

学位論文題名

FEASIBILITY OF USING A MAGNETIC TRACKING DEVICE FOR MEASURING CARPAL KINEMATICS

(手根骨の運動解析方法としての Magnetic tracking device の有用性について)

学位論文内容の要旨

[目的]

近年、手関節の運動機能としての各手根骨の運動解析は盛んに行われるようになってきた。特に、手根不安定症の概念の導入にともない、正常ならびに靭帯損傷あるいは骨折後の手根骨運動の変化が新鮮屍体を用い、詳細に解明されてきている。

Biplanar Radiography法は手根骨の運動解析方法としてこれまで一般的に用いられ、最も正確であると考えられてきた。しかし、本法は小さな各手根骨に最低3個のmetal markerを埋める必要があり、また得られた2方向X線よりmetal markerをdigitizeするため、非常に作業が繁雑であり、膨大な時間を要する。さらに大きな欠点として動的運動解析が不可能であることが挙げられる。一方、Magnetic tracking deviceは近年、種々の関節の運動解析の手段として盛んに用いられるようになってきた。本法はmagnetic sourceが作り出す磁場の中で運動するmagnetic sensorを3次的に解析するものである。より簡便で応用範囲が広く、また動的かつ連続的な運動解析が可能であることより、手根骨の運動解析にも用いられ始めている。しかし手根骨は非常に小さく、構造的に複雑であるため実際の手根骨の運動解析に用いた場合の精度については報告がなく不明である。今回新鮮凍結屍体を用い、Biplanar radiographyとMagnetic tracking deviceにて手根骨運動解析を行い、両法を比較することによりMagnetic tracking deviceの有用性とその問題点について検討した。

[方法]

新鮮凍結屍体5体を用いた。室温にて解凍後、回内外中間位で前腕部を切断、手指はMP関節にて離断した。月状骨、舟状骨、第3中手骨、橈骨遠位を靭帯を損傷しないように最小限の侵襲にて展開した。Magnetic tracking deviceによる解析のために直径2.2mmのplexiglass rodを骨内に刺入した。刺入したrodの先端にmagnetic sourceを取り付けた。magnetic sourceは実験台に固定した。一方、Biplanar radiography法として、同じ屍体の月状骨、舟状骨、第3中手骨、橈骨遠位の骨内に各々4個のmetal markerを埋め込んだ。屍体を実験台に固定し、特製の角度計を用い、手関節中間位、屈曲30°、屈曲60°、伸展15°、伸展30°、橈屈15°、尺屈15°、尺屈30°の8つの手関節の位置を定めた。以上の手関節の位置は第3中手骨髓内に挿入したplexiglass rodを角度計の溝に合わせることににより定め、両法による解析に際し、同じ手関節の位置が再現されるようにし

た。まず Magnetic tracking device により上述した8つの手関節の位置にて解析を行った。次いで、Biplanar radiography 法にて同様の手関節の位置にて解析を行った。両法の比較方法として screw displacement axis (SDA) を用いた。すなわち、中間位より屈曲 30° 、屈曲 $30-60^{\circ}$ 、中間位より伸展 15° 、伸展 $15-30^{\circ}$ 、中間位より橈屈 15° 、中間位より尺屈 15° 、尺屈 $15-30^{\circ}$ での月状骨、舟状骨、第3中手骨の運動を SDA (x, y, z 座標系)の位置および SDA 周囲の回転角度で表わし、比較した。

[結果]

SDA周囲の回転角度の両法による相違は第3中手骨で平均 0.1° ($-3.0 - 5.9^{\circ}$)であり、すべての手関節運動において有意な差は認めなかった。

月状骨では平均 0.3° ($-4.3 - 4.2^{\circ}$)であり、両法による相違は小さく、ほとんどの手関節運動にて有意な差を認めなかった。しかし、中間位より伸展 15° での月状骨の回転角度の相違は平均 2° であり、Magnetic tracking device 法にて値は小さかった。さらに尺屈 15° より尺屈 30° での相違も平均 1.6° と有意にMagnetic tracking device では値が小さかった。Magnetic tracking device による月状骨の回転角度は手関節橈尺屈による影響を受け、Biplanar radiography法に比し、橈屈では大きく、尺屈では小さく評価された。

舟状骨の回転角度の相違は $-4.1 - 7.2^{\circ}$ と第3中手骨、月状骨に比し、大きかったが、両法による差は中間位より伸展 15° においてのみ 2.0° と有意であり、Magnetic tracking deviceによる値はBiplanar法に比し、小さかった。

SDAの位置の両法による相違はほとんどなかった。

[考察]

両法による手根骨運動解析の相違は非常に小さく、Magnetic tracking device の手根骨運動解析における有用性が証明された。しかし、中間位より伸展 15° での月状骨、舟状骨運動、さらに橈尺屈での月状骨運動にて有意差を認めた。上記手関節運動における月状骨、舟状骨の運動方向は主に伸展であり、その原因として2つの要因が考えられた。一つは magnetic sensor の重量 (17g) と sensor を取り付けるために手根骨に刺入した rod の長さにより moment arm が働き手根骨骨運動に影響を与えたことと、背側より刺入した rod 自体が背側の関節包、靭帯と接触し、手根骨運動を制限した可能性が考えられた。従って、周囲軟部組織との接触を抑えるため、使用する rod は可及的に細く、また生じる moment arm を最小限とするため、短くすることが重要であると考えられた。

