

平成 16 年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

修士論文

短時間の休息に用いる種々の回復手段の効果

スポーツ健康科学専攻：スポーツ科学領域

31010 中澤 摩有子

論文指導教員 桜庭 景植 教授

合格年月日 平成 17 年 3 月 3 日

論文審査委員

主査

桜庭 景植

副査

若槻 浩

副査

中島 宣行

目次

	頁
第1章 緒言	1
第2章 関連文献の考証	4
第1節 運動と疲労	4
(1) 運動における疲労	4
(2) 高強度の運動における生体変化	4
第2節 回復手段について	6
(1) 軽運動	6
a) 効果	6
b) 運動強度	8
(2) 冷却	9
(3) 交代浴	10
(4) 種々の回復手段の比較	11
第3章 本研究の目的	13
第4章 方法	14
第1節 被験者	14
第2節 実験デザイン	14
(1) 実験プロトコル	14
(2) 休息時間の内容	15
第3節 測定項目	15
(1) 血中乳酸濃度	15

(2) 総仕事率	16
(3) 筋硬度	16
(4) 脈波	16
(5) 主観的評価	17
第4節 実験期間および環境条件	17
第5節 統計処理	18
第5章 結果	19
第1節 血中乳酸濃度	19
(1) 経時的変化の比較	19
(2) 実験群間の変化率による比較	19
第2節 総仕事率	20
(1) Ex1とEx2の比較	20
(2) 実験群間の変化率による比較	20
第3節 筋硬度	21
(1) 経時的変化の比較	21
(2) 実験群間の変化率による比較	22
第4節 脈波	22
(1) 経時的変化の比較	22
(2) 実験群間の変化率による比較	23

第5節 自覚的疲労度	24
(1) 経時的変化の比較	24
(2) 実験群間の変化率の比較	24
(3) アンケートによる調査	24
第6章 考察	26
第1節 血中乳酸濃度	26
第2節 仕事率	28
第3節 筋硬度	30
第4節 脈波	32
第5節 回復手段の比較	35
第7章 結論	37
第8章 要約	38
謝辞	40
引用文献	41
欧文要約	45
表1、図1～15、資料1～2	

第1章 緒言

競技スポーツにおいてバスケットボールやラグビー、サッカー等は試合時間が長く、ダッシュや瞬間的な方向転換を繰り返し、前・後半制あるいはクォーター制がとられており、比較的短い休息時間をはさんで競技が行われる。休息時間については、バスケットボールは10分もしくは15分間、ラグビーは10分以内、サッカーは15分以内とそれぞれ決められており10分程度とされている。このような競技では、高強度で間欠的な運動を行うため、活動筋では乳酸が蓄積することにより、筋中のpHの低下、酵素活性の低下および代謝の抑制を引き起こす^{1) 65)}。また、そのほかに筋温の過度な上昇や血液のうっ血、循環不全により正常な筋活動を持続することが困難になる^{19) 35) 65)}。これらに伴い筋や腱の硬化等が生じると筋力の低下や柔軟性の低下がみられ、これらはその後のパフォーマンスの低下や傷害発生を生じる危険があり⁷⁾、アスリートにとっては大きな問題となる。よってパフォーマンス発揮や傷害予防の観点からも、休息時間中にいかに速やかに筋機能を回復させるかは重要な課題である。

これらの競技における休息時間は水分補給や疲労回復の時間でもあるが、高橋ら⁶⁴⁾が、休息時間は選手同士やコーチとのコミュニケーションの場として重要な時間であると述べているように、休息時間は戦術・戦略の見直しの時間としてのコミュニケーションの時間でもあり、疲労回復だけの時間に費やすことは難しい。特に球技のような集団スポーツにおいてはこのような傾向が強い。これらのことから休息時間にはコミュニケーションを妨げることのない有効な回復手段が求められる。

これまでに、回復を促進する手段については、血中乳酸濃度を指標として1920年代か

ら多くの研究が行われ、その効果が明らかにされてきた^{5) 18) 47) 62) 71)}。青木ら³⁾は運動間の休息中に軽運動を行うと血中乳酸の消却を促進すると報告している。このように、休息中はただ安静にしているのではなく軽運動を行うことで乳酸の除去を促進する効果があると考えられる。しかし、回復を促進する目的で行われる軽運動は心拍数 100~120 拍/分程度の強度で、10 分程度継続することが望ましいとされている⁵⁾ため、軽運動をハーフタイムのような短時間の休息に用いる場合には、コミュニケーションを妨げることが考えられる。

近年、運動後における筋疲労の回復や筋のコンディショニングに対して冷却が用いられている。山本ら⁷²⁾は運動間の休息に冷却を施行し、その後のパフォーマンスの低下を軽減できたことは、冷却によってエネルギー浪費が抑制されたことが挙げられると報告している。そのほかにもアイシング等の冷却刺激がもたらす効果として、上昇した筋温の降下や炎症の抑制、血液循環の促進等が挙げられ、これらが疲労回復とパフォーマンスの維持・向上に有効とされている³⁷⁾。しかし、一定時間を超える冷却は神経伝達速度の低下によって筋力の低下を招くことや、また血管収縮は起こすもののその後の血管拡張までは引き起こさないため血液循環は促進されないことが報告されている^{29) 51)}。冷却に関する方法や効果の報告はさまざまであり、さらには短時間の休息に冷却を用いて効果を示した研究は少ない。

同じようにスポーツの現場では回復を促進する手段としてクールダウン等に交代浴が用いられている。交代浴には、冷却による腫脹の抑制やエネルギー浪費の防止、温熱による血流増加や代謝の促進の効果がある。また、冷却と温熱の交互刺激によって血液循環の促

進効果が期待され³⁵⁾、これらの作用が速やかな回復に有効であると推察される。しかし、これまでに交代浴を用いた研究には傷害の治療や、疼痛緩和、神経刺激に対するもの⁴²⁾⁴⁸⁾⁵²⁾が多く、回復を目的とした場合にはアスリート自身やアスレティック・トレーナーが経験的に用いているのみであり、回復について検討した研究はみあたらない。

これらのことから、短時間での回復を促進するための手段として、軽運動、冷却、交代浴の効果を比較検討し、より効果的な手段を明らかにする必要がある、短時間に用いる、より効果的な回復手段について明らかにすることは、短時間の休息をはさんで行う競技におけるコンディショニングを考える上で有益と考える。

第2章 関連文献の考証

関連文献の考証の前半では高強度の運動による生体変化について、後半では休息時間における各種回復手段およびそれらの効果についてそれぞれ考証を行う。

第1節 運動と疲労

(1) 運動における疲労

疲労とは、ある作業を続けていると疲れを感じるとともに、作業量と作業効率が低下する状態であり、身体諸機能の低下した現象である⁵⁹⁾。運動における疲労は、運動の遂行に必要な力・パワーを発揮できなくなる状態であるが、それは1) エネルギー源の枯渇、2) 筋内への疲労物質の蓄積、3) 生体内恒常性のアンバランス、4) 脳の疲労が主な原因と考えられている⁶³⁾。競技スポーツでは、トレーニングや試合などで個々の能力の限界まで挑戦し、オールアウトあるいは疲労困憊状態になることがある。疲労困憊という状態は、生体が運動に耐えられなくなった状態を指す。疲労困憊状態までに達することがなくても疲労によってパフォーマンスレベルの発揮が低下する³³⁾。

(2) 高強度の運動における生体変化

運動の持続は、骨格筋がある一定強度の収縮力を保ち、連続した収縮によってなされる。この時のエネルギー源は ATP であるので、それをいかに維持できるかはエネルギー源である ATP を獲得する過程で生じる代謝副産物、つまり疲労物質の蓄積能力と処理能力に大きく依存する⁶³⁾。

高強度の運動を行うと活動筋では乳酸が産生され、これが蓄積すると筋中の pH の低下、酵素活性の低下および代謝の抑制を引き起こす^{1) 65)}。高強度の運動では解糖系によるエネルギー供給過程が主となり、筋細胞内に蓄積したピルビン酸が乳酸に変換される。乳酸の分解は水素イオンの蓄積を招き、その結果 pH が低下し筋細胞内の酸性化が生じ、筋の興奮-収縮連関を減衰させる⁶³⁾。また、pH の低下は、解糖系の律速酵素であるフォスホフルクトキナーゼ (PFK) の活性を低下させ、3 炭糖系における ATP の生産を抑制するなどして、代謝が抑制されるため筋の収縮力の低下を招く^{28) 61) 68)}。

運動中に生じる乳酸は、酸化や糖新生のために肝臓のほか、活動筋および非活動筋にも取り込まれるが、運動中に生じる血液や筋からの乳酸除去の主な方法は酸化である^{12) 34) 68)}。血中乳酸は、ここで処理されなかった乳酸が血液中に放出されたものであり、血中乳酸の蓄積は、筋中に出現した乳酸と除去された乳酸との差のことである。Jorfeldt ら²³⁾は、筋中の乳酸濃度が 4~5mmol/l までは乳酸の生成を除去が上回っているが、筋中乳酸濃度が 5mmol/l を越えると生成が除去を上回り、急激な濃度の上昇が生じること、およびこの点以降では疲労感が増すことを示唆した。

そのほかに筋の内部環境の変化など筋組織自体に起こる変化として、筋温の過度な上昇、血液のうっ血および循環不全が起こり、正常な筋活動を持続することができなくなる^{19) 35) 41) 65)}。高強度の運動により筋温が異常に上昇するとなかなか低下せず、筋が異常に「ほてる」と感じ、これが持続すると筋の炎症につながる。運動中では筋温が 40℃を超えている場合があることや、筋温が上昇すると代謝レベルが高まり消費エネルギーが増加することも報告されている^{35) 58) 75)}。そのほか、高強度の運動により活動筋の血流量は増加し、非

活動筋の血流は減少する⁴⁾。そして運動を中止すると激しく動かし筋へ血液が集中するために血液のうっ血が生じ、逆に動かさなかった筋では血液が減少する。その結果、静脈内に血液貯留がおこり循環不全になることも挙げられる^{1) 9) 15) 35)}。

筋活動が正常に行われなくなると筋や腱の硬化が生じ、筋力や柔軟性の低下につながる。土居ら⁸⁾は、16名の学生を被験者に5000m走の前後で前脛骨筋における筋の硬さと筋力を測定したところ、5000mを走った直後に筋の硬さが顕著に増加し筋力が低下したと報告している。また、山本ら⁷⁴⁾は、無酸素的な運動後には筋硬度が有意に上昇し、あわせて柔軟性の顕著な低下がみられたと報告している。筋力や柔軟性等の低下は、次に控える運動にマイナスの影響を与え、スポーツ傷害の発生要因になると考えられる。

以上より、高強度の運動に伴う生体変化は前・後半制やクォーター制で行われるスポーツにおいては、ハーフタイム以降のパフォーマンスの低下や傷害発生を招く要因となり、アスリートには大きな問題となる。よってパフォーマンス発揮や傷害予防の観点からも、短時間の休息における有効な回復が望まれる。

第2節 回復手段について

(1) 軽運動

a) 効果

高強度の運動の後には安静にしているよりも適度な運動を行うほうが、血中の乳酸が速やかに消失することが今までの研究によって明らかになっている^{1) 3) 18) 19) 47) 62) 65) 68) 72)}。

また、適度な運動を行うことは、1) 帰還血流量の確保によるめまいや脳血管障害、失神

防止、2) 過換気の防止による血液の酸塩基平衡の維持、および3) 運動後の著しい代謝亢進の減少にも効果的である²⁷⁾。Newmanら⁴⁹⁾は、3名の被験者をトレッドミルで疲労困憊まで走らせた後、休息に軽運動を45分間行わせた場合と安静にした場合とを比較した結果、安静にしているより軽運動を行ったほうが有意に血中乳酸の除去率が高かったと報告している。山本ら⁷⁵⁾は、21名の被験者に自転車エルゴメーターを用いて2度の疲労困憊運動を行わせ、その間の20分間の休息に軽運動を行わせた場合と安静状態を比較した結果、軽運動を行わせたほうが2度目のペダリング時間が有意に増加したと報告している。市川ら¹⁸⁾は、軽運動によって血中乳酸濃度が低下したのは、筋血流量の増加によるものと推察している。また、パフォーマンスが向上したことについて青木ら³⁾は、血中乳酸濃度が低下し乳酸系によるエネルギー産生がより効果的に働いたためだと推察している。

軽運動の方法については、Weltmanら⁷¹⁾が11名の学生を被験者に2度のオールアウトペダリング運動を行わせ、その間に10分および20分間の時間の異なる2種類の軽運動を行わせ休息後の血中乳酸濃度と2度目のペダリングにおける平均ペダル回転数を比較した。その結果、10分間よりも20分間の方が有意に低い血中乳酸濃度および有意に高いペダル回転数を示したと報告している。さらにBelcastroとBonen⁵⁾は7名の学生を対象に高強度自転車エルゴメーター運動を行わせ、30分間の休息に安静、最大酸素摂取量の30、45、60および90%に相当する強度での自転車エルゴメーター運動を行わせ、5分毎の血中乳酸濃度を測定した。結果は、最大酸素摂取量の30%で運動したときの血中乳酸濃度の減少が最も大きかった。しかし、好みの強度(56および52%)で運動をしたときの除去率との間に有意な差はなかったと報告している。また、休息5分目の血中乳酸濃度は安静

時と同等であったことから軽運動は 10 分以上継続して行うべきであると示唆している。

これらの報告から、軽運動を行うときには最大酸素摂取量の 30%もしくは好みの強度（56 および 52%）で、10 分以上継続して行うことが効果的であると推察される。

b) 運動強度

軽運動を行う際の運動強度の設定は、回復を効果的にするための一つの要因である。運動強度は酸素摂取量のほかに心拍数、血中乳酸値、自覚的運動強度（rating of perceived exertion：以下 RPE と記す）を指標とする方法などで評価することが可能である。心拍数を指標とした運動強度の設定方法には、最大心拍数の予測式を基準とした決定法としてカルボーネンの方法が利用されている⁷⁰⁾。運動時に増大する骨格筋への酸素供給量は心拍出量の増加に規定されているので、心拍数は酸素摂取量と強い正相関を示す。RPE は運動強度に対する被験者の自覚的負担度を表現する方法として、1973 年に Borg⁶⁾ によって提唱された概念である。Borg 指数は被験者が自覚的運動強度を 6 から 20 に指数化するものであり、指数の 10 倍が運動時での心拍数に近似するように作成されている⁷⁰⁾。回復を促す手段としての軽運動の運動強度として、Belcastro と Bonen⁵⁾ は心拍数 100～120 拍/分程度を用いている。運動強度を設定する場合には、最大酸素摂取量を実測することが最善とされているが、呼気ガス分析装置を併用した最大運動負荷試験を実施することは、測定可能な施設が限られていることや熟練した検者が必要であることから、一般的に使用するのには困難と考える。よって個人の最大運動能力を予測して相対的運動強度を設定する方法は簡便であり、スポーツの現場では有用である。

(2) 冷却

近年、運動後における筋疲労の回復や筋のコンディショニングに対する冷却の有効性が報告されている^{14) 54)}。アイシングなどの冷却刺激が生体に及ぼす生理的作用としては、局所新陳代謝の低下による炎症症状の抑制、毛細血管透過性の減少による浮腫の抑制、鎮痛効果および血管収縮等さまざまな作用が考えられている^{26) 27) 35) 37) 51)}。これまでスポーツ現場ではこれらの作用を利用して、急性外傷の応急処置として冷却やアイシングが用いられることが主であった。しかし、最近ではスポーツ活動により生じる筋疲労、筋痛の軽減および過度の筋疲労により生じる筋スパズムを軽減させること等を目的として冷却が用いられている。

山本ら⁷³⁾は、21名の学生を被験者として自転車エルゴメーターを用い、2度のオールアウト運動を行わせ、その間の20分に10℃の冷水で5分間の冷却を実施した場合と安静にした場合を比較した。その結果、冷却を施したほうが2度目のペダリング時間が有意に増加したと報告し、冷却によって、筋組織の代謝レベルの低下によるエネルギーの浪費が防げたことが挙げられると推察している。片平²⁶⁾は、6名の被験者にハンドグリップを用いた把握運動を疲労困憊まで行わせ、その後5℃の冷水に3、5、15分間の異なる3種類の冷却を実施し、冷却後の握力の変化を経時的に調査した。その結果、安静と比較して5分間の冷却を実施したほうが有意に高い握力の回復率を示したと報告し、3分間の冷却時間では、皮下組織の温度を低下させるためには不十分であったことが考えられ、冷却刺激が回復に影響を及ぼすためには少なくとも5分以上の冷却時間が必要であることを示唆している。

