

# カカオポリフェノール摂取が Warm-up効果の持続性に影響

吉田 弘法

足利工業大学工学部創生工学科准教授

## 1. はじめに

スポーツ選手は、試合や練習で100%の力を発揮するために、トレーニングのみならず栄養のバランスと量や摂取時間等の食事方法、睡眠をはじめとする休養の取り方、さらにメンタルトレーニング等、様々な方法を駆使して最良のコンディションを構築する努力を重ねている。その中で試合やトレーニングの直前に行くWarm-upは、重要な因子となっている。

### 1) Warm-upの目的

スポーツ選手は、練習や試合で100%の力を発揮するための準備としてWarm-upを行っている。Warm-upの目的は、体温・代謝・筋温の上昇、関節可動域の増大による柔軟性の向上、神経作用の亢進、整形外科的障害の予防、心理的効果などが挙げられる。生理学的には、運動に伴い体温が上昇すると体内の血液循環が促進され、末梢への酸素の供給がスムーズになる。さらに、筋肉の温度が上がると、筋肉の弾力性の向上、筋肉の内部抵抗の軽減により素早い筋肉の収縮および関節の可動域の増大による柔軟性の向上が期待できる。一般的にWarm-upの方法としては、競技種目、気温や湿度など気候状態、年齢等によって違いはあるものの、約30分間をかけて実施する。このWarm-upの効果に関する研究は、Asmussen Eらが「ウォーミングアップの時間と筋温、直腸温および作業所要時間（100m疾走時の計時に相当）」（1945）により報告されている。

図1は、Asmussen Eらの報告を改変したもので、約15分間（A）のWarm-upで筋温は約39℃に達して、約30分間（B）で深部体温（直腸温）は約38℃に達した。100m疾走時に最短時間の約12.4

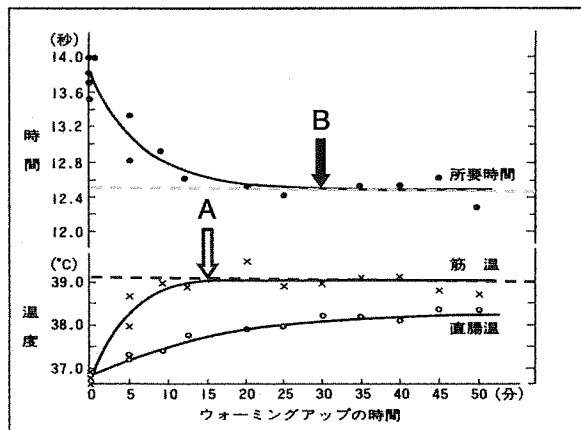


図1 ウォーミングアップの時間と筋温、直腸温および作業所要時間（100m疾走時の計時に相当）  
(Asmussen E et al : Acta Physiol Scand 10 : 1-22, 1945)

秒を記録するまでのWarm-upの時間は約30分間 (B) を要することを検証したものである。また、Warm-up効果として重要視されている柔軟性については、Akutsuがウォーミングアップによる柔軟性の変化について報告している。図2では、Warm-upによる柔軟性の効果は、30分ほど経過しても持続することが示されている。

