백서의 좌골신경 절단 후 비복근의 자기공명영상 신호강도 변화와 근전도 소견의 관계*

계명대학교 의과대학 신경외과학교실, 재활의학과학교실,** 진단방사선학교실***
이주환 · 이장철 · 김동원 · 박기영** · 이성문***

= Abstract =

Correlation between Magnetic Resonance Image Signal Changes and Electromyographic Findings after Sciatic Nerve Transection in the Rat*

Joo Hwan Lee, M.D., Jang Chul Lee, M.D., Dong Won Kim, M.D., Ki Young Park, M.D., Sung Moon Lee, M.D.*****

*Department of Neurosurgery, Rehabilitation** and Diagnostic Radiology,*** School of Medicine, Keimyung University, Taegu, Korea*

Objectives : The evaluation of peripheral nerve injuries has traditionally relied on a clinical history, physical examination, and electrodiagnostic studies. The purpose of the present study was to examine serial magnetic resonance image(MRI) changes following acute muscle denervation under experimental conditions and to identify potential advantages and disadvantages of this use of MRI.

Methods : An experimental transection of right sciatic nerve on Spargue - Dawley rats was performed. MRI was performed with T1 - weighted spin - echo and STIR sequences. The imaging findings were compared with EMG in order to determine its sensitivity relative to this standard procedure. A simultaneous histopathological study provided information about the morphological basis of the imaging findings. Signal intensities were expressed as a ratio of abnormal to normal.

Results : The signal intensity ratio of muscles with the STIR sequence was increased significantly at 2 weeks after sciatic nerve transection($p<0.05$), although definite signal change was seen as early as 4 days postdenervation in one. EMG revealed significant denervation potential from 3 days after nerve transection. Diffuse cell atrophy was revealed hostologically at 2 weeks after transection, which was at the same time of significant signal change in MRI.

Conclusion : MRI signal changes in denervated muscles secondary to nerve injury correlate with the degree of muscle atrophy on histologic examination. In addition to EMG, MRI can document the course of muscle atrophy and mesenchymal abnormalities in denervation. These results indicate that MRI can play a complementary role in the evaluation of patients with denervation.

KEY WORDS : Nerve transection · STIR(short tau inversion recovery) · EMG(electromyography) · MRI(magnetic resonance imaging) · Denervation.

서 론

현재까지 말초신경손상의 진단은 병력, 신경학적 검사 및 전기생리학적 검사에 의존하고 있다. 특히 축색단열증(axonotmesis)과 신경절단(neurotmesis)의 감별은 말초신경손상의 수술결정에 매우 중요한 부분이다. 또한 손상 후 빠른 시간 내에 신경손상의 정도를 파악하는 것이 진단 및 치료에서 중요한 지표가 된다. 현재까지 널리 이용되는 근전도 검사는 환자의 협조가 없으면 검사하기가 힘들며 신경손

*본 논문의 요지는 1999년 제6차 신경손상학연구회 정기학술대회에서 발표하였음.

상 후 약 3주가 경과하여야 분명한 탈신경지배 근육의 범위를 알 수 있으며 검사자의 숙련도에 따라 다른 결과가 나올 수 있다는 단점이 있다.

최근 자기공명영상(magnetic resonance imaging ; MRI)의 기술 발전으로 두부 및 척추 신경외과 영역에서는 이제 MRI가 필수적인 진단 방법이 되었다. 그러나 말초신경손상의 진단에 MRI를 이용하려는 노력이 일부에서 발표되었지만[11)20)22)] 아직 그 이용도가 미약한 편이다. 한 편 West 등[28)]은 임상적으로 신경손상 후 4일만에 MRI의 신호강도 변화가 나타난다고 하였지만 신호강도의 변화 시기는 매우 다양하게 보고되고 있다[17)26)]. 그러나 실제로 신호강도의 변화가 손상 후 수일 이내에 나타난다면 이는 근전도의 변화보다 훨씬 빨리 진단이 가능하게되므로 손상의 정도를 파악하는데 매우 이용가치가 높다고 하겠다. 실제 임상에서는 말초신경손상과 더불어 주위조직의 직접적 손상을 동반하여 MRI에서 매우 복잡한 양상으로 나타나므로 정확한 변화를 판단하기가 어렵다. 그래서 실험적으로 탈신경된 말단근육의 시간의 경과에 따른 변화를 MRI로 촬영한 후 조직학적 소견과 근전도 소견을 비교 분석하여 상관관계를 파악한다면, 말초신경손상의 진단에 지표로 이용되어 도움을 줄 것으로 기대되므로 본 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

