대한고유수용성신경근촉진법학회 : 제6권 제3호, 2008년 9월
J. of the Korean Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association
Vol.6, No.3, September 2008. p.29~35

발과 족관절의 운동학적 분석

김 재 헌

선린대학 물리치료과

Kinetic analysis of the foot and ankle

Jae-Hun Kim, PT, MS

Department of Physical Therapy, Sunlin college

<Abstract>

Purpose : To describes the important aspects of the foot and ankle movement and function used when git and balance strategy.

Method : The foot and ankle was a very important roles in the lower limb movement and gait. This study summarizes the physiologic movement of knee to the PNF lower extremity patterns.

Result : The ankle joint composed of the talocural joint, the subtalarl joint, transverse tarsal joint, talocalcaneonavicular joint. The onset of dorsiflexion muscle activity starts in pre swing gait patterns. First contract muscle is the extensor hallucis. Activity of tibialis anterior and extensor digitorum longus quickly follows in mid swing gait phase. During stance phase, the soleus and gastrocnemius muscle provided plantar flexor torque, which muscle reacts quickly to restrain ankle dorsiflexion, and contributes modulated control of the ankle motion in gait patterns.

Conclusions : The understanding of ankle kinematics, could provide a good therapeutic approach for improving gait patterns in patients with various pathological condition.

Key Words : Talocural joint, Subtalar joint, Transverse tarsal joint, Talocalcaneonavicular joint, PNF lower extremity patterns

---

* 본 연구는 선린대학 학술연구 지원비에 의해 수행되었음.
교신저자 : 김재헌(e-mail: kjhc@sunlin.ac.kr)
논문접수일: 2008년 6월 10일 / 수정접수일: 2008년 7월 10일 / 게재승인일: 2008년 8월 10일

Ⅰ. 서 론

발과 족관절은 28개의 뼈와 25개의 관절로 구성되어 있는 복잡한 구조로 정상적인 기능을 수행하기 위해서는 안정성과 운동성이 함께 확보되어야한다. 특히 반복적인 하중과 다양한 운동범위, 다양한 속도변화 및 지지면의 변화에도 불구하고 신체를 유지하고 움직임을 유지하도록 하는 가장 기본이 되는 부분이다. 따라서 발과 족관절은 체중이동으로 많은 스트레스를 받으며 이로 인하여 여러 가지 문제가 발생한다. 최근 정형계 물리치료 뿐 아니라 신경계 물리치료 분야에서도 이러한 이유 때문에 발과 족관절에 대한 관심과 교육들이 이루어지고 있다.

하지의 발과 족관절은 상지의 손과 수관절과 비슷한 구조를 보이나, 손과 수관절 보다 상위관절과의 상호연관성이 더 많은 형태로 체중으로 인한 압박력에 의한 많은 문제가 발생한다(Levangir과 Norkin, 2001). 다양한 체중 이동 등의 충격을 흡수하고 움직임을 만들기 위해 충분한 운동성이 있어야 한다. 또 근육과 에너지 소비를 최소화하면서 다양한 자세의 변화에도 안정된 기저면을 제공하며, 발끝밀기를 위해 강한 지렛대 역할을 하는 등 체중지지와 보행 등에서 발생하는 스트레스를 견딜 수 있을 정도의 안정성이 함께 유지되어야 한다(Levangir과 Norkin, 2001; Neumann, 2002; Perry, 1992; Myers TW, 2001).

이러한 발을 기능적으로 분류하면 중족골과 지골로 구성된 전족부, 주상골과 입방골 그리고 세 개의 설상골로 구성된 중족부, 거골과 종골로 구성된 후족부로 나누어진다.

균형전략에는 첫 번째로 발과 족관절 전략, 두 번째로 고관절 전략, 세 번째로 한발짝 전략, 네 번째로 슬관절 전략이 있다. 그중 가장 기본이 되는 것이 발과 족관절 전략이다. 이러한 균형 전략은 곧 보행과 연관되며, 그중 발과 족관절의 움직임은 보행에서 충격 흡수와 체지의 전진을 도와주는 역할을 한다. 따라서 본 연구는 발과 족관절의 움직임에 대해 고찰함으로 이렇게 균형 전략에 기본이 되며 보행에서 중요한 역할을 하는 발과 족관절에 대한 이해를 돕고자 한다.

