

テープの伸長感を指標にした運動学習が自動運動による膝関節伸展運動時の大腿四頭筋の筋活動に及ぼす影響

松永 和也¹⁾, 雪山 裕也¹⁾, 西川 茂樹¹⁾, 堀越 悠里¹⁾, 松本 渉²⁾,
垣村 将典²⁾, 富田 健一³⁾, 木村 篤史³⁾, 松本 和久³⁾

¹⁾ 明治国際医療大学 保健医療学部

²⁾ 明治国際医療大学附属病院 総合リハビリテーションセンター

³⁾ 明治国際医療大学 臨床柔道整復学Ⅲ教室

要旨:

【はじめに】

大腿四頭筋の筋力増強訓練の方法として開放性運動連鎖における膝関節伸展運動が実施されることが多い。開放性運動連鎖における自動運動による膝関節伸展運動（以下、膝関節伸展運動とする）の動態を検証した先行研究では、ハムストリングスの緊張の変化により下腿回旋角度が変化するという結果となり、膝関節伸展運動による大腿四頭筋の筋力増強訓練を的確に行うためには下腿回旋角度を一定に整える必要があると考えた。そのためには、膝関節伸展運動時の下腿回旋角度を一定にするための運動を学習することが必要である。

そこで本研究では、ハムストリングスを他動的に伸長した後に、膝関節伸展運動に伴って出現する下腿外旋運動を抑制するように伸縮性のテープを貼付し、テープの伸張感をハムストリングスの伸長感として感じるように促しながらの膝関節伸展運動の運動方法を学習させ、大腿四頭筋の筋活動の変化を指標として運動学習の効果を検証したので報告する。

【対象】

健康女性5名を対象とした。

【方法】

両下肢の内・外側ハムストリングスの筋硬度を測定し、外側ハムストリングスの筋硬度が高値を示した側（以下、施術側とする）のハムストリングスに対して他動的に伸長する施術を行い再び筋硬度を測定した。以下、実験は施術側に対して行った。運動課題は、端坐位での足関節最大背屈位の膝関節伸展運動とした。運動学習は、下腿外旋運動を抑制するように伸縮性のテープを貼付し運動課題を行わせた（以下、テープ動作とする）。その後、テープの伸長感を指標とした運動学習を行わせた上で運動課題を行わせた（以下、運動学習動作とする）。その後、3週間の膝関節伸展運動の自主トレーニングのち、再び運動課題を行わせる（以下、3週間運動学習動作とする）ともに内側・外側ハムストリングスの筋硬度を測定した。これらの3動作における大腿直筋・外側広筋・内側広筋の筋活動を表面筋電計にて測定後に平均積分筋電値を算出し、テープ動作の結果を100%として運動学習動作、3週間運動学習動作の結果を正規化し、それぞれを比較した。また、施術前、施術後と3週間運動学習動作において測定した筋硬度の結果は、施術前の結果を100%として、施術後、3週間運動学習動作の各結果を正規化し、それぞれを比較した。統計学的処理は、一元配置分散分析を行ったのち多重比較としてTukey検定を行い、有意水準は5%とした。

【結果】

筋硬度の結果は、外側ハムストリングスでは施術前より施術後・3週間運動学習動作において有意に低下した。内側ハムストリングスでは、施術前より3週間運動学習動作において有意に低下した。筋活動の結果は、大腿直筋と外側広筋ではテープ動作より運動学習動作・3週間運動学習動作において有意に増加した。内側広筋ではテープ動作より運動学習動作・3週間運動学習動作において増加の傾向を示したが、全ての動作の間で有意差は認めなかった。

【考察】

大腿四頭筋の筋力増強訓練は幅広く一般的に行われている運動であるが、その方法は詳細に検討されておらず、安易に開放性運動連鎖での膝関節伸展運動が行われていることが多い。しかし、本研究の結果より大腿四頭筋訓練を行う際には、その拮抗筋であるハムストリングスの緊張状態によって下腿回旋運動が影響を受けることを考慮し、単に大腿四頭筋に対して収縮を促すだけでなく、その拮抗筋であるハムストリングスの伸長感にも意識を向けるとともに下腿外旋運動に対して意識を向けながらの膝関節伸展運動を的確に実施することが重要であると考えられた。

