

学 位 論 文 題 名

MRIによる脊髄形態の研究

—脊髄径計測に及ぼす諸因子について—

学位論文内容の要旨

I. 研究目的

MRIは高いコントラスト分解能をもち、非侵襲的に脊髄形態が把握でき、脊髄疾患の診断には必須の検査法となって来た。脊髄疾患の診断において、脊髄腫大、又は萎縮の判定は最も基本的なものである。しかしながら、正常と思われる例でも、MR撮影条件、画像表示条件などにより脊髄径は異なって同定され、又 myelography (MLG) での径とも異なった印象をうける。MRIによる脊髄形態評価に関する基礎的データは乏しい。本研究の目的は、MR画像上、脊髄径に影響を与える因子を調べ、脊髄形態評価の至適条件を求める事であった。

II. 研究方法

先ず、頸部 MLG と MRI 両者が行われ、且つ、頸髄変形の軽度な4症例を選び、0.1mmの測定精度をもつノギスを用い、頸髄矢状径を間隔を置いて3回測定し、その平均値を求めた。本研究に用いた MLG 断層撮影装置は、拡大率が常に1.4倍であり、正確な脊髄径が測定される。MRIは1.5テスラ高磁場 MRI 装置を用い、 T_1 強調 spin echo(SE)法、 T_2 強調 SE法、及び、 T_2^* 強調 gradient echo (GRE)法にて撮影された。

次いで、脊髄径の評価に影響をもたらす因子を調べる為、円柱状の gelatin phantom (直径13mmと9mm)およびフォルマリン固定屍体頸髄を、生理食塩水を満たした円筒状のプラスチック容器に入れ、上記臨床例と同様の方法で MR 撮像を行った。加えて撮像領域(field of view : FOV)を24cm (0.9mm/pixel)と15cm (0.6mm/pixel)とに変え、又、画像再構成 matrix を256×256 (周波数 encoding×位相 encoding)と256×128とに変えてデータ収集を行なった。これらの条件で撮られた画像を上記臨床例と同様の方法で計測した。更に、画像の表示階調(window)の中心(level)と幅(width)を段階的に500ずつ変えて計測値の変化を観察した。又、MR装置のコンソール上で phantom と屍体頸髄の MR 値測定並びにその signal profile を観察した。

Ⅲ. 研究結果および考察

(1) MLG と MRI の比較

MLG 断層撮影, T_1 および T_2^* 画像の計測の結果, T_1 画像上の計測値は MLG のそれよりも常に大きく, T_2^* 画像の計測値は, MLG のそれよりも常に小さく, 三者の測定値間の有意の差を認めた。 T_1 画像と T_2^* 画像との測定値には, 第 2 頸椎～第 6 頸椎各レベルで 1.4mm～2.0mm の差がみられた ($P < 0.001$)。この結果は, 日常診療上の印象を, 実際の測定から裏付けるものであった。

(2) phantom での計測

画像表示条件を一定として, 13mm 径, 9mm 径夫々の gelatin phantom 画像を計測したところ, 画像再構成 matrix 256×256 の T_1 画像では, 平均 13.5mm と 9.6mm, T_2 画像で 11.9mm と 8.0mm であり, T_1 画像は `pseudoswelling`、, T_2 画像は `pseudoatrophy` を示した。位相 encoding を半減し, 画像再構成 matrix を 256×128 にすると, T_1 画像で 14.2mm と 10.2mm, T_2 画像で 11.5mm と 7.3mm となり, `pseudoswelling` と `pseudoatrophy` はより増強し, 真の値から離れた。

画像表示 window の影響をみると, T_1 画像で window-width を固定し, window-level を段階的に上げてゆくと, それに対応して phantom 径の計測値は下がり, 良い負の相関を示した。window-level を gelatin phantom の MR 値と, その周囲の生食のそれとの平均値付近に上げると, 計測値は真の値に達した。逆に window-level を固定し, window-width を段階的に広げても, phantom の計測値に変化はなかった。一方, T_2 画像で window-width を固定し window-level を段階的に上げると, 計測値はそれに比例して増し, 良い正の相関を示した。window-level を固定し, window-width を段階的に広げると, 計測値はそれに比して増した。しかしながら, T_2 画像では表示 window をいかに操作しても, 真の値に至らなかった。

(3) phantom および屍体頸髄の画像での評価

phantom とその周囲の生食を横切る signal profile を見ると, T_1 画像では, 高信号の gelatin phantom と低信号の水との境界面の水側で signal profile の波の谷がひときわ深く沈下し (undershoot), phantom 側で波の山がひときわ高く立ち上がった (overshoot)。他方 T_2 画像では高信号の水側で overshoot, 低信号の phantom 側で undershoot を示した。この undershoot, overshoot の現象は, フーリエ変換法による truncation artifact と考えられた。屍体頸髄の T_1 画像でも, 頸髄表面に解剖上存在しない帯状の高信号 (overshoot) が出現し, 頸髄径は拡大して描出され, T_2 画像では逆に頸髄表面に低信号帯 (undershoot) が出現し, 頸髄径は縮小した。この truncation artifact は被検体の信号強度と相俟って, 計測値に大きな影響