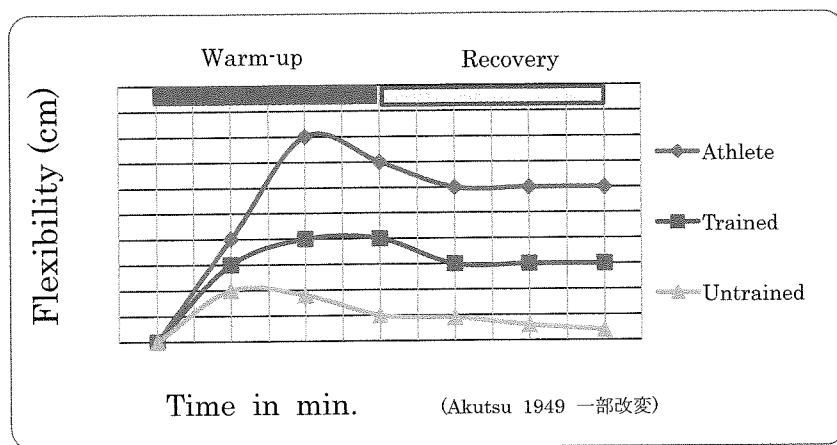


図2 ウォームアップによる柔軟性の変化

以上のことから、スポーツ活動を行う前に行うWarm-upの重要性が確認できる。

## 2) Warm-up効果の持続性に影響を及ぼす因子

Warm-up効果の持続性に影響を及ぼす因子としては、以下の通りである。

- ①気候 (気温, 湿度, 気圧, 風, 雨, 雪など)
- ②休養 (睡眠不足)
- ③食事 (空腹や脱水状態など)
- ④精神状態 (過剰なストレスなど)
- ⑤身体的な疲労
- ⑥その他 (衣服の素材や種類など)

スポーツ選手は、以上の要因を考慮した上でWarm-upの効果を持続させ、最良のパフォーマンスをつくり出す努力を行っている。

## 3) 研究に至った経緯

集団で行うチームスポーツでは、Warm-up直後から試合に控え選手として交代するまでベンチや控え選手コーナーで待機している。試合前に行うWarm-upの効果は、時間経過とともに消失する。特に気温の低い時期には、身体を中心の循環を高め、体温の放散を防ぐために抹消の血液循環を低下させる。このことは、皮膚の循環を低下させるばかりか関節軟部組織や周囲筋の循環機能の低下を早める原因となる。このような低温環境下では、Warm-up効果の低下を防ぐために保温性の高い形状や素材のウェアの着用して対処をしている。しかし、Warm-up効果が徐々に低下する中で、試合の状況により急な出場機会を得た選手は、最良のコンディションでのパフォーマンスを発揮することができないばかりか、怪我の発生につながる可能性もある。

この様な状況を克服するために、摂取することで代謝を亢進させ抹消の血液循環を促進することができる食品成分があることが報告されている。特に登山やトレッキングの際に多くの方が持参するチョコレートやココアに含まれるカカオポリフェノール（以下CPと略す）の生理学的効果に興味を抱いた。CPの生理学的効果に関する研究報告には、①活性酸素消去能や免疫賦活作用などの効果（滝沢，2001）。②ココアの冷え症改善効果（南雲，2003）。③ココアの筋損傷改善促進効果（進藤，2005）。④CPの抗動脈硬化作用（瀬山，1998）（越阪部，2006）。⑤ココアによるヒト体表温の冷え改善効果（灘本，2008）。⑥ココア摂取によるヒト体表温の上昇作用や維持作用（有山ら，2009）などがある。これらの研究報告からもCPは、循環機能の向上に関わりの深い食品成分であることが確認されている。また共同研究者の丸田ら（森永製菓株式会社）による実験的研究では、運動前にCPを摂取した場合に、運動時及び運動終了後約1時間の深部体温の上昇がみられた。

以上のことからCPの摂取後に運動によるWarm-upを行うことで、Warm-upの効果を持続することが可能であれば、スポーツ活動時のコンディションづくりに有効な一方法と成るため臨床実験で検証することが必要と考えた。

## 2. 実験方法

スポーツ選手は、CPの摂取後にWarm-upを実施した場合に、その後どの程度Warm-upの効果が持続するのかを生理機能と運動機能の変化から検証する。

### 1) 研究に先立って

#### ①研究内容（臨床実験的研究）に関する倫理委員会の承認

この臨床研究（実験）は、足利工業大学工学部創生工学科生命システム学系臨床研究倫理委員会の承認を得て実施した。

#### ②被験者は、インフォームド・コンセントを得た男子大学生5名。

各被験者には、予め研究および臨床実験の内容を解説し理解を得てから実験協力の承諾（研究協力承諾書に同意。未成年者は保護者が同意。）を得た。

### 2) 実験方法

#### ①実験環境（気候条件設定）

実験環境の安定化を図るために人工気候室内にて実施。

※人工気候室内の温度・湿度は、人工気候室内に設置された室温計・湿度計の表示を確認することと、おんどとり（RTR-72,T&D社製）2台を被験者の椅子の高さと机の高さに設置して、8:00~12:00まで1分間隔で記録した。

