

前腕部	撮像方法	TR(ms)	TE(ms)	FOV	Matrix	加算回数	スライス厚
T1 強調画像	SE	450	15	16 x 16cm	192x336	1	7mm
T1 強調脂肪抑制画像	SE	460	15	16 x 16cm	192x336	1	7mm
T2 強調画像	FSE	3000	100	16 x 16cm	224x256	2	7mm
T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3000	100	16 x 16cm	224x256	2	7mm
手 部							
T1 強調画像	SE	450	15	16 x 16cm	192x336	1	7mm
T1 強調脂肪抑制画像	SE	460	15	16 x 16cm	192x336	1	7mm
T2 強調画像	FSE	3000	100	16 x 16cm	192x256	3	7mm
T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3000	100	16 x 16cm	192x256	3	7mm

岩見沢労災病院における MRI 検査条件を示す。

MR I 機種 Signa 1.5T、撮像条件は以下の如くである。

前腕部	撮像方法	TR(ms)	TE(ms)	FOV	Matrix	加算回数	スライス厚
T1 強調画像	SE	440	16	16 x 12cm	256x192	1	7mm
T1 強調脂肪抑制画像	SE	440	16	16 x 12cm	256x192	1	7mm
T2 強調画像	FSE	3000	105	16 x 12cm	256x192	5	7mm
T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3000	105	16 x 12cm	256x192	5	7mm
手 部							
T1 強調画像	SE	440	16	16 x 8cm	256x192	1	7mm
T1 強調脂肪抑制画像	SE	440	16	16 x 8cm	256x192	1	7mm
T2 強調画像	FSE	3000	105	16 x 8cm	256x192	5	7mm
T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3000	105	16 x 8cm	256x192	5	7mm

美唄労災病院における MRI 検査条件を示す。

機種 Signa 1.5T、撮像条件は以下の如くである

前腕部	撮像方法	TR(ms)	TE(ms)	FOV	Matrix	スライス厚
T1 強調画像	SE	470	15	16 x 16cm	192x256	7mm
T1 強調脂肪抑制画像	SE	654	15	16 x 16cm	192x256	7mm
T2 強調画像	FSE	3000	96	16 x 16cm	182x256	7mm
T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3040	96	16 x 16cm	182x256	7mm
手 部						
T1 強調画像	SE	470	15	16 x 16cm	192x256	7mm
T1 強調脂肪抑制画像	SE	654	15	16 x 16cm	192x256	7mm
T2 強調画像	FSE	3000	96	16 x 16cm	182x256	7mm
T2 強調脂肪抑制画像	FSE	3040	96	16 x 16cm	182x256	7mm

徳島健生病院では、振動病症例 30 例、対照症例 10 例について撮像を行った。撮像サイドは右 14 例、左 26 例であった。岩見沢労災病院では振動病症例 16 例、対照症例 11 例について撮像を行った。撮像サイドは右 17 例、左 9 例であった。美唄労災病院では振動病症例 13、対照症例 10 例について撮像を行った。撮像サイドは右 16 例、左 7 例であった。

#### ④ 結果および考察

今回同時に施行された種々の末梢循環障害・神経伝導速度など他の検査手技では、基礎疾患・投薬・年齢などの条件に問題のある症例は除外して検査結果を分析する必要があった。MRI では、検査部位周辺に金属製の内固定材料や人工関節などが挿入されている場合には検査施行が禁忌となるが、これまでの研究から骨格筋の MRI T2 強調像の輝度には加齢による変化は認められず、また検査直前の投薬などの影響は考えにくいことから、体動による影響や閉所恐怖症のため MRI 検査が不能であった症例以外は、特に除外症例を設けずに検討を行った。また、今回検査を施行した 3 病院での MRI 撮像条件は若干異なるものの、特に調整を行うことなく評価をおこなった。

