

## 탈신경시킨 토끼 골격근의 자기공명영상<sup>1</sup>

임형근 · 정선관 · 이성아 · 이강모 · 김선구 · 박동식<sup>2</sup> · 최시성 · 노병석 · 김창근 · 원종진

**목 적 :** 탈신경시킨 토끼 골격근의 자기공명영상상 신호 강도의 변화시기를 관찰하고, 말초신경손상의 평가에 있어서 근전도 검사와 자기공명영상의 유용성을 비교하고자 하였다.

**대상 및 방법 :** 토끼 5마리에서 좌측 좌골신경을 선택적으로 절단하여 좌골신경이 지배하는 골격근을 탈신경시킨 후 3일, 1주, 2주, 3주째 1.0T MR 기기를 이용하여 자기공명영상을 얻었으며, 근전도 검사를 자기공명영상직후에 함께 시행하였다. 자기공명영상은 T1-강조영상, T2-강조영상, STIR-영상을 얻었으며, 각각에 대해 탈신경부위의 신호강도를 우측 정상부위와 육안적으로 비교관찰하였다. 또 정상부위와 비정상부위의 신호강도를 정량적으로 측정 후 양측의 신호강도가 통계학적으로 유의한 차이( $P < 0.05$ )를 보일때를 신호강도의 변화시기로 결정하였다.

**결 과 :** STIR-영상상 2마리에서 3일째, 5마리 모두에서 1주일째 유의하게 신호강도가 증가하였다. T2-강조영상상 1마리가 3일째, 5마리 모두에서 1주일째 유의하게 신호강도가 증가하였다. T1-강조영상상 2마리에서 각각 2주와 3주째에 신호강도가 유의있게 증가하였다. 근전도 검사상 3일째 탈신경 전위를 보여 양성인 경우는 없었고, 1주째 모두 양성이었다.

**결 론 :** STIR-영상을 이용한 자기공명영상은 탈신경된 골격근의 진단에 있어서 유용한 검사방법이고 또, 근전도 검사보다는 탈신경 근육의 조기 평가에 있어서 더 우수할 것으로 추정된다. 앞으로 자기공명영상은 탈신경 근육에서 나타나는 비정상신호강도의 분포와 변화를 분석, 관찰함으로써 손상된 말초신경의 위치 및 손상정도를 평가하는데 도움을 줄 것으로 생각된다.

### 서 론

골격근의 탈신경(denervation)은 하부운동신경원의 차단, 즉 척수절단, 신경근·총, 말초신경등의 다양한 병변에 의하여 초래된다. 일반적으로 탈신경의 진단에 임상조건 및 전기진단검사(electrodiagnostic studies : 예) 근전도 검사, 신경전도 검사, 체성감각 유발전위 검사)가 주로 이용되고 있다. 최근 신경 및 골격근 질환의 진단에 자기공명영상의 이용이 증가하고 있으나(1-9), 자기공명영상을 이용한 골격근 탈신경 진단에 관한 보고는 매우 드물다. Shabas 등(3)이 처음으로 탈신경된 골격근의 자기공명영상소견을 발표한 이후 말초신경손상 후 탈신경의 진단에 자기공명영상이 유용하게 사용될 수 있다는 소수의 임상연구들이 있다(10-12). 골격근의 탈신경을 시간별로 급성(1개월 이내), 아급성(1개월에서 1년까지), 만성(1년이상)

으로 분류하였을 때 자기공명영상은 급성 탈신경의 진단에 기여하지 못하였다고 한 반면(10, 11), West 등(12)은 STIR (Short Tau Inversion Recovery) -영상에서 근전도 검사보다 조기에 이상소견이 나타나 탈신경의 조기 진단에 유용하다고 하였다.

따라서 본 연구의 목적은 탈신경시킨 토끼 골격근에서 자기공명영상상 신호강도의 변화시기를 관찰하고 근전도 검사상 양성을 보이는 시기와 비교함으로써 탈신경 골격근의 조기진단에 대한 자기공명영상과 근전도 검사간의 상대적 진단가치를 알아보고자 하였다.