Ⅱ. 본 론

A. 고유수용성 신경근 촉진법에서의 발과 족관절

고유수용성 신경근 촉진법의 편측 하지 패턴에는 D1F와 대각선으로 짝을 이루는 D1E, 그리고 D2F와 대각선 짝을 이루는 D2E가 있다. 이러한 기본 하지 패턴에서 슬관절 굴곡과 신전이 포함된 패턴으로 더욱 보행에서 일어나는 동작과 유사한 기능적인 패턴으로 변화되고 있다.

발과 족관절의 움직임과 관련된 근육들을 강화시키는 적절한 고유수용성 신경근 촉진법 패턴들이 있다. 전경골근은 하지의 굴곡과 내전 및 외회전 패턴을 통하여 강화되며, 가자미근의 외측부분은 하지의 신전과 외전 및 내회전 패턴을 통해 강화된다. 가자미근의 내측부분은 하지의 신전과 내전 및 외회전 패턴에 의해 강화되고, 비골근은 하지의 굴곡과 외전 및 내회전 패턴에 의해 강화 된다.

발의 움직임과 관련된 근육들을 강화 시키는 적절한 고유수용성 신경근 촉진법 패턴들이 있다. 장모지신근은 하지의 굴곡과 내전 및 내회전 패턴에 의해 강화되고, 장지신근은 하지의 굴곡과 내전 및 외회전 패턴에 의해 강화된다. 장모지굴근은 하지의 신전과 내전 및 외회전 패턴에 의해 강화되고, 장지굴근은 하지의 신전과 내전 및 내회전 패턴에 의해 강화된다(구봉오 등 2008; 김재헌, 2008; 배성수, 1993; Sullivan과 Markos, 1996).

B. 발과 족관절의 생리학적 움직임

1. 거퇴관절

거골과 원위 경골, 거골과 비골 사이의 관절로 배굴과 저굴을 할 수 있는 활막 접번관절이다. 정형물리치료 분야에서 경비관절을 슬관절 부분에서 보다 족관절 부분에서 교육하고 치료하고 있다. 이는 경비관절이 족관절의 움직임과 연관성이 높기 때문이다. 경비관절을 고정하였을 경우 족관절 기능에 제한이 오는 것을 볼 때 경비관절은 족관절과 기능학적으로 매우 연관성이 높은 관절임을 알 수 있다. 거퇴관절의 근위 관절면은 경골과 비골이 만나 쇄기모양을 즉 오목한 관절면을 이룬다. 근위경비관절은 비골면은 볼록하고 경골면은 오목한 구조로 전·후 경비인대와 슬와근에 의해 강하게 고정되어 있으며, 매우 작은 비골의 상하 활주 및 회전 운동

이 일어난다. 원위경비관절은 비골의 볼록한 관절면과 경골의 오목한 관절면에 의해 형성되며 쇄기 모양으로 족관절 안정성을 위해 운동을 제한하는 것이 무엇 보다 중요하다. 관절낭이 매우 얇아 경비골간인대와 전·후 경비인대, 경비골간막이 원위 경비관절의 강한 안정성을 만들어 낸다(Levangir과 Norkin, 2001; Neumann, 2002; Synder 등 2001; Vizniak, 2008; Williams 등, 1995). 이러한 원위 경비관절의 안정성은 거퇴관절의 안정성과 기능에 중요한 역할을 한다(Neumann, 2002).

거퇴관절의 안정성은 내측부인대인 삼각인대는 부채꼴 모양으로 경주상인대와 경종인대, 경거인대로 구성되어지며, 외반으로 인한 염좌나 파열 등의 손상을 쉽게 받지 않는다. 전·후 거비인대와 종비인대로 구성된 외측부인대는 내반을 조절하나 내측부인대보다 약해 손상을 자주 받는다. 이때 전거비인대가 가장 약하여 손상 받기 쉬우며, 후거비인대는 외측부인대 중 가장 강한 인대로 외측부인대 모두가 손상 받는 경우에 손상 받는다(Colville 등, 1990; Michaud, 1997; Kovaleski 등, 2008; Rasmussen과 Tovberg-Jensen, 1982; Rasmussen 등, 1983). 비골이 경골 보다 더 아래로 내려와 있으며, 비골의 외측과가 경골의 외측과 보다 뒤에 있는 형태이다. 이로 인하여 족관절이 외반되기 보다 내반이 일어나기 쉽다(Engsberg, 1987).

