



경직성 뇌성마비 환자의 보행능력 향상을 위한 근·골격계 수술

Musculoskeletal Surgeries for Optimization of Ambulation Ability in Patients with Spastic Cerebral Palsy

김 현 우 · 객 윤 해 | 연세의대 정형외과 | Hyun Woo Kim, MD · Yoon Hae Kwak, MD

Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University College of Medicine

E-mail : pedhkim@yuhs.ac

J Korean Med Assoc 2008; 51(5): 475 - 482

Abstract

Cerebral palsy is a disorder of movement and posture that arises from a congenital or acquired lesion of the immature brain. While the underlying cause is static, the musculoskeletal manifestations are progressive overtime. A variety of gait abnormalities are common, and orthopedic surgery typically is indicated when contractures or deformities decrease functions, cause pain, or interfere with activities of daily life. Surgical procedures should be scheduled to minimize the number of hospitalizations and interference with school and social activities. They can be divided into several groups of procedures; (1) to correct static or dynamic deformity, (2) balance muscle power across a joint, (3) reduce spasticity, and (4) stabilize uncontrollable joints. The clinical decision-making paradigm, consisting of clinical history, physical examination, diagnostic imaging, quantitative gait analysis, and examination under anesthesia makes it possible for single stage multi-level surgeries to reduce the long-term morbidity.

Keywords : Cerebral palsy; Gait; Musculoskeletal Surgeries

핵심용어 : 뇌성마비; 보행; 근·골격계 수술

서론

뇌성마비(cerebral palsy)는 발달과정에 있는 뇌에 발생한 비진행성 병변 혹은 손상에 의한 운동과 자세의 장애를 말한다. 이는 소아기의 장애를 일으키는 원인 중 가장 흔한 질환으로서 아직 정확한 국내자료는 없으나, 전 세계적으로 발생률은 1,000명 출생당 약 2~2.5명이다. 의료

수준이 높아지고 특히 신생아학이 발달함에 따라 RH 혈액형 부적합이 원인으로 작용하는 불수의운동형 뇌성마비의 발생률은 현저하게 줄어들었으며 조산아와 저체중 출생아의 생존율이 증가함에 따라 현재는 경직성(spastic) 뇌성마비가 대다수를 차지한다. 수술은 경도의 불수의 운동형(athetoid type)과 혼합형(mixed type)에서 적용되기도 하나 대부분 경직형(spastic type)에서 이루어진다.

Hip dislocation



Pathologic flatfoot



Patella alta

Figure 1. Lever-arm dysfunctions at the hip, knee, and the foot produce hip dislocation, patellar alta, and pathologic flatfoot, respectively.

대뇌 피질 운동영역의 병변으로 유발되는 경직성 뇌성마비는 근육의 비정상적인 긴장성과 선택적 조절 능력 및 균형의 소실이 특징적인 소견으로 근 긴장도가 항상 증가되어 있고 연령이 증가하면서 관절의 구축과 변형이 오기 쉬어 정형외과적 수술이 적용되는 가장 흔한 유형이다. 근육-인대 단위(muscle-tendon unit)의 성장은 지속적인 신장(stretching) 자극을 통하여 이루어지는데 과긴장성으로 인하여 근육이 수축되어 있는 경우 골격이 성장하는 것에 비하여 근육의 성장이 상대적으로 부족하게 된다. 비록 초기에는 외재적인 근육의 경직, 즉 동적 변형(dynamic deformity)이지만 이를 방지할 경우 관절 운동의 제한으로 인하여 관절낭을 비롯한 내재적인 구조물들이 구축되어(myostatic deformity) 고정된 변형을 초래한다. 한편 골의 성장은 골성장판(growth plate)에서 진행되지만 궁극적 형태는 관절에 가해지는 힘(joint reaction forces)의 영향을 받게 되므로, 대퇴골 전염각(femoral anteversion)의 증가와 경골의 회전 변형과 같은 골의 변형이 일어난다. 또한 편평외반족 변형(pes planovalgus)과 같은 관절의 불안정성이

이차적으로 야기되며 골과 관절은 안정된 지렛대로서의 역할을 상실하게 되는 소위 “지렛대 질환”(lever arm diseases)이 유발된다(Figure 1). 결국 이러한 근육 약화와 관절 구축, 골 변형 그리고 관절의 불안정성은 다양한 정도의 보행 장애를 초래하게 된다(1~3).

