

報告

遅発性筋痛に対する物理療法の効果

— Neurometer®を用いた客観的指標を加えて —

小島日登美¹⁾, 池畠 寿¹⁾, 山本 結子¹⁾, 鮫島 啓記¹⁾, 町田 博久²⁾, 坂上 昇³⁾

The effect of the physical modalities for delayed onset muscle soreness

— Using Neurometer® as an objective index —

Hitomi Ojima, RPT¹⁾, Hitoshi Ikebata, RPT¹⁾, Yuko Yamamoto, RPT¹⁾,
Hiroki Sameshima, RPT¹⁾, Hirohisa Machida, MD²⁾, Noboru Sakanoue, RPT, MA³⁾

キーワード：遅発性筋痛，物理療法，効果判定，Neurometer® NS3000

要 旨

本研究は、遅発性筋痛（以下、筋痛）に対する物理療法（温熱及び寒冷）の疼痛緩和の効果を、電流知覚閾値（以下、CPT）検査、visual analogue scale（以下、VAS）、関節可動域（以下、ROM）の3項目を指標として検討した。

対象は、健康成人20名（男性2名、女性18名）、平均年齢30.6 ± 6.5歳であった。

筋痛を起こさせる運動として、1回/2secのペースでダンベルを用いて肘関節の屈伸運動を非利き手にてオールアウトまで行った。物理療法は、無作為に温熱療法と寒冷療法の2群に分けて施行した。効果判定のための測定項目は、① Neurometer®NS3000™によるCPT、② VAS変法による圧痛検査、③肘関節自動運動時の屈曲・伸展ROMの3項目とした。これらの測定は、運動前、筋痛時、物理療法施行直後、物理療法施行20分後に行った。

筋痛が発生した非検筋に対して温熱および寒冷の物理療法を実施した結果、温熱群・寒冷群ともに5HzのCPTが筋痛時に比べて、物理療法直後、20分後ともに有意に高値を示した。筋痛時にダンベルによって与えた侵害刺激による痛みを基準にすると、温熱・寒冷の物理的刺激を与えることによりその値は有意に減少した。肘関節の屈曲・伸展のROMはともに筋痛時に明らかに低下し、その後の温熱・寒冷の施行により筋痛時に比べ有意に改善し、20分後では運動前の値に近くなった。

本研究では温熱・寒冷の物理的効果について、痛みの主観的指標とNeurometer®を用いた客観的指標を加えて検討することによって、温熱・寒冷の物理的効果を主観的、客観的に評価できる可能性を示すことができた。

1) 町田整形外科リハビリテーション部

Department of Rehabilitation, Machida clinic

2) 町田整形外科

Machida clinic

3) 高知リハビリテーション学院 理学療法学科

Department of Physical Therapy, Kochi Rehabilitation Institute

【はじめに】

理学療法の臨床現場において現在使用されている物理療法は、疼痛緩和を目的にしていることが多く、その効果判定は主観的なものに委ねられている。疼痛は生理学的に一次痛と二次痛に分類される。疼痛（侵害刺激）を体性感覚野に伝達する知覚神経はA β 線維、A δ 線維、C線維に分類され、一次痛はA δ 線維によって、二次痛はC線維によって体性感覚野に伝達される。この知覚神経であるA β 線維、A δ 線維、C線維それぞれの機能を測定し、また疼痛の主観的評価や身体機能の検査・測定をあわせて実施することにより、物理療法の疼痛緩和の効果判定はより正確なものになると考えられる。

そこで本研究は、様々な筋痛の中でも慣れない動作や激しい運動後に出現する遅発性筋痛（delayed onset muscle soreness：以下、筋痛）に対する物理療法（温熱及び寒冷）の疼痛緩和の効果を、A β 線維・A δ 線維・C線維の電流知覚閾値（current perception threshold：以下、CPT）、visual analogue scale（以下、VAS）、関節可動域（以下、ROM）の3項目を指標として検討した。また、CPTから筋痛の疼痛発生機序にどの知覚神経線維が関わっているかを測定し、物理的刺激を施行することによる変化を把握することにより、疼痛緩和の効果判定としてのCPTの有用性についても検討した。

