

뇌성마비 환자에서 수술중 근전도 감시를 이용한 선택적 후근 절제술의 효과에 관한 연구

서울대학교 의과대학 신경과학교실, 신경외과학교실*, 재활의학교실**, 정형외과학교실***

김종민 · 왕규창* · 방문석** · 정진엽*** · 이광우

Selective Dorsal Rhizotomy for Spastic Paraplegia in Cerebral Palsy Using Intraoperative Electromyography Monitoring

Jong-Min Kim, Kyu-Chang Wang*, Moon-Suk Bang**, Chin Youb Chung***, Kwang-Woo Lee

Departments of Neurology, Neurosurgery*, Rehabilitation Medicine**, and Orthopedic Surgery***
Seoul National University College of Medicine

- Abstract -

Background & Objectives : In cerebral palsy, spastic paraplegia is one of the most crippling motor manifestations. Reducing the spasticity may improve gait and decrease the incidence of lower-extremity deformities. The spasticity may result from abnormally increased afferent signals via dorsal roots onto interneurons and anterior horn and spreading of reflex activation to other muscle groups. To assess the influences of dorsal rhizotomy to spasticity, the authors analyzed five cerebral palsy patients with spastic paraplegia.

Methods : The operation entailed an L1-2 laminectomy, ultrasonographic localization of conus medullaris and identification of lumbosacral dorsal roots. The innervation patterns of each dorsal root were examined by electromyography (EMG) responses to electrical stimulation. Tetanic stimulation was applied to individual rootlets of each root after reflex threshold was determined. The reflex responses were graded and rootlets producing high grade response were selected and cut. Short-term postoperative evaluations were performed.

Results : Intraoperative EMG monitoring was satisfactorily performed in all five cases. One month after the operations, all patients showed greatly reduced spasticity which was measured by the instrumental gait analysis. Bilateral knee and ankle jerks were normalized and tip-toe gait with scissoring disappeared in all patients.

Conclusion : Intraoperative EMG monitoring seems useful for the selective dorsal rhizotomy to reduce spasticity.

Key Words : Cerebral palsy, Selective dorsal rhizotomy, EMG monitoring

서 론

뇌성마비 (cerebral palsy)는 1000명 출생 당 약 2명의 빈도로 나타나는, 소아에서 가장 흔한 신경계 질환의 하나이다. 경직성 편마비 (spastic diplegia)가 뇌

성마비 중 가장 많은 빈도를 차지한다. 이 경직성 편마비는 조산 (premature delivery)과 밀접한 관련을 보여 뇌성마비 환자 중 조산아인 경우의 70%에서 보이며, 한편으로는 경직성 편마비 환자의 약 50%가 조산 병력을 보인다. 그 외 만삭아에서 나타나는 경직성 편마비의 원인으로는, 주산기에 관련된 여러 요소들, 즉 저

교신저자 : 이 광 우

서울특별시 종로구 연건동 28번지

서울대학교 의과대학 신경과학교실

TEL) 02-760-3215, FAX) 02-3672-7553, e-mail) kwoo@plaza.snu.ac.kr

체중, 태반경색 (placental infarction), 선천성 감염, 자궁내 저산소증 (intrauterine asphyxia) 등이 알려져 있다⁵.

이러한 경직성 편마비 환자에서는 대개 하지에만 국한되어 나타나거나, 혹은 상하지를 모두 침범하나 주로는 하지에 나타나는 경직성 근위약 (spastic weakness)이 가장 심각한 신경학적 증상을 초래하여 보행 장애 등 일상 생활의 장애뿐 아니라 특히 경직성 (spasticity)으로 인해 성장기에 있는 소아의 정상적인 신체 발달에 심각한 영향을 미친다. 경직성 편마비 환자의 경직성 근위약을 완화시키기 위해 여러 가지의 신경외과적, 혹은 정형외과적 수술과 재활 치료법이 시도되고 있으며 이 중에서 선택적 후근 절제술 (selective dorsal rhizotomy)이 운동 능력의 향상과 올바른 자세를 갖게끔 하는 신경외과적 시술로서 시행되고 있다⁷⁻¹⁰.

