

第四章 損傷組織に対するクライオセラピーが足関節不安定性、 神経筋機能および機能性パフォーマンスに及ぼす影響

(研究課題 1: 実験 1-1, 1-2)

研究課題 1 では、臨床やスポーツ現場におけるクライオセラピーの効果を実証するために、急性足関節捻挫受傷者を対象とし、損傷組織に対するクライオセラピーが足関節不安定性、神経筋機能および機能性パフォーマンスに及ぼす影響について検討した。

4-1. 損傷組織に対するクライオセラピーが足関節不安定性に及ぼす影響（実験 1-1）

4-1-1. 緒言

足関節は、スポーツ活動における障害の発生頻度の高い部位であると知られている (Karlsson et al., 1992, Kuwada et al., 1994)。高校サッカー選手を対象としたスポーツ障害調査においては、スポーツ活動中の全外傷部位の 16% を足関節が占めていると報告されている (Karlsson et al., 1992, Kuwada et al., 1994)。足関節損傷の中でも捻挫は神経損傷や骨折と比較して頻度が高い傷害である (Balduini et al., 1987)。足関節捻挫の受傷機転で最も一般的なものは、足の内反、すなわち足底が内がえしとなるような肢位で受傷し、外側靭帯が損傷されるものに起因する。足関節捻挫後の遺残症状である足関節不安定性は、靭帯損傷に起因するアライメント異常などにみられる解剖学的要因が影響する。また、中枢神経系、末梢神経系、筋疾患・障害からくる神経・筋因子も影

響していると考えられる。

通常、足関節の不安定性の定量的評価はストレスX線撮影法により診断する (Walker, 1989)。ストレスX線撮影法は外傷・障害因子を解剖学的要因による評価であり、足関節ストレスX線撮影法による距骨傾斜角や前方引出し距離などから足関節の不安定性を定量的に評価することができる (Khin et al., 1999)。距骨傾斜角は内反ストレスによる距骨上縁の外側への傾きを、また前方引出し距離は距骨の前方移動の距離を計測する。一般に計測結果から、靭帯の解剖学的損傷程度はⅠ度 (靭帯線維の微細断裂)、Ⅱ度 (靭帯の部分断裂)、Ⅲ度 (靭帯の完全断裂) に分類することができる。

クライオセラピーは、足関節捻挫に対する初期治療 (受傷直後から 24 時間まで) として行われる。その後、軽度の不安定性を呈する場合には一定期間 (2 週間以内) テーピングあるいはブレースの固定を行い、重度の不安定性を呈する場合には保存的治療あるいは手術的治療を選択することが一般的である。

足関節捻挫に対する処置法が足関節不安定性に及ぼす影響をストレスX線撮影法を用いて評価した報告は多い (Jon et al., 1989, 下條ら., 1990, 城所ら., 1996, Khin et al., 1999)。下條ら. (1990) は、バスケットボール選手を対象に足関節へのブレースとテーピングの固定力をストレスX線撮影を用いて比較し、ブレースに比べテーピングの方がより固定力が高いことを示した。また城所ら. (1996) は、足関節捻挫における運動負荷前後のブレースとテーピングの制動効果とゆるみについてストレスX線撮影を用いて評価した。その結果、前方引出し距離については、これらの固定方法間に違いはみられなかったものの、内反ストレスに対してはテーピングの方が有意に制動率が高く、また運動後のゆるみも少ない傾向が認められた。

テーピングやブレース同様足関節捻挫に対する応急処置として、クライオセラピーは、スポーツ現場においてよく実施されている。クライオセラピーは、主としてスポーツにおける外傷・障害に対し、痛みと腫脹を抑える目的で実施され、早期復帰のためのリハビリテーションへの移行に役立っている (Boland et al., 1979, Swenson et al., 1996, Kenneth et al., 1997)。クライオセラピーによる病態生理学的影響には、筋温の低下、代謝の低下、炎症への影響、血液循環への影響、痛みの軽減、筋スパズムの抑制、そして組織のスティフネスの増大などが推察されている (Palmer et al., 1992, Julie et al., 1993, Rantanen et al., 1993, Swenson et al., 1996, Knight et al., 1997)。実際に足関節捻挫後による関節不安定性に及ぼすクライオセラピーの効果を定量的に評価した報告はほとんどない。

そこで本研究では、足関節捻挫に対するクライオセラピーが足関節不安定性に及ぼす影響についてストレスX線撮影法を用いて比較検討した。

4-1-2. 対象および方法

A. 対象

被験者は、ストレスX線撮影によりⅠ～Ⅱ度の足関節捻挫と診断された者 6 名 (男子：4 名，女子：2 名) とした (Table 4-1-1)。各被験者は医師の診断のもとで全員が実験可能であった。被験者に本研究の目的および測定内容を説明し、研究参加の同意を得た。スポーツ種目では、サッカー3 名，バスケットボール 1 名，バレーボール 1 名，体操競技 1 名であった。

B. ストレス X線撮影法

筑波大学保健管理センターにおいて、初診時（受傷後 1 週間以内）に、ストレス用足関節固定器 Telos SE (TELOS, Japan) を用い、①足関節中間位で 15 [kgw] の前方引き出しストレスを加え、足関節天蓋後果部から距骨関節面への最短距離（滑車が水平面で回旋しており、内外滑車縁の二重像として描出されている場合にはその中点の最短距離）を測定した。②足関節中間位で 15 [kgw] の内反ストレスをかけレントゲン撮影を行い、その写真から距骨傾斜角の測定を行った。（Fig. 4-1-1）（高倉, 1995）。

C. クライオセラピー方法および研究プロトコル

クライオセラピーはアイシングパック（0℃、1.5kg）を用いて足関節全体を覆うように直接当て（20 分間）、幅 15cm のバンデージで、一定の圧迫で巻き、固定した。研究のプロトコルは全被験者に研究手順を説明し、筑波大学保健センターにて、クライオセラピー前と 20 分間のクライオセラピー直後にストレス X線撮影を行った。

D. 統計処理

測定値は全て平均値±標準偏差で示した。各測定値の分析には Wilcoxon 符号付順位検定を用い、有意水準は 5% を採択した。

4-1-3. 結果

本研究での各被験者のストレス X線撮影法による足関節安定性の変動を Table 4-1-2 に示す。

A. 前方引出距離

前方引き出し距離は、クライオセラピー前の健側 $4.24 \pm 1.24\text{mm}$ に比べ、患側は 7.17

±1.23mm でクライオセラピー直後の患側は $6.3 \pm 1.31\text{mm}$ であった。健側と患側を比較すると、患側において有意に大きかった (Fig. 4-1-2, $p < 0.05$)。なお、患側はクライオセラピー前に比べてクライオセラピー直後において有意に減少した (Fig. 4-1-2, $p < 0.05$)。