【方法】

対象は、健康成人20名（男性2名、女性18名）、平均年齢30.6 \pm 6.5歳であった。

筋痛を起こさせる運動として、1回／2secのペースでダンベル（3～5kg）を用いて肘関節の屈伸運動を非利き手にてオールアウト（最大反復回数）まで行った。オールアウトの判定はペースに合わなくなった場合、あるいは最大屈曲が不十分であった場合とした。そして、運動2日後に上腕屈筋群に肘関節自動運動時痛と圧痛がおきていることを確認した。

物理療法は、無作為に温熱療法と寒冷療法の2群



図1 Neurometer[®] NS 3000[™]（東京医研株式会社）によるCPTの測定

（温熱群・寒冷群）に分けて施行した。温熱として乾熱ホットパック、寒冷として10℃に設定したアイシング（ICING SYSTEM V2000）を用いてそれぞれ15分間施行した。

測定項目は① Neurometer[®] NS3000[™]（東京医研株式会社）によるCPT（図1）、② VAS変法による圧痛検査、③肘関節自動運動時の屈曲・伸展角度の3項目とした。これらの測定は、運動前、筋痛時、物理療法施行直後、物理療法施行20分後に行った。CPTは、周波数2000Hz、250Hz、5Hzのサイン波刺激を発生しA β 線維・A δ 線維・C線維に応答するとされる最小電流の知覚閾値を測定値とし、2000Hz・250Hz・5Hzごとに運動前の値を基準として変化率を算出した。圧痛検査は、圧入力再現性をもたせるために上腕屈筋群の筋腹上に2kgのダンベルを5秒間、垂直に加重した際のVASを被検者より聴取し記録した（図2）。肘関節自動運動時の屈曲・伸展角度は、屈曲時における収縮痛、伸展時における伸張痛がそれぞれ出現した時点でゴニオメーターを用いて測定した。測定肢位は、仰臥位、肘関節半屈曲位の同一肢位とした。

統計処理としては、CPT、VASおよび肘関節のROMの変化についてKruskal-Wallis検定と多重比較検定（Scheffe法）、CPTとVASの関連についてSpearman順位相関係数検定を用いた。統計学的有意水準は5%未満とした。



図2 圧痛検査

被検筋である上腕屈筋群の筋腹上に2kgのダンベルを5秒間、垂直に加重した際のVASを被検者より聴取し記録した。

【結果】

1. CPTの変化

温熱群における各測定条件のCPTの換算値を表1に示す。温熱群の2000Hzでは、運動前、筋痛時、物理療法施行直後、物理療法施行20分後の4条件間の変化率に主効果は認められたものの、多重比較の結果、各条件間に有意差が認められなかった。

250Hzでは、4条件間に主効果が認められ、多重比較検定の結果、筋痛時(-21.4 ± 17.2%)と温熱20分後(5.69 ± 26.23%)の変化率間に有意差が認められた($p < 0.01$)。その他の条件間には有意差が認められなかった。5Hzでは、4条件間に主効果が認められ、多重比較検定の結果、運動前と筋痛時(-42.5 ± 12.7%)($p < 0.01$)および温熱20分後間(41.7 ± 37.9%)($p < 0.05$)の変化率に有意差が認められた。また、筋痛時と物療直後間(1.7 ± 32.6%)($p < 0.01$)、筋痛時と温熱20分後間($p < 0.01$)、物療直後と温熱20分後間($p < 0.05$)の変化率にも有意差が認められた。