우선, 뇌성마비에서 경직성을 초래하는 신경학적 기전은 현재 정확히 밝혀져 있지는 않으나 다음과 같은 요소들이 관여할 것으로 생각되고 있다. 첫째, 경직성 편마비를 보이는 조산아에서 측뇌실주위의 뇌백색질 (periventricular white matter)에서 허혈성 괴사 소견이 매우 뚜렷이 관찰된다. 이러한 병변으로 인하여 하지의 신경 지배를 위해 척수까지 주행하는 상운동신경원 세포 (upper motor neuron)가 특히 침범되어 비정상적으로 항진된 반사 작용 (reflex activity)을 보이게 된다. 둘째, 이러한 상운동신경원 세포의 파괴로 인한 또 하나의 결과로서 척수 후근의 신경 섬유 (dorsal root fiber) 수가 증가하게 된다. 그 결과, 척수 후근을 통해 척수의 게제신경원 (interneuron)과 척수 전각 세포 (anterior horn cell)에 전달되는 구심성 신경 자극이 비정상적으로 항진되게 된다. 셋째, 경직성의 또 다른 기전으로서 반사 작용이 특정한 운동이나 자세와는 관련이 없는 다른 여러 근육들에 퍼지기 때문에 수의적 운동 중 심각한 반사 항진 (hyperreflexia)을 보이고 시기적으로 적절한 근육 이완을 할 수 없게 된다는 사실을 들 수 있다. 이러한 반사 작용의 비정상적인 전파로 인해 경직성 편마비의 여러 특징적 임상상, 즉 보폭의 감소, 비정상적인 앉는 자세, equinus deformity가 초래된다고 생각된다^{10,12}.

이러한 기전으로 인해 경직성이 초래되고 따라서 경직성 편마비의 여러 신경학적 증상이 유발된다는 근거 하에서, 척수 후근의 절제를 통해 항진된 구심성 신경 자극을 감소시키고 나아가 반사 작용의 비정상적 전파를 막는 선택적 후근 절제술의 성공적인 수행을 위해서는 당연히 어느 부위의 척수 후근을 어느 정도 절제할 것인가가 그 중요한 요소가 된다 할 것이다. 이러한 절제할 척수 후근의 선정과 그 절제 범위의 결정을 위한 지표와 근거로 수술 전에는 정밀한 신경학적 검사를 통한 운동 및 보행 장애의 분석과, 보다 객관적인 분석 및

평가를 위한 계기 보행 분석 (instrumental gait analysis)을 이용하여 개략의 척수 후근 선정과 범위 결정을 하게 된다¹⁵. 수술 중에는 척수 후근의 절제 후에 가능하면 신경 기능의 integrity를 그대로 유지하면서 가장 효과적으로 경직성을 감소시킬 수 있게끔 척수 후근 선정과 절제 범위를 결정하기 위해 전기생리학적 방법을 이용하며, H-reflex를 이용하는 방법¹⁴과 특정 소근 (rootlet)을 자극하였을 때 반응이 나타나는 범위를 보는 근전도 기록을 통한 감시법^{6,13}이 쓰이고 있다.

따라서 저자들은 뇌성마비 환자들 중 경직성 편마비 형태인 환자를 대상으로 하여 선택적 후근 절제술을 시행하고, 경직성을 감소시키고 보행 장애를 향상시키는 등의 효과를 분석하며, 이러한 과정에서의 수술 중 근전도 감시 (intraoperative electromyographic monitoring)의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

연구 대상

본 연구의 대상은 1997년 3월부터 1997년 10월까지 서울대학교병원 소아병원 신경외과, 정형외과, 재활의학과를 내원한 뇌성마비 환자로서, 2세 이상의 경직성 하지마비를 보이는 환자로 하였다. 경직성 마비와 함께 근긴장이상증 (dystonia)를 보이거나, 이미 고정된 심각한 관절 변형이 동반된 경우, 병력과 뇌핵자기공명 영상 (magnetic resonance imaging)에서 감염, 뇌외상, 뇌수두증 (hydrocephalus), 심한 기저핵 (basal ganglia) 부위의 병변, 이전에 정형외과적 교정 수술이 여러 차례 시행된 경우는 연구 대상에서 제외하였다.