과거 20년간 경직성 뇌성마비 환자의 보행능력을 향상시키기 위한 수술적 치료에 획기적인 발달이 이루어져 왔는데 이는 정상 및 병적 보행에 관한 보다 정확한 생역학적인 해석이 이루어짐에 따라 가능하였다. 정상 보행이 이루어지기 위해서는 입각기에서의 하지의 안정성(stability of the limb in stance phase), 유각기에서의 적절한 발들림(clearance of the limb in swing phase), 입각기에서 유각기로 혹은 유

각기에서 입각기로의 효과적인 하지 이동이 필요하며 궁극적으로는 위 3가지 인자들의 적절한 조합으로 효과적인 에너지 소비가 이루어져야 된다. 뇌성마비 환자의 치료 목표는 이러한 요건들을 회복시켜 보행 기능을 최적화하며, 2차적인 변형의 교정 및 예방과 관절의 퇴행성 변화를 예방하는 데 있다.

뇌성마비 환자에서의 수술적 치료는 근·골격계의 구조적, 기능적 변형을 빠르고 극적으로 변화시킬 수 있으며 고정된 변형이 있는 경우 유일한 치료책이 되기도 한다. 역동적 구축을 보이는 어린 나이에는 재활치료 등 적절한 비수술적 치료를 요하며 이후 성장함에 따라 구축된 근·골격계 변형이 야기될 때에는 적절한 정형외과적 수술이 필요하다. 수술적 치료가 기능적인 측면에 중점을 두지만 외관(clinical appearance)의 향상 또한 중요하며 대개는 기능의 향상이 외관을 좋게 하는 것과 일치한다. 예를 들어 경직된 비복근(gastrocnemius)에 대한 연장술을 시행함으로써 소위 “까치발 보행”을 교정할 수 있으며 병적 편평족(pathologic flatfoot)으로의 진행을 방지할 수 있다.