を与えた。FOV を15cmから24cmに拡大すると、overshoot と undershoot の幅は増し、 T_1 画像ではより頸髄径が増し、 T_2 画像ではより縮小し、不正確な評価を生む事が示された。つまり、FOV を広げ pixel 径を大きくする事、あるいは上記したように位相 encoding を減らす事は、フーリエ変換による truncation artifact の影響を増長する事を示唆している。

屍体頸髄の T_1 、 T_2 、 T_2^* いずれの画像でも、灰白質と白質は良く識別され、且つ、いずれにおいても白質は灰白質より低信号を示した。脊髄内 long tract の神経線維の配列は密で自由水が少ない為、白質の信号が低いと推測された。又、 T_1 画像で灰白質、白質のコントラストが最も明瞭であったが、FOV を15cmから24cmに広げると、両者の境界が不鮮明となった。

IV. 結 語

脊髄径の計測に影響を与える MR 因子は、(1) 被検体と水の信号強度(主に撮像パルス系列に依存)(2) フーリエ変換に伴う truncation artifact (3) 画像表面の window-level であった。临床上、これらの影響を最小限に留めて脊髄径を評価するには、 T_1 画像を用い、FOV を拡大せず、位相 encoding を減らさず、画像再構成 matrix を 256×256 とし、画像表示の window-level を被検体と脳脊髄液との平均 MR 値に設定すると良い。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 田 邊 達 三
副 査 教 授 古 舘 正 徒
副 査 教 授 長 嶋 和 郎

MRI は高いコントラスト分解能から非侵襲的に脊髄形態が把握できるために、脊髄疾患の診断には必須の検査法となってきた。しかし脊髄は、MRI にて非侵襲的に固定されるが、その計測は画像条件により異なる。本研究では MR 画像上、脊髄径に影響を与える因子を調べ、脊髄形態評価の至適条件を求める事を目的として、myelography (MLG) と MRI 両検査が施行された臨床例、及び円柱上の gelatin phantom と屍体頸髄において、 T_1 強調 SE 法、 T_2 強調 SE 法、 T_2 強調 GRE 法など各種の MR 撮像条件が被検体測定値に及ぼす影響を調べた。

研究結果は MLG 断層撮影、 T_1 および T_2^* 画像の計測の結果、 T_1 画像上の計測値は MLG

のそれよりも常に大きく、 T_2^* 画像の計測値は、MLGのそれよりも常に小さく、三者の測定値間には有意の差を認めた。

phantomでの計測に関し、画像表示条件を一定として、gelatin phantomを計測したところ、 T_1 画像は`pseudoswelling、 T_2 画像は`pseudoatrophy、を示した。位相 encoding を半減し matrix を 256×256 から 256×128 にすると、`pseudoswelling、と`pseudoatrophy、はより増強し、真の値から離れた。画像表示条件の影響をみると、 T_1 画像で window-width を固定し、window-level を段階的に上げてゆくと、それに対応して phantom の計測値は減少し、良い負の相関を示した。window-level を gelatin phantom と周囲の水の平均 MR 値付近に上げると、真の計測値に達した。 T_2 画像で window-width を固定し window-level を段階的に上げると計測値はそれに比例して増し、良い正の相関を示したが、真の値には至らなかった。window-level を固定し window-width を変化させる事による影響は、 T_1 、 T_2 画像共に少なかった。

MR signal profile をみると、 T_1 画像では gelatin phantom と水との境界面の水側で undershoot, phantom 側で overshoot を示した。他方、 T_2 画像では水側で overshoot, phantom 側で undershoot を示した。すなわち、水と phantom の境界の高信号側で overshoot, 低信号側で undershoot となった。この undershoot, overshoot は、画像再構成のフーリエ変換法による truncation artifact と考えられ、 T_1 、 T_2 画像上の計測値に大きな影響を与えた。屍体頸髄の表面にも、解剖上存在しない高、又は低信号帯の truncation artifact が出現し、 T_1 画像では頸髄径が拡大し、 T_2 画像では縮小して描出された。field of view (FOV) を拡大すると、overshoot と undershoot の幅は増し、 T_1 画像ではより頸髄径が増し、 T_2 画像ではより縮小し、不正確な評価を生む事が示された。以上の結果から、臨床上、これらの影響を最小限に留めて脊髄径を評価するには、 T_1 画像を用い、FOV を拡大せず、位相 encoding を減らさず、画像表示の window-level を被検体と脳脊髄液との平均 MR 値に設定すると良い事が分かった。

口頭発表にあたって古舘教授よりフーリエデータを増やす事による画像への効果、FOV を小さくする事による画質の改善、臨床への寄与について、長嶋教授から脊髄径に及ぼす正常解剖構造と artifact との関係、断層厚の影響、臨床画像上の脊髄々内病変の鑑別診断等について質問がなされたが、申請者はおおむね妥当な回答を行った。副査の古舘・長嶋両教授にはそれぞれ個別に面談し、試問の結果、両教授の判定は合格であった。

以上、基礎的データが乏しかった脊髄径の計測に影響を与える MR 因子を詳細に検討し、脊髄形態評価の至適条件を明らかにした本研究は、臨床的意義が大きく、学位授与に値すると考える。