

■ 原著

温熱療法が健常若年者の膝関節運動覚に及ぼす影響

The effect of thermotherapy to joint movement sense of normal knee joint
in young adults

今田潤¹⁾ 佐々木賢太郎²⁾

Jun Imada¹⁾ Kentaro Sasaki²⁾

1) 金城大学医療健康学部理学療法学科 学生：石川県白山市笠間町 1200
TEL(076)276-4400 FAX(076)275-4316

2) 金城大学医療健康学部

1) Undergraduate student, Department of Physical Therapy, Kinjo University, 1200 Hakusan
city, Ishikawa 924-8511, Japan. TEL+81-76-276-4400

2) Department of Physical Therapy, Kinjo University

保健医療学雑誌 3(1): 31-36, 2012. 受付日 2011年9月1日 受理日 2011年10月11日

JAHS 3 (1): 31-36, 2012. Submitted Sep. 1, 2012. Accepted Oct. 11, 2011.

ABSTRACT: The aim of this study was to examine the effect of thermotherapy to the threshold to detect passive motion (TDPM) reflected joint movement sense of normal knee joint in young adults. We utilized isokinetic dynamometer to evaluate TDPM. The angular velocity of passive motion was set at $0.5^{\circ}/s$ which was most reliable. Right knee in reference side was carried out from a starting position of 10° flexion to the flexion. We measured angle which subjects could perceive passive motion. As interventions, we set hot pack, microwave therapy, and immobility of lower extremity. We compared TDPM between pre and post intervention. As a result, there were no significant differences between pre and post TDPM in each intervention. However, hot pack was significantly lower than immobility in change between pre and post TDPM. These results suggest that thermotherapy targeted to the skin or immobility would affect TDPM of normal knee joint in young adults.

Key words: thermotherapy, joint movement sense, normal knee joint

要旨: 本研究は若年成人の正常膝関節を対象とし、温熱療法が運動覚に与える影響について検討することを目的とした。右膝関節を被検側として、 $0.5^{\circ}/s$ の角速度を用い、膝関節 10° 屈曲位の開始角度から屈曲方向への運動覚について感知角度を測定した。介入条件として、15分間のホットパック、極超短波療法、下肢不動の3条件を設定し、その施行前後の感知角度の差を比較した。結果として、3条件とも介入前後の感知角度の差において有意な変化は認められなかった。施行前後の感知角度の差について条件間で比較をした結果、ホットパックは関節不動条件よりも有意に低値を示した。本研究の結果から、ホットパックや不動状態は正常膝関節の運動覚に影響を及ぼす可能性が示唆された。

キーワード: 温熱療法, 運動覚, 正常膝関節

緒言

関節からフィードバックされる固有感覚は関節位置覚と関節運動覚に大別される。位置覚は空間内における関節の位置（角度）を感知するのに対し、運動覚は自動、他動いずれの運動による関節の動きそのものを感知しており、ともに中枢神経系へフィードバックすることで運動に協調性をもたらしている¹⁾。また、固有感覚は身体に及ぶ不意の外力に対して、早期に関節の動き、あるいは位置（角度）変化を感知して関節を安定させるための保護機能としても捉えることができる。特に中間関節である膝関節は荷重下において隣接する股・足関節の運動に伴って受動的に動かされるため、これらの感覚フィードバックは関節の保護に不可欠な機能といえる。過去の報告では、受容器が存在する前十字靭帯（anterior cruciate ligament: ACL）損傷膝、再建膝を対象とした研究が多くなされ、双方において運動覚が低下することが明らかにされている^{2,3,4,5)}。ACL損傷の観点から、その緊張が高まる膝関節伸展域での運動覚を評価することは膝内障、あるいは再発予防の上で重要であると考えられる。