#### ②設定条件

- a) 気温摂氏26℃湿度40%
- b) 気温摂氏20℃湿度40%
- c) 気温摂氏15℃湿度40%

※被験者は、実験環境条件に順応するために実験開始30分前に入室。

#### ③被験者

被験者は、健康な男子大学生5名(年齢 $20.6 \pm 1.14$ 才)で、スポーツ（テニス）を週3~5日実施し

ている。予め5名の候補者には、精神的健康度と身体組成および体力レベルについて予備調査を実施した。

#### ※被験者の条件

- 精神的健康度は、CMI健康調査票にて良好（領域I）である。
- 身体組成は、体脂肪率が10%以上20%未満の標準的な体格である。
- 体力要素は、自転車エルゴメータによる体力測定の結果を基に75%HRmax（平均心拍数 $140 \pm 10$ 拍）で20分間の駆動が可能である。
- その他は、疾病やケガ等の無い健康状態が良好であることを確認した者である。

尚、被験者には実験に順応させるための処置として、実験開始1週間前から起床時刻を7:00、就床時刻を23:00~24:00に設定して協力を得て概日リズムの安定性を図った。

#### ④身体組成の計測

- 身長（cm）：実験期間の前後に記録。
- 体重（kg）体脂肪率（%）：実験期間の前後1日と実験日は、人工気候室に入室直後と退室前に測定。

#### ⑤深部体温および体表面温度と筋硬度の測定

- 深部体温は、グラム社製携帯用長時間体温ロガーKMC-604で夜間入浴後から実験終了時刻までの直腸温度を1分間隔で記録。
- 体表面温度（皮膚温）は、アビオニクス社製赤外線カメラTVS-200を用い、9:00~12:00まで30分毎に下腿の前面と後面の画像を記録し、記録された赤外線画像から前脛骨筋（筋腹部）と下腿三頭筋（腓腹筋内側部）の同一部分の表面温度を記録した。

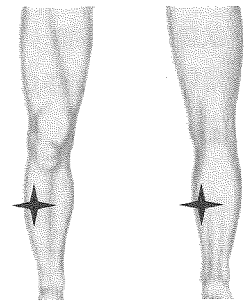


図3 皮膚温の記録部位

#### ⑥筋硬度測定

筋硬度測定は、トライオール社製NeutoneTDM-NA1（DX）を用い、腓腹筋内側部の筋硬度を測定した。被験者は左右の足を肩幅にした立位姿勢で静止状態時と、つま先立ち立位（腓腹筋最大収縮時）での筋硬度を記録した。

この記録をもとに筋機能の評価として用いられている安静時と収縮時の筋硬度の差を求めた。

#### ⑦主観的体感（温感・冷感）指標

被験者は、人工気候室内で暴露されている時間帯（8:30~12:10）に主観的体感指標を5段階（暑い・やや暑い・快適・やや寒い・寒い）で評価し、30分毎に記録した。

#### ⑧試料サプリメント

サプリメント試料は、CP飲料、CP+ショウガ飲料、ブドウ糖飲料の3種類を飲用した。各被験者には、どの日にどの飲料を摂取するかを知らせずにランダムに飲用させた。

#### ⑨身体機能測定

##### a) 柔軟性測定

柔軟性は、大腿部後面から腰背部の柔軟性の指標となる長座体前屈（cm）を測定した。測定には、竹井機器社製デジタル長座体前屈計（T.K.K.5112）を用い、2回測定して最大値を記録した。

#### b) 筋力測定

筋力は、下肢の筋肉への影響を避けるために握力を測定した。測定には、竹井機器社製デジタル握力計 (T.K.K.5401) を用い、利き腕で2回測定して最大値を記録した。

#### c) 瞬発力測定

瞬発力は、垂直跳び (cm) を測定した。測定には、竹井機器社製デジタル垂直跳び測定器ジャンプ-MD (T.K.K.5406) を用い、膝関節を90度屈曲した姿勢からのジャンプ動作を実施して、2回の最大値を記録した。

#### d) パフォーマンス測定

パフォーマンス測定は、テニスラケットを用いのフォアハンド時のスイングスピードを測定した。測定には、ミズノ社製スピードガン (22M-1040) を用い、テニスラケット (ガット) の中央に円形のガムテープを貼り、3回のスイング時のスピード (最大値) を記録した。

