

論文要旨

1-1 研究の背景

アイシングは、打撲、捻挫や肉離れのような急性傷害に対して有効であることが明らかとなっており、RICE 処置の一要素として、スポーツの現場で多用されている。アイシングの効果は、遅発性筋肉痛の原因とされる筋線維の微細構造の変化に対しても検討されているが、この効果の有無については議論の余地が多くあり、今後検討を要する。最近では、アイシングの用途は多様化し、運動後の疲労回復や心理的なリフレッシュ、熱中症の予防などの目的にも用いられ、競技会などで競技や試技を繰り返す場合、その合間にアイシングを行ってパフォーマンス低下を防止する試みもなされている。その結果、運動後アイシングを行う機会も増え、習慣的に行うケースも増えている。このような広がりを見せる治療以外を目的とした運動後アイシングが、身体に及ぼす影響について明らかにすることは、スポーツ現場における運動後アイシング実施の可否や方法の決定のために重要な基礎的データとなり得る。特に身体のケアやリフレッシュとして長期間習慣的に用いることで累積的な影響がある可能性もあり、検討の必要がある。

1-2 研究目的

本研究の目的は、運動後に明らかな傷害のない部位を習慣的に冷却することが持久的トレーニングおよび筋力トレーニングに伴う筋の適応過程に及ぼす影響について検討することであった。

2-1 実験 1：習慣的な運動後活動筋冷却が持久的トレーニングに伴う持久力向上に及ぼす影響

【目的】 持久的トレーニングにおいて、運動後に毎回活動筋を冷却する脚と冷却しない脚のトレーニング効果を比較し、運動後の活動筋冷却が持久的トレーニングに伴う持久力の向上に及ぼす影響について検討した。

【方法】 被験者（男子大学生 6 名）に、最大酸素摂取量（VO₂max）の 70% の運動強度で 25 分間の自転車運動を、週 4 回 4 週間にわたって行わせた。期間中、毎回トレーニング直後に被験者の同じ側下肢（冷却側）を 5 ± 1 °C の冷水に 20 分間浸し、室温にて 30 分間の休憩後さらに 20 分間同じ方法で冷却した。冷却しないもう一侧の下肢を非冷却側（対照側）とした。トレーニング期間の前後に、片脚のペダリング運動における最大漸増負荷テスト（片脚負荷テスト）を実施し、冷却側と対照側のトレーニング効果を比較することによって冷却の影響について検討した。片脚負荷テストでは、疲労困憊時の運動持続時間や VO₂max などを測定した。

【結果・考察】 片脚負荷テストでは、運動持続時間、One-legged VO₂max における二元配置分散分析の結果、交互作用（時間 × 条件）を示さず、冷却が持久的トレーニングの効果に及ぼす影響について明確にすることはできなかった。しかし、One-legged VO₂max について増加率を用いて対照側と冷却側で比較すると、対照側に比べ冷却側で低く、運動後に活動筋を冷却することにより、持久的トレーニングに伴う持久力（末梢性要因）の向上が抑制される可能性を示した。

2-2 実験 2：習慣的な運動後活動筋冷却が筋力トレーニングに伴う筋力増加および筋持久力向上に及ぼす影響

【目的】 筋力トレーニングにおいて、運動後に毎回活動筋を冷却することが、筋力トレーニングに伴う筋力増加および筋持久力向上に及ぼす影響について検討した。

【方法】被験者（男子大学生7名、女子大学生4名）に、筋力トレーニングとしてハンドグリップ・エルゴメータを用いた掌握運動を行わせた。運動負荷強度は8RM（Repetition Maximum）とし、トレーニングは一日に左右各8回を3セット、週3回の頻度で4週間にわたり実施した。毎回トレーニング直後に、一側の前腕部を 10 ± 1 ℃の冷水に20分間浸して冷却した（冷却側）。もう一側の腕は冷却を行わず、非冷却側（対照側）とした。トレーニング期間前後に、電子握力計を用いて最大筋力を測定し、筋持久力として最大筋力の30%の負荷強度で掌握運動を行わせ、継続できなくなるまでの回数を測定した。前腕最大周囲長は、巻尺で測定した。

【結果・考察】前腕最大周囲長は、トレーニングにより変化せず、本実験における筋力トレーニングが筋肥大を引き起こさなかったかもしれない。最大筋力は、トレーニングにより増加したが、冷却側と対照側の間に差異は認められなかった。筋持久力については、トレーニングにより対照側で45%の増加率を示したものの、冷却側ではほとんど変化しなかった。これらの結果、筋力トレーニングに伴う筋肥大や筋力の増加に対しては、運動後冷却の影響を観察できなかったが、筋の持久力向上の程度が運動後冷却によって小さくなることが認められた。

持久的トレーニングに伴う筋の持久力向上の要因としては、ミトコンドリア容量および酸化系酵素活性の増加、グリコーゲン分解の抑制、ミオグロビン増加、筋の毛細血管密度増加による血流量増加などが挙げられる。トレーニングに伴う血管の適応には、血流増加による血管壁へのずり応力（shear stress）、組織の低酸素刺激および筋線維の微細損傷に伴う炎症過程に関わるサイトカインや成長因子が関与する。冷却は、血流の低下、炎症反応の抑制などを生じさせることから、これらの要因に影響を及ぼしたかもしれない。