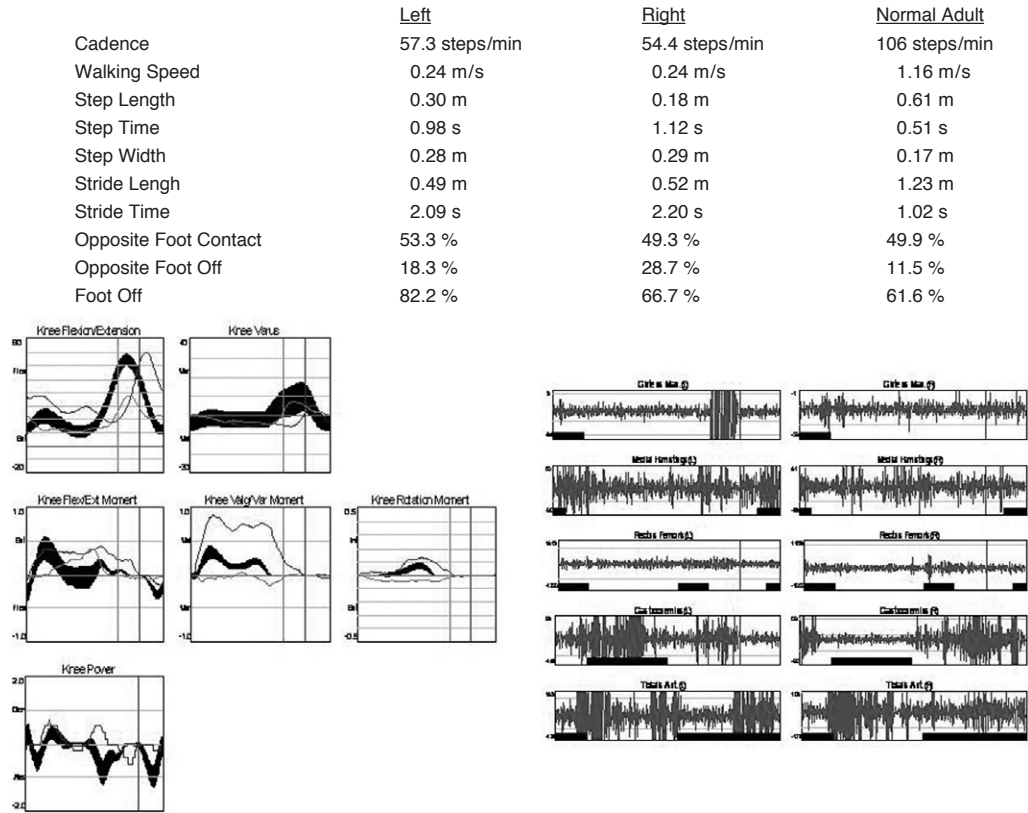


Figure 2. Findings of gait analysis include temporospatial, kinematic, kinetic, and electromyographic parameters.

수술적 치료 원칙

우선적으로 환자 및 보호자와의 면담을 통한 현실적인 치료 목표의 수립이 필요하다. 단순 방사선 촬영과 컴퓨터 단층촬영은 골의 변형과 관절의 탈구 등을 평가하는 데 이용된다. 신체검사는 환자의 보행을 관찰하는 것부터 시작하며 시상면(sagittal plane)에서 과도하게 경직된 근육의 단축과 횡단면(transverse plane) 혹은 관상면(coronal plane) 상에서의 회전 변형을 정확히 평가하는 것이 필수적이다. 뇌성마비 환자에서 관찰되는 보행의 이상은 1차 이상(primary anomalies), 2차 이상(secondary anomalies) 및 3차 이상(tertiary anomalies)이 동반되어 나타나는 경우가 많다. 1차 이상이란 중추신경계 자체의 이상으로 인해 선택적인 근육 조절의 상실, 원시반사에 의존하는 보행양상, 비정

상적인 근육의 긴장도와 주동근(agonist)과 길항근(antagonist) 사이의 불균형 및 평형 반사의 결여 등을 일으킨다. 이러한 1차 이상은 비정상적인 근육과 골 및 관절의 성장을 유발하는 2차 이상을 일으키고 결국 1차 및 2차 이상에 대한 보상작용인 3차 이상을 유발할 수 있는데, 예를 들어 슬괵근(hamstrings)과 대퇴직근(rectus femoris)의 경직으로 인해 유각기에서의 슬관절 운동범위가 줄어든 경우 고관절의 외전(abduction)을 증가시켜 효과적인 발 들림(effective foot clearance)을 도모하는 것이 하나의 예이다. 수술적 치료를 고려할 때 이러한 3차 이상을 구별해내는 것이 중요하며 이는 원래의 원인을 교정하면 자연 소실되기 때문이다(3). 이상 보행을 객관적으로 관찰할 수 있는 방법으로 3차원 보행 분석 검사(three-dimensional instrumented gait analysis)가 있다(Figure 2). 이는 하지의 각 관절에서



Figure 3. Younger child with spastic diplegia. He walks on his toes in equinus with extended hips and knees.

일어나는 시공간적인 운동(spatial movement)을 다루는 운동형상학적(kinematic) 검사, 운동을 일으키는 지면반발력(ground reaction forces)과 관절 모멘트(moment) 및 힘(power)을 측정하는 운동역학적(kinetic) 검사 그리고 근전도검사(electromyography)를 통칭하며 경직된 근육과 관절의 복잡한 상호 작용 및 교정이 가능한 실제 병변을 찾아 내어 정확한 수술적 치료를 가능하게 하고 필요없는 수술로 인한 과 교정(overcorrection)을 예방할 수 있게 해준다(4).

뇌성마비에서 보행 이상을 유발하는 하지의 근육은 대부분 2개 관절을 넘나드는 양 관절 근육(bi-articular muscle)들로서 고관절 내전근(adductor) 및 굴곡근(psoas), 슬쩍근(hamstrings), 대퇴직근(rectus femoris) 그리고 비복근(gastrocnemius)이 대표적이다. 이들 근육의 작용은 독립적인 것이 아니라 상호작용을 하므로 1차 변형과 보상 반응을 구별하기 위하여 술전 세밀한 이학적 검사와 보행 분석 및 방사선학적 검사 그리고 전신 마취 하에서의 이학적 검

