

# 原 著

## 脊髄損傷における表面コイルを用いた超電導磁気共鳴画像

Superconducting Magnetic Resonance Imaging of Spinal Cord Injury: Application of Surface Coil to Superconducting Unit

福田国彦 (東京労災病院放射線科)  
松元 司 (東京労災病院整形外科)  
詹 宏勲 ( 同 上 )  
大木 恵 ( 同 上 )  
深瀬昌洋 ( 同 上 )  
肱岡昭彦 ( 同 上 )

キーワード 磁気共鳴画像, 表面コイル, 脊髄損傷

要 旨

Five cases of the spinal cord injury were examined by 0.35 tesla Superconducting unit using surface coil. By utilizing surface coil the image quality of the spine has been remarkably improved. Posttraumatic spinal cord cavity and migration of the injured nucleus pulposus into the spinal canal were clearly delineated. Localized and generalized spinal cord atrophy were found in one each case. Although the experience is limited, MRI with surface coil technique can be considered very promising in diagnosis of the spinal cord injury.

### 1 はじめに

東芝 MRI センターにおいて昭和59年7月より超電導 MRI 装置の治験が開始され、9月5日までの2ヶ月間に東京労災病院の脊椎・脊髄疾患患者14例に MRI 検査を施行した。治験開始当初より、椎間板の退行性変性、椎間板ヘルニア、結核

性脊椎炎症例において諸家の報告<sup>1-5)</sup>に一致した MRI の有用性を確認をしていたのであるが、脊髄損傷患者の脊髄実質の変化を描出し得るに至ったのは、表面コイルの使用を開始してからである。6例の脊椎・脊髄疾患に表面コイルを用いて MRI を施行したが、その内5例が脊髄損傷患者であった。

この論文の目的は、表面コイルを用いて MRI

検査を施行した脊髄損傷症例 5 例を呈示し、この領域における表面コイルの画像上の有効性と脊髄損傷症例に対する MRI の臨床的有効性を検討することである。

## 2 対象と方法

今回対象となった 5 症例は、全て高所からの転落事故による脊髄損傷患者で、東京労災病院に入院加療中である。その内訳は表に示す通りである。いずれの症例も、検査施行時に金属固定は行っていない。

使用機種は、東芝製超電導 MRI 装置である。水平空芯コイルを使用し、液体ヘリウムと液体窒素による冷却の基で、0.35 Tesla の静磁場を発生し、水素原子の共鳴周波数は 15 MHz である。送信系は開口径 520mm の体部用 RF コイルを用い、受信系は口径 200mm の表面コイルを用いた。画像再構成は 2 次元フーリエ変換方式を用い、256×256 のマトリックスで情報を収集し、512×512 で画像表示を行った。

撮影法は、パルス系列により以下の 4 通りである。

- (1) Short spin echo 法 (Short SE)
- (2) Long spin echo 法 (Long SE)
- (3) Inversion recovery 法 (IR)
- (4)  $T_1$  画像

$T_1$  画像は、(2)、(3) から  $T_1$  値を計算して画像

化したものである。Short SE では、繰り返し時間  $T_r$ : 500 msec, エコー時間  $T_e$ : 48 msec, Long SE では、 $T_r$ : 1600 msec,  $T_e$ : 48 msec, IR では、 $T_r$ : 2100 msec, 180° パルス後 90° パルスまでの遅れ時間  $T_d$ : 500 msec,  $T_e$ : 48 msec を用いた。

5 症例全てに Short SE を用いた。Short SE は  $T_1$  強調画像であり、髄液、脊髄、髄核の解剖の詳細を良好に描出可能であること、 $T_r$  が短いため撮影時間が他のパルス系列よりも短く 8 回の averaging 画像が 9 分弱で得られる等の利点を有す。Short SE に加えて、他のパルス系列も適時を用いた。