방 법

수술 과정

전신 마취하에서 첫째 요추와 둘째 요추에 대해 척추 후궁 절제술 (laminectomy)을 시행하였다³. 그리고 초음파 기기를 이용하여 conus medullaris와 요추 및 미추의 척수 후근의 위치를 확인하였다. 다음에는 먼저 수술을 시행하는 좌측 혹은 우측의 수술 시야에서 각각의 척수 후근에 대해 ball dissector, silastic ribbon 등을 사용하여 해부학적 위치 확인 및 보호 조치를 시행하였다.

우선 L2에서 S2에 이르는 각 척수 전근 (motor root)에 0.5~2 mA의 전기 자극을 가한 후, 육안으로 보이는 근육 수축의 범위와 동측 하지에 부착한 여러 전극에서 기록되는 근전도 소견으로 이전에 수술 시야 및

초음파로 정한 각 척수 후근의 위치를 확인하였다. 다음에는 역시 L2에서 S2에 이르는 척수 후근에 전기 자극을 가한 후 육안적인 근육 수축이 없고 하지의 근육에 부착된 전극에서 근수축의 소견이 나타나지 않는 것을 근전도 검사 기기로 확인하여, 선택한 후근이 운동성 척수 전근이 아니라는 것을 입증하였다 (Fig. 1A)^{6,13}.

다음 각 척수 후근을 Scheer needle을 사용하여 5~10개의 소근 (rootlet)으로 나누어 그 각각의 소근에 두 개의 갈고리가 달린 전극 (rhizotomy probe with two hooks)을 걸어서 각 소근의 근육 지배 형태 (innervation pattern)에 대한 근전도 검사를 시행하였다 (Fig. 1B). 근전도 검사상 grade 3+ 혹은 grade 4+의 반응을 보인 소근에 대해 선택적 후근 절제술을 시행하였다^{6,13}.

근전도 활성을 측정하기 위해서 근전도 감시 기간 동안은 근육이완제를 사용하지 않았으며 train of four가 2 이상 유지되도록 하였다.

근전도 검사 방법

본 연구에서 사용한 수술 중 근전도 감시 방법으로는 특정 소근을 자극하였을 때 반사 반응이 나타나는 범위를 보아 해당 소근을 절제할 것인가를 결정하는 방법을 이용하였다¹³. 검사 기기로는 Nicolet Viking IV를 사

용하였다. 검사 중 filter의 설정은 low cut은 0.2 KHz, high cut은 5 KHz로 하였다. 검사 기기의 민감도 (sensitivity)는 500 μ V로 설정하였다.

전극을 부착하는 위치로는 동측의 장내전근 (adductor longus), 외측광근 (vastus lateralis), 전경골근 (tibialis anterior), 장비골근(peroneus longus), 슬와부근육(hamstring muscle), 비복근(gastrocnemius)과 반대측의 외측광근과 비복근에 표면 전극 (surface electrode)을 부착하여 다채널 근전도 검사를 시행하였다.

자극 방법은 우선 역치 전압을 구하기 위해 주파수 0.5 Hz, 지속시간 0.1 msec의 전기 자극 (single constant square wave)을 가하였다⁶. 대개 20~140 V의 범위에서 동측의 근육에서 반사성 수축이 관찰되는 역치 전압이 구해지며, 이 역치 전압의 강도로 1초 동안 주파수 50 Hz의 강직성 자극 (tetanic stimulation)을 각각의 소근에 가한다. 여기서 얻어지는 근전도 반응을 기록하고 Table 1에 기술한 기준에 의해 grade 0에서 grade 4+로 판정한다⁶.

절제할 소근의 결정

절제할 소근의 결정은 한 척수 후근에서 지속적인 근전도 활성을 보이는 소근의 비율과 그 근전도 활성의 강



Figure 1. Identification of sensory roots is confirmed by electromyographic responses to electrical stimulation (A). After a dorsal root is subdivided into five to ten smaller rootlet fascicles, the selected rootlet fascicle is suspended over two hooks of the rhizotomy probes (B). The innervation pattern of each rootlet fascicle is examined by electromyographic responses to electrical stimulation with a threshold voltage.