一方、沼崎ら⁵¹⁾は、12名の被験者の右前腕前面に皮膚温が15℃になるまで15分間の冷却を行い、経時的に疼痛閾値、握力の変化を調査したところ、冷却実施直後で疼痛が軽減できたものの筋力は低下する傾向が示されたと報告し、一定時間を超える冷却刺激は筋温を低下させ、筋力を低下させる恐れがあること示唆している。しかし、Clarkeら⁷⁾は、水槽に前腕をつける寒冷療法において、水温が18℃では筋力低下がみられなかったと報告している。片平²⁷⁾は、低温で長時間の冷却では一時的な筋力の低下が生じ、回復するまで60分もの時間を要したことから、競技間などの短時間に用いることはパフォーマンスに対して悪影響を及ぼすことを示唆している。また、短時間の休息における冷却について石山ら²⁰⁾は、自転車エルゴメーターを用いた2度の間欠的無酸素的運動を10分間の休息をはさんで行い、休息に1分間および5分間の冷却を行った場合と冷却を行わなかった場合の3条件を比較した。その結果、血中乳酸濃度の変化に有意差はなく、1分間の冷却においてはその後のパフォーマンスに悪影響を及ぼすことはなかったが、5分間の冷却をおこなった場合において平均パワーの低下がみられたと報告している。

(3) 交代浴

同じようにスポーツ現場では回復を促進する手段としてクールダウン等に交代浴が用いられている。交代浴には冷却と温熱の両方の効果があり、冷却の作用としては血管が収縮し血流が減少することによる腫脹の抑制や、過度に上昇した筋温を下げエネルギー浪費を防ぐことが挙げられる。また、温熱の作用としては血管が拡張して血流が増加することによる代謝の促進や、疼痛の軽減が挙げられる。さらに、冷却と温熱の交互刺激により血液

循環の促進効果が期待される^{35) 50) 69)}。これらの作用が速やかな回復に有効であると推察される。一方、交代浴に関する研究として小川ら⁵²⁾は、下肢の手術を受け全荷重時期に足関節痛が出現した患者に交代浴を行って除痛と関節可動域の改善について検討したところ、除痛に対して効果があったと報告している。このように交代浴は慢性傷害の治療、疼痛緩和、神経刺激等に対するもの^{42) 48) 52)}が多く、疲労回復を目的とした研究はみあたらない。スポーツの現場では、血液循環や代謝の促進によって回復を促す目的で、冷温刺激を数セット繰り返す交代浴をチームのコンディショニングの中に組み込んでいる²¹⁾が、このように回復を目的とした場合には現場でアスリート自身やアスレティックトレーナーが経験的に用いているのみであり、方法や効果について明らかにされていない。

(4) 種々の回復手段の比較

これまでに、競技間の休息時間に用いる回復手段を血中乳酸濃度や作業能力等によって比較・検討した研究がある。競技スポーツにおいては1日のうちに比較的短い休息時間をはさんで数回の競技を行わなければならない種目がある。例えば数回の予選を経て決勝を行うもの、トーナメント形式で行うもの、そして前・後半制やクォーター制などの短い休息時間はさんで行うものが挙げられる。休息に用いる回復手段として青木ら³⁾は、大学生を対象に、安静、ホットパック、マッサージ、低周波電気刺激および軽運動を行わせ比較したところ、軽運動は血中乳酸の消却を促進し、ホットパックとマッサージと比較してパフォーマンスを高める効果が高いと報告している。血中乳酸が運動の制限因子になることは一般的に知られており、これを消却することによって高いパフォーマンスが生じると推

察している。また、ホットパックによる加温は仕事量を減少させる傾向にあったと報告し、受動的な加温による体温の上昇では効果がないと推察している。山本ら⁷²⁾は、男子学生18名を対象に、運動間の休息に軽運動、ストレッチング、マッサージ、ホットパックの4手段を安静状態と比較したところ、ストレッチングとマッサージは作業能力の回復に、軽運動は血中乳酸濃度の回復に有意な効果をもたらしたと報告している。作業能力の回復について、ストレッチングとマッサージは血中乳酸の除去には影響を与えないが、pHの回復を促進する効果があり、血中乳酸濃度の回復は同等でも作業能力が回復した可能性があると推察している。

以上のことより、回復手段の比較についての報告はみられるが、いずれも30分以上の休息時間によるもので、短時間での休息における報告はあまりみられない。また、短時間の休息において軽運動、冷却、交代浴の3手段の効果を比較した研究はみられない。短時間での休息における有効な回復手段を明らかにすることによって、コンディショニング面での回復や高いパフォーマンスの維持が可能となると考えられるため、短時間の休息に用いるより効果的な回復手段を比較検討する必要がある。

第3章 研究目的

短時間の休息に用いる回復手段として軽運動、冷却、交代浴の効果を明らかにし、より効果的な回復手段を比較検討することを目的とした。生体変化について血中乳酸濃度、脈波および筋硬度を経時的に測定し、またパフォーマンスを総仕事率から調査し、回復について多角的に検討した。

第4章 方法

第1節 被験者

J大学の運動部に所属する学生で、身体に傷害を持たない健康成人男性9名を対象とした。被験者には実験に先立って、本研究の目的、内容、手順や考えられる危険性等について、口頭および文書（資料1）によって十分な説明を行い、了承を得た上で被験者として同意を得た。

また、被験者の年齢、身長および体重の平均と標準偏差を表1に示した。被験者全体の年齢、身長および体重は、それぞれ 22.3 ± 1.7 歳、 175.0 ± 5.9 cm、 66.7 ± 5.9 kgであった。

なお、本研究は順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科倫理委員会の承認を得た。

第2節 実験デザイン

(1) 実験プロトコル

実験プロトコルは図1に示した。被験者は実験開始の2時間前までに食事を済ませ各実験に参加するよう指示した。

被験者は10分間のウォームアップを行い、自転車エルゴメーター（Power-maxVⅡ，COMBI社製）を用いて、5秒間の全力ペダリングを20秒間の休息をはさんで8セット繰り返した（運動1：以下Ex1と記す）。そして10分間の休息の後、再び上記と同一の方法で8セットの全力ペダリングを行った（運動2：以下Ex2と記す）。

ウォームアップの内容は細かく規定しなかったが、行う内容および強度等が毎回ほぼ同じになるように指示した。

負荷値は、Wingate Anaerobic Test ⁴⁾ で用いられる、被験者の体重を基準とした相対負荷 ($\text{kg} \times 0.075\text{kp}$) を用いた。

(2) 休息時間の内容

10 分間の休息時間には、以下の 4 つで回復を行った。被験者にはすべての施行をランダムに行い、測定は 1 日 1 回とし、次までの実験期間は 1 週間以上あけるようにした。

a) 安静群：椅座位にて 10 分間安静を保った。

b) 軽運動群：自転車エルゴメーター (AEROBIKE：COMBI 社製) を用いて、8 分間の連続ペダリングを行い、最後の 2 分間は椅座位にて安静を保った。このときペダリング中の目標心拍数は、カルボーン法： $\{(220 - \text{年齢}) - \text{安静時心拍数}\} \times (k) + \text{安静時心拍数}$ ⁷⁾ にて算出した。係数 k は 0.3 とした。

c) 冷却群：約 19℃ の冷水に両脚大腿部まで立位にて 8 分間浸水させ、最後の 2 分間は椅座位にて安静を保った。

d) 交代浴群：冷却と同様の冷水と約 41℃ の温水に両脚大腿部まで立位にて浸水させた。冷水と温水に 1 分ずつ交互に入らせた。冷水からはじめ温水で終わるようにし、4 セット繰り返した後、最後の 2 分間は椅座位にて安静を保った。

第 3 節 測定項目

(1) 血中乳酸濃度

指尖から 25 μl の血液を採取し、乳酸分析器 (BIOSEN5040L：Industrie Elektronik 社製) を用いて酵素法 ²²⁾ により血中乳酸濃度 (以下 La) を分析した。測定は、運動前、

Ex1 直後 2、4、6 分後、休息後、Ex2 後に行った。直後 2、4、6 分後の 3 つの時点の La のうちの最高値をピーク血中乳酸濃度（以下 PLa）とし、Ex1 後の値とした。

(2) 総仕事率

総仕事率は、自転車エルゴメーターで求められた機械的な仕事率の各運動における 8 回の総和とした。

(3) 筋硬度

粘弾力性測定器（VESMETER - X：Wave Cyber 社製）を用い、膝関節伸展筋群、足関節底屈筋群の筋硬度の測定を行った。膝関節伸展筋群の測定部位は上前腸骨棘と膝関節を二分する線上の大腿直筋の筋腹とし、足関節底屈筋群の測定部位は下腿部最大周囲径上の腓腹筋外側頭の筋腹とした。なお測定側は被験者の左脚とした。測定部位にはマーキングを行い毎回必ず同一部位にて同一験者が行った。膝関節伸展筋群の測定は仰臥位で、足関節底屈筋群の測定は腹臥位で行い、測定時は被験者にできるだけリラックスするよう心がけさせた。測定はそれぞれ 3 回行い、それらを平均したものを測定値とした。

(4) 脈波

血圧脈波検査装置（VaSeraVS-1000：フクダ電子社製）を用いて、脈波伝播速度（Pulse Wave Velocity：以下 PWV と記す）に代わる新しい指標の CVAI（Cardio Ankle Vascular Index：以下 CAVI と記す）によって脈波を測定した。測定部位は、大動脈弁口部から足関節（以下：CAVI1 と記す）、股動脈から膝窩部（以下：CAVI3 と記す）とした。仰臥位にて心音マイクを第二肋間胸骨左縁に、股動脈センサーを股動脈拍動部位に、心電電極を両手関節に装着した。また、上腕、膝関節、足関節にカフを巻き、上腕は肘頭から近位に

5 cm、膝は膝蓋骨中央、足関節は外果を基準とした。肘、踵下には枕を設置し、カフにかかる圧が不安定にならないよう配慮した。あらかじめ第二肋間胸骨左縁から股動脈脈波測定部位、股動脈脈波測定部位から膝蓋骨中央、膝蓋骨中央から外果までの距離等の被験者情報を測定し検査装置に入力した。なお測定側は被験者の右側とした。心音マイク等の装着部位にはマーキングを行い毎回必ず同一部位に装着し、測定した。測定時は被験者にできるだけリラックスし安静を保つよう心がけさせた。検査装置において波形の安定性を確認したのち測定を開始するようにした。測定値はそれぞれ5回の拍動から求められた値を平均したものとした。

(5) 主観的評価

疲労度の主観的な評価を得るために質問紙法によるアンケート調査を行った。質問内容は、経時的な自覚的疲労度の変化について、運動前を基準に10を最も疲れたとして、変化を10段階で評価させた。また、回復手段の内容と時間についての感想・意見を記入させた。質問紙は資料2に示した。

第4節 実験期間および環境条件

全ての測定は、2004年6月から11月にかけてJ大学第1体育館で行った。実験期間中の平均室温は $25.2 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 、および相対湿度は $61.2 \pm 7.2\%$ であった。

第5節 統計処理

運動前、運動1後、休息後、運動2後に測定した各項目における値は、平均値±標準偏差 (Mean±SD) で表した。群内の経時的変化における結果の差の検定には、対応のある t-test を用いた。また、群間の結果の比較は、一元配置分散分析を行った後、Fisher および scheffe の方法を用いて多重比較検定を行い、検定した。なお、統計処理の有意水準は危険率5%未満とした。

第5章 結果

第1節 血中乳酸濃度

(1) 経時的变化の比較

血中乳酸濃度の測定結果を図2に示した。

安静群において、運動前（以下 pre と記す）は $2.88 \pm 0.67 \text{ mmol/l}$ 、Ex 1 後（以下 post1 と記す）は $13.50 \pm 1.51 \text{ mmol/l}$ 、休息後（以下 rest と記す）は $10.12 \pm 1.96 \text{ mmol/l}$ 、Ex2 後（以下 post2 と記す）は $14.17 \pm 1.79 \text{ mmol/l}$ であった。pre と post1、post1 と rest、rest と post2 の間で統計的に有意差がみられた ($p < 0.001$)。軽運動群において、pre は $3.30 \pm 0.70 \text{ mmol/l}$ 、post1 は $13.61 \pm 1.67 \text{ mmol/l}$ 、rest は $8.86 \pm 1.74 \text{ mmol/l}$ 、post2 は $13.04 \pm 1.90 \text{ mmol/l}$ であった。pre と post1、post1 と rest、rest と post2 ($p < 0.001$) の間で有意差がみられた。冷却群において、pre は $2.98 \pm 0.88 \text{ mmol/l}$ 、post1 は $14.33 \pm 1.91 \text{ mmol/l}$ 、rest は $9.36 \pm 1.50 \text{ mmol/l}$ 、post2 は $14.20 \pm 1.88 \text{ mmol/l}$ であった。pre と post1、post1 と rest、rest と post2 の間で有意差がみられた ($p < 0.001$)。交代浴群において、pre は $2.49 \pm 0.77 \text{ mmol/l}$ 、post1 は $13.15 \pm 1.53 \text{ mmol/l}$ 、rest は $6.81 \pm 1.61 \text{ mmol/l}$ 、post2 は $13.38 \pm 1.58 \text{ mmol/l}$ であった。pre と post1、post1 と rest、rest と post2 の間で有意差がみられた ($p < 0.001$)。

(2) 実験群間の変化率による比較

各実験群の変化率を図3に示した。この変化率は、各実験群とも被験者ごとに変化率を算出し、それを平均したものをを用いた。

post1 から rest への変化率は、安静群 $-25.5 \pm 7.7\%$ 、軽運動群 $-35.0 \pm 8.1\%$ 、冷却群

-34.7±5.9%、交代浴群-48.7±8.7%であった。安静群と軽運動群 (p<0.05)、冷却群 (p<0.05)、交代浴群 (p<0.01)、軽運動群と交代浴群 (p<0.001)、冷却群と交代浴群 (p<0.001) の間で有意差がみられた。

第2節 総仕事率

(1) Ex1 と Ex2 の比較

総仕事率の測定結果を図4に示した。

安静群において、Ex1は4470.4±511.4W、Ex2は4408.7±511.4Wであった。軽運動群において、Ex1は4438.9±366.6W、Ex2は4337.6±54.8.5Wであった。冷却群において、Ex1は4611.7±481.7W、Ex2は4306.5±535.3Wであった。交代浴群において、Ex1は4549.8±468W、Ex2は4656.8±513.1Wであった。冷却群で有意差がみられた(p<0.05)。

(2) 実験群間の変化率による比較

各実験群の変化率を図5に示した。この変化率は、各実験群とも被験者ごとに変化率を算出し、それを平均したものをを用いた。

Ex1からEx2への変化率は、安静群-1.1±6.2%、軽運動群-2.5±6.4%、冷却群-6.6±6.1%、交代浴群2.4±3.4%であった。

安静群と冷却群 (p<0.05)、冷却群と交代浴群 (p<0.01) の間で有意差がみられた。

第3節 筋硬度

(1) 経時的変化の比較

筋硬度の測定結果を図6・7に示した。

膝関節伸展筋群（図6）についてみると、安静群において pre は 7.7 ± 1.1 度、post1 は 8.7 ± 1.4 度、rest は 8.0 ± 1.0 度、post2 は 7.9 ± 1.1 度であった。pre と post1 ($p < 0.01$)、post1 と rest ($p < 0.05$) の間で有意差がみられた。軽運動群において pre は 8.1 ± 1.6 度、post1 は 8.3 ± 1.7 度、rest は 7.6 ± 1.8 度、post2 は 8.5 ± 1.9 度であった。pre と post1 ($p < 0.05$)、post1 と rest ($p < 0.01$)、rest と post2 ($p < 0.05$) の間で有意差がみられた。C群（冷却群）において pre は 7.4 ± 0.9 度、post1 は 8.4 ± 1.4 度、rest は 7.9 ± 1.4 度、post2 は 8.3 ± 1.4 度であった。pre と post1、rest と post2 の間で有意差がみられた ($p < 0.05$)。交代浴群において pre は 7.9 ± 0.9 度、post1 は 8.1 ± 0.8 度、rest は 7.5 ± 0.9 度、post2 は 8.1 ± 1.0 度であった。post1 と rest、rest と post2 の間で有意差がみられた ($p < 0.05$)。

足関節底屈筋群（図7）についてみると、安静群において pre は 9.0 ± 1.2 度、post1 は 9.0 ± 1.1 度、rest は 8.3 ± 1.0 度、post2 は 8.5 ± 1.1 度であった。すべてにおいて有意差はみられなかった。軽運動群において pre は 8.2 ± 1.2 度、post1 は 8.7 ± 1.0 度、rest は 8.6 ± 0.9 度、post2 は 9.0 ± 0.7 度であった。すべてにおいて統計的な有意差はみられなかった。冷却群において pre は 8.3 ± 1.1 度、post1 は 8.5 ± 0.8 度、rest は 8.1 ± 1.0 度、post2 は 8.3 ± 1.2 度であった。すべてにおいて有意差はみられなかった。交代浴群において pre は 8.6 ± 1.4 度、post1 は 9.3 ± 1.0 度、rest は 8.1 ± 1.4 度、post2 は 8.6 ± 1.6 度であった。pre と post1 ($p < 0.001$)、post1 と rest ($p < 0.05$)、rest と post2 ($p < 0.05$) の間で有意差