B. 距骨傾斜角

距骨傾斜角は、クライオセラピー前の健側の $5.04 \pm 2.46^\circ$ に比べ、患側は $8.93 \pm 2.96^\circ$ でクライオセラピー直後の患側は $5.62 \pm 0.80^\circ$ であった。健側と患側を比較すると、患側において有意に大きかった (Fig. 4-1-3, $p < 0.05$)、なお、患側はクライオセラピー前に比べてクライオセラピー直後に有意に小さかった (Fig. 4-1-3, $p < 0.05$)。

4-1-4. 考察

本研究では、スポーツ傷害の中で最も頻度が高いと言われる足関節捻挫に対して、ストレス X 線撮影法を用いてクライオセラピー前と直後に足関節安定性の相違について検討した。足関節捻挫はクライオセラピー前と比べて、クライオセラピー直後に安定した。

一般に足関節捻挫はストレス X 線撮影法による距骨傾斜角の左右差 (健側と患側の差) が 10 度以上をⅢ度、5 度以上 10 度未満をⅡ度、5 度未満をⅠ度として診断される。Ⅱ度までは手術せずに保存的に治療するというコンセンサスが得られている (田淵, 1997)。本研究の全ての被験者はストレス X 線撮影によりⅠ～Ⅱ度の足関節捻挫と診断された。

足関節捻挫が起こると、即時に細胞の超微細構造の変化が筋や結合組織、あるいは

両方に起こると考えられる。このとき神経および血管が破壊され、破壊された血管から出血が生じ、腫脹を起こす。浮腫が形成されると、損傷周辺に圧力がかかることで痛みの程度が増す結果となる。また、身体では筋スパズム、筋力や関節可動域の低下がみられる。Slocum et al. (1972) は、クライオセラピーは血管のスパズムを引き起こし、血管内皮細胞の粘性を高め、血管とリンパ管の流れを回復すると報告している。Giesbrecht et al. (1992) は、筋のスティッフネスの高まりは組織温度が低下するにつれて筋線維の粘性が高まるために起こると述べている。また、この他の原因として関節周辺の筋機能の損傷、結合組織の伸展性低下、および関節内滑液の粘性向上などの複雑な変化によるとの報告もある (Johns et al., 1962, Vincet et al., 1988)。

本研究では、捻挫群における前方引き出し距離と距骨傾斜角は、クライオセラピー直後において有意な改善が認められた (Fig. 4-1-2, Fig. 4-1-3, $p < 0.05$)。本研究でみられたクライオセラピー直後の足関節の不安定性の変化は、捻挫のため前距腓靭帯や踵腓靭帯といった結合組織のスティッフネスが温度の低下とともに高まり、その伸展性が失われたことが原因であると考えられる。このように、足関節捻挫に対するクライオセラピーによって足関節安定が改善される可能性が示唆された。

スポーツ活動の直前もしくはスポーツ活動中におけるクライオセラピーは、温度の低下がパフォーマンスに有害な影響をもたらす可能性があることと、活動によって冷却された組織が断裂するおそれがあることから推奨されていない (Knight et al., 1997)。

Giesbrecht et al. (1992) は、バスケットボールのシュートや野球のバッティングといった微妙な運動スキルに対して、筋もしくは関節のクーリングが不利な影響をもたらしたと報告している。原因として、正常な筋や結合組織、関節のクーリングは、それら

を硬くさせ、動きに対する抵抗を生じさせたことが考えられる。

一方で急性外傷に対するクライオセラピーの影響に関しては、痛みや筋スパズムの軽減、代謝の低下、炎症への影響など様々な効果が異論なく受け入れられている。急性外傷の冷却適用は組織温度を下げ、血管が冷やされて収縮し、血管の透過性が低下し、組織中への出血が抑制されると説明できる。このように、急性外傷の冷却の適用が腫脹や痛みを軽減し、筋骨格筋の急性外傷の応急処置におけるクライオセラピーの適用を支持している。

本研究では、足関節捻挫に対するクライオセラピー直後は足関節が安定することが確認された。

今後はクライオセラピー直後からどの程度（時間）まで安定化効果が持続するかなどが明らかになれば、リハビリテーションにどの程度効果的かを論じることができると思われる。今後の検討課題である。

4-1-5. 要約

本研究では、足関節捻挫に対するクライオセラピーの効果を検討するため、クライオセラピー前後にストレスX線画像を用いて足関節不安定性を評価し、以下の知見を得た。

1. 足関節捻挫に対する前方引き出し距離と距骨傾斜角は、患側において高値を示した。
2. 患側に対する前方引き出し距離と距骨傾斜角は、クライオセラピー前に比べてクライオセラピー直後において低値を示した。

以上より、足関節捻挫に対するクライオセラピーによって足関節安定性が改善される可能性が示唆された。

Table 4-1-1. Characteristics of subjects.

Subjects	Sex	Age (years)	Height (m)	Weight (kg)
MM	M	28	1.77	85
CT	M	22	1.64	58
AE	M	23	1.72	69
HT	M	20	1.67	55
OT	F	18	1.54	52
FS	F	19	1.62	50
Mean \pm SD	(n = 6)	21.6 \pm 3.6	1.65 \pm 0.081	61.5 \pm 13.3

Table 4-1-2. Ankle stability evaluated by stress x-ray measurement.

Subject	Sex	anterior talar translocation			talar tilt		
		NA	SA		NA	SA	
			BC	AC		BC	AC
MM	M	2.74	8.04	6.42	3.45	7.84	5.43
CT	M	3.68	5.25	3.89	3.76	8.47	6.04
AE	M	3.59	6.76	6.70	3.72	8.17	6.74
HT	M	5.37	6.48	6.29	9.94	14.32	4.54
OT	F	6.08	8.07	7.83	4.74	5.37	4.98
FS	F	3.98	8.45	6.78	4.64	9.38	5.98
mean		4.23	7.17 *	6.30†	5.04†	8.93 *	5.62†
SD		1.24	1.23	1.31	2.46	2.96	0.80

