

原 著

腕神経叢引き抜き損傷のMRI：
新しい撮像方法の提唱と損傷型分類

大塚 健

町立大和総合病院 整形外科 熊毛郡大和町岩田974 (〒743-0192)

Key words : 腕神経叢引き抜き損傷, MRI, 分類, 脊髓造影・CTM, 診断能

はじめに

外傷性腕神経叢損傷は、上肢に急激かつ強大な牽引外力が作用した際に発生し、一側上肢の機能全廃を来すこともある重篤な疾患である。その病態は、頸部神経根が脊髓分枝部から断裂して引き抜かれる節前損傷と、椎間孔より末梢で断裂する節後損傷に大別され、その損傷部位や損傷高位によって治療法や予後が大きく異なる。特に全型の引き抜き損傷では、いまだに十分な機能回復が得られる手術的治療が確立されておらず、また複数回の手術を要し長期の治療を強いられることも多いため、インフォームド・コンセントの観点からも神経損傷の様態を正確に診断する必要がある。近年はマイクロサージャリー技術の発展に伴いさまざまな機能再建術が行われ、さらに従来は修復困難とされていたより脊髓に近い中枢側での神経根損傷も修復されつつあることから、神経根の損傷部位診断は一層その重要性を増している。

腕神経叢損傷の診断は、神経学的所見をはじめ種々の電気生理学的検査や脊髓造影等の放射線学的検査を用いて総合的に行われている。腕神経叢が麻痺していることの診断は容易であるとしても、神経の断裂・引き抜きの部位や程度を正確に診断し、その回復の予後を推定することは依然として不十分であると言わざるを得ない。

臨床所見や筋電図検査を用いて、損傷神経根の高

位診断は可能であるが、節前損傷と節後損傷の鑑別がしばしば困難である¹⁾。脊髓造影^{2,4)}や脊髓造影後CT (Computerized Tomography after Myelography; 以下CTM)⁵⁻⁷⁾による放射線学的検査は、くも膜下腔内の状態の観察には有用であるが、椎間孔から末梢部での断裂状態に関する情報を得ることができない。さらに硬膜穿刺を要する侵襲的検査であり、造影剤の副作用や放射線被曝の欠点もある。

1987年Blairら⁸⁾は、非侵襲的で軟部組織の描出能が格段に高いMagnetic Resonance Imaging (以下MRI)を用いて頸部から腋窩における腕神経叢の正常解剖の描出を試みている。この報告以降、MRIの撮像技術が向上するに伴い腕神経叢損傷の診断にMRIを応用している報告が散見される⁹⁻¹⁴⁾。しかし、神経根像の描出が不鮮明であるため、その診断能は従来の脊髓造影やCTMと同等、又はそれ以下という評価である。しかしながら、現時点においては非侵襲的に病態を把握するにはMRIがもっとも有利であることに異論はない。

そこで、頸部神経根が詳細に観察できるMRI画像を得ることを目的として、神経根の走行に沿った斜位冠状断像を撮像し、さらに隣接スライスを重ね合わせる方法 (overlapping coronal-oblique MR imaging) を考案し、腕神経叢引き抜き損傷の診断に活用できることを確認した。本論文ではその撮像方法を紹介すると共にその妥当性を検証し、診断における有用性を検討する。さらに、この撮像方法を用いてMRI神経根損傷型分類を作成し、治療方針の

平成15年10月1日受理

決定の参考に供しており、その診断精度について、術中肉眼所見及び術中脊髄誘発電位 (Spinal Evoked Potentials: 以下SEP) による確定診断の結果を基に、従来法 (脊髄造影とCTMを用いる方法) との比較を行った。

対 象

1995年1月から1999年12月までの期間に山口大学付属病院および小郡第一総合病院において加療を行った外傷性腕神経叢損傷患者45例を対象とした。初期の35例はretrospectiveにMRI分類の作成に用い、後期の10例はprospectiveにその分類の精度調査を行う対象とした (表1)。

	1) Retrospective study	2) Prospective study
症例数(例)	35	10
平均年齢(才)	27	24
解剖神経根数(根)	175	50
麻痺型		
C5-T1型(例)	16	5
C5-6	8	1
C5-7	7	3
C5-8	3	0
C7-T1	1	1
損傷部位*		
Zone I-II A(根)	84	28
Zone II B	23	10
Zone III-IV	26	1
Normal	42	11

(* 損傷部位のZone分類については、図7を参照)

表1. 対象

更に、全症例に術前検査として従来から用いている脊髄造影、CTMを実施した。神経損傷の部位や程度の確定診断の根拠として、手術中に腕神経叢を直視下に観察した所見と術中に測定したSEPの所見を用いて損傷型を判定した。

また、健常成人10例の頸部神経根MR像を正常対象群としてMRI分類のための基本資料に供した。

方 法

1, Overlapping coronal-oblique MRI撮像法

撮像準備: 被検者を仰臥位とする。後頭部の下に低い枕を挿入し、軽く顎を引かせ頸椎の生理的前弯を除去し、頸椎アライメントを可及的に直線となるよう体位をとる (図1)。これによりC5からT1神経根をできるだけ1平面上に描出することが可能になる。