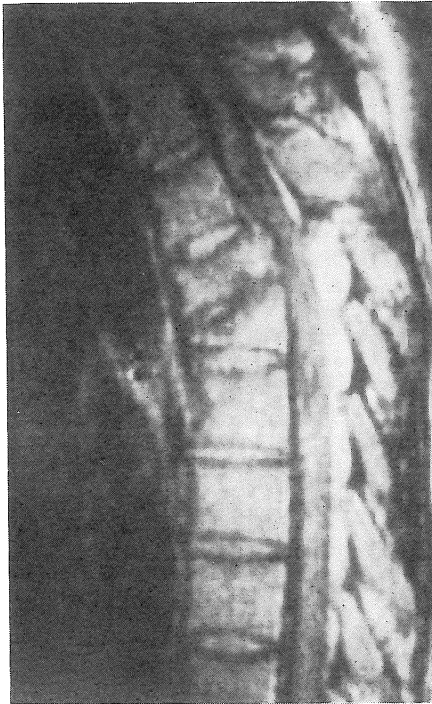
断層面は、全て矢状断である。正中矢状断を得るために、まず Short SE による冠状多断層撮影を行い、脊髄の走行に沿った正しい正中矢状断を選定した。傾いた体軸で positioning されていたり、潜在的側彎症例も存在することから、断層載面を決定するための冠状多断層撮影は不可欠である。

## 3 症 例

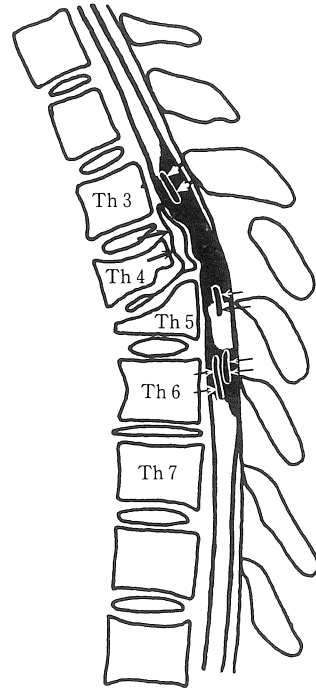
症例 1 31 歳男性 6 ヶ月前に 8m の高さより転落。現在 Th4 以下の完全麻痺。Short SE 像 (図 1a) で Th4, 5 の圧迫骨折と Th4-5 椎間板損傷を認め、断裂した髄核の一部が脊椎管内に迷入して上行し、Th3 レベルに達している。胸髄は

表 1

症 例	年齢・性	受傷後期間	手 術	脊 髄 麻 痺
1	31 男	6 ヶ月	(一)	Th4 髄完全麻痺
2	42 男	3 年 6 ヶ月	C5-7 前方固定術	C7 髄不全麻痺
3	29 男	9 ヶ月	Th10-3 椎弓切除及び後方固定術	Th9 髄完全麻痺
4	38 男	4 年 4 ヶ月	Th4, 5 椎弓切除術	Th4 髄完全麻痺
5	65 男	4 年 2 ヶ月	C6, 7 前方固定術	右側 C6, 左側 C4 運動麻痺 C5 知覚麻痺



a



b

図 1 a Short SE 像 (スライス厚 5mm)

b 図 1 a のシェーマ

Th4, 5 の圧迫骨折を認める. Th4-5 椎間板髄核の損傷を伴い, その一部は後方に脱出し脊椎管内に迷入 (太矢) している. 胸髄実質には, 複数の融解壊死空洞と思われる線状の低信号域 (細矢) を認める. Th3 及び Th6 レベルでは胸髄は腫大し, 浮腫あるいは微小壊死の集簇巣と思われるやや信号の低い領域を伴う.

Th4 レベルを中心として前方からの圧迫狭小化が強く, 屈曲して見られる. Th3 及び Th6 レベルでは, 胸髄はむしろ腫大し MR 信号はやや低下している. 浮腫あるいは微小壊死の集簇巣ではないかと考える. また同領域内には, 複数の線状に縦走する低信号域を認め, 神経組織の脱落した小空洞巣と思われる.