NA: non-sprained ankle, SA: sprained ankle

BC: sprained ankle before cryotherapy, AC: sprained after cryotherapy

*: $p < 0.05$ NA vs SA, †: $p < 0.05$ BC vs AC

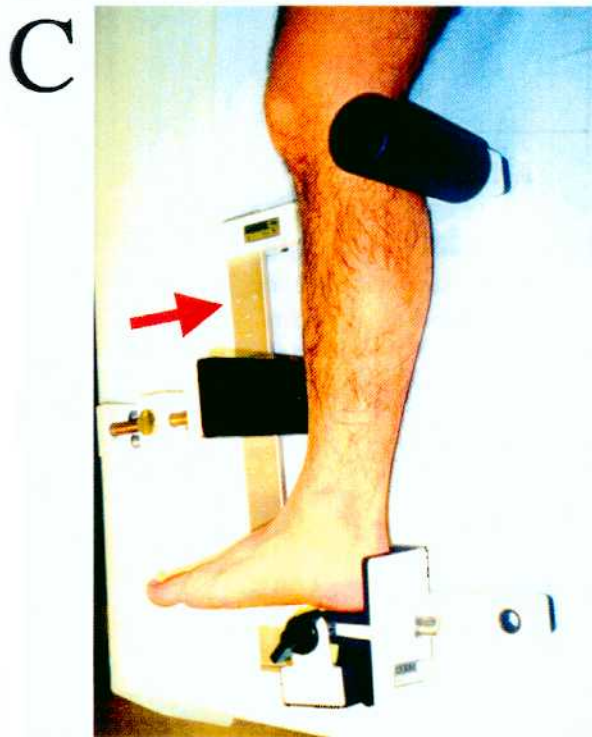
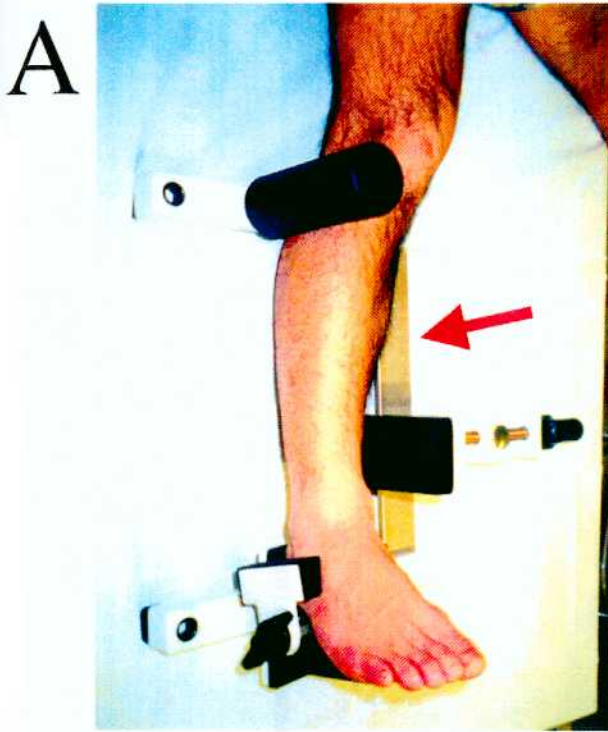


Fig. 4-1-1. Stress X-ray measurement of anterior talar translocation (A, B) and talar tilt (C, D). Stress X-ray measurement of anterior talar translocation and talar tilt were tested using inversion stress (15-kg, arrow) and stress X-ray (2 red line).

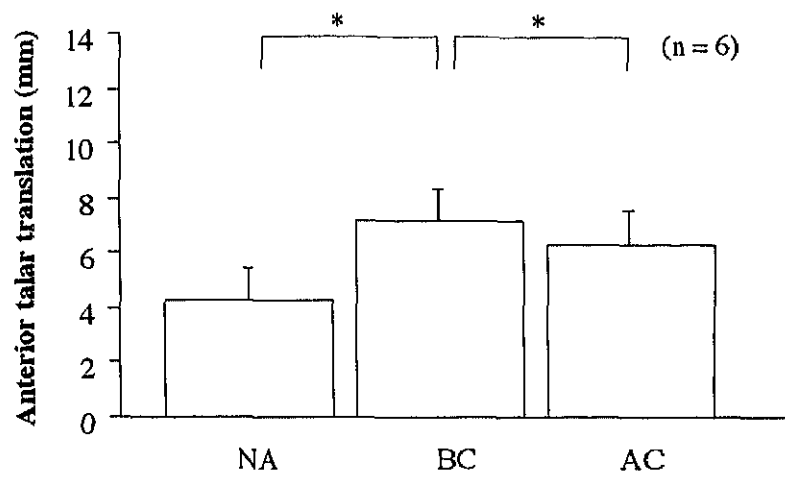


Fig. 4-1-2. Effects of cryotherapy on anterior talar translocation of sprained ankle. Comparing of sprained ankle and non-sprained ankle (NA). Also comparing sprainedankle between before (BC) and after (AC) cryotherapy. Values are the Means \pm SD of 6 patients. *: $p < 0.05$.

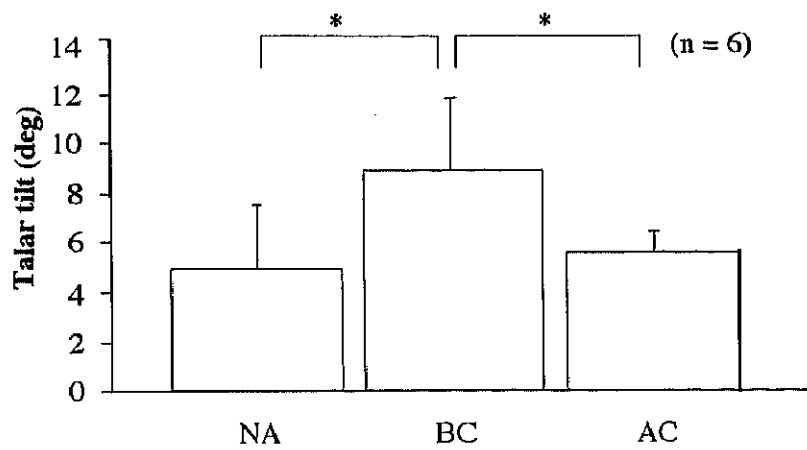


Fig. 4-1-3. Effects of cryotherapy on talar tilt of sprained ankle. Comparing of sprained ankle and non-sprained ankle (NA). Also comparing sprained ankle between before (BC) and after (AC) cryotherapy. Values are the Means \pm SD of 6 patients. *: $p < 0.05$.

4-2. 損傷組織に対するクライオセラピーが筋反応時間及び機能性パフォーマンスに及ぼす影響（実験 1-2）

4-2-1. 緒言

クライオセラピーはテーピングやストレッチ同様、スポーツ現場において最も浸透しているコンディショニングの方法の一つである。クライオセラピーは主としてスポーツにおける外傷・傷害に対し、疼痛と腫脹を抑える目的で実施され、早期復帰のためのリハビリテーションへの移行に役立っている (Boland et al., 1997, Swenson et al., 1996, Knight, 1997)。

クライオセラピーによる病態生理学的影響には、筋温の低下、代謝の低下、炎症への影響、血液循環への影響、痛みの軽減、筋スパズムの抑制、そして組織のスティフネスの増大などが推察されている (Foldes et al., 1978, Palmer et al., 1992, Rantanen et al., 1993, Sherwin et al., 1994, Swenson et al., 1996, Knight, 1997, 山本, 1998)。

