

野球投手の血行障害予防に向けた クールダウン手法の開発

筑波大学 小崎 恵生
(共同研究者) 同 森 翔也
同 吉岡 将輝
同 川村 卓
早稲田大学 前田 清司

Development of Cooling-Down Methods for the Prevention of Circulatory Disorders in Baseball Pitchers

by

Keisei Kosakai, Takashi Kawamura
Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
Shoya Mori, Masaki Yoshioka
*Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba*
Seiji Maeda
Faculty of Sport Sciences, Waseda University

ABSTRACT

Among sports injuries caused by pitching motion, preventive measures for circulatory disorders have not been sufficiently established. Therefore, this study aimed to clarify the acute effects of icing performed after pitching on brachial hemodynamics in baseball pitchers. A pitching task consisting of 98 pitches was conducted with twelve university baseball pitchers, and two conditions were set: a control condition without

icing treatment after pitching and an intervention condition with icing treatment. Subjective fatigue, shoulder external/internal rotation muscle strength, and brachial hemodynamic parameters were evaluated before and after pitching. The reactive hyperemia index (RHI) score, an indicator of endothelial function, was calculated to assess one of the brachial hemodynamics. No significant interaction between time and condition was observed for subjective fatigue and shoulder muscle strength. However, a significant interaction was found between the temporal changes in RHI scores and the presence or absence of icing treatment, with lower RHI scores on the following day observed in the condition with icing after pitching. The results of this study suggest the potential impact of icing after pitching on endothelial function. These findings are considered important fundamental insights for investigating cooling-down methods for preventing circulatory disorders in baseball pitchers.

キーワード

野球投手, ピッチング, 血管内皮機能, 上腕血行動態, アイシング

Keyword

Baseball Pitcher, Pitching, Endothelial function, Brachial hemodynamics, Icing

要 旨

投球動作に起因するスポーツ障害の中でも、血行障害の予防策は十分に確立されていない。そこで本研究では、野球投手においてピッチング後に行うアイシングが上腕血行動態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。大学野球投手12名を対象に98球のピッチング課題を実施し、ピッチング後にアイシングを行わない対照条件とアイシングを行う介入条件の2条件を設定した。ピッチングの前後において主観的疲労感、肩関節外旋・内旋筋力、上腕血行動態を評価した。なお、上腕血行動態の評価では、血管内皮機能の指標であるRHI (reactive hyperemia index) スコアを算出した。主観的疲労感と肩関節筋力には、時間と条件の有意な交互作用は認められなかった。一方で、RHIスコアの経時変化とアイシングの有無には有意な交互作用が確認され、ピッチング後にアイシングを行う条件では翌日のRHIスコアが低下し

ていた。本研究で得られた結果より、ピッチング後におけるアイシングの有無が血管内皮機能に影響を及ぼす可能性が示された。この結果は、野球投手の血行障害予防に向けたクールダウン手法を検討する上で重要な基礎的知見であると考えられる。

緒 言

わが国において、野球は幅広い年齢層で親しまれている国民的なスポーツであり、その競技人口は約384万人(20歳以上)と推計されている。その一方で、野球は怪我の発生率が高いスポーツでもあり、特に投球動作に起因するスポーツ障害は、野球に関連する怪我のうち、多くの割合を占めることが報告されている¹⁾。投球動作に起因するスポーツ障害の代表例として、野球肘などの関節障害や持続的なしびれと鋭い痛みを伴う血行障害などが挙げられる。このうち、血行障害については、主観的な症状を軽減する対症療法および保存

療法に頼っているのが現状であり、血行障害の予防に有効な対策法は十分に確立されていない。したがって、野球投手における血行障害を予防する対策法として投球動作（ピッチング）後の適切なクールダウン手法を検討することは重要な課題であると考えられる。

これまでに、ピッチング後に生じる肩関節可動域の低下については、肩関節へのアイシングと軽い肩関節の運動を組み合わせたクールダウンによって抑制されることが明らかにされている²⁾。さらに、最近の研究では、肩関節と肘関節におけるアイシングを長時間行うことによってピッチング後に生じる肩関節内旋筋力の低下が有意に抑制されることも報告されている³⁾。これら一連の研究結果は、ピッチング後のアイシングが肩関節の障害予防や筋力低下の抑制に対しては、一定の効果を有する可能性を示している。