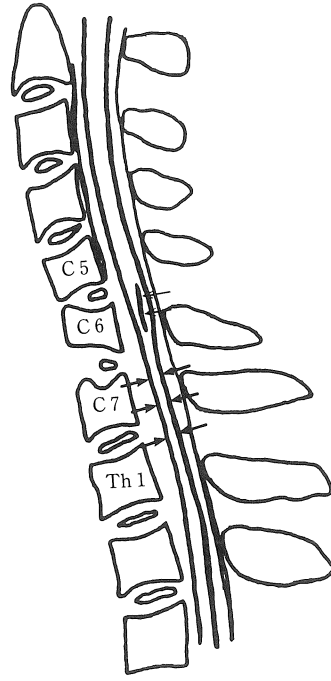
症例 2 42 歳男性 3 年 6 ヶ月前 2 階より転落. 4 ヶ月後に C5-7 前方固定術を受ける. 現在 C7 以下の知覚鈍麻と不全運動麻痺. Short SE 像 (図 2 a) では, C6 圧迫骨折と C5-7 前方固定術

後の状態を認める. C5-7 レベルでは頸髄は軽度腫大しており, 内部に縦走する線状の低信号領域が見られ, 小空洞巣と思われる. やや尾側の C7-Th1 レベルでは, 頸髄の前後径が減じて見られ, 頸髄の萎縮を示唆する.

症例 3 29 歳男性 9 ヶ月前 5~6m の高さより転落. Th10~L3 の椎弓切除術及び後方固定術が施行された. 現在 Th9 以下の完全麻痺. Short SE 像 (図 3 a) で, Th12 の圧迫骨折と Th11-12 椎間板損傷を認め, 髄核の一部は Th12 椎体面上に陥入し, 更に後方へは脊椎管内に迷入している



a



b

図 2 a Short SE 像 (スライス厚 10 mm)

b 図 2 a のシェーマ

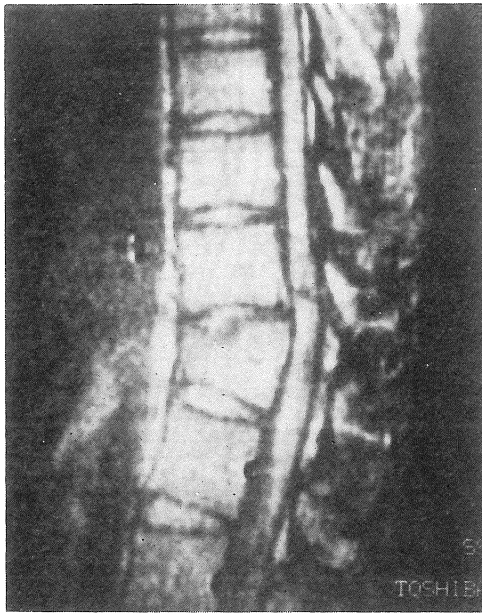
C6 圧迫骨折と C5~7 前方固定術後の状態である。C6 レベルで頸髄は、軽度腫大し、内部に縦走する線状の小空洞巣と思われる低信号域 (細矢) を認める。C7~Th1 レベルでは、頸髄は萎縮して見られる (太矢)。

と思われる。下部胸髄は Th11, 12 レベルで後方に圧排屈曲し、腫大して見られる。同部位では、不整形に拡がるやや MR 信号の低い領域を認め、 $T_1$  画像 (図 3 b) から  $T_1$  値の延長が確認される。浮腫あるいは微小壊死の集簇巣と推察される。又、小円形及び線状の低信号域が見られ、複数の小空洞巣と思われる。