Magnetic tracking device はこれまでのBiplanar radiography法では不可能であった動的運動解析が可能であり、今後手根骨の運動解析に用いることにより、さらに詳細な正常および病的手関節運動の解明が期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 安 田 和 則
副 査 教 授 金 田 清 志
副 査 教 授 井 上 芳 郎

学 位 論 文 題 名

FEASIBILITY OF USING A MAGNETIC TRACKING DEVICE FOR MEASURING CARPAL KINEMATICS

(手根骨の運動解析方法としてのMagnetic tracking deviceの有用性について)

Biplanar Radiography法は手根骨の運動解析方法としてこれまで一般的に用いられ、最も正確であると考えられてきた。しかし、本法は小さな各手根骨に最低3個のmetal markerを埋め、X線2方向撮影よりmetal markerをdigitizeするため、非常に作業が繁雑であり、膨大な時間を要した。また動的運動解析が不可能であることが欠点であった。一方、Magnetic tracking deviceはmagnetic sourceが作り出す磁界の中で運動するmagnetic sensorを3次元的に解析するものである。より簡便で応用範囲が広く、また動的かつ連続的な運動解析が可能であることより、手根骨の運動解析での応用が期待されている。しかし手根骨の運動解析に用いた場合の精度については報告がなく不明であった。本研究の目的は、手根骨の運動解析方法としてのMagnetic tracking deviceの有用性を従来用いられてきたBiplanar radiography法と比較することにより明らかにすることである。

新鮮凍結屍体5体を用いた。室温にて解凍後、月状骨、舟状骨、第3中手骨を靭帯を損傷しないように最小限の侵襲にて展開した。Magnetic tracking deviceによる解析のために直径2.2 mmのplexiglass rodを各骨内に刺入した。刺入したrodの先端にmagnetic sourceを取り付けた。magnetic sourceは実験台に固定した。一方、Biplanar radiography法として、同じ屍体の月状骨、舟状骨、第3中手骨の骨内に各々4個のmetal markerを埋め込んだ。屍体を実験台に固定し、特製の角度計を用い、中間位より屈曲30°、屈曲30-60°、中間位より伸展15°、伸展15-30°、中間位より橈屈15°、中間位より尺屈15°、尺屈15-30°での月状骨、舟状骨、第3中手骨の運動をSDAの方向(x, y, z座標系)およびSDA周囲の回転角度で表わし、比較した。

SDA周囲の回転角度の両法による相違は第3中手骨で平均-0.6-1.2°であり、すべての手関節運動において有意な差は認めなかった。月状骨では最大で平均2°であり、両法による相違は小さく、ほとんどの手関節運動にて有意な差を認めなかった。しかし中間位より伸展15°と尺屈15°より尺屈30°にて有意にMagnetic tracking deviceでは値が小さかった。舟状骨での

相違も最大で平均2°と小さかった。しかし中間位より伸展15°においてのみ有意であり、Magnetic tracking deviceによる値はBiplanar法に比し、小さかった。SDAの位置の両法による相違はほとんどなかった。

両法による手根骨運動解析の相違は非常に小さく、Magnetic tracking deviceの手根骨運動解析における有用性が証明された。しかし、中間位より伸展15°での月状骨、舟状骨運動、さらに橈尺屈での月状骨運動にて有意差を認めた。上記手関節運動における月状骨、舟状骨の運動方向は主に伸展であり、その原因としてmagnetic sensorの重量(17g)とsensorを取り付けるために手根骨に刺入したrodの長さによりmoment armが働き手根骨運動に影響を与えたことと、背側より刺入したrod自体が背側の関節包、靭帯と接触し、手根骨運動を制限した可能性が考えられた。従って、使用するrodは可及的に細く、また生じるmoment armを最小限とするため、短くすることが重要であると考えられた。

Magnetic tracking deviceはこれまでのBiplanar radiography法では不可能であった動的運動解析が可能であり、今後複雑な手根骨の運動解析に用いることにより、さらに詳細な正常および病的手関節運動の解明が期待される。

公開発表に際し、副査の井上教授からセンサーの装着方法、測定対象とした手根骨の選択理由、および比較対象の是非について、副査の金田教授からセンサーの骨への装着が正常の運動に与える諸問題について、主査の安田教授より測定原理、固定装置および複数のセンサーが磁界に与える影響、運動の再現性、実際の応用における具体的有用性について、整形外科加藤博之助手よりMagnetic法による計測可能な可動範囲と運動解析の際のscrew displacement axisに沿う転位の結果についての質問があった。質問があった。申請者は何れに対しても研究成果と文献を応用し、妥当な回答を行った。

本研究は、近年臨床的重要性が認識されている手根骨の運動解析を行うための手段としてのMagnetic tracking deviceの有用性を示した初めてのものであり、今後この研究を基に手関節運動が動的に解明されることが期待される。

審査委員一同はこれらの成果を高く評価し、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が博士(医学)の学位を受けるのに十分な資格を有すると判定した。