一方、循環生理学的な観点からはアイシングを行うと交感神経系が活性化し、末梢血管抵抗の上昇や血管内皮機能の低下が惹起されることが明らかにされている⁴⁾。末梢血管抵抗の上昇および血管内皮機能の低下は、血行障害の進行に寄与する可能性があることから、ピッチング後におけるアイシングは野球投手の血行障害を予防する上では必ずしも有効ではない可能性が考えられる。しかしながら、ピッチング後における投球腕の上腕血行動態の変化に対して一過性のアイシングが及ぼす急性的な影響については全く明らかにされていない。したがって、ピッチング後のアイシングが血行障害を予防する対策法として適切なクールダウン手法であるか否かは不明である。

そこで本研究では、野球投手におけるピッチングに起因する上腕血行動態の変化を経時的かつ客観的に評価し、ピッチング後に行うアイシングが上腕血行動態（特に血管内皮機能）の変化に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。本研究は、野球投手の血行障害予防に向けた新たなクー

ルダウン手法の開発に必要な基礎的知見の構築に貢献すると考えられる。

1. 研究方法

1. 1 研究対象者

研究対象者は、大学男子野球投手12名（20 ± 1歳）とし、筑波大学硬式野球部員から機縁法を用いて募集した。研究対象者の適格基準は、現在顕著な投球障害がない者、心血管疾患の既往歴がない者、学生教育研究災害傷害保険に加入している者とした。除外基準は、測定の前に水以外の飲食を行った者、実験を完遂できなかった者とした。全ての研究対象者に対して、研究内容に関する説明を行い、研究への参加に同意を得た後に実験を実施した。本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て行われた（課題番号：体021 - 91号）。

1. 2 実験プロトコル

研究対象者には、実験当日の激しい運動と測定前約3時間は水以外の飲食を控えるように指示した。実験はピッチング後にアイシングを行わない対照条件とアイシングを行う介入条件の2条件とし、それぞれの条件をランダムに1週間以上の間隔をあけて実施した（ランダム化クロスオーバー試験）（図1）。アイシングを行う介入条件では、ピッチング後に氷水を入れた氷嚢を用いて肩関節および肘関節周囲のアイシングを20分間介入した。各測定は、ピッチング前（早朝安静時）、ピッチング1日後（早朝安静時）、ピッチング2日後（早朝安静時）にそれぞれ実施した。

1. 3 ピッチング課題

本研究におけるピッチングの球数は98球（14球 × 7セット）とし、セット間の休憩は6分間、各セット開始前の投球練習は5球とした。したがって、本研究におけるピッチング課題は、合計128

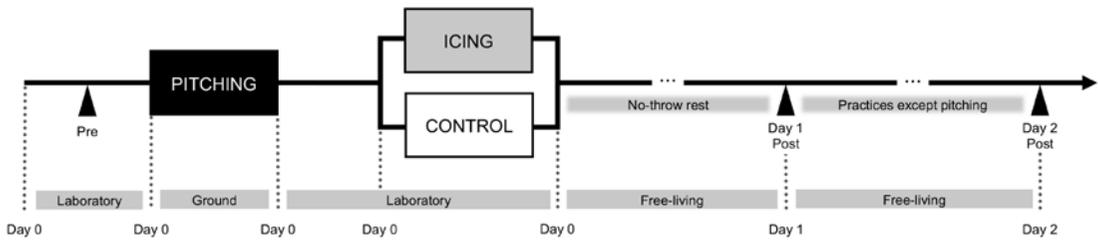


図1 実験プロトコル

球の投球動作で構成された。ピッチングにおける球種はストレートのみで統一し、各セット間におけるキャッチボールは控えるよう指示した。

1. 4 アイシング

本研究におけるアイシングには、氷水を入れた布製の氷嚢（ザムスト社製）を用いた。氷嚢が直接肌にあたる形で肩関節の前後と肘関節の尺骨側の3か所を冷却した。冷却時の姿勢と時間は座位安静で20分間とした。なお、予備検討において、同様の方法で20分間アイシングを実施すると、冷却部の皮膚温が $12.6 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 低下することを確認している。