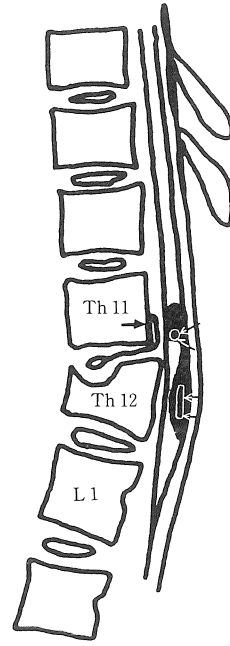
症例 1~3 はいずれも、脊髄内小空洞を認めた症例であるが、症例 1 と症例 3 では、その数が複数であること、周囲に低信号域を伴っていること、髄核の椎管内迷入を認めることにおいて、

症例 2 に比して所見が多彩である。神経学的に前者が完全麻痺であり、後者が不完全麻痺であることから、MRI は忠実に脊髄損傷の程度を描出していると言える。

症例 4 38 歳男性 4 年 4 ヶ月前に 2 階から転落。2 年後 Th4, 5 の椎弓切除術を施行。この時小骨片の胸髄刺入と局所性の軽度胸髄萎縮を認め小骨片を摘出。現在 Th4 以下の完全麻痺。Th4 の圧迫骨折と Th4, 5 の椎弓切除後の状態であるが、Short SE 像 (図 4 a) では、術巣に一致して椎管腔の拡大を認め、脊髄は下部頸髄から次第に



a



b



c

図 3 a Short SE 像 (スライス厚 5 mm)  
b 図 3 a のシェーマ  
c  $T_1$  画像 (スライス厚 10 mm)

Th12 の圧迫骨折と Th10~L3 の椎弓切除術後の状態である。Th11~12 椎間板髄核の損傷も認め、その一部は後方に脱出し、脊椎管内に迷入している (太矢)。

Th11, 12 レベルの下部胸髄実質には、複数の小空洞巣と思われる低信号域を認める (細矢)。このレベルで胸髄は腫大し、浮腫あるいは微小壊死の集簇巣と思われるやや信号の低い領域を伴う。 $T_1$  画像は、小空洞巣の  $T_1$  値が髄液と同様にまで延長し、その周囲の  $T_1$  値は健常部に比して異常に延長していることを示す。

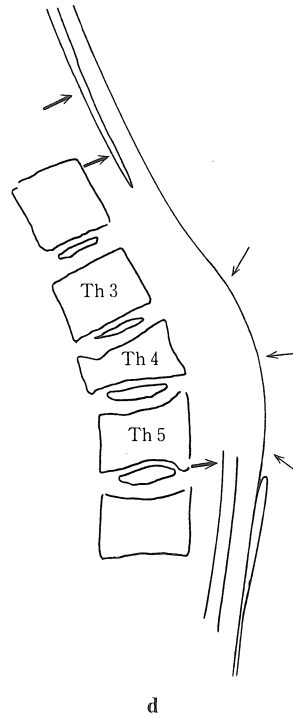
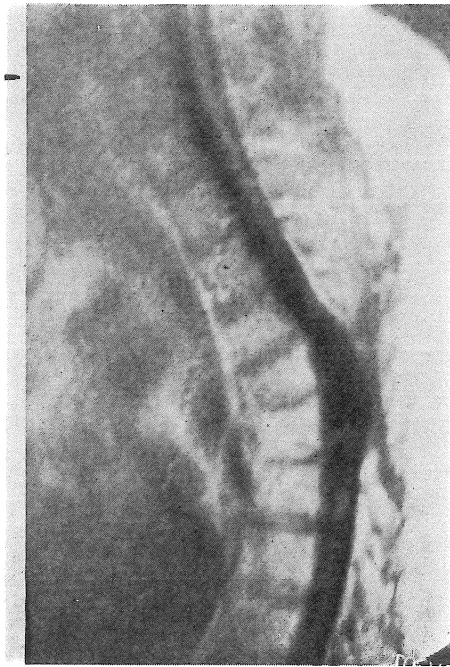
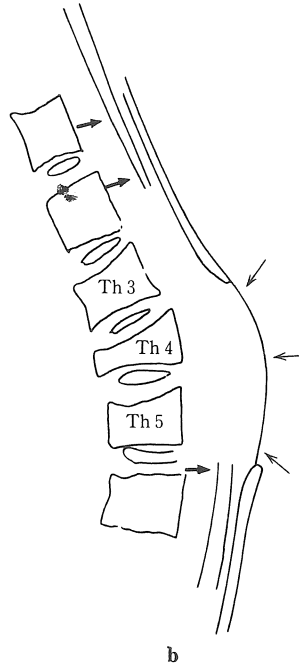