各被験者のデータは別添エクセルのファイルのごとくである。

T1 強調画像では、主として手内筋に萎縮を認めるものもあったが、輝度変化が明らかなものはなかった。T1 強調画像は筋肉の解剖学的な異常を同定するには得手であるが、質的な異常はなかなか描出することが難しく、今回の検討でも筋の質的变化に関する情報は得られなかった。

一方、T2 強調画像、および T2 強調画像脂肪抑制では、これまでの報告にも見られるように、筋肉の量的変化のみならず、質的变化まで描出することが可能であり、今回の検討でもいくつかの異常所見が認められた。主として筋肉の輝度変化（周囲筋肉に対する高輝度変化）、および筋萎縮に着目して行った。なお、今回の検査では両側の比較検討が行えないため、筋肉の萎縮については確実とは言い切れない。

代表的な筋肉として、1) 前腕伸筋群、2) 回外筋、3) 前腕屈筋群（尺側手根屈筋）、3) 骨間筋、4) 小指球筋に注目し、その他母指球筋、手指屈筋腱なども検討した。T2 強調画像、脂肪抑制 T2 強調画像での輝度変化を(-)、(±)、(+)、(++) の 4 段階の Grade 分類を行い、定性的・定量評価を試みた。

個々の施設における結果は以下の通りである。

徳島：輝度変化を呈した症例は、前腕伸筋群(+ )2 例、(±)1 例、橈側手根屈筋(++)2 例、(+ )1 例、母指球筋(+ )2 例、(±)1 例、小指球筋(++)1 例、(±)1 例で、骨間筋の筋萎縮が見られた症例は(+ )1 例、(±) 2 例であった。

一方、対照群 10 例の検討でも、数例に異常所見が認められた。これらの内訳は前腕伸筋群の高輝度変化(±) 1 例、小指球筋の高輝度変化(+ )1 例、(±)1 例に、尺

側の骨間筋の筋萎縮を1例であった。

岩見沢：振動障害例で所見のあったものは3例のみであり、回外筋のT2強調画像での高輝度変化が2例（本症例は脂肪抑制では等輝度となり、筋肉の脂肪変性が予想された）、での骨間筋の筋萎縮が1例に見られた。

美唄：振動障害例で所見のあったものは4例で、3例では骨間筋の筋萎縮とT2強調画像での高輝度変化を認めた、これらの症例では脂肪抑制画像では等輝度を呈し、脂肪変性の状態であることが示唆された。また上記3例のうち、1例では前腕の屈筋群でも同様の所見（T2強調画像での高輝度変化、筋萎縮）を認めた。1例では母指球筋の軽度高輝度変化を認めた。

以下、陽性所見の見られたMRI像の代表例を供覧する

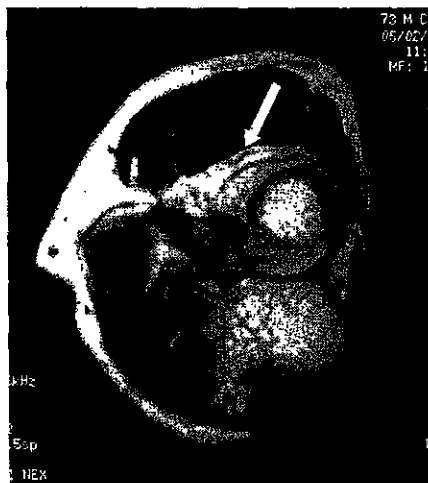
### 1) 伸筋群の高輝度変化（前腕中央部の横断面）



### 2) 屈筋群の高輝度変化（前腕中央部の横断面）



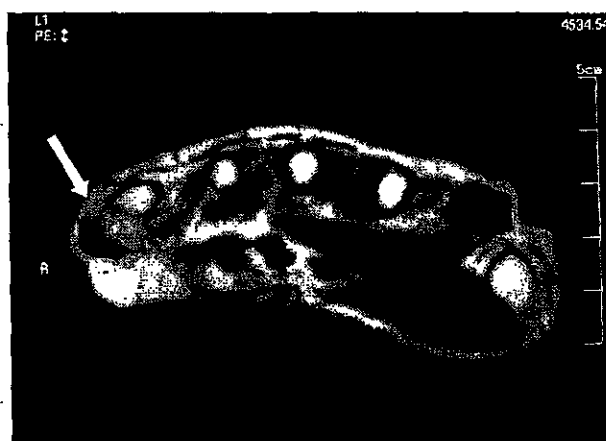
3) 回外筋の輝度変化 (前腕中枢部横断面)