거퇴관절의 원위 관절면은 거골로 앞부분이 뒷부분 보다 넓은 활차모양이다. 족괄절에서 배굴이 저굴보다 적게 일어나는 이유 중 하나가 이러한 거골의 앞뒤 넓이차이다. 외측은 비골과 거골, 내측은 경골과 거골, 상위는 경골과 거골이 만나 이루는 관절로 인체에서 관절면의 일치도가 가장 높은 관절 중 하나이다(Rocce 1980).

거퇴관절 움직임의 축은 전두면에서 10° 내측이 외측보다 높고 수평면에서 약 6° 정도 내측이 외측보다 전방에 있어 내측으로 전상방으로 기울어져 있다(Mann, 1975; Valmassy, 1996). 이축을 기준으로 거퇴관절에서의 정상적인 운동범위는 배굴 25°, 저굴 30~50°이다(Kapandji 등, 1970; Rasmuss-en과 Tovborg-Jensen, 1982). 이러한 운동범위는 체중 부하여부에 따라 다르게 나타난다(Lundberg 등, 1989; Sammarco 등, 1973; Hornsby 등, 1987). 따라서 물리치료사는 환자의 족관절 운동범위 측정시 체중 부하여부에 따라 유의하여 평가하여야 할 것이다.

2. 거골하관절

거골과 종골사이의 관절로 3개의 분리된 관절로 구성된다. 후거종관절은 거골 하방의 오목면과 종골 상부의 볼록면이 만나 형성되는 관절로 3개의 관절 중 가장 큰 관절이다. 전거종관절과 중거종관절은 거골경 하부에 있는 두개의 볼록면과 종골 상부에 있는 두개의 오목면이 만나 형성되는 관절이다. 3개의 관절이라고 각각의 다른 움직임이 일어나는 것이 아니라 단일축상에서 회외와 회내의 움직임을 일으킨다. 축은 횡단면으로부터 42° 전·상방, 시상면에서 16° 내측으로 경사져있다(Inman, 1976; Levangir과 Norkin, 2001; Manter, 1941; Siegler 등, 1988; Valmassy, 1996).

거골하관절은 내·외측부인대와 족근동 안에 있는 골간거종인대의 전·후밴드와 경부인대에 의해 높은 안정성을 확보한다. 족근동 안에 있는 경부인대는 회외를 골간거종인대는 회내를 제한한다(Cass 등, 1984; Gray 등, 1989; Michaud, 1997; Kapandji 등, 1970; Kjaergaard-Anderson 등, 1987; Viladot 등, 1984; williams 등, 1995).

거골하관절에서의 회외 움직임은 체중부하의 경우에는 종골의 내반과 거골의 외전과 배굴, 그리고 경비관절의 외회전에 의해 일어나며, 비체중부하의 경우에는 종골의 내반과 내전, 그리고 저굴에 의해 일어나는 움직임이다. 거골하관절에서의 회내 움직임은 체중부하의 경우에는 종골의 외반과 거골의 내전과 저굴, 그리고 경비관절의 내회전에 의해 일어나며, 비체중부하의 경우에는 종골의 외반과 외전, 그리고 배굴에 의해 일어나는 움직임이다(Inman, 1976; Levangir과 Norkin, 2001; Mann, 1982; Nordin과 Frankel, 2001).

3. 거종주관절

상부의 거골과 후하부의 종골, 전하부의 주상골이 만나 거골하관절과 거주관절을 이루고 이를 거종주관절이라고 한다. 거골 하부의 볼록한면과 주상골 후부의 오목면, 그리고 종골전부의 오목한면이 만나 이루는 관절로 하부는 장저측인대와 저측종주상인대가 받쳐주고 내측은 삼각인대, 외측은 이분인

대에 의해 안정성을 유지하고 있다. 특히 장저측인대의 경우 발의 족근궁의 유지에 매우 중요한 역할을 하며 발 저부의 내재근이 이를 보조를 한다(Levangir과 Norkin, 2001).