寒冷群における各測定条件のCPTの換算値を表2に示す。寒冷群の2000Hzと250Hzは、4条件間において主効果は認められたものの、多重比較の結果、各条件間に有意差を認めなかった。5Hzは運動前に対して筋痛時は-42.8 ± 7.9%に減少し($p < 0.05$)、寒冷直後は1.3 ± 43.6%($p < 0.05$)、寒冷20分後は7.1 ± 34.7%($p < 0.01$)にそれぞれ増加し有意差を認めた。

表1 各周波数における筋痛時と温熱刺激後のCPT(換算値)変化

単位(%)

	運動前	筋痛時	温熱直後	温熱20分後	K-W test
2000Hz	0	0.2 ± 16.7	-11.4 ± 10.3	4.1 ± 13.8	$p < 0.05$
250Hz	0	-21.4 ± 17.2	-13.6 ± 11.5	5.7 ± 26.2#	$p < 0.01$
5Hz	0	-42.5 ± 12.7*	1.7 ± 32.6#	41.7 ± 37.9††###	$p < 0.01$

K-W test: Kruskal-Wallis test

Scheffe's test: 運動前との有意差: * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$ 筋痛時との有意差: # $p < 0.01$, ## $p < 0.05$ 温熱直後との有意差: † $p < 0.01$, †† $p < 0.05$

表2 各周波数における筋痛時と寒冷刺激後のCPT(換算値)変化

単位(%)

	運動前	筋痛時	寒冷直後	寒冷20分後	K-W test
2000Hz	0	2.6 ± 21.4	14.6 ± 25.2	-0.6 ± 18.7	$p < 0.01$
250Hz	0	-9.2 ± 16.9	12.7 ± 32.4	7.3 ± 27.5	$p < 0.01$
5Hz	0	-42.8 ± 7.9**	1.3 ± 43.6###	7.08 ± 34.7#	$p < 0.01$

K-W test: Kruskal-Wallis test

Scheffe's test: 運動前との有意差: * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$ 筋痛時との有意差: # $p < 0.01$, ## $p < 0.05$

表3 各周波数における運動前、温熱・寒冷刺激後のCPT（実測値）変化

		単位 (μ A)			
		運動前	筋痛時	刺激直後	刺激 20 分後
2000Hz	温熱	75.0 \pm 17.2	74.0 \pm 15.8	66.0 \pm 14.3	77.0 \pm 15.7
	寒冷	87.0 \pm 26.7	86.0 \pm 20.7	100.5 \pm 44.1	85.0 \pm 25.5
250Hz	温熱	38.5 \pm 10.3	29.5 \pm 6.4	32.5 \pm 5.9	39.0 \pm 6.6
	寒冷	43.0 \pm 14.9	38.5 \pm 14.7	46.5 \pm 17.5	44.0 \pm 12.4
5Hz	温熱	32.0 \pm 6.3	18.5 \pm 5.8	32.5 \pm 12.7	43.5 \pm 6.7
	寒冷	34.0 \pm 8.4	19.5 \pm 5.5	35.0 \pm 21.7	35.5 \pm 12.1

Mean \pm SD

各周波数における運動前、温熱・寒冷刺激後のCPT（実測値）の変化を表3に示す。

2. VAS の変化

温熱群は、筋痛時10に対して温熱直後4.9 \pm 1.9, 温熱20分後4.7 \pm 0.9とそれぞれ減少し筋痛時と温熱直後、筋痛時と温熱20分後の間に有意差を認めた ($p < 0.01$)。寒冷群は、筋痛時10に対して寒冷直後6.2 \pm 2.5, 寒冷20分後4.7 \pm 2.0とそれぞれ減少し、筋痛時と寒冷直後、筋痛時と寒冷20分後の間に有意差を認めた ($p < 0.01$)。

3. 肘関節 ROM の変化

温熱群における屈曲および伸展角度の実測値を表4に示す。温熱群の屈曲角度は、運動前145.0 \pm 3.3 $^{\circ}$ に対して筋痛時は127.0 \pm 4.8 $^{\circ}$ に減少した。筋痛時に対して温熱直後は138.5 \pm 5.8 $^{\circ}$, 温熱20分後は140.5 \pm 5.0 $^{\circ}$ とそれぞれ増加し有意差を認め

