rotation) 등을 포함하고 있지만 실제 기능에서는 순수한 굽힘과 펴기 그리고 가쪽 굽힘

만을 보이지는 않는다.

몸통에서 가장 중요한 움직임의 형태는 돌림 요소이다. 몸통의 돌림은 체중심의 조절 및 걸음걸이를 할 때 체 중심을 앞으로 보내는 강력한 요소이다.

돌림 요소를 통한 안정성의 확보는 몸통의 신경근 통제(neuromuscular control)와 몸통을 통한 팔, 다리분절로의 에너지 전환 능력을 의미하는 복잡한 움직임이다. 원위부 움직임을 위한 몸통 안정성은 인간 움직임에서 기본적으로 이해되는 원칙이다(Hoogenboom et al., 2014).

몸통의 돌림요소는 일상의 기능에서 뿐만 아니라 스포츠에서도 같이 육상과 높은 점프, 공차기와 같은 다리를 이용하여 신체를 추진하는 선수들과 테니스의 서버, 체조나 수영, 투포환, 소프트볼, 던지기 등과 같이 팔을 이용하여 추진력과 지지를 얻는 운동선수의 경기력 향상력에도 매우 중요하며, 팔에서 다리로, 다리에서 팔로의 에너지를 전달하고 기능의 수행에서 신체 각속도의 조절에 크게 기여를 한다(Aguinaldo et al., 2007).

몸통은 등뼈 7번을 기준으로 위쪽의 등뼈 1번부터 6번까지를 위 몸통(upper trunk), 아래쪽의 등뼈 8번부터 12번까지를 아래 몸통(lower trunk)으로 구분하며, 위 몸통에서는 가슴(thoracic)으로 인한 방해와 이마면(frontal plane)과 일치하는 후관절(facet joint)면의 방향성 때문에 굽힘과 펴미가 잘 일어나지 않는다. 아래 몸통은 후관절면이 시상면(sagittal plane)에 가까워지므로 굽힘과 펴미 움직임 범위가 증가하게 된다. 위 몸통에서는 가쪽 굽힘과 돌림이 잘 일어난다. 가쪽 굽힘은 항상 축 돌림을 동반하는데 동반되는 축 돌림의 양은 아래쪽으로 갈수록 감소한다. 이러한 요인은 등뼈 10번 또는 등뼈 11번에서 관절돌기면의 방향이 변하기 때문이다(Maiman, 1992). 위 몸통에서는 가쪽 굽힘과 돌림은 같은 방향으로 일어나지만 아래 몸통에서는 돌림은 가쪽 굽힘과 반대방향으로 일어난다(White et al., 1990).

자세조절(postural control)은 공간전략(space strategy)과 지면전략(support strategy)으로 구분하여 설명할 수

있는데 공간전략은 주로 등뼈 7번을 기준으로 윗 분절들, 즉 머리, 팔, 그리고 윗몸통의 협응으로 이루어지며, 공간전략에서 중요한 기능은 팔 뻗어 잡기(reaching & grasp)이고, 지면전략은 등뼈 7번 기준의 아래 분절들, 즉 아래 몸통, 골반, 다리의 협응으로 이루어지며 지면전략의 중요한 기능은 서기(stand)와 걷기(walk)이다.

4) 골반(pelvis)

걷거나 달리기, 물건 들어올리기(lifting) 등의 생활속 기능에서 골반의 안정화(pelvic stabilization)는 매우 중요하며 골반은 신체의 3가지 축 방향과 면에서 비동시적으로 움직인다. 위로는 머리, 팔, 몸통 분절을 지지하며 이러한 분절의 움직임에서 다리분절과의 작용적 가교 역할을 한다(Stuge, 2004).

골반의 움직임은 엉치엉덩관절(sacro-iliac joint)의 영향을 많이 받는데 이는 엉치엉덩관절을 구성하는 뼈들의 관절면이 전부 붙어 있거나 부분적으로 붙어 있기 때문이다.

흔히 말하는 골반의 안정화는 골반을 이루고 있는 양쪽의 엉덩뼈(ilium)와 엉치뼈(sacrum)가 형성하는 엉치엉덩관절의 안정성을 포함 한다. 엉치엉덩관절은 위에 위치하고 있는 머리, 팔, 몸통 분절의 체중을 양다리로 대칭적으로 분산하는 기능을 가지고 있다.