過去の研究では、運動覚は被検肢が他動的に動かされ始めてからそれを被験者が実際に感知するまでの角度閾値（threshold to detect passive motion: TDPM）をその精度として扱っているものが多い^{2,3,4,5,6)}。その測定には運動方向と角速度を一定に保つことのできるダイナモメーターが利用される。この装置の利点は、一定の角速度を保持しつつ被検肢を他動的に動かすことができる点にある。他動運動の角速度によって固有受容器の興奮程度が変化することが知られているため⁵⁾、検者が徒手で動かすような角速度が一定に維持することができない場合、その評価の信頼性が低下することが予想される。同機器を利用した研究では $0.5^\circ/s$ の角速度が頻用されている^{2,3,5,6)}が、その信頼性については詳しく検討された報告はない。

一方、臨床場面において、慢性疼痛を主訴とする膝関節症罹患患者に対しては温熱療法が施行されることが多い。施行後、その除痛効果により歩行能力が改善する症例は少なくないが、この動作能力の改善には除痛に加えて固有感覚の改善、特に運動覚の改善が寄与しているのではないかと

考えている。過去に温熱療法が固有感覚に与える影響について検討された報告はなく、この臨床的な印象を裏付ける根拠はない。一方、急性疼痛に対して施行される寒冷療法が固有感覚に及ぼす影響については、特に位置覚において研究されており、神経伝導速度の遅延、受容器の感度低下により正常膝関節の位置覚閾値は上昇することが知られている⁸⁾。そこで、本研究では、まず膝関節屈曲方向の運動覚を計測する上で最も信頼性のある角速度を抽出し、次いでその角速度を用いて、温熱療法として表在性のホットパックと深部性の極超短波機器が膝関節屈曲方向の運動覚に及ぼす影響について検討することを目的とした。

対象と方法

対象

①角速度の信頼性の検討：健康者 15 名（男性 10 名、女性 5 名、平均年齢 20.9 ± 0.8 歳、body mass index(BMI) $21.0 \pm 2.9 \text{kg/m}^2$ ）とし、全例右膝を被検肢とした。全対象者に本研究の目的と方法を説明し、同意書にて研究参加への同意を得て行った。
②温熱効果の検討：対象は膝関節に症状のない健康成人 26 名（男性：13 名、女性：13 名、 21.3 ± 1.0 歳、BMI $21.9 \pm 2.5 \text{kg/m}^2$ ）とし、全例、右膝関節を被検肢とした。全対象に本研究の目的、方法を十分に説明し、研究参加への同意を得て行った。なお、本研究は金城大学倫理審査委員会の承認を得て行った。

方法

①角速度の信頼性の検討：膝関節運動覚の計測には、サイベックスノルム（メディカ株式会社製）を用いた。右膝関節 10° 屈曲位を開始肢位として、この位置からの他動屈曲を感知するまでの時間を計測した。被検者はショートパンツ、裸足にて装置椅子に坐った。被検者にはアイマスクを、右足部にはエアスプリントを装着し、視覚や足部周囲の感覚を遮断した。測定時には、被験者の膝窩部が坐面に接触しないように坐面端から 2 横指の距離を保った位置に腕を組んで着坐し、左足は床面につかないようにした（大腿後面の皮膚が坐面に直接当たらぬようにショートパンツの裾を坐端に合わせた）。矢状面における右膝関節の中心

にダイナモメーターの軸を合わせ、脛骨内果から4横指のところで足部のベルトをエアスプリントの上から固定した (Figure 1). 測定中は筋肉を収縮させず、右足をリラックスするよう指示した. 測定開始から実際にアームが動き出すまでの時間は3, 4, 5秒のいずれかとし、施行ごとに時間を変えた. 被検者にはストップウォッチを持たせ、計測開始と同時にストップウォッチを検者が押し、被験者が屈曲方向に膝関節が動いたと感じたところで被検者自身がストップウォッチをとめた. ストップウォッチの表示時間から実際にアームが動き出すまでの時間を差し引いた時間を感知時間とし、それを角度に変換した値を TDPM として採用した.