これまでのクライオセラピーに関する研究として、軟部組織や筋骨格系の急性外傷の際に行われる応急処置 (Matsen, 1975, Glen et al., 1990, Sherwin et al., 1994) とスポーツにおける傷害のリハビリテーションへの適用に関するものが多い (Boland et al., 1979, Swenson et al., 1996)。最近では、クライオセラピーによる神経筋機能 (Halar et al., 1980, Rantanen et al., 1993, Mary et al., 1993) の変化に関しての報告がある。Halar et al. (1980) は、ヒトの脛骨神経の伝導速度が 2~10℃の皮膚温の低下によって直線的に減少することを報告している。同様に、末梢の運動神経の伝導速度は組織温が低下するに伴って遅延すると報告している (Halar et al., 1980, Heinz et al., 1999)。クライオセラピーが固有知覚に与える影響に関しては、影響を受けるという報告 (Gerig et al., 1990) と受

けない (Ingersoll et al., 1992, Lareviere et al., 1994) とする報告があり、一定した見解は得られていない。

クライオセラピーによる機能性パフォーマンスの変化についても報告がみられる (Rantanen et al., 1993, Auvo et al., 1994, Todd et al., 1995, Kevin et al., 1996, 山本, 1998, 吉松ら., 1999)。Todd et al. (1995) は、クライオセラピーによって筋機能や筋収縮速度が低下し、その結果、機能性パフォーマンスの低下をもたらすことを示している。吉松ら. (1999) は、寒冷療法による神経-筋パフォーマンスの低下を報告している。

このように、クライオセラピーが神経筋機能や機能性パフォーマンスに及ぼす影響については最近、多くの報告があるが、これらはすべて健常人を対象として用いた研究であり、実際に急性損傷に対するクライオセラピーが神経筋機能および機能性パフォーマンスに及ぼす影響に関する研究は極めて少ない。

そこで本研究では、受傷後一週間以内の足関節捻挫を対象とし、クライオセラピーが神経筋機能に及ぼす影響を検討することにした。足関節神経筋機能の指標として突発的足関節内反刺激に対する長・短腓骨筋の反応時間を用い、さらに、足関節捻挫に対するクライオセラピーが運動動作中の運動能力における機能性パフォーマンスに与える影響についても検討を加えた。

4-2-2. 対象および方法

A. 対象

対象は、捻挫群として急性足関節捻挫あるいは、足関節捻挫による不安感を強く訴え、筑波大学保健管理センターにおいて、初診時（受傷後 1 週間以内）に、ストレス

用足関節固定器 Telos SE (Telos Japan 社製) を用い、距骨傾斜角と前方引き出し距離を評価した者 6 名 (patient group; 男子: 4 名, 女子: 2 名) であった。非捻挫群は、下肢障害、神経学的障害のない者 6 名 (healthy group; 男子: 4 名, 女子: 2 名) であった (Table 4-2-1)。被験者に本研究の目的および測定内容を説明し、研究参加の同意を得た。

B. クライオセラピー方法および実験プロトコル

捻挫群の非捻挫足 (以下健側; nonsprained ankle) と捻挫足 (以下患側; sprained ankle) および非捻挫群の右足の筋反応時間と機能性パフォーマンステストはクライオセラピー適用前に実施した (ice 前)。15 分間の座位による安静の後、捻挫群の捻挫足 (患側の ice 直後) と非捻挫群の右足 (非捻挫群の ice 直後) の足関節にクライオセラピーを行い、再び筋反応時間および機能性パフォーマンステストを実施した。捻挫群の健側と非捻挫群の左足はクライオセラピーを行わずに 20 分間の安静を保った。クライオセラピー 24 時間後 (24h 後) に再び筋反応時間および機能性パフォーマンステストを行った。実験室の室温は 22 度に設定した。

クライオセラピーの方法はアイシングパック (0℃, 1.5kg) を足関節全体を覆うように直接当て (20 分間)、幅 15cm のバンテージで、一定の圧迫で巻き、固定した。

C. 筋反応時間 (足関節内反刺激による長・短腓骨筋の反応時間)

腓骨筋反応時間を測定するため、片側足関節に対して、重力による突発的内反ストレス刺激 (sudden ankle inversion stress) を模擬できるプラットフォームを作製した。

腓骨頭から外顆までを結んだ直線の上から 1/3 にあたる長腓骨筋 (peroneus longus, 以下 PL) に、また下から 1/3 にあたる短腓骨筋 (peroneus brevis, 以下 PB) にそれぞれ

れ2cm 間隔で表面電極（ディスポ電極・BIOPAC 社）を貼布した（Fig. 4-2-1）。電極は、体幹に対し近位側にプラス電極，遠位側にマイナス電極を貼布した。なお，不感電極は膝蓋骨中央部に貼布した。

被験者をプラットフォームの上で両足に均等な力が加わるように立たせた。このとき，両足はプラットフォーム上に記した直線の上に第二趾を置き，踵部はその直線よりもやや外側に位置させた。被験者に前方を向かせリラックスさせた後，筋電図による測定を開始した。続いて付属のスイッチを押し，プラットフォームを急激に 25° 傾かせたときの筋反応時間を測定した（Fig. 4-2-1）。スイッチを押した時点を開始点，筋電波形の立ち上がりが見られた時点（最高の5%を立ち上がりと定義）を反応点とし，開始点から反応点までの時間を筋反応時間とした（Cordova et al., 1998）（Fig. 4-2-2）。また，各被験筋に対する筋反応時間の測定は3回とし，スイッチを押すタイミングはランダムにした。実測値は3回の平均とした。

筋電図はポータブルのMP100(BIOPAC 社)を使用し、筋電波形はEMG100A (BIOPAC 社)より，内反開始時の信号はERS100A (BIOPAC 社)より入力した。これらのシグナルをパーソナルコンピューターに取り込み，解析ソフト「Acqknowledge」により得られた筋電図波形から筋反応時間を分析した。電極の位置は油性ペンでしるしをつけておき，24h 後（24 時間後）にも同様の位置で電極を貼布できるようにした。

D. 機能性パフォーマンステスト

1. 閉眼片脚立ち

滑りにくい平らかな床の上で裸足になり，両手を腰におき，目を閉じて片足で立った姿勢を保持させ，その保持時間を秒単位で計測した。最大時間は①開眼した時点，

②腰から手が離れた時点，③上げている足が床または支持足に触れた時点，④支持足が移動した時点のいずれかの条件までとした。測定はアイシングを適用した足から行い，短い休息の後，もう一方の足について行った。これらの測定は振動および雑音のない状況で実施した。

2. サイドステップ

中央をまたいだ状態から験者の開始合図とともに一定の時間内に繰り返してサイドステップし，そのステップした回数を数えた。時間は 20 秒とし，1.2m 間隔で引かれた 3 本の平行線を足が越えた，もしくは触れた時点を 1 回（1 ステップ）とした。なお，この条件を満たさなかった場合は，回数には数えないものとした。測定は 1 セットとし，滑りにくい平らな床の上で裸足により実施した。