2-3 実験3：習慣的な運動後活動筋冷却が筋力トレーニングに伴う筋および血管の適応に及ぼす影響

【目的】実験2において、筋の持久力向上が冷却により抑制される可能性が示唆されたが、最大筋力の増加や筋肥大には冷却の影響が認められなかった。実験2では、トレーニングの強度や量が不十分であったため、筋肥大が生じなかった可能性がある。そこで実験3では、筋力トレーニングの負荷量を増加させ、運動後冷却が筋肥大や筋力増加に及ぼす影響について検討した。また、運動後冷却が筋持久力の向上に及ぼす影響について再度確認するとともに、動脈血管径の増大に及ぼす影響についても検討した。

【方法】被験者（男子大学生14名）は、リストカール・エルゴメータを用いて筋力トレーニングを非利き腕（運動側）で実施した。負荷強度は8RMとし、8回のリストカール運動を2分の休憩を挟み5セット、週3回6週間にわたり行わせた。被験者のうち7名を冷却群とし、毎回トレーニング終了後運動した上肢を 10 ± 1 ℃の冷水に20分間浸した。残りの7名は冷却を行わず、対照群とした。トレーニング期間の前後に、手関節屈曲による最大筋力、筋持久力として最大筋力の35%の負荷強度でリストカール運動を行わせ、継続できなくなるまでの回数を測定した。前腕最大周囲長は、巻尺で測定した。筋厚と上腕動脈血管径は、超音波断層装置を用いて測定した。

【結果・考察】筋厚の変化は、時間×条件において交互作用が認められ、冷却群のトレーニングによる増加率は対照群に比べて有意に小さかった。最大筋力の変化も同様に、時間×条件において交互作用が認められ、冷却群のトレーニングによる増加率は対照群に比べて有意に小さかった。これらの結果は、運動後の冷却が筋肥大や筋力の増加を減弱させる可能性を示唆した。筋持久力は、トレーニングにより対照群、冷却群ともに増加したが、トレーニングに伴う増加率が対照群より冷却群で小さい傾向を示した。上腕動脈血管径の変化は、時間×条件において交互作用が認められ、冷却群のトレーニングによる増加率は対照群に比べて有意に小さかった。従って、運動後の冷却が血管の適応に影響し、筋の持久力向上を小さくし

た可能性が考えられた。

筋の適応過程には運動後に生じる種々の酵素反応が重要な役割を果たしており、運動後冷却による筋温低下がこれらの酵素反応を弱め、トレーニングに伴う筋の適応を小さくさせた可能性が推察される。

冷却による血流や代謝の低下および炎症反応の抑制は、外傷による二次的な損傷を軽減させるが、損傷した組織の修復過程にとっては有益でない。炎症反応によって産生・分泌されたサイトカインや成長因子がトレーニングによる筋肥大を促進させることから、冷却が炎症反応を抑制するのであれば、これらを介する筋の適応過程に影響を及ぼすかもしれない。

冷却による運動後の血流低下により、血管内皮細胞に対する shear stress が弱まり、このことが血管のリモデリングに影響を及ぼした可能性が考えられる。

2-4 実験4：リストカール運動後の活動部位冷却が血漿 Interleukin-6 (IL-6) および Vascular endothelial growth factor (VEGF) 濃度に及ぼす影響

【目的】 サイトカインは細胞で合成され、分泌した細胞自身あるいは近傍の標的細胞表面の特異的受容体に結合し、細胞の増殖・分化・機能発現を調節する。IL-6は、炎症反応としての作用だけでなく、筋再生過程においてサテライト細胞に由来する筋芽細胞の増殖を促進する作用もある。VEGF は、shear stress の増加などにより血管内皮細胞から産生・分泌され、血管形成の一連の過程で血管内皮細胞に特異的に作用する増殖因子である。実験4では、運動後の活動筋冷却が筋力トレーニングに伴う筋および血管の適応に関係する、IL-6および VEGF の血中濃度に及ぼす影響について検討した。

【方法】 実験3のトレーニング期間開始1日目のリストカール運動前、直後、30、60、120分後に採血を行い、血漿 IL-6および VEGF 濃度を測定した。

【結果・考察】 リストカール運動前後の血漿 IL-6および VEGF 濃度は変化せず、サイトカインや成長因子に対する冷却の影響について検討することはできなかった。

3 まとめ

本研究の結果、身体トレーニングに伴う持久力の向上、血管径の増大、筋力増加および筋肥大が運動後の活動筋冷却により小さくなる可能性が示された。この現象が、スポーツ競技者が行うトレーニングで冷却を併用した際に生じているとすれば、意図したトレーニング効果が十分に得られていない可能性がある。

スポーツ活動時のコンディショニングとして冷却を効果的に用いるためにも、今後、実際のトレーニングに近い条件でも検討するとともに、そのメカニズムや適切な冷却条件について明らかにするなど、今後さらに追究していく必要がある。