실험동물은 Spargue - Dawley종 백서로서 동일한 조건으로 사육한 250 350gm의 수컷 36마리를 대상으로 실험을 하였다. 복강 내에 Pentobarbital(Entobar ; 한림제약)을 30mg/kg으로 주입하여 마취를 시킨 후 우측 좌골신경을 노출시키고 1.5cm 길이로 좌골신경을 적출하여 신경절단 손상을 만들었다. 신경절단 수술 후 1일, 2일, 3일, 4일, 1주일, 2주일, 3주일, 4주일에 각각 3 6마리씩 MRI를 촬영하였는데 MRI는 short tau inversion recovery(STIR) 영상을 얻었다. MRI는 2.0 T의 MR system(Magnetom Vision, Siemens, Germany)을 이용하였으며 pulse sequence는 STIR영상에서 TR 9000, TE 30, FOV(field of view)는 73×145mm, acquisition number는 3, slice thickness는 3mm의 지표로 촬영하였다. STIR영상에서 양측 비복근의 신호강도를 측정하여 정상인 좌측에 대한 탈신경된 우측의 비율을 Uetani 등[26)]의 방법에 따라 신호강도비(signal intensity ratio)[i)]를 산출해내었다. MRI 촬영을 마친 후 곧 비복근의 근전도 검사를 실시하였다. 근전도 검사는 Medelec MS 20(Vikers Healthcare company, U.S.A.)을 이용하였으며 비복근에 단극침을 찔러 positive sharp wave, 세동전위(fibrillation potential)의 출현을 관찰하였다. 이 후 비복근을 적출하여 H & E 염색 및 Trichrome 염색을 실시한 후 근육의 조직변화를 관찰하였다. 한편 sham 수술군으로서 4마리에서 우측 좌골신경만 박리하였다가 피부를 봉합한 후 4일 후 MRI 및 근전도 검사를 같은 방법으로 실시하였다.

그 결과로서 나온 신호강도비는 one way ANOVA test 중 비모수 검정방법인 Kruskal - Wallis test로서 비교하여 통계학적 의의가 있는지 확인하고 만일 통계학적으로 신호강도비의 차이가 의미있게 변한다면 2 - sample Kolmogorov - Smirnov test로서 sham군과 각 실험군의 신호강도비를 비교하여 언제부터 통계학적으로 의미있게 신호강도비가 변하는지를 조사하였다.

[i)] : Signal intensity(SI) ratio =
$$\frac{\text{SI in denervated muscle - SI of background noise}}{\text{SI in normal muscle - SI of background noise}}$$

결 과

MRI의 STIR영상에서 신경절단 후 3일까지엔 큰 변화를 보이지 않았다. 신경절단 후 3일째에 1마리에서 미약하게 신호강도가 증가되는 소견을 보여주었지만 분명히 구분될 정도는 아니었다. 신경절단 후 4일에 한 마리에서 탈신경된 비복근의 고신호강도가 저명하게 관찰되었으며, 1주일에도 1마리에서 역시 고신호강도로 나타났다. 신경절단 후 2주에 6마리 모두에서 비복근의 신호강도가 증가된 소견을 보였으며 수술을 하지 않은 쪽의 비복근과 부피를 비교할 때 분명한 부피감소를 알 수 있었다. 탈신경된 비복근의 고신호강도는 이 후 4주까지 계속 지속되었으나 신호강도가 비례적으로 증가되는 양상은 아니었다. 그러나 4주까지 근육의 위축으로 인한 용적의 감소는 시기에 비례하여 진행되었다. 한편 sham 수술 후 4일에도 2마리에선 미약하게 신호강도가 증가되는 소견을 보여 수술로 인한 조직의 손상에도 매우 민감하게 변화가 나타나는 것을 알 수 있었다. 그러나 이 경우 신호강도의 증가는 신경절단 후의 신호강도의 증가처럼 저명하지는 않았다(Fig. 1).

근전도 소견에서 좌골신경 절단 후 2일에 미약한 탈신경전위가 부분적으로 나타나기 시작하여 3일째에 저명한 탈신경전위가 나타났다. 이후엔 4주까지 더 이상의 변화 없이 탈신경전위의 심한 정도가 지속되었다. 그러나 근위축의 정도는 근전도로서 나타내지를 못하였다(Fig. 2).