도에 따라 이루어졌다^{6,13}. 즉 grade 3+ 혹은 grade 4+의 지속적인 근전도 활성을 보인 소근은 상당 부분 절제하였으며, grade 1+ 혹은 grade 2+의 근전도 활성을 보인 소근은 절제할 경우도 있었고 보존하기도 하였다. 환자의 임상 양상, 즉 경직성의 정도, 주로 침범된 부위 등의 요소도 각 척수 후근에서 절제할 소근의 범위 결정에 반영하였다. 각 척수 후근에서 대개 50~90%의 소근을 절제하며 적어도 한 개의 소근은 보존하였다.

Table 1. Grade of EMG Responses in EMG monitoring

Grade 0 :	Unsustained or single discharge to a train of stimuli
Grade 1+ :	Sustained discharges from muscles innervated through the segment in the ipsilateral lower extremities
Grade 2+ :	Sustained discharges from muscles through the stimulated segment and immediately adjacent segments
Grade 3+ :	Sustained discharges from segmentally innervated muscles and from muscles through distant segments
Grade 4+ :	Sustained discharges from contralateral muscles

결 과

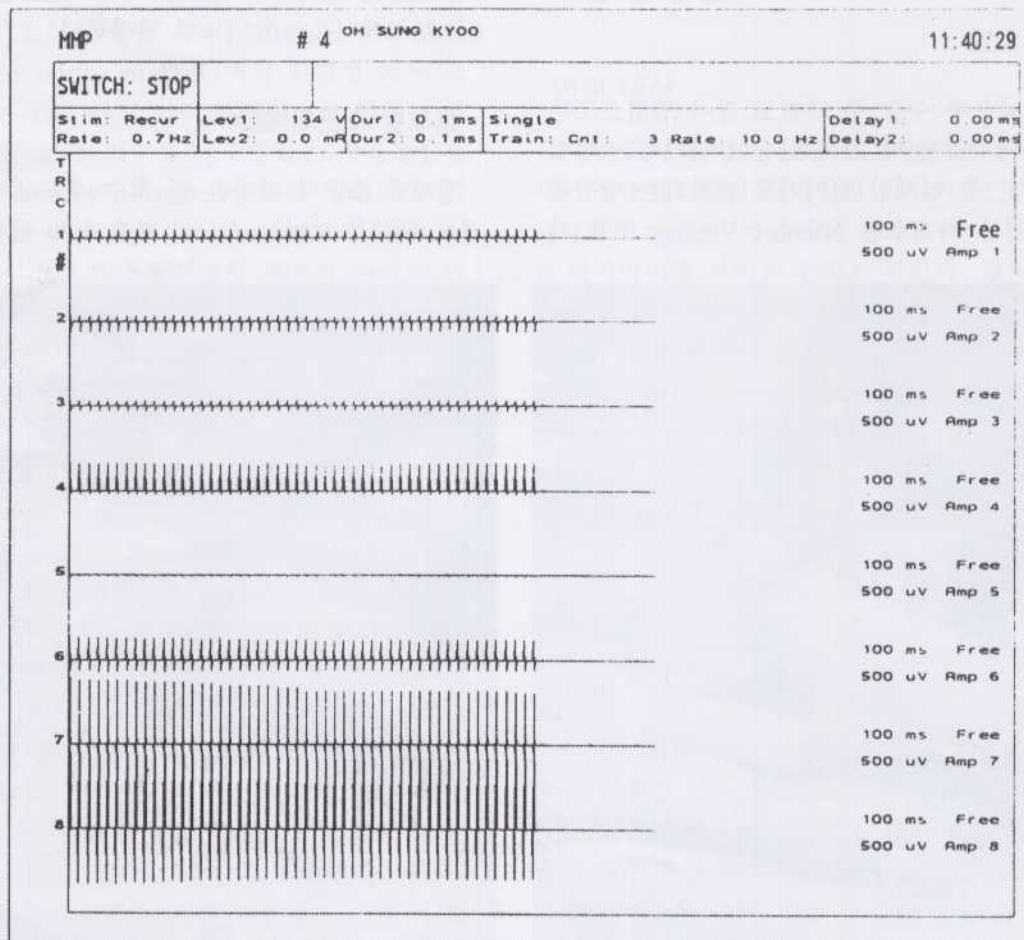
연구 대상

5명의 환자가 연구 대상으로 선정되었으며, 모두 경직성 하지마비를 보이는 증례들이었다. 대상 환자 모두

Table 2. Preoperative evaluation of five patients

	Knee jerk		Ankle jerk		Ankle Clonus	Scissoring Gait
	Rt	Lt	Rt	Lt		
Patient 1	+3	+3	+3	+3	-	+
Patient 2	+3	+3	+4	+4	+	-
Patient 3	+3	+3	+4	+4	+	-
Patient 4	+3	+3	+4	+4	+	+
Patient 5	+3	+3	+3	+3	+	+

+3 : increased, +2 : normal, +1 : decreased, 0 : absent



Nicolet Viking IV Seoul National University Hospital
 FILE ID: 27317765 4.6.0j 22 AUG 97 11:40