### 실험동물 및 방법

#### 실험동물

실험동물은 암수 구별없이 집토끼 5마리(2.5-3kg)를 사용하였고, 실험전이나 실험기간중에도 같은 환경의 사육장에서 일정한 사료로 사육하였다. 모든 동물에서 좌골신경 절단후 3일, 1주, 2주 및 3주의 각 시간대에 자기공명영상을 촬영하였으

<sup>1</sup> 원광대학교 의과대학 진단방사선과학교실

<sup>2</sup> 원광대학교 의과대학 재활의학과교실

이 논문은 일부 1996년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구됨  
이 논문은 1996년 8월 9일 접수하여 1996년 10월 8일에 채택되었음

며, 양성소견이 보일때까지 근전도 검사를 함께 시행하였다.

#### 좌측 좌골신경의 절단

토끼를 수술대 위에 복와위(prone position)로 고정시킨 후 궁둥이 털을 깨끗이 깎고 요오드용액으로 소독한 후 좌측 장골의 상후장골극(posterior superior iliac spine)의 하부를 절개하여 최대둔부근(gluteus maximus muscle)을 분리한 후 작은 지혈겸자로 좌골신경주위의 혈관을 다치지 않게 조심하면서 신경을 박리하여 봉합사로 0.5cm간격으로 신경의 상하부위를 결찰하고 그 사이를 절단하였다. 감염을 예방하기 위해 절개부위를 봉합한 후와 그후 이틀간 엠펜실린 200mg을 매일 근육주사하였다.

#### 자기공명영상 검사

토끼를 목판에 양와위(supine position)로 고정한 후 양측 대퇴부의 자기공명영상을 얻었다. 사용한 자기공명영상기기는 초전도형 1.0 Tesla Magnetom 42 SP( Siemens, Erlangen,

Germany)였으며 슬관절용 표면코일을 사용하였다. 시야(field of view)는 12-14cm, matrix수는 192×256이었으며, 절편두께와 간격은 각각 5mm, 0.3mm로 촬영하였다. 영상방법은 스핀에코(spin echo)기법으로 TR (repetition time)/TE(echo time)가 각각 500/15msec인 T1-강조영상, 2000/80msec의 T2-강조영상 및 inversion time이 160msec이고 TR/TE가 1500/20msec인 STIR-영상을 횡단면으로 얻었다.

#### 근전도 검사

근전도 검사는 Cadwell Excel system(Kennewick, Washington, USA)을 이용하였다. 토끼를 복와위로 고정시킨 후 신경손상부위인 좌측 대퇴부의 대퇴이두근의 단두(biceps femoris, short head)와 건양근(semi-tendinosus muscle)을 선택하여 침근전도검사(needle electromyography)를 자기공명영상 직후에 시행하였으며 탈신경의 근거가 되는 양성예각파(positive sharp wave)와 근세동전위(fibrillation potential) 등의 비정상 자발전위(13)가 나타난 예에서는 더이상 검사를

Table 1. Data of Denervated Skeletal Muscles in Five Rabbits

Days after denervation	Rabbit No	Signal Intensity of Denervated Muscle			EMG
		T1WI	T2WI	STIR	
3	1	Iso	Iso	Iso	—
	2	Iso	Iso	Iso	—
	3	Iso	High <sup>+</sup>	High	—
	4	Iso	Iso	Iso	—
	5	NA	Iso	High <sup>+</sup>	—
7	1	Iso	High	High	+
	2	Iso	High	High	+
	3	Iso	High	High	+
	4	Iso	High	High	+
	5	NA	High	High	+
14	1	Iso	High	High	+
	2	Iso	High	High	+
	3	High	High	High	+
	4	Iso	High	High	+
	5	Iso	NA	High	+
21	1	Iso	High	High	*
	2	Iso	High	High	*
	3	High	High	High	*
	4	High	High	High	*
	5	Iso	High	High	*

Note. High=denervated muscle showed a high signal intensity relative to contralateral normal muscle with significant difference in measured signal intensities between denervated and normal muscles( $P < .05$ ).

High<sup>+</sup>=denervated muscle was isointense visually, but measured signal intensity was significantly higher than that in normal muscle( $P < .05$ ).