조직학적 소견상 신경절단 후 4일에 부분적인 근세포의 위축이 보이며 세포내의 공포도 보이기 시작하였다. 1주일

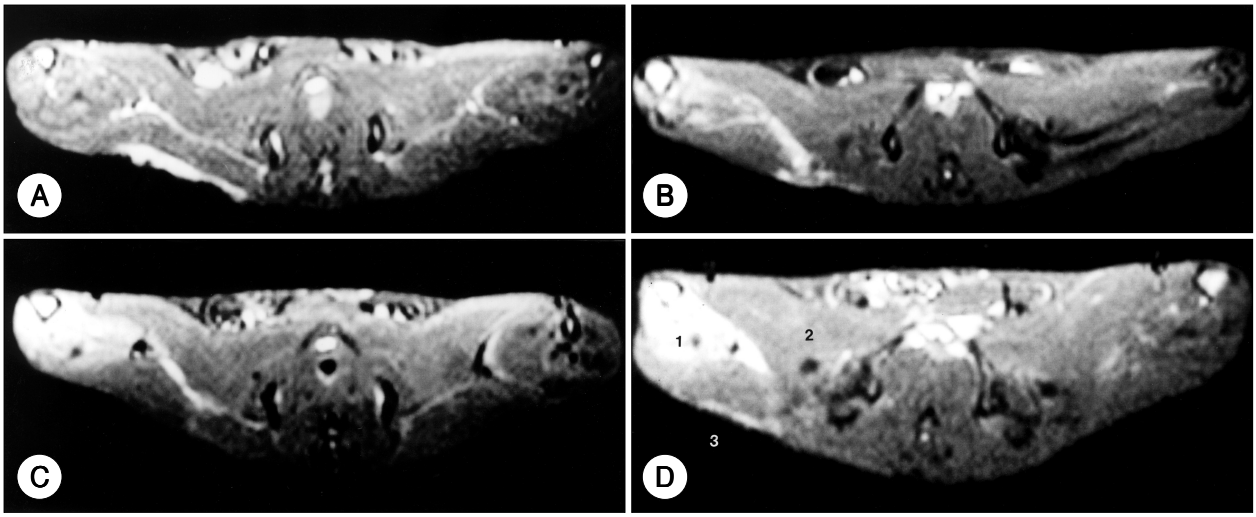

Fig. 1. STIR images of the hindlimb after transection of the right sciatic nerve. A : In sham operation, slight increase of signal intensity is showing(arrow), although not significant. B : Moderate increase of signal intensity is shown(arrow) at 4 days after sciatic nerve transection in one rat. C : At 2 weeks after sciatic nerve transection, significant increase of signal intensity(arrow) and muscle atrophy are seen. D : Signal intensity ratio is measured as.

$$\text{Signal intensity(SI) ratio} = \frac{\text{SI in denervated muscle(1) - SI of background noise(3)}}{\text{SI in normal muscle(2) - SI of background noise(3)}}$$

에는 부분적인 근위축이 더욱 저명해졌다. 2주일에는 근세포의 전반적인 위축이 나타나며 세포내의 공포도 더욱 저명해졌다. 3주에는 2주와 큰 변화는 없었지만 4주에는 매우 심한 근위축의 소견을 보여주며 세포내의 공포도 매우 크게 나타났다(Fig. 3).

MRI의 고신호강도를 객관적으로 나타내기 위하여 신호강도비를 측정한 결과 sham군은 평균 1.151이었다. 좌골신경 절단 후 1일, 2일, 3일, 4일, 1주일의 신호강도비의 평균은 각각 1.170, 1.208, 1.252, 1.346, 1.399 였으며 2주일, 3주일, 4주일의 신호강도비의 평균은 1.707, 1.695, 1.652였다. 이들을 Kruskal - Wallis test로서 비교한 결과 시기에 따른 신호강도비의 변화는 통계학적으로 의의가 있었다($p<0.005$). 한편 어느 시기에서부터 신호강도가 의미있게 증가하였는지를 조사하기 위하여 sham군과 각 시기의 신호강도비를 2 - sample Kolmogorov - Smirnov test로서 비교한 결과 2주에서부터 신호강도비는 통계학적으로 의의있게 증가하였다($p<0.05$)(Fig. 4).

고 찰

현재까지 말초신경의 손상은 탈신경된 근육의 근전도 검사로서 진단되어지며 탈신경된 근육은 수의적 운동시 운동단위 활동(motor unit activity)의 감소 혹은 소실이 나타나고, 자발적인 섬유성 연축(fibrillation)이 휴식기에도 나타나는 것이 그 소견이다. 그러나 근전도 검사는 통증을 유발하므로 소아나 영유아 등에선 실시하기가 어렵다. 또한 미리 진찰을 하여 검사할 근육을 선택한 후 검사를 실시하므로 그 결과는 검사자의 숙련도에 좌우되고 시간이 많이 소요되며, 근육이 깊게 위치한 경우 검사하기가 힘이 들고 공간적인 해부학적 위치를 판단하기가 어렵다는 단점이 있다. 이외에도 신경 손상 후 2 3주가 지나기 전에는 찾기가 힘들고 생리적 신경차단인 경우에도 심한 경우엔 축색단열손상과 감별이 힘들다[24].

현재까지 탈신경된 근육에 대한 방사선학적 검사는 매우 제한적이었으며 초음파[13]나 MRI로서 진단하려는 노력이 있었다. MRI로서 진단하려는 노력은 Shabas 등[22]에 의해서 요추 신경근 증후군, 총비골신경병증, 설하신경병증에서 탈신경된 근육이 T2강조영상에서 고신호강도로 나타나는 것을 처음으로 발견하였다. 이 후 탈신경된 횡문근의 초기 변화에 대한 실험은 Polak 등[20]에 의해 시도되었다. Fritz 등[11]은 견갑상신경 포착증후군에서 T2강조영상에서 극상근 및 극하근의 고신호강도를 발견하여 포착성 신경질환에서도 이용가능하다고 하였다.