엉치엉덩관절의 움직임은 아주 작지만 그 움직임이 비록 작다 할지라도 시상면에서 안·가쪽축 주위의 앞·뒤 운동, 이마면에서 앞·뒤축 주위의 모음과 벌림, 그리고 가로면에서 세로축 주위의 안쪽돌림·가쪽돌림을 포함한 3개의 자유도를 가지고 있다(Goode, 2008).

전단력(shear force)은 접촉면과 평행하고(또는 곡면과는 접선방향이며), 두 면 사이에서 움직임을 발생시키거나 제한한다, 어떤 물체에서 접촉력이 발생할 때마다, 그 물체에서는 마찰력(friction force)이 잠재적으로 존재한다. 마찰력은 접촉면에 항상 평행하고 또는 곡면과는 접선방향이며 움직임이 일어나려는 방향과 반대방향으로 작용하는 힘이다(Levangie & Norkin,

2011). 마찰력과 전단력은 모두 접촉면에 평행하게 발생하는 힘이므로 마찰력은 전단력의 특수한 형태라 할 수 있으나 마찰력은 움직임이 일어나고 있는, 또는 일어나려는 방향과 항상 반대의 방향을 갖는 전단력이다(Cromer, 1994).

영치엉덩관절에서 발생하는 전단력은 신체의 윗 분절의 무게를 두 다리에 대칭적, 안정적 분산을 통하여 자세조절에서 작용하는 힘의 대칭성을 만들어 간다.

만약에 영치엉덩관절에 작용하는 비대칭적 전단력은 한쪽 다리로의 과부하를 발생 시키며 이러한 요인들은 전체적 신체분절의 비대칭적 자세조절을 초래하게 된다.

또한 걸을 때 발과 지면의 접촉에서 발생하는 지면 반발력(ground reaction force)의 윗 분절로의 전달 또한 영치엉덩관절의 기여로 말할 수 있다.

신체의 움직임에서 척추의 장축을 따라 몸통의 중심선에 수직방향으로 가해지는 축성압박(axial compression)은 바른 자세유지에 매우 중요한 요소인데 중력, 지면 반발력, 그리고 인대와 근육의 힘에 의해 발생하는 힘이다(Levangie & Norkin, 2011).

지면으로부터 전달되는 비대칭적 지면 반발력은 몸통의 좌·우 흔들림(perturbation)을 초래하는 원인이 되기도 한다(Perry & Burnfield, 1992).

해변이나 울퉁불퉁한 자갈길, 그리고 눈이 많이 쌓인 거리를 걸어가는 누군가를 상상해 보라.

5) 다리(leg)

다리 분절의 기여는 서기(stand)와 걷기(walk)이며 기능에서 다리의 움직임에는 반드시 원위부인 발의 지면에 대한 접촉을 필요로 하고, 대부분의 다리 기능은 닫힌 사슬 운동(closed kinematic chain) 체계의 체중 부하와 지면의 환경에 대한 대처조절로 이루어진다(Houghlum & Bertoti, 2012). 그러므로 임상적 중재에서 다리에 대한 중재접근은 반드시 조기의 지면경험과 자세조절에서 수직축에 대한 대칭적 체중분산의 역할을 필요로 한다(Richardson, 2002).

걸음걸이는 입각기 안정성을 유지하면서 신체를 앞으로 움직이는 다리의 교대, 반복진행을 이용하며 이러한 반복진행은 몸통과 다리의 여러 분절사이에 상호 작용을 연속적으로 활용하고 시간적·공간적 요소뿐만 아니라 신체 분절이나 신체 전체가 공간에서 어떻게 조절되는가에 대한 조절 기전(control mechanism)을 포함하고 있다.