図 4 a Short SE 像 (スライス厚 10 mm)  
 b 図 4 a のシェーマ  
 c IR 像 (スライス厚 10 mm)  
 d 図 4 c のシェーマ  
 e  $T_1$  画像

Th4 の圧迫骨折と Th4,5 の椎弓切除後の状態である。椎弓切除部位に一致して椎管腔の拡大 (細矢) を認め、同時に胸髄の狭小化を伴う (太矢)。この領域は、 $T_1$  画像において髄液に等しい信号を持ち、3ヶ所に設置した関心領域の  $T_1$  値は、1970~2019 msec である。極めて重度の胸髄萎縮が疑われる。

e

狭小化し、Th3~5 レベルにおいて描出されていない。IR 像 (図 4 b) では、脊髄と髄液腔のコントラストが明瞭となるが、Th3~5 レベルで脊髄は描出されていない。この領域の  $T_1$  値は 1970~2019 msec で脊髄液の緩和時間に一致するが脊髄損傷及び骨片摘出後の高度の胸髄萎縮の状態と考えられる (図 4 c)。

症例 5 65 歳男性 4 年 2 ヶ月前に階段より転落。2 ヶ月後 C6,7 前方固定術を施行。現在は右側 C6 以下、左側は C4 以下の完全運動麻痺と C5 以下の知覚麻痺。Short SE 像 (図 5) では C6,7 前方固定術による椎体の変化と共に、同レベルを頂点とする頸髄の軽い前方への屈曲を認め、後方では髄液腔が消失しており、後方からの圧排あるいは癒着が示唆される。又、得られた断層像は、各棘突起を括えており正中矢状断と考えられるのであるが、正常者に比し頸髄の前後径が全般に減

少し、萎縮傾向にあるのではないかと推察される。

#### 4 考 察

MR 信号の受信系に表面コイルを用いると、体表面に近い限られた領域において飛躍的に画像が改善されることが知られている<sup>6)</sup>。円筒型受信コイルでは生体の広い領域から均一に信号を受信するのに対し、表面コイルではこの均一性を失う代償に表面コイルに近い部位からの信号の感受性が増し、信号/雑音比が向上するからである。脊椎・脊髄領域における我々の同装置による経験でも、円筒型コイルを用いた場合、髄核の退行性変性、椎間板ヘルニア、広範な脊髄空洞症の描出は可能であったものの、脊髄実質の病変の描出には表面コイルが必要であった。脊椎・脊髄は表面コイルの使用が有用な領域と考える。