がみられた。

(2) 実験群間の変化率による比較

各実験群の変化率を図 8・9 に示した。この変化率は、各実験群とも被験者ごとに変化率を算出し、それを平均したものをを用いた。

post1 から rest への変化率は、膝関節伸展筋群(図 8)についてみると安静群 $-8.0 \pm 6.6\%$ 、軽運動群 $-9.4 \pm 7.2\%$ 、冷却群 $-6.1 \pm 8.4\%$ 、交代浴群 $-7.7 \pm 7.4\%$ であった。すべてにおいて有意差はみられなかったが、すべての群で低下を示し、軽運動群において低下する傾向がみられた。足関節底屈筋群(図 9)についてみると安静群 $-6.8 \pm 12.2\%$ 、軽運動群 $-1.1 \pm 7.0\%$ 、冷却群 $-4.1 \pm 12.6\%$ 、交代浴群 $-13.35 \pm 14.1\%$ であった。すべてにおいて有意差はみられなかったが、交代浴群で低下する傾向がみられた。膝関節伸展筋群と足関節底屈筋群では、膝関節伸展筋群の方で顕著に変化が表れた。

第 4 節 脈波

(1) 経時的变化の比較

脈波の測定結果を図 10・11 に示した。

CAVI1 (図 10) についてみると、安静群において pre は 7.8 ± 0.5 、post1 は 8.8 ± 1.2 、rest は 7.1 ± 0.4 であった。post1 と rest の間で有意差がみられた ($p < 0.05$)。軽運動群において pre は 7.2 ± 0.5 、post1 は 9.2 ± 1.6 、rest は 7.2 ± 0.5 であった。post1 と rest の間で有意差がみられた ($p < 0.001$)。冷却群において pre は 7.4 ± 0.4 、post1 は 7.8 ± 0.6 、rest は 7.0 ± 0.4 であった。pre と post1 の間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。交代浴群におい

て pre は 7.1 ± 0.3 、post1 は 8.2 ± 0.4 、rest は 6.5 ± 0.8 であった。pre と post1、post1 と rest の間で有意差がみられた ($p < 0.05$)。

CAVI3 (図 11) についてみると、安静群において pre は 7.3 ± 2.0 、post1 は 9.2 ± 2.4 、rest は 7.2 ± 1.2 であった。post1 と rest の間で有意差がみられた ($p < 0.05$)。軽運動群において pre は 8.2 ± 2.1 、post1 は 8.0 ± 4.2 、rest は 6.6 ± 2.0 であった。すべてにおいて有意差はみられなかった。冷却群において pre は 9.7 ± 1.1 、post1 は 7.6 ± 4.0 、rest は 6.9 ± 1.9 であった。すべてにおいて有意差はみられなかった。交代浴群において pre は 9.4 ± 1.2 、post1 は 6.2 ± 1.6 、rest は 8.4 ± 0.8 であった。すべてにおいて有意差はみられなかった。

(2) 実験群間の変化率による比較

各実験群間の変化率を図 12・13 に示した。この変化率は、各実験群とも被験者ごとに変化率を算出し、それを平均したものをを用いた。

post1 から rest への変化率は、CAVI1 (図 12) についてみると安静群 $-18.3 \pm 8.9\%$ 、軽運動群 $-19.9 \pm 15.1\%$ 、冷却群 $-11.2 \pm 2.0\%$ 、交代浴群 $-20.4 \pm 10.8\%$ であった。すべてにおいて有意差はみられなかった。CAVI3 (図 13) についてみると安静群 $-18.6 \pm 13.3\%$ 、軽運動群 $-0.3 \pm 57.1\%$ 、冷却群 $-1.5 \pm 23.2\%$ 、交代浴群 $42.4 \pm 41.3\%$ であった。すべてにおいて有意差はみられなかった。

第5節 主観的評価

(1) 経時的変化の比較

自覚的疲労度の変化の調査結果を図 14 に示した。

安静群において、post1 は 8.3 ± 1.1 、rest は 5.7 ± 1.6 、post2 は 8.3 ± 2.4 であった。post1 と rest ($p < 0.001$)、rest と post2 ($p < 0.01$) の間で有意差がみられた。軽運動群において、post1 は 8.3 ± 1.1 、rest 5.4 ± 1.1 、post2 は 7.8 ± 1.9 であった。post1 と rest ($p < 0.001$)、rest と post2 ($p < 0.05$) の間で有意差がみられた。冷却群において、post1 は 8.2 ± 0.9 、rest は 4.3 ± 1.2 、post2 は 8.2 ± 1.3 であった。post1 と rest、rest と post2 の間で有意差がみられた ($p < 0.001$)。交代浴群において、post1 は 8.1 ± 0.7 、rest は 4.3 ± 1.7 、post2 は 8.0 ± 1.4 であった。post1 と rest、rest と post2 の間で有意差がみられた ($p < 0.001$)。

(2) 実験群間の変化率の比較

各実験群間の変化率を図 15 に示した。この変化率は、各実験群とも被験者ごとにそれぞれ算出し、それを平均したものをを用いた。

post1 から rest への変化率は、安静群 $-33.2 \pm 13.0\%$ 、軽運動群 $-33.9 \pm 14.2\%$ 、冷却群 $-47.5 \pm 14.1\%$ 、交代浴群 $-47.6 \pm 17.6\%$ であった。有意差はみられなかったが、安静群と軽運動群に比べて冷却群と交代浴群でより低下する傾向にあった。

(3) アンケートによる調査

安静群では「気持ち悪くなった」「安静ではなく動いていたい」という否定的な意見が多かった。軽運動群では「次の運動に入りやすかった」という肯定的な意見と「きつかった」という否定的な意見とに分かれた。冷却群では「気持ち良い」「疲れがとれた気がする」

という肯定的な意見が多かった。また、交代浴群では「疲れがとれた気がする」「次の運動に入りやすかった」という肯定的な意見が多かった。

第6章 考察

第1節 血中乳酸濃度

高強度の運動では、解糖系によるエネルギー供給が主となり、筋細胞内に蓄積したピルビン酸が乳酸へと変換される⁶³⁾。乳酸の蓄積は H^+ （水素イオン）の蓄積、すなわちpHの低下をもたらす。生体には、pHの低下を抑制し、pHの恒常性を保とうとする緩衝作用が備わっている⁶⁴⁾が、血中乳酸濃度が上昇するということは、乳酸が産生される量が代謝され除去される量を上回っているということである¹²⁾。Jorfeldtら²³⁾は、筋中の乳酸濃度が4~5mmol/lまでは乳酸の生成を除去が上回っているが、5mmol/lを越えると生成が除去を上回り、急激な濃度の上昇が生じると述べている。

本研究において、運動後の血中乳酸濃度は有意に上昇した。post1とpost2の平均値はそれぞれ 13.65 ± 1.65 mmol/l、 13.70 ± 1.79 mmol/lであった。また、post1およびpost2において各実験群の間に有意差がみられなかったことから、被験者は毎回の運動を、同程度のコンディションで遂行し、同程度の負荷が与えられたと考えられる。

血中乳酸濃度の上昇による筋細胞内pHの低下が、種々のレベルでの興奮収縮連関を含む筋の収縮過程やエネルギー産生に影響を及ぼし、これがパフォーマンスの低下に関連していると報告されている³⁴⁾³⁶⁾。また駒井ら³²⁾が、乳酸が多量に蓄積した場合に安静状態で回復を待つと、乳酸値が安静レベルに戻るまでに1時間を要したと報告していることから、pH低下によるパフォーマンスの低下を防ぐために、速やかに血中乳酸濃度を低下させることが望まれる。蓄積した乳酸の一部はグルコースやグリコーゲンに再合成されるが、大部分は骨格筋、心筋および腎臓で酸化されて水と二酸化炭素になる²⁸⁾。血中乳酸代謝組

織としては、ミトコンドリアおよび LDH（乳酸脱水素酵素）が多い組織が乳酸の代謝経路であると考えられており、これらの組織において血流量を増大させ、酸素摂取量の増加を促進することで乳酸除去を促進する^{10) 11) 13)}。Jorfeldt²⁴⁾ は、骨格筋の乳酸除去率は筋血流量と関係が深く、血流量が多いことは乳酸の除去にとってより好ましい条件を作り出していると指摘している。また、乳酸の蓄積によって pH が低下すると緩衝作用が働き、乳酸は重炭酸ナトリウムにより中和され、水と二酸化炭素になる。

本研究では、休息における血中乳酸濃度の変化率の比較において、交代浴群が安静群、軽運動群、冷却群より有意に低下した。これについては、交代浴の温冷刺激が血液循環を促進させたことにより、各組織への血流量を増大させたことや緩衝作用の効率を高めたことによって血中乳酸濃度の低下を促進したと考えられる。また、小野寺⁵⁵⁾ は、入水による効果について、水圧が作用して静脈血が心臓に還りやすくなると推察している。高強度の運動の後には静脈内の血液貯留による循環不全が起こる⁹⁾ といわれているが、水浴を行った交代浴において高い乳酸の除去率を示していることから、入水による静脈還流の促進が血中乳酸の除去により一層の効果を与えたと考える。

軽運動群が、安静群よりも有意に低下したことについては、青木ら⁹⁾ や Newman ら⁴⁹⁾ の報告と同様の結果が得られた。これは高強度の運動の後も安静にするより軽運動を行い、筋活動を継続することで、組織への血流量が十分に確保できたこと、また有酸素運動により酸素供給ができたことが、血中乳酸濃度の低下を促進したと考えられる。しかし、回復運動としての軽運動は 10 分以上継続して行うことが望ましいとされている。本研究において D 群より血中乳酸濃度の有意な低下を示さなかったのは、軽運動が 10 分以下の運動

であったことが要因の一つとして考えられる。

冷却群について、軽運動群との間に有意差はみられなかったが安静群よりも有意に低下した。このことについて、Knight²⁹⁾ は、冷却と血液循環の関連はないと推察していることから、本研究において冷却群で血中乳酸濃度の低下を示したのは、冷却の血流改善効果によるものではなく、入水に伴う静脈圧がもたらす循環の促進⁵⁵⁾によるものであると考える。

以上のことより、血中乳酸濃度の回復について、高強度の運動によって血中乳酸濃度が上昇した場合には安静状態よりも血液循環を促進させることが回復に有効であり、今回の実験では、短時間に用いる回復手段としては交代浴が最も有効であると考えられる。

第2節 仕事率

仕事率とは単位時間当たりになされた仕事、すなわち Power と定義される。スポーツの種目によりその発揮特性が異なることが知られているが、筋のパワー出力は筋力と収縮速度との積で表すことができ、筋パワーの発揮には単に筋力だけではなく筋の収縮速度も関わっている⁴³⁾。高強度の運動が間欠的に行われる競技では、そのパフォーマンスにおいて「動きの速さ」が求められる。ダッシュやターン等の瞬発的な動きを常に維持することや、その動きを複数回繰り返したときのパワーの維持力が重要とされる⁵³⁾ ため、パワーは重要な体力要素の一つとなる。

本研究において、Ex1 および Ex2 での総仕事率の平均値はそれぞれ $4517.7 \pm 454.2W$ 、 $4427.4 \pm 523.1W$ であり、各実験群の間に有意差がみられなかったことから、被験者は毎

回の運動を同程度のコンディションで遂行したと考えられる。

片平²⁷⁾や形本²⁸⁾は、筋の冷却により、神経線維の伝達速度の低下や神経-筋の興奮伝導に関わる化学反応の低下が生じるため、過度の冷却刺激は筋力を低下させると推察しており、筋力の低下はパフォーマンスの低下につながることを懸念されている。本研究では、各実験群における Ex1 から Ex2 への変化では、冷却群で有意に低下した。このことについては、冷却によって神経伝達速度が低下し、筋力低下を招いたことが総仕事率の低下につながったと考える。

また、本研究において軽運動を行った軽運動群では、総仕事率の向上が期待されたが有意な向上はみられなかった。青木ら⁵⁾は、軽運動を行うことで血中乳酸の消却を促進し、パフォーマンスを高める効果が高いと報告していることから、軽運動群では軽運動による血中乳酸濃度の有意な低下がみられなかったため、乳酸が運動の制限因子になったと考える。

Ex1 から Ex2 への変化率の比較について、交代浴群が冷却群よりも有意に向上した。これについては、交代浴群でも冷却群と同様の冷水を用いたが、交代浴群での冷水への浸水は1分間と短く、その後の温水による温熱刺激によって筋温の低下を抑制したため、筋温の低下による筋力低下は起こらなかったと考える。また、交代浴群において血中乳酸濃度が有意に低下したことも仕事率向上の主な要因と考える。そのほかに、温浴と冷浴には交感神経刺激作用があり、交感神経刺激はアドレナリンやノルアドレナリン等のホルモン分泌を促し、循環機能の亢進によって末梢循環における筋血流量の増大をもたらす。また温熱刺激による筋温の上昇は神経線維の興奮伝導性を更新させ、筋の収縮機能の改善に有効

に作用する^{44) 60)}とされ、これらが仕事率向上に交代浴が有効であった理由と考える。

以上のことより、休息における冷却によって総仕事率が有意に低下したことから、冷却は休息後のパフォーマンスを低下させると考える。また、交代浴を行うことで仕事率の有意な向上がみられたことから、次に運動が控える場合の短時間の休息に用いる回復手段として交代浴は有効な手段のひとつとなる可能性が考えられる。

第3節 筋硬度

運動の継続によって筋に「張り」や「凝り」を感じるものがよく経験され、このような筋の変化を「硬さ」として客観的に評価する試みがなされてきた⁴⁵⁾。これまで、高強度の運動を行った直後には筋の硬さが増加するという報告がなされている⁷⁴⁾。

本研究において、膝関節伸展筋群の筋硬度が安静群、軽運動群、冷却群において有意に上昇し、足関節底屈筋群では、交代浴群において有意に上昇した。北田ら³¹⁾は等張性の肘関節屈曲動作をオールアウトまで行わせ、直後に筋硬度を測定したところ運動前に比べて有意に上昇したと報告している。また、土居ら⁸⁾は5000mのタイムレースの前後で前脛骨筋の筋硬度を測定したところ、レース後で顕著に上昇したと報告している。本研究では自転車ペダリング運動を行わせ筋硬度を測定したが、運動直後の筋硬度上昇については同様の結果が得られた。筋硬度の上昇については、北田ら³¹⁾が、運動後の筋は血流量が増加するために充血状態であることや、筋内のpH低下によって水分量が増加することによって内圧が上昇するために硬度が上昇すると推察している。

膝関節伸展筋群に変化がみられる傾向があったことについて、市橋ら¹⁷⁾は、高負荷で

のペダリング運動では膝関節周囲筋に影響を与えると述べていることから、Ex1 と Ex2 で足関節底屈筋群より膝関節伸展筋群への負荷の影響が大きかったと推察する。

本研究において休息における筋硬度の変化は、膝関節伸展筋群の筋硬度が安静群、軽運動群、および交代浴群において有意に低下し、足関節底屈筋群では交代浴群において有意に低下した。このことについて、松橋ら³⁹⁾が、上昇した筋硬度は時間の経過とともに回復すると述べているように、本研究においても安静状態で筋硬度は経時的に低下し、10 分間でも有意に低下することが明らかになった。

上昇した筋硬度の回復については、堀川ら¹⁶⁾が、運動後に筋硬度が速やかに低下した要因の一つとして血流量の変化を挙げている。また村山⁴⁶⁾は、腓腹筋の阻血による筋硬度の上昇と血流の開放による速やかな筋硬度の低下がみられたと報告し、筋硬度変化には血液量の変動要因であると述べている。一方、山本ら⁷⁴⁾による筋硬度変化と血流量の変化と関連性は低いという報告もあることから、筋硬度の回復の要因については一定の見解を得られていない。本研究においては、軽運動や交代浴による筋硬度の低下や冷却による筋硬度の上昇と考えられたが、休息における筋硬度の変化率の比較について各群間に有意差がみられなかったことから、安静状態と比較しても回復手段の相違による顕著な変化はみられず、筋硬度の回復について明確な結果は得られなかった。

しかし、高強度の運動によって筋硬度は上昇し、併せて筋力や柔軟性が低下するという報告⁸⁾ ⁷⁴⁾があることから、筋硬度の上昇は筋機能の低下を反映していると考えられる。筋機能の回復を促進する要因を明確にするためにも、上昇した筋硬度の回復についてさらなる検討を行うことが必要であり、今後の課題である。

第4節 脈波

これまで、運動後の疲労回復における研究では、運動後の回復過程における種々の生理的反応について、循環血流量の変化から推察されている^{19) 40) 55) 56) 69)}。宮本ら⁴⁰⁾は、運動後の活動筋における血流増加によって、活動筋では有酸素性代謝が高まり、乳酸や二酸化炭素の産生量が抑えられ、同時に活動筋内における代謝産物の除去率を高めると推察している。また、池上ら¹⁹⁾は、激運動後の回復期に適度な運動を行い、肝臓や心筋等の乳酸処理組織への血流量を増加させることによって、組織における乳酸の取り込みが増大したと推察している。一方、佐藤⁵⁹⁾は、高強度の運動後に完全に休止すると筋のポンプ作用がとまり、静脈の帰還血流量が著しく低下することによって血液の循環不全を招き、失神、めまい、吐き気を起こすと推察している。これらのことより、運動後の回復に関与する酸素や二酸化炭素の運搬、緩衝作用等は血液を介して行われているため、運動後における各組織への血流量の増加や血液循環の促進によって筋機能の回復を促進することが示唆される。