본 연구에서는 MRI 소견과 현재 신경손상의 표준 검사인 근전도와의 상호관계를 알려고 하였다. MRI에서 탈신경된 근육은 고신호강도로 나타나는데 이는 STIR 영상에서 가장 저명하게 나타난다. STIR 영상은 spin echo 영상의 변형으로서 일반적인 90도 pulse 전에 180도의 무선진동수 pulse를 더하는 기법이다[1)6)]. 이 경우 2가지 효과가 더 해지는데 하나는 지방조직의 고신호강도가 억제되고, 둘째로 수분함량

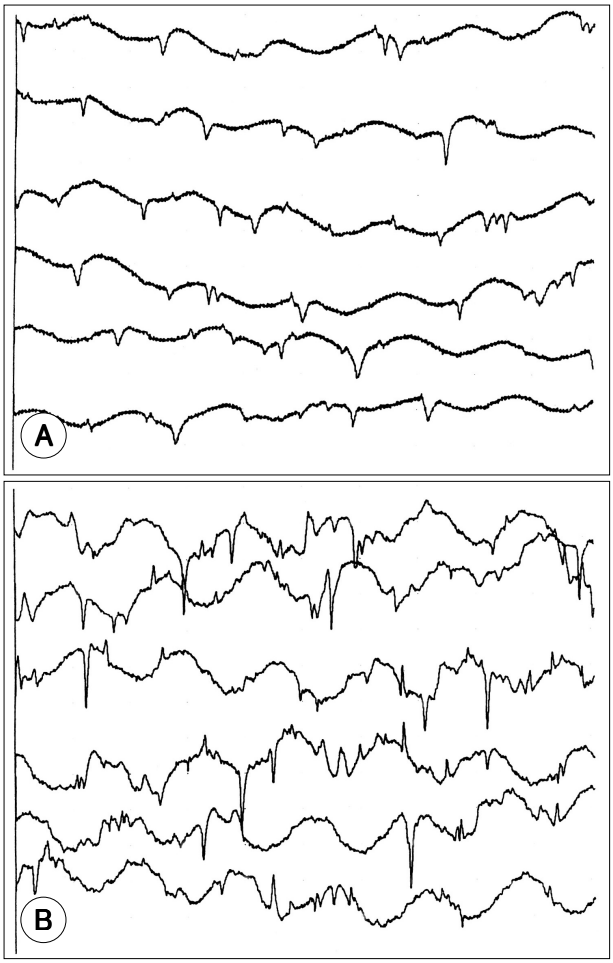

Fig. 2. EMG findings after transection of the right sciatic nerve. A : Mild denervation potential is noted at 2 days after sciatic nerve transection. B : Severe denervation potential is seen at 3 days after sciatic nerve transection, which continued until the end of the study at 4 weeks.

에 매우 민감하게 반응한다. T1, T2 이완시간이 길어지는 경우 STIR 신호를 증가시키는데, 이는 일반적인 spin echo 상에서 T1 이완시간이 길어지는 경우 MRI 신호강도를 감소시키고 T2 이완시간이 길어지는 경우 신호강도를 증가시키는 것과는 다르게 나타난다. 이런 특성은 수분함량에 더욱 민감해진 영상을 얻게된다[6]. 탈신경된 근육은 정상 근육에 비해 T1, T2 공히 이완시간의 연장이 나타나 STIR 영상에서 고신호강도로 나타나서 정상과 비정상 근육과의 대조가 더욱 선명하게된다. STIR 영상의 단점으로서 신호대 잡음비가 감소한다는 점이 있지만 근육은 비교적 큰 구조물이므로 큰 문제가 되지 않고, 최근엔 고해상도의 MRI가 개발되고 적절한 surface coil이 상품화되어 이런 단점은 많이 극복되었다. 그래서 본 연구에서 MRI의 촬영기법으로서 STIR 영상을 이용하였으며 surface coil은 손목 촬영에서 사용하는 surface coil을 이용하여 해상도를 높였다.