E. 統計処理

測定値は全て平均値±標準偏差で表した。各測定値の分析には Wilcoxon 符号付順位検定を用いた。有意水準は 5%を採択した。

4-2-3. 結果

A. 健側と患側による比較

健側と患側による比較では，長・短腓骨筋反応時間は患側に有意な遅延が認められた (Table 4-2-2, $p < 0.05$)。長腓骨筋反応時間の比較は Fig. 4-2-3 に，短腓骨筋反応時間の比較を Fig. 4-2-4 に示した。閉眼片足立ちでは患側に有意な短縮が認められた (Table 4-2-2, $p < 0.05$)。

B. 患側におけるクライオセラピー前・後による比較

患側におけるクライオセラピー前・後による比較では、長腓骨筋反応時間はクライオセラピー後に短縮する傾向にあった。一方、短腓骨筋ではクライオセラピー後に有意な短縮が認められた (Fig. 4-2-6, $p < 0.05$)。閉眼片足立ちではクライオセラピー前・後に有意な差はなかった。サイドステップでは、クライオセラピー後に有意な増加が認められた (Table 4-2-2, $p < 0.05$)。

C. 非捻挫群におけるクライオセラピー前・後による比較

非捻挫群におけるクライオセラピー前・後による比較では、長・短腓骨筋反応時間ともにクライオセラピー後に有意な遅延が認められた (Table 4-2-2, $p < 0.05$)。長腓骨筋反応時間の比較は Fig. 4-2-7 に、短腓骨筋反応時間の比較を Fig. 4-2-8 に示した。閉眼片足立ちではクライオセラピー後に有意な短縮が認められた (Table 4-2-2, $p < 0.05$)。サイドステップではクライオセラピー前・直後に変化はなかった。

4-2-4. 考察

これまで外傷・傷害に対するクライオセラピーが神経筋機能および機能性パフォーマンスに与える影響を検討した報告はほとんどないため、本研究では特に受傷後一週間以内の急性足関節捻挫を対象とし、クライオセラピーが神経筋機能に及ぼす影響を検討した。さらに、急性足関節捻挫に対するクライオセラピーが運動動作中の運動能力における機能性パフォーマンスに与える影響についても検討を加えた。

A. 健側と患側との比較

足関節の中で腓骨筋は足関節外側傷害に対する保護 (dynamic stabilizer) として働い

ていると考えられる (Claude et al., 1985). Lofvenberg et al. (1995) は、突然の変位に対する足関節の固有知覚反応の遅延が足関節の外側不安定性の素因または原因であると指摘している。従って、腓骨筋反応時間は足関節の機能的不安定性を定量的評価する手段として有用であると考えられる。

捻挫群の健側と患側の筋反応時間を比較すると、長・短腓骨筋ともに患側で有意な遅延が認められた (Table 4-2-2, Fig. 4-2-3, Fig. 4-2-4, $p < 0.05$). Konradsen et al. (1993) は、足関節の機能的不安定性を訴える患者 15 名と不安定性のない 15 名を対象として足関節に突発的内反ストレス刺激を加え、短腓骨筋の反応時間を測定したところ、不安定群で筋反応時間の有意な遅延がみられたと報告しており、本研究と同様の結果を示している。しかし、Konradsen らの報告の中では、この突発的足関節内反刺激に対する筋反応時間が損傷の結果として遅延する機序については明確に考察されていない。

Johns et al. (1962) と John, (1994) は、足関節捻挫による筋反応時間遅延の理由を三つ挙げ、第一に伸張、部分断裂、または完全断裂による足関節の外側の関節包靭帯構造の機械的損傷、第二に関節の求心性固有受容器の損傷または機能的傷害、第三に外反筋 (長・短腓骨筋) の筋力低下であると推察しているが、それぞれに関する明確な指摘はされていない。本研究のような突発的足関節内反刺激を加えた場合、筋紡錘が刺激を感知しその情報は脊髄を上行し、中枢に達する。その後、大脳皮質からの指令により末梢の筋収縮が引き起こされると考えられる。本研究では足関節捻挫のため筋紡錘からの情報入力低下が生じ、筋反応時間が遅延したことが考えられる。また筋紡錘以外の靭帯や関節包に分布する神経終末であるメカノレセプターが損傷され、固有知覚が傷害を受けることにより、神経-筋のコントロール不全が生じるというメ

カノレセプターの関与も考えられる。メカノレセプターは、それぞれ特有の刺激に対して足関節周囲筋の緊張を調節する働きがある。突発的足関節内反刺激が加えられた瞬間に足関節周囲の筋および靭帯、関節包は他動的に伸張および短縮される。その伸張度合いの急激な変化により、筋においては筋紡錘が伸張されることによる反射が起こると同時に、関節包や靭帯においても急激な伸張に伴うメカノレセプターからの反射が起こる。その結果として、 α 運動ニューロンが興奮し、それに対応した足関節周囲筋の収縮が行われた可能性がある。

閉眼片足立ちはバランスを測定するテストの一つであり、足関節に対する機能性不安定性の評価に適した方法である (Martin et al., 1998)。本研究における捻挫群の健側と患側の比較では、患側で有意な短縮が認められた (Table 4-2-2, $p < 0.05$)。Martin et al.

(1998) は、足関節におけるバランスのコントロールは、主に足関節固有受容器によるものであると報告している。また、末梢感覚は身体の静的姿勢維持に重要であると述べている。本研究で観察された時間の短縮は、これらの固有受容器や靭帯損傷によって患側のバランス能力が低下したためと考えられる。

B. 患側のクライオセラピー前・後による比較

捻挫群での患側の長腓骨筋反応時間はクライオセラピー後に短縮する傾向にあり (Fig. 4-2-5) 短腓骨筋では有意な短縮が認められた (Fig. 4-2-6, $p < 0.05$)。クライオセラピー後に長・短腓骨筋の反応時間が短縮した原因の一つとして、クライオセラピーによって固有受容器の増幅率が増加したことが考えられる (Roland et al., 1977, 坂根, 1995)。つまり、クライオセラピーにより固有受容器が活性化し、刺激に対する反応が早まったと考えられる。Roland et al. (1977) は、筋の能動的収縮に伴う kinesthesia と

受動的収縮に伴う kinesthesia として区別している。運動感覚の基礎となる感覚は深部の関節、筋および腱に分布する受容器からの情報に基づく感覚である。この感覚に関与する受容器は固有受容器ともいわれ、ルフィニ小体、パチニ小体、ゴルジ小体、自由神経終末などの関節受容器、筋紡錘、ゴルジ腱等の腱受容器の受容器があると言われている。本研究において捻挫群の患側の筋反応時間に遅延がみられたことは、上記の関節受容器あるいは腱受容器のどこかに障害を有している可能性が考えられる。