体動によるアーチファクトの出現を少なくするた

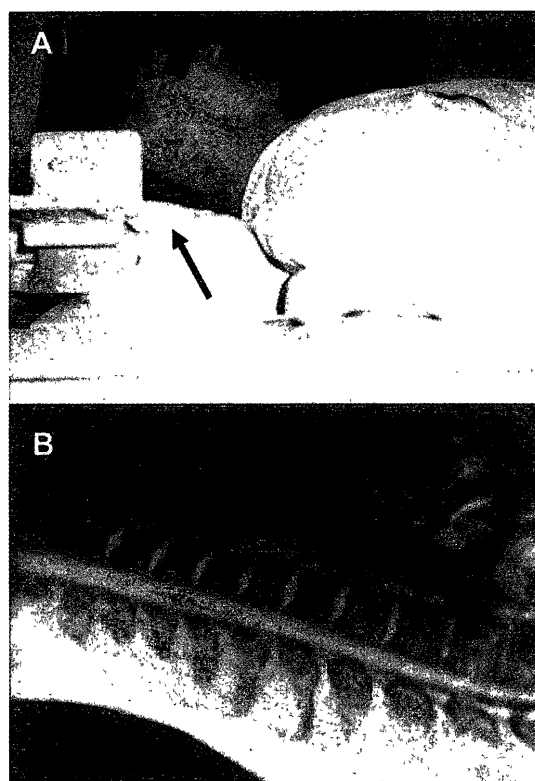


図1. MRI撮像体位; A後頭部に薄い枕を挿入 (矢印) することにより、頸椎の生理的前弯を除去。Bの位置決め画像の如く頸椎アライメントをストレートにする。

め被検者には検査中の深呼吸や大きな嚙下動作はできるだけ控えるように説明し協力を求める。

使用したMRI撮影装置はMagnetom Vision 1.5T (Tesla) およびMagnetom Impact Expert 1.0T (共にSIEMENS社製) である。MRI撮影装置は、神経根という微細構造の描出が要求されるため、静磁場強度が1.0T以上の性能があることが望ましい。またsignal-to-noise比 (以下S/N比) を上げ鮮明な画像を得るため、頸椎 (頸部) 用表面コイル (CP neck array coilまたはCP spine array coil) の使用は必須である。なお、造影剤は使用しない。
撮像手順: まず撮像する斜位冠状断像のスライス位置を設定するための元画像としてC4/5椎間板に平行な横断像を撮像する。この画像で罹患側のC5根及び椎間孔の方向を確認し、これに平行になるよう斜位冠状断方向のスライスを設定する。撮像パルス・シーケンスは、turbo (fast) spin echo法にrephasingを付加したシーケンスを使用する。rephasingの付加は脳脊髄液の拍動性のflowによるflow voidを予防するためである。撮像パラメーターの設定は、脳脊髄液と神経根とのコントラストを

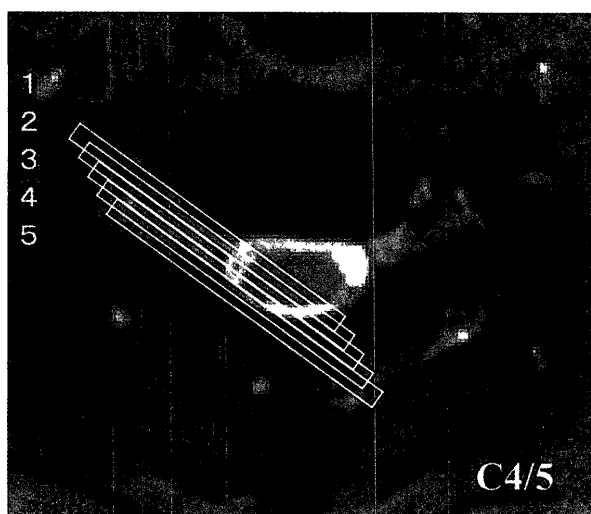


図2. Overlapping coronal-oblique image・スライス方向の設定；スライス厚を2 mmとし，隣接スライスが互いに1 mmずつ重なるように1～5の順に撮像する。

考慮し，強いT2強調画像を得るためTR：4000msec，TE：130msecとし，S/N比を上げるため積算回数を6～8回とした。

1スライスの厚さは2 mmに設定し，このスライスを1 mmずつ椎間孔の前方から後方へ平行移動しながら5回撮像する（図2）。各スライス互いに1 mmずつ重なり合うよう撮像されるため，微細構造の信号を漏れなく採取することが可能となる。この撮像によりC5からT1の5本の神経根は連続する1，2スライス上に描出される。これらをMaximum Intensity Projection（以下MIP）法により処理し，画像情報を再構成すると，より鮮明な画像となり，神経根系から神経根の走行を1枚の画像上で観察することが可能である。

本検査に要する時間は，1シリーズの撮像に約5分，これを5回繰り返すため合計約25分である。

2. 頸部神経根損傷型MRI分類（retrospective study）

まず健常者10例の画像を対象として正常神経根像の検討を行った。斜位冠状断像では後根の根系から神経節，さらに末梢の神経根まで，連続して1枚の画像上に描出される（図3）が，根系と神経節は隣接する2，3スライスに分かれて描出される場合がある。上位根（C5～C7根）の神経根系は3～4本の線維が描出され（図3 a），神経節は円形もしくは卵円形を呈していることが多い（図3 b）。一方