사를 실시하여야 한다. 이를 통해 모든 변형을 한번에 교정하는 일 수준 다단계 수술(single-event multilevel surgery)방법은 현재 시행되는 정형외과적 수술적 치료의 근간을 이루고 있으며 새로운 변형의 발생으로 인한 소위 다이빙 현상(diving phenomenon) 혹은 빈번한 수술로 인한 소위 생일 증후군(Birthday syndrome)을 예방할 수 있다(3). 이는 또한 환자와 가족 모두에게 경제적으로 혹은 정서적으로도 나은 결과를 보여준다. 한편, Sussman 등은 SMILE 술식(Staged Multilevel Interventions in the Lower Extremity) 개념을 도입하여 1~2세경의 비교적 어린 나이에서부터 지속적으로 장기 추시 관찰이 가능한 경우, 단계적인 수술을 할 것을 제시하였다(1). 가령 고관절 내전근의 경직으로 가위(scissoring)보행이 나타나는 경우에는 어린 연령이라 할 지라도 내전근 절제술을 함으로써 단 시간 내에 팔목할 만한 기능의 향상을 꾀할 수 있다고 하였다. 반면에 침착 변형(equinus deformity)과 슬관절 굴곡 변형이 있는 경우에는 과교정과 재발의 가능성으로 6~7세 경까지 수술을 미루는 것을 추천하였고 골의 변형에 있어서도 7세까지는 보존적 방법으로 치료하면서 추시 관찰을 통해 자연 교정을 기대하는 한편 골격이 조작하기 용이하며 성인 형태의 선열을 형성할 때까지 기다릴 것을 추천하였다. 또한 이 나이의 환아는 적극적 치료를 더욱 잘 이해하고 받아들임으로써 보다 나은 결과를 얻을 수 있다. 그러나 단계적 수술을 주장하는 경우에도 연장이에서 이미 여러 변형이 동반되어 나타난 경우에는 한번에 모든 변형을 교정해주는 것이 바람직하다. 수술 후에는 경막 외 통증 조절 장치와 diazepam과 같은 제제를 투여하여 근육의 경직과 통증을 감소시키며 이후 근력 강화 운동을 근간으로 하는 집중적인 재활치료를 해야 좋은 결과를 기대할 수 있다.

흔히 접하는 병적 보행 및 하지 변형의 치료

환아마다 다양한 병적 보행 형태(pathologic gait pattern)를 보일 수 있으며 다음과 같은 전형적인 형태로 분류할 수 있으나, 실제로는 복합적으로 존재하는 경우가 많다.

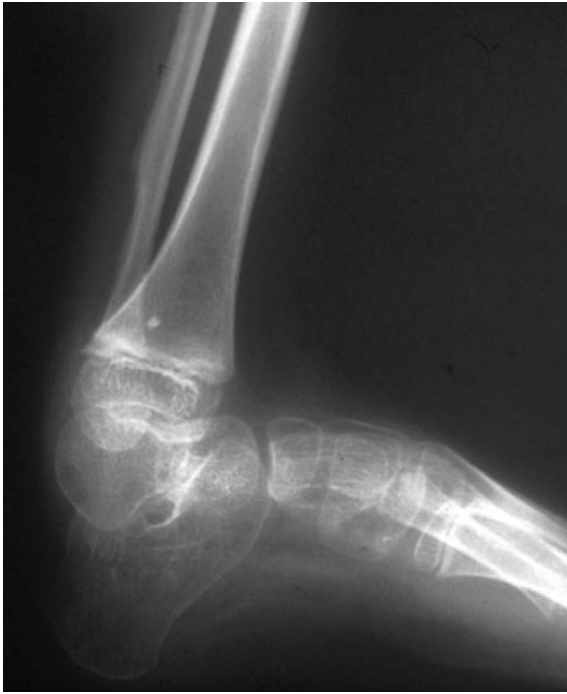


Figure 4. Calcaneal deformity caused by excessive lengthening of the Achilles tendon.