本研究では、足関節捻挫として靭帯を中心とした関節内メカノレセプター、または筋紡錘からの情報入力低下、中枢からの運動指令の何らかの抑制がアイシング適用によって改善した可能性が考えられる。しかし、本実験系では関節周囲軟部組織のメカノレセプターや筋紡錘もしくは、末梢神経系に対して中枢からの抑制が反映されたのか、それぞれの関与の割合に関しては不明であり、考察においてはあくまで可能性を示唆したにすぎない。今後、それぞれのレセプターに関して生理学的な実験系により研究を行う必要がある。

クライオセラピーによって筋反応時間が短縮したもう1つの原因として、疼痛の軽減による可能性が考えられる。坂根、(1995)は足関節不安定性を有する運動選手に足関節足根洞部に局注し、疼痛を除去することによって遅延していた反応時間が有意に改善したと報告している。このことは、我々の推察を支持していると考えられる。

患側の閉眼片足立ちでは、クライオセラピー前・後に有意な差はなかった。Tropp et al. (1985)は、捻挫の既往があるサッカー選手群と既往のないサッカー選手群のクライオセラピー前・後にバランス能力を比較したところ、変化がないことを報告している。Ingersoll et al. (1992)は足関節に対するクライオセラピーはバランス能力に影響しな

いと報告している。このように、多くの研究者によってクライオセラピーがバランス能力に影響を与えないことを報告しており (Lareviere et al., 1994), 本研究と同様の結果を示している。

患側のサイドステップでは、クライオセラピー後に有意な増加が認められた (Table 4-2-2, $p < 0.05$)。疼痛は筋力、柔軟性、パワー、そしてスピード発揮を抑制させると言われている (Knight, 1997)。本研究では、クライオセラピーによって疼痛の軽減が生じ、パフォーマンスを向上させた可能性が考えられる。

C. 非捻挫群におけるクライオセラピー前・後による比較

非捻挫群の筋反応時間では長・短腓骨筋ともにクライオセラピー後に有意な遅延が認められた (Table 4-2-2, $p < 0.05$)。神経と神経の機能的な接合部はシナプスと呼ばれ、シナプス伝達は組織温度の低下によって減少すると報告されている (Foldes et al., 1978, Thornton et al., 1976)。Foldes et al. (1978) は、筋温を 37°C から 17°C に低下させたときに前シナプスにおけるアセチルコリンの放出が 60%以上減少したことを示している。上述の報告と同様、本研究でも、組織温度の低下によって各シナプス間に何らかの抑制が働き、反応時間が遅延した可能性が考えられる。

非捻挫群の閉眼片足立ちではクライオセラピー直後に有意な短縮を示し (Table 4-2-2, $p < 0.05$)、先行研究の報告と必ずしも一致しない。本研究で用いた非捻挫群は、主にスポーツを行っていない対象であるため、クライオセラピーに慣れておらず、心理的な不安、恐怖などにより思うようなパフォーマンスが発揮できなかったと考えられる。また、組織温度の低下は皮膚からの入力や筋紡錘の感受性を減ずるという報告もあり (Moberg, 1983)、温度の低下とともにバランスをコントロールする能力が低下し

たため、保持時間が短縮したとも推察できる。

非捻挫群のサイドステップではクライオセラピー前・後で変化はなかった。Knight et al. (1994) は、足関節と腓腹筋のクライオセラピーでは敏捷性テストに影響を与えなかったと報告している。おそらく、組織温度低下に伴い、筋力発揮が低下する分を動員する運動単位の増加により補うのであろうと述べている。Knight (1997) と Todd (1995) は、クライオセラピー後に筋肉が冷やされたときや激しい運動が要求されるとき敏捷性は低下したと報告している。また、Gerig (1990) と Lareviere (1994) は、筋収縮速度と筋力発生能力は冷却によって減じると報告している。本研究では、非捻挫群における敏捷性はクライオセラピー適用によって影響を受けないことが確認された。

4-2-5. 要約

本研究では、足関節捻挫に対するクライオセラピーが筋反応時間および機能性パフォーマンスに及ぼす影響について検討し、以下の知見を得た。

足関節捻挫におけるクライオセラピー施行によって筋反応時間の短縮、サイドステップの増加を認めた。従って、クライオセラピー施行は急性外傷による神経筋機能および機能性パフォーマンスの低下を改善する可能性が示唆された。

Table 4-2-1. Characteristics of subjects.

Group	Number	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)
patient group	6	21.6 ± 3.6	165 ± 8.1	61.5 ± 13.3
healthy group	6	23.0 ± 0.8	167 ± 5.5	61.0 ± 7.5

Values are Mean ± SD

Table 4-2-2. Mean muscle reaction times and functional performances before, after, 24h after cryotherapy.

	Patient group		
	BC	AC	24hAC
peroneus longus reaction times (msec)			
NA	65.3 ± 15.5	65.8 ± 19.8	68.3 ± 8.0
SA	72.8 ± 9.9 *	62.5 ± 9.6	75.6 ± 13.6
peroneus brevis reaction times (msec)			
NA	66.1 ± 9.9	68.9 ± 14.6	68.1 ± 10.1
SA	71.9 ± 6.6 *	64.7 ± 7.9 †	75.8 ± 11.8
standing on one leg with closed eyes (sec)			
NA	51.8 ± 35.5	64.0 ± 26.0	56.9 ± 23.2
SA	14.7 ± 7.7 *	8.7 ± 5.6	13.5 ± 2.4
side-steps	33.5 ± 4.0	35.5 ± 3.8 *	34.8 ± 5.3
	Healthy group		
	BC	AC	24hAC
peroneus longus			
reaction times (msec)	70.3 ± 13.3	77.5 ± 5.2 *	68.9 ± 8.3 *
peroneus brevis			
reaction times (msec)	69.4 ± 11.6	78.1 ± 11.3 *	70.8 ± 11.1*
standing on one leg			
with closed eyes (sec)	30.2 ± 21.3	16.6 ± 12.3 *	32.2 ± 25.1*
side-steps	43.3 ± 4.1	42.5 ± 3.9	44.2 ± 2.5

NA: non-sprained ankle; SA: sprained ankle

*: $p < 0.05$, significant difference sprained ankle and non-sprained ankle

†: $p < 0.05$, significant difference before and after cryotherapy.