탈신경된 근육이 T2 강조영상과 STIR 영상에서 고신호강도로 나타나는 기전은 아직 불확실하다. STIR 영상은 수분함량에 매우 민감하게 반응하므로 신호강도의 변화는 수분함량과 관계가 있을 것으로 추정된다. 실험적으로 전기적으로 자극한 쥐의 횡문근에서 수분의 분포에 따라 T2 신호강도에서 근육의 변화가 나타난다고 증명하였다[18]. 종양, 염증, 뇌경색 등에서 부종으로 인한 전체 수분함량의 증가는 MRI에서 T2 강조영상에서 고신호강도로 나타난다. 탈신경된 근육은 세포의 크기가 위축되는 소견 외에는 정상적인 소견을 나타내어 세포의 부종을 나타내는 상기 질환과는 다른 기전으로 고신호강도로 나타난다고 추정할 수 있다. Polak 등[21]은 탈신경 후 proton NMR spectrometry로서 세포외 공간의 수분 함량과 크기를 측정한 결과 탈신경된 근육의 전체 수분 함량은 약간 증가한 반면 세포외 공간은 매우 저명하게 증가하여 신호강도의 증가는 전체 수분함량 보다는 세포외 공간과 더 밀접한 관계가 있다고 하였다. Deutsch 등[3]도 고신호강도의 소견은 근세포질의 수축과 이로 인한 세포외 공간의 보상적 증가로 인한다고 생각하였다. 세포외의 수분은 세포내의 수분보다 T2에서 이완시간이 더 길어지므로[21], Fleckenstein 등[9]은 탈신경된 근육이 T2 강조영상에서 고신호강도로 나타나는 것은 세포외 공간의 수분 함량증가와 연관된 것으로 생각하였다. 이는 조직의 수분함량이 증가하는 진정한 부종은 아니지만 부종과 유사한 것으로 이해하면 되겠다. 즉 근세포질의 위축으로 세포외 공간이 넓어지고 이로 인해 세포외 수분함량이 증가하는 것이 STIR 영상에서 고신호강도로 나타나는 원인으로 생각된다. 본 연구에서도 근세포의 부분적인 위축이 나타나는 탈신경 후 4일에서 일부에선 고신호강도로 나타났으며, 근세포의 전반적인 위축이 나타나는 탈신경 후 2주에서 통계적으로 유의하게 고신호강도로 나타나서 근세포 위축으로 인한 세포외 공간의 증가와 MRI의 신호강도변화는 상호관계가 있을 것으로 추정된다. 그러나 조직 점도의 변화, 세포외 공간의 기저물질 변화, 세포내 ATPase 활동성 등의 여러 가지 다른 가능성도 배제할 수는 없어 앞으로 좀 더 연구가 있어야 할 것이다.

탈신경이 된지 얼마가 지난 후에 신호강도의 변화가 나타나는지에 대해서도 확실한 자료가 없다. Polak 등[21]은 백서의 좌골신경 손상 후 15일에 검사한 결과 T1 및 T2강조영상에서 변화를 관찰하였다. Fleckenstein 등[9]은 STIR 영상에서 신경손상 후 10일에 신호강도의 증가를 관찰하였지만 일부는 상처의 부종으로 인한 것이어서 MRI 검사는 아급성 시기가 적당하다고 하였다. Kullmer 등[17]은 토끼에서 견갑상 신경을 절단한 후 극상근과 극하근의 MRI, 근전도,