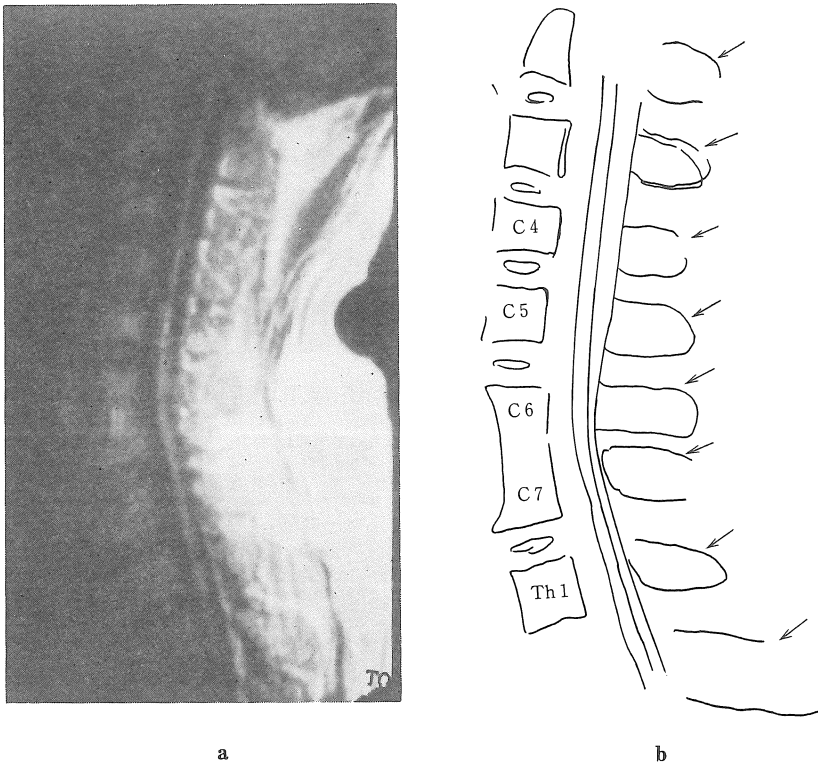


図 5 a Short SE 像 (スライス厚 10 mm)

b 図 5a のシェーマ

C6, 7 前方固定術後の状態である。撮影は、冠状断層により頸髄の走行を確認のうへ、矢状断方向を決定しており、頸椎及び上部胸椎の各棘突起(細矢)を括えているのであるが、全走行にわたって頸髄の萎縮が疑われる。

脊髄損傷症例では、急性期の出血巣、挫滅巣、及び血栓形成や血管運動麻痺により惹起された虚血巣が、時間の経過と共に融解壊死をきたし、脊髄実質内に鉛筆状空洞を形成することが知られている<sup>7-10)</sup>。一方、脊髄損傷患者の0.3~2.3%に、進行性に神経症状を悪化せしめる posttraumatic cyst, posttraumatic cystic myelopathy, posttraumatic syringomyelia 等の診断名で知られる嚢胞性病変の合併が見られることも知られている<sup>11-13)</sup>。今回5例中3例で認められた小空洞は、その存在によると思われる新たに付加された進行性神経症状が無いこと、これまで脊髄損傷後の

嚢胞性病変として報告された症例と比較して微小病変である特徴を持つ。限られた少ない経験から推測することは危険であるが、恐らく急性期を経過した脊髄損傷患者において、極めて高頻度に小空洞が形成されているのではないかとと思われる。そして、この小空洞が、将来何らかの機転で膨張性に発育したり、あるいは中心管と交通を形成し、進行性に神経症状を悪化せしめる可能性を持つのではないかと考えられる<sup>13)</sup>。

脊髄損傷における椎間板損傷は、X線上骨折の有無に関わらず合併することが多く、脱出した髓核による脊髄圧迫を伴うことがある<sup>9)</sup>。しかしな



がら、これまでその診断には、脊髓造影や椎間板造影の侵襲的検査が不可欠であった。MRI では、髓核が高信号に描出されるためその異常を検出することは容易である。腰椎椎間板の退行性変性と椎間板ヘルニアの診断のためには、髓核及び dural sac 内の髄液をより高信号とする  $T_2$  強調画像の有用性が報告されている<sup>14)</sup> が今回の我々の経験では、頸胸髓レベルの髓核損傷と脊椎管内迷入の診断のためには、Short SE で十分な画像が得られていると考える。

症例 4 及び 5 に関しては、現時点で MRI 所見に対する何らの確証も得られていないものの多くの示唆を含んでいると考えられる。すなわち症例 4 では MRI 上重度の胸髓萎縮が疑われ、症例 5 では頸髓全体の萎縮が疑われたが、その判定基準を設定するには更に症例の蓄積が必要である。Short SE と Long SE の組み合わせにより、髄液腔内に占める脊髓比を算出することも必要ではないかと考えている。