걸음걸이 동안 신체 분절들의 기능은 전달 요인(passenger unit)과 이동 요인(locomotion unit)으로 나누어지는데 전달 요인은 오직 자세를 통합하는 기능을 말하며, 정상 걸음걸이의 기전은 전달 요인의 요구사항이 최소로 발생하며 이동 요인으로 이동하게 하는 수동적인 움직임을 만든다(Perry & Burnfield, 1992). 머리, 팔, 몸통 분절은 전달 요인이며 걸음걸이를 할 때 직접적 기여보다는 다리 위에 정렬되어 이동 요인의 근육의 활동에 의해 운반되어진다(Elftman, 1954). 골반과 다리는 이동 요인 분절이며 각각의 관절들과 근육활동의 지레 역할에 의해 선택적으로 조절된다. 이때 골반은 두 가지 역할을 담당하는데 이동 요인 조절기능으로 두 다리 움직임의 연결고리 역할과 엉덩관절 위의 골반은 전달 요인의 기본 분절 기능을 가진다.

걷기를 표현하는 방식에는 걷기(walk)와 걸음걸이(gait)가 있는데 일반적으로 걷기(walk)는 그 형상을 일컫는 표현이며, 걸음걸이(gait)는 걷기(walk)의 조절되는 기전(control mechanism)을 말한다(Whittle, 1990). 즉 사람은 누구나 두발 걷기(bipedal walk)를 하지만 다른 걸음걸이(gait)를 보인다.

기능적 측면에서 볼 때 걸음걸이와 관련된 기본적인 과제는 체중 수용, 한발 지지, 다리의 전진, 3 가지이다. 입각기는 이들 기본적 과제에 중요한 역할을 하고 세부 단계는 다양하게 영향을 미친다(Carr & Shepherd, 1998). 초기 접지기와 부하 반응기는 체중을 수용하는 세분 단계이다.

한발 지지는 중간 입각기에서 일어나고 이 시기는 보행동안 가장 균형이 불안정한 시기이다. 이 시기에서는 무게중심이 가쪽으로 이동하고 한발로 서 있는

다리 쪽으로 이동된다. 다리 전진은 앞쪽으로 몸을 움직이고 종말 입각기와 전 유각기에서 일어난다. 이들 세부 단계는 다리를 앞쪽으로 움직이기 위해 추진력을 제공한다. 입각기 세부단계는 이들 과제를 이루기 위해 효과적인 힘 흡수와 효율적인 에너지 소비를 이용한다(Bertoti, 2004).

유각기는 위의 3 과제 중 한 과제인 다리 전진에만 관련되며 유각기 동안 다리 전진은 충분한 풋 클리어런스(foot clearance)를 필요로 한다. 유각기 초기 동안에는 다리가 가속으로 움직이고 후반부에는 초기 접지기를 준비한다. 유각기의 초기 유각기와 중간 유각기 동안에는 다리 길이를 짧게 만들기 위해 엉덩관절, 무릎관절 및 발목관절을 굽힘하여 발이 지면으로부터 떨어지게 만든다. 그 다음으로 다리를 길게 만들기 위해 종말 유각기에서 무릎관절의 빠른 펴기 시작된다. 이런 움직임은 걸음길이(step length)를 증가시키고 초기 접지기의 안정성을 준비하기 위한 과정이다(Bertoti, 2004).

다리 분절은 엉덩(hip)관절, 무릎(knee)관절, 발목(ankle)관절 분절로 세분화 하여 구분할 수 있다. 걸음 길이는 유각기에 다리 분절의 선택적 전진과 입각기에 발의 지지와 몸통에서 일어나는 여러 변화의 정렬을 포함하며, 이들 반응은 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절에 의해 형성되어지는 움직임의 연속적 결과로(Perry & Bumfield, 1992) 엉덩분절은 다리에서 근위부 관절로서 움직임의 방향을 정하는 기능을 가지고 있다. 즉, 발이 나아가는 방향은 엉덩분절이 정한다.

발목분절은 원위부 관절로서 과제를 수행하는 역할을 하며 지면의 환경에 따라 그 모양과 지지전략(support strategy)을 달리 선택하게 된다.

무릎분절은 엉덩분절과 발목분절 사이에 위치하면서 과제 수행에 대한 거리와 길이조절의 지렛팔 역할에 기여한다.

2. 기능의 초점(focus on functioning)

기능 수행에 참여하는 신체 분절 간의 협응과 기여에 대한 이해는 효과적인 치료 결과의 성공을 예측할

수 있다. 기능에 대한 평가는 다음의 요소에 초점을 둔다.