血流量について、山本ら⁷⁴⁾は、超音波双方向血流計を用いて血流速度を測定し、青木ら³⁾は、Whitney⁷⁶⁾のラバーストレインゲージ法を用いて下腿筋血流量を測定し検討している。また、その他に近赤外線分光法等が用いられているが、これらについての一定の見解は得られていない。本研究では、高強度の運動における血流動態について、脈波伝播速度 (Pulse Wave Velocity : 以下 PWV と記す) に代わる新しい指標の CVAI (Cardio Ankle Vascular Index : 以下 CAVI と記す) を用いて検討を行った。PWV とは、血液が大動脈に駆出されるときの動脈拍動が動脈壁を伝わり末梢まで伝播する速度のことであり、この

動脈拍動が心臓から末梢に伝わるまでの時間と距離から速度を算出している。しかし、PWV は血圧値の変動を受けるため、PWV の因子を持ちながら血圧に依存しない血管個体固有のパラメーターとして具現化されたものが CAVI である。CAVI は PWV 原法との互換性を確保していることから、CAVI の数字が大きくなるほど血流速度が速いことが示唆される。

本研究において、各実験群における pre から post1 への CAVI の変化については、CAVI1 において冷却群、交代浴群で有意に増加し、安静群、軽運動群でも有意差はみられなかったが増加する傾向がみられた。CAVI3 においても有意差はみられなかったが安静群において増加する傾向がみられた。青木²⁾ は、運動に伴う血流配分の中で、骨格筋への増加が最も著しく、最大運動時には心拍出量の 90% 近くが骨格筋へ流れると報告している。また、加賀谷²⁵⁾ は、高強度の運動後には、筋内圧の低下により末梢の血管抵抗が低下し、動脈側と静脈側の圧勾配が高くなるので血液の流入量は著しく増加すると報告している。このことから、高強度の運動に伴って骨格筋への血流量が増加したこと、また、運動後の筋弛緩によって筋への血流量が増加したことが考えられる。

運動後の血流量の変化について、形本²⁸⁾ は、運動時には筋のミルクングアクションによって血液の環流が正常に行われているが、運動後には筋のミルクングアクションがなくなるため帰還血流量の低下が起りやすくなり、血液が下腿で貯留するため正常な血液循環を阻害すると推察している。本研究において、各実験群の post1 から rest への CAVI1 の変化については、安静群、軽運動群、および交代浴群で有意な低下がみられた。このことについては、運動後に循環不全が起っていることを示唆するものであり、末梢におい

て帰還血流量の低下が起こっていたと考えられる。しかし、軽運動群において顕著な低下を示したことについては、市川ら¹⁸⁾の軽運動によって活動筋への血流が増加するという報告とは異なる結果であった。軽運動による筋の収縮と弛緩の繰り返しが、筋の血流循環を促進することが期待されたが、血液循環の改善をみることはできなかった。また交代浴の温冷刺激による血液循環の促進効果はみられなかった。本研究では、CAVI1について10分間の回復による相違はみられなかった。CAVI3については、安静群で有意に低下し、交代浴群で有意差はみられなかったが増加する傾向がみられた。このことについて、安静群では循環不全が起こり安静状態では血液循環の改善は見られないことを示唆するものであった。軽運動群においては、軽運動により筋の収縮と弛緩を繰り返していたにもかかわらず大腿部の血流の改善は見られなかった。冷却群では Knight²⁹⁾が、冷却は血液循環と関連がないと述べているようにそれを支持する結果であった。しかし、交代浴群において増加傾向を示したことについては、交代浴の温冷刺激による血流改善を促進するという小川⁵²⁾らの報告を支持する結果となり、また交代浴群においては血中乳酸濃度の有意な低下を示していることから、局所ではあったが大腿部の血液循環の促進が血中乳酸の除去を促進したことが推察される。

以上のことより、高強度の運動後には血流速度が増加することから、骨格筋への血流量が増加したと考えられる。また、休息において血流速度が低下したことから血液の循環不全が起こっていることが考えられる。CAVI1については短時間の回復手段による血流速度の相違はみられなかった。また CAVI3 については交代浴を行うことで血液循環が促進されることが示され、筋機能の回復に有効であると推察される。しかし、血流動態に関して

はさらなる検討が必要であり今後の課題である。

第5節 回復手段の比較

本研究では短時間の休息に用いる回復手段として、軽運動、冷却、交代浴の効果を比較したところ、軽運動については、血中乳酸濃度で安静群に比べて有意な低下を示し、仕事率で安静群および冷却群と同様に低下する傾向がみられた。このことより、軽運動は短時間の休息に用いる場合、安静にするよりも血中乳酸濃度の回復に有効であると考えられる。しかし、高橋ら⁶⁶⁾は、休息時間は選手同士やコーチとのコミュニケーションの場として重要な時間であると述べているように、休息時間を疲労回復だけに費やすことは難しい。また、Belcastro と Bonen⁵⁾ が回復運動としての軽運動は10分以上継続して行うべきであると示唆していることから、軽運動を短時間の休息に用いることは難しいと考える。競技スポーツにおいては、陸上競技の走種目や競泳のように数回の予選を経て決勝をおこなうもの、柔道や剣道のようにトーナメント形式で勝ち抜きを行うもの等があり、これらは1日のうちに比較的短い休息時間をはさんで数回の競技を行わなければならない。これらの休息時間を対象に軽運動を用いることは、これまでの研究成果^{1) 3) 4) 47) 71) 73)}からも、短時間の休息に用いるよりも疲労回復およびパフォーマンスの向上への効果が期待される。

冷却については、血中乳酸濃度で安静群に比べて有意な低下を示したが、仕事率で、安静群と交代浴群に比べて有意な低下を示した。このことより、冷却は短時間の休息に用いる場合、安静にするより血中乳酸濃度の回復に有効であるが、休息後のパフォーマンスの低下を招くことが懸念される。しかし、冷却によって筋組織の代謝レベルを低下させエネ

ルギーの浪費を抑制する⁷⁶⁾という報告があることから、暑熱環境下において体温や筋温が上昇した場合等に身体冷却を用いることで、パフォーマンスの維持・向上においてその効果を有効にすると推察される。コンディショニングに用いられる冷却の有用性については、これまでの報告^{14) 15) 26) 27) 54) 74) 76)}も様々であるため、スポーツ現場への応用をふまえて更なる検討が必要であると考えられる。

交代浴については、血中乳酸濃度で、安静群、軽運動群、冷却群に比べて有意な低下を示し、仕事率で冷却群に比べて有意な向上を示した。このことより、交代浴を短時間の休息に用いる場合、軽運動および冷却を行うよりも血中乳酸濃度の回復に有効であり、冷却するよりもパフォーマンスの維持・向上が期待されることが考えられる。これまで、交代浴は慢性障害や疼痛緩和等の治療に用いられること^{42) 48) 52)}が多かったが、本研究の結果から交代浴が回復手段の1つとなる可能性が示唆された。また、短時間の休息にだけでなく試合と試合の間、試技と試技との間の休息にも有用となることが期待される。スポーツ活動中に温熱を加えることは、筋力の低下を招きパフォーマンスの低下が懸念される¹⁴⁾ことから消極的であったが、冷却と温熱を組み合わせることで相乗効果がみられたと考える。しかし、冷温刺激が有用であることは示されたが、スポーツの現場に用いる場合には、方法にさらなる簡便さが求められることから、現場で使用されているホットパックやアイスパック等を用いて、更なる検討が必要であると考えられる。また、本研究での回復手段が全てのスポーツ現場に応用できるというわけではないため、用いる際には競技の特性や場面を考慮する必要がある。

第7章 結論

短時間の休息に用いる回復手段としての軽運動、冷却、交代浴の効果については、軽運動は安静状態よりも血中乳酸濃度の回復に有効であった。冷却は安静状態より血中乳酸濃度の回復に有効であったが、他の群に比べて仕事率が低下した。交代浴は安静、軽運動、冷却より血中乳酸濃度の回復に有効であり、他の群に比べ仕事率が向上した。よって、本研究において短時間の休息に用いる回復手段として軽運動、冷却、交代浴の3つを比較したところ、交代浴が有効な手段となる可能性が示唆された。

第8章 要約

- (1) 短時間の休息に用いる回復手段として軽運動、冷却、交代浴の効果を明らかにし、より効果的な回復手段を比較検討することを目的とした。
- (2) 被験者はJ大学の運動部に所属する男子学生9名とした。
- (3) 自転車エルゴメーターを用いて、5秒間の全力ペダリングを20秒間の休息をはさんで8セット繰り返した。そして10分間の休息の後、再び同一の方法で8セットの全力ペダリングを行った。負荷値は被験者の体重を基準とした相対負荷を用いた。
- (4) 休息時間の内容は、椅座位による安静（安静群）、連続ペダリングによる軽運動（軽運動群）、冷水による冷却（冷却群）、冷水と温水による交代浴（交代浴群）によって回復を行った。
- (5) 測定項目は、血中乳酸濃度、総仕事率、筋硬度、脈波および主観的評価であった。
- (6) 血中乳酸濃度では、全ての群において運動後に有意に上昇し、休息後有意に低下した。変化率の比較では、各実験群間で相違がみられた。中でも交代浴群が最も有意に低下し、軽運動群と冷却群が安静群より有意に低下した。
- (7) 総仕事率では、冷却群が有意に低下し、交代浴群で向上する傾向がみられた。変化率の比較では、交代浴群が冷却群より有意に向上した。
- (8) 脈波は、運動後に増加し、休息後に低下する傾向がみられた。変化率の比較では、CAVI1（大動脈弁口部から足関節までの脈波）で、各実験群間での有意差はみられなかったが、CAVI3（股動脈から膝窩部までの脈波）では、交代浴群で増加する傾向にあった。
- (9) 筋硬度については、運動後に上昇する傾向を示したが、休息後の変化率では各回復

手段による有意差はみられなかった。

(10) 以上のことより、短時間の休息に用いる回復手段としての軽運動、冷却、交代浴の効果については、軽運動は安静よりも血中乳酸濃度の回復に有効であった。冷却は安静より血中乳酸濃度の回復に有効であったが、他の群に比べて仕事率が低下した。交代浴は安静、軽運動、冷却より血中乳酸濃度の回復に有効であり、他の群に比べ仕事率が向上した。以上より、軽運動、冷却、交代浴の3つを短時間の休息に用いて比較したところ、交代浴が最も有効な手段となる可能性が示唆された。しかし、これは一部のスポーツ競技においては有用な回復手段のひとつとなると考える。

謝辞

本論文作成にあたり、ご協力いただいたフクダ電子株式会社の皆様に、心から御礼申し上げます。また、ご指導を賜った教員の皆様に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 青木純一郎：クーリングダウンの生理学, *J.J.Sports Sci.*, 7, 628-630, (1988)
- 2) 青木純一郎：運動と呼吸循環, 石河利寛, 杉浦正輝編 運動生理学, 初版, 145-182, 建帛社：東京, (2000)
- 3) 青木純一郎, 富田寿人, 高岡郁夫：間歇的短時間最大運動のパフォーマンスに及ぼすホットパック, マッサージ, 低周波電気刺激および関連運動の効果, 昭和 58 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告IV., ウォーミングアップとクーリングダウンに関する研究, 27-33, (1983)
- 4) Bar-Or, O. : The Wingate anaerobic test: an update on methodology, reliability and validity., *Sports Med.*, 4, 381-394, (1987)
- 5) Belcastro, A.N. : Bonen, A. : Lactate acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise., *J.Appl.Physiol.*, 39, 932-936, (1975)
- 6) Borg, G.A. : Psychophysical bases of perceived exertion., *Med.Sci.Sports.*, 14, 377-387, (1982)
- 7) Clarke, R.S.J : Hellon, R.F : Lind, A.R : The duration of sustained of the human forearm at different muscle temperatures., *J.Physiol.*, 143, 454-473, (1958)
- 8) 土居陽治郎, 小林一敏：筋肉の硬さ測定に関する研究, 筑波大学体育科学系紀要, 11, 265-274, (1988)
- 9) 福岡重雄, 齋藤和快：ウォーミングアップ・クーリングダウンの理論, 骨・関節・靭帯, 11, (7), 765-770, (1998)
- 10) 我満 衛, 日比野至, 秋山貴昭：水中歩行および入浴が激運動後の血中乳酸、作業能力の回復に与える影響, 保健の科学, 41, (10), 783-788, (1999)
- 11) 後藤真二, 榎崎龍一：水泳による積極的回復がその後の血中乳酸動態およびパフォーマンスに及ぼす影響, デサントスポーツ科学, 16, 209-216, (1995)
- 12) 八田秀雄：運動中および運動後における乳酸の代謝, *J.J.Sports Sci.*, 12, 767-772, (1993)
- 13) 八田秀雄：乳酸の代謝と「酸素」, 体育の科学, 43, (5), 350-354, (1993)
- 14) 服部佑介, 廣橋賢次：冷水浴が筋疲労回復に及ぼす影響—短時間での末梢性筋疲労回復に着目して—, 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 12, 9-10, (2002)
- 15) 本間幸子：骨格筋への酸素の補給—運動と筋血流量—, 体育の科学, 46, (10), 795-800, (1996)
- 16) 堀川浩之, 佐藤三千雄, 中野雅之, 松橋明宏, 佐藤孝雄, 松石純, 久光正：等尺性最大脚伸展動作が筋硬度に及ぼす影響, 臨床スポーツ医学, 14, (5), 573-578, (1997)
- 17) 市橋則明, 池添冬芽, 大幡光司, 才藤栄一：高負荷での自転車エルゴメーターによるペダリングトレーニングが筋機能に与える影響, 理学療法科学, 17, (2), 101-106, (2002)
- 18) 市川雅子, 板倉なぎさ, 小倉太一, 笠原西介, 松永篤彦：クーリングダウンが血中乳酸濃度および筋持久性パフォーマンスに与える影響, 北里理学療法学会, 第3号, 17-20, (2000)
- 19) 池上晴夫, 稲沢見矢子, 近藤徳彦：乳酸消失からみたクーリング・ダウンに関する研究—特に漸減強度の回復期運動の効果について—, 筑波大学体育科学系紀要, 9, 151-158, (1986)
- 20) 石山修盟, 和久貴洋, 山本利春, 古館昌宏, 秋本崇之, 河野一郎：ハーフタイムにおけるアイシングがパフォーマンスに及ぼす影響, 体力科学, 50, (6), 1036, (2001)

- 21) 石山修盟：コンディショニングの一環としてのアプローチ 戦い抜けるチーム, *Training journal*, 25, (9), 18-20, ブックハウス・エイチディ, (2003)
- 22) 板橋 純, 御園生隆夫, 佐々木敏文, 三秋欣彦, 長尾光城, 松枝秀二, 長尾憲樹：疲労物質としての血中乳酸を再考する, *疲労と休養の科学*, 15, (1), 123-132, (2000)
- 23) Jorfeldt, L.A., Juhlin-Dannfelt. : Karlsson, J. : Lactate release in relation to tissue lactate in human skeletal muscle during exercise., *J.Appl.Physiol.*, 44, 350-352, (1978)
- 24) Jorfeldt, L. : Metabolism of L(+) - lactate in human skeletal muscle during exercise., *Acta Physiol.Scand.Suppl.*, 339, 1-67, (1970)
- 25) 加賀谷淳子：運動時の筋血流量, *体育学研究*, 46, 429-442, (2001)
- 26) 片平誠人：冷水浴における冷却時間の違いが疲労した握力の回復過程に及ぼす影響, *久留米大学健康・スポーツ科学センター研究紀要*, 11, (1), 19-23, (2004)
- 27) 片平誠人：冷却方法の異なるアイシングが握力における筋疲労の回復に及ぼす影響, *福岡教育大学紀要*, 53, (5), 69-76, (2004)
- 28) 形本静夫：ウォームアップとクールダウンの生理学, 青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功編 *スポーツ生理学*, 初版, 41-419, 市村出版：東京, (2001)
- 29) Knight, K.L. : 治療的な冷却適用が循環系にもたらす影響, *クライオセラピー*, 初版, 123-144, ブックハウス・エイチディ, (1997)
- 30) 木目良太郎, 白澤葉月, 田巻弘之, 倉田博, 佐古隆之, 浜岡隆文, 勝村俊仁, 下光輝一：等尺性持続収縮時の下腿三頭筋活動に及ぼす局所冷却および加温の効果, *体力科学*, 47, 103-118, (1998)
- 31) 北田耕司, 田巻弘之, 芝山秀太郎, 倉田博：筋疲労による収縮時の筋硬度変化, *J.J.Sports Sci.*, 13, (2), 273-280, (1994)
- 32) 駒井説夫, 白井龍生, 上林久雄：短時間の激運動後の最大下運動が血中乳酸及び血清 FFA に及ぼす影響, *体力科学*, 31, 306-311, (1982)
- 33) 河野一郎：臨床スポーツ医学における疲労の考え方, *臨床スポーツ医学*, 17, (7), 777-780, (2000)
- 34) 熊谷秋三：血中乳酸とパフォーマンス, *体育の科学*, 38, (9), 687-696, (1988)
- 35) 栗山節郎：筋疲労と理学療法, *体育の科学*, 40, (5), 39-353, (1990)
- 36) Laughlin, M.H. : Armstrong, R.B. : Rat muscle blood flow as a function of time during prolonged slow treadmill exercise., *Am.J.Physiol.*, 244, H814-H824, (1983)
- 37) 丸山剛生, 中村正道, 徳永文利, 杉森弘幸：運動後のアイシングの効果に関する一考察, *東京工業大学人文論叢*, 15, 47-52, (1989)
- 38) 丸山剛生, 中村正道, 徳永文利, 石川国広：運動後のアイシングの効果について, *東京工業大学人文論叢*, 16, 149-157, (1990)
- 39) 松橋明宏, 佐藤孝雄, 朝比奈茂, 久光正：ストレッチングが運動後の筋硬度上からの回復に与える影響, *昭和医会誌*, 62, (6), 401-406, (2002)
- 40) 宮本忠吉, 中西康人, 木下博：運動後の疲労回復に及ぼす中心循環血液量増加の生理学, *デサントスポーツ科学*, 22, 127-138, (2001)
- 41) 宮崎幹也, 山岡誠一：筋疲労に関する研究, *京都教育大学紀要*, 53, 49-58, (1978)