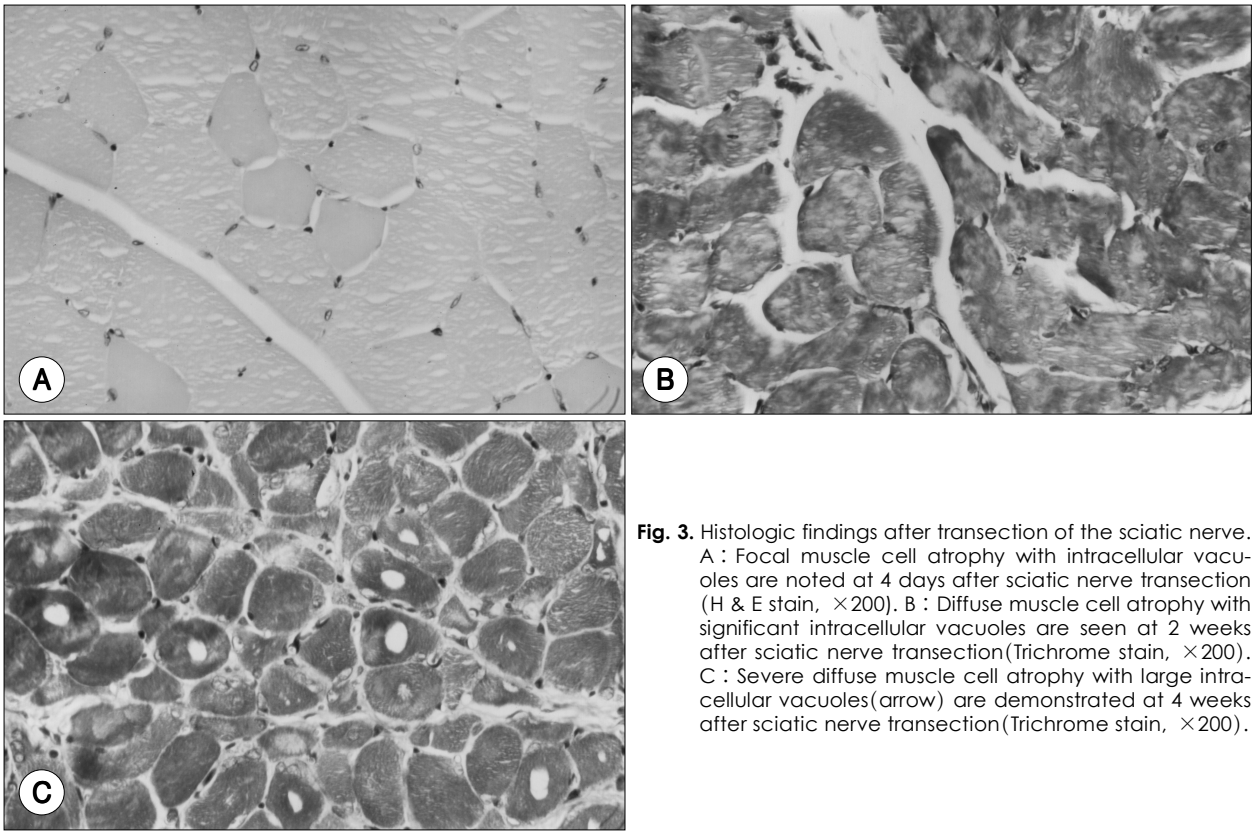

Fig. 3. Histologic findings after transection of the sciatic nerve. A : Focal muscle cell atrophy with intracellular vacuoles are noted at 4 days after sciatic nerve transection (H & E stain, ×200). B : Diffuse muscle cell atrophy with significant intracellular vacuoles are seen at 2 weeks after sciatic nerve transection(Trichrome stain, ×200). C : Severe diffuse muscle cell atrophy with large intracellular vacuoles(arrow) are demonstrated at 4 weeks after sciatic nerve transection(Trichrome stain, ×200).

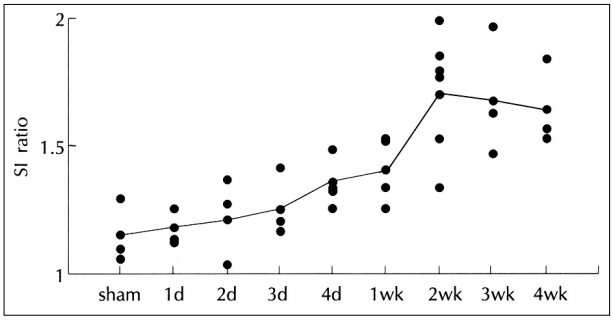

Fig. 4. Graph showing signal intensity ratio with serial STIR images after sciatic nerve transections in rats. Note that the significant increase in signal intensity ratio occur in the 2 weeks of denervation($p<0.05$). x-axis : duration from onset of denervation, y-axis : signal intensity(SI) ratio on STIR images.

조직소견을 비교한 결과 근전도에선 손상 14일에 탈신경전위가 나타나고, 조직소견에선 11일에 근섬유의 중정도 위축으로 나타나고, MRI는 21일에 신호강도의 증가로 나타났다. Uetani 등[26]은 손상 1주일까지는 신호강도의 변화가 없다고 하였지만 West 등[28]에 의하면 증상이 나타난 후 4일째에 STIR 영상에서는 변화를 관찰할 수 있었다고 하였다. 본 연구에서도 4일째에 1마리에서 분명한 고신호강도를 나타내어 일부에선 매우 빠른 시기에 변화가 나타날 수 있을 것으로 추정된다. 이렇게 매우 변화가 다양하게 나타나는 이유로서는 부분적인 신경손상에선 신호강도의 변화는 늦게 나타나거나 나타나지 않게 되고, 임상적으로 같은 신경에 지배를 받는 근육사이에도 신호강도의 변화에 차이를 나타내기 때문이다[9]. 같은 신경에 지배를 받는 근육사이에도 신호강도의 변화에 차이를 보이는 이유에 대한 확실한 기전은 모르지만 측부 신경 지배가 있어 근육 사이에 차이가 나타나는 경우 혹은 근육마다 위축의 속도가 다르기 때문으로 추정된다. 본 실험과 다른 연구를 종합할 때 MRI에서 탈신경된 근육의 고신호강도는 2 3주에 나타날 것이며 이는 본 연구의 실험 전에 기대했던 결과와는 달리 근전도의 소견보다는 약간 늦게 나타날 것으로 추정된다. 그러므로 MRI를 근전도에 대체하여 사용하기엔 무리가 있을 것이지만 시간의 경과에 따라 일정한 신호강도의 변화를 나타내며 이는 근전도의 소견과 일치하는 것으로 봐서 보조적인 진단 방법으로서 사용 가능할 것으로 본다.

MRI에서 근육의 고신호강도 소견을 나타내는 경우는 많다. 근육의 손상[2)3)5)12)23)], 근육의 괴사[8)], 근육내 출혈[4)], 종양주위의 부종[14)], 다발성근염[15)], 치료 방사선의 영향[10)], 운동 직후[7)] 등에서 근육의 고신호강도 소견을 나타낸다. 이런 질환과 탈신경된 근육과의 감별은 매우 중요한데 탈신경된 근육은 전반적으로 균질하게 고신호강도로 나타나고 이는

주위 건막이나 지방조직에는 전혀 영향을 미치지 않아 경계가 분명히 나타나는 것이 특징이어서 이로서 염증, 외상이나 종양 등과 감별이 가능하다[9)27)]. 그러나 무엇보다도 임상소견이 가장 중요하다고 하겠다. 임상에서 손상이나 수술 후 근육에서 역시 고신호강도로 나타나므로 급성기에는 탈신경된 근육과 손상된 근육의 감별이 힘들어서 MRI의 유용성이 감소한다. 본 연구에서 수술부위의 고신호강도는 약 1주일 지속되고, 탈신경된 근육의 신호강도 증가는 약 2주에서 나타나므로 MRI는 신경손상의 진단으로서 급성기보다는 손상 후 2주부터 탈신경의 진단으로 이용 가능하다고 하겠다.

