

学 位 論 文 題 名

MOMENT ARMS OF THE WRIST MOTORS AND
EXTRINSIC FINGER MOTORS AT THE WRIST

（手関節作動筋および外来手指作動筋の
手関節におけるモーメントアーム）

学位論文内容の要旨

1. 目 的

関節の運動はそれに作用する筋のベクトルの総和の結果として生じ、各筋のベクトルはその筋の筋力と回転軸からの距離、すなわち moment arm（以下 MA）により決定される。MA は筋腱と関節との空間的位置関係により決まり、大きな MA を有する筋腱はその関節の運動に対して力学的に大きな作用を有する。MA は力の伝達の上で重要な要素であり、それを測定することはそれぞれの筋の作用を把握するのに役立つばかりでなく、臨床的にも腱移行の際などに応用される。本実験の目的は手関節を交差する全ての腱の手関節における MA を測定することである。

2. 方 法

上腕中央部より切断した新鮮凍結の 5 上肢を使用した。解凍後、手関節の 5 cm 近位にて手関節を交差する 24 の全ての腱（手関節作動筋：6，母指作動筋；4，手指作動筋；14）を同定、筋腱移行部で切断し各腱の近位端に非伸展性のワイヤーを縫着した。全指の MP, IP 関節を Kirschner 鋼線を用い固定後、上肢を測定用フレームに設置した。設置後、手関節を他動的に掌背屈方向、橈尺屈方向に動かし、その際の各腱の滑走距離と手関節の回転角度を同時に、連続的に測定した。腱の滑走距離は腱に縫着したワイヤーを滑走距離測定用電位差計に連結させ、手関節の回転角度は手関節背側に装着した Biaxial Electrogoniometer を用い測定した。

MA は Radian concept を基に滑走距離（TE）の回転角度（ Φ ）に対する比； $dTE/d\Phi$ をもって表した。この比は滑走距離を縦軸、回転角度を横軸とした図表上において第 1 次多項式に

て得られた直線の傾きに相当する。掌背屈における MA の測定は手関節を20° 橈屈位、橈尺屈中間位、20° 尺屈位で固定した3つの肢位で行った。一方、橈尺屈における MA の測定は手関節掌背屈中間位、20°、40° 掌屈位、20°、40° 背屈位で固定した5つの肢位で行った。また測定は前腕を回内位、中間位、及び回外位に変化させた3つの固定肢位で行った。

3. 結 果

各腱に対して再現性のある MA の測定結果が得られた。

手関節作動筋

長橈側手根伸筋：掌背屈の MA は8.0–11.3mmであり、前腕回内位、手関節20° 橈屈位で最大値を示した。手関節中間位における橈尺屈の MA は17.5–19.0mmであった。

短橈側手根伸筋：掌背屈の MA は17.5–19.5mmであり、前腕回内位、手関節尺屈で値は減少し、橈屈位で増加した。手関節中間位における橈尺屈の MA は11.8–21.1mmであった。

尺側手根伸筋：掌背屈の MA は2.4–11.4mmであり、前腕と手関節の肢位により大きく変化した。すなわち回内位で減少、回外位で増大した。また、橈屈位で増大し、尺屈位で減少した。橈尺屈の MA は22.5–25.0mmと手関節主動筋の中で最大値を示した。

橈側手根屈筋：掌背屈の MA は12.7–17.4mmであり、前腕回内位で小さな値を示した。また、手関節橈屈位では他肢位に比し増加した。橈尺屈の MA は5.4–15.7mmであり、前腕の肢位により大きく変化した、回外位で著明に減少した。

尺側手根屈筋：掌背屈の MA は13.0–16.9mmであり、前腕回外位で増加する傾向がみられ、手関節の肢位による変化は少なかった。橈尺屈の MA は16.4–21.1mmであり、前腕回外位で大きな値を示した。

長掌筋：掌背屈の MA は14.8–19.3mmであり、手関節作動筋の中で最大であった。前腕回外位では回内位に比し値は増加した。橈尺屈の MA は0.8–3.2mmであり、橈屈筋として作動した。

外来母指作動筋

長母指伸筋：掌背屈の MA は小さく4.0–8.3mmであり、前腕回外位で減少した。橈尺屈の MA は15.3–17.9mmであり、前腕回外位では回内位に比し大きな値を示した。

