



|            |   |
|------------|---|
| Title      | カフェイン摂取が遅発性筋肉痛及び筋硬度に及ぼす影響   |
| Author(s)  | 村田, 芳久; 齋藤, 健   |
| Citation   | 北海道教育大学紀要. 自然科学編, 66(1): 19-28  |
| Issue Date | 2015-08   |
| URL        | <a href="http://s-ir.sap.hokkyodai.ac.jp/dspace/handle/123456789/7833">http://s-ir.sap.hokkyodai.ac.jp/dspace/handle/123456789/7833</a> |
| Rights     |   |

## カフェイン摂取が遅発性筋肉痛及び筋硬度に及ぼす影響

村田 芳久・齋藤 健

北海道教育大学旭川校保健体育研究室

### Effect of caffeine on delayed-onset muscle soreness and muscle stiffness

MURATA Yoshihisa and SAITOH Takeru

Department of Health and Physical Education, Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education, Asahikawa 070-8621

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the effect of caffeine on delayed onset muscle soreness (DOMS) induced by repeated bouts of eccentric exercise. The subjects performed seven sets of 15 eccentric arm-curl exercises with a non-dominant side. A dumbbell for the exercise set at individual 50% one repetition maximum. This experiment used a double-blind test. Seven healthy male students ingested caffeine ( $6\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  body weight) or placebo 24 hours after the eccentric exercises. Just before caffeine ingestion, and after 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 and 4.0 hours, we measured heart rate, blood pressure, muscle stiffness and visual analog scale (VAS) related to DOMS. Systolic blood pressure was significantly ( $p<0.05$ ) increased 2.5h after caffeine ingestion. Muscle stiffness of the brachial biceps tended to be lower 1.5 and 2.0h after caffeine ingestion. The levels of VAS after caffeine ingestion in the arm-flexed condition were significantly lower than in the placebo condition at 2.5h ( $p<0.05$ ). When acupuncture was applied to the brachial biceps, levels of VAS also significantly ( $p<0.05$ ) decreased to 3.5h from 1.5h after caffeine ingestion. These results suggest that caffeine is temporarily effective in relaxation of DOMS after eccentric exercise.

#### 1. 緒言

遅発性筋肉痛 (Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS) は、不慣れな伸張性動作 (エクセントリック運動) を伴う筋運動や高強度あるいは高頻度の激運動を行うと、運動後数時間～24時間程度に特

異的に発現する (Clarkson et al., 1992; Cleak and Eston, 1992; Newham et al., 1998)。DOMSが発生した筋は、ステイフネス (硬さ) が増加し、痛みへの感受性の増加や関節可動域の減少がみられることが報告されている (Jones et al., 1987; Ebbeling and Clarkson, 1989)。

DOMSの原因として、筋繊維とその周りの結合組織の損傷が引きがねとなっていること (Armstrong, 1984), また、その回復過程において筋損傷後の炎症が原因で内因性発痛物質であるアデノシンが放出し痛覚受容体を興奮させること、さらに、炎症反応に伴う血管の拡張により血管壁が引き伸ばされることにより引き起こされることが推察されている (Maridakis et al., 2007)。また、Chen et al. (2003) は、エクセントリック運動4～8時間後のヒト骨格筋において、アデノシンレセプター (A1) の遺伝子発現が約6倍増加することを報告している。これらのことから、DOMSの発痛メカニズムにはアデノシンが関与していると考えられる。体内に大量に存在するアデノシンはプリンP1受容体を介して血管拡張をはじめとする種々な生理活性を発揮する (Hayasida et al., 2005)。P1受容体は、さらに4つのサブタイプ (A1, A2a, A2bおよびA3) に細分される。痛み伝達神経系への影響において、Sawynok (1998) は、アデノシンはP1受容体に作用し、末梢神経ではA1受容体を介して抗侵害作用を発揮するが、A2a及びA2b受容体を介した場合は、疼痛誘発作用を発揮することを報告している。

一方、Lindskog et al. (2002) はアデノシンとカフェインの構造は酷似し、カフェインはアデノシン受容体 (A1およびA2a) に対してアデノシンと同等の結合親和性を持ち、それらの受容体の作用を阻害することを報告している。Maridakis et al. (2007) は、運動習慣のない大学生女子を対象にカフェイン摂取がスクワット運動による大腿四頭筋のDOMSを緩和することを報告し、カフェインがアデノシンA2a受容体の拮抗剤として働くことにより、アデノシン受容体から発する痛みの信号伝達を軽減する可能性を示唆している。コーヒーや緑茶など汎用性の高い飲料に含まれるカフェインに、DOMSを軽減する薬理効果があるという報告は、非常に興味深いと考える。しかしながら、DOMSへのカフェイン摂取効果に関する他の報告は認められない。