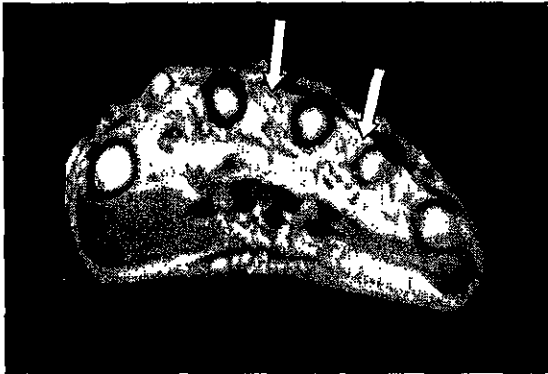
4) 母指球筋の高輝度変化、筋萎縮 (手掌部横断面)



5) 小指球筋の高輝度変化、筋萎縮 (手掌部横断面)



## 6.) 骨間筋の高輝度変化、筋萎縮



さらに個々の症例に対し、神経伝導速度検査と関連させて、末梢神経障害と骨間筋の所見に関する評価を行った。

症例 1-1-03 では、骨間筋の萎縮(++)・輝度変化(±)で、尺骨神経障害が疑われ、神経伝導速度検査でも両側の尺骨神経運動神経伝導速度の低下 (MCV AE 41.5m/sec) が見られ、電気生理学検査と骨格筋の MRI 評価との関連性が認められた。(本例では左の MRI 検査を行ったが、伝導速度はむしろ右側の方が MCV AE 26.4m/sec と著しい低下が見られた。)

症例 1-1-20 と 1-1-28 では左橈側手根屈筋の輝度変化が著明で正中神経障害が疑われたが、本例の伝導速度検査では特に正中神経領域の障害は示唆されなかった。(それぞれ前腕部分の正中神経 MCV60.4, 56.4m/sec) これらの症例では MRI で母指球筋や他の正中神経支配領域の骨格筋の異常所見は明らかでなく、橈側手根屈筋の輝度変化は正中神経障害以外の原因が関与していることも考えられる。

症例 1-2-06 では、左回外筋と骨間筋の輝度変化が著明であり、橈骨神経および尺骨神経障害が疑われた。本症例の伝導速度検査でも尺骨神経の伝導遅延 (尺骨神経 MCV AE 36.3m/sec) が見られている。(今回の検査では橈骨神経の神経伝導速度検査は行われていない)

症例 1-2-08 では、前腕屈筋群と骨間筋に所見が見られ、正中神経および尺骨神経障害が示唆されたが、神経伝導速度検査での伝導遅延は明らかでなかった。(尺骨神経 MCV AE 54.0m/sec、正中神経 MCV55.9m/sec)

症例 1-3-08 では、回外筋と骨間筋の輝度変化が著しく、橈骨神経および尺骨神経障害が疑われた。神経伝導速度検査でも尺骨神経の伝導遅延が見られた。

この様に、MRI 所見は一部の症例で神経伝導速度所見と一致したが、MRI で陽性所見の見られた骨格筋支配神経の伝導障害が明らかでない症例も見られた。肘部管症候群による尺骨神経障害あるいは手根管症候群による正中神経障害といった絞扼性

神経障害が生じている場合、MRIによる筋肉の評価と伝導速度による評価には強い相関が見られるが、振動障害における運動機能障害には、絞扼性神経障害で説明できない症例も多く、個々の骨格筋に対する運動枝の障害や骨格筋に対する直接的影響などの可能性が推測された。