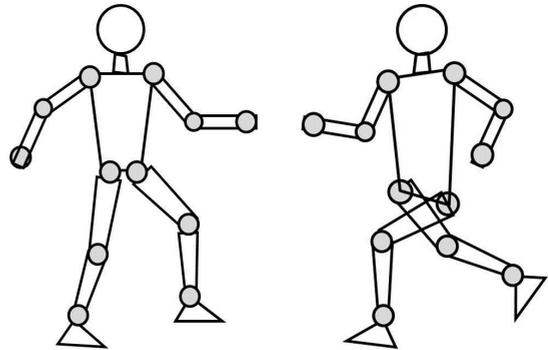


Fig. 2. Coordination of segment of body.

1) 분절의 협응(segment coordination)과 연속성(sequence) ; 뻗어서 잡기 중심으로.

뻗어서 잡기 기능의 예처럼 머리-팔-몸통의 협응은 목표물 잡기에 대한 성공적인 과제수행을 만들어 낸다. 목표물에 대한 시각적 응시(gaze), 목표물이 중심 시야에 있다면 눈만 움직이게 되지만 주변시야에 있을 때는 머리와 몸통의 움직임을 동반하게 된다.

또 이러한 절차에는 분절의 연속적 참여가 필요한데 참여의 순서는 과제의 상황에 따라 다르게 나타난다. 잡으려는 물체가 주변시야에 있으면 가장 짧은 잠복기를 가진 눈의 움직임이 시작되며 눈의 움직임이 빠르기 때문에 눈이 먼저 목표물에 도달하고 머리의 움직임이 끝나기 전에 눈은 목표물에 초점을 맞추게 된다. 그러나 근육의 활동은 눈의 움직임을 조절하는 근육이 활성화되기 전에 머리를 조절하는 목 근육의 활성화가 먼저 일어난다(Jeanerod, 1990).

목 근육에서 먼저 활성화가 일어난다 하더라도 머리보다 눈의 관성력이 작기 때문에 눈이 먼저 움직인다.

이러한 연속성은 팔을 정확하게 움직여야 하는 경우, 눈과 머리를 함께 움직이는 조절로 바뀌게 된다. 몸통의 개입은 주로 먼 시야에 있는 물체를 뻗어 잡기에 필요하다(Roll, 1986).

움직임 조절을 위한 신경학적 작용과 근육 뼈대계의 협응과 연속적 참여는 누운 자세에서 서기, 앉은 자세에서 서기, 걷기 등과 같은 수많은 기능에서 상황(context)에 따라 효율적 전략을 선택하고 신체 분절 간의 협응과 연속적 참여를 통해 작용하는 힘의 가중(summation of force)을 생산해 낸다.

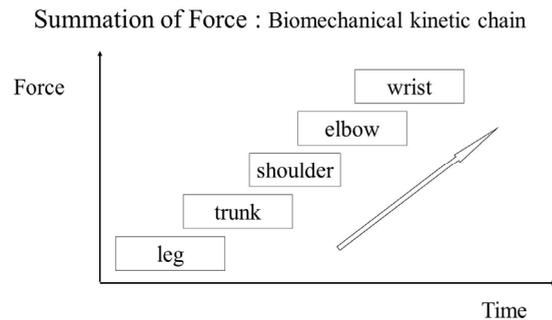


Fig. 3. Summation of force ; for example of throwing.

2) 체중심 이동(transfer of center of body mass)과

비대칭율(asymmetrical ratio) ; 걸음걸이 중심으로서 선 자세에서의 안정성은 신체 분절의 정렬과 각 분절의 근 활동 사이에서 기능적인 균형에 의해 결정된다. 각 신체 분절은 지면 방향으로 떨어지는 무게를 가지고 있고, 뿐만 아니라 끌어 당기는 힘도 가지고 있다. 각 분절에는 중력 중심점이 있고 그것은 질량의 무게를 나타낸다. 지지하고 있는 분절 가운데 위에 중력 중심점 위의 분절이 일렬로 정확하게 있을 때 수동적 안정성을 가지게 되며 이러한 자세의 안정성은 지지하는 지면과 자연스러운 외력에 의존된다(Horak, 1997).