Iso=denervated muscle was isointense relative to contralateral normal muscle visually without a difference in measured signal intensities between denervated and normal muscles.

NA=not available

EMG=electromyogram, +=positive denervation potential \*=EMG not performed

시행하지 않았다.

영상분석

영상분석은 근전도 검사소견 및 탈신경시기와 자기공명영상 촬영사이의 시간간격을 알지 못하는 2명의 방사선과 의사가 각 시간대마다 신경손상을 시킨 좌측의 비정상부위의 신호강도를 T1-강조영상, T2-강조영상, STIR-영상에서 육안적으로 각각 대조군으로 이용한 우측의 정상부위와 비교하여 비정상 부위의 신호강도를 고, 동등, 저로 구분하였다. 또한 신호강도의 변화 시기를 결정하기 위하여 토끼당 각 시간대에 얻어진 5-6개의 횡단면에서 좌측 대퇴부의 비정상 신호강도 부위와 이에 상응하는 우측 대퇴부 부위를 선택하여 크기가 3-5mm<sup>2</sup>인 관심구역(region of interest)을 이용하여 횡단면 영상당 여러부위(3-5 부위)의 신호강도를 측정하였다. 이때 좌골신경 절단후 발생할 수 있는 부종 및 출혈 등에 의한 변화부위와 기타 신호강도에 영향을 줄 수 있는 코일에 가까운 부위의 고신호강도 부위, 지방, 근막, 건 등을 피하여 측정함으로써 순수하게 골격근만의 신호강도를 얻기위해 노력하였다. 그 다음 양측 측정값의 차이를 확인하기 위해 Mann-Whitney test를 이용하였고, P-value가 0.05미만일 때를 유의있는 차이로 간주하고 신호강도의 변화시기로 결정하였다.

결 과

탈신경시킨 토끼 골격근에서 자기공명영상상 신호강도의 변화시기는 영상방법에 따라 차이가 있었고, STIR-영상에서 T2-또는 T1-강조영상에서보다 조기에 신호강도가 증가하였다(Table 1). STIR-영상에서 2마리가 3일째, 5마리 모두에서 1주일째에 유의있게 신호강도가 증가하였으며(P<0.05), T2-강조영상에서 한 마리가 3일째, 5마리 모두에서 1주일째에 탈신경된 골격근에서 신호강도가 증가하였다 (P<0.05) (Fig. 1). 그러나 육안적 관찰상 3일째 시행한 3번 토끼의 T2-강조영상과

5번 토끼의 STIR-영상에서는 병변부위가 정상부위와 비교하여 동등하게 보여 관심구역을 이용한 신호강도 측정방법과는 차이가 있었다. STIR- 및 T2-강조영상에서 신호강도의 변화는 좌골신경 분포영역의 골격근들에서 외측에 위치한 골격근에서 시작하여 내측에 위치한 골격근들로 확장되는 경향이 관찰되었다.

T1-강조영상에서 탈신경된 골격근은 대부분에서 정상부위와 동등한 신호강도를 보였다. 그러나 2마리에서 각각 2주(3번 토끼)와 3주째(4번 토끼)에 신호강도가 유의있게 증가되었다(P<0.05) (Fig. 2). 탈신경된 골격근내에 지방침윤으로 생각되는 점상과 선상으로 군데군데 신호강도가 증가되어 보이고, STIR-영상에서 그 부위의 신호강도가 억제되어 저신호강도를 보였다.

침근전도 검사상 양성을 보이는 시기보다 조기에 자기공명영상에서 탈신경시킨 골격근의 신호강도가 증가하였다. 근전도 검사상 3일째 탈신경 전위를 보여 양성인 경우는 없었고 1주째에는 모두 양성이었다(Table 1). 실험군의 수가 적어서 STIR-영상과 근전도 검사간의 탈신경시킨 토끼 골격근에대한 각 검사의 비정상소견이 나타나는 시기에 대해 통계적으로 유의한 차이를 얻지 못하였다.