Figure 1 The test of joint movement sense in knee joint

Subjects sat on the dynamometer's seat with air splint on right foot and eye mask. Right leg was moved to flexion with various angular velocity from starting position of 10° flexion following a random delay (3-5 seconds). They stop time of stopwatch at the moment of perception of knee joint movement

角速度は $0.1^\circ /s$, $0.3^\circ /s$, $0.5^\circ /s$, $0.7^\circ /s$, $0.9^\circ /s$, $1.0^\circ /s$ の6条件とした. 各条件を同一日に2回施行し、その施行順序はランダムに行った. 各角速度の同一日における被験者内信頼性について級内相関係数を用いて検討した. さらに、

6条件のうち最も信頼性が得られた角速度条件については、同一被検者に対して1週間以上の間隔をあけて3回の測定を行い、3週間の被験者内信頼性について級内相関係数を用いて検討した. 統計解析ソフト PASW statistics 18.0 を使用し、すべて5%水準にて有意判定を行った.

②温熱効果の検討: ①の研究で抽出された最も信頼性のある角速度を用いて、①の研究と同様の方法で運動覚の測定を行った. 運動覚測定後、介入を加え、再び、TDPM を測定した.

介入条件は、温熱療法として、表在性温熱刺激であるホットパックと深部性温熱刺激である極超短波療法を選択し、さらに対照条件として両下肢不動の計3条件を設定した. 肢位はすべて背臥位、右膝関節 15° 屈曲位として、15分間施行した. 施行中、過剰な運動以外は上肢の運動を制限しなかった. ホットパックは $80^\circ C$ に保ったハイドロコレータ (PX-101S, オージー技研株式会社) 内からスチームパックを取り出し、タオル2枚にて包んだ湿熱にて可能な限り膝関節のみを覆うよう前面から膝下部へ包み込んであてた. 極超短波療法はマイクロ波治療器 (ME-7250, オージー技研株式会社) を用い、ヘリカルアンテナ (半球形アプリアレーター) を膝関節前面より10cmの距離から、被検者の主観症状として「心地よい」程度の量を照射した. 下肢不動条件は15分間の下肢安静とした. 施行時の室内温度は極力 $22^\circ C$ に保つようにした. すべての条件において施行前後に赤外線放射温度計 (SK-8700 II, 株式会社佐藤計量器製作所製) を用い、膝関節前面より10cm程度離れたところから右膝蓋骨中央部にて皮膚温を測定した. なお、3条件はすべて1週間の間隔をあけて施行し、その施行順序は被検者によってくじ引きを行い、被験者ごとにランダムに行った.

統計学的手法として、介入前後の皮膚温、TDPM について対応のあるt検定を行った. また、介入前後の TDPM の差 (介入後角度 - 介入前角度) については一元配置分散分析から多重比較検定としてLSD法を用いて3群間の比較を行った. 統計解析ソフト PASW statistics 18.0 を使用し、すべて5%水準にて有意判定を行った.

結果

①角速度の信頼性の検討：角速度の同一日における被験者内信頼性において、最も級内相関係数が高値を示したのは $0.5^\circ /s$ (intraclass correlation coefficient(ICC)=.836, $p<.001$) であった (Table 1). $0.5^\circ /s$ の 3 週間にわたる 3 回の被験者内信頼性は ICC=.787 ($p<.01$) であった.

②温熱効果の検討：角速度 $0.5^\circ /s$ を用いて、温熱療法が運動覚に及ぼす影響について検討した. 皮膚温はホットパック, 極超短波療法後に有意に上昇した. TDPM は 3 条件すべてにおいて介入前後に有意な変化は認められなかった (Table2). 介入前後の TDPM の差について 3 条件間で比較したところ, ホットパックは下肢不動条件よりも有意に低値を示した ($p<.05$).