선 자세에서의 안정성을 변화시키는 3가지 요소로 첫째 전달 요인과 이동 요인 사이의 정점 무게와 관련이 있으며 인체 무게의 70%는 지지 체계이고 이것의 30%는 신체질량이다. 둘째는 다리를 지지하는 자연적인 다 분절이며, 셋째 요소는 다리관절의 외형을 들 수 있다.

서 있거나 걸을 때 체중심의 의미는 신체 그 자체의 신체 벡트(body vector)이거나 지면으로부터 발생하는

지면 반발력 벡트(vector)이다. 이 관계는 체중이 바닥으로 떨어지면 반대로 바닥에서 신체로 동일하게 작용하는 힘이다. 지면 반발력은 걸음걸이에서 오른쪽 발의 입각기 대부분에서 무게중심을 몸의 왼쪽으로 가속되게 하고 왼쪽발의 입각기에서는 무게중심을 오른쪽으로 가속되게 하는(Whittle, 1990) 고대적 바닥접촉을 통해 몸통의 바로 세우기(up righting)를 위한 매우 중요한 안정인자의 역할을 한다.

정상 걸음걸이 조절에 관한 주요 문제 하나가 머리-팔-몸통 분절의 균형을 다리로 충분히 전달하고 유지하는 것이며 그 사이의 골반작용을 통한 신체 분절 중심의 편위와 가속은 다리의 유각기와 입각기 활동을 만들고 이러한 요소는 골반에서 가장 많은 양의 움직임이 발생한다. 골반의 움직임은 아래 몸통의 기저부가 엉덩관절 지지부의 중심으로 편심성 활동을 할 때 시작되며 몸통을 골반위에 정렬하기 위해 몸통의 등, 배쪽 근육들을 조절하는 동안 엉덩관절 근육들에 의해 억제된다(Perry & Burnfield, 1992).

골반 움직임의 양측지지 감소나 차이는 머리, 팔, 몸통 무게를 다리로 전달할 때 비대칭적 부하를 발생시키고 위 분절로 전달되어지는 지면 반발력의 비대칭률을 증가시킨다(Richardson, 2002).

3) 근 활동(muscle activity)

근육은 충격 흡수와 부하의 분배를 통해 뼈에 대한 보호와 근력을 제공하고 관절에서 뼈가 움직일 수 있게 하는 힘 발생기(force generator)이며 힘에 대해 자세 유지를 조절한다. 이러한 근육의 능력은 개별 근육에 의한 것이 아니라 근육의 그룹작용에 의해 만들어진다.

근육은 몸의 위치나 자세를 유지하는 정적인 일과 공간에서 신체 분절의 자세화를 만들어 내는 동적인 일을 통해 기능을 수행한다(Nordin & Frankel, 2001).

가중(summation)이라는 역학적 반응을 통해 원활한 기능 수행이 이루어지게 되는데 가중이란 연속적 자극에 대한 역학적 반응이 초기 반응에 더해질 때 나타나는 결과를 말한다. 가중은 공간적 가중(spatial summation)

과 시간적 가중(temporal summation)으로 구분되는데 공간적 가중은 a에만 자극을 주면 a와 관련된 운동신경만 작용을 하고, b에만 자극을 주면 b와 관련된 운동신경만 작용을 하지만 a와 b를 동시에 자극하면 지금까지 작용하지 않던 c도 작용하게 됨을 말하며 시간적 가중은 시간 차이를 두고 반복되는 자극이 제공되어 작용함을 의미한다(Kroemer et al., 1990).

가중이 이루어지면 효과적인 반응이 단일근 쪽에서부터 연관이 있는 근육의 그룹 활동으로 확산되어 나가고 기능수행을 위한 분절의 협응과 참여를 유도한다.

동적인 근육의 일은 근육의 길이가 짧아지면서 힘이 발생하는 동심성 활동(concentric activity)과 장력을 받아 근육의 길이가 늘어나면서 힘을 발생하는 편심성 활동(eccentric activity)으로 움직임에 대한 신체분절의 진폭을 일으킨다. 등척성 활동(isometric activity)은 근육의 길이 변화나 관절의 움직임 없이 힘을 생성하는 정적인 일의 형태이며, 비록 역학적 일(힘×거리)은 발생되지 않지만 장력과 힘이 생성된다. 등척성 활동의 저항 근원으로는 손에 의한 저항에 대해 유지하기, 특정자세로 무릎을 유지하기, 체중의 부하에 대항하여 자세를 유지하기, 또는 움직이지 않는 물체를 당기거나 밀기 등이 있다(LaStayo et al., 2003).