1. 5 測定項目

1. 5. 1 血管内皮機能

本研究では、反応性充血の原理を活用して非侵襲的に血管内皮機能を評価した。測定には、専用の血管内皮機能測定装置（Endo-PAT2000；Itamar Medical Ltd, Caesarea, Israel）を使用した。仰臥位にて測定された血管内皮機能は、反応性充血指数（RHI：reactive hyperemia index）としてスコア化した。なお、同様の測定装置を用いて算出されたRHIスコアの個体内変動の変動係数は、2時間間隔では $22.6 \pm 3.9\%$ 、1時間間隔で $16.1 \pm 7.8\%$ 、30分間隔で $15.3 \pm 5.3\%$ であることが報告されている⁵⁾。

1. 5. 2 上腕血行動態

超音波画像診断装置（Vivid E95；GE Healthcare

Japan, Tokyo, Japan）を用いて、投球腕の上腕動脈の血管径、血流速度、血流量をそれぞれ評価した。測定の際、研究対象者には椅子に座ってもらい、高さの調節が可能な台に投球腕をリラックスさせた状態でのせてもらった。台の高さは肩と同程度になるように調節した。研究対象者間および測定条件間で超音波画像診断装置の探索子を当てる位置が異ならないように、ピッチング前測定時に上腕の遠位1/3の部分に油性マーカーで印をつけ、ピッチング後の測定時には、その印の円周範囲内に探索子を当てた。超音波画像診断装置に内蔵された解析機能を使用し、Bモード法にて取得した上腕動脈の長軸像の上腕動脈近位壁内膜から遠位壁内膜までの距離を測定して上腕動脈の血管径とした。その後、長軸像を映した状態でカラードプラ法を用いて上腕動脈における平均血流速度を測定した。超音波入射補正角度は一律 60° とし、上腕動脈の長軸像を水平に映した上で、関心領域が動脈の中心に位置するように計測した。カラードプラ法による平均血流速度の測定は連続60秒以上行い、時間平均された値を統計解析で用いた。上腕動脈血流量は、血管径と平均血流速度のデータをもとに以下の式を用いて算出した⁶⁾。

上腕動脈血流量 (ml/分)

$$= (\text{上腕動脈血管径 (cm)} \div 2) \times \text{円周率} \times \text{平均血流速度 (ml/秒)} \times 60$$

1. 5. 3 血圧および心拍数

血圧脈波検査装置（SphygmoCor XCEL TM-2805V；A&D Medical, Japan）を用いて、心拍数お

よび上腕の収縮期および拡張期血圧を測定した。研究対象者の上腕に専用のカフを装着して測定を行った。投球腕は高さの調節が可能な台にリラックスした状態でのせ、台の高さはカフが心臓の高さと同程度になるように調整した。測定は座位安静状態で2回以上行い、その平均値を統計解析で用いた。

1. 5. 4 主観的疲労感

VAS (Visual Analogue Scale) を用いて、研究対象者の投球腕全体の主観的疲労感をスコア化した。10 cmの直線の左端に「全く疲労のない状態」、右端に「想定できる範囲の最大の疲労状態」と書いた測定用紙を用意し、現在の疲労感を10 cmの直線上に×印で記入するよう指示した。記入済みの検査用紙の×印の位置は定規で計測して0.1cm単位で記録した。

1. 5. 5 肩関節筋力

肩関節筋力の測定にはハンドヘルドダイナモメーター (μ Tas; Anima, Tokyo, Japan) を使用した。先行研究3で実施されている手技を参考に、肩関節外旋筋力と肩関節内旋筋力を測定した (n = 11)。測定はそれぞれ2回ずつ実施し、得られた値の最大値を統計解析で用いた。