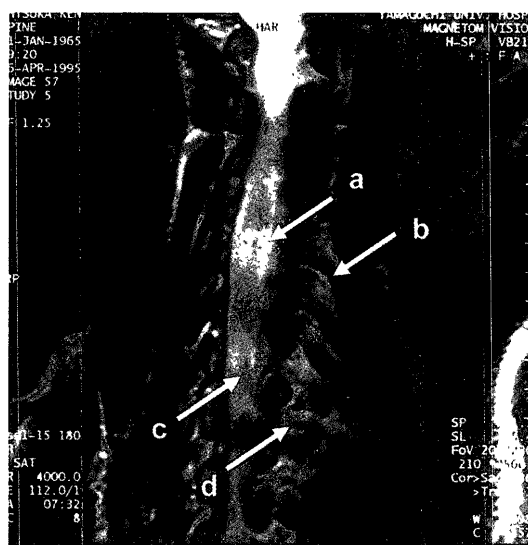


図3. Overlapping coronal-oblique image・正常像；a：上位根の神経根系，b：上位根：神経節，c：下位根の神経根系，d：下位根の神経節。

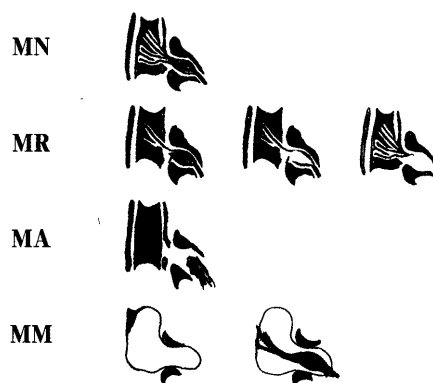


図4. Overlapping coronal-oblique MRI分類；MN（Normal）型：正常，MR（Rootlet partial injury）型：神経根（糸），神経節レベルでの部分損傷，MA（Avulsion）型：神経根系の描出が無く，髄膜瘤の形成も無い引き抜き型損傷，MM（Meningocele）型：髄膜瘤の形成を認める引き抜き型損傷。

下位根（C8，T1根）は2本の神経根系（図3 c）と扁平な神経節が描出されている場合が多かった（図3 d）。

ついで，初期の35例を用いて，overlapping coronal-oblique MR画像をretrospectiveに分類した。この分類には，腕神経叢の直視下展開による術中肉眼所見や術中SEP検査による確定診断を参考とし，硬膜内の神経根系と椎間孔内の神経根および神経節の描出状態を基に作成した（図4）。

C5～7の上位根で3～4本，C8～T1の下位根で1～2本の神経根系が描出されていれば正常神経根系（MRI normal：MN型）とする。多くの場

合、神経根系が正常であれば、神経根および神経節も正常に描出されている。

神経根系が正常像に比し少なく描出されている場合や椎間孔内の神経節に信号異常や形態不整を認める場合を部分的引き抜き型損傷 (MRI rootlet partial injuries: MR型)、神経根系の描出がなく、髄膜瘤の形成もない場合を引き抜き型 (MRI avulsion: MA型)、偽性髄膜瘤が形成されている場合を髄膜瘤型 (MRI meningocele: MM型) と分類した。実際に撮像したC7-T1型損傷例とC5-8型損傷例のOverlapping coronal-oblique MR画像と各損傷神経根のMR分類は図5, 6の如くである。

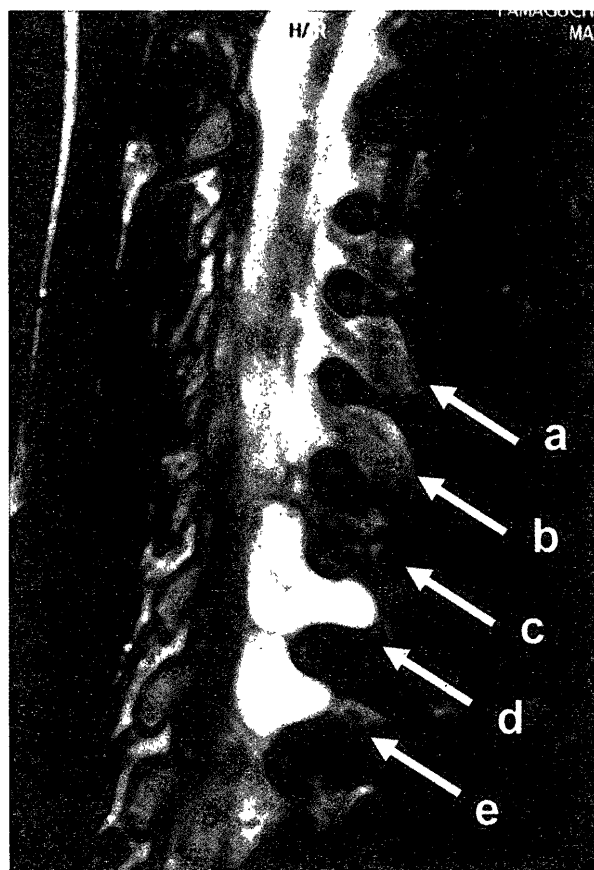


図5. C7-T1損傷例; C5根 (a) 及びC6根 (b) は、神経根系、神経節とも正常に描出されている (MN型)。C7根 (c) は髄膜瘤の形成はないが、神経根系、神経節の描出がない (MA型)。C8根、T1根 (d, e) は髄膜瘤の形成を認める (MM型)。