1. 가위 보행(Scissoring Gait)

가위 보행은 관상면(coronal plane) 상에서 양측 하지가 교차되는 것을 의미하는데, 고관절 내전근과 내측 슬괵근의 강직에 의해 유발된다. 또한 대퇴골 전염각의 증가가 심심 찰게 동반되며 종종 시상면(sagittal plane) 상에서 점프 보행(jump gait) 혹은 웅크림 보행(crouch gait)과 동반되기도 한다. 흔히 고관절 외전(abduction)이 30도 이하인 경우 내전근 연장술이 적응되며 폐쇄신경(obturator nerve) 절제술은 단내전근(adductor brevis)의 약화를 초래할 수 있기 때문에 보행이 가능한 환아에서는 시행되지 않는다. 또한 동반된 슬괵근에 대한 연장술을 시행하며 대퇴골 전염각의 증가가 있는 경우 대퇴골 감염 절골술(derotation osteotomy)을 시행한다(5).

2. 침족 보행(Equinus Gait)

침족 변형은 어린 환아에서 고관절 및 슬관절 구축이 동



Figure 5. Genu recurvatum gait is generally secondary to pes equinus and incompetent ankle plantarflexion-knee extension couple.

반되지 않는 상태에서 발끝으로 걷는 소위 “까치발” 보행을 말한다(Figure 3). 하퇴 삼두근(triceps surae muscles)의 경직성과 구축이 원인이며 내반 혹은 외반이 동반되지 않는 순수한 침족 변형은 드물다. 아킬레스건 연장술 혹은 비복근 근막 절개를 통한 비복근 연장술을 시행한다. 비복근만의 연장술은 가자미근(soleus)의 근력을 보존할 수 있을 뿐만 아니라 진출(push off)시 근력을 유지할 수 있다는 장점이 있으나 어린 나이에 시행할 경우 재발률이 높다. 학자에 따라 술후에 야간 부목이나 보조기를 사용하는 것이 재발 방지에 도움이 되는 것으로 보는 견해도 있다. 과도한 연장으로 인한 종족 변형(calcaneus deformity)(Figure 4)은 침족 변형보다 치료가 어렵다는 것에 유의하여야 한다. 후족부 내반은 주로 후경골근(tibialis posterior)의 경직성으로 인하며, 전족부의 내반(forefoot varus)과 회외전 변형(supination)은 전경골근(tibialis anterior)의 경직으로 인한 것이고 비골근(peroneal muscles)의 약화도 기여 요인



Figure 6. A child showing jumping gait pattern with hips, knees, and ankles in flexion. The patient needs to hold hands or use a walker, and rarely they can balance themselves.

으로 작용할 수 있다. 후족부의 침내반 변형에 대해서는 전술한 침족 변형의 교정과 함께 후경골근 연장술 혹은 후경골근 분리 이전술(split transfer of the tibialis posterior)을 시행할 수 있다. 전족부의 내반과 회외변형이 동반되어 있는 경우 전경골근 분리 이전술을 시행한다. 간혹 후족부의 내반과 전족부의 내반 및 회외 변형이 동반된 경우 전 경골근의 이전술과 후 경골근의 연장술을 동시에 시행할 수 있으며 후족부의 고정된 내반 변형이 있는 경우 종골에 대한 절골술을 요한다. 환아가 성장하면서 혹은 어린 나이에 아킬레스건에 대한 단독 연장술을 시행함으로써 슬관절 굴곡 변형이 악화되는 경우가 있으므로 뇌성마비 환자의 보행 형태의 변화 과정을 숙지하여 적용해야 한다.

한편, 후반슬 보행(genu recurvatum gait)이 동시에 동반될 수 있는데 대퇴직근의 경직 및 슬곡근의 약화와 관계될



Figure 7. Crouch gait is characterized by increased knee and hip flexion with ankle dorsiflexion.

수도 있으나 주로 족관절 굴곡-슬관절 신전 조합(plantar flexion-knee extension couple)의 과도한 활성화로 인하여 중간 입각기시의 슬관절의 과신전 소견을 보이는 경우가 대부분이다(Figure 5).

3. 점프 보행(Jump Gait)

시상면 상에서 입각기 시에 과도한 고관절 및 슬관절의 굴곡과 침족 보행으로 마치 육상 선수가 점프 자세를 취하는 것과 같은 보행을 보인다(Figure 6). 환자의 보행 양상이 발끝으로 걷기 때문에 침족 보행으로 관찰될 수도 있으나 이 보다는 고관절 및 슬관절의 굴곡 구축에 주된 원인이 있다는 것을 구별하는 것이 중요하다. 따라서 대부분의 환자에서 고관절 및 슬관절 굴곡근 연장술(6) 그리고 족관절 족저 굴곡근의 연장술을 요한다.