- 42) 水関隆也: RSD の病態と治療 薬物療法と温冷交代浴, 整形・災害外科, 45, (13), 1337-1334, (2002)
- 43) 村岡 功: トレーニングの生理学, 青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功編 スポーツ生理学, 第 11 版, 30-39, 市村出版: 東京, (2001)
- 44) 村岡 功: 運動と内分泌, 石河利寛, 杉浦正輝編 運動生理学, 第 11 版, 183-215, 建帛社: 東京, (2000)
- 45) 村山光義: 日常生活の筋肉の硬さの変動幅について, 東京体育学研究, 19-25, (1994)
- 46) 村山光義, 南谷和利, 米田継武: 左右同時測定による筋肉の硬さについて, 体力科学, 43, 582, (1994)
- 47) 長沢純一, 吉野貴順, 村岡功: 漸増最大自転車運動後の血中乳酸除去に及ぼす Lactate threshold を基準としたクーリング・ダウンの影響, 体力科学, 34, 407, (1985)
- 48) 永吉英記, 渡辺剛, 椛沢靖弘, 川村協平: 温浴後の冷水浴における自律神経機能と血液成分の変化, 国士舘大学体育研究所報, 20, 91-98, (2002)
- 49) Newman, E.V.: The rate of lactic acid removal in exercise., Am.J.Physiol., 118, 457-462, (1937)
- 50) 野村亜樹: 理学療法と疲労回復, 体育の科学, 52, (3), 215-217, (2002)
- 51) 沼崎康友, 笠原秀則, 佐々木誠: アイスパックによる寒冷療法後の筋力の変化について, 理学療法ジャーナル, 37, (2), 163-166, (2003)
- 52) 小川百合子, 大島孝子, 上瀧里美, 金城秀子: 交代浴における術後の足関節痛の緩和, 医療, 52, 188, (1998)
- 53) 大森一伸: サッカーの生理学, 青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功編 スポーツ生理学, 第 11 版, 152-157, 市村出版: 東京, (2001)
- 54) 大槻伸吾, 辻信宏, 田中一成, 大久保衛, 山野慶樹, 寺前真次, 土井龍雄: アイシングが筋疲労回復に与える影響について, 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 6, 78-88, (1997)
- 55) 小野寺昇: アクアスポーツと健康 水中運動と健康増進, 体育の科学, 50, (7), 510-516, (2000)
- 56) 坂井寿江, 畠山優, 小杉憲久, 富樫寛子, 工藤俊輔: 筋疲労に対する超音波の効果, 秋田理学療法, 10, (1), 21-25, (2002)
- 57) 坂上 昇, 大倉三洋: ストレッチングの筋疲労回復に関する研究, 高知リハビリテーション学院紀要, 2, 1-7, (2000)
- 58) Saltin, B.: Gagge, A.P.: Stolwijk, J.A.J.: Muscle temperature during submaximal exercise in man., J.Appl.Physiol., 25, 679-688, (1968)
- 59) 佐藤佑: 運動と体力・疲労, 石河利寛, 杉浦正輝編 運動生理学, 第 11 版, 273-306, 建帛社: 東京, (2000)
- 60) 佐藤 佑: 疲労と疲労回復の生理学, 青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功編 スポーツ生理学, 初版, 80-87, 市村出版: 東京, (2001)
- 61) 芝山秀太郎, 大平充宣, 江橋 博: 運動と内部環境および外部環境, 石河利寛, 杉浦正輝編 運動生理学, 第 11 版, 220-272, 建帛社: 東京, (2000)
- 62) 白石竜生, 駒井説夫, 上林久雄: AT を基準とした回復期運動と血中乳酸除去との関係, 体

力科学, 33, 293, (1984)

- 63) 杉田 正: 生理的疲労のメカニズムと回復 疲労物質からみた疲労, 臨床スポーツ医学, 17, (7), 787-794, (2000)
- 64) 鈴木康弘, 高松 薫: 短時間高強度運動時の疲労と酸-塩基平衡, 体育の科学, 52, (6), 475-481, (2002)
- 65) 高橋淳一郎: 高強度運動後の血中乳酸および筋機能の回復に及ぼす水泳および水中運動の効果, 順天堂大学博士論文, (2002)
- 66) 高橋淳一郎, 高橋宗良, 黒田瑞城: 水球競技におけるインターバル時の積極的休息時間と血中乳酸濃度の関係, スポーツ方法学研究, 12, (1), 105-110, (1999)
- 67) 高橋淳一郎, 若吉浩二, 立貞栄司, 寺田晶裕, 森弘暢, 小野桂市: 競泳インターバルトレーニングにおける泳速度と休息時間の変化に伴う血中乳酸濃度およびストローク頻度の変化, スポーツ方法学研究, 12, (1), 69-77, (1999)
- 68) 田中宏暁: 最大下作業中の乳酸の生成と消失, 体育の科学, 23, 213-219, (1976)
- 69) 田中信行, 堀切豊, 鄭忠和: 理学療法の理論 (2) 温熱療法, 総合リハビリテーション, 25, (8), 721-725, (1997)
- 70) 上村史朗, 藤本伸一, 橋本俊雄, 土肥和紘, 岩本江美, 石川兵后衛: 運動強度の評価を目的とした心拍数利用の妥当性, 臨床スポーツ医学, 14, (11), 1211-1215, (1997)
- 71) Weltman, A. B. A.: Stamford, R.: Moffatt, J.: Lkatchi, V.: Exercise recovery, lactate removal, and subsequent high intensity exercise performance., Res.Quart., 48, 786-796, (1977)
- 72) Whitney, R. J.: The measurement of volume changes in human Limbs., J.Physiol., 121, 1-21, (1953)
- 73) 山本正嘉, 山本利春: 激運動後のストレッチング, スポーツマッサージ, 軽運動, ホットパックが疲労回復に及ぼす効果-作業能力および血中乳酸の回復を指標として-, 体力科学, 42, 82-92, (1993)
- 74) 山本利春: 筋のコンディショニングを目的としたアイシングの効果, 武道・スポーツ科学研究所年報, 第1号, 73-80, (1996)
- 75) 山本利春, 井下佳織, 鈴木由紀子, 小西由里子: 柔軟性評価としての筋硬度測定の妥当性に関する研究, 武道・スポーツ科学研究所年報, 第5号, 129-135, (1999)
- 76) 山本利春, 吉永孝徳, 山本正嘉, 有馬三郎, 佐藤哲守, 藤巻悦夫, 阪本桂造: 運動後のアイシングがパフォーマンスに及ぼす効果, 体力科学, 45, (6), 801, (1996)

The effects of various methods of recoveries employed for a short time of rest

Mayuko Nakazawa

Summary

The purpose of this study was to compare and examine effective methods of recoveries by defining the effects of light exercise, cooling and contrast bath employed for a short time of rest.

The subjects were 9 males who belong to the sports department of Juntendo University. The subjects performed 5-s maximal effort cycle ergometer exercise bouts, repeated 8 times with 20-s rests (Ex1). A 10-min rest period was given after this, and then the same exercise was performed again (Ex2). A weight load was applied in proportion to the weight of each subject. The contents of the rest period were resting in a sitting position (Group Rest), resting while continuously pedaling as a light exercise (Group Light exercise), cooling with cold water (Group Cooling) and contrast bath with both cold and warm water (Group Contrast bath).

Measurement items were blood lactate, total power, degree of muscular stiffness, pulse wave and subjective evaluation.

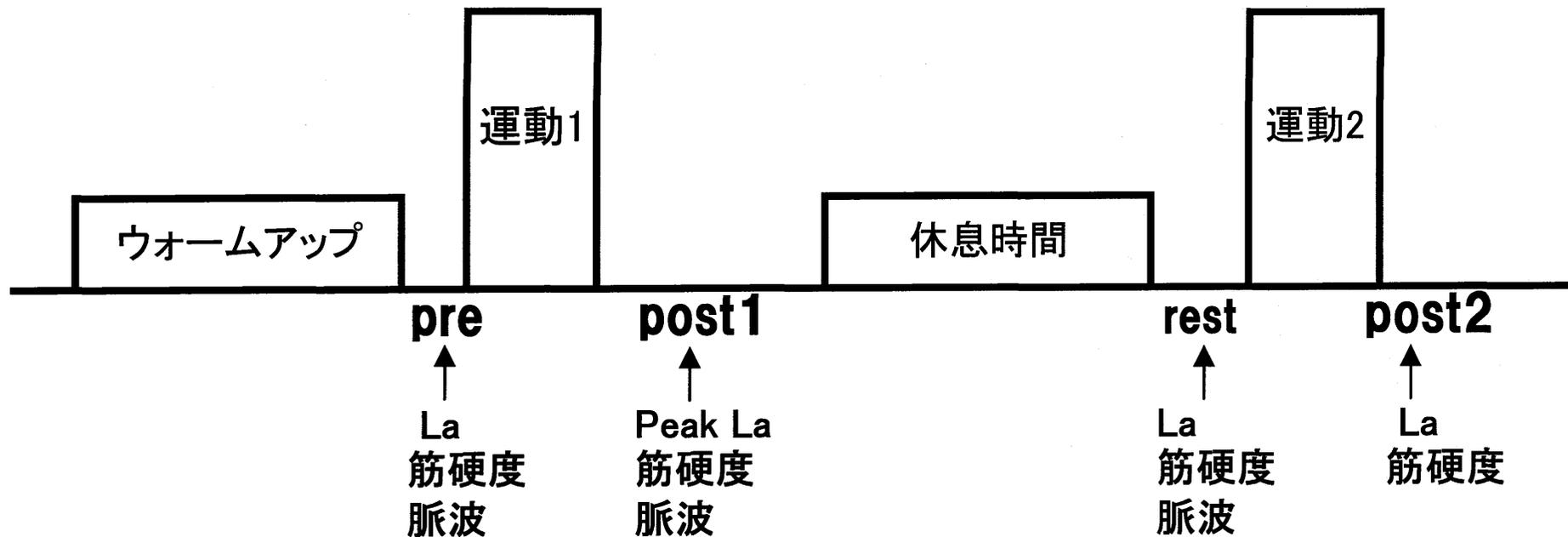
In these results, Group Contrast bath showed the most significant reduction during the rest period in regard to density of blood lactate. Group Light exercise and Group Cooling showed more significant reduction than Group Rest. As for the total power, Group Contrast bath showed more significant improvement than Cooling in Ex2, and Group Cooling indicated a significant reduction. Pulse wave tended to increase after the exercise and tended to decrease in the rest period. Group Contrast bath showed some tendencies to increase in the rest period. No significant difference was found amongst all the strategies of recovery in regard to the degree of muscular stiffness.

According to the above results, contrast bath is considered to be an effective method of recovery when employed for a short time of rest.