3, 脊髄造影・CTM

脊髄造影手技は、C1-C2間の側方穿刺法でイソピスト240を10ml硬膜管内に注入した後、頸椎前後X線像を撮影した。得られた神経根嚢像は長野らの分類⁹⁾に基づき分類した。

CTMは、脊髄造影直後にC4からT1レベルまで、スライス厚3mmにて撮像した。スライスは各椎間板に平行になるよう設定した。CTMの所見は、神経根の前枝、後枝の両方が脊髄分枝部から椎間孔まで描出されている場合をN (normal) 型、前枝、後枝のどちらか一方が描出されていない場合をP (partial avulsion) 型、両方とも描出されていない

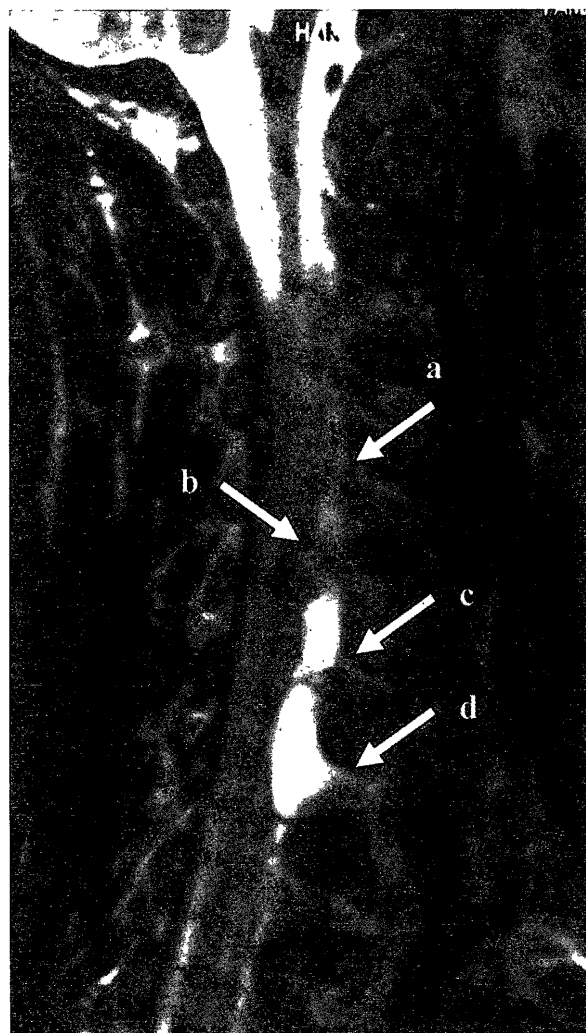


図6. C5-8損傷例; C5根: MR型 (a), C6根: 根系の描出がなく断裂した神経根断端が描出: MA型 (b), C7, 8根: 髄膜瘤の形成を認めるMM型 (c, d)。

場合をA (avulsion) 型, 髄膜瘤が描出されている場合をM (meningocele) 型と分類した。読影は, 健側の神経根像と対比することにより行った。

4, 腕神経叢損傷の確認 (術中所見・SEP)

全身麻酔下に腕神経叢を展開し, 神経損傷の状態を直視下に確認するとともに, 各神経根の直接刺激によるSEPを測定した。記録電極は術前に設置した頸椎硬膜外電極を使用した。

これらの結果を用いて, 神経損傷の部位を長野らのZone分類⁹⁾の改変(図7)を用いて分類した。つまりSEPの導出がない場合や椎間孔内に神経根が確認できない場合は, Zone I からII Aでの引き抜き損傷と分類する。一方, 肉眼的に正常な神経根からSEPが導出された場合は, Zone II BからIVレベルでの損傷と診断する。全175神経根に対して行ったMRI分類とCTM分類の引き抜き損傷に対する診断精度の比較は, このようにして得られたZone分類を確定診断とし, これに基づいて行った。

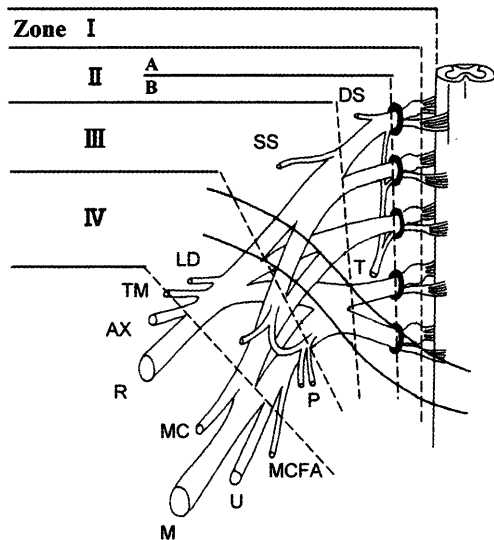


図7. 損傷部位・Zone分類 (改変長野分類) ; Zone I : 節前損傷, Zone II A : root部損傷 (椎間孔内), Zone II B : root部損傷 (椎間孔外), Zone III : trunk部損傷, Zone IV : cord部損傷. Zone II Aでの損傷は, 節後損傷ではあるが神経修復が困難であり, 臨床的には節前損傷に含まれる。

