

【19】

氏 名	よし だ かず や 吉 田 一 也
学位の種類	博士（医学）
学位記番号	甲第698号
学位授与の日付	平成29年3月7日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項 (生理学（分子生理・細胞生理）)
学位論文題目	Changes in T₂-weighted MRI of supinator muscle, pronator teres muscle and extensor indicis muscle with manual muscle testing (T₂強調MRIによる回外筋、円回内筋、固有示指伸筋に対する徒手筋力テストの解析)
論文審査委員	(主査) 教授 種 市 洋 (副査) 教授 堀 雄 一 教授 楫 靖

論 文 内 容 の 要 旨

【背 景】

運動器疾患の診断と治療において、関節可動域テストや徒手筋力テスト（manual muscle test : MMT）等により行われる運動機能の評価はきわめて重要である。MMTは関節運動の動作筋筋力を徒手的に測定する方法であり、運動機能学や筋電図の知見に基づき、被験者の姿勢や抵抗をかける方向などが決定されている。

前腕筋群は手関節および手指の屈伸と前腕の回内外運動をコントロールする。前腕筋の評価を筋電図で行う場合、針筋電図でも深部筋群の正確な筋電波形導出は困難であり、また、表面筋電図では各筋個別の波形を得ることは技術的に不可能である。近年、運動後の筋のT₁値、T₂値、組織水分量の上昇を利用し、磁気共鳴画像（magnetic resonance imaging : MRI）法による筋活動の可視化が行われ、下肢筋などのボリュームの大きな筋に応用されている。申請者らは、筋活動評価へのT₂強調MRI法の応用のために、撮像法や前腕固定器具等の開発を進め、前腕で最も小さい小指伸筋の筋活動の検出に成功している。

【目 的】

本研究の目的は、筋電図学的に前腕回外、回内、示指伸展の主動筋であることが証明されている回外筋、円回内筋、固有示指伸筋について、MRIのT₂強調画像により同様に主動筋であることが示せるかを確認することである。

【対象と方法】

本研究は獨協医科大学生命倫理委員会の承認を得て、被検者に研究の趣旨と目的を説明し、全員からインフォームド・コンセントを取得して実施した（承認番号：大学27001）。なお、本研究の内容に関する利益相反はない。

対象者は、上肢に障害のない成人男性3名とした（平均±標準偏差：年齢 36.4 ± 12.3 歳、身長 172.3 ± 6.9 cm、体重 72.3 ± 17.0 kg）。計測者は、臨床経験10年以上の理学療法士とした。測定部位は左側の前腕とし、0.2 T MRI装置を用いマルチスライススピネコー法で運動前後の T_2 強調画像を撮像した。撮像条件は、撮像野 200×200 mm、データマトリックス数 128×128 、繰り返し時間2000ms、エコー時間39ms、スライス厚9.5mm、スライス枚数11枚（スライス間隔10mm）、積算回数1回（撮像時間4分16秒）とし、画素数 256×256 で画像化した。計測方法は、まず前腕を専用の固定器具で固定し、運動前の T_2 強調画像を撮像した。ついで、回外筋、円回内筋、固有示指伸筋に対し、Borgの主観的運動強度（Borg's rating of perceived exertion：RPE）15-17の等尺性徒手抵抗運動を行い、運動後の T_2 強調画像を撮像した。抵抗運動はDanielsとWorthinghamのMMTに準じて実施した。各筋の等尺性運動方法は以下の通りである。回外筋：肘関節屈曲、前腕回内位で手関節部背側面に前腕回内方向の徒手抵抗負荷、円回内筋：肘関節屈曲、前腕回外位で手関節部掌側面に前腕回外方向の徒手抵抗負荷、固有示指伸筋：肘関節屈曲、前腕回内、手関節中間位で示指に屈曲方向の徒手抵抗負荷を加えた。画像解析は、ImageJ 1.46rを用いて運動前後での T_2 強調画像信号強度変化を比較した。対象筋断面内に、重畳しない3つの関心領域（region of interest：ROI）（円形、25画素）を設定し、その信号強度の平均値（ C_m ）を求めた。前腕外の空中にROIをひとつ置き、その信号強度の標準偏差（ SD_{air} ）を求め、コントラスト-雑音比（contrast-to-noise ratio：CNR）、 C_m / SD_{air} 、を計算し筋画像強度とした。運動前後の画像強度差が、99.9%信頼区間（3.3）よりも大きい場合を有意と判定した。

【結 果】

回外筋の T_2 強調画像強度は静止筋の約1.7倍に増強し、3例とも有意に増強した。円回内筋の T_2 強調画像強度は静止筋の約1.8倍に増強し、3例とも有意に増強した。固有示指伸筋の T_2 強調画像強度は静止筋の約1.8倍に増強し、3例とも有意に増強した。これら3筋以外の筋の T_2 強調画像強度には、変化はみられなかった。

【考 察】

回外筋、円回内筋、固有示指伸筋を主動作筋とする前腕回外、回内および示指伸展の等尺性運動に際し、これら3筋の T_2 強調画像強度が増強することが確認できた。さらに、その他の筋では信号強度に変化はみられなかった。運動強度の選択は重要である。先行研究では、小指伸筋に対するRPE 20のMMTで、小指伸筋に加え、尺側手根伸筋の活動が検出された。本研究では運動強度をRPE 15-17に調整し、主動作筋のみの筋活動の検出が可能になった。