た。伸展角度は、運動前1.5 \pm 2.4 $^{\circ}$ に対して筋痛時は-23.5 \pm 8.2 $^{\circ}$ に減少した。筋痛時に対して温熱直後は-9.5 \pm 8.0 $^{\circ}$, 温熱20分後には-4.4 \pm 6.3 $^{\circ}$ とそれぞれ増加した。各条件間の統計学的有意性は表4に示すとおりである。

寒冷群における屈曲および伸展角度の実測値を表4に示す。寒冷群の屈曲角度は、運動前144.0 \pm 7.0 $^{\circ}$ に対して筋痛時は125.5 \pm 6.4 $^{\circ}$ に減少した。筋痛時に対して寒冷直後136.5 \pm 3.4 $^{\circ}$, 寒冷20分後には140.0 \pm 5.3 $^{\circ}$ とそれぞれ増加し有意差を認めた。伸展角度は、運動前4.5 \pm 4.4 $^{\circ}$ に対して筋痛時は-20.0 \pm 6.7 $^{\circ}$ に減少した。筋痛時に対して寒冷直後は-7.5 \pm 5.9 $^{\circ}$, 寒冷20分後には-5.0 \pm 4.1 $^{\circ}$ とそれぞれ増加し有意差を認めた。各条件間の統計学的有意性は表4に示すとおりである。

表4 運動前、筋痛時と温熱・寒冷刺激後の肘関節ROMの変化

						単位 (度)
		運動前	筋痛時	刺激直後	刺激 20 分後	K-W test
屈曲	温熱	145.0±3.3	127.0±4.8*	138.5±5.8*#	140.5±5.0#	p<0.01
	寒冷	144.0±7.0	125.5±6.4*	136.5±3.4*#	140.0±5.3#	p<0.01
伸展	温熱	1.5±2.4	-23.5±8.2*	-9.5±8.0*#	-4.4±6.3#	p<0.01
	寒冷	4.5±4.4	-20.0±6.7*	-7.5±5.9*#	-5.0±4.1*#	p<0.01

K-W test : Kruskal-Wallis test

Scheffe's test : 運動前との有意差 : * $p < 0.01$, ** $p < 0.05$ 筋痛時との有意差 : # $p < 0.01$, ## $p < 0.05$

4. CPT と VAS の関連 (表5)

客観的評価である CPT (実測値) と主観的評価である VAS (実測値) の関連について検討した。その結果、温熱における CPT と VAS の関連は、2000Hz では $r_s = 0.236$ ($p = 0.377$)、250Hz では $r_s = -0.157$ ($p = 0.146$)、5 Hz では $r_s = -0.630$ ($p < 0.01$) と 5 Hz においてのみ有意な負の相関が認められた。寒冷における CPT と VAS の関連は、2000Hz では $r_s = 0.121$ ($p = 0.349$)、250Hz では $r_s = -0.229$ ($p = 0.096$)、5 Hz では $r_s = -0.440$ ($p < 0.01$) と 5 Hz においてのみ有意な負の相関が認められた。

表5 各周波数における温熱・寒冷刺激別のCPTとVASの関連

		相関係数(r_s) *	p 値
2000Hz	温熱	0.236	0.377
	寒冷	0.121	0.349
250Hz	温熱	-0.157	0.146
	寒冷	-0.229	0.096
5Hz	温熱	-0.630	$p < 0.01$
	寒冷	-0.440	$p < 0.01$