はじめに

大腿四頭筋の筋力を増強することは、変形性膝関節症の治療¹⁾や高齢者に対する運動器の機能向上及び転倒予防²⁾に対して重要であることは広く知られており、その方法として、開放性運動連鎖における膝関節伸展運動などが実施されることが多い。我々の先行研究で、開放性運動連鎖における、自動運動による膝関節伸展運動（以下、膝関節伸展運動とする）の動態を検証したところ、大腿四頭筋の拮抗筋であるハムストリング

スの緊張により、下腿回旋角度が変化することが判明し、下腿回旋角度の違いは大腿四頭筋の筋効率に影響を及ぼすことから、開放性運動連鎖での膝関節伸展運動による大腿四頭筋の筋力増強訓練を効率よく的確に行うためには、下腿回旋角度を一定に整える必要があると考えた³⁾。そのためには、膝関節伸展運動時の下腿回旋角度を一定にするための運動を学習することが必要である。

そこで、今回我々は、ハムストリングスを他動的に伸長した後に、膝関節伸展運動に伴って出現

する下腿外旋運動を抑制するように伸縮性のテープを貼付し、テープの伸張感をハムストリングスの伸長感として感じるように促しながらの膝関節伸展運動の運動方法を学習させ、大腿四頭筋の筋活動の変化を指標として運動学習の効果を検証したので報告する。

対象

健康女性5名（平均年齢20.6±1.1歳，平均体重55.6±7.2kg，平均身長159.6±4.4cm）を対象とした。対象には，事前に本研究の主旨と本研究によって発生する可能性がある危険性について十分に説明すると共に，本人の意思で本研究からいかなる時でも辞退できる旨を説明し，同意を得た上で実施した。また，本研究は明治国際医療大学研究倫理委員会にて承認を得た上で実施した（承認番号21-88）。

なお，1名の対象が本研究で設定された条件に満たないと判断し対象から除外した。

方法

図1に実験の流れを示す。まず施術前に，対象の内・外側ハムストリングスの筋硬度を測定した。次いで，施術前に外側ハムストリングスの値が高

値を示した側（以下，施術側とする）のハムストリングスに対して施術を行った後，再び内・外側ハムストリングスの筋硬度の測定を行った。以後，実験は施術側に対して施行した。

筋硬度の測定は，筋硬度計（AXIOM社製 Venustron II）を用いて，皮膚から8mmの深さまで押し込む際にかかった荷重量（単位：g）を測定した。測定は腹臥位で，股関節内外旋・内外転中間位，膝関節屈曲20°位の肢位とした（図2-a）。測定部位は，外側ハムストリングスは坐骨結節と腓骨頭を結んだ線上の midpoint の筋腹部とし，内側ハムストリングスは坐骨結節と脛骨内側顆を結んだ線の midpoint の筋腹部とした（図2-b）。測定は，同一検者が行い，測定部位が異ならないようマーキングを行った。また，測定中は対象に脱力するよう指示した。

施術は，内側及び外側ハムストリングスの走行に対して垂直に他動的圧迫を加えることにより，関節運動を介さない直接的な伸長方法⁴⁾とした（図3）。施術は，全ての対象に対して同一のセラピストが実施した。