今回の前腕および手掌部のMRI所見より、振動障害による運動機能障害の症度分類を試みた。今回の検査では、T2強調画像における骨格筋輝度変化の程度とその変化がどの骨格筋にみられるかということが判断材料になるが、まずGrade分類(-)、(±)、(+)、(++)の4段階評価に対し、それぞれ症度を0, 1, 2, 3と対応させた。MRIで2カ所異常の骨格筋群に異常所見が見られた場合、輝度変化による症度を1段階上げる、即ちGrade分類で(±)の所見であれば症度1とするところ、2カ所の骨格筋群に(±)の所見が見られれば、症度を2と判定することにした。

この基準により今回の療養群1101~1132(1133はMRI施行せず)を分析すると、症度0が20例、症度1が8例、症度2が4例となった。なお様々な理由により今回の分析より除外と判断された療養群1201-1212および1301-1311を含めた55例では、症度0が38例、症度1が9例、症度2が8例で、症度3と判定される症例はなかった。

(Excelの表に別途示す)

さらに運動機能評価として握力との相関関係を検討したが、療養群1101~1132でMRI検査側の握力(維持握力初回と2回目の平均値で判定)25kg未満であった症例は、症度0では20例中5例、症度1では8例中2例であった一方、症度2では4例中3例と、握力とMRIによる症度が相関することが判明した。さらに除外症例の療養群1201-1212および1301-1311を含めるとMRIによる症度2の8例中7例に握力低下が認められた。なお徳島群に比較して、岩見沢、美唄群の握力測定値が全般に低く、握力測定方法自体の問題も示唆された。美唄、岩見沢の療養群の患者の多くは他の条件により末梢循環障害評価で除外症例となったが、これらの症例ではMRIでの症度0でも握力25kg以下の症例が多数を占めた。しかしながら前述したようにMRI症度で症度2と判定された症例のほとんどに著明な握力低下が見られ、MRIによる症度判定は運動機能評価として有用であると考えられた。

#### 4 その他の検査

平成13年報告書では、末梢循環障害に係る検査手技として、サーモグラフィ、指尖容積脈波、血管造影、血管超音波、末梢神経障害に係る検査として、針筋電図、神経伝導検査(インチング法)、後期応答(F波、H波)、誘発電位、運動器に係る検査として、徒手筋力検査(MMT)、関節可動域測定、深部反射検査、レントゲン検査、MRI及びCTスキャンを掲げているが、各検査手技とその留意点等については、以下のとおりである。



(1) 末梢循環障害に係る検査手技

① サーモグラフィー

赤外線カメラを用いて体表面からの熱放射を測定することにより得られる体表面の温度分布を二次元的に画像表示する検査手法である。室温馴化の後に単にサーモグラムを撮影することを単純サーモグラフィーというが、実際にサーモグラフィーを施行する際には冷却負荷をかけることが多い。

(7) 障害の把握のための基準

単純サーモグラフィーでは、手背皮膚温の低下の有無、あるいはサーモグラムパターンから循環障害の有無あるいは程度を評価することができる。また負荷サーモグラフィーでは負荷前後の変化、また負荷後の回復過程を指標に循環障害の有無を評価することができる。Nasuら<sup>1)</sup>は振動工具使用者77名を対象にサーモグラフィー、冷水浸水試験、冷風ばく露試験、局所冷却による指動脈収縮期血圧変化率(FSBP%)による評価を行い、各検査法の有用性を検討した。室温・24℃、湿度50%の状態です30分間の室温馴化の後、両手背のサーモグラムを記録しそのパターンをtype1)正常、type2)手背平均温度の左右差が1℃以上であるもの、type3)手指末梢に向かうに従って皮膚温が低下するもの、type4)各手指間で皮膚温度差を生じるもの、type5)手指平均温度が30℃以下であるもの、の5型を基本形としそれらの組み合わせで分類した。対象を症状の有無で分類し、また、サーモグラムパターンのうちtype1のみを正常とした場合、敏感度は85.3%、特異度は46.5%であった。