움직임의 기준이 되는 축은 전상방으로 40°, 전내측으로 30° 경사져 거골하관절의 움직임과 동일한 회내와 회외의 움직임이 일어난다(Lapidus, 1963).

4. 횡족근관절

일명 Chopart's 관절이라하며 거주관절과 종입방관절로 구성된 관절로 전체적으로 S자 모양의 관절선을 보인다. 이선을 기준으로 발의 전·중족부와 후족부가 나누어진다. 거주관절에서 체중부하의 경우 주상골이 고정되고 거골의 운동성이 증가하며, 비체중부하의 경우 주상골이 거골에 비하여 운동성이 높게 나타나고, 종입방관절에서 체중부하의 경우 입방골이 고정되어 종골의 운동성이 증가하게 된다(Elftman, 1960; Kapandji, 1970; Lewis, 1980). 횡족근관절의 안정성은 이분인대와 장저측인대가 중요한 역할을 하며, 발의 내재근뿐 아니라 관절의 내·외측을 통과하는 외재근도 안정성에 관여 한다(Huang 등, 1993; Nistor 등, 1982; Viitasalo와 Kvist, 1983).

움직임의 기준이 되는 축은 종축과 경사축 두개로 종축은 수평면에서 15°, 9° 전내측으로 들려 경사진 형태로 내반과 외반의 움직임이 일어난다. 경사축은 거종주관절의 축과 비슷하게 수평면에서 52°, 57° 전내측으로 들려 경사진 형태로 배굴과 저굴, 외전과 내전 움직임이 크게 일어나며 회내와 회외의 움직임도 일어나나 축이 경사져 있어 운동범위가 크지 않다(Hicks, 1953; Manter, 1941; Root 등, 1977). 횡족근관절은 거종주관절에서 회내와 회외 움직임이 더 크게 일어나도록 도와주며, 발뒤꿈치의 위치가 지면에 안정적으로 접촉하도록 후족부의 내반이나 외반의 움직임이 일어나도록 돕는다(Levangir과 Norkin, 2001). 횡족근 관절과 거종주 관절 사이에는 상호연관성이 높아 정상적인 움직임을 위해서는 각 관절의 운동성과 안정성이 모두 확보 되어야 한다(Astion 등, 1997; Beaudon 등, 1991).

5. 족근중족관절

원위 족근골의 전면과 중족골의 저면이 만나 이루는 평면활액관절로 일명 Lisfranc 관절이라고 한다. 두 번째 족근중족관절은 두 번째 중족골 저와 중간 설상골과 만나 이루는 관절로 다른 족근중족관절보다 후면에 있어 안정성이 매우 높아 움직임이 매우 제한적이다. 배·저측인대와 골간인대, 그리고 관절낭 등으로 관절의 안정성을 유지한다(Levangir과 Norkin, 2001).

족근중족관절은 여러 관절이 상호 연관되어 발을 평편하게 또는 오목하게 만드는 움직임을 일어난다. 후족이 회내되면 횡족관절에서 전족을 회외 시킨는데, 이러한 횡족관절에서 회외 움직임으로 보상이 되지 않을 정도의 회내가 일어나면 족근중족관절에서 전족을 회외 뒤틀림 움직임을 만든다. 또 후족이 회외되면 전족부의 안정성을 위해 회내 뒤틀림의 움직임이 일어난다(Hicks, 1953; Levangir과Norkin, 2001).

C. 발과 족관절을 움직이는 근육

발과 족관절의 근육은 두관절 이상을 지나는 근육이 대부분이며, 근육의 수축 방향에 따라 다른 움직임 일어나며, 발과 족관절이 연결되어 있어 더욱 복잡하고 상호 연관성 있는 움직임이 일어나 단순하게 근육의 기능을 이야기하기보다 기능적인 움직임을 고려한 근육 활동을 바라보는 것이 더 유용하다.

