Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-04

The Use of an Electromagnetic Measurement System for Anterior Tibial Displacement during the Lachman Test

荒木，大輔

(Degree)
博士（医学）
(Date of Degree)
2011-03-25
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲5199
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005199

※ 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。

氏　　名	荒木　大輔
博士の専攻分野の名称	博士（医学）
学 位 記 番 号	博い第 5199 号
学位授与の 要 件	学位規則第 5 条第 1 項該当
学位授与の 日 付	平成 23 年 3 月 25 日

【 学位論文題目 】

The Use of an Electromagnetic Measurement System for Anterior Tibial Displacement during the Lachman Test(三次元電磁気センサーを用いた Lachman test の定量的計測～KT-1000 及び X 線学的計測との比較～)

審 査 委 員

主 査　教 授　田原　真也
　　教 授　前川　信博
　　教 授　上野　易弘

（課程博士関係）

学位論文の内容要旨

The Use of an Electromagnetic Measurement System for Anterior Tibial Displacement during the Lachman Test

三次元電磁気センサーを用いたLachman testの定量的計測

~KT-1000及びX線学的計測との比較~

神戸大学大学院医学系研究科医科学専攻
整形外科学
（指導教員：黒坂　昌弘　教授）

荒　木　　大　輔

【目的】

膝前十字靭帯(以下ACL)損傷に対する最も鋭敏な徒手検査法としてLachman testが幅広く用いられている。しかしこの検査法は検者の主観的評価の為定量的な評価が困難であるという問題が提唱されてきた。この問題を克服するため、膝関節不安定性を定量的に評価する方法として様々な計測機器が開発され臨床応用されているが、中でもKT-1000 arthrometerが最も使用されている。この機器は高い信頼性と再現性が報告される反面、近年その測定方法から本来の膝関節不安定性を評価できていない、再現性が得られないなどの報告も散見される。

今回我々は三次元電磁気センサーを用いてLachman testを行い、当科にて開発したsoft wareを用いて解析することによりLachman test時の脛骨前方移動量の定量化を試みた。また、その妥当性についてX線透視像を用いて同様に施行したLachman test時の脛骨前方移動量、KT-1000 arthrometerでの前方移動量との関係を比較検討した。

【方法】

41人82膝(ACL不全膝30膝、対側ACL健常膝41膝、ACL再建膝11膝)に対し、全身麻酔下に①三次元電磁気センサー装着下にLachman test、②X線透視下にLachman test、③KT-1000 arthrometerでの計測を行い、それぞれの脛骨前方移動量を比較検討した。

① 三次元電磁気センサーでの計測

我々が開発した計測方法は、三次元電磁気センサーを使用し、Groodらにより提唱された膝関節6自由度座標系を構築して膝関節前後移動量を非侵襲的に計測する方法である。このシステムは電磁場を発生するトランスミッター、その位置情報を記録するセンサー、解剖学的参照点を入力するスタイラス、及びデータ取得・解析用のコンピューターから構成されている。大腿部及び下腿部に装着したブレース上にそれぞれセンサーを設置し、大腿部3ヶ所、下腿部4か所の解剖学的参照点の位置情報をスタイラスにて入力することで、大腿骨・脛骨それぞれの三次元座標軸を設定した。各センサーは、位置、姿勢情報を出力できるため、6自由度での大腿骨、脛骨間の相対運動を計算する事が可能である。

このシステムを被験者に装着し、Lachman testを連続して5回施行。1回目と5回目の計測データは外れ値として除外し、2～4回目の計測データの中央値を前後移動量として採用した。

② X線透視下での計測

X線透視下にLachman testを行い、最大前方引き出し像及び最大後方押し込み像の2画像を抽出。Blumensaat's line前縁点から脛骨高原前後軸への垂線との交点間の距離を測定し、前後移動量として採用した。また、透視による拡大率を補正するため、脛骨粗面上にφ9.6mm金属球を設置した。計測はLachman testを連続して5回施行。1回目と5回目の計測データは外れ値として除外し、2～4回目の計測データの中央値を前後移動量

として採用した。

③ KT-1000 arthrometer での計測

Daniel らにより提唱された方法により KT-1000 arthrometer を下腿に装着。Manual Maximum Force にて前方移動量を計測した。計測は連続して 5 回施行。1 回目と 5 回目の計測データは外れ値として除外し、2～4 回目の計測データの中央値を前後移動量として採用した。

検者間誤差を除外するため、計測はすべて同一検者により施行し、計測時の膝屈曲角度を 15 度に設定した。統計処理は各群間の前方移動量に対して One-way ANOVA を、post-hoc test には Fisher's PLSD を用いた。また、各群間の相関関係に対して Pearson's correlation coefficient を用いた。