運動課題は，対象を床面に足底が接触しない高さの治療用ベッドに端坐位をとらせ，股関節・膝関節90°屈曲位で大腿部をベルトで固定した肢位

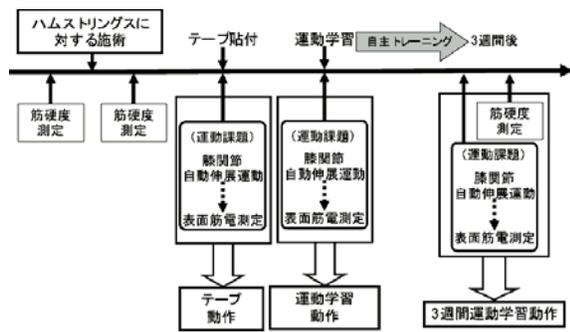


図1. 実験の流れ



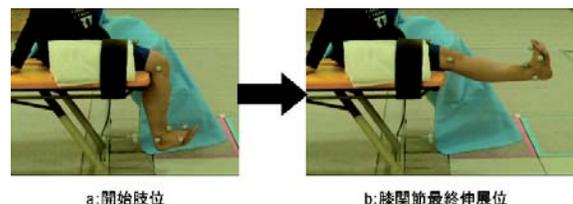
図3. 施術方法



a:測定風景

b:測定部位

図2. 筋硬度測定の方法



a:開始肢位

b:膝関節最終伸展位

図4. 運動課題

での足関節最大背屈位を開始肢位とし（図4-a）、開始肢位から膝関節最終伸展位までの自動運動とした（図4-b）。

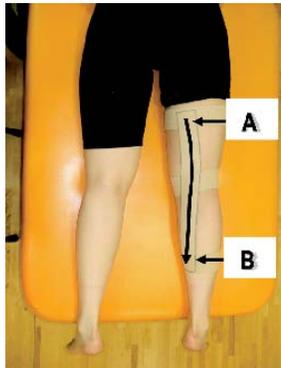


図5. テープの貼付方法

大腿内側(A)から下腿内側(B)にかけて伸縮性のテープを貼付した。



図6. 運動学習の方法



図7. 自主トレーニングの方法

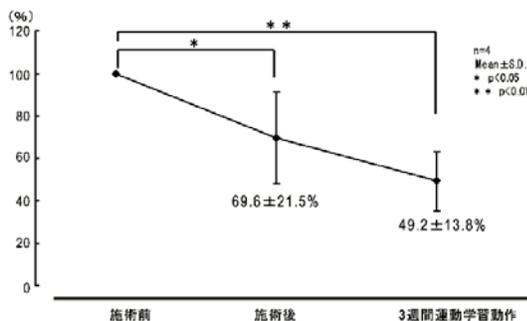


図8. 外側ハムストリングスの筋硬度の変化

テープの伸長感を指標にした運動学習は、膝関節伸展運動に伴う下腿外旋運動を抑制するように、施術側の大腿内側から下腿内側にかけて伸縮性のテープ（ニトリート社製 EBテープ 50mm）を125%伸長した状態で貼付し（図5）、運動課題を行わせた（以下、テープ動作とする）。次に、検者が介助を加えながら、テープの伸長感を感じるように下腿外旋運動を伴う膝関節伸展運動を誘導し、対象に大腿四頭筋の収縮に意識を向けるだけでなく、大腿後面から下腿後面にかけて貼付したテープの伸長感を、ハムストリングスの伸長感として感じるように促しながら膝関節伸展運動を学習させた（図6）。対象が運動を学習したと自覚した時点でテープを除去し、ハムストリングスの伸長感を感じながら、大腿四頭筋の収縮と下腿外旋運動に意識を向けた膝関節伸展運動を行わせた（以下、運動学習動作とする）。その後、ハムストリングスの伸長感を確認しながら大腿四頭筋の収縮および下腿外旋運動に対して意識を向けた膝関節伸展運動を行うよう自主トレーニングの方法を指導した（図7）。3週間の自主トレーニングの後、同様の運動課題を行わせる（以下、3週間運動学習動作とする）とともに、内・外側ハムストリングスの筋硬度を測定した。

テープ動作、運動学習動作および3週間運動学習動作の時の筋活動の測定は、対象筋を大腿直筋、外側広筋、内側広筋として、表面電極による双極導出法により表面筋電計（NORAXON社製 表面筋電計MYOSYSTEM1200）を用いて行った。表面電極を貼付する部位は、大腿直筋は大腿前面で膝蓋骨上縁と前上腸骨棘を結んだ中間点、外側広筋は膝蓋骨上縁より5横指近位部で大腿外側面、内側広筋は膝蓋骨上内側縁より4横指近位部とした⁵⁾。表面電極を貼付する際は、その部位の皮膚表面に対して前処置として十分に脱脂を施した。筋硬度の測定結果は、施術前の結果を100%として、施術後、3週間運動学習動作の各結果を正規化し、それぞれを比較した。筋活動の測定結果は、表面筋電計から得られた結果を、データ取込・汎用解析プログラミング（DKH社製 TRIAS System）を用いて、1秒間あたりの平均積分筋電値を算出し、テープ動作の結果を100%として、運動学習動作、3週間運動学習動作の結果を正規化し、それぞれを比較した。