長母指屈筋：掌背屈の MA は10.7–17.0mmであり、前腕回外位で増加し、回内位で減少した。手関節の肢位による変化は少なかった。橈尺屈の MA は0.9–3.0mmであった。

長母指外転筋：掌背屈の MA は4.8–8.3mmであり、手関節掌屈筋として作動し、その値は前腕回内位で減少した。橈尺屈の MA は21.7–23.6mmで、前腕回内位で大きな値を示した。

短母指伸筋：掌背屈の MA は1.6-5.4mmであり、手関節掌屈筋として作動していた。前腕回内位で小さな値を示した。橈尺屈の MA は23.6-25.3mmであった。

外来手指作動筋

手指伸筋腱の掌背屈の MA は12.4-18.5mmであった。中、環、小指の伸筋腱の MA は前腕回外位、手関節橈屈位で大きな値を示した。前腕、手関節中間位での橈尺屈の MA は、示指への伸筋腱は3.4-5.9mmで橈屈作動筋、中、環、小指への伸筋腱は1.4-16.5mmで尺屈作動筋として作用した。手指屈筋腱は伸筋腱に比し掌背屈の MA は小さく、浅指屈筋腱は深指屈筋腱より大きな値を示した。環指、小指の屈筋腱は尺屈作動筋として作用し、前腕回外位にてその作用は増大した。

4. 考 察

本実験の特徴の1つは手関節作動筋のみならず外来性の母指、手指作動筋を含め手関節を交差する全て腱の MA を測定したことである。その理由は、手関節を交差する腱は全て手関節の運動に関与し、その作用の大きさには各腱の手関節における MA の値が大きな影響を与えると考えられるためである。一方、手関節の運動は母指と手指の外来性作動筋の長さや緊張の関係に影響を及ぼし、その程度も各腱の手関節における MA によって決定される。

今回の測定結果から前腕と手関節の肢位の変化が各腱の MA に影響を与えることが判明した。このことは回転軸が一定とすると、肢位の変化により手関節に対して腱の空間的位置が変化することを意味している。前腕の肢位を変化させた場合、前腕の回旋運動に伴う前腕筋の走行の変化が腱の手関節における位置に影響を及ぼす。しかし、その程度は腱の走行を制御する腱周囲の解剖学的構築により異なってくる。また、前腕の回旋運動に伴い尺骨頭は橈骨遠位端に対し掌背方向に移動する。そのため尺骨頭に固定された位置関係にある尺側手根伸筋腱は回内位に比し回外位で大きな掌背屈の MA を有していた。

一般に手関節が橈屈するに従い舟状骨は屈曲し、尺屈時に伸展する。尺側において三角骨は手関節橈屈時に背外側に移動し、尺屈時に掌側に移動する。これらの手根骨の動きはその手根骨の直上、近位を走行する腱の位置を変化させると考えられる。すなわち、理論上これら手根骨の動きにより橈側手根屈筋、尺側手根伸筋は手関節橈屈時に、尺側手根屈筋は尺屈時に大きな掌背屈の MA を有することになる。今回の測定結果はこれらの推測と一致しており、手関節の肢位を変えた場合の MA の変化は手関節の運動に伴う手根骨の移動により生じているものと考えられた。

大きな MA を有する腱はその関節の運動に対して力学的に有効に作用すると考えられる。その意味で今回の実験により得られた測定結果は各筋腱の手関節運動に及ぼす効果を明らかにしたものであり、手関節の生体力学的研究および臨床的応用に寄与すると思われる。

5. 結 語

1. 手関節を交差する全ての腱の手関節掌背屈運動と橈尺屈運動における moment arm を測定した。
2. 再現性のある測定結果が得られ、各腱の moment arm は前腕と手関節の肢位により変化した。
3. 手関節の肢位を変化させた場合の moment arm の変化には手関節の運動に伴う手根骨の移動が影響を与えているものと考えられた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 田 清 志
副 査 教 授 大 浦 武 彦
副 査 教 授 井 上 芳 郎

目的：関節の運動はそれに作用する筋のベクトルの総和の結果として生じ、筋のベクトルは筋の筋力と回転軸からの距離、すなわち moment arm（以下 MA）により決定される。MA は力の伝達の上で重要な要素であり、大きな MA を有する筋は関節の運動に対して力学的に大きな作用を有する。MA の測定はそれぞれの筋の作用を把握するのに役立つばかりでなく、臨床的にも腱移行の際などに応用される。本研究の目的は手関節を交差する全ての筋、すなわち手関節作動筋、母指作動筋、手指作動筋の手関節における MA を測定することである。