von Bierbrauerら<sup>2)</sup>は冷水浸水負荷サーモグラフィーにより振動障害者における循環障害を評価した。室温22℃での20分間の室温馴化の後、12℃、3分間の冷水負荷を両手掌に行い、負荷前、負荷直後、以後経時的に全手指のサーモグラムを検討した。負荷前のサーモグラムでは健常者と振動障害者との間に差は認められなかったが、負荷後一定時間が経過した後、負荷前の皮膚温に回復しない手指が1指でも存在した場合を振動障害が存在すると仮定した場合の各時間における敏感度、特異度を検討すると、15分後ではそれぞれ91.7%、66.7%、30分後では58.3%、100%であった。

(4) 導入にあたっての留意点

- ・ 常温下皮膚温検査と同様、厳密な測定条件の設定が必要である。
- ・ 客観性が高く、非侵襲的で特殊技能は不要だが、器械は安価とはいえない。
- ・ 他の器質的末梢循環障害との鑑別は困難である。

(5) その他

Kakosyら<sup>3)</sup>は振動障害患者、強皮症によるレイノー現象、一次性レイノー病患者に対して上下肢及び顔面に対して単純サーモグラフィーを施行したところ、振動障害患者においては上肢サーモグラムにのみ異常所見(り患指の温度低下な

ど)が認められるのに対し、強皮症あるいは一次性レイノー病患者においては顔面及び下肢にも異常所見が認められ、これが他のレイノー病(症候群)から振動障害患者を鑑別する際の指標になると報告している。

## ② 指尖容積脈波

光学的手法により指尖における血液変動(単位体積当たりのヘモグロビン量の変化)を脈波として描出する。光電脈波センサーは、小型で測定部位に密着させるだけでよく、簡単に計測、記録できる。

### (7) 障害の把握のための基準

パラメータは波形の形態分類、波高と頂点時間の計測であるが、波高の校正方法が無いために、絶対値は測定できない。正常と異常の判定は頂点時間の計測と波形分析で行う。正常な波形では立ち上がりが急峻で心収縮期上昇脚は直線的となる。明瞭な頂点Pに続いて切痕(N)、重複波(D)が明瞭に認められる。大動脈炎症候群、閉塞性動脈硬化症、バージャー病などで四肢動脈に器質的閉塞がある場合には、アーチ波が出現する。一方、レイノー症候群のような vasospasm による末梢動脈の機能的閉塞では、peaked pulse と呼ばれる波形が得られる。一宮ら4)は、振動工具使用者では、①中間波がかなりの頻度で発現し、波形の異常は健常者とレイノー病、強皮症、閉塞性動脈硬化症及び閉塞性血栓性血管炎など末梢循環疾患患者の中間に位置する、②常温下でも少数の異常波が認められ、寒冷負荷により増加する、③高齢者ほどまたレイノー現象陽性者ほど異常度は高く、寒冷負荷による変動幅も増大する、④寒冷負荷による波形変動のパターンはやや閉塞性動脈硬化症に類似していると報告している。また、桜井ら5)は、振動障害にみられる夏期の抹消循環機能を冷水負荷後の指尖容積脈波により評価し、冷水負荷脈波は夏期においても比較的安定し、精度が高く、客観化できると報告している。

### (イ) 導入にあたっての留意点

- ・ 室温、湿度などの厳密な測定条件の設定が必要である。
- ・ 心機能の影響を受けるため、心接図に頸動脈波を加えるなどにより、心機能を評価し、指尖脈波から心機能要因による変化を取り去って波形を観察する必要がある。
- ・ 他の器質的末梢循環障害との鑑別は困難である。
- ・ 器械は比較的安価で、客観性も高い。
- ・ 非侵襲的で検者に特殊技能も不要である。

### (ウ) その他

当初は光源に白熱ランプを用いたため、外光の影響を受けやすかったが、近年では、光源や光センサーに近赤外線を用いることで、外光の影響を受けずに生体情報のみを取り出すことが可能となった。波形の解析、理解にやや難解な部分が