Table 1 The intraclass correlation coefficients in each angular velocity

	$0.1^\circ /s$	$0.3^\circ /s$	$0.5^\circ /s$	$0.7^\circ /s$	$0.9^\circ /s$	$1.0^\circ /s$
ICC	0.064	0.303	0.836**	0.106	0.061	0.088

ICC: intraclass correlation coefficient ** $p<.001$

Table 2 The change in skin temperature on the center of right patellar and TDPM between pre and post intervention

	hot pack	microwave therapy	immobility
<i>skin temperature</i>			
pre (°C)	28.2 ± 1.3 \lrcorner	27.7 ± 2.0 \lrcorner	27.6 ± 1.9
post (°C)	37.2 ± 1.6 \lrcorner ^{***}	35.4 ± 1.8 \lrcorner ^{***}	27.7 ± 2.6
<i>TDPM</i>			
pre (degree)	1.10 ± 0.76	0.94 ± 0.68	0.92 ± 0.52
post (degree)	0.90 ± 0.57	0.88 ± 0.60	1.21 ± 0.98
change (degree)	-0.19 ± 0.96	-0.06 ± 0.66 [*]	0.29 ± 0.68

Each value represents mean \pm SD * $p<.05$, *** $p<.0001$

考察

ダイナモメーターを用いた膝関節運動覚の評価では, ACL 損傷膝, 再建膝を対象とした研究が中心であるため, その多くは ACL の緊張する伸展方向の運動覚について検討されている. Friden ら²⁾の研究では, 正常膝関節の伸展方向の運動覚は特に伸展域において TDPM が低いことが明らかにされている. しかし, 屈曲方向の運動覚については研究されたものは少なく, 特に伸展域から

屈曲方向の精度についての研究論文はない. 膝折れに代表される伸展域からの屈曲運動を制動することは, 関節内に及ぶ外力を早期に感知し, 周囲筋の協調的, あるいは防衛的収縮により関節を保護するという観点から重要であると考え.

本研究において, 膝関節 10° 屈曲位から屈曲方向の運動覚について最も信頼性が高かった他動運動の角速度は $0.5^\circ /s$ であり, これは過去の研究^{2,3,5,6)}によって多用されてきた角速度であった. 運動覚の感知には, 速順応性のパチニ小体とマイ

スナー小体が関与するとされており、これらのメカノレセプターが最大限に刺激されるのは $0.5 \sim 2.0^\circ / s$ の角速度の場合であるといわれている⁵⁾。過去の検討とは標的角度、運動方向の条件が異なるが、本研究においても $0.5^\circ / s$ が抽出されたことは、膝関節の運動覚の計測には $0.5^\circ / s$ の角速度が最適であるといえる。また、3 週間の間隔をあけても $0.5^\circ / s$ の被験者内信頼性を維持できたため、温熱療法の研究に応用できると考え、使用した。

位置覚¹⁾、運動覚⁵⁾いずれも運動方向と拮抗側の筋、腱の筋長がその感知に大きく関与する。すなわち、拮抗筋への伸張刺激が筋紡錘やゴルジ腱器官を刺激し、その長さの変化を固有感覚として認識している。膝関節屈曲方向の運動覚に焦点を当てた本研究では膝前面に対して温熱刺激を加えて、その効果を検討した。本研究の仮説として、運動覚に関与する筋紡錘を刺激するには深部組織まで温熱効果を及ぼすことのできる極超短波機器が最も有効であると考えていた。今回の研究で用いた 2 種類の温熱療法ではその施行前後に有意な変化は認められなかったが、介入前後の TDPM の差について 3 条件間で比較したところ、ホットパックは下肢不動条件よりも有意に低値を示した。これは、ホットパックでは TDPM の改善傾向を、不動条件では増悪傾向を認めた結果によるものと考えられる。運動覚は ACL 損傷膝、再建膝において多く研究されているため、ACL 内に存在する関節内受容器が目される。しかし、運動覚は関節内受容器だけでなく、筋紡錘や皮膚伸張受容器といった関節外受容器が、多くの関節において大きな役割を担っている。Proske ら⁹⁾は関節位置覚、運動覚、いずれにおいても関節内受容器はそれほど関与しておらず、その受容の中心は筋紡錘と皮膚であると述べている。本研究では、膝関節の前面にホットパックを施行していることから、筋紡錘の影響は少なく、皮膚受容器への影響が強いと考える。真皮層には皮膚伸張受容器が多く存在し、パチニ小体やマイスナー小体だけでなく、位置覚に関与するといわれているルフィニ終末も存在する¹⁰⁾。本研究の設定条件から、TDPM の低下の機序には神経伝導速度と受容器の変化が挙げられる。温熱刺激が感覚神経の伝導速度を改善させることはよく知られているが、受容器の閾値を低下させることを明記したものは