EMG RESPONSES

(EXAMPLE : Patient 1)
 Stimulation of one rootlet from L2 root ----- Grade 4 response

Figure 2. An example of electromyographic activity recording. In Patient 1, the stimulation of one rootlet fascicle from L2 root elicited grade 4 response. The rootlet fascicle was sectioned.

병력상 정상적인 만삭 분만이었으며 주산기의 문제는 뚜렷하지 않았으나 운동 발달력의 장애를 보였다. 환자의 연령 분포는 3세에서 6세였다. 대상 환자 모두에서 하지의 건반사가 3+에서 4+로 증가되어 있었으며 발가락끝 보행 (tip-toe walking)을 보였다. 4 명의 환자에서 발목간대성경련 (ankle clonus)이 관찰되었으며 3 명에서는 가위걸음 (scissoring gait)의 양상을 보였다 (Table 2). 2 명에서는 genu recurvatum의 변형 소견이 관찰되었다.

수술 중 근전도 검사

5~10개로 나누어진 소근 각각에 대해 역치 전류를 구한 후 강직성 자극을 가하여 근전도 활성을 5단계로 판정하였다 (Fig. 2). 5 명의 환자 모두에서 대부분의 근전도 활성이 grade 2+ 이상의 반응을 보였으며 특히 grade 4+의 반응이 90% 이상을 차지하였다. grade 3+ 혹은 grade 4+를 보인 소근 중 절제한 소근의 비율은 각 환자에서 84%, 90%, 76%, 92%,

93%였다. 한 명의 환자에서는 고관절의 내전근 강직 (adductor spasticity)이 심하여 L1 척수 후근에 대해서도 후근의 반을 절제하였다.

수술 후 평가

수술 직후 모든 환자가 경직성이 감소되는 소견을 보이기 시작했다. 수술 1개월 후 시행한 신경학적 검사상, 5명의 환자 모두 슬개건반사 (knee jerk), 족반사

Table 3. Postoperative evaluation of five patients

	Knee jerk		Ankle jerk		Ankle Clonus	Scissoring Gait
	Rt	Lt	Rt	Lt		
Patient 1	+2	+2	+1	+1	-	-
Patient 2	+2	+2	+2	+2	-	-
Patient 3	+2	+2	+1	+1	-	-
Patient 4	+1	+1	+0	+0	-	-
Patient 5	+2	+2	+2	+2	-	-