1. 6 統計処理

研究対象者の特性は、平均値±標準偏差で示した。主観的疲労感、肩関節筋力、上腕血流量およびRHIスコアの測定データは平均値±標準誤差で示した。すべての測定項目は、繰り返しのある2元配置分散分析を用いて解析を行った。その際、時間およびアイシングの主効果と2要因の交互作用の効果について有意確率を算出した。統計学的有意水準は5%未満とした。すべての統計解析において、多重比較の際には有意確率をBonferroni法によって調整した。すべての統計解析にはSPSS version 28 (IBM, Tokyo, Japan) を用いた。

2. 研究結果

図2にピッチング前後における投球腕の主観的疲労感 (VASスコア) の変化量を示した。対照条件および介入条件ともにピッチングの1日後には主観的疲労感が有意に上昇し、ピッチング2日後には低下することが確認された。繰り返しのある2元配置分散分析の結果、時間の主効果は有意であったが、条件の主効果および時間と条件の交互作用は有意ではなかった。

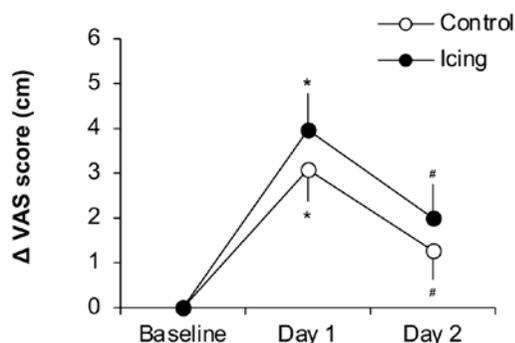


図2 ピッチング前後の主観的疲労感の変化
主効果 (時間): P<0.001, 主効果 (条件): P=0.348, 交互作用 (時間×条件): P=0.469. *P<0.05 (vs. Baseline), #P<0.05 (vs. Day1)

図3にピッチング前後の肩関節筋力の変化率を示した。全体の平均値を確認すると、肩関節外旋筋力 (図3A) および内旋筋力 (図3B) とともにアイシング条件ではピッチング翌日に低下する傾向を示した。一方、対照条件ではピッチング前後で横ばいの推移を示した。しかし、繰り返しのある2元配置分散分析の結果では、時間および条件の主効果および交互作用はいずれも有意ではなかった。

図4に上腕動脈径と血流速度から推定した上腕動脈血流量のピッチング前後における変化率を示した。全体の平均値を確認すると、対照条件ではピッチング翌日に約20%増加した一方で、アイシング条件は横ばいの推移を示した。しかしなが

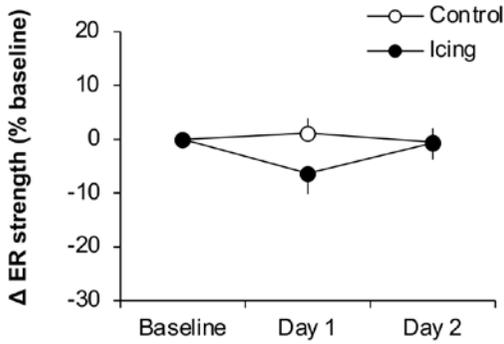


図3A ピッチング前後の肩関節外旋筋力 (ER strength) の変化
主効果 (時間) : P=0.321, 主効果 (条件) : P=0.427, 交互作用 (時間 × 条件) : P=0.275

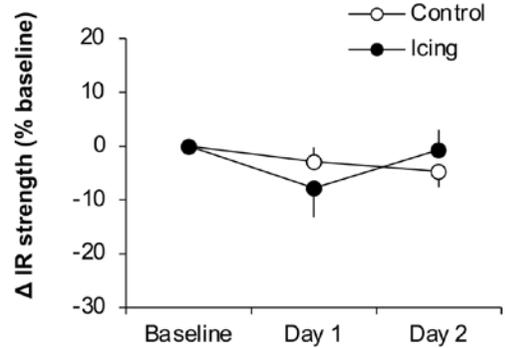


図3B ピッチング前後の肩関節内旋筋力 (IR strength) の変化
主効果 (時間) : P=0.478, 主効果 (条件) : P=0.277, 交互作用 (時間 × 条件) : P=0.607