탈신경된 근육은 만성기가 되면 근위축과 지방침착이 특징적이다[9)]. 만성기에는 지방침착으로 인해 T1, T2 강조영상에서 공히 고신호강도로 나타나는데 T2강조영상에선 급성기와 만성기의 구분이 불가능하다. STIR 영상에선 아급성기에 고신호강도가 가장 저명하고 만성기엔 오히려 감소되어 나타난다. 이상으로서 근육의 MRI 촬영시 T1 강조영상과 STIR 영상을 기본으로 하는데 이는 급성기에선 STIR 영상이 정밀하게 나타내어 주고 만성기에선 T1강조영상이 잘 보여주기 때문이다. 이런 구분은 향후 장기간의 탈신경으로 인해 벌써 근육이 지방침착으로 대체되어 신경문합 등의 수술이 효과가 없고 근육-인대 이전술 등의 방법이 필요한 경우를 감별하는데 이용가능 하겠다. 본 연구에서는 4주까지 MRI를 촬영하였는데 이 시기까지에는 T1강조영상이 큰 도움이 되지는 못하였다. 한편 신경 접합 수술을 한 환자에서 추적 관찰한 결과 MRI에서 탈신경된 근육의 고신호강도가 정상 신호강도로 회복하는 것을 보여준다고 하였다[9)]. 또한 임상적으로 가장 심하게 나타날 때 가장 고신호강도로 나타났다가 회복이 되면 역시 고신호강도가 정상화되는 것을 보여주어 STIR 영상은 임상소견과 근전도 소견과 일치한다고 할 수 있겠다[28)]. 이런 결과로서 치료의 효과를 살피는데에도 MRI가 이용 가능할 것으로 추정되지만 Uetani 등[26)]은 마비의 기간과 신호강도의 변화사이엔 어떤 관계를 찾지 못하였다고 하였다. 실제로 임상에서 고비용인 MRI를 이런 목적으로 이용한다는 것은 매우 어려운 일이며, 이에 대한 실험은 아직 없는 상태이다. 그러나 MRI로서 근육 개개의 경계를 확인할 수 있다는 것은 매우 중요하다. 신경의 지배 영역은 매우 변동이 심하며[16)] 이는 근전도로서 확인할 방법이 없다. 그러나 MRI로서 근육의 해부학적 구조를 분명히 알 수 있어 이런 신경분포의 변동을 확인할 수 있다. 한편 경추 후측방 근육의 신호강도에 변화가 나타나면 상완신경총의 견열손상으로 진단이 가능할 것이다[27)]. 이와 같이 MRI로서 해부학적 구조를 분명히 알 수 있다는 것은 MRI의 가장 큰 장점이며 이는 수술의 결정에 큰 도움이 될 것이다.

결 론

백서에서 좌골신경을 절단 후 탈신경된 비복근의 변화를 MRI, 근전도, 조직학적 소견으로 비교한 결과 MRI의 STIR 영상에선 신경절단 후 2주부터 통계학적으로 의미있게 고신호강도로 나타났지만 근전도에선 신경절단 후 3일부터 탈신경전위가 의미있게 나타났다. 조직학적으로는 신경절단 후 4일부터 부분적인 근위축이 관찰되었으며 2주부터는 전반적인 근위축이 관찰되었으며 이는 MRI의 소견과 상관관계를 유지하였다.

이상의 결과로서 MRI의 변화는 실험 전에 예견하였던 것과는 달리 근전도만큼 예민하지 못하여, 탈신경된 근육의 진단으로서 MRI가 표준검사로 이용되는 데에는 아직 회의적이다. 그러나 MRI 소견이 근전도와 상관된 결과를 보여주고, 비침습적인 방법으로 탈신경된 근육의 변화를 잘 보여주어서 근전도 등 다른 검사가 애매하거나 실시 불가능할 때, 보조적인 혹은 대체 방법으로서 이용 가능하리라 생각된다. 탈신경된 근육의 고신호강도 기전은 조직학적으로 전반적인 근위축의 소견과 연관이 있을 것으로 추정된다.