5, MRI分類の診断精度の評価 (prospective study)

MRI分類の診断精度を評価するため, 後期の10例の腕神経叢損傷患者のC5～T1神経根, 計50神経根を対象にして複数検者間での信頼性, 同一検者に

よる診断の再現性, 正確性についてprospectiveに検討した。

10例における50神経根の脊髓造影, CTM, MRIの各画像を, 患者の臨床所見等の情報を知らされていない8名の検者が個々に読影し, 各画像の損傷型分類に当てはめて診断を行った。各検者から得られた診断結果を比較し, 検者間で診断が一致した神経根数よりその信頼性を評価した。また同一検者に6週間後, 同じ画像を再度診断してもらい同一検者による診断の再現性についても検討した。これらの評価は全て術前 (確定診断前) に行った。また神経根引き抜き損傷診断に対する正確性については, 信頼性及び再現性を評価した。ただし, CTM画像は健側の神経根像が不鮮明で読影不能の場合は, 脊髓造影のみに基づいて分類を行った。

6, 統計学的解析

各撮像法間の感受性, 特異性の比較にはchi-square testを, 検者間での信頼性と同一検者による診断の再現性の評価にはKappa analysisを用いた。また有意差の検定はStudent t-testにより行い, $p < 0.05$ の場合有意差ありとした。

結果

1) MRI損傷型分類

初期の35例の腕神経叢損傷患者におけるC5～T1神経根の損傷部位のZone分類とMRI, 脊髓造影・CTM分類の結果を表2に示す。MRIでは175根中170根 (97%) で鮮明な神経根像が得られ, 分類が可能であった。5根は画像が不鮮明であったため分類不能であり, 統計処理上は除外した。170根の分類の内訳は, MN型: 77根, MR型: 40根, MA型: 9根, MM型: 44根であった。

一方, 脊髓造影では全175根が分類可能であったが, CTMでは175根中26根 (14.8%) が画像不鮮明により読影不能であった。脊髓造影とCTMの両方を用いて行った分類の内訳は, M型: 51根, P型: 39根, A型: 11根, N型: 75根であった。

MRIで読影可能であった引き抜き根 (83根) の分類の内訳は, MM型: 42根, MA型: 8根, MR型: 28根, MN型: 5根であり, MRIにおける神経根引き抜き損傷描出の感受性と特異性はそれぞれ

	Zone	I-II A	II B	III-IV	N	
MRI	MN	5 根	14	24	34	77
	MR	28	7	2	3	40
	MA	8	1	0	0	9
	MM	42	1	0	1	44
		83	23	26	38	170
脊髓造影・CTM	N	5 根	8	21	41	75
	P	21	13	4	1	39
	A	10	0	1	0	11
	M	48	2	0	1	51
		84	23	26	42	175

表2. 損傷型と画像分類 (retrospective study)

94.0%, 85.1%であった ($p = 0.037$). 同様に脊髓造影・CTM群では84の引き抜き根は, M型: 48根, A型: 10根, P型: 21根, N型: 5根であった. 脊髓造影とCTMにおける感受性, 特異性はそれぞれ92.9%, 89.0%であった ($p = 0.005$).

引き抜き損傷におけるMRI群と脊髓造影・CTM群の診断能を比較すると, 両群間に有意差は認めなかった.

2) 信頼性・再現性

8人の検者から得られた2回の診断結果の合計を表3に示す. まず複数の検者間における診断の信頼性をLandisらの方法¹⁵⁾に従いKappa係数 (κ) を用いて解析すると, MRI群は初回診断で0.49, 2回目が0.70であったのに対し, 脊髓造影・CTM群の両方を組み合わせた診断では初回が0.67, 2回目が0.69という結果であった. 検者間の診断における信頼性については, 両群間に統計学的有意差は認めなかった. MRI分類別に検者間での診断の信頼性を検討すると, 最も κ 係数が高かったのはMRI群ではmeningocele (MM) 型 ($\kappa = 0.90$), 脊髓造影群ではnormal (N) 型 ($\kappa = 0.81$) であった. 対称的に, 最も低かったのはMRI群ではrootlet partial injury (MR) 型 ($\kappa = 0.34$), 脊髓造影群でも同様にpartial avulsion (P) 型 ($\kappa = 0.26$) であった.

次に同一検者による診断の再現性の評価は8名の検者の平均で, MRI群が 0.58 ± 0.07 (0.28-0.96), 脊髓造影群が 0.78 ± 0.02 (0.53-0.96) であった. 両群間に統計学的有意差は認めなかった.