ない。温熱効果が受容器にもたらした効果として、ホットパックによる表在性の温熱刺激が皮膚伸張性を増加させて、皮膚内受容器の伸張性を改善させることでその感受性が向上したと考える。施行前後で有意な改善がみられなかったのは、ホットパックを膝関節の前面に施行していることで膝関節前面の一部の皮膚にしかホットパックの効果が得られなかったと考える。そのため、広範囲にホットパックの効果が得られるようにホットパックの大きさを変える必要があると考える。また、皮膚が伸張された、深い膝関節屈曲角度から屈曲方向の運動覚を測定すると施行前後で差が生じると考える。

長期臥床・不動・非活動による廃用症候群の一つとして「感覚遮断」が挙げられている¹²⁾。臥床状態が感覚閾値を上昇させる可能性は高いが、運動覚を対象として実際に研究された論文はない。本結果では、不動条件において TDPM は上昇傾向を認めたが、不動状態は下肢関節内外に存在する固有受容器に対する刺激量が低下した結果、その感受性が低下したものと考えられる。本研究では温熱刺激に対する対照条件として不動条件の時間を 15 分としたが、さらに延長すると不動前後の TDPM は増加する可能性がある。

本研究結果から、下肢不動状態よりも皮膚に対する温熱療法は膝関節運動覚の閾値を低下させる可能性が示されたが、ホットパック施行前後においては TDPM の有意な改善は得られておらず、ホットパックが運動覚の精度向上に有効であるとは言えない。今後、異なる物理療法機器の使用や照射部位を変えてさらに検討していきたい。

文献

- 1) 田中浩介, 浦辺幸夫, 越智光夫, 他: 屈曲運動と伸展運動の違いが膝関節位置覚の測定結果に影響するか. 広島大学保健学ジャーナル 4: 20-26, 2004.
- 2) Skinner HB, Barrack RL: Joint position sense in the normal and pathologic knee joint. J Electromyogr Kinesiol 1: 180-190, 1991.
- 3) Fridén T, Roberts D, Zätterström R, et al: Proprioception in the nearly extended knee. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 4:

217-224, 1996.

- 4) Reider B, Arcand MA, Diehl LH, et al: Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 19: 2-12, 2003.
- 5) 宮里幸, 浦辺幸夫, 山中悠紀, 他: 運動速度の違いによる膝前十字靭帯損傷者, 再建者, 健常者の膝関節運動覚の比較. *日本臨床スポーツ医学会誌* 18 : 33-38, 2010.
- 6) 岩佐潤二, 内尾祐司, 蓼沼拓, 他: ACL 損傷, 再建の膝固有感覚に及ぼす影響. *臨床スポーツ医学* 22 : 233-238, 2005.
- 7) 昇寛, 丸山仁司, 高橋直子, 他: 膝感覚固有感覚測定装置の考案と作成. *理学療法科学* 19 : 299-303, 2004.
- 8) Oliveira R, Ribeiro F, Oliveira J: Cryotherapy impairs knee joint position sense. *Int J Sports Med* 31: 198-201, 2010.
- 9) Proske U, Gandevia SC: The kinaesthetic senses. *J Physiol* 587: 4139-4146, 2009.
- 10) Tortora GJ, Derrickson B: 感覚系, 運動系と統合系. 福島順子 (訳): トータラ人体の構造と機能第 2 版, pp562-564, 丸善株式会社, 2007.
- 11) 川村博文: 極超短波療法. 網本和 (編): 標準理学療法学物理療法学第 3 版, pp87-93 医学書院, 2008.
- 12) 中村隆一 (編): 入門リハビリテーション医学第 3 版, pp432-442, 医歯薬出版株式会社, 2007.