슬관절의 굴곡 변형은 진정한 굴곡 구축이기 보다는 슬곡근의 경직이 원인으로 내측 슬곡근(medial hamstrings)이 흔히 이환된다. 통상적으로 하지직거상 검사(straight leg raising test)상 70도 이하이거나 슬와 각도(popliteal angle)가 45도 이하인 경우 슬곡근 연장술을 요하며 내측 슬곡근 연장술은 반막양근(semimembranosus)의 건막 연장술과 반건양근(semitendinosus)과 박근(gracilis)의 step-cut 연장술이 시행된다.



Figure 8. Malalignment syndrome consisting of increased femoral anteversion and external tibial torsion forcing the feet into valgus.

4. 슬관절 강직 보행(Stiff Knee Gait)

정상 보행에서 유각기에 약 60도의 슬관절 굴곡은 발 들림(foot clearance)에 매우 중요한 요소이다. 슬관절 강직 변형은 슬괵근과 대퇴직근의 경직이 동반되어 나타나는 현상으로 대퇴직근이 비정상적으로 보행주기 전반 혹은 유각기 때 과도하게 작용하여 슬관절의 운동 범위를 감소시킨다. 만약, 슬괵근만 연장하였을 때 해결되지 않은 대퇴직근의 비정상적 경직으로 인해 효과적인 발 들림이 계속 방해되고 결국 고관절의 외회전, 회전 보행(circumduction) 또는 발꿈치 들기(vaulting)와 같은 2차적인 변형이 나타나게 된다. 수술적 치료는 슬괵근 연장술과 함께 대퇴직근의 원위부를 봉공근(sartorius), 박근 혹은 반건양근으로 이전하는 수술을 시행한다(7).

5. 웅크림 보행(Crouch Gait)

웅크림 보행은 연장아(older children) 및 사춘기 환아에서 가장 흔히 보이는 병적 보행으로서 과거 아킬레스건에 대한 단독 연장술이 가장 흔한 원인이었다. 고관절 굴곡근과 슬괵근의 경직으로 인하여 입각기시 고관절과 슬관절의 굴곡은 증가하고, 특히 하퇴 삼두근의 약화로 인한 족관절의 족배 굴곡의 증가가 특징적이다(8). 에너지 소비 면에서 가장 비효율적인 보행으로서 장애 정도가 심하여 제일 치료



Figure 9. Planovalgus foot deformity.

하기가 힘든 보행이다. 요근 퇴축술(psoas recession)과 슬괵근 연장술을 시행하며 슬관절 굴곡 구축이 심한 경우 대퇴골 과상부에서의 신전 절골술(extension osteotomy)과 슬개건의 전진술(patellar tendon advancement)을 시행한다(Figure 7). 많은 경우 대퇴골 혹은 경골의 회전변형이 동반된 경우가 많으며(Figure 8), 이에 대해서는 적절한 감염절골술(derotation osteotomy)을 시행한다.

양측마비 환자(diplegics)에서 관찰되는 가장 흔한 족부 변형인 편평외반족 변형(planovalgus deformity)은 침착 보행을 보이는 환아에서 성장함에 따라 후족부 외반(valgus deformity of the hindfoot)이 동반되어 나타난다(Figure 9). 이는 하퇴삼두근, 비골근의 경직성과 후경골근의 약화에 기

인하며 정도의 유연한 거골하 외반의 경우 보조기 착용을 시도해 볼 수 있으나 수술적 치료가 가장 효과적이다. 대부분 종골 연장술(os calcis lengthening)이나 관절외 거골하 관절 유합술(extraarticular arthrodesis of the subtalar joint)을 시행한다(9). 종골 연장술은 관절 유합(arthrodesis) 없이 거골하의 지지가 가능하며 거골하관절의 운동성이 유지되므로 가장 유용한 술식으로 권장되나 아직 장기추시 결과는 보고되지 않았다. 수술 후 치료로서는 지면반발력을 이용한 족관절족부 보조기(ground reaction ankle-foot orthosis) 착용이 권장된다(10).

