



The quantitative evaluation of anterior drawer test using an electromagnetic measurement system

片岡, 君成

(Degree)

博士（医学）

(Date of Degree)

2024-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8877号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100490102>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(課程博士関係)

学 位 論 文 の 内 容 要 旨

The quantitative evaluation of anterior drawer test using
an electromagnetic measurement system

電磁気計測システムを用いた前方引き出しテストの定量的評価

神戸大学大学院医学研究科医科学専攻

整形外科学

(指導教員：黒田 良祐教授)

片岡 君成

【目的】

足関節捻挫はスポーツ外傷として一般的であり、全筋骨格系損傷の 20%を占めるとされる。足関節捻挫の大部分は内がえし損傷により足関節外側靭帯損傷を引き起こす。通常、非手術療法が選択されるが、足関節捻挫の 20-40%が慢性足関節外側不安定症に至ると報告されている。前方引き出しテスト (ADT) は、足関節の前方弛緩性を評価するための最も一般的な徒手検査である。しかし、ADT は検者の主観的評価に基づくため、異なる検者間で結果を比較することや、わずかな差異を検出することが困難である。ADT に代替する定量的評価法としてはストレス X 線検査があるが、放射線被曝などの問題がある。最近では、電磁気計測システム (EMS) が膝関節を含む様々な関節運動を非侵襲的に評価するために適用され、足関節に応用し ADT を定量的に評価できる可能性がある。

そこで本研究の目的は、EMS を用いた ADT の定量的評価を X 線検査と比較、検証し、また、その精度と再現性を評価することとした。

【方法】

EMS には 4 つのセンサーを使用し、2 つは下腿、1 つは足部に固定し、4 つ目のセンサーを用いて固定されたセンサーに対する下腿および足部の骨性ランドマークの 3 次元的位置を投影した。これらの 3 次元的位置を用いて、下腿と足部を 2 つの剛体として認識させ、足関節の 6 自由度座標系を設定した。座標系のうち、ADT 時の下腿に対する足部の前方移動量を評価値として計測した。

X 線検査では X 線透視装置を用いて足関節側面像を捉え、ADT 時の脛骨後方骨皮質後縁に対する距骨後縁の前方移動量を評価値として計測した。

健常ボランティア 4 名 6 足を EMS を用いた計測と X 線による計測との比較に用いた。検者 1 名が各足 5 回 ADT を行い、EMS と X 線透視装置で同時に定量的評価を行った。

また、他の健常ボランティア 10 名 20 足 (15 足に足関節捻挫の既往あり) を EMS を用いた ADT 計測の精度と再現性の評価に用いた。検者 3 名が各足 5 回 ADT を行い、EMS を用いて前方移動量を計測し、検者内および検者間再現性を Interclass Correlation Coefficient (ICC) にて評価した。

EMS と X 線検査の相関関係は Pearson 相関係数を用いて評価し、ICC は 0.75 以上 0.90 未満を good、0.90 以上を excellent と評価すると事前に決定した。

【結果】

EMS を用いた ADT 計測と X 線検査の相関関係

ADT 時の前方移動量の平均は EMS $8.1 \pm 5.7\text{mm}$ 、X 線検査 $3.6 \pm 2.4\text{mm}$ であった。EMS および X 線検査を用いた ADT 時の前方移動量には有意な正の相関関係を認め ($p<0.01$)、相関係数は 0.91 であった。

EMS を用いた ADT 計測の検者内および検者間再現性

検者 3 名における ADT 時の前方移動量の平均は $5.0 \pm 2.2\text{mm}$ 、 $5.7 \pm 2.7\text{mm}$ 、 $5.2 \pm 2.7\text{mm}$ であった。検者内再現性の ICC は 0.99 で excellent、検者間再現性の ICC は 0.89 で good であった。さらに、足関節捻挫の既往の有無で前方移動量を比較すると、既往あり群で $6.4 \pm 2.2\text{mm}$ 、既往なし群で $2.7 \pm 1.8\text{mm}$ で有意差を認めた ($p<0.001$)。

【考察】

本研究により、EMS および X 線を用いて計測した ADT 時の足関節の前方移動量には強い正の相関関係があることが示された。また、EMS を用いた ADT 時の足関節の前方移動量の計測は高い検者内および検者間信頼性が得られた。以上より、EMS を用いることで ADT を非侵襲的に定量評価でき、臨床現場で広く用いられる可能性が示唆された。

ADT は足関節捻挫後の足関節不安定性を評価する最も一般的な徒手検査であるが、屍体研究では、外側靭帯損傷が距骨の前方移動量に与える影響は $2\text{-}4\text{mm}$ しかなく、これは徒手検査では検出困難であると考えられる。また、外側靭帯損傷の 28% は ADT で検出されなかつたという報告もある。したがって、このような小さな差異も検出できる ADT の定量的評価の確立が望ましい。我々の使用した EMS の計測精度は $0.20\text{-}0.76\text{mm}$ とされ、このような小さな差異も十分検出可能であると考えられた。本研究において、EMS を用いた ADT の定量的評価にて足関節既往の有無による前方移動量の有意差が検出できたことから、EMS は外側靭帯損傷の有用な診断ツールとなり得ると示唆された。