고 찰

실험적으로 탈신경시킨 토끼 골격근에서 자기공명영상상 신호강도의 변화시기와 근전도 검사상 양성을 보이는 시기를 비교 관찰한 이 연구에서 자기공명영상상이 근전도 검사보다 조기에 탈신경 골격근을 감지 하였다. 자기공명영상에서 신호강도 변화의 정확한 시기에 대하여는 아직까지 알려져 있지 않으며 많은 논란을 내포하고 있다. 본 연구에서는 STIR-영상상 두마리의 토끼에서 3일째(40%), 5마리 모두에서 1주일째에 탈신경된 골격근에서 유의있게 신호강도가 변화하여(100%), 완전한 신경절단이 있었던 2명의 환자에서 4일째에 STIR-영상상 고신호

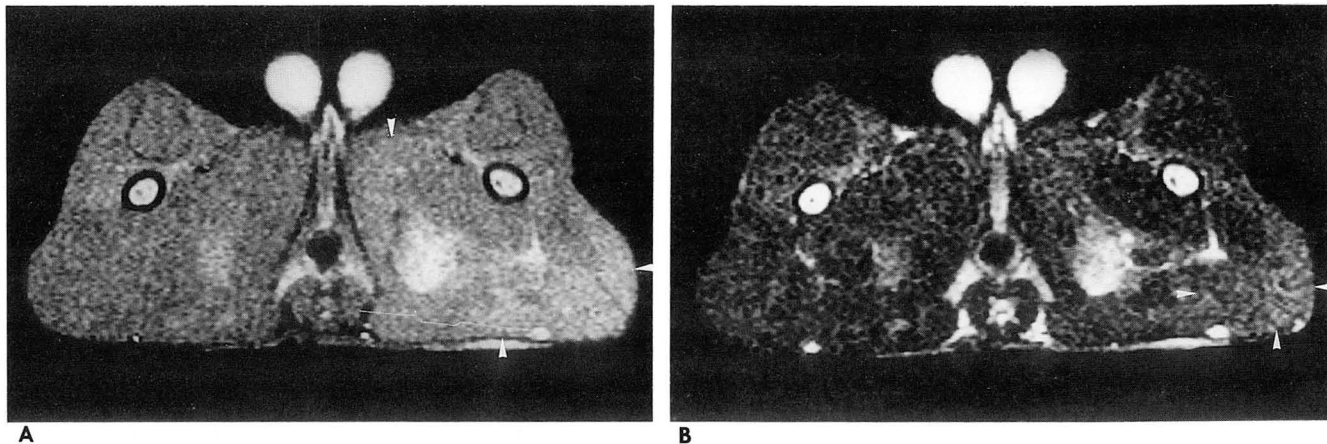


Fig. 1. Rabbit 1  
STIR(A) and T2-weighted(B) axial images of the hindlimb skeletal muscles obtained 1 week after selective transection of the left sciatic nerve show patchy increased signal intensity on T2-weighted image(arrowheads) and more diffuse increased signal intensity on STIR image(arrowheads).

강도가 나타났다고 보고한 West 등(12)의 결과와 일치하였다. 반면에 Uetani 등(10)은 여러 형태의 말초신경병증의 환자중 신경 마비후 15일 또는 그 이상의 시간이 경과한 후에, 그리고 이들 중 외상성 신경손상을 받은 환자들의 경우에는 빨라도 23일이 경과한후에야 T2-강조영상에서 고신호강도가 나타났다고 보고하였으며, Fleckenstein 등(11)은 외상성 신경손상을 받은 환자를 대상으로 시행한 연구에서 급성 신경손상을 받은 5명중 2명의 환자에서만 STIR-영상상 신호강도가 증가되어 나타났다고 하여 자기공명영상은 급성 탈신경(신경손상후 1개월 이내)의 진단에는 부적절하다고 하였다. 자기공명영상상 신호강도 변화시기에 대한 저자들의 연구결과와 다른 이유는 확실치 않으나 연구대상이 된 골격근구성의 차이, 신경손상의 정도, 신호강도 변화를 결정하는 방법, 사용한 자기공명영상 기기의 종류 등에 기인한 것으로 생각된다.