表1: 被験者のプロフィール

J大学の運動部に所属する男子学生9名

	年 齢 (歳)	身 長 (cm)	体 重 (kg)
平均値±標準偏差	22.3±1.7	175.0±5.9	66.7±5.9



Ex1・Ex2・・・[5 sec → 20 sec] × 8 set
 <全カペダリング> <休息>

負荷値 = 体重(kg) × 0.075kp

図1. 実験プロトコル

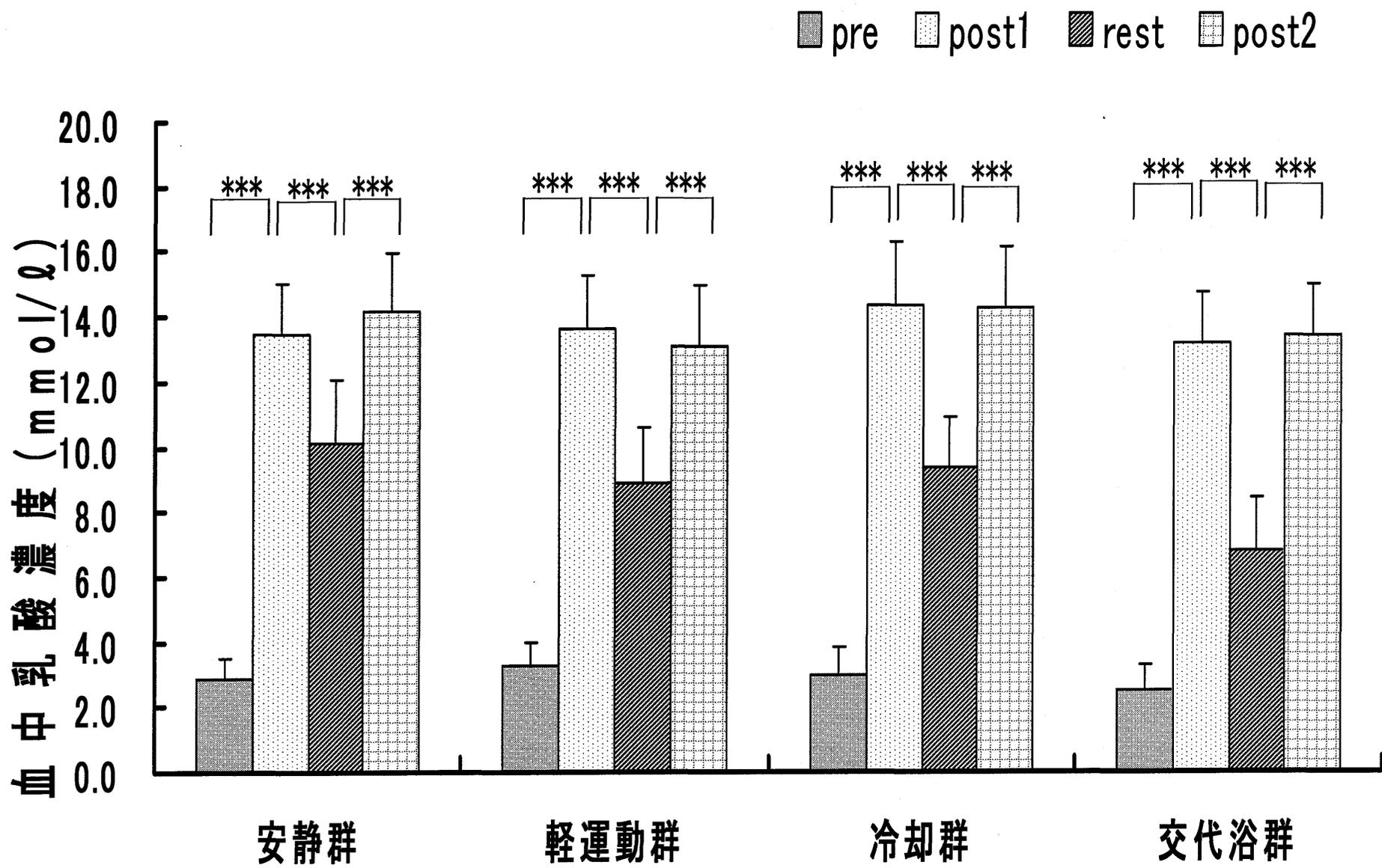


図2.血中乳酸濃度の変化

***...p<0.001

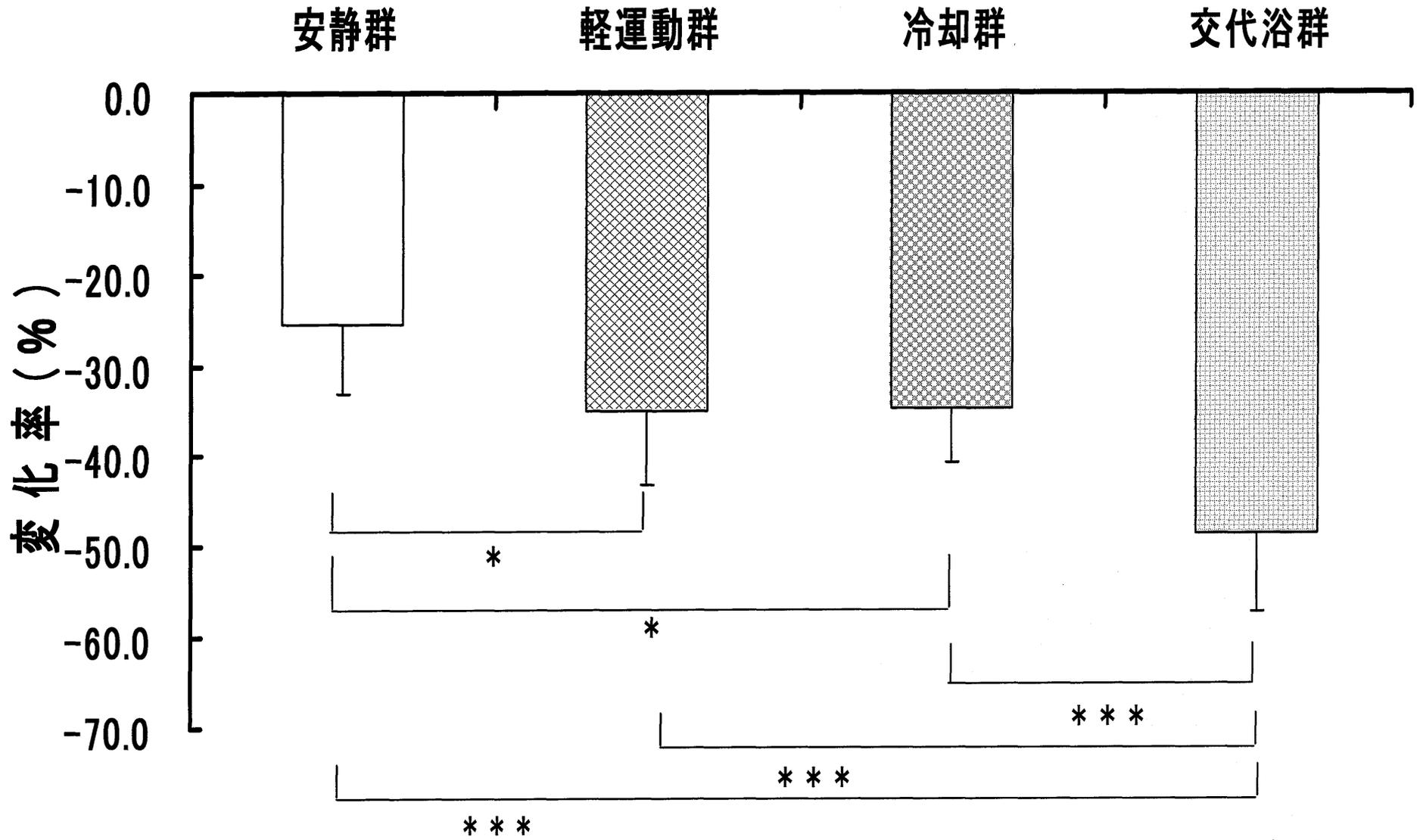


図3.血中乳酸濃度の変化率の比較

*... p < 0.05
 ***... p < 0.001

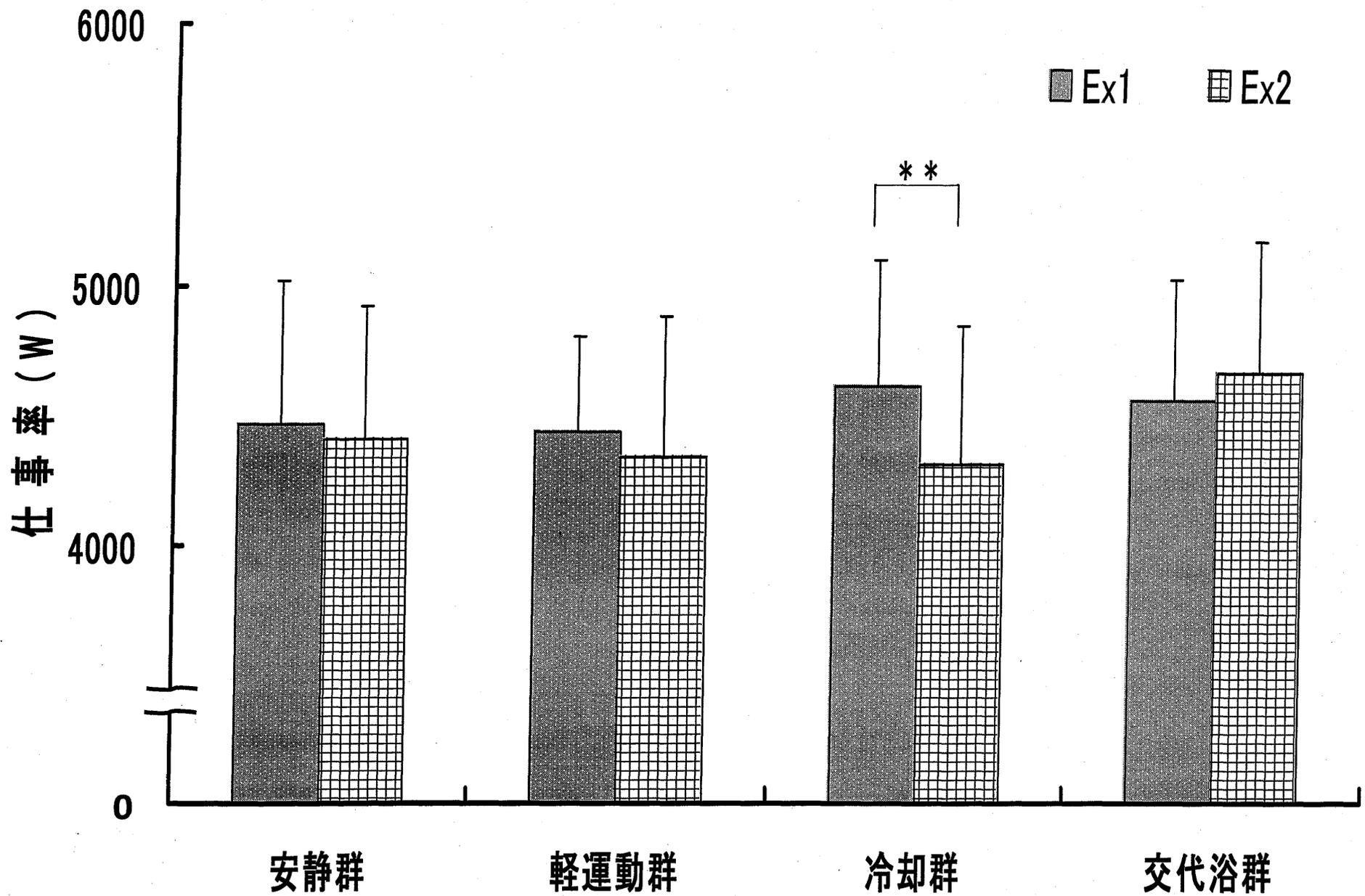


図4. 総仕事率の変化

**...p<0.01

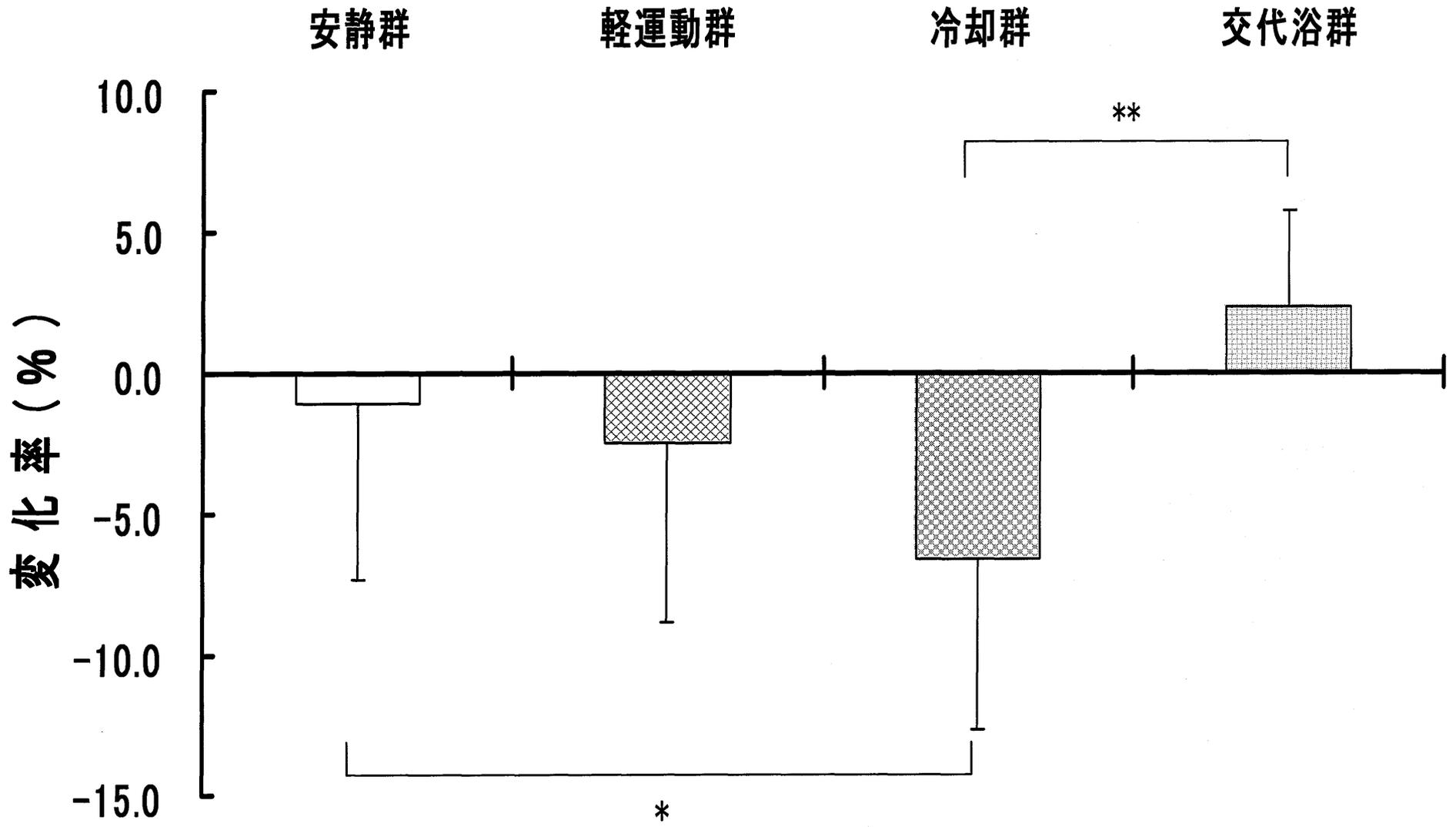


図5. 総仕事率の変化率の比較