MMTを行う際の各関節運動の主動作筋の多くは、筋電図法により確認されているが、協力筋についての知見は乏しい。MRI法では前腕すべての筋活動を同時に観察することが可能であり、深層筋や筋断面積の小さな筋では、筋電図法よりもMRI法が有用である。 T_2 強調画像を用い動作筋を検出す

ることにより、現行のMMTとして行われている関節運動の主動筋や協力筋が正確に評価できる。MMTの中には、筋電図による検証がなされておらず、筋の運動機能学によって運動方法を決定しているものもある。今後、T₂強調MRI法を用い、橈側手根屈筋や尺側手根屈筋などのMMTの検証を進める予定である。主動筋や協力筋が確定できれば、より正確な運動方法でMMTを実施できると考える。

【結 論】

T₂強調画像を用い、深層筋である回外筋と円回内筋、筋断面積の小さい固有示指伸筋の筋活動を確認することができた。T₂強調MRI法を用いれば、筋電図による測定が難しい筋のMMTについて、その運動方法を検討できることが示された。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

【論文概要】

運動器疾患の診断と治療において、関節可動域テストや徒手筋力テスト (manual muscle test : MMT) 等により行われる運動機能の評価はきわめて重要である。MMTは関節運動の動作筋筋力を徒手的に測定する方法であり、運動機能学や筋電図の知見に基づき、被験者の姿勢や抵抗をかける方向などが決定されている。しかし、前腕筋の評価を筋電図で行う場合、針筋電図でも深部筋群の正確な筋電波形導出は困難であり、また、表面筋電図では各筋個別の波形を得ることは技術的に不可能である。申請論文は、筋電図学的に検証されている前腕運動の主動筋をT₂強調磁気共鳴画像 (magnetic resonance imaging : MRI) 法により測定し、筋活動を検出した。

健康な成人男性3名を被験者として、臨床経験10年以上の理学療法士により、DanielsとWorthinghamのMMTに準じ、Borgの主観的運動強度15-17の前腕回外、回内、示指伸展の等尺性徒手抵抗運動を行った。運動の前後に0.2 T MRI装置を用い、マルチスライススピネコー法でT₂強調画像を撮像した。ImageJ 1.46rにより対象筋の信号強度の平均値と前腕外の空中の信号強度の標準偏差を求め、運動前後のコントラスト-雑音比が99.9%信頼区間 (3.3) よりも大きい場合を有意と判定した。

前腕回外運動により回外筋のT₂強調画像強度は静止筋の約1.7倍に、回内運動により円回内筋のT₂強調画像強度は静止筋の約1.8倍に、示指伸展運動により固有示指伸筋のT₂強調画像強度は静止筋の約1.8倍になり、3例とも有意に増強した。これら3筋以外の筋のT₂強調画像強度には、変化はみられなかった。

以上の結果より、回外筋、円回内筋、固有示指伸筋を主動筋とする前腕回外、回内および示指伸展の等尺性運動に際し、これら3筋のT₂強調画像強度が増強することが確認できた。さらに、その他の筋では信号強度に変化はみられなかった。T₂強調画像を用い、深層筋である回外筋と円回内筋、筋断面積の小さい固有示指伸筋の筋活動を確認することができた。T₂強調MRI法を用いれば、筋電図による測定が難しい筋のMMTについて、その運動方法を検討できると結論した。

【研究方法の妥当性】

本研究は獨協医科大学生命倫理委員会の承認を得て、被検者に研究の趣旨と目的を説明し、全員からインフォームド・コンセントを取得して実施しており、倫理的に問題はない。また、MMTの手法、MRI画像測定方法およびデータ解析手法は妥当なものである。

【研究結果の新奇性・独創性】

MMTを行う際の各関節運動の主動筋の多くは、筋電図法により確認されているが、T₂強調MRI法による報告は極めて少なく、新奇性がある。MRI測定用の前腕固定器具は、非磁性部材を用い自作したもので、運動前後で再現性の良いMRI画像が測定できる独創的な器具である。

【結論の妥当性】

申請論文では、筋電図学的に検証されている前腕回外、回内および示指伸展運動について、その主動筋をT₂強調MRI法により検出できる事を示し、T₂強調MRI法を用いれば、筋電図による測定が難しい筋のMMTについて、その運動方法を検討できると結論した。この結論は、論理的に矛盾するものではなく、また、運動機能学、筋生理学やMRIなど関連領域における知見を踏まえても妥当なものである。

【当該分野における位置付け】

MMTを行う際の各関節運動の主動筋の多くは、筋電図法により確認されているが、協力筋についての知見は乏しい。MRI法では前腕すべての筋活動を同時に観察することが可能であり、深層筋や筋断面積の小さな筋では、筋電図法よりもMRI法が有用である。副論文では、高い運動強度による協力筋の動員も観察している。主動筋や協力筋を確定し、適切な運動強度を選択できれば、より正確な運動方法でMMTを実施でき、運動器疾患の診断と治療に役立つと評価できる。

【申請者の研究能力】

申請者は、運動機能学、筋生理学やMRIについて学び、適切に本研究を遂行し、貴重な知見を得ている。その研究成果は当該領域の欧文誌への掲載が承認されており、また、現在も、筋電図による検証がなされていないMMTの筋動作解析を進めており、申請者の研究に対する能力と熱意は高いと評価できる。

【学位授与の可否】

本論文は、独創的手法で新奇性の高い研究結果を有しており、当該分野における貢献度も高い。よって、博士（医学）の学位論文にふさわしいと判定した。

（主論文公表誌）

The Journal of Physical Therapy Science

29 : 409-412, 2017