탈신경된 골격근에서 신호강도의 변화를 일으키는 원인은 아직 확실히 밝혀지지 않았다. Polak 등(14)은 자기공명분광(magnetic resonance spectroscopy)을 이용한 동물실험 결과 탈신경 골격근에서 세포외액의 증가에 의하여 T1-과 T2-이완시간이 연장된다고 하였다. 그러므로 본 연구결과에서 T2-강조 및 STIR-영상에서 신호강도의 증가는 탈신경 골격근의 세포외액의 증가에 따른 T1-과 T2-이완시간의 연장때문으로 고려할 수 있다.

자기공명영상방법중 STIR-영상에서 T2- 및 T1-강조영상에서보다 조기에 탈신경 골격근의 신호강도가 증가하였다. STIR-영상은 스핀에코 영상의 변형으로 보통의 90°도 펄스를 가하기 전에 180°의 펄스를 더 가하여 영상을 얻는다. T2-강조 영상보다 민감하게 조기에 탈신경 골격근을 감지할 수 있었던 이유는 STIR-영상에서는 지방조직의 고신호 강도가 억제되고, 또 T1-이완시간의 연장에 의해 신호강도가 감소되며 T2-이완

시간의 연장에 의해서 신호강도가 증가되는 T2-강조영상과는 다르게 T1-과 T2-이완시간의 연장 모두에 의해서 신호강도가 증가되기 때문인 것으로 생각된다(15-17). 그러나 STIR-영상과 T2-강조영상에서 골격근의 신호강도가 탈신경이외에 염증, 종양 등 여러질환에 의해서도 증가될 수 있으므로(1, 2, 4, 6, 8, 9), 탈신경에 의한 골격근의 신호강도 증가는 비특이적인 소견이나 손상된 신경분포영역에 국한되며 임상소견, 병력 등을 고려하여 다른 원인질환들과 감별할 수 있다(10).

T1-강조영상에서 지방침윤에 의한 신호강도증가와 위축이 2주째부터 나타났다. 두마리 토끼에서 2주와 3주째에 각각 탈신경 골격근 내부에 선상 및 점상으로 신호강도가 증가되었다. 그러나 T1-강조영상상 지방침윤에 의한 신호강도 증가는 빠르면 2개월부터 발생하고 일반적으로 1년정도 이후에 나타난다는 보고들(10, 11)이 있어 본 연구결과와는 차이가 있었다.

자기공명영상상 신호강도 증가를 보이는 탈신경 골격근의 분포를 관찰함으로써 말초신경 손상의 위치를 예측할 수 있으며(예: 신경근, 신경총, 말단신경) 또한 말초신경손상후 자기공명영상상 신호강도의 변화를 분석하여 손상정도를 평가할 수 있다. West 등(12)은 STIR-영상을 이용한 자기공명영상으로 말초신경의 손상정도를 조기에 평가할 수 있다고 하였다. 즉 생리적 신경차단(neurapraxic) 손상의 경우 STIR-영상에서 정상적인 신호강도를 나타냈으며, 반면에 축삭절단(axonotmesis) 손상의 경우는 신호강도가 증가되어 나타났다. 따라서 자기공명영상은 손상의 정도를 평가하여 적절한 치료계획을 세우는데 유용하리라 생각한다. 앞으로 신호강도의 변화와 말초신경손상 정도와의 관계에 대해서 많은 연구가 기대된다.

지금까지는 일반적으로 탈신경의 진단에 근전도 검사를 이용해 오고있으나 이번 실험의 결과를 볼 때 자기공명영상은 근전도 검사보다 나은 몇 가지 잇점이 있는 것으로 생각된다. 첫째,