実験方法：上腕中央部より切断した新鮮凍結の 5 上肢を使用した。手関節の 5 cm 近位にて手関節を交差する 24 の全ての腱を同定、筋腱移行部で切断し各腱の近位端の非伸展性のワイヤーを縫着した。上肢を測定用フレームに設置し、手関節を他動的に掌背屈方向、橈尺屈方向に動かし、その際の各腱の滑走距離と手関節の回転角度を同時に、連続的に測定した。腱の滑走距離は、腱に縫着したワイヤーを滑走距離測定用電位差計に連結させ、手関節の回転角度は手関節背側に装着

した 2 軸性電位角度計を用い測定した。MA は Radian concept を基に滑走距離の回転角度に対する比をもって表した。この比は滑走距離を縦軸、回転角度を横軸とした図表上において第 1 次多項式にて得られた直線の傾きに相当する。掌背屈における測定は手関節を 3 つの異なる橈尺屈位で固定し、一方、橈尺屈における測定は 5 つの異なる掌背屈位で固定し行った。また測定は前腕を回内位、中間位、及び回外位に変化させた 3 つの固定肢位で行った。

結果および考察：各腱に対して再現性のある MA の測定結果が得られた。手関節掌背屈、橈尺屈における MA の値と、これらの数値を基に縦軸に掌背屈の MA を、横軸に橈尺屈の MA を配置し、各腱の回旋中心からの位置を表した。長橈側手根伸筋は短橈側手根伸筋に比し、背屈では小さい、橈屈では大きな値を示し作用の差異を示唆した。尺側手根伸筋は手関節作動筋群中、掌背屈では最小、橈尺屈では最大の値を有し、主な作用は手関節尺屈であることを示した。橈側手根屈筋、尺側手根屈筋はそれぞれ橈屈、尺屈として有効に作動し、掌屈筋としても大きな作用を有していた。

長母指外転筋、短母指伸筋は伸筋群に分類されているが、手関節に対しては屈筋として作用し、手関節橈屈にも大きな作用を有していた。長母指屈筋は手関節掌曲に作用するが、橈尺屈への作用は小さかった。

手指伸筋、手指屈筋はそれぞれ手関節背屈、屈曲に大きな MA を有し、掌背屈に有効に作用していた。前腕中間位では、示指より尺側に位置する手指筋は手関節尺曲に作用していた。

前腕の肢位を変えることにより各腱の掌背屈、橈尺屈の MA は変化した。前腕の肢位の各腱の MA に影響を与える要因としては、前腕の回旋運動に伴う前腕筋の走行方向の変化と、尺骨の橈骨に対する位置関係の変化が考えられる。上腕骨内上顆に起始をもつ屈筋群は前腕が回内位では前腕長軸にほぼ平行に走行するが、回外位では前腕を斜走し、その牽引力は尺側に向かうベクトルを生じ、手関節部において腱は尺側に移動し、手関節の回旋中心からの距離が変化する。一方、上腕骨外上顆に起始を持つ伸筋群では逆の現象がみられる。また、尺骨頭は前腕の回旋に伴い橈骨に対し掌背側方向に移動する。このため尺骨頭と固定された位置関係にある尺側手根伸筋の回旋中心からの距離が変化する。今回の測定結果を検討すると前腕の肢位による MA の変化はこれらの現象と一致するものだった。

さらに手関節の肢位によっても各腱の MA に変化がみられ、これは手関節の運動に伴う手根骨の移動により生じているものと考えられた。

本実験の特徴の 1 つは手関節作動筋のみならず外来性の母指、手指作動筋を含め手関節を交差する全て腱の MA を測定したことである。その理由は、手関節を交差する腱は全て手関節の運

動に関与し、その作用の大きさには各腱の手関節における MA の値が大きな影響を与えると考えられるためである。一方、手関節の運動は母指と手指の外来性作動筋の長さと緊張の関係に影響を及ぼし、その程度も各腱の手関節における MA によって決定される。

本研究は、手関節を交差する全ての腱の手関節掌背屈運動、橈尺屈運動における MA を測定することにより各筋の手関節運動に及ぼす効果を明らかにしたものであり、博士の学位に値するものと認定された。