1. 배굴과 저굴 근육

배굴근으로는 비골신경의 심층분지의 신경지배를 받는 전경골근, 장무지신전근, 장지신전근, 제3비골근이 있다. 이때 전경골근과 장무지신근은 거종주관절에서 발뒷꿈치 닫기에서 후족이 회내될때 회외근으로 작용한다. 그러나 후경골근에 비해 전경골근이나 장무지신근의 회외력은 매우 약하다. 전경골근은 거골하관절에서는 축의 외측으로 지나감으로 회내근으로 작용한다. 장지신전근과 제3비골근은 회내근으로 작용하나 매우 약하다. 저굴근으로는 경골신경의 지배를 받는 비복근, 가자미근, 족척근, 후경골근, 장무지굴근, 장지굴근 및 비골신경의 표층분지의 지배를 받는 장비골근과 단비골근이 있다. 이때 비복근과 가자미근은 아킬레스건에 모여 종골에 접하게 되는데, 이때 거골하관절의 운동축보다 내측으로 지나감으로 후족을 회외 시키는 역할을 한다

(Vizniak, 2008).

2. 회내와 회외 근육

회내근으로는 경골신경의 지배를 받는 후경골근, 장지굴근, 장무지굴근이 있으며, 회외근에는 비골신경의 표층분지의 신경지배를 받는 장비골근, 단비골근이 있다. 발에서 회외력이 회내력보다 크기 때문에 이완되었을때 거골하관절에서 내반되고 횡족근관절에서 중립을 보이게 된다(Vizniak, 2008).

3. 발의 내재근

표층에는 단지굴근, 무지외전근, 소지외전근이 있으며, 두 번째 층에는 족측방형근, 충양근이 있으며, 세 번째 층에는 무지내전근, 단무지굴근, 소지굴근이 있고 가장 심층에는 저측골간근과 배측골간근이 존재한다. 이러한 발의 내재근들은 족궁의 동적인 안정자로 매우 중요하다(McCarthy와 Grode, 1980; Vizniak, 2008). 족궁의 유지를 위해 임상에서 작은발 운동(shot foot exercise)을 통하여 내재근을 훈련시킨다.

D. 보행 중 발과 족관절의 움직임

보행 중 족관절에서 배굴과 저굴 움직임이 교대로 네번 일어난다. 보행주기에서 입각기인 초기 접지기(initial contact)에서는 족관절이 중립위에 있다가 부하 반응기(loading response)에서 처음 저굴을 보인다. 발바닥 닿기(foot flat)에서 중간 입각기(mid stance)까지는 배굴을 보이는데, 이는 발이 바닥에 고정되어 있으면서 경골이 전방으로 넘어지는 움직임에 의해 일어난다. 후기 양발 지지기(terminal double support)에 빠르게 저굴로 변화하며, 발끝 떼기(toe off)에서 마지막으로 배굴이 일어나며, 중간 유각기(mid swing)에 중립위, 말기 유각기(terminal swing)에 약간의 저굴이 일어난다. 입각기에 교대로 세번의 움직임 변화가 일어나며, 유각기에는 배굴의 움직임이 일어난다. 이러한 족관절의 움직임과 체중심의 변화로 인해 발생하는 신체 벡터에 의해 족관절을 움직이는 근육들이 반응한다(Kadaba 등, 1989; Kirtley, 2006; Perry, 1992). 이때 거골하관절에서는 10°~15°의 움직임이 일어나며, 보행주기 10%에서 빠르게 발이 외반된다(Sarrafian, 1993).

족관절의 배굴근에는 전경골근, 장모지 신전근, 장지신근이 있는데, 전유각기(pre swing)에 수축을 시작하여 부하 반응기에서 수축이 끝난다. 이때 전경골근이 가장 강하게 작용하며, 장지신근은 전경골근의 40%정도의 힘, 장모지신근이 가장 약한 근육으로 전경골근의 20%정도의 힘을 발휘한다. 부하 반응기에 전경골근은 원심성 수축을 하면서 족관절의 저굴속도를 조절하는 역할을 한다. 족관절의 저굴근에는 가자미근, 비복근, 후경골근, 장지굴근, 장모지굴근, 단비골근, 장비골근이 있는데, 부하 반응기가 끝날 시점에 수축하여 말기 입각기에 가장 강한 힘을 발휘하다가 전유각기에 끝난다(Perry, 1992). 이때 가자미근과 비복근이 단면적이 굵고 지렛팔이 길어 전체 굴곡 토크의 93%를 차지한다(Haxton, 1944). 중간 입각기에서 저굴근들은 원심성 수축을 하면서 족관절의 배굴 즉, 발위에서 경골이 전방으로 기울어지는 것을 조절하는 역할을 한다(Kirtley, 2006).