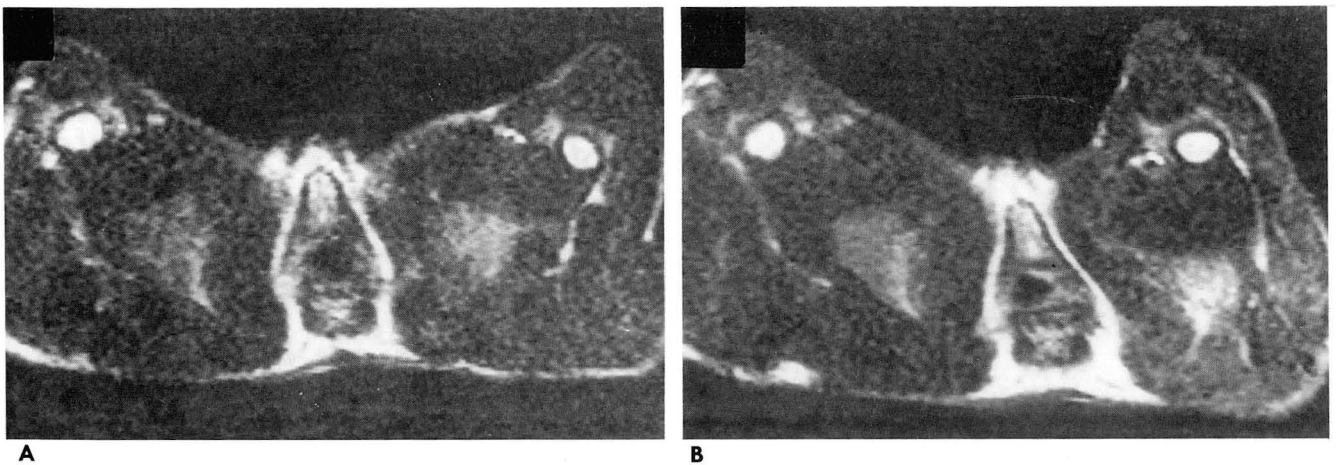


Fig. 2. Rabbit 3

A. On T1-weighted axial image of the hindlimb skeletal muscles obtained 1 week after selective transection of the left sciatic nerve, the signal intensity and volume of the denervated muscles are similar to those of the normal side.

B. T1-weighted axial image obtained 3 weeks after selective transection of the left sciatic nerve shows mottled and linear increased signal intensities in the denervated muscles. The volume of the denervated muscles is markedly decreased.

근전도검사상 탈신경소견이 나타나는 시간보다 조기에 STIR-영상에서 병변부위에 신호증가가 나타날 수 있으며, 둘째, 근전도검사는 침습적인데 반하여 자기공명영상은 비침습적이며, 셋째, 근전도검사는 탈신경된 모든 골격근을 선택하여 각각의 골격근에 전극(needle electrode)을 꼽는데 많은 시간이 소요되는 반면 자기공명영상은 보다 짧은시간내에 검사를 마칠 수 있다.

결론적으로 STIR-영상을 이용한 자기공명영상은 탈신경된 골격근의 진단에 있어서 유용한 검사방법이고 또, 근전도 검사보다는 탈신경 근육의 조기 평가에 있어서 더 우수 할 것으로 추정된다. 앞으로 자기공명영상은 탈신경 근육에서 나타나는 비정상신호강도의 분포와 변화를 분석, 관찰함으로써 손상된 말초신경의 위치 및 손상정도를 평가하는데 도움을 줄 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. Zagoria RJ, Karstaedt N, Koubek TD. MR imaging of rhabdomyolysis. *J Comput Assist Tomogr* 1986;10:268-2702.
2. Murphy WA, Totty WG, Carroll JE. MRI of normal and pathologic skeletal muscle. *AJR* 1986;146:565-574
3. Shabas D, Gerard G, Rossi D. Magnetic resonance imaging examination of denervated muscle. *Comput Radiol* 1987;11:9-13
4. Fleckenstein JL, Weatherall PT, Parkey RW, Payne JA, Peshock RM. Sports-related muscle injuries: Evaluation with MR Imaging. *Radiology* 1989;172:793-798
5. Schellhas KP. MR imaging of muscles of mastication. *AJR* 1989;153:847-855
6. Fleckenstein JL, Burns DK, Murphy FK, Jayson HT, Bonte FJ. Differential diagnosis of bacterial myositis in AIDS: Evaluation with MR imaging. *Radiology* 1991;179:653-658
7. Nurenberg PN, Giddings CJ, Gundersen JS, Fleckenstein JL, Gonyea WJ, Peshock RM. MR imaging-guided muscle biopsy for correlation of increased signal intensity with ultra-structural change and delayed-onset muscle soreness after exercise. *Radiology* 1992;184:865-869
8. Hernandez RJ, Keim DR, Chenevert TL, Sullivan DB, Aisen AM. Fat-suppressed MR imaging of myositis. *Radiology* 1992;182:217-219
9. Adams EM, Chow A, Plotz PH, Ahaya Prekumar. Idiopathic inflammatory myopathies: Spectrum of MR Imaging findings. *RadioGraphics* 1995;15:563-574
10. Uetani M, Hayashi K, Matsunaga N, Imamura K, Ito N. Denervated skeletal muscle: MR imaging. *Radiology* 1993;189:511-515
11. Fleckenstein JL, Watumull D, Conner KE, et al. Denervated human skeletal muscle: MR imaging evaluation. *Radiology* 1993;187:213-218
12. West GA, Haynor DR, Goodkin R, et al. Magnetic resonance imaging signal change in denervated muscles after peripheral nerve injury. *Neurosurgery* 1994;35:1077-1086
13. 김진호, 한태윤. *재활의학*. 1st ed. 서울;삼화출판사, 1994:159-182
14. Polak JF, Jolesz FA, Adams DF. Magnetic resonance imaging of skeletal muscle prolongation of T1 and T2 subsequent to denervation. *Invest Radiol* 1988;23:365-369
15. Bydder GM, Young IR. MR imaging: Clinical use of the inversion recovery sequence. *J Comput Assist Tomogr* 1984;8:588-593
16. Fleckenstein JL, Archer BT, Barker BA, Vaughan JT, Parkey RW, Peshock RM. Fast short tau inversion recovery MR imaging. *Radiology* 1991;179:499-504
17. Westbrook C, Kaut C. *MRI in Practice*. 1st ed. London: Blackwell Science Ltd, 1993;109-113