기능적 움직임에서 근육의 동심성 활동은 신체분절을 가속시키는 반면 편심성 활동은 움직임의 방향이나 움직임의 양의 갑작스러운 변화 동안 신체분절을 감속시키고 충격을 흡수하는 작용을 가진다(Dean, 1988). 앉은 자세에서 서기, 물건을 들어 올리고 내리기, 경사로 오르기, 계단 오르기 등과 같은 일상에서 많은 기능들이 근육의 동심성, 편심성 활동들과 연결되어 있다. 특히 편심성 활동은 근육 뼈대계 손상이나 수술 이후의 재활 프로그램과 고강도의 감속, 빠른 방향전환, 반복적 편심성 활동을 포함하는 기능들과 관련이 있는 손상이나 재손상의 위험을 감소시키기 위한 중재전략에 필수적인 요소이다(Niederbracht, 2008).

근 활동에서의 장력은 등척성 활동이 동심성 활동

에서 보다 크게 생산되며, 편심성 활동에서 생산되는 장력은 등척성 활동에서 보다 초과하여 생산된다. 이러한 차이는 직렬 탄성요소에서 생산된 다양한 양의 추가적인 장력과 수축 시간에서의 차이로 보여지며 등척성과 편심성활동의 더 긴 수축시간은 수축성 요소에서의 더 큰 교차연결을 형성하여 장력을 더 크게 전개시키게 된다. 아울러 더 긴 수축시간은 부가적인 운동단위의 동원을 이끌어 낼 수 있다(Kroll, 1987).

4) 보상전략(compensatory strategy)

보상(compensation)은 과제를 완성하기 위해 대체 행동전략을 채택하는 행동대체(behavior substitution), 행동의 대리로 정의된다. 임상에서 중요한 관심은 치료적 중재가 기능회복과 보상의 어느 쪽에 집중해야 하는가이다. 이 질문에 대한 해석도 성인의 중추신경계 가소성(plasticity)과 유연성(malleability)에 관한 정보가 변화함에 따라 다양하게 변화해 왔다(Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

기능적 접근에서 보면 치료의 중재는 개인의 특이한 신체 조건과 한계점을 고려한 학습 과정이라 볼 수 있으며 그것은 보상과 적응(adaptation)이라는 상호보완적인 요소들로 구성된다.

보상은 개인이 어떤 과제에 접근하면서 취해야 할 변화를 말하고 적응이란 인적, 물리적 환경 안에서 재학습 기술(relearning of skill)을 촉진시키기 위해 체험해야 할 변화라고 말할 수 있다(Unsworth, 1999).

기능회복 과정의 이동 훈련 전 중재 프로그램으로 평행봉에서의 걷기 진행은 선 자세의 유지와 정적·동적 균형의 조절, 부분적으로나마 완전히 다리에서 체중을 빼는 것을 팔이 보조함으로써 가능하다. 높은 수준의 안정성이 팔의 지지에 의해 제공되기 때문에 정상적인 이동 리듬에 필요한 협응된 움직임과 균형 조절에 부과되는 요구가 적어진다. 이러한 장기적인 보상 습관(compensation practice)은 결국 독립적 걷기를 제한하거나 보조 장비 사용을 초래한다.

임상에서의 중재 전략(intervention strategy)은 회

복적 중재(restorative intervention)와 보상적 중재(compensatory intervention)로 구분할 수 있다. 회복적 중재는 손상과 기능 제한을 개선시키거나 향상시키는 것에 초점을 두며, 보상적 중재는 기능 제한과 장애를 최소화하기 위해 활동, 과제 또는 환경을 변화시키는 데 초점을 두어야 한다(Jenkinson et al., 2001). 중재 전략은 수정된 방법으로 완성된 과제수행을 제시하고 간소화 하며 적용 시키는 것이다. 과제에 대한 참가자의 훈련과 재학습은 기능적으로 예상되어지는 새로운 환경 패턴으로 나타난다.