Ⅲ. 결 론

고유수용성 신경근 촉진법의 하지 패턴은 균형과 보행 등의 기능을 향상시키려는 목적으로 보행에 필요한 발과 족관절 부분의 근육을 훈련시키는데 매우 유용한 방법으로 임상에서 많이 시행되어 지고 있다.

보행 향상을 위해 하지의 D1F 패턴의 경우 전경골근과 장지신근의 훈련을 가능하게 하며, D1E 패턴에서는 가자미근의 외측부와 모지내전근 훈련을 위해 사용되어 진다. D2F 패턴은 비골근의 강화를 위해, D2E 패턴은 가자미근의 내측부와 장지신근의 훈련을 위해 사용 되어 진다. 물리치료사는 이러한 근육들이 보행 주기에서 각각 작용하는 시기와 수축 방법 및 수축력에 차이가 있음을 이해하고 훈련시켜야 한다.

균형에 있어서 가장 기본이 되고 중요한 요소가 발과 족관절의 운동성과 안정성임이므로 물리치료사는 발과 족관절에 대한 많은 지식을 가지고 있어야 한다.

이러한 발과 족관절의 움직임에 대한 생역학적인 지식은 고유수용성 신경근 촉진법의 하지 패턴을 사용하는 물리치료사에게 하지 기능에 기본이 되는

발과 족관절에 대한 이해를 높여 더욱 기능적이고 효과적인 치료에 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

구봉호, 권비지, 배성수 등. 신경물리치료학. 대학서림, 113-156, 2008.

김재헌. 슬관절의 운동학적 분석. 대한고유수용성신경근촉진법학회지, 6(1); 53-60, 2008.

배성수. 고유수용성 신경근 촉진법 원리에 관한 연구. 대한물리치료학회지, 5(1); 109-114, 1993.

Astion DJ, Deland JT, Otis JC et al. Motion of the hindfoot after simulated arthrodesis. J Bone Joint Surg. 79A;241, 1997.

Beaudoin AJ, Fiore SM, Krause WR et al. Effect of isolated talocalcanel fusion on contact in the ankle and talonavicular joints. Foot Ankle. 12;19, 1991.

Cass FR, Morrey BF, Chao EY. Three dimensional kinematics of ankle instability following serial sectioning of lateral collateral ligaments. Foot Ankle. 5;142-149, 1984.

Colville MR, Marder RA, Boyle JJ et al. Strain measurement in lateral ankle ligaments. Am J Sports Med. 18;196-200, 1990.

Elftman H. The transverse tarsal joint and its control. Clin Orthop. 16;41-45, 1960.

Engsberg JR. A biomechanical analysis of the talocalcaneal joint. J Biomechan. 20;429-442, 1987.

Fallat L, Grimm DJ, Saracco JA. Sprained anklr syndrome: Prevalence and analysis of 639 acute injures. J Foot Ankle Surg. 37;280-285, 1998.

Haxton HA. Absolute muscle force in the ankle flexors of man. J Physiol. 103;267-273, 1944.

Hicks JH. Mechanics of the foot I: The joint. J Anat. 87;345, 1953.

Hornsby TM et al. Effect of inherent muscle length on isometric platar flexion torque in healthy women. Phys Ther. 67;1191-1196, 1987.

Huang CK, Kitaoka HB, An KN et al. Biomechanical evaluation of longitudinal arch stability. Foot Ankle Int. 14;353-357, 1993.

Inman VT. The joint of the ankle, Williams & Wikin;. 1976.

Kadaba MP, Ramakaishnan HK, Wootten ME et al. Repeatability of kinematic, kinetic and eletromyographic data in normal adult gait. J Orthop Res. 7;849-860, 1989.

Kapandji IA. The Physiology of the joints, The Lower Limb. Churchill Livingstone. New York;. 1970.