*...p<0.05
 **...p<0.01

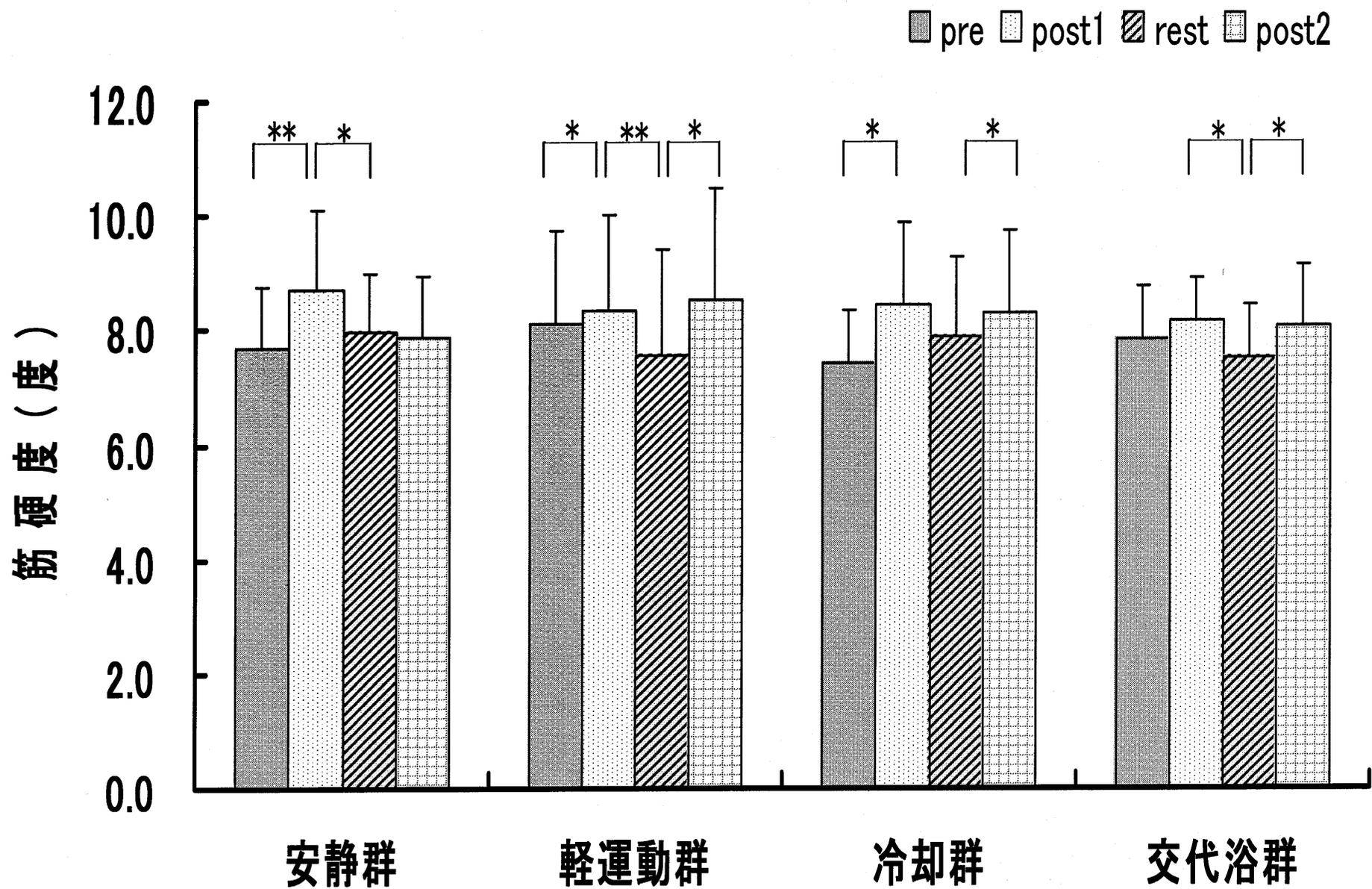


図6. 膝関節伸展筋群の筋硬度変化

*...p<0.05
**...p<0.01

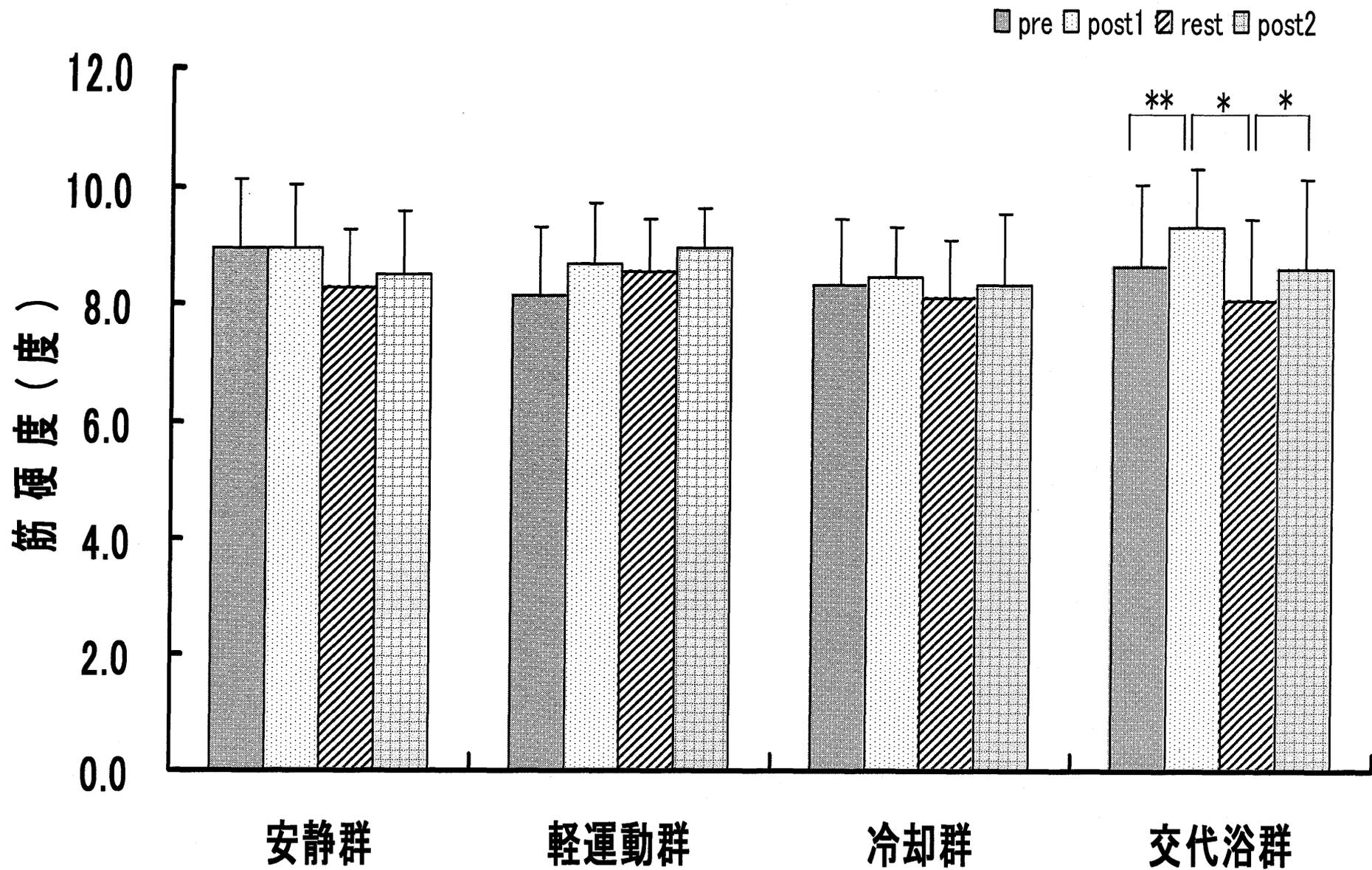


図7. 足関節底屈筋群の筋硬度変化

*... $p < 0.05$
 **... $p < 0.01$

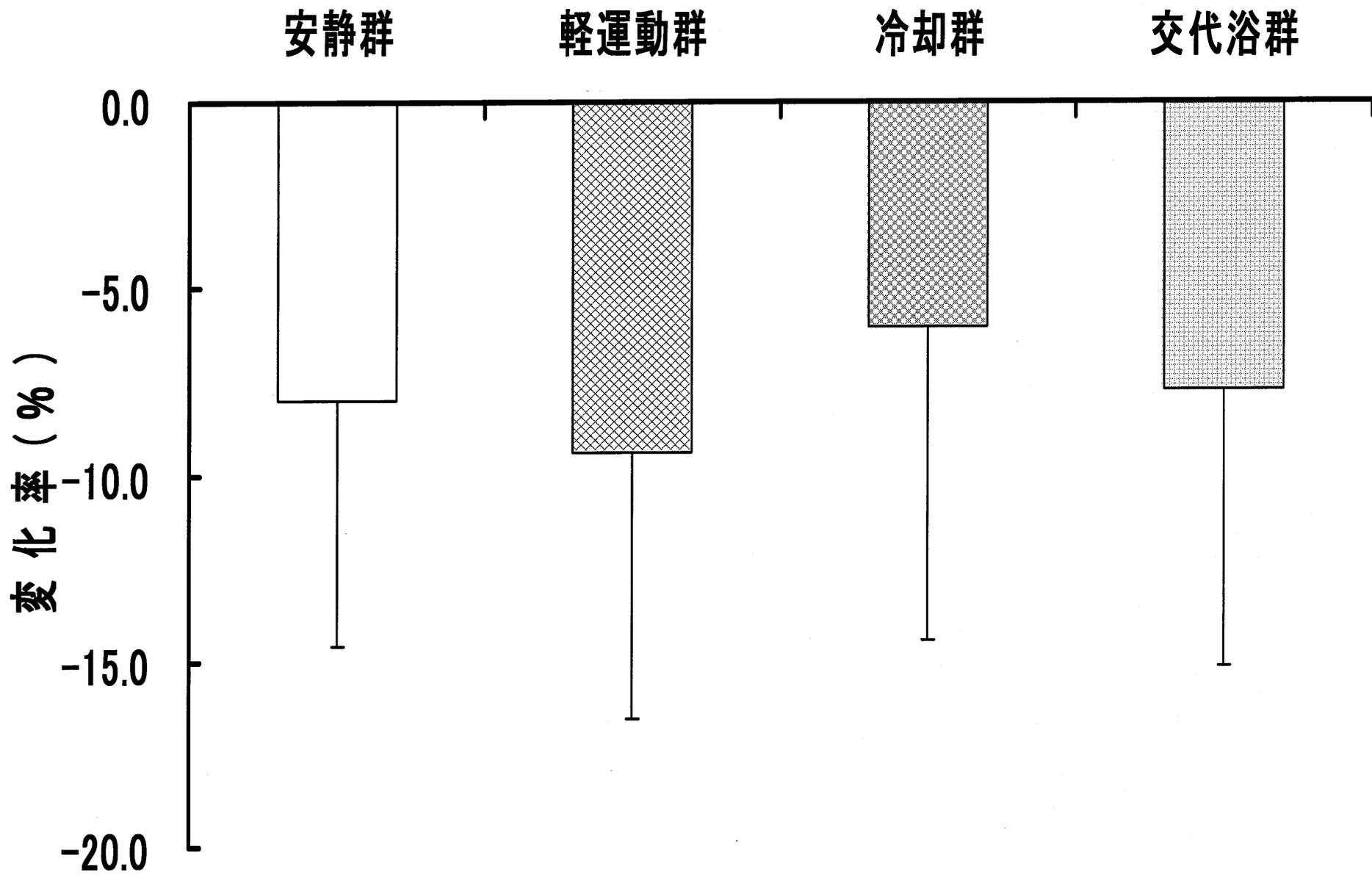


図8. 筋硬度の変化率の比較(膝関節伸展筋群)

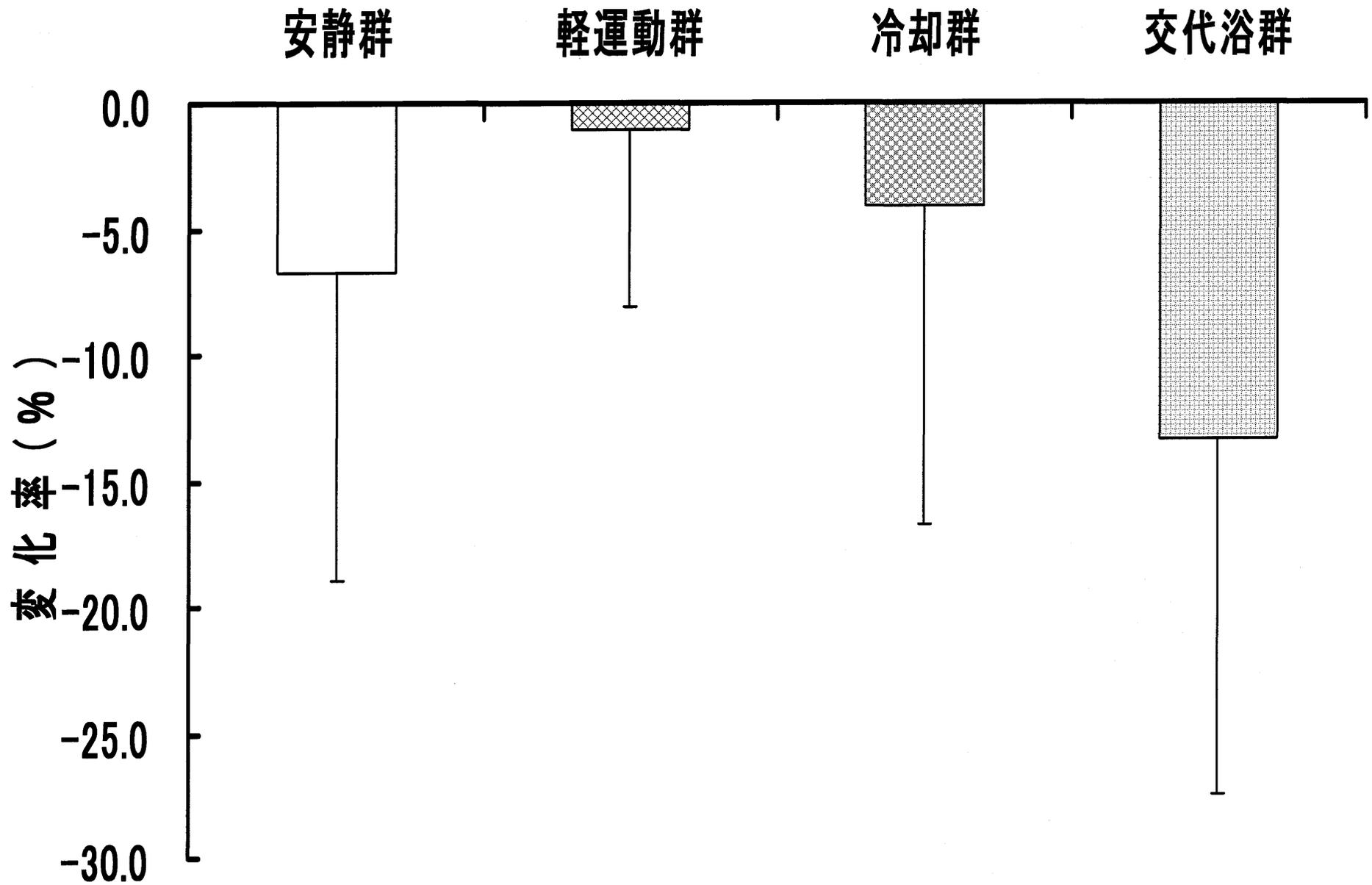


図9. 筋硬度の変化率の比較(足関節底屈筋群)

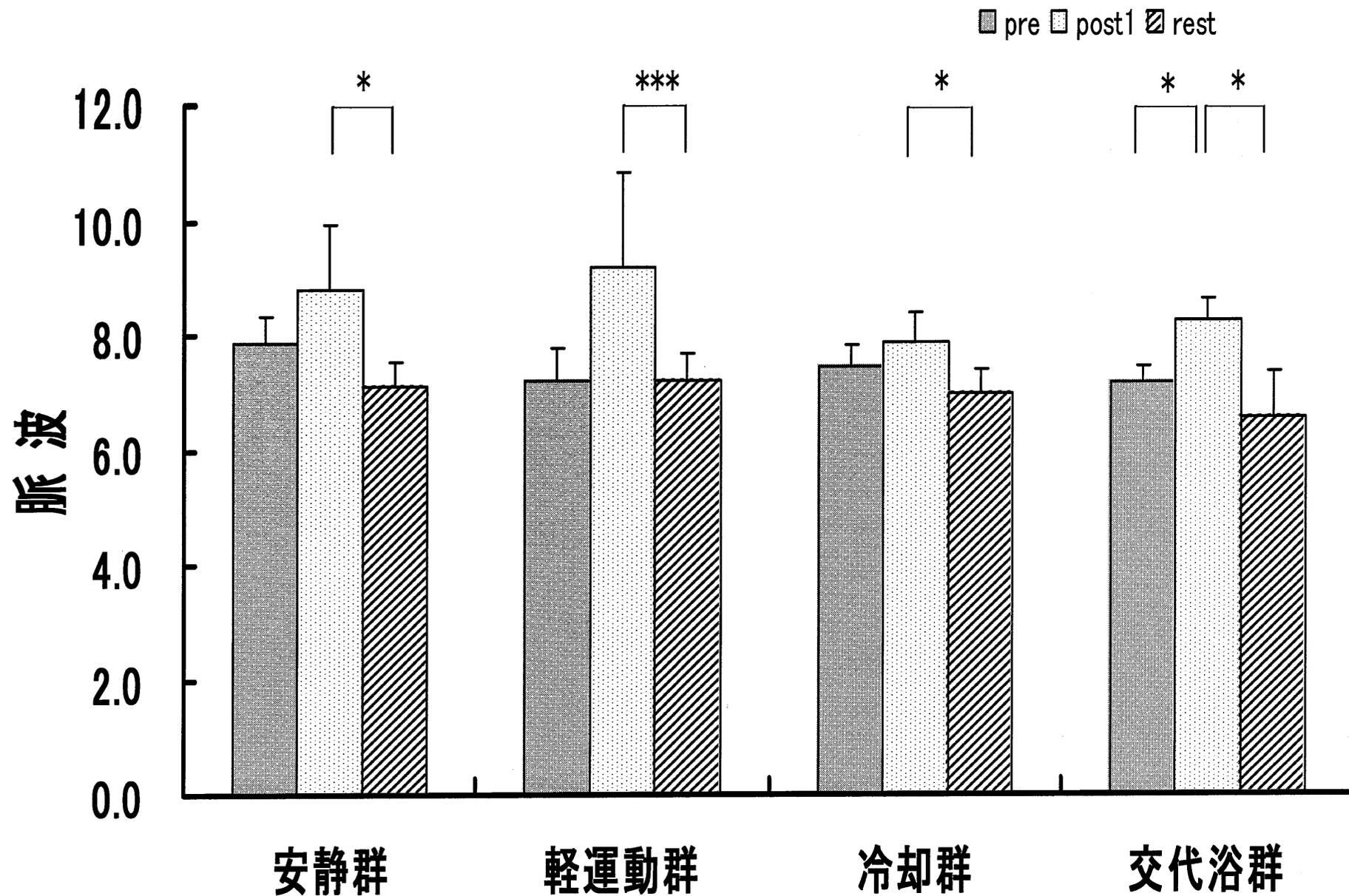


図10. 脈波の変化(CAVI1)

*...p<0.05
 ***...p<0.001

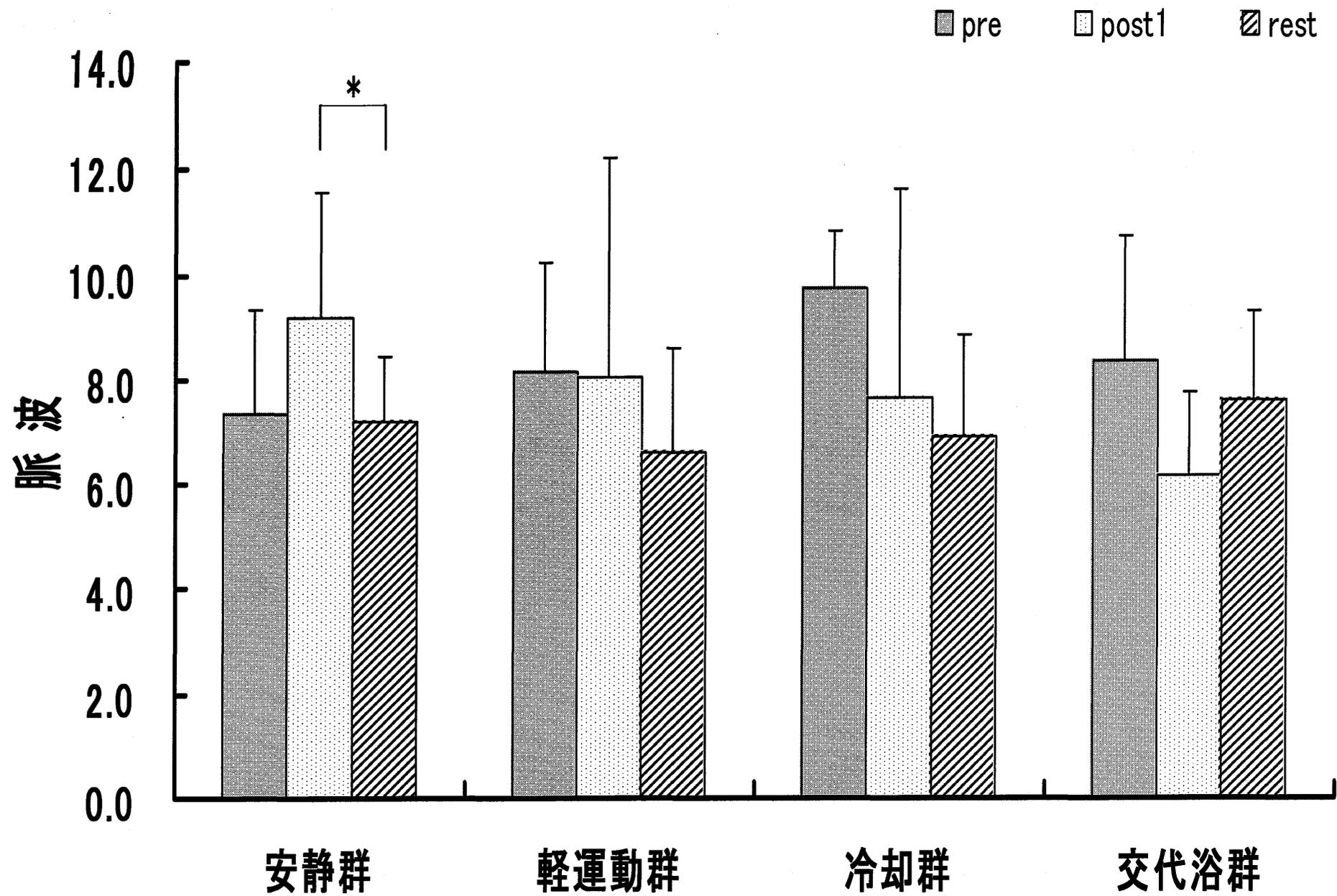


図11. 脈波の変化(CAVI3)