【結果】

各群の前方移動量は ACL 不全膝では①22.4 ± 0.8 (平均±標準誤差) mm (95%信頼区間; 20.8 - 24.0 mm)、②22.0 ± 0.7 mm (20.6 – 23.5 mm)、③15.0 ± 0.6 mm (13.9 – 16.2 mm)、ACL 健常膝では①15.7 ± 0.6 mm (14.5 – 16.8 mm)、②15.6 ± 0.5 mm (14.6 – 16.6 mm)、③9.9 ± 0.4 mm (9.2 – 10.6 mm)、ACL 再建膝では①15.7 ± 0.7 mm (14.2 – 17.1 mm)、②16.2 ± 0.8 mm (14.7 – 17.6 mm)、③11.2 ± 0.6 mm (10.0 – 12.3 mm)であった。ACL 不全膝、健常膝、再建膝のすべての条件において①-③間、②-③間に有意差を認めたが($P<0.01$)、①-②間には有意差を認めなかった (ACL 不全膝: $P=0.73$, ACL 健常膝: $P=0.92$, ACL 再建膝: $P=0.64$)。

各群の相関関係は、①-③間は強い相関関係を示し ($r=0.64$, $P<0.01$)、②-③間も強い相関関係を示したが ($r=0.62$, $P<0.01$)、①-②間は極めて強い相関関係を示した ($r=0.96$, $P<0.01$)。

【考察】

Lachman test は ACL 損傷を鋭敏に検出する徒手検査として最も感度の高い検査法であるとされている。しかしながらこの検査法は検者の主観的評価のため、定量的化が困難であり、膝関節前方不安定性を定量的に評価するために様々な研究が報告されてきた。

Lerat らは Stress X-p を撮影し内側コンパートメント、外側コンパートメントそれぞれの前方移動量を定量化している。また、Logan らは MRI 下に Lachman test を施行して前方移動量を定量化している。しかしながらこれらの方法を日常診療において施行するのは困難であり、我々の提唱する計測方法では診療現場において簡便に計測可能である。また、石橋らは Navigation system を用いて Lachman test を施行し、前後移動量を定量化しているが、計測にはマーカーを直接大腿骨・脛骨に刺入しなければないため術中のみ計測可能であり、我々の提唱する方法では非侵襲的に計測可能である。

今回我々は非侵襲的かつ簡便に膝関節前後移動量を計測するため、三次元電磁気センサーを用いた計測機器を使用した。この方法での前後移動量は、ACL 不全、健常、再建すべての状態において本来の骨の動きを反映するとされる X 線学的計測と有意差を認めず、また非常に強い相関関係を示した。しかし、従来膝関節不安定性定量的評価に用いられてきた KT-1000 での計測値とは有意に大きな値を示し、相関関係もこれらの計測方法よりは弱い相関であった。このことから、我々の提唱する計測方法は本来の骨の動きを鋭敏に反映し、定量化が可能であることが示唆された。

【結論】Lachman test 時の脛骨前後移動量は、三次元電磁気センサーを用いて定量的に計測することが可能であり、この計測値は X 線学的計測値と非常に強い相関を認めた。

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 2166 号	氏 名	荒木 大輔
論文題目 Title of Dissertation	The Use of an Electromagnetic Measurement System for Anterior Tibial Displacement during the Lachman Test 三次元電磁気センサーを用いた Lachman test の定量的計測 ～KT-1000 及び X 線学的計測との比較～		
審査委員 Examiner	主 査 Chief Examiner 副 査 Vice-examiner 副 査 Vice-examiner	田原真也 前川信博 上野昌弘	

（要旨は１，０００字～２，０００字程度）

【目的】

膝前十字靭帯(以下 ACL)損傷に対する最も鋭敏な徒手検査法として Lachman test が幅広く用いられている。しかしこの検査法は検者の主観的評価の為定量的な評価が困難であるという問題が提唱されてきた。この問題を克服するため、膝関節不安定性を定量的に評価する方法として様々な計測機器が開発され臨床応用されているが、中でも KT-1000 arthrometer が最も使用されている。この機器は高い信頼性と再現性が報告される反面、近年その測定方法から本来の膝関節不安定性を評価できていない、再現性が得られないなどの報告も散見される。

今回我々は三次元電磁気センサーを用いて Lachman test を行い、当科にて開発した soft ware を用いて解析することにより Lachman test 時の脛骨前方移動量の定量化を試みた。また、その妥当性について X 線透視像を用いて同様に施行した Lachman test 時の脛骨前方移動量、KT-1000 arthrometer での前方移動量との関係を比較検討した。

【方法】

41 人 82 膝(ACL 不全膝 30 膝、対側 ACL 健常膝 41 膝、ACL 再建膝 11 膝)に対し、全身麻酔下に①三次元電磁気センサー装着下に Lachman test、②X 線透視下に Lachman test、③KT-1000 arthrometer での計測を行い、それぞれの脛骨前方移動量を比較検討した。

① 三次元電磁気センサーでの計測

我々が開発した計測方法は、三次元電磁気センサーを使用し、Grood らにより提唱された膝関節 6 自由度座標系を構築して膝関節前後移動量を非侵襲的に計測する方法である。このシステムは電磁場を発生するトランスミッター、その位置情報を記録するセンサー、解剖学的参照点を入力するスタイラス、及びデータ取得・解析用のコンピューターから構成されている。大腿部及び下腿部に装着したブレース上にそれぞれセンサーを設置し、大腿部 3 ヶ所、下腿部 4 か所の解剖学的参照点の位置情報をスタイラスにて入力することで、大腿骨・脛骨それぞれの三次元座標軸を設定した。各センサーは、位置、姿勢情報を出力できるため、6 自由度での大腿骨、脛骨間の相対運動を計算する事が可能である。