8人の検者全員の引き抜き損傷診断における正確性は2回目の診断結果を元に, chi-square testを用いて比較検討した. MRI群は, 感受性が88.8%, 特

	1回目	2回目	
MRI分類	MN	153 根	151
	MR	77	83
	MA	30	48
	MM	140	118
		400	400
脊髓造影・CTM分類	N	157	144
	P	80	77
	A	29	35
	M	134	144
		400	400

表3. prospective studyにおける診断結果

異性が71.6%であった ($p = 0.006$) のに対し, 脊髓造影群は感受性が92.0%, 特異性が71.6%であった ($p = 0.0002$).

考 察

外傷性腕神経叢損傷は, 多くの場合オートバイ事故や労災事故等の重度外傷によって上肢が末梢へ強く牽引されることにより発生し, 上肢機能が著しく障害される予後不良な疾患である. その受傷機転から若年男性に多く発生し, 遺残障害はその後の人生に大きな影響を与えている. 外傷性腕神経叢損傷は, 頸部神経根が脊髓分枝部から椎間孔までの間で断裂する引き抜き型の損傷 (節前損傷) と椎間孔より末梢のいわゆる腕神経叢部分での断裂を生じる場合 (節後損傷) に大別され, どの部分での損傷かによってその治療法や予後は大きく異なる. 椎間孔から末梢のZone II BからIVにおける節後損傷では, 神経移植による神経根の修復が可能である場合が多く, 比較的良好な機能回復が期待できる. 一方, Zone IからII Aにおける引き抜き型の損傷は, 椎間孔から硬膜管内での損傷であるため神経根の修復が困難であり, その治療は肋間神経や副神経, 健側C7神経根等を用いた神経移行術や, 筋・腱移行術等の機能再建術が中心となるが, 特に全型引き抜き損傷の場合, これらの治療では肘屈曲や肩挙上等のごく一部の四肢機能を再建するに過ぎず, 実用性のある四肢機能の再獲得は困難であった. しかし近年はマイクロサージャリー技術の発展に伴い, その治療が進歩し, 全型引き抜き損傷の機能的予後も以前に比較すると格段に改善されつつある. 土井ら¹⁶⁾は2つの遊離筋肉移植術を組み合わせたdouble free

muscle transfer法を開発し、肘屈曲、進展並びに手指による物体把持機能再建を行い補助手としての実用性の再獲得に成功している。Carlstedtら¹⁷⁾は、引き抜かれた神経根の脊髄内へのreimplantationを試み、その成績を報告しており、節前損傷修復の可能性を示唆している。

治療技術は進歩しているのに対し、腕神経叢損傷の診断技術は未だ立ち遅れているといわざるを得ない。腕神経叢損傷の治療を適切に行うためには、術前に各神経根の損傷部位を正確に診断する必要があるが、従来の脊髄造影やCTM等の検査法ではその正確な診断は困難であり、最終的確定診断は手術的に腕神経叢を展開して得られる肉眼所見および術中電気生理検査の情報に頼らざるを得ないのが現状である。節後損傷の場合は、腕神経叢展開で確定診断を行うと同時に神経移植術を行うことも可能であるが、節前損傷であった場合は後日、二次的な再建手術を要するため、患者の受ける肉体的侵襲および精神的負担は決して少なくない。

MRIは軟部組織の描出能が格段に高く、脊椎・脊髄領域では既に必要不可欠な画像診断法であり、侵襲の無い第一選択の検査法としてその地位を確立している。近年、撮像技術の進歩に伴い、腕神経叢損傷の診断にMRIを用いる報告も増えつつある。1994年、越智¹¹⁾は34例の腕神経叢損傷患者にMRIを施行し、引き抜き損傷の診断にaxial像及びaxial coronal像が有用であったと述べている。しかしこの方法で診断できるのは硬膜管内の所見のみであり、一断面での評価であるためpseudomeningoceleの検出には有用であるが、根系の縦方向への広がりやさらに末梢の神経根を描出するには限界がある。1996年、中村¹³⁾は腕神経損傷のMR診断に3D撮像法を用いたMR myelographyを応用し、pseudomeningoceleが鮮明に描出され、引き抜き損傷の診断に有用であったとしている。3D撮像法はMR angiographyに代表されるように、造影X線検査に代わる検査法として近年盛んに行われている。しかし3D撮像の場合、空間分解能は高いが、S/N比が低下し画像が不鮮明になるという欠点を有するため、MIP処理によって硬膜管全体像の把握とpseudomeningoceleの描出には役立つが、根系の微細構造の観察や脳脊髄液の無いzone 2より末梢の情報を得ることは不可能である。1998年、林¹⁴⁾は

MR用造影剤(Gd-DTPA)による損傷神経根の造影効果について検討を行い、引き抜き損傷診断における有用性について言及し、形態学的、病理学的変化を捉えることが可能としているが、スライス方向が横断像のみであるため神経根の一断面での評価でしかない点や診断の感受性がやや低い点で満足できる方法とは言いがたい。筆者の提唱する撮像法は、頸椎神経根の解剖学的走行に沿った斜位冠状断MR画像の隣接スライスを重ね合わせているため、従来のMRI画像と比較しても多くの利点を有している。まず厚さ2mmのスライスを隣接スライスと1mmずつ重なり合うよう撮像することにより空間分解能とS/N比の両立が可能であり、微細構造の信号を漏れなくかつ鮮明に描出することができる。また頸部神経根の走行に沿ったスライスで撮像するため、一つの神経根が神経根系から神経節を経てさらに末梢にいたるまで、1枚の画像上で連続して観察できる点も長所である。神経根が数枚のスライスに分かれて描出され、1枚の画像では神経根の信号が弱く画像が不鮮明な場合には、これらの画像をMaximum intensity projection (MIP) 処理することにより画像情報を積算し画像を再構成することも可能である。

