

第六章 総合討論

6-1. 本研究の目的

本研究の目的は、クライオセラピーの機能的および病態生理学的に効果を実証することである。このために、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を検討した。さらに、クライオセラピー効果の詳細な生理学的メカニズムや生体組織内に生じる生化学反応を検討するために、損傷組織に対するクライオセラピーが微小血管の血管透過性、血行動態および白血球動態に及ぼす影響について検討した。

6-2. 本研究で得られた成果

6-2-1. 課題 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、神経筋機能および機能性パフォーマンスに及ぼす影響

実験 1-1 では、急性足関節捻挫受傷者を対象とし、クライオセラピーが足関節不安定性に及ぼす影響を検討した。足関節不安定性の有無はストレス X 線撮影法を用いて評価した。その結果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。さらに、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。これらのことから、足関節捻挫に対するクライオセラピーによって足関節不安定性が改善される可能性が示唆された。

実験 1-2 では、急性足関節捻挫受傷者を対象とし、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、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。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測定した。その結果足関節捻挫におけるクライオセラピー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。これらのことから、クライオセラピー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。

6-2-2. 課題 2: 損傷組織に対するクライオセラピーが微小血管の血管透過性、血行動態および白血球動態に及ぼす影響

実験 2-1 では、クライオセラピーの浮腫軽減効果に着目し、軟部組織打撲後に生じる血管透過性亢進に対するクライオセラピーの影響を検討した。血管透過性の指標として FITC-dextran 漏出面積を計測し、一視野に占める漏出面積の割合を算出し測定した。その結果軟部組織の打撲後に生じる血管透過性亢進は、クライオセラピーによって抑制されることが示唆された。

実験 2-2 では、軟部組織打撲後のクライオセラピーが筋肉内微小循環の血行動態および白血球動態に及ぼす影響を検討した。微小血管血行動態の指標は血管内径、血流量、赤血球流速を分析し、白血球動態の指標は白血球回転と接着を測定した。その結果損傷組織に対するクライオセラピー（27℃の冷却温度）は、血管内径の低下や赤血球流速の増加による血流の維持、回転および接着する白血球の低下を示したことから、損傷組織周辺における血流を抑制することなく、白血球循環活性の上昇を抑制させ、

浮腫や炎症反応を抑制する可能性が示唆された。

6-3. 本研究で得られた成果の意義と今後の課題

6-3-1. 課題 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, 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 では, 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。その結果仮説 1 の通り, 損傷組織に対するクライオセラピーが足関節不安定性の低下を改善した。また, 仮説 2 の通り, 損傷組織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の低下を改善した。

実験 1-1 おいて, 損傷組織に対するクライオセラピーが足関節不安定性を改善した理由として, クライオセラピーによって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, その進展性が失われたことが考えられる。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おけるクライオセラピーの方法論についてさらに詳細に論じることができると思われる。

実験 1-2 において, 急性足関節捻挫受傷者を対象とし, 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について検討した。本研究では, 損傷組織に対するクライオセラピーが神経筋機能の低下を改善した。理由として, 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クライオセラピーによって改善した可

能性が考えられる。一方、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は、疼痛の軽減が生じ、パフォーマンスを向上させたと考えられる。これらのことから、損傷組織に対するクライオセラピーは、軟部組織や筋骨格筋の急性外傷の際に行われる応急処置やスポーツ現場における傷害のリハビリテーションの適用に有用であると考えられる。本研究では、被験者、測定項目、クライオセラピーの適用様式、損傷の程度や持続効果などについて限定されたものである。今後の課題として、急性的な効果だけでなく、さらにはリハビリテーションへの適用などの慢性的な効果を検討する必要があると考えられる。

6-3-2. 課題 2: 損傷組織に対するクライオセラピーが微小血管の血管透過性、血行動態および白血球動態に及ぼす影響

研究課題 2 では、被験動物（ラット）を対象とした打撲モデルを用い、損傷組織に対するクライオセラピーの生体に与える影響や生体組織内に生じる生化学反応や生理学的メカニズムを明らかにするための基礎研究を行った。その結果、仮説 3 の通り、損傷組織に対するクライオセラピーが軟部組織の打撲後に生じる血管透過性の亢進を抑制した。また、仮説 4 の通り、損傷組織に対するクライオセラピーが筋肉内微小血管の血行動態および白血球動態を抑制した。

実験 2-1 において、軟部組織の打撲後に生じる血管透過性の亢進は、クライオセラピーによって抑制された。クライオセラピーによる血管透過性亢進が抑制した原因として、温度低下によって微小血管が収縮し、内皮細胞間隙の開大が抑制されると同時に、損傷組織への浸潤細胞の活性化が抑制された可能性が推察される。今後は、クラ

イオセラピーが軟部組織打撲後の血管透過性亢進をどの程度まで抑制させたら最も効果的かなどが明らかになれば、クライオセラピーの最適な温度設定が可能になると思われる。

実験 2-2 では、軟部組織打撲後のクライオセラピーが筋肉内微小循環の血行動態および白血球動態に及ぼす影響を検討した。実験 2-2 において、微小循環パラメーターは、クライオセラピーの臨床的状況として用いた 27℃で抑制する傾向にあり、損傷組織に対する 3℃では顕著に抑制することを明らかにした。特に損傷組織に対するクライオセラピー（27℃の冷却温度）の局所循環の変化は、血管内径の低下や赤血球流速の増加によって血流量が維持されることが明らかとなった。さらに、白血球動態（回転および接着白血球数）は温度低下によって顕著に低下された。クライオセラピーによる抑制された回転および接着白血球数は、接着分子の働きが重要であると考えられる。つまり、白血球および血管内皮における接着分子の発現が温度低下によって抑制され、白血球動態が顕著に抑制された可能性が考えられる。これらの結果、クライオセラピー（27℃の冷却温度）は局所循環を変化させると同時に、白血球循環活性の上昇を抑制させ、浮腫や炎症反応を抑制する可能性が考えられる。

損傷組織における血流動態あるいは白血球それ自身の挙動についてまだ十分には蓄積されておらず、臨床的にも重要な意義をもつ、クライオセラピー（冷却療法）や傷害・外傷の治療の指針を検討するためにも、損傷組織の微小循環動態の生理学、バイオメカニクスの研究がさらに発展することが望まれる。