統計学的処理は、各動作時の結果について、SPSS 11.0J for Windowsを用いて、一元配置

分散分析を行ったのち、多重比較としてTukey検定を行い、有意水準は5%とした。

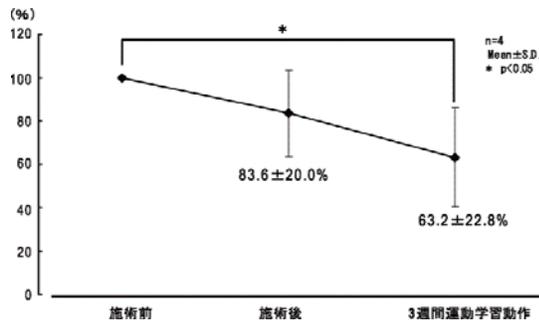


図9. 内側ハムストリングスの筋硬度の変化

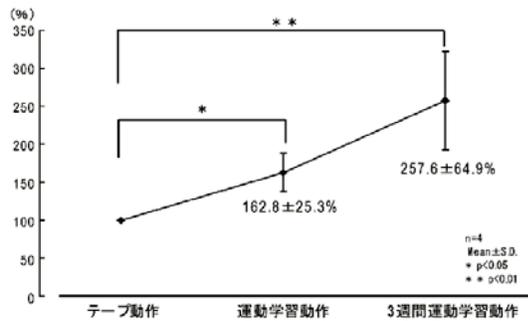


図10. 大腿直筋の筋活動の変化

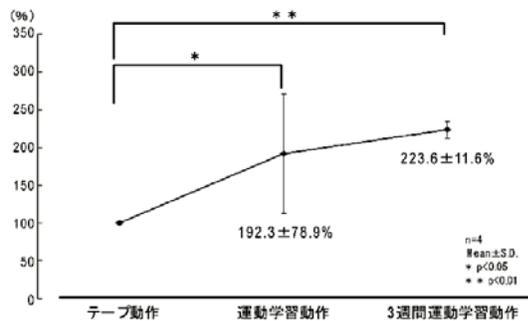


図11. 外側広筋の筋活動の変化

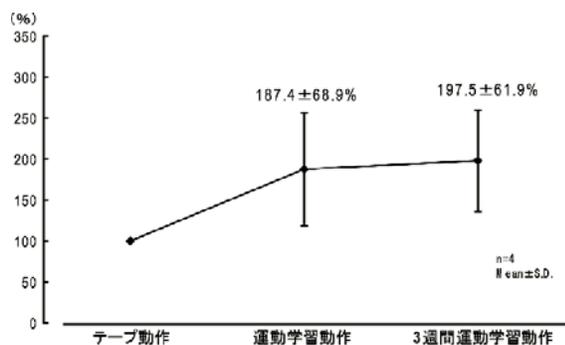


図12. 内側広筋の筋活動の変化

結果

筋硬度の測定結果は、外側ハムストリングスが施術後 $69.6 \pm 21.5\%$ 、3週間運動学習 $49.2 \pm 13.8\%$ となり、施術前と施術後との間 ($p < 0.05$)、施術前と3週間運動学習動作との間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた (図8)。内側ハムストリングスでは、施術後 $83.6 \pm 20.0\%$ 、3週間運動学習動作 $63.2 \pm 22.8\%$ となり、施術前と3週間運動学習動作との間 ($p < 0.05$) で有意差を認めた (図9)。

筋活動の測定結果は、大腿直筋では、運動学習動作は $162.8 \pm 25.3\%$ 、3週間運動学習動作 $257.6 \pm 64.9\%$ となり、テープ動作と運動学習動作との間 ($p < 0.05$)、テープ動作と3週間運動学習動作との間 ($p < 0.01$) にて有意差を認めた (図10)。外側広筋では、運動学習動作は $192.3 \pm 78.9\%$ 、3週間運動学習動作 $223.6 \pm 11.6\%$ となり、テープ動作と運動学習動作との間 ($p < 0.05$)、テープ動作と3週間運動学習動作との間 ($p < 0.01$) で有意差を認めた (図11)。内側広筋では、運動学習動作は $187.4 \pm 68.9\%$ 、3週間運動学習動作 $197.5 \pm 61.9\%$ と増加する傾向を認めたが、有意差は認めなかった (図12)。