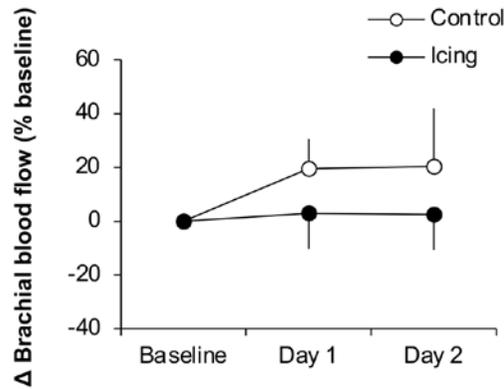


図4 ピッチング前後の上腕血流量の変化
主効果 (時間) : P=0.478, 主効果 (条件) : P=0.277, 交互作用 (時間 × 条件) : P=0.607

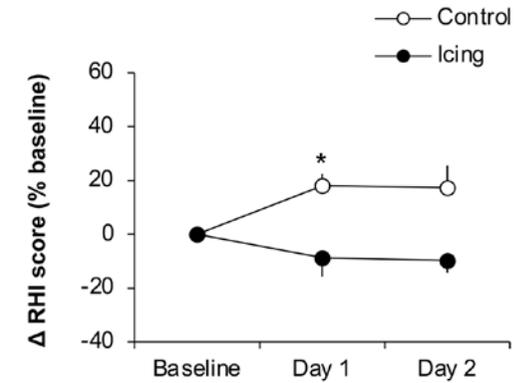


図5 ピッチング前後のRHIスコアの変化
主効果 (時間) : P=0.419, 主効果 (条件) : P=0.016, 交互作用 (時間 × 条件) : P=0.035. *P<0.05 (vs. Baseline)

ら、繰り返しのある2元配置分散分析の結果では、時間および条件の主効果、交互作用のいずれも有意水準には達しなかった。

図5に血管内皮機能の指標であるRHIスコアの変化を示した。全体の平均値を確認すると、対照条件ではピッチング翌日に $18.0 \pm 4.4\%$ 増加した一方で、アイシング条件では $8.8 \pm 6.9\%$ 低下していた。繰り返しのある2元配置分散分析の結果、時間の主効果は確認されなかった一方で、条件の主効果が確認され、対照条件では有意にRHIスコアの変化率が大きいことが認められた。さらに、時間と条件の交互作用も有意であり、ピッチング前後のRHIスコアの変化とアイシングの有無には交互作用があることが

確認された。事後検定の結果、ピッチング前とピッチング1日後のRHIスコアの変化率に有意な差が確認され ($P = 0.012$)、ピッチング2日後にもその差は有意傾向であった ($P = 0.052$)。

表1にピッチング前後の心拍数、平均血圧、上腕収縮期・拡張期血圧・脈圧、上腕動脈径および上腕動脈血流速度を示した。繰り返しのある2元配置分散分析の結果、全ての指標において時間と条件の主効果および交互作用のいずれも有意ではなかった。

表1 ピッチング前後における血行動態の変化

	対照条件			介入条件			有意確率		
	ピッチング 前	ピッチング 1日後	ピッチング 2日後	ピッチング 前	ピッチング 1日後	ピッチング 2日後	時間	条件	時間× 条件
心拍数, bpm	63±9	60±7	61±6	63±8	63±8	61±5	0.30	0.54	0.62
平均血圧, mmHg	87±6	85±8	86±7	87±7	85±6	85±8	0.07	0.75	0.77
上腕収縮期血圧, mmHg	123±7	123±8	123±8	122±8	122±9	119±7	0.25	0.27	0.50
上腕拡張期血圧, mmHg	69±7	66±8	68±7	70±7	67±7	68±9	0.09	0.66	0.95
上腕脈圧, mmHg	54±8	57±6	55±7	52±6	55±11	51±6	0.19	0.24	0.68
上腕動脈径, mm	4.0±0.3	4.0±0.3	4.0±0.3	3.9±0.4	4.0±0.4	4.0±0.3	0.27	0.45	0.52
上腕動脈血流速度, cm/秒	17±7	19±6	19±9	18±8	17±8	16±5	0.87	0.46	0.53
平均値±標準偏差									