에너지 보존 기법은 매일 과제를 성공적으로 수행해야 하는 참가자들에게 매우 중요한 요소이며 이를 통해 기술에 대한 재학습과 쉬운 움직임, 적절한 수행 능력의 촉진으로 과제에 대한 수정과 적응을 만들어 주는 것이다. 보상 기술을 가르치는 전략은 (1) 간단하게 지시하라. (2) 방법을 확정하고, 일상적으로 수행하라. (3) 각각의 활동을 동일한 방법으로 수행하라. (4) 가능한 많이 반복하라.

III. 결론

임상의 중재전략 제공 알고리즘(algorithm)에서 이루어지는 움직임 평가와 분석은 측정 및 분석 방법에 따라 다양한 결과를 보일 수 있다. 기능(function)이란 목적을 가진 움직임을 말한다. 기능(function)을 위한 신경학적 조절과 근육 뼈대계의 상호 작용은 신체분절 간의 협응과 순차적인 참여를 통해 전략적 선택으로 이루어진다. 머리, 팔, 몸통, 골반, 다리 분절의 협응과 참여를 통해 움직임에 대한 안정성 생산과 효율적이고 선택적인 원위부의 독립제어를 통해 과제가 수행 되는 것이다. 본 연구는 기능(functioning)을 수행할 때 신체 분절의 협응과 기여에 대해 알아보았다.

효율적인 기능(functioning)의 조절은 머리, 팔, 몸통, 골반, 다리분절까지의 진행하는 신체 분절 움직임들의 연속성과 참가자의 능력을 고려해야 한다.

각각의 분절에서 머리는 시각적 정보 수집을 통한

환경 탐색, 팔에서의 뺏어서 잡기, 안정인자로서의 몸통, 체 중심을 분산하는 골반과 다리와 같이 고유의 역할을 가진다.

신체 근위분절에서 만들어진 힘은 적절한 이동의 타이밍에 의해 인근 원위분절로 전달되는 방식으로 기능이 수행된다. 기능을 평가하는 임상의 중재전략에는 신체분절의 협응과 연속성, 체중심 이동과 비대칭을, 동심성, 등척성, 편심성의 근활동 그리고 보상전략이 고려되어야 한다.

References

- Aguiñaldo AL, Buttermore J, Chambers H. Effects of upper trunk rotation on shoulder joint torque among baseball pitchers of various levels. *Journal of Applied Biomechanics*. 2007;23(1):42-51.
- Assaiante C, Amblard B. An ontogenetic model for the sensori-motor organization of balance control in humans. *Human Movement Science*. 1995;14(1):13-43.
- Bertoti DB. Functional neurorehabilitation through the life span. Philadelphia. The F.A. Davis Company. 2004.
- Rohlf's BP. Erfahrungen mit dem Bobath-Konzept. Stuttgart. Georg Thieme Verlag. 2010.
- Carr JH, Shepherd RB. Neurological rehabilitation: optimizing motor performance. Butterworth Heinemann. Oxford. 1998.
- Charness AL. Management of the upper extremity in the patient with hemiplegia. course syllabus for the annual meeting of the Washington Physical Therapy Association. 1994.
- Cordo P, Nashner L. Properties of postural adjustments associated with rapid arm movement. *Journal of Neurophysiology*. 1982;47(2):287-302.
- Cromer A. Physics for the life science, 2nd ed. New York. McGraw-Hill. 1994.