以上の身体機能測定は、9:00~12:00の間に30分毎に記録した。

#### ⑩統計処理

試験飲料摂取前・後の両群の体表温、身体機能測定等の平均変化値の比較は、対のあるt検定を用いた。危険率0.05未満を有意水準として用いた。

#### ⑪実験の流れ

表1 実験の流れ

7:30	朝食 ウイダーインゼリー 2個 水および麦茶摂取
8:00	人工気候室(電源ON 条件設定)
8:30	人工気候室(条件設定確認)
8:45	被験者入室(体温計の確認と皮膚温センサー装着) 身体測定(体重、体脂肪、筋硬度)、体力測定(柔軟性、筋力、瞬発力)パフォーマンステスト
9:00	身体測定(筋硬度)、体力測定(柔軟性、筋力、瞬発力)パフォーマンステスト
9:30	サプリメント摂取 身体測定(筋硬度)、体力測定(柔軟性、筋力、瞬発力)パフォーマンステスト
10:00	ウォーミングアップ(ストレッチ、強度自転車駆動:20分間PWC75%HRmax+レジスタンストレーニング)
10:30	身体測定(筋硬度)、体力測定(柔軟性、筋力、瞬発力)パフォーマンステスト
11:00	身体測定(筋硬度)、体力測定(柔軟性、筋力、瞬発力)パフォーマンステスト
11:30	身体測定(筋硬度)、体力測定(柔軟性、筋力、瞬発力)パフォーマンステスト
12:00	身体測定(体重、筋硬度)、体力測定(柔軟性、筋力、瞬発力)パフォーマンステスト
12:10	測定終了 測定器を外す。
12:30	退室、昼食
※午後は、2~3時間程度のトレーニング(テニス)。夕食は19:00~21:00の間に摂取し、入浴後携帯型体温測定器を装着、24:00前に就寝。	

### 3. 結果

#### 1) 各条件下での深部体温の変化

各気候の条件下での深部体温の変化では、Warm-up後に上昇傾向は見られるものの、各飲料水の摂取前を基準値として変化率を比較したが、有意差は認められなかった。

2) 各条件下での下腿部（腓腹筋内側部）の皮膚表面温度の変化

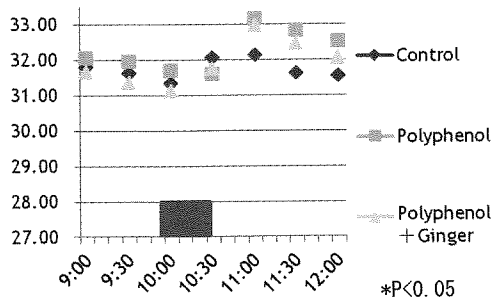


図 5-1 26°C 40%の環境条件下での皮膚温度の変化

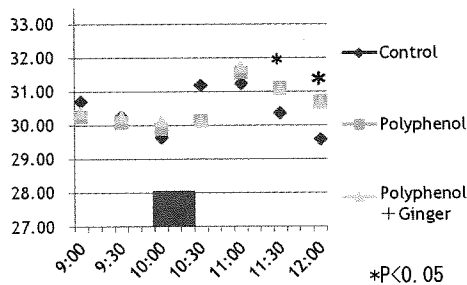


図 5-2 20°C 40%の環境条件下での皮膚温度の変化

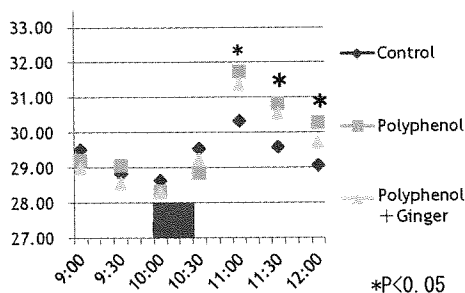


図 5-3 15°C 40%の環境条件下での皮膚温度の変化

※図中の■印は、Warm-upを実施している時間帯

下腿部の体表温度（皮膚温）の変化は、全ての条件でWarm-up後に上昇し、その後徐々に低下傾向を示した。Control条件とCP摂取条件のWarm-up終了から90分間の体表温度の変化を比較した結果は、全ての気候条件下でControl条件に比べCP摂取条件が有意（ $P < 0.05$ ）に高い値を示した。