+3 : increased, +2 : normal, +1 : decreased, 0 : absent

Pre & Post-operative Gait Analysis Report

Kinematic Graphs

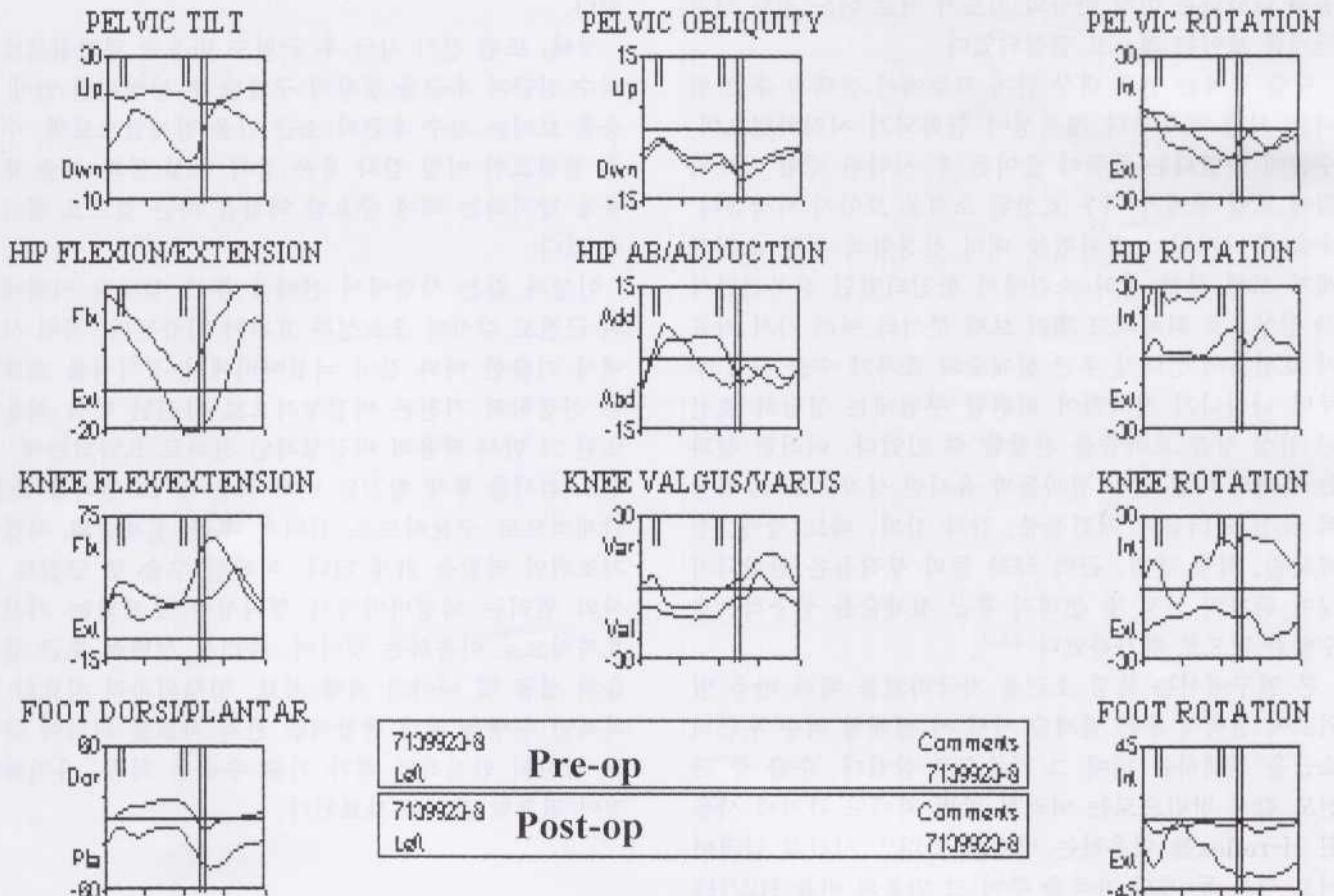


Figure 3. Instrumental gait analysis of Patient 1 before and after one month of selective dorsal rhizotomy. Postoperative graphs show the improved gait pattern.

(ankle jerk)가 정상 범위로 회복되었으며, 발목간대성 경련을 보였던 4 명에서는 시술 후 1개월이 경과했을 때에는 관찰되지 않았다 (Table 3). 가위걸음을 동반한 발가락끝 보행 (tip-toe gait with scissoring)을 보였던 환자들 역시 전례에서 소실되었다 (Table 3).

수술 1개월 후 시행한 계기 보행 분석에서는 5명의 환자 모두에서 경직성의 뚜렷한 감소가 관찰되었다 (Fig. 3).