## MR Imaging of the Denervated Skeletal Muscles in Rabbits<sup>1</sup>

Hyung-Guhn Lim, M.D., Seon-Kwan Juhng, M.D., Sung-Ah Lee, M.D.

Kang-Mo Lee, M.D., Seon-Gu Kim, M.D., Dong-Sik Park, M.D.<sup>2</sup>

See-Sung Choi, M.D., Byung-Suk Roh, M.D., Chang-Guhn Kim M.D., Jong-Jin Won, M.D.

<sup>1</sup>Department of Diagnostic Radiology, Wonkwang University School of Medicine

<sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Wonkwang University School of Medicine

**Purpose:** To determine the time of magnetic resonance(MR) signal intensity changes in denervated skeletal muscle and to compare MR imaging with electromyography(EMG) in the evaluation of peripheral nerve injury.

**Materials and Methods:** We evaluated MR imagings of denervated muscles after experimental transection of the sciatic nerve in five rabbits using 1.0T MR unit.

MR imaging and EMG were performed 3 days and 1, 2 and 3 weeks after denervation. T1-weighted images(T1-WI), T2-WI and Short Tau Inversion Recovery(STIR) images were obtained. The signal intensity (SI) of muscles in the denervated and normal sides were visually and quantitatively compared. After measuring the SI of the normal and abnormal areas, the time of SI change was determined when there was significant difference ( $P<0.05$ ) of SI between the normal and denervated sides.

**Results:** On STIR images, two of the five rabbits showed significant SI changes at the third day ( $P<0.05$ ) and all showed significant changes( $P<0.05$ ) at the first week. On T2-WI, one rabbit showed significant SI changes at the third day, and all showed significant SI changes at the first week. On T1-WI, significant SI changes were seen in one rabbit at the second week and in one at the third. One week after denervation, all showed denervation potential on EMG.

**Conclusion:** This study suggests that MR imaging using STIR images is a useful method in the evaluation of denervated muscle, and that MR signal changes of denervated muscle may precede EMG changes after denervation. To localize and to determine the severity of the peripheral nerve injury, future analysis of the distribution of abnormal MR SI in denervated muscles would be helpful.

**Index Words:** Muscles, denervation

Muscles, injuries

Muscles, MR

Magnetic resonance(MR), pulse sequences

Address reprint requests to: Seon-Kwan Juhng, M.D., Department of Radiology, Wonkwang University Hospital  
# 344-2, Shinyong-dong, Iksan, Chonbuk, 570-180, Korea.  
Tel. 82-653-50-1510 Fax. 82-653-51-4749