*... $p < 0.05$

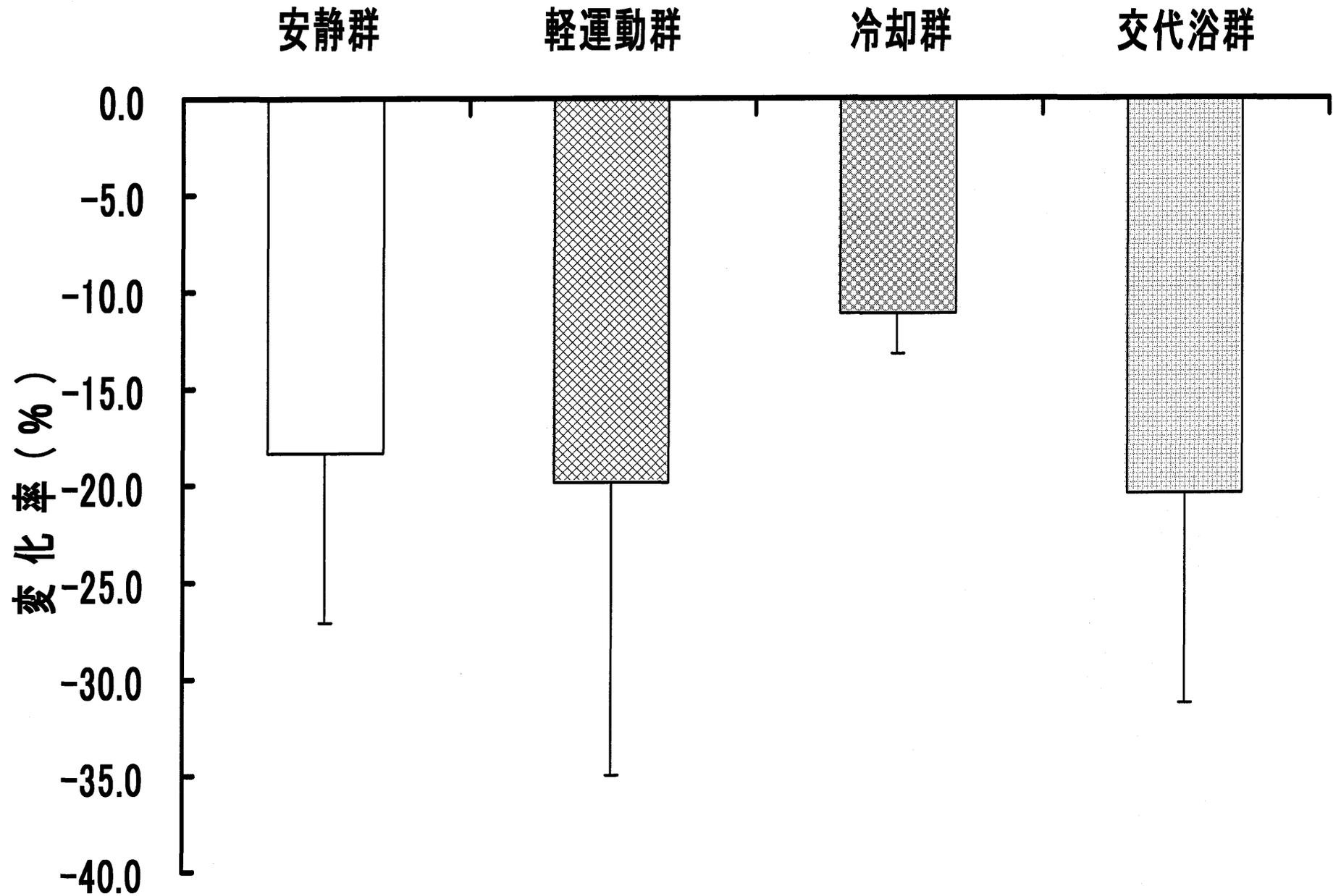


図12. 脈波の変化率の比較(CAVI1)

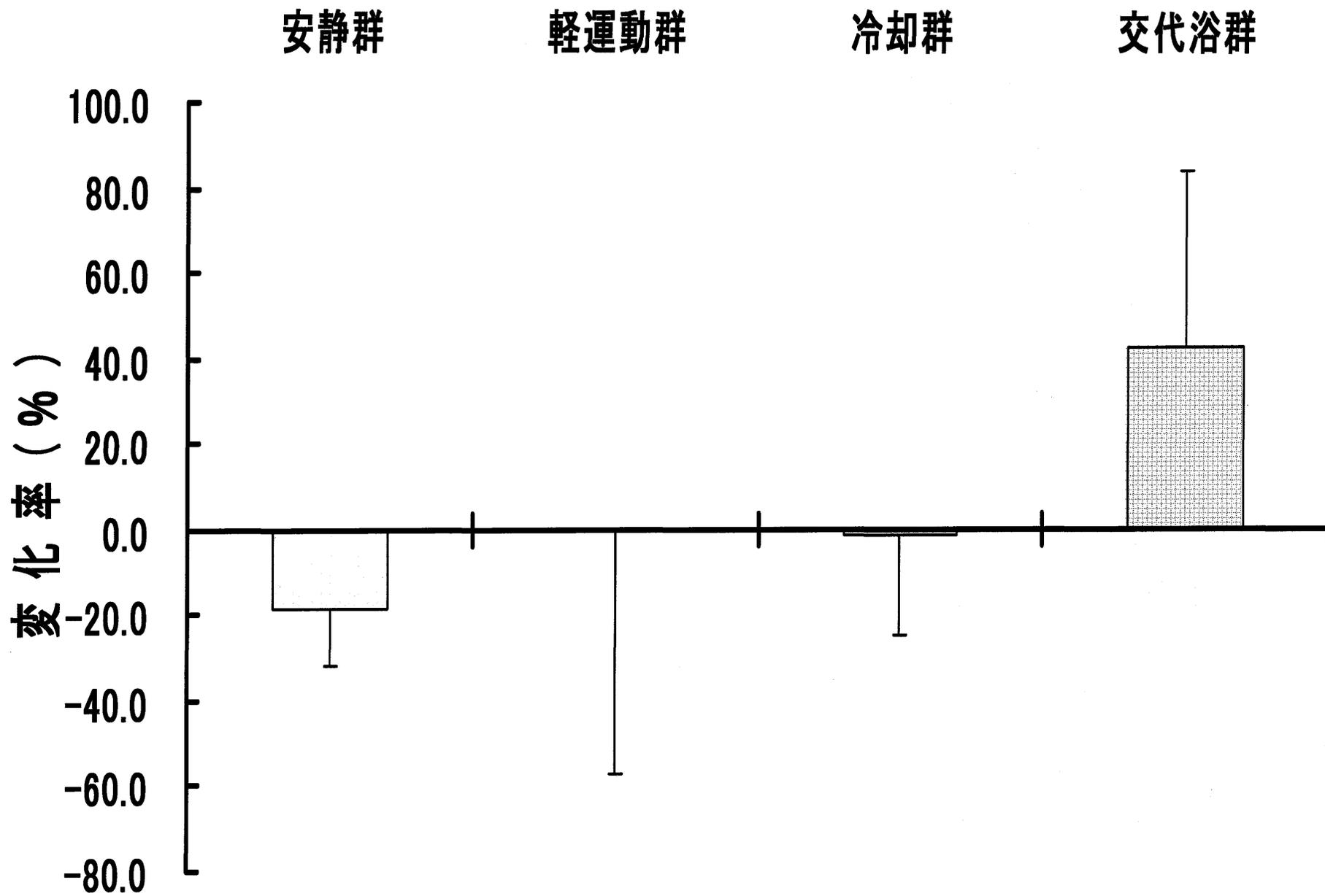


図13. 脈波の変化率の比較(CAVI3)

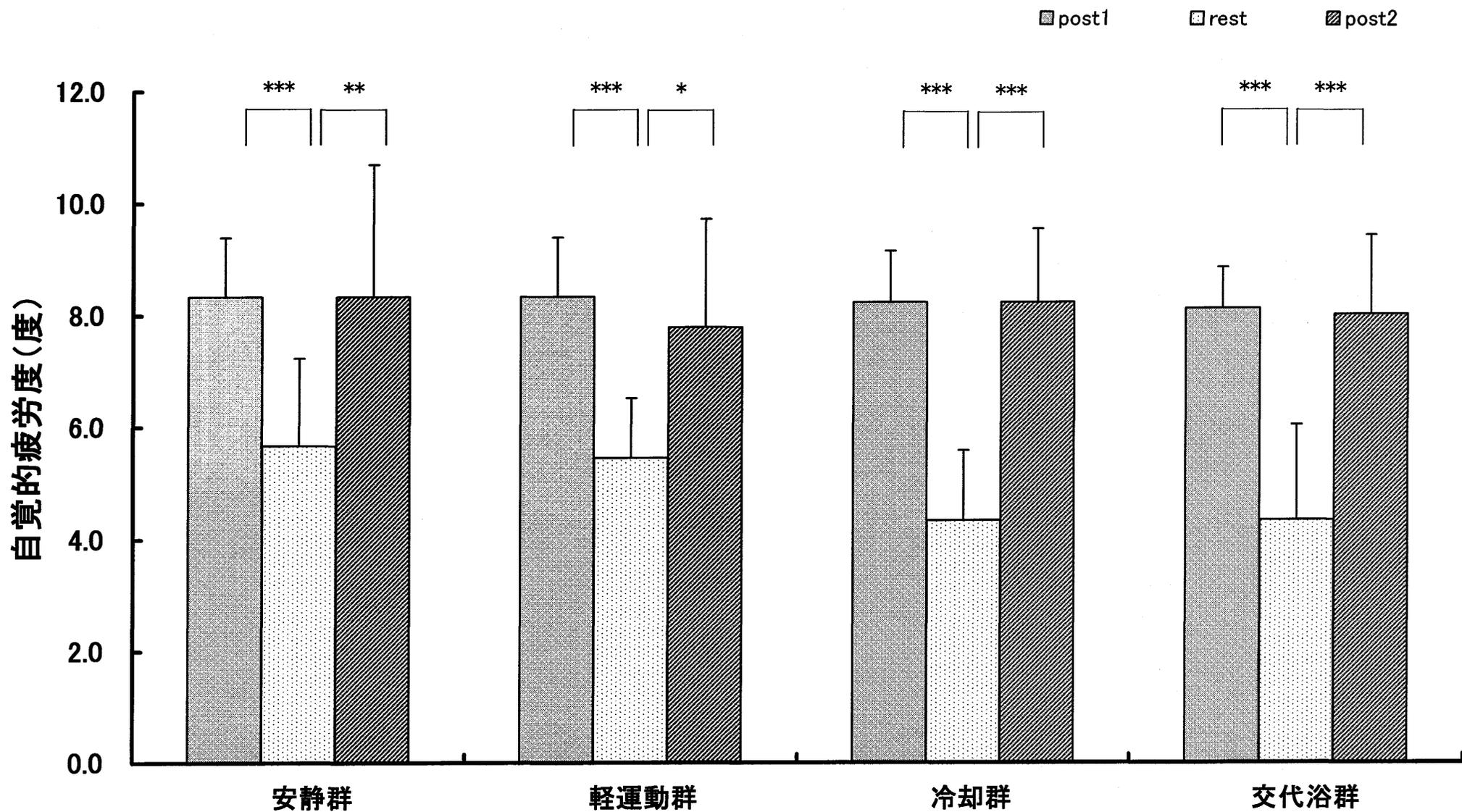


图14. 自覚的疲労度の変化

*... p < 0.05
 **... p < 0.01
 ***... p < 0.001

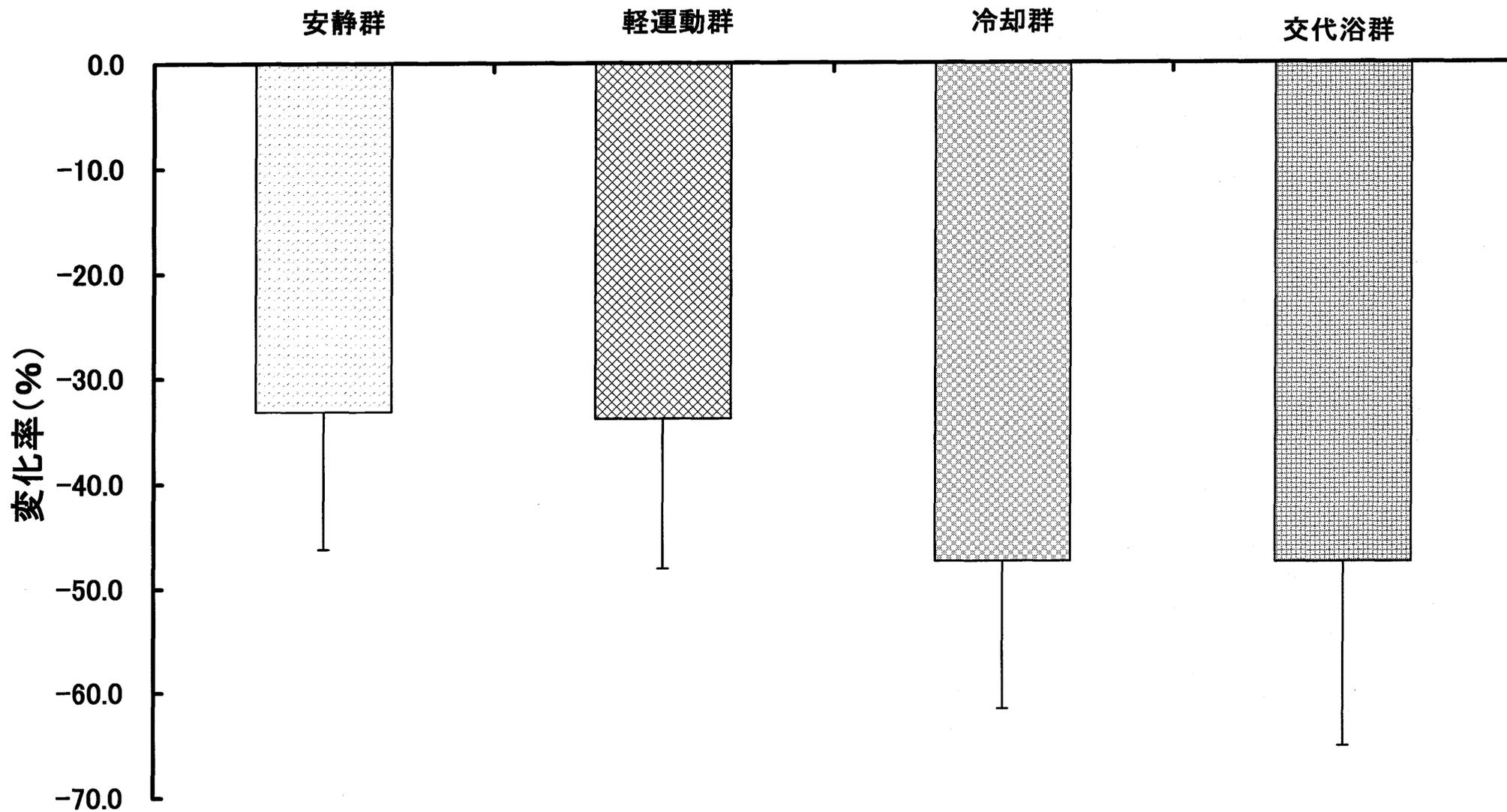


図15. 自覚的疲労度の変化率の比較

平成 16 年 5 月 11 日

被験者のお願い

順天堂大学大学院 2 年 中澤 摩有子
論文指導教官 桜庭 景植

私は、修士論文作成にあたって以下の実験を計画しています。ついては被験者として貴君に協力していただきたくお願い申し上げます。実験計画を理解され、本研究の被験者として御協力いただける場合には、同意書に署名をお願いいたします。なお、何か質問がありましたら、遠慮なくお申し出ください。

題名

短時間に用いる種々の回復手段の効果

実験概要

本研究では、自転車エルゴメーター（パワーマックス-V）に乗り、5 秒間の全力ペダリングを 20 秒間の休息をはさんで 8 セット繰り返します。負荷値は被験者の体重を基準とした相対負荷（体重×0.075kp）を用います。そして回復時間として 10 分間、アイシング、交代浴、軽運動、安静のいずれかの方法で回復を行ないます。アイシングは約 20℃前後の水に両脚が大腿部までつかないように入れます。交代浴はアイシングと同様の水、および約 40℃前後の湯に交互に入ります。軽運動は自転車エルゴメーターに乗り運動強度約 30%でペダリングを行ないます。安静は、椅子座位で安静を保ちます。その後、再び自転車エルゴメーターに乗り、上記と同一の方法で 8 セットの全力ペダリングを行ないます。また本研究のプロトコルに近い研究で、過去に重大な事故があった例はみられておりません。万が一被験者が苦痛に感じた場合には、すぐにでも実験を終了していただいて結構です。

乳酸、筋硬度、脈波測定を運動前、直後 2・4・6 分後、休息後、2 回目の運動後に行い、その変化を比較検討します。乳酸測定については、専門家に依頼し、衛生面に十分配慮し実施いたします。

なお、運動前・中・後の体調チェックを行なうことにより安全には万全を期します。ただし、実験途中で痛み・違和感がある場合には自発的に中止していただいて結構です。

同意書

2004 年 月 日

中澤 摩有子 殿

私は、貴研究の内容を理解し、被験者として協力することに同意します。

氏名 _____ 印 _____

資料2

実施日： 月 日 () 実施時間 : ~

名前 :

<自覚的疲労度> ※運動前を基準として変化を10段階で表してください。
例:変化なし→0 最も疲れた→10

運動終了後	0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10
休息後	0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10
運動終了後	0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10

<施行について>

安静 ・ 軽運動 ・ 冷温療法 ・ 冷却療法について

※今回の施行について何でもいいので気づいたこと、意見等をお書きください。

施行内容について {
 実施時間について {
 その他 {

<筋痛について> ※運動前を基準として変化を5段階で表してください。

- 1: 全く痛くない
- 2: やや痛い
- 3: 痛い
- 4: かなり痛い
- 5: 非常に痛い

	1日後	2日後	3日後	4日後
大腿前面				
大腿後面				
下腿前面				
下腿後面				
その他(部位)				

筋痛を生じやすい部位があれば記入して下さい。

{