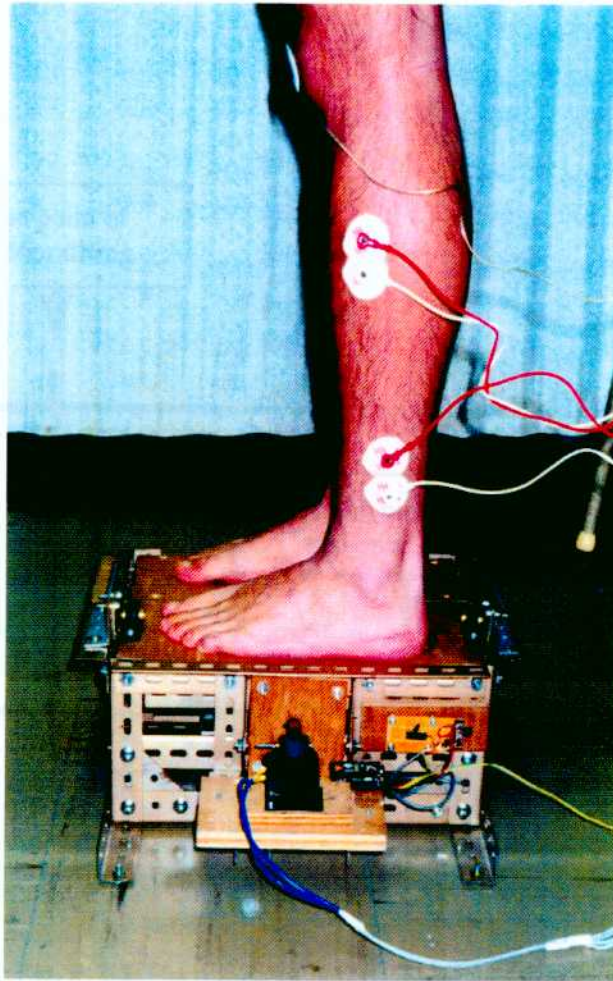


Fig. 4-2-1. Sudden ankle inversion stress for measurement of the peroneal reaction time

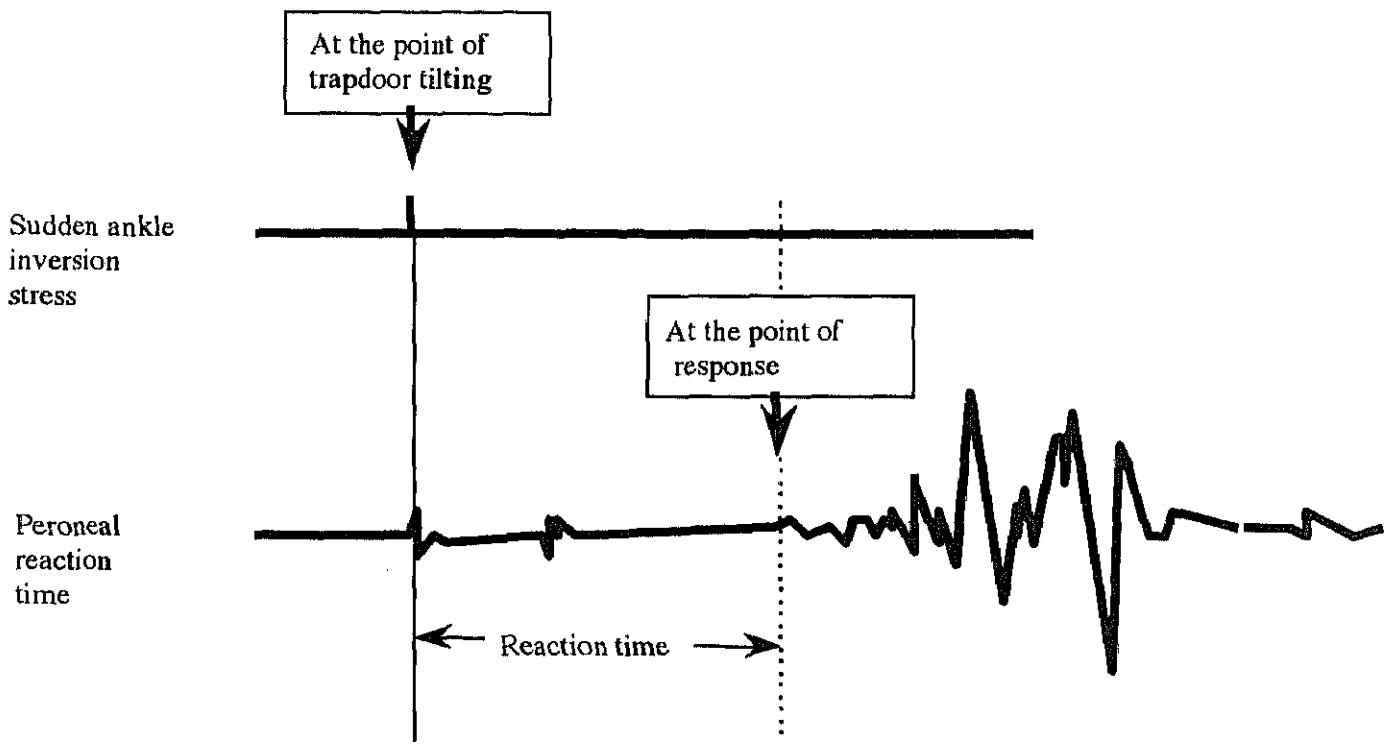


Fig. 4-2-2. Recording of peroneal reaction time

Peroneal reaction times were recorded from the point of trapdoor tilting to the point of response.

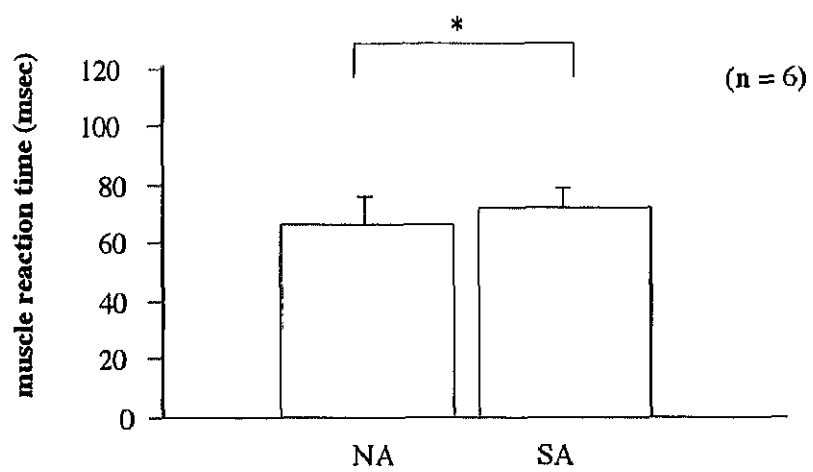


Fig.4-2-3. Peroneus longus reaction times (patient group). Comparing of non-sprained ankle (NA) and sprained ankle (SA). Values are the means \pm SD of 6 persons *: $p < 0.05$.