수술 후 부작용

전례의 환자가 일시적인 저긴장증 (hypotonia)을 호소하였으나 모두 회복되었으며 그 외 감각 감퇴 (hypesthesia), 배뇨 장애, 장폐색증 (ileus), 척추 변형, 새로이 발생한 근력 약화 등은 관찰되지 않았다.

고 찰

상기 기술한 방법으로 선택적 후근 절제술 중 근전도 감시를 안정적으로 수행할 수 있었으며, 각 환자에서 수술 전 시행한 신경학적 평가 혹은 계기 보행 분석에서 얻어졌던 경직성의 분포 형태와 수술 시 근전도 반응을 통해 나타나는 이상 반사의 정도가 서로 어느 정도 상관 관계를 보이는 것으로 관찰되었다.

수술 결과는 연구 대상 환자 모두에서 선택적 후근 절제술 시행 직후부터 경직성이 완화되기 시작하였으며, 수술에 수반되는 동통이 줄어든 후 시작한 재활 치료와 함께 보행 장애가 매우 호전된 소견을 보이기 시작했다. 수술 후 1개월이 경과했을 때의 신경학적 검진 소견과 계기 보행 분석 상의 소견에서 항진되었던 심부건반사가 정상으로 회복되고 계기 보행 분석의 여러 가지 지표가 호전되어 선택적 후근 절제술의 효과가 수술 시행 후부터 나타나기 시작하여 퇴원할 무렵에는 상당히 호전된 임상 상을 보여줌을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 과거의 다른 연구 결과들과 유사한 성적으로서, 임상적 호전과 더불어 저긴장증, 감각 감퇴, 배뇨 장애, 장폐색증, 척추 변형, 근력 약화 등의 부작용은 관찰되지 않아 환자의 선정 및 선택적 후근 절제술을 성공적으로 수행한 것으로 평가하였다^{1,2,4,11}.

본 연구에서는 특정 소근을 자극하였을 때의 반응 범위로써 선택적 후근 절제술 시행 시 절제할 척수 후근의 소근을 선택하는 데에 그 기준으로 삼았다. 수술 중 근전도 감시 방법으로는 이러한 방법 외에도 과거에 사용된 H-reflex를 이용하는 방법이 있다¹⁴. 시간적 간격이 서로 다른 두 개의 자극을 주어 그 반응의 비율 H2/H1 수치를 구하고 주파수를 변화시켜도 그 수치가 일정한 수치 이하로 내려가지 않는 경우 그 소근을 절제하는 방

법으로서, 본 병원의 임상 경험상 본 연구에 사용한 반응 범위로 절제할 소근을 선택하는 방법이 수술 시간 단축 효과와 안정된 수술 성적을 얻는 데에 훨씬 나은 효과를 보였다.

선택적 후근 절제술로 양호한 성적을 얻기 위해서는 환자의 선정, 수술 과정, 수술 중 신경생리학적 감시, 수술 후 재활 치료, 및 추가적인 정형외과적 치료 등에 있어서 신경과, 신경외과, 재활의학과, 정형외과 등 여러 분야의 협조가 필요하다. 따라서 본 연구의 목적인 수술 중 근전도 감시의 유용성만을 따로 분리하여 평가하기는 어려운 점이 있으나 다음과 같은 사항으로 그 유용성을 정리할 수 있을 것이다.

첫째, 본 연구의 대상 환자들 모두 수술 후 일시적인 저긴장증을 호소하였으나 곧 회복되었고, 근력 약화의 부작용은 관찰되지 않았다. 그리고 수술 직후부터 경직성이 완화되는 소견을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 척수 전근을 전기 자극을 통해 확인하여 보존하고, 척수 후근의 소근 중 광범위한 반사 반응을 보이는 소근을 선택적으로 절제함으로써 얻어진 것으로 사료된다.

둘째, 해부학적인 위치 확인 외에도 근전도 감시를 통한 신경생리학적 방법으로 요추, 천추의 척수 후근을 확인함으로써 천추부의 척수 후근 절제 후 초래할 수 있는 배뇨 장애 등의 팔약근 장애는 전 증례에서 관찰되지 않았다.