Kirtley C. Clinical Gait Analysis: Theory and Practice, Churchill Livingstone. New York; 61-155, 2006.

Kjaersgaard-Anderson P, Wethelund J, Nielsen S. Lateral talocalcaneal instability following section of the calcaneofibular ligament. Foot Ankle. 355-361, 1987.

Kovaleski JE, Norrell PM, Marcus Hollis J, Pearsall AW. Knee and ankle position, anterior drawer laxity and stiffness of the ankle complex. J Athle Train. 43(3)242-248, 2008.

Lapidus P. Kinesiology and mechanical anatomy of the transverse tarsal joints. Clin Orthop. 30;20, 1963.

Lundberg A et al. Kinematics of the ankle foot complex: Plantarflexion and dorsi-flexion. Foot Ankle. 9;194-200, 1989.

Levangie PK, Norkin CC. Joint structure and function Ⅲ, F.A. Davis company. Philadelphia; 367-402, 2001.

Lewis OJ. The joints of the evolving foot. Part II: The intrinsic joints. J Anat. 130; 833-857, 1980.

MacCarthy DJ, Grode SE. The anatomical relationships of the first metatarsophalangeal joint: A cryomicrotomy study. J Am

Podiatr Assoc.
Mann RA. Biomechanics of the foot. In American Academy of Orthopedic Surgeons. St. Louis, Mosby. 257-266, 1975.
Mann RA. Foot problems in adaults: AAOS Instructional Course Lectures. 31;167-180, 1982.
Manter JT. Movement of the subtalar and transverse tarsal joint. Anat Rec. 80;397, 1941.
Michaud TC. Foot Orthoses and Other Forma of Conservative Foor Care, Newton Massachusetts, Washington; 1-163, 1997.
Myers TW. Anatomy Trains, Churchill Livingstone. New York; 137-164, 2001.
Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for physical rehabilitation, Mosby; 477-520, 2002.
nistor L, Markhede G, Grimby G. A technique for measurements of plantar flexion torque withe the Cybex dynamometer. Scand J Rehab Med. 14;163-166, 1982.
Nordin M, Frankel VH. Basic biomechanics of the musculoskeletal system, Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia; 223-252, 2001.
Perry J. Gait Analysis: Normal and Pathological Function, SLACK. New Jersey; 51-87, 1992.
Rasmussen O, Tovborg-Jensen I. Mobility of the ankle joint. Acta Orthop Scand. 53;155-160, 1982.
Rocce D. The leg, ankle and foot. In The Musculoskeletal System in Health and Disease. Harper Row. Hagerstown, Maryland; 1980.
Root ML, Orien WP, Weed JH. Normal and Abnormal Functopn of the Foot: Clinical Biomechanics. Clinical Biomechanics Corp. Los Angeles; 1977.
Sammarco W, Burstein AH, Frankel VH. Biomechanics of the ankle: A kinematic study. Orthop Clin North Am. 4;76, 1973.
Sarrafian SK. Functional anatomy of the foot and ankle. In Anatomy of the Foot and Ankle, Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia; 474-602, 1993.
Siegler S, Chen J, Schneck CD. the three dimensional kinematic and flexibility characteristics of the human ankle and subtalar joints. J Biomech Eng. 110;346-373, 1988.
Sullivan PE, Markos PD. Clinical procedures in therapeutic exercise Ⅱ, Pearson education; 1996.
Synder DC, Conner LAM, Lorenz GF. Kinesiology fundations for OTAs and PTAs, Thomson Delmar Learning. New York; 287-304, 2005.
Valmassy RL. Clinical biomechanics of the Lower Extremities. Mosby;, 1-84, 1996.
Viitasalo JT, Kvist M. some biomechanical aspects of the foot and ankle in athletes with and without shin splints. Am J Sport Med. 14;4125-4130, 1983.
Vizniak NA. Muscle Manual. Professional, Health Systems; 300-342, 2008.
Viladot AV et al. The subtalar joint: Embryology and morphology. Foot Ankle. 5;54-65, 1984.
Williams PL, Bannister LH, Berry M et al. Gray's anatomy, 38th ed. Churchill Livingstone. New York; 1995.