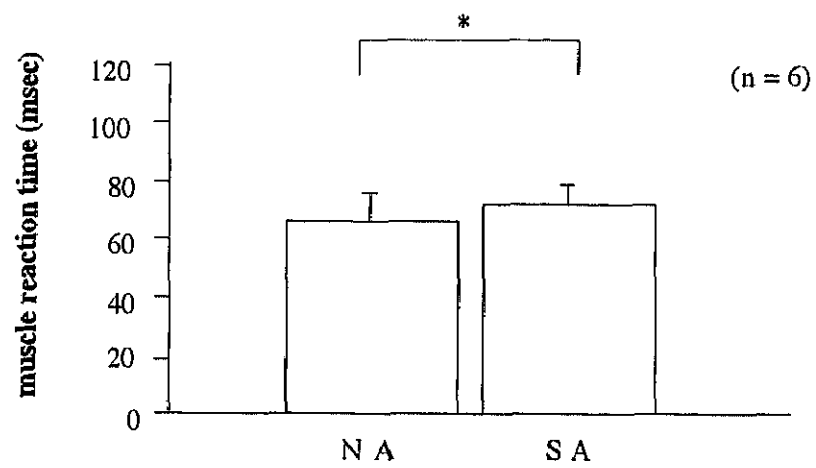


Fig.4-2-4. Peroneus brevis reaction times (patient group). Comparing of non-sprained ankle (NA) and sprained ankle (SA). Values are the means \pm SD of 6 persons *: $p < 0.05$.

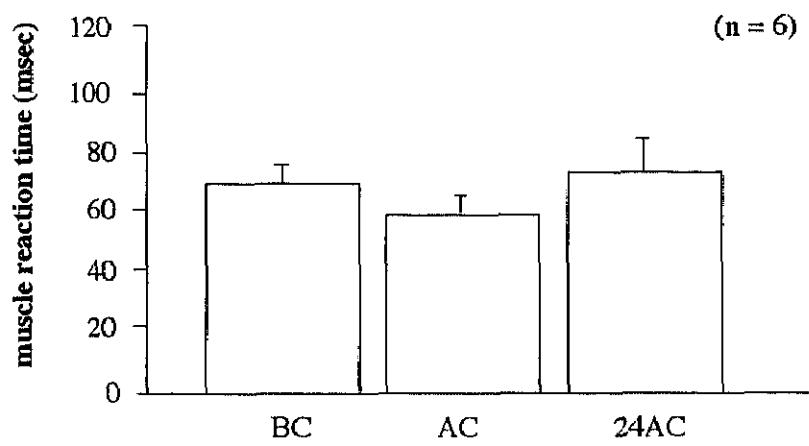


Fig. 4-2-5. Peroneus longus reaction times (patient group). Comparing of before (BC), after (AC), 24h after (24AC) cryotherapy. Values are the means \pm SD of 6 persons *: $p < 0.05$.

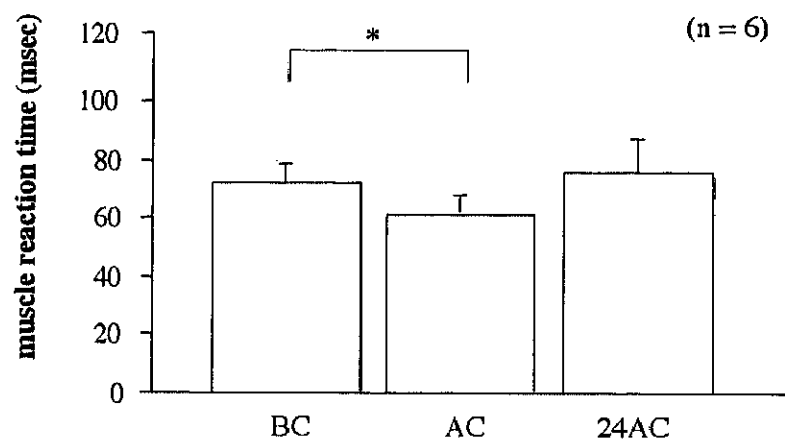


Fig. 4-2-6. Peroneus brevis reaction times (patient group). Comparing of before (BC), after (AC), 24h after (24AC) cryotherapy. Values are the means \pm SD of 6 persons *: $p < 0.05$.

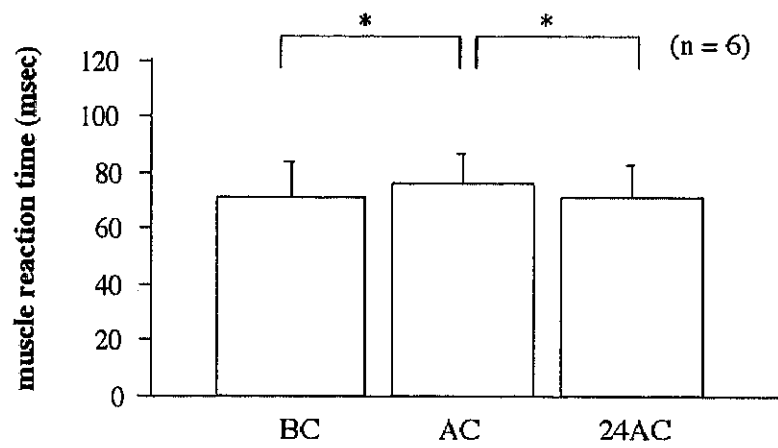


Fig. 4-2-7. Peroneus longus reaction times (healthy group). Comparing of before (BC), after (AC), 24h after (24AC) cryotherapy. Values are the means \pm SD of 6 persons *: $p < 0.05$.

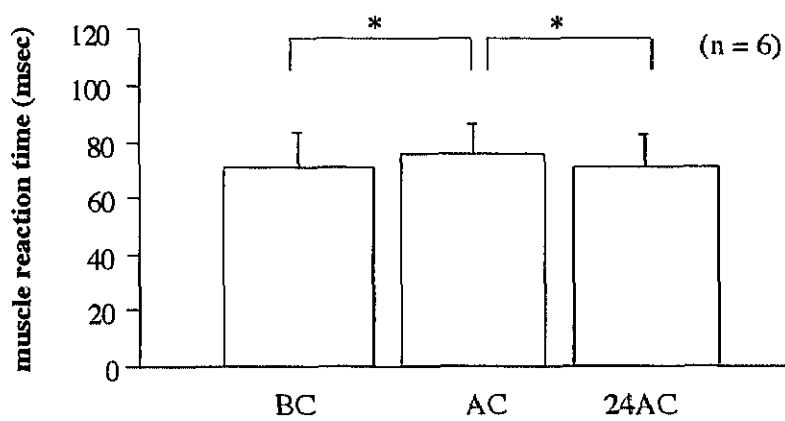


Fig. 4-2-8. Peroneus brevis reaction times (healthy group). Comparing of before (BC), after (AC), 24h after (24AC) cryotherapy. Values are the means \pm SD of 6 persons *: $p < 0.05$.