実際、今回の検討でも35例の腕神経叢損傷患者の175神経根中170根(97%)の画像が鮮明に読影可能であった。また脊髄造影やCTMとは異なり非侵襲的検査であるため、硬膜穿刺や造影剤による副作用がなく、検査手技の巧拙にも左右されないこと、さらに脊髄造影では描出し得ない神経節からさらに末梢の神経幹や神経束部分での損傷診断の可能性がある点でも優れた方法であると考えている。

今回提案したMRI分類は、引き抜き損傷の診断に有用性が高いこと、さらに覚えやすく診断の際に参照しやすいよう簡便であることに重点を置き、4型に分類した。この分類に基づく神経根引き抜き損傷診断の感受性および特異性はそれぞれ94.0%、85.1%と高値を示し、従来の脊髄造影、CTMによる診断とほぼ同等であった。またprospectiveに複数の検者が同じ画像を、期間を置いて2回診断し、その再現性を評価すると、2回目診断時のMRI群と脊髄造影・CTM群における検者間の診断の信頼性は両検査法で有意差を認めなかった。MRI群では初回診断時の信頼性がやや低かったが、脊髄造影・CTM群では初回と2回目の診断結果でほぼ同等の信頼性を示してい

た。一方、同一検者内での診断の再現性についても κ 係数の最高値は両群とも0.96と同じ値であったのに対し、最低値はMRI群で0.28、脊髓造影・CTM群で0.53とMRI群でより低い値となった。

初回診断時の検者間の診断結果における信頼性や同一検者による診断の再現性がMRI群で低値を示した理由として、2回目診断時の検者間の診断における信頼性がより高い κ 係数を示していることから、検者がこのoverlapping coronal-oblique MR画像を見慣れていないためであると考えており、この画像の読影に習熟することにより診断の正確性は改善されるものと考えている。またMRI分類では、avulsion (MA), meningocele (MM) の診断は比較的容易であったが、rootlet partial injury (MR) では検者によって最も診断のばらつきが見られ、しばしばnormal (MN) と診断されていた。現状ではMRI診断がMR型であった場合、まだ脊髓造影・CTMの情報を加えて総合的に診断する必要がある。

最後に本法を用いて実際に行っている腕神経叢損傷の診療手順を紹介する(図8)。本法でMA型もしくはMM型と診断された場合は、腕神経叢展開を行わず、一期的に再建手術を行う。MR型と診断された場合は、脊髓造影及びCTMを行い総合的に診断した後、適した手術を選択する。正常(MN型)であるにも拘らず受傷後3ヶ月経過した時点で麻痺が改善しない場合は、神経修復術を行う。このように本MRI撮像法は、診断精度が高いことに加え、患者の侵襲性を大幅に軽減し、同時に診断の簡素化に寄与しており、腕神経叢引き抜き損傷の診療に極めて有用性が高い検査法であると考えている。

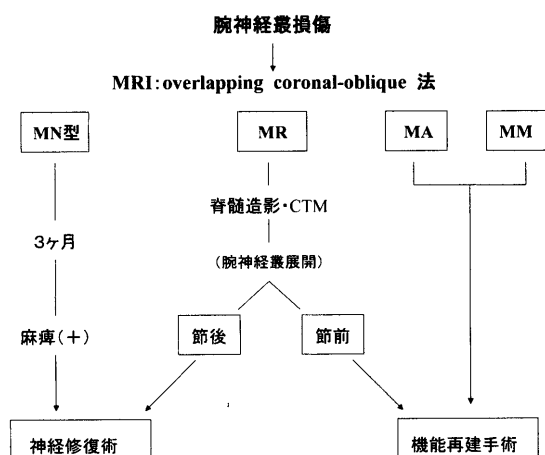


図8. 腕神経叢損傷診療の手順

結 論

頸椎神経根のoverlapping coronal-oblique MRI撮像法は、神経根引き抜き損傷の診断において信頼性及び再現性の高い画像診断法である。従来法(脊髓造影・CTM)とほぼ同等の診断能を有し、さらに多くの点で優れている。本法により正確な診断を得るためには、検者が画像の読影に習熟することが必要であるが、臨床の現場において実用性の高い検査法である。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導と御校閲を賜りました山口大学医学部整形外科学講座 河合伸也教授に深甚なる謝意を表します。また本研究に際し、多くの症例を提供し、終始御指導を頂きました小郡第一総合病院 土井一輝院長に深謝申し上げます。そしてMRI撮影の基礎と実際を伝授し、検査に協力して頂きました山口大学医学部放射線医学講座の先生方並びに放射線技師の皆様にも心より感謝いたします。