一方で、ストレス X 線検査は足関節前方弛緩性の確立された定量的評価方法として知られる。しかしながら、放射線被曝や機械的ストレス付与による疼痛発生、それに対する防御反応での計測値への影響等が懸念される。最近では、超音波検査による定量的評価も注目されているが、超音波検査は検査の正確性が検者の技術的な習熟度に依存し、また、必ずしも関節運動全体を反映しない可能性がある。EMS は非侵襲的で汎用性が高く、高い検者内および検者間信頼性があり、関節全体の動きを 6 自由度で評価できるという点で既存の定量的評価法に代替できると考えられた。

本研究は、足関節運動における EMS による定量的評価の有用性を研究したものであるが、EMS は X 線検査と同等の定量的評価を提供し、高い精度と再現性が確認できた。足関節運動の定量的評価に EMS を応用することは、臨床診断と治療成績を向上させる大きな潜在的可能性を持っており、将来的な臨床研究と実臨床への応用が期待される。

神戸大学大学院医学(系)研究科（博士課程）

論文審査の結果の要旨			
受付番号	甲 第 3372 号	氏名	片岡 君成
論文題目 Title of Dissertation	<p>電磁気計測システムを用いた前方引き出しテストの定量的評価 The quantitative evaluation of anterior drawer test using an electromagnetic measurement system</p>		
審査委員 Examiner	<p>主査 片岡 壽 Chief Examiner 副査 保山 隆司 Vice-examiner 副査 関田 健次 Vice-examiner</p>		

(要旨は1,000字～2,000字程度)

[背景]

足関節捻挫は一般的なスポーツ外傷であり、前方引き出しテスト (ADT) は足関節捻挫の診断に用いられる徒手検査として gold standard とされる。しかし、ADT は検査医の主観的評価に基づくため、定量的評価法の開発が求められている。現在用いられている ADT の定量的評価方法としてはストレス X 線検査が挙げられるが、放射線被曝や検査時のストレスによる計測値への影響などが問題となっている。今回、研究者らは様々な関節運動の評価に用いられている電磁気計測システム (EMS) を ADT の定量的評価に応用し、X 線検査による評価と比較し、また、EMS による計測の再現性も評価した。

[方法]

健常ボランティア 4 名 6 足を用い、EMS を用いた ADT 計測と X 線検査との比較を行った。また、他の健常ボランティア 10 名 20 足 (15 足に足関節捻挫の既往あり) を用い、EMS を用いた ADT 計測の検者 3 名による検者内および検者間再現性を Interclass Correlation Coefficient (ICC) にて評価した。

EMS は下腿および足部に固定した 3 つの電磁気センサーに対する、周辺の骨性ランドマークの 3 次元的位置を、4 つ目のセンサーを使用し投影した。これにより、下腿と足部をそれぞれ剛体として仮想的に認識し、足関節の座標系を設定した。定量的評価値は ADT 時の下腿に対する足部の前方移動量として計算した。ストレス X 線検査では X 線透視装置を用いて足関節側面像を撮影し、定量的評価値は ADT 時の脛骨に対する距骨の前方移動量として計測した。

Pearson 相関係数を用いて EMS と X 線検査の相関関係を評価し、ICC の評価は 0.75 以上 0.90 未満を good、0.90 以上を excellent とすると事前に決定した。

[結果]

EMS を用いた ADT 計測と X 線検査の相関関係:

EMS および X 線検査を用いた ADT の前方移動量には有意な正の相関関係を認めた ($p<0.01$ 、相関係数 0.91)。

EMS を用いた ADT 計測の検者内および検者間再現性 :

検者 3 名による検者内再現性の ICC は 0.99 で excellent、検者間再現性の ICC は 0.89 で good であった。また、足関節捻挫の既往の有無での比較では、既往あり $6.4\pm2.2\text{mm}$ 、既往なし $2.7\pm1.8\text{mm}$ で有意差を認めた ($p<0.001$)。

[考察および結論]

本研究により、EMS を用いた ADT の前方移動量の定量的評価と X 線検査との間には強い正の相関関係があることが示された。また、EMS を用いた ADT の前方移動量の計測では、検者内および検者間ともに高い信頼性が得られた。さらに、足関節捻挫の既往の有無による前方移動量の有意差も検出することが可能であった。以上から、EMS を用いた ADT の定量的評価は、足関節捻挫の有用な診断ツールである可能性が示唆された。

ADT の定量的評価方法としてはストレス X 線検査が確立された方法とされているが、放射線被曝が臨床現場での使用を制限し、検査時のストレスによる痛みが計測値に影響する。また、超音波検査が新たな定量的評価方法として注目されているが、超音波検査の正確性は技術的な習熟度に高く依存する。EMS は非侵襲的で、高い再現性が得られるという点で、これらの定量的評価方法の代替方法となり得ると考えられた。

本研究は、研究者らが開発した EMS による ADT の定量的評価の有用性を研究したものであるが、EMS によって X 線検査に等しい定量的評価および高い精度と再現性が得られることを初めて証明した報告である。足関節運動の EMS を用いた定量的評価法は、今後の研究や臨床への適用が期待できる点で価値ある業績であると認める。よって、本研究者は、博士（医学）の学位を得る資格があると認める。