このシステムを被験者に装着し、Lachman test を連続して 5 回施行。1 回目と 5 回目の計測データは外れ値として除外し、2～4 回目の計測データの中央値を前後移動量として採用した。

② X 線透視下での計測

X 線透視下に Lachman test を行い、最大前方引き出し像及び最大後方押し込み像の 2 画像を抽出。Blumensaat's line 前縁点から脛骨高原前後軸への垂線との交点間の距離を測定し、前後移動量として採用した。また、透視による拡大率を補正するため、脛骨粗面上に φ9.6mm 金属球を設置した。計測は Lachman test を連続して 5 回施行。1 回目と 5 回目の計測データは外れ値として除外し、2～4 回目の計測データの中央値を前後移動量

として採用した。

③ KT-1000 arthrometer での計測

Daniel らにより提唱された方法により KT-1000 arthrometer を下腿に装着。Manual Maximum Force にて前方移動量を計測した。計測は連続して 5 回施行。1 回目と 5 回目の計測データは外れ値として除外し、2～4 回目の計測データの中央値を前後移動量として採用した。

検者間誤差を除外するため、計測はすべて同一検者により施行し、計測時の膝屈曲角度を 15 度に設定した。統計処理は各群間の前方移動量に対して One-way ANOVA を、post-hoc test には Fisher's PLSD を用いた。また、各群間の相関関係に対して Pearson's correlation coefficient を用いた。

【結果】

各群の前方移動量は ACL 不全膝では①22.4 ± 0.8 (平均±標準誤差) mm (95%信頼区間; 20.8 - 24.0 mm)、②22.0 ± 0.7 mm (20.6 – 23.5 mm)、③15.0 ± 0.6 mm (13.9 – 16.2 mm)、ACL 健常膝では①15.7 ± 0.6 mm (14.5 – 16.8 mm)、②15.6 ± 0.5 mm (14.6 – 16.6 mm)、③9.9 ± 0.4 mm (9.2 – 10.6 mm)、ACL 再建膝では①15.7 ± 0.7 mm (14.2 – 17.1 mm)、②16.2 ± 0.8 mm (14.7 – 17.6 mm)、③11.2 ± 0.6 mm (10.0 – 12.3 mm)であった。ACL 不全膝、健常膝、再建膝のすべての条件において①-③間、②-③間に有意差を認めたが($P<0.01$)、①-②間には有意差を認めなかった (ACL 不全膝: $P=0.73$, ACL 健常膝: $P=0.92$, ACL 再建膝: $P=0.64$)。

各群の相関関係は、①-③間は強い相関関係を示し ($r=0.64$, $P<0.01$)、②-③間も強い相関関係を示したが ($r=0.62$, $P<0.01$)、①-②間は極めて強い相関関係を示した ($r=0.96$, $P<0.01$)。

【考察】

Lachman test は ACL 損傷を鋭敏に検出する徒手検査として最も感度の高い検査法であるとされている。しかしながらこの検査法は検者の主観的評価のため、定量的化が困難であり、膝関節前方不安定性を定量的に評価するために様々な研究が報告されてきた。

Lerat らは Stress X-p を撮影し内側コンパートメント、外側コンパートメントそれぞれの前方移動量を定量化している。また、Logan らは MRI 下に Lachman test を施行して前方移動量を定量化している。しかしながらこれらの方法を日常診療において施行するのは困難であり、我々の提唱する計測方法では診療現場において簡便に計測可能である。また、石橋らは Navigation system を用いて Lachman test を施行し、前後移動量を定量化しているが、計測にはマーカーを直接大腿骨・脛骨に刺入しなければないため術中のみ計測可能であり、我々の提唱する方法では非侵襲的に計測可能である。

今回我々は非侵襲的かつ簡便に膝関節前後移動量を計測するため、三次元電磁気センサーを用いた計測機器を使用した。この方法での前後移動量は、ACL 不全、健常、再建すべての状態において本来の骨の動きを反映するとされるＸ線学的計測と有意差を認めず、また非常に強い相関関係を示した。しかし、従来膝関節不安定性定量的評価に用いられてきた KT-1000 での計測値とは有意に大きな値を示し、相関関係もこれらの計測方法よりは弱い相関であった。このことから、我々の提唱する計測方法は本来の骨の動きを鋭敏に反映し、定量化が可能であることが示唆された。

【結論】Lachman test 時の脛骨前後移動量は、三次元電磁気センサーを用いて定量的に計測することが可能であり、この計測値はＸ線学的計測値と非常に強い相関を認めた。

本研究は膝前十字靭帯損傷の評価に用いられてきた Lachman test を定量的に評価する方法を研究したものであるが、従来ほとんど行われなかった Lachman test 時の脛骨前方移動量の定量化について重要な知見を得たものとして、価値ある集積であると認める。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。