考察

変形性関節症に関する疫学研究によると、わが国における40歳以上の変形性膝関節症患者の推定数は2530万人であるとしており、従来の試算よりもはるかに多いことが述べられている⁶⁾。また、平成19年度の厚生労働省による国民生活基礎調査によると、変形性関節症は高齢者が要介護になる原因の第4位、要支援に限ると第2位であり多くの高齢者の生活の質を低下させるとしている⁷⁾。これらのことより、変形性膝関節症に対する治療やその予防対策を講じることは重要であり、従来、変形性膝関節症に対する治療アプローチとして、大腿四頭筋の筋力増強訓練が広く行われている¹⁾。最近では、大腿四頭筋の筋力増強訓練は高齢者の運動器の機能向上や転倒予防²⁾における機能向上プログラムの中でも主要な訓練の一つとして位置付けされており、医療機関のみならず老人福祉施設や各地域で行われている転倒予防教室などにおいて、幅広く一般的に行われている運動方法である。しかし、その実施方法については、詳細に検討されずに比較的安易に開放性運動連鎖での膝関節伸展運動として行われていることが多い。

我々の先行研究では、膝関節の屈筋群であるハ

ムストリングスの筋緊張を低下させることにより、膝関節伸展運動の際に生じる下腿回旋運動に変化をもたらすことを確認し、大腿四頭筋の筋力増強訓練を効率よく的確に行うためには、その拮抗筋であるハムストリングスの緊張状態によって影響を受ける下腿回旋角度を一定に整える必要があると考察した³⁾。そこで、今回我々は、ハムストリングスを他動的に伸長した上で、下腿外旋運動を抑制するように伸縮性のテープを貼付し、このテープの伸張感を指標にして下腿回旋角度を一定に整える運動学習を実施し、それによる大腿四頭筋の筋活動の変化を検証した。

その結果、他動的伸長の施術により外側ハムストリングスの筋硬度は、施術前100%から施術後 $69.6 \pm 21.5\%$ に有意に低下し、内側ハムストリングスの筋硬度は、施術前100%から施術後 $83.6 \pm 20.0\%$ に低下した。これは我々の先行研究³⁾と同様の結果であり、下腿回旋運動を一定に整えた状態における開放性運動連鎖での膝関節伸展運動を学習するための条件が整ったものと考えられた。運動学習は直接観察することができないため、観察可能な行動であるパフォーマンスの測定により運動学習の度合いを知ることができる⁸⁾。今回は、膝関節伸展運動時の下腿回旋角度を一定にするための運動学習の度合いを、膝関節伸展運動時の大腿四頭筋活動を測定し、その変化により評価した。その結果、テープ動作、運動学習動作、3週間運動学習動作のそれぞれの動作において運動課題は同一であったにもかかわらず、テープ動作に対して運動学習動作及び3週間運動学習動作において、膝関節伸展運動時の大腿四頭筋の筋活動が増加した。そのことは、運動学習動作及び3週間運動学習動作で膝関節伸展運動時の下腿回旋角度を一定にする運動が学習されたことによって生じたパフォーマンスの変化として捉えることができ、対象が目的の運動学習を得ることができたものと考えられた。テープ動作では、下腿外旋運動が抑制されている状態での膝関節伸展運動であったものが、運動学習動作及び3週間運動学習動作では、下腿外旋運動を抑制するテープの伸張感を感じながら膝関節伸展運動を行うよう誘導することにより、膝関節伸展運動時に一定の下腿外旋運動を生じさせることを対象が学習し、膝関節伸展運動時に下腿回旋角度を一定に保持することができたために大腿四頭筋の筋効率が高くなり、その活動が増加したものと考えられた。

運動スキルの学習段階は、認知段階、統合段階、自動化段階の3つに分けられる。認知段階では、対象が動作の遂行にあたって、身体部位をどのような順序でどのように動かすかということについて意識的に考える段階であり、対象に対する検者からの言語指示により、運動遂行のどこに注意の焦点をあてるかについて適切な情報を与える必要があるとされる。統合段階では、運動パターンが精練され、運動遂行にともなう誤差を対象自身が検出し始める段階である。自動化段階では、運動の遂行の過程に意識的な注意を配分しなくても運動の遂行が可能となる段階である⁹⁾。今回行った運動学習動作では、対象に対してテープの伸張感を感じるような下腿の運動方向で膝関節伸展運動を行うように言語指示するとともに、膝関節伸展運動の遂行にあたって大腿四頭筋の収縮と下腿外旋運動に意識を向けさせたことが学習の認知段階として効果的であったと考えられた。その後、3週間の自主トレーニングの際には、膝関節伸展運動を遂行する際にハムストリングスの伸張感を確認することがその動作の正誤の判断基準となり、トレーニングの中で誤差を検出することで学習の統合段階を促すことにつながったと考えられた。3週間の自主トレーニング後の測定では、対象が動作に意識を向けることなく運動課題を行ったにもかかわらず、大腿四頭筋の活動が増加したまま保持されていたことは、膝関節伸展運動時の下腿回旋角度を一定にするための学習が自動化段階に達していたためであると考えられた。