● 논문접수일 : 1999년 5월 27일
● 심사완료일 : 1999년 7월 16일
● 책임저자 : 이 장 철
700 - 712 대구광역시 중구 동산동 194
계명대학교 의과대학 신경외과학교실
전화 : 053) 250 - 7335, 7356
전송 : 053) 250 - 7356, 252 - 1605
E - mail : janglee@dsmc.or.kr

References

1) Bydder GM, Young IR : *MRI clinical use of the inversion recovery sequence. J Comput Assist Tomogr 9 : 659-675, 1985*
2) De Smet AA, Fisher DR, Heiner JP, et al : *Magnetic resonance imaging of muscle tears. Skeletal Radiol 19 : 283-286, 1990*
3) Deutsch AL, Mink JH : *Magnetic resonance imaging of musculoskeletal injuries. Radiol Clin North Am 27 : 983-1002, 1989*
4) Dooms GC, Fisher MR, Hricak H, et al : *MR imaging of intramuscular hemorrhage. J Comput Assist Tomogr 9 : 908-913, 1985*
5) Ehman RL, Berquist TH : *Magnetic resonance imaging of musculoskeletal trauma. Radiol Clin North Am 24 : 291-319, 1986*
6) Fleckenstein JL, Archer BT, Barker BA, et al : *Fast short-tau inversion-recovery MR imaging. Radiology 179 : 499-504, 1991*
7) Fleckenstein JL, Canby RC, Parkey RW, et al : *Acute effects of exercise on MR imaging of skeletal muscle in normal vol-*

unteers. AJR 151：231-237, 1988

8) Fleckenstein JL, Peshock RM, Lewis SF, et al：*Magnetic resonance imaging of muscle injury and atrophy in glycolytic myopathies. Muscle Nerve 12：849-855, 1989*
9) Fleckenstein JL, Watumull D, Conner KE, et al：*Denervated human skeletal muscle：MR imaging. Radiology 187：213-218, 1993*
10) Fletcher BD, Hanna SL, Kun LE：*Changes in MR signal intensity and contrast enhancement of therapeutically irradiated soft tissue. Magn Reson Imaging 8：771-777, 1990*
11) Fritz RC, Helms CA, Steinbach LS, et al：*Suprascapular nerve entrapment：evaluation with MR imaging. Radiology 182：437-444, 1992*
12) Greco A, McNamara MT, Escher RM, et al：*Spin-echo and STIR MR imaging of sports-related muscle injuries at 1.5T. J Comput Assist Tomogr 15：994-999, 1991*
13) Gunreben G, Bogdahn U：*Real-time sonography of acute and chronic muscle denervation. Muscle Nerve 14：654-664, 1991*
14) Hanna SL, Fletcher BD, Parham DM, et al：*Muscle edema in musculoskeletal tumors：MR imaging characteristics and clinical significance. JMRI 1：441-449, 1991*
15) Hernandez RJ, Keim DR, Chenevert TL, et al：*Fat-suppressed MR imaging of myositis. Radiology 182：217-219, 1992*
16) Jabaley ME, Wallace WH, Heckler FR：*Internal topography of major nerves of the forearm and hand：a current view. J Hand Surg (Am) 5：1-18, 1980*
17) Kullmer K, Sievers KW, Reimers CD, et al：*Changes of sonographic, magnetic resonance tomographic, electromyographic, and histopathologic findings within a 2-month period of examinations after experimental muscle. Arch Orthopedic Trauma Surg 117：228-234, 1998*
18) Le Rumeur E, de Certaines J, Toulouse P, et al：*Water pahses in rat striated muscles as determined by T2 proton NMR relaxation times. Magn Reson Imaging 5：267-272, 1987*
19) Murphy WA, Totty WG, Carroll JE：*MRI of normal and pathologic skeletal muscle. AJR 146：565-574, 1986*
20) Polak JF, Jolesz FA, Adams DF：*NMR of skeletal muscle：differences in relaxation parameters related to extracellular/intracellular fluid spaces. Invest Radiol 23：107-112, 1988*
21) Polak JF, Jolesz FA, Adams DF：*Magnetic resonance imaging of skeletal muscle：prolongation of T1 and T2 subsequent to denervation. Invest Radiol 23：365-369, 1988*
22) Shabas D, Gerard G, Rossi D：*Magnetic resonance imaging examination of denervated muscle. Comput Radiol 11：9-13, 1987*
23) Shellock FG, Fukunaga T, Mink JH, et al：*Exertional muscle injury：evaluation of concentric versus eccentric actions with serial MR imaging. Radiology 179：659-664, 1991*
24) Spector SA：*Effects of elimination of activity on contractile and histochemical properties of rat soleus muscle. J Neurosci 5：2177-2188, 1985*
25) Tsubahara A, Chino N, Ishii H, et al：*Objective parameters in magnetic resonance imaging (MRI) for neuromuscular diagnosis：Preliminary findings. Disabil Rehabil 14：163-167, 1992*
26) Uetani M, Hayashi K, Matsunaga N, et al：*Denervated skeletal muscle：MR imaging. Work in progress. Radiology 189：511-515, 1993*
27) Uetani M, Hayashi K, Hashmi R, et al：*Traction injuries of the brachial plexus：signal intensity changes of the posterior cervical paraspinal muscles on MRI. J Comput Assist Tomogr 21：790-795, 1997*
28) West GA, Haynor DR, Goodkin R, et al：*Magnetic resonance imaging signal changes in denervated muscles after peripheral nerve injury. Neurosurgery 35：1077-1086, 1994*