*Spearman 順位相関係数

【考察】

遅発性筋痛の病態については十分に明らかにされていない点も多いが、筋や結合組織の微細構造の損傷を引き起こす伸張性(遠心性)筋活動を含む運動に伴って生じることから、筋線維の損傷、およびその後の炎症反応が原因だとする損傷・炎症説が広く支持されている¹⁾。そのメカニズムは、①運動により筋細胞膜や筋小胞体などが損傷する一次損傷が生じる。②筋細胞膜の損傷により、筋細胞内のカルシウムイオン濃度が上昇すると、プロテアーゼやホスフォリパーゼなどのタンパク質分解酵素が活性化して、Z帯などの収縮タンパク膜の崩壊を引き起こす二次損傷へと発展する。③これにより筋の腫脹、単核細胞やマクロファージの浸潤、筋細胞の壊死が起

こる。④活発な食作用や筋細胞の壊死によりC線維周辺の細胞間質に蓄積される発痛物質や筋の腫脹が自由神経終末への侵害刺激となり遅発性筋痛が引き起こされると示されている²⁾。これによるとC線維の興奮が筋痛に関与していると考えられる。

1. CPT の変化

痛みを知覚させる侵害刺激は、侵害受容器(ポリモーダル受容器)で受け取られA δ 線維・C線維の求心性神経線維により中枢に伝達される。A δ 線維は熱や針で刺すなど瞬間的な鋭い痛みを伝達し、C線維は鈍く慢性的な痛みや温かい等の温覚を中枢に伝える知覚神経である。本研究の結果では、運動前に比べて筋痛時にはC線維を選択的に刺激しているとされる5 Hz の CPT が有意に低値となったため、遅発性筋痛のメカニズムにおいてC線維の閾値が低下した状態にあることが示唆された。

筋痛が発生した非検筋に対して温熱および寒冷の物理療法を実施した結果、温熱群・寒冷群ともに5 Hz の CPT が筋痛時に比べて、物理療法直後、20分後ともに有意に高値を示し、C線維の閾値が上昇した状態にあることが示唆された。このことは、温熱および寒冷の物理的刺激が痛みを伝達するC線維に対して変調刺激となり、C線維の興奮を低下させたことを示していると考えられる。C線維が伝達する痛みは、他からの影響を受けないA δ 線維に比べてさまざまな修飾作用を受け、いろいろな刺激入力により変調しやすいとされることから、温熱および寒冷の物理的刺激の影響を受け、効果的に作用しやすかったことが推察される。

2. VAS の変化

VAS は主観的な痛みの程度を示す指標として簡便な方法であるが、痛みの感じ方には個体差があり、痛みに対する許容度、付随する快・不快を含めた感情、過去の認知、心理的因子などが関与するため、痛みそのものの原因や質、程度と一致するとは言えない。

VAS の変化は、筋痛時に与えたダンベルによる侵害刺激により最も痛みを感じた値を基準にすると、温熱・寒冷の物理的刺激を与えることによりそ

の値は有意に減少した。温熱の疼痛軽減の生理学的影響としては、血行改善による発痛物質の除去、二次的な筋スパズムの軽減、疼痛閾値の上昇などが挙げられる³⁾。また、寒冷の疼痛軽減の生理学的影響としては、感覚受容器の閾値の上昇、刺激伝達の遅延による中枢への感覚性インパルスの減少、新陳代謝の低下による発痛物質産生の減少、筋緊張低下による血液循環の改善に伴う反応性充血、痙縮の低下による鎮痛効果、反応性充血による鎮痛効果などが挙げられる⁴⁾。本研究におけるVASの値の低下は、これらの生理学的影響の中の痛覚閾値の上昇により疼痛が緩和されたことによるものと推察され、主観的な疼痛の評価により温熱・寒冷の物理的刺激による筋痛の改善をある程度把握できることを示唆していると考えられる。また勝見らは、遅発性筋痛の経皮的に触知される圧痛点の形成には筋膜周囲の痛覚受容器（ポリモーダル受容器）の関与が大きいと報告している⁵⁾。このことから主にダンベルの圧による侵害刺激に反応した筋膜周囲の痛覚受容器の閾値上昇が推測された。