高橋ら¹⁰⁾は、変形性膝関節症患者に対して、過緊張を認めた屈筋群の単純な伸長のみではなく、屈筋群の抑制と伸筋群の促通を同時に施行することでより伸筋を活性化させることで、健常者に近い筋活動を得ることができたと報告している。また、Kannus¹¹⁾らは、膝関節捻挫後にハムストリングスと大腿四頭筋の筋力比についてハムストリングスの筋力に優位性を認めた症例が明らかな大腿四頭筋の筋力低下を認めたことを報告し、ハムストリングスの状態が大腿四頭筋の筋力の再獲得に大きく影響することを述べている。これらの報告により、大腿四頭筋の収縮を促す際は、その拮抗筋であるハムストリングスの状態を考慮することが重要であり、今回我々が、運動学習動作と3週間運動学習動作で対象に対して指示したハムストリングスに対する伸張感の確認は、ハムストリングスの活動の抑制を促すとともに大腿四頭筋の

24 テープの伸長感を指標にした運動学習が自動運動による膝関節伸展運動時の大腿四頭筋の筋活動に及ぼす影響

筋力増強訓練を効率よく行うために正当なアプローチであったものと考えられた。

以上のことより、膝関節伸展運動による大腿四頭筋の筋力増強訓練を行う際には、その拮抗筋であるハムストリングスの緊張状態によって下腿回旋運動が影響を受けることを考慮し、単に大腿四頭筋に対して収縮を促すだけでなく、その拮抗筋であるハムストリングスの伸長感にも意識を向けるとともに下腿外旋運動に対して意識を向けながらの膝関節伸展運動を的確に実施することが重要であると考えられた。

参考文献

- 1) 坂本雅昭, 粕山達也: 変形性膝関節症患者の筋力強化とその効果. 理学療法26(9): 1097-1103, 2009.
- 2) 「運動器の機能向上マニュアル」分担研究班 (代表: 大淵 修一): 骨折予防及び膝痛・腰痛対策のための運動器の機能向上プログラム. 運動器の機能向上マニュアル (改訂版): 28-37, 2009.
- 3) 雪山裕也, 富田健一, 木村篤史, 松本和久: 柔道整復施術が開放運動連鎖での膝関節自動伸展運動におけるScrew Home Movementに及ぼす影響. 柔道整復・接骨医学17(5): 417, 2009.
- 4) 松本和久: 経筋に対する活法 (経筋伸張法) と腰痛. 医道の日本社編集部: 臨床家のための腰痛に対する16のアプローチ, 医道の日本社, 神奈川, 111-120, 2009.
- 5) Edward F, 田島達也 (監訳): 筋電図のための解剖ガイドー四肢ー, 西村書店, 新潟, 180-195, 1985.
- 6) 吉村典子: 変形性関節症の易学研究~大規模コホート研究ROADより~. CLINICAL CALCIUM 19 (11): 20-25, 2009.
- 7) 厚生労働省大臣官房統計情報部: 平成19年国民生活基礎調査, 2009.
- 8) 中村隆一, 齋藤宏: 運動学習: 基礎運動学 第6版, 医歯薬出版, 東京, 447-478, 2005.
- 9) 関矢寛史: 運動学習における付加的情報と注意. 麓信義編: 運動行動の学習と制御, 杏林書院, 東京, 123-142, 2006.
- 10) 高橋誠, 大塚彰ら: 膝関節の痛みに対する運動療法. 理学療法19 (2): 109-116, 1992.
- 11) Kannus P: Knee flexor/extensor strength ratio in follow-up of acute knee distortion injuries. Arch Phys Med Rehabil 71 (1), 38-41, 1990.