3. 考 察

本研究では、大学男子野球投手を対象に、ピッチング後におけるアイシングによるクールダウンがピッチング1日後および2日後の主観的疲労感、肩関節筋力、上腕血行動態（血管内皮機能）に及ぼす影響を検討した。本研究では、先発投手を想定し、98球のピッチング課題を実施した後に、肩関節前後と肘関節の3か所を布製の氷嚢を用いて冷却した。その結果、アイシングの有無に関わらず、主観的疲労感はピッチング翌日に最大値を示し、2日後には低下傾向を示した。一方で、肩関節外旋および内旋筋力の変化率は、アイシングの有無に関わらず有意な差を示さなかった。さらに、上腕動脈の血流量もまた、アイシングの有無による有意な交互作用は確認されなかった。しかしながら、血管内皮機能の指標であるRHIスコアの変化率とアイシングの有無には交互作用があることが確認された。本研究で得られた一連の結果より、ピッチング後におけるアイシングは、主観的疲労感および肩関節筋力の経時変化には影響を及ぼさない一方で、投球腕の血管内皮機能の経時変化には何らかの影響を及ぼす可能性が示された。

Phase Change Materialを応用し、90球程度のピッチング課題後にアイシングを実施した先行研究では、アイシングを行った翌日において、肩関節内旋筋力の低下が有意に抑制されることが

報告されている³⁾。本研究で得られた結果は先行研究の結果とは異なるが、その要因には、1) 冷却時間の違い、2) 冷却温度の違い、3) ピッチング課題のプロトコルの違いが挙げられる。Phase Change Materialによるアイシングは長時間の局部冷却が可能であり、先行研究ではピッチング後に3時間連続で肩関節前後と肘関節のアイシングを行っている。一方で、本研究では氷嚢を用いて同部位を20分間冷却した。氷嚢を用いたアイシングは低コストかつ特別な機材を必要としないため、スポーツ現場で容易に実施できるクールダウン手法の1つであるが、Phase Change Materialを応用したクールダウン手法と比較すると、数時間にわたる長期間の冷却や冷却温度の微調整が難しいと考えられる。我々の実施した予備検討では、氷水を入れた氷嚢による20分間のアイシングにより冷却部の皮膚温度が13℃程度低下することを確認している。Phase Change Materialを用いた先行研究では、皮膚温度の変化を示していないが、冷却開始時のPhase Change Materialの温度設定が15℃であることから、氷嚢に氷水を入れて冷却した本研究よりも冷却温度が高いと考えられる。以上のことから、冷却の温度や時間などの要素によって、アイシングの効果が異なった可能性が考えられる。

一方、本研究および先行研究ともに、ピッチング課題の運動強度を客観的な指標により評価していないことから、単純に研究結果を比較すること

は困難であると考えられる。球速やアームスピードなどのピッチング課題に関連するデータやピッチング時の心拍数を評価することで客観的にピッチング課題の運動強度が評価可能である⁷⁾。客観的にピッチング課題の運動強度を評価することで、他の研究結果との比較検討やピッチング以外の運動との比較検討を可能にし、研究結果のより詳細な解釈が可能になると考えられる。

一般的に、寒冷地では循環器疾患の発症リスクが上昇することが明らかにされており⁸⁾、その生理学的な背景には、慢性的な末梢血管の収縮による動脈圧上昇および慢性的な動脈圧上昇に伴う血管内皮機能の低下が寄与していると推察されている⁹⁾。この推察の一部は、観察研究や実験的研究によっても実証されており⁴⁾、これらのエビデンスから着想を得て、血管内皮機能の観点から野球投手のクールダウン手法の是非を検討した点が本研究の新規的な部分である。本研究では、上腕動脈血流量には有意な変化が認められていない一方で、血管内皮機能の指標であるRHIスコアは、アイシングの翌日に低下することが確認された。この結果は、ピッチング後におけるアイシングが血管内皮機能の一過的な低下に寄与すること示唆するものである。