셋째, 또한 전기 자극 후 근전도 반응을 평가함으로써 척수 전근과 후근을 정확히 구별한 후 광범위한 반사 반응을 보이는 척수 후근의 소근만을 절제함으로써, 수술 후 불필요한 이상 감각 혹은 감각 소실 등의 수술 부작용을 방지하는 데에 중요한 역할을 하는 것으로 평가할 수 있다.

이상과 같은 사항에서 선택적 후근 절제술 시행에서의 근전도 감시의 중요성과 효과가 입증된다. 특히 서론에서 기술한 바와 같이 뇌성마비에서 경직성을 초래하는 신경학적 기전은 비정상적으로 항진된 반사 작용과 또한 그 반사 작용의 비정상적인 전파로 요약되는데, 근전도 감사를 통해 항진된 반사 작용 및 그 전파를 측정, 단계적으로 구분하므로 선택적 후근 절제술의 시행에 기초적인 역할을 하게 된다. 이러한 수술 중 근전도 감시의 원리는 뇌성마비에서 경직성이 초래되는 기전을 효과적으로 이용하는 것이며, 따라서 선택적 후근 절제술의 성공 및 나아가 재활 치료, 정형외과적 치료의 효과적인 수행을 위한 종합적인 환자 치료를 위하여 근전도 감시의 안정적인 평가 기술 수준을 획득, 유지하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Abbott R, Johann-Murphy M, Shiminski-Maher T, et al. Selective dorsal rhizotomy: outcome and complications in treating spastic cerebral palsy. *Neurosurgery* 1993;33:851.
2. Arens LJ, Peacock WJ, Peter J. Selective posterior rhizotomy: a long-term follow-up study. *Childs Nerv Syst* 1989;5:148.
3. Barolat G. Dorsal selective rhizotomy through a limited exposure of the cauda equina at L-1. *J Neurosurg* 1991;75:804.
4. Berman B, Vaughan CL, Peacock WJ. The effect of rhizotomy on movements in patients with cerebral palsy. *Am J Occup Ther* 1990;44:511.
5. Blasco PA. Cerebral palsy: clinical diagnosis and natural history, in Park TS, Phillips LH, Peacock WJ (eds): *Neurosurgery: State of the Art Reviews: Management of Spasticity in Cerebral Palsy and Spinal Cord Injury*. Philadelphia: Hanley and Belfus, 1989, pp 371-378.
6. Kitchens DL, Park TS. Dorsal rhizotomy for spastic diplegia: operative indications and techniques, in (eds): *Contemporary Neurosurgery*. : 1994, volume 16, number 2, 1-7.
7. Latinen LV, Nilsson S, Fugl Meyer AR. Selective posterior rhizotomy for treatment of spasticity. *J Neurosurg* 1983;58: 895.
8. Park TS, Gaffney PT, Kaufman BA, Molleston MC. Selective lumbosacral dorsal rhizotomy immediately caudal to the conus medullaris for cerebral palsy spasticity. *Neurosurgery* 1993;33:929.
9. Park TS, Owen JH. Surgical management of spastic diplegia in cerebral palsy. *N Engl J Med* 1992;326:745.
10. Peacock WJ, Arens LJ. Selective posterior rhizotomy for the relief of spasticity in cerebral palsy. *S Afr Med J* 1982;62:119.
11. Peacock WJ, Staudt L. Functional outcomes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy. *J Neurosurg* 1991;74:380.
12. Peacock WJ, Arens W, Berman B. Cerebral palsy spasticity. Selective posterior rhizotomy. *Pediatr Neurosci* 1987;13:61.
13. Phillips L, Park TS. Electrophysiological studies of selective posterior rhizotomy patients, in Park TS, Phillips LH, Peacock WJ (eds): *Neurosurgery: State of the Art Reviews: Management of Spasticity in Cerebral Palsy and Spinal Cord Injury*. Philadelphia: Hanley and Belfus, 1989, pp 459-469.
14. Storrs BB, Nishida T. Use of the 'H' reflex recovery curve in selective posterior rhizotomy. *Pediatr Neurosci* 1988;14:120.
15. Vaughan CL, Berman B, Peacock WJ. Cerebral palsy and rhizotomy: a 3-year follow-up evaluation with gait analysis. *J Neurosurg* 1991;74:178.