3. 肘関節 ROM の変化

本研究の結果は、肘関節 ROM は屈曲・伸展ともに筋痛時に明らかに ROM が低下した。これは、前述の ROM 減少のメカニズムによるものと考えられる。その後の温熱・寒冷の施行により直後と 20 分後では筋痛時に比べ有意に ROM が改善し、20 分後では運動前の値に近くなった。このことより、温熱・寒冷の物理的刺激は ROM 改善に効果的であったと言える。

筋痛時の ROM 減少は、疼痛による筋の過緊張や炎症過程の腫脹による筋内圧の増加が原因に挙げられている。また、関節可動域制限の原因には、結合組織の粘弾性の低下や一次的あるいは二次的に起こった筋の過緊張があるが、後者の原因には痛みによる影響が大きいとされている。そのため侵害刺激を除去し疼痛緩和させることが関節可動域改善に求められる。筋の過緊張に対する両法による改善因子としては、皮膚からの求心性線維を介しての γ 運動神経活性の反射的な減少が筋緊張低下をもたらしたと

考えられる。ただし、温熱・寒冷は表在性的の方法をとっているため、筋紡錘に対して直接的な作用を及ぼしたかは不明である。炎症に対する両法の改善因子としては、温熱では血行改善による発痛物質の除去、寒冷では新陳代謝の低下による発痛物質産生の減少などの作用が働き、炎症症状を軽減したものと考えられる。また、筋痛による筋の過緊張と炎症の改善は、疼痛の緩和にも作用することより、温熱・寒冷の施行により ROM が改善したものと考えられる。

4. CPT と VAS の関連について

客観的評価である CPT と主観的評価である VAS の関連について検討した結果、5 Hz における CPT と VAS の間においてのみ有意な負の相関が認められた。このことは、温熱・寒冷の物理的刺激によって 5 Hz、すなわち遅発性筋痛に関与があるとされる C 線維の閾値の上昇を VAS がある程度反映しているものと考えられる。

しかし、被検者によっては CPT と VAS の値に関与を説明しにくい例もあった。この理由には、CPT は知覚として捉えるのに対して VAS は大脳皮質体性感覚野での痛みとしての感覚や情動体験などからくる痛みを捉えていることによる差異があると考えられる。また、CPT は疼痛閾値ではなく、知覚閾値として末梢神経線維の興奮を示すものであることも考慮すべき点である。

【終わりに】

本研究では温熱・寒冷の物理的效果について、痛みの主観的指標と Neurometer® を用いた絶対値による客観的指標を加えて検討することによって、遅発性筋痛の疼痛メカニズムの把握や温熱・寒冷の物理的效果を主観的、客観的に評価できる可能性を示すことができた。

今回は、比較的定量評価しやすい遅発性筋痛による物理療法の効果を検討したが、臨床では、さまざまな筋痛や痛みの訴えがあり、それに対処しなければならない。今回の研究結果を、今後の痛みの評価と痛みに対する効果的な治療方針を立てることの一

助としたいと考える。

【文献】

- 1) 野坂和則：遅発性筋痛の病態生理学．理学療法
18：476-484, 2001.
- 2) 久野晋也, 増田和実：運動誘発性筋損傷と遅発
性筋痛．整形・災害外科 42：627-638, 1999.
- 3) 木村貞治：温熱療法．理学療法ハンドブック
改訂第3版第2巻（細田多穂, 柳澤健・編）,
pp657-687. 協同医書出版社, 2000.
- 4) 神沢信行：寒冷療法．理学療法ハンドブック
改訂第3版第2巻（細田多穂, 柳澤健・編）,
pp689-699. 協同医書出版社, 2000.
- 5) 勝美奏和：遅発筋痛モデルにおける圧痛点の深
部痛覚閾値について．リハビリテーション医学
36（12）：1006, 1999.