3) 各条件下での筋硬度（平均値）の変化

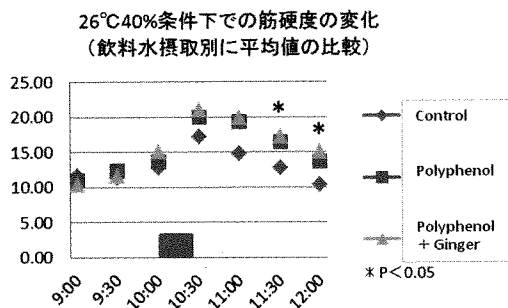


図6-1 26°C 40%の環境条件下での筋硬度の変化

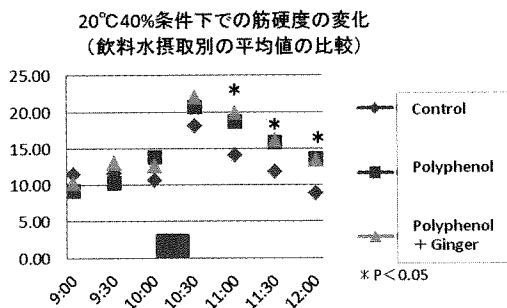
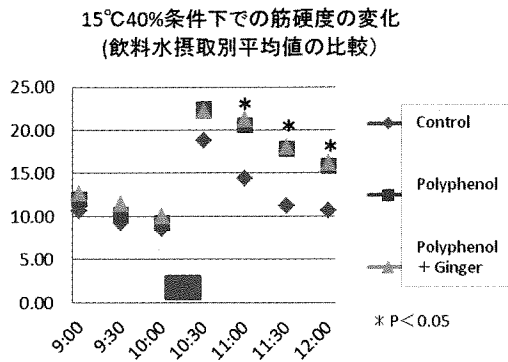


図6-2 20°C 40%の環境条件下での筋硬度の変化

※図中の■印は、Warm-upを実施している時間帯



※図中の■印は、Warm-upを実施している時間帯

図 6-3 15°C40%の環境条件下での筋硬度の変化

下腿三頭筋の筋硬度の変化は、Warm-up直後から上昇し、その後徐々に低下傾向を示した。Control条件とCP摂取条件の筋硬度は、どの条件でもWarm-up直後に高い値を示したものの、その後Control条件に比べCP摂取条件が緩やかな低下傾向を示した。さらにWarm-up終了から90分後の筋硬度では、CP摂取条件がControl条件に比べ有意 ( $p < 0.05$ ) に高い値を示した。

4) 各条件下での筋力 (平均値) の変化

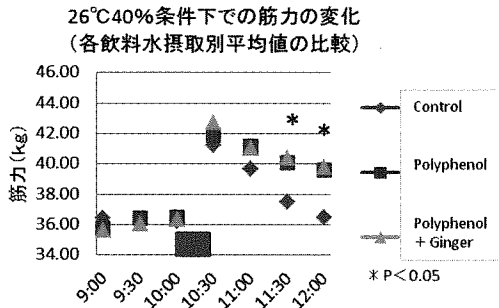


図7-1 26°C40%の環境条件下での筋力の変化

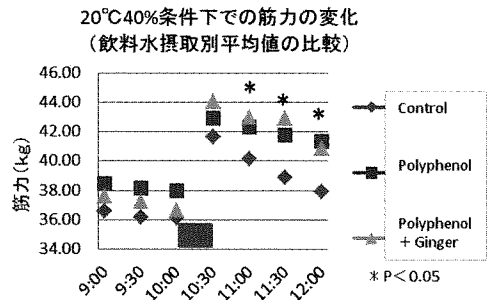
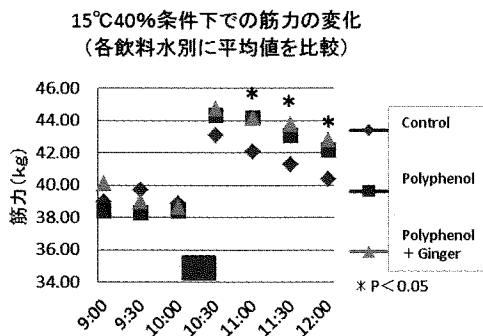