文 献

- 1) Trojaborg W. Clinical electro, and myelographic studies of 9 patients with cervical spinal root avulsions: discrepancies between EMG and X-ray findings. *Muscle Nerve* 1994; 17: 913-922.
- 2) Cobby MJ, Leslie IJ, Watt I. Cervical myelography of nerve root avulsion injuries using water-soluble contrast media. *Br J Radiol* 1988; 61: 673-678.
- 3) Nagano A, Ochiai N, Sugioka H, Hara T, Tsuyama N. Usefulness of myelography in brachial plexus injuries. *J Hand Surg (Br)* 1989; 14: 59-64.
- 4) Yeoman PM. Cervical myelography in traction injuries of the brachial plexus. *J Bone Joint Surg (Br)* 1968; 50: 253-260.
- 5) Hashimoto T, Mitomo M, Hirabuki N, Miura T, Kawai R, Nakamura H, Kawai H, Ono K. Nerve root avulsion of birth palsy:

- comparison of myelography with CT myelography and somatosensory evoked potential. *Radiology* 1991 ; **178** : 841-845.
- 6) Marshall RW, de Silva RD. Computerized axial tomography in traction injuries of the brachial plexus. *J bone Joint Surg (Br)* 1986 ; **68** : 734-738.
- 7) Morris RF, Hasso AN, Thompson JR, Hinshaw DB Jr, Vu LH. Traumatic dural tears : CT diagnosis using metrizamide. *Radiology* 1984 ; **152** : 443-446.
- 8) Blair DN, Rapoport S, Sostman HD, Blair OC . Normal brachial plexus : MR imaging. *Radiology* 1987 ; **165** : 763-767.
- 9) Carvalho GA, Nikkhah G, Matthies C, Penkert G, Samii M. Diagnosis of root avulsions in traumatic brachial plexus injuries : value of computerized tomography myelography and magnetic resonance imaging. *J Neurosurg* 1997 ; **86** : 69-76.
- 10) Francel PC, Koby M, Park TS, Lee BC. Fast spin-echo magnetic resonance imaging for radiological assessment of neonatal brachial plexus injuries. *J Neurosurg* 1995 ; **83** : 461-466.
- 11) Ochi M, Ikuta Y, Watanabe M, Kimori K, Itoh K. The diagnostic value of MRI in traumatic brachial plexus injury. *J Hand Surg (Br)* 1994 ; **19** : 55-59.
- 12) Panaschi DJ, Holliday RA, Shpinzer B. Advanced imaging techniques of the brachial plexus. *Hand Clinics* 1995 ; **11** : 545-553.
- 13) Nakamura T, Yabe Y, Hirouchi Y, Takayama S. Magnetic resonance myelography in brachial plexus injury. *J Bone Joint Surg (Br)* 1997 ; **79** : 764-769.
- 14) Hayashi N, Yamamoto S, Okubo T, Yoshioka N, Shirouzu I, Abe O, Ohtomo K, Sasaki Y, Nagano A. Avulsion injury of cervical nerve roots : enhanced intradural nerve roots at MR imaging. *Radiology* 1998 ; **206** (3) : 817-822.
- 15) Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977 ; **33** : 159-174.
- 16) Doi K, Muramatsu K, Hattori Y, Otsuka K, Tan SH, Nanda V, Watanabe M. Restoration of prehension with the double free muscle technique following complete avulsion of the brachial plexus. *J bone and joint surg* 2000 ; **82-A** (5) : 652-666.
- 17) Carlstedt T, Anand P, Hallin R, Misra PV, Noren G, Seferlis T. Spinal nerve root repair and reimplantation of avulsed ventral roots into the spinal cord after brachial plexus injury. *J Neurosurg* 2000 ; **93** : 237-247.

Magnetic Resonance Imaging of the Cervical Nerve Root Avulsion in Brachial Plexus Injuries : New Imaging Technique and Classification.

Ken OTSUKA

*Department of Orthopedic Surgery, Yamato Municipal General Hospital
974 Iwata Yamato town Kumage gun Yamaguchi prefecture, 743-0192, Japan*

SUMMARY

The Author describes a new magnetic resonance (MR) imaging technique of the cervical nerve roots in traumatic brachial plexus injury. The overlapping coronal-oblique slice MR imaging procedure of the cervical nerve root was performed in 35 patients with traumatic brachial plexus injury. The results were retrospectively evaluated and classified into four major categories (normal rootlet, rootlet partial injuries, avulsion, and meningocele), after diagnosis by surgical exploration. In this study, the sensitivity of detection of the cervical nerve root avulsion in MR imaging was the same (92.9%) as that of myelography and CT myelography.

The reliability and reproducibility of the MR imaging classification was prospectively in 10 patients with traumatic brachial plexus injury, assessed by eight independent observers, and its diagnostic accuracy was compared with that of myelography and CT myelography. In this study, interobserver reliability and intraobserver reproducibility showed that there were no statistically significant difference between both modalities. This new MR imaging technique is a reliable and reproducible method for detecting nerve root avulsion, and the MR imaging information provided valuable data for helping to decide whether to proceed with exploration, nerve repair, primary reconstruction, or other imaging modalities.