결 론

뇌성마비 환자들의 보행 능력을 향상시키기 위해 시행되는 일수준 다단계 수술을 위해서는 정상 및 병적 보행에 대한 포괄적 이해가 필수적이며 수술 전 세밀한 신체 검사와 방사선학적 검사, 보행분석 검사 및 전신마취 하에서의 신체 검사를 통하여 1차적인 변형과 이에 대한 2차적인 보상 작용을 구별하는 것이 필요하다.

참고문헌

1. Sussman MD, Aiona MD. Treatment of spastic diplegia in patients with cerebral palsy. J Pediatr Orthop 2004; 13: S1-S12.
2. Bache CE, Selber P, Graham HK. The management of spastic diplegia. Curr Orthop 2003; 17: 88-104.
3. Novacheck TF, Gage JR. Orthopaedic management of spasticity in cerebral palsy. Childs Nerv Syst 2007; 23: 1015-1031.
4. Davids JR, Ounpuu S, DeLuca PA, Davis RB. Optimization of walking ability of children with cerebral palsy. J Bone Joint Surg Am 2003; 85: 2224-2234.
5. Dreher T, Wolf S, Braatz F, Patikas D, Döderlein L. Internal rotation gait in spastic diplegia - Critical considerations for the femoral derotation osteotomy. Gait Posture 2007; 26: 25-31.
6. Sutherland DH, Zilberfarb JL, Kaufman KR, Wyatt MP, Chambers HG. Psoas release at the pelvic brim in ambulatory patients with cerebral palsy: operative technique and functional outcome. J Pediatr Orthop 1997; 17: 563-570.
7. Ounpuu S, Muik E, Davis RB 3rd, Gage JR, DeLuca PA. Rectus femoris surgery in children with cerebral palsy. Part I: the effect of rectus femoris transfer location on knee motion. J Pediatr Orthop 1993; 13: 325-330.
8. Rodda JM, Graham HK, Nattrass GR, Galea MP, Baker R, Wolfe R. Correction of severe crouch gait in patients with spastic diplegia with use of multilevel orthopaedic surgery. J Bone Joint Surg Am 2006; 88: 2653-2664.
9. Park KB, Park HW, Lee KS, Joo SY, Kim HW. Changes of Dynamic Foot Pressure after Surgical Treatment of Valgus Deformity of Hindfoot in Cerebral Palsy. J Bone Joint Surgery Am 2008 (in press).
10. Seniorou M, Thompson N, Harrington M, Theologis T. Recovery of muscle strength following multi-level orthopaedic surgery in diplegic cerebral palsy. Gait Posture 2007; 26: 475-481.



Peer Reviewers Commentary

최근에 뇌성마비 아동의 보행에 대한 이해와 이들의 비정상적 보행을 좀 더 객관적으로 평가할 수 있는 보행분석과 같은 평가 방법의 개선 등에 힘입어 수술을 통한 뇌성마비 아동의 보행 능력의 향상 효과를 보고하고 있다. 이 의학강좌 논문은 뇌성마비 아동을 대상으로 가장 적극적이고 단시간 내에 효과를 극대화할 수 있는 소아정형외과 분야에서 시행되고 있는 치료방법에 대하여 포괄적으로 기술하고 있다. 즉 일수준 다단계의 수술적 치료가 가장 효과적인 경직성 뇌성마비 아동들에서 흔히 보이는 비정상적인 보행 형태와 하지 변형을 분류하고, 그 병적인 보행 형태에 대한 과학적 분석과 수술적 치료법을 체계적으로 정리하여 기술하였다. 그러므로 본 논문은 독자들에게 특히 뇌성마비 관련 분야에 종사하는 여러 분야의 의료인들에게 뇌성마비 아동의 병적 보행 형태에 따른 문제점과 이에 대한 치료적 접근방법을 이해하는 데 많은 도움을 줄 수 있다고 생각한다. 부가적으로 뇌성마비 아동의 나이에 따른 병적 보행 형태에 따른 수술적 치료방침과 그 문제점 등을 한번 더 고려하여 최종적 결정을 내리는 것이 좋을 것 같다.

[정리: 편집위원회]