慢性的な血流量低下による指先の冷えが血行障害の主訴の1つであることに加えて、野球投手の競技特性を踏まえると、特に投球腕の血管内皮機能は投球パフォーマンス維持の観点から重要であると考えられる。その点で、ピッチング後におけるアイシングが血管内皮機能の一過的な低下に寄与している場合、アイシングによるクールダウンは血行障害予防の観点からは、推奨できない可能性が考えられる。しかしながら、本研究で得られたRHIスコアの変化率(-8.8±6.9%)は、先行研究で報告されているRHIスコアの変動係数(16.1~22.6%)⁵⁾の範囲内であった。したがって、本研究で確認されたRHIスコアの低下は、測定誤

差や生理的な変動によって引き起こされた可能性を否定できない。以上のことを踏まえると、本研究から得られた結果のみでは、アイシングによるクールダウン手法の是非について結論づけることは難しいと考えられる。本研究で得られた知見を基盤にした追加実験が必要であり、それらの研究結果が蓄積されることで、血行障害予防の上で最適な野球投手のクールダウン手法が確立されることを期待する。

4. 結 論

大学男子野球投手を対象にした本研究では、ピッチング後に20分間のアイシングを実施することで、翌日における投球腕の血管内皮機能が低下する可能性が示された。しかし、ピッチング後の血管内皮機能の変化は測定誤差や生理的変動の範囲内であった。そのため、ピッチング後のアイシングが血管内皮機能に悪影響を及ぼすか否かを明らかにするためにはさらなる実験が必要である。

謝 辞

本研究は磯村頌吾氏・田邊歩陸氏(筑波大学体育専門学群)をはじめ、多くの筑波大学硬式野球部員の協力を得て行われた。加えて、公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団第44回(2022年度)研究助成金に支援された。ここで深く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Posner M., Cameron K.L., Wolf J.M., Belmont P.J., Jr. Owens B.D., Epidemiology of Major League Baseball injuries., *Am. J. Sports Med.*, **39**, 1676-1680, doi:10.1177/0363546511411700 (2011)
- 2) Yanagisawa O. et al., The effects of various therapeutic measures on shoulder range of motion and cross-sectional areas of rotator cuff muscles after baseball pitching., *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **43**, 356-366 (2003)

- 3) Mullaney M.J. et al., Accelerated Muscle Recovery in Baseball Pitchers Using Phase Change Material Cooling., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **53**, 228-235, doi:10.1249/MSS.0000000000002447 (2021)
- 4) Dyson K.S., Shoemaker J.K. Hughson R.L., Effect of acute sympathetic nervous system activation on flow-mediated dilation of brachial artery., *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology.*, **290**, H1446-1453, doi:10.1152/ajpheart.00771.2005 (2006)
- 5) Liu J., Wang J., Jin Y., Roethig H.J., Unverdorben M., Variability of peripheral arterial tonometry in the measurement of endothelial function in healthy men., *Clin. Cardiol.*, **32**, 700-704, doi:10.1002/clc.20668 (2009)
- 6) Mori S. et al., Acute influences of tennis services on cardiac output and brachial hemodynamics in young male tennis players., *J. Sci. Med. Sport*, doi:10.1016/j.jsams.2022.10.009 (2022)
- 7) Cornell D.J. et al., In-Game Heart Rate Responses Among Professional Baseball Starting Pitchers., *J. Strength Cond. Res.*, **31**, 24-29, doi:10.1519/jsc.0000000000001465 (2017)
- 8) Alahmad B. et al., Associations Between Extreme Temperatures and Cardiovascular Cause-Specific Mortality: Results From 27 Countries., *Circulation*, **147**, 35-46, doi:10.1161/circulationaha.122.061832 (2023)
- 9) Sun Z., Cardiovascular responses to cold exposure., *Front Biosci (Elite Ed)* **2**, 495-503, doi:10.2741/e108 (2010)