- Dean E. Physiology and therapeutic implications of negative work: a review. *Physical Therapy*. 1988;68(2): 233-237.
- Elftman H. The functional structure of the lower limb. In Klopateg PE, Wilson PD: human limbs and their substitutes. New York. McGraw-Hill. 1954.
- Ghez C, Krakauer J. Voluntary movement. In: Kandel, Schwartz, Jessel. Principles of neuroscience. New York. McGraw-Hill. 2000.
- Goode A, Hegedus EJ, Sizer P, et al. Three dimensional movements of the sacroiliac joint: a systematic review of the literature and assessment of clinical utility. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*. 2008;16(1):25-38.
- Hodges PW, Richardson CA. Transversus abdominis and the superficial abdominal muscle are controlled independently in a postural task. *Neuroscience Letters*. 1999;265(2):91-94.
- Hoogenboom BJ, Voight ML, Prentice WE. Musculoskeletal intervention: techniques for therapeutic exercise, 3rd ed. New York. McGraw-Hill. 2014.
- Horak FB, Henry SM, Shumway-Cook A. Postural perturbations: new insights for treatment of balance disorders. *Physical Therapy*. 1997;77(5):517-533.
- Houglum PA, Bertoti DB. Brunnstrom's Clinical Kinesiology. The F.A. Davis Company. Philadelphia. 2012.
- Jeannerod M. The neural and behavioral organization of goal directed movements. Oxford. Clarendon Press. 1990.
- Jenkinson C, Fitzpatrick R. Reduced item set for the amyotrophic lateral Sclerosis assessment questionnaire: Development and validation of the ALSAQ-5. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 2001; 70(1):70.
- Kroemer KHE, Marras WM, McGlothlin JD, et al. On the measurement of human strength. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1990;6(3):199-210.
- Kroll PG. The effect of previous contraction condition on subsequent eccentric power production in elbow flexor muscles. Unpublished doctoral dissertation. New York. New York University. 1987.
- LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD, et al. Eccentric muscle contractions: their contributions to injury, prevention, rehabilitation and sport. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2003;33(10):557-571.
- Levangie PK, Norkin CC. Joint Structure and Function. Philadelphia. The F.A. Davis Company. 2011.
- Maiman DJ, Pinrar FA. Anatomy and clinical biomechanics of the thoracic spine. *Clinical Neurosurgery*. 1992;38:296-324.
- Marsden CD, Merton PA, Morton HB. Anticipatory postural responses in the human subject. *Journal of physiology*. 1978;275:47-48.
- Mulder T. A process-oriented model of human motor behavior: toward a theory-based rehabilitation approach. *Physical Therapy*. 1991;71(2):157-164.
- Niederbracht Y, Shim AL, Sloniger MA, et al. Effects of a shoulder injury prevention strength training program on eccentric external rotation muscle strength and glenohumeral joint imbalance in female overhead activity athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008;22(1):140-145.
- Nordin M, Frankel VH. Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins, Inc. 2001.
- Pearson K, Gordon J. Spinal Reflexes In: Kandel, Schwartz, Jessel. Principles of Neuroscience. New York. McGraw-Hill. 2000.
- Perry J, Burnfield J. Gait analysis normal and pathological function. New Jersey. Slack Incorporated. 1992.
- Precht HF, Cioni G, Einspieler C. Role of vision on early motor development: lessons from the blind. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2001;43(3):198-201.
- Richardson C, Snijders CJ, Hides JA, et al. The relation between

- the transversus abdominis muscle, sacroiliac joint mechanics and low back pain. *Spine*. 2002; 27(4):399-405.
- Roll R, Bard C, Paillard J. Head orienting contributes to directional accuracy of aiming at distant targets. *Human Movement Science*. 1986;5(4):359-371.
- Rothstein Jm, Echternach JL. Hypothesis-Oriented algorithm for clinicians : a method for evaluation and treatment planning. *Physical Therapy*. 1986;66(9):1388-1394.
- Shumway-Cook A, Woollacott HM. Motor control: translating research into clinical practice, 4th ed. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins, Inc. 2012.
- Stuge B, Even L, Kirkesola G. The efficacy of a treatment program focusing on specific stabilizing exercises for pelvic girdle pain after pregnancy. *Spine*, 2004;29(4):351-359.
- Unsworth C. Cognitive and perceptual dysfunction: a clinical reasoning approach to evaluation and intervention. Philadelphia. The F.A. Davis Company. 1999.
- Wade MG, Jones G. The role of vision and spatial orientation in the maintenance of posture. *Physical Therapy*. 1997;77(6):619-628.
- White AA, Panjabi MM. Clinical biomechanics of the spine, 2nd ed. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins, Inc. 1990.
- Whittle MW. Gait analysis an introduction. Oxford Orthopedic Engineering Centre University of Oxford. 1990.
- Williams PL. Gray's anatomy. St. Louis. Elsevier. 1995.