図7-2 20°C40%の環境条件下での筋力の変化



※図中の■印は、Warm-upを実施している時間帯

図7-3 15°C40%の環境条件下での筋力の変化

筋力（握力）の変化では、Warm-up直後から上昇し、その後徐々に低下傾向を示した。Control群とCP摂取群の筋力を比較してみると、両者ともWarm-up直後で高い値を示したものの、その後はControl条件よりもCP摂取条件が緩やかな低下傾向を示した。さらにWarm-up終了から90分後の筋力では、CP摂取条件がControl条件に比べ有意（ $p < 0.05$ ）に高い値を示した。

#### 5) 各条件下での柔軟性（平均値）の変化

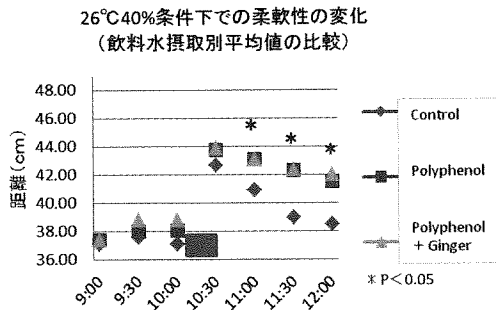


図8-1 26°C40%の環境条件下での柔軟性の変化

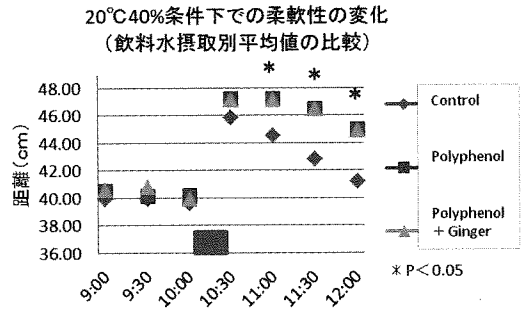


図8-2 20°C40%の環境条件下での柔軟性の変化

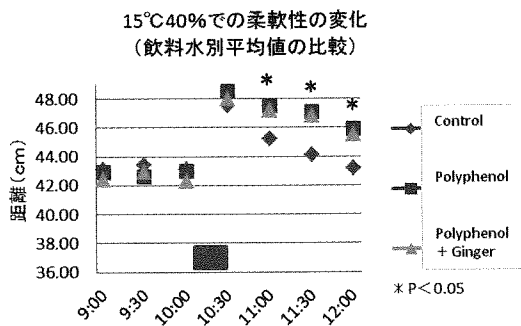


図8-3 15°C40%の環境条件下での柔軟性の変化

※図中の■印は、Warm-upを実施している時間帯

Warm-up後の柔軟性の変化では、Warm-up直後から上昇し、その後徐々に低下傾向を示した。Control条件とCP摂取条件の柔軟性を比較では、両者ともWarm-up直後に高い値を示したものの、その後の変化ではControl条件よりもCP摂取条件で緩やかな低下傾向を示した。さらにWarm-up終了から90分間の柔軟性では、CP摂取条件がControl条件よりも有意（ $p < 0.05$ ）に高い値を示した。

#### 6) 各条件下での瞬発力（平均値）の変化

Warm-up後の瞬発力の変化では、全ての気候条件でWarm-up直後から上昇し、その後徐々に低下傾向を示した。Control条件とCP摂取条件の瞬発力の比較では、両者ともWarm-up直後に高い値を示したものの、その後にControl条件よりもCP摂取条件で緩やかな低下傾向を示した。さらにWarm-up終了から90分間の瞬発力の変化ではCP摂取条件で、Control条件よりも有意（ $p < 0.05$ ）に高い値を示した。