脊髓損傷患者における MRI の最大の欠点は、骨皮質からの信号を欠くことと検査に比較的時間を要することである。前者については、従来の X 線撮影を行うことで決定的な欠点とはなり得ない。今後、急性期の脊髓損傷患者にも対応し、MRI が治療方針決定の重大な役割を担うためには、撮影時間の短縮が不可欠である。

## 5 おわりに

今回経験した症例は少数であるが、表面コイルを用いた MRI の脊髓損傷症例への有用性を明らかにすることができたと考えている。特に脊髓と椎間板髓核を直接描出可能であること、体位変換あるいは画像再構成を行うこと無く矢状断像が得られることの 2 点において、これまでの画像診断法を凌駕している。

従来より脊髓損傷は画像上、骨折を有す脊髓損傷と骨折の無い脊髓損傷とに分類され、間接的に

X 線写真と理学的所見とから脊髓自体の損傷の様式と程度が推察されてきたにすぎない。MRI は脊髓の肉眼病理を我々に提供してくれることで、脊髓損傷患者の治療方針の決定や病態生理の解明に今後多大な貢献をすると確信している。

## 6 謝 辞

東京慈恵会医科大学 多田信平先生、順天堂大学 田中卓雄先生の御協力に感謝します。

## 文 献

- 1) M. T. Modic, M. A. Weinstein, W. Pavlicek, et al.: Magnetic resonance imaging of the cervical spine: technical and clinical observations. *AJR*, 141: 1129-1136, 1983.
- 2) J. S. Hans, B. Kaufman, S. J. El Yousef, et al.: NMR imaging of the spine. *AJR*, 141: 1137-1145, 1983.
- 3) D. Norman, C. M. Mills, M. Brant-Zawadzki, et al.: Magnetic resonance imaging of the spinal cord and canal: potentials and limitations. *AJR*, 141: 1147-1152, 1983.
- 4) N. I. Chafetz, H. K. Genant, K. L. Moon, et al.: Recognition of lumbar disk herniation with NMR. *AJR*, 141: 1153-1156, 1983.
- 5) M. T. Modic, M. A. Weinstein, W. Pavlicek, et al.: Nuclear magnetic resonance imaging of the spine. *Radiology*, 148: 757-762, 1984.
- 6) G. Brandt, H. Chang, M. Leifer.: Advantages of surface coils during magnetic resonance imaging. 第 4 回核磁気共鳴医学研究大会招待講演, 1984 年 7 月 27 日, 筑波研究学園都市.
- 7) J. L. Osterholm.: The pathophysiological response to spinal cord injury: the current status of related research. *J Neurosurg.* 40: 5-33, 1974.
- 8) L. Guttmann, Chapter 8: Neuropathology of the spinal cord and spinal root. In: *Spinal cord Injuries-comprehensive management and*

- reserch. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications, 74-88, 1976.
- 9) 木下 博, 脊髄損傷患者の care について, 脊髄損傷の病態生理. 日本災害医学会誌 **32**: 375-382, 1984.
  - 10) 新宮彦助, 木村 功, 那須吉郎他, 頸髄の急性損傷と慢性圧迫, 人脊髄微細血管構造について, 臨整外 **18**: 909-916, 1983.
  - 11) H. J. Barnett A. T. Jousse, Syringomyelia as a late sequel to traumatic paraplegia and quadriplegia-clinical features. Major probl Neurol **1**: 129-153, 1973.
  - 12) D. R. Mclean, J. D. R. Miller, P. B. R. Allen, et al.: Posttraumatic syringomyelia. J Neurosurg, **39**: 485-492, 1973.
  - 13) B. Williams, A. F. Terry, F. Jones, et al.: Syringomyelia as a sequel to traumatic paraplegia. Paraplegia **19**: 67-80, 1981.
  - 14) M. T. Modic, W. Pavlicek, M. A. Weinstein, et al.: Magnetic resonance imaging of intervertebral disk disease. Radiology **152**: 103-111, 1984.