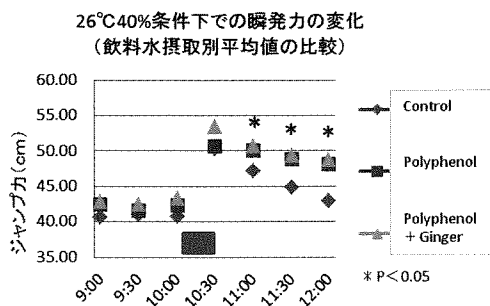


図9-1 26°C40%の環境条件下での瞬発力の変化

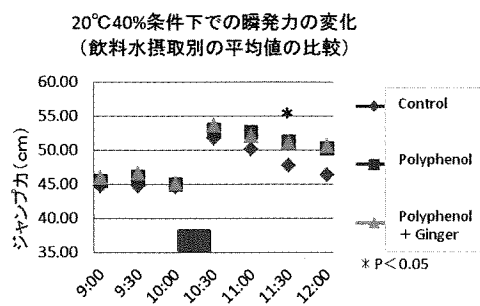


図9-2 20°C40%の環境条件下での瞬発力の変化

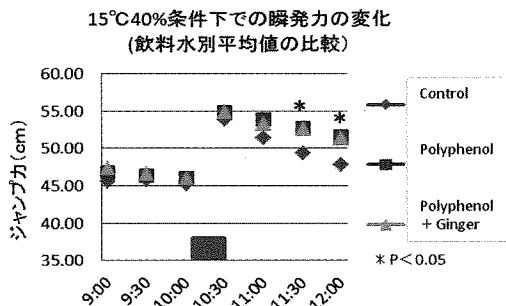


図9-3 15°C40%の環境条件下での瞬発力の変化

※図中の■印は、Warm-upを実施している時間帯

### 7) 各条件下でのパフォーマンステスト (PT) の変化

Warm-up後のパフォーマンステスト (テニスラケットのフォアハンドでのスイングスピード) の変化では、全ての気候条件でWarm-up直後から上昇し、その後徐々に低下傾向を示した。Control条件とCP摂取条件の比較では、両者ともWarm-up直後に高い値を示したものの、その後にControl条件よりもCP摂取条件で緩やかな低下傾向を示した。さらにWarm-up終了から90分間の変化では、Control条件よりもCP摂取条件で有意 ( $p < 0.05$ ) に高い値を示した。

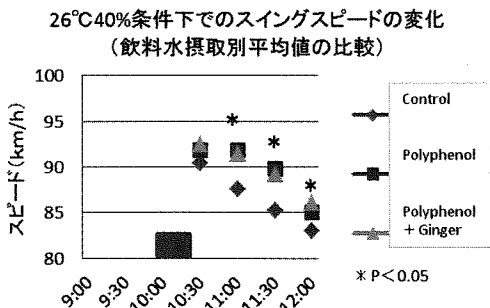


図10-1 26°C40%の環境条件下でのPTの変化

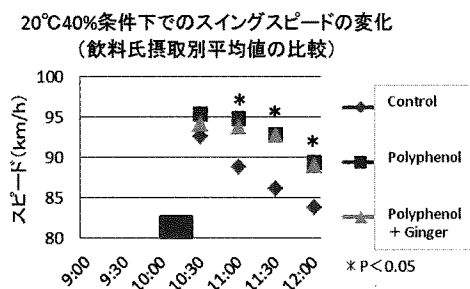
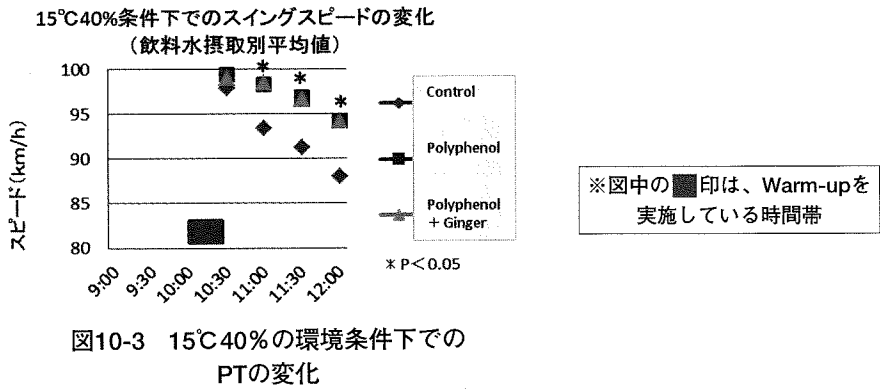


図10-2 20°C40%の環境条件下でのPTの変化

※図中の■印は、Warm-upを実施している時間帯



8) 各条件下での時間経過に伴う主観的温冷感覚 (平均値) の変化

主観的温冷感覚の指標				
5	4	3	2	1
暑い	やや暑い	快適	やや寒い	寒い

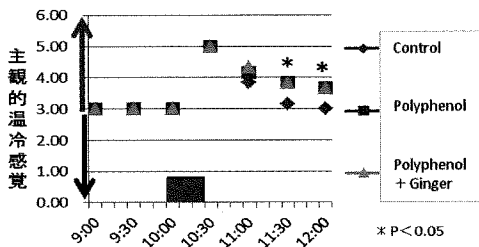


図11-1 26°C40%の環境条件下での  
主観的温冷感覚の変化

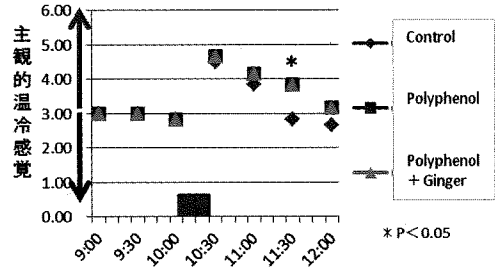


図11-2 20°C40%の環境条件下での  
主観的温冷感覚の変化

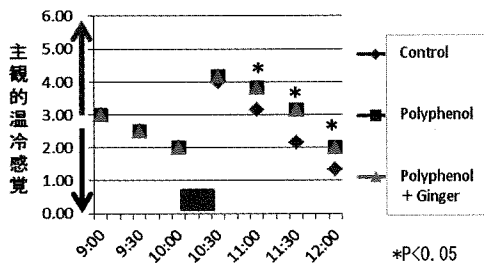


図11-3 15°C40%の環境条件下での  
主観的温冷感覚の変化

各条件下での主観的温冷感覚は、気温が低いほどControl条件と比較して他の条件で有意 (p < 0.05) に高い値を示した。

4. 考察

深部体温の変化では、Warm-up前にCP系飲料水を摂取することで運動負荷による深部体温の上

昇作用との相乗効果により、Control条件に比べて高い値を示したものの有意差は得られなかった。下腿部の体表温度では、Warm-up前にCP系飲料水を摂取した条件下で、Control条件に比べて体表温の低下が緩やかであり、Warm-up効果の持続性が確認された。これは有山らの報告した「ココア摂取によるヒト体表温の上昇作用や維持作用」の結果と一致するものである。筋肉の血液循環動態と関わり深い筋硬度や身体機能の指標である筋力、柔軟性、瞬発力等の体力評価とパフォーマンステストにおいて、Warm-up前にCP系飲料水を摂取した条件下で、Control条件に比べてWarm-upの効果が持続されることが確認された。

以上の結果から、スポーツ活動時にはWarm-up前のCP系飲料水の摂取が、Warm-upの効果を持続させる要因となる。このことは、低温環境下のスポーツ活動時に運動機能を維持する要因となり、スポーツ傷害の予防等としても有効な手段として期待できる。

#### 参考文献

- 1) 大澤俊彦, チョコレート・ココアに含まれるポリフェノール類の抗酸化作用について, 第1回チョコレートココア国際栄養シンポジウム講演集, pp.8-13 (1995)
- 2) 近藤和雄, カカオ豆に含まれるポリフェノールの動脈硬化予防, 第2回チョコレートココア国際栄養シンポジウム講演集, pp.56-59 (1996)
- 3) 瀬山義幸, カカオポリフェノールの抗動脈硬化作用, 第3回チョコレートココア国際栄養シンポジウム講演集, pp.46-50 (1997)
- 4) 井口浩一, カカオマスの創傷治癒促進効果, 第6回チョコレートココア国際栄養シンポジウム講演集, pp.13-17 (2000)
- 5) 南雲久美子, ココアの冷え性改善効果, 第8回チョコレートココア国際栄養シンポジウム講演集, pp.18-23 (2003)
- 6) 進藤宗洋, ココアの筋損傷改善促進効果, 第10回チョコレートココア国際栄養シンポジウム講演集, pp.13-17 (2005)
- 7) 灘本知憲, ココアによるヒト体表温の冷え改善効果, 第13回チョコレートココア国際栄養シンポジウム講演集, pp.15-21 (2008)
- 8) 有山ら, ココア摂取がヒト体表温に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, No.56・12, pp.628-638 (2009)