本研究は、Maridakis et al. (2007) の研究成果を踏まえて、運動習慣のある大学生男子を対象者に、被検筋を上腕二頭筋として、エクセントリック運動により発生するDOMS に対するカフェイン摂取の痛み緩和効果の持続時間およびDOMSと関連性があると考えられる筋硬度に対するカフェイン摂取の影響を検討することを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1 被験者

コーヒーやお茶類など、カフェイン含有飲料摂取の習慣性がなく、運動部に所属している健全な男子大学生7名を本研究の対象とした。被験者の身体的特徴はTable 1に示した。表中の体重および体脂肪率は、体組成計 (オムロン社製, HBF-352V) により測定した。実験はヘルシンキ宣言の精神に則り実施され、被験者に本研究の趣旨、方法および安全配慮について十分な説明を行い、書面による同意を得た。なお、被験者には実験前日から体調管理に努めること、激しい運動を控えること、アルコール含有飲料やカフェイン含有飲料を摂取しないこと、7～8時間の睡眠時間をとること、また、2回実施された実験当日の食事内容を同一とした。

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

| Variables                | N=7         |
|--------------------------|-------------|
| Age (years)              | 20.2 ± 0.4  |
| Height (cm)              | 174.4 ± 1.5 |
| Body weight (kg)         | 71.0 ± 2.1  |
| Body fat (%)             | 17.7 ± 1.2  |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | 23.5 ± 0.7  |
| Resting SBP (mmHg)       | 118.3 ± 2.9 |
| Resting DBP (mmHg)       | 65.6 ± 2.5  |
| Resting HR (mmHg)        | 68.4 ± 2.7  |
| Maximum weight (kg)      | 16.0 ± 0.5  |

All values are presented mean ± SE. BMI; body mass index SBP; systolic blood pressure, DBP; diastolic blood pressure, HR; heart rate.

## 2.2 実験の概要

本研究の実験デザインをFig.1に示した。本実験は、ダブルブラインド試験のクロスオーバー法を用いて、カフェイン摂取条件またはプラセボ摂取条件の2回にわたって実施した。被験者は挙上最大重量の50%のダンベルを用い、非利き腕による15回を1セットとして合計7セットの肘伸展運動を行い、運動後24時間経過した時点で試料（体重あたり6mgのカフェインまたはプラセボ）を摂取した。心拍数、血圧、筋硬度（上腕二頭筋）および主観的筋肉痛の測定は、試料摂取直前（0時間）、摂取後0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5および4.0時間の計9時点で行った。なお、2回目の実験は、1回目から1ヶ月以上の間隔をあけて行った。すべての実験は室温 $23.8 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $53.9 \pm 0.8\%$ の環境下で行った。

## 2.3 運動プログラム

実験に先立ち、被験者の非利き腕において、上腕屈筋群の屈曲運動での挙上最大重量を測定した。挙上最大重量は、座位姿勢で肘伸展位（肘関

節角度：約 $170 \sim 180^{\circ}$ ）から肘屈曲位（肘関節角度：約 $50 \sim 60^{\circ}$ ）まで、挙げられるダンベル重量の最大値とし、実験日の2週間前までに測定した。

本研究で用いた運動プログラムは、李・佐藤（2009）の方法を参考に作成した。すなわち、被験者は、座位姿勢で非利き腕の上腕屈筋群のエクセントリック運動を実施した。まず、挙上最大重量の50%に相当する重量のダンベルを肘屈曲位（肘関節角度：約 $50 \sim 60^{\circ}$ ）から肘伸展位（肘関節角度：約 $170 \sim 180^{\circ}$ ）まで5秒かけてダンベルを降ろす動作を行った。次に、験者が被験者の肘が伸展した時にダンベルを持ち、被験者が無負荷な状態で腕を肘屈曲位に戻す補助を行った。この一連の動作を10秒に1回のペースで15回行うことを1セットとし、セット間に4分の休憩をはさんで7セット実施した。

## 2.4 実験試料の摂取方法

被験者は、平均 $426\text{mg}$ （ $6\text{mg/kg}$ 体重）のカフェイン（Wako社製、特級無水カフェイン）が封入された薬用カプセル（松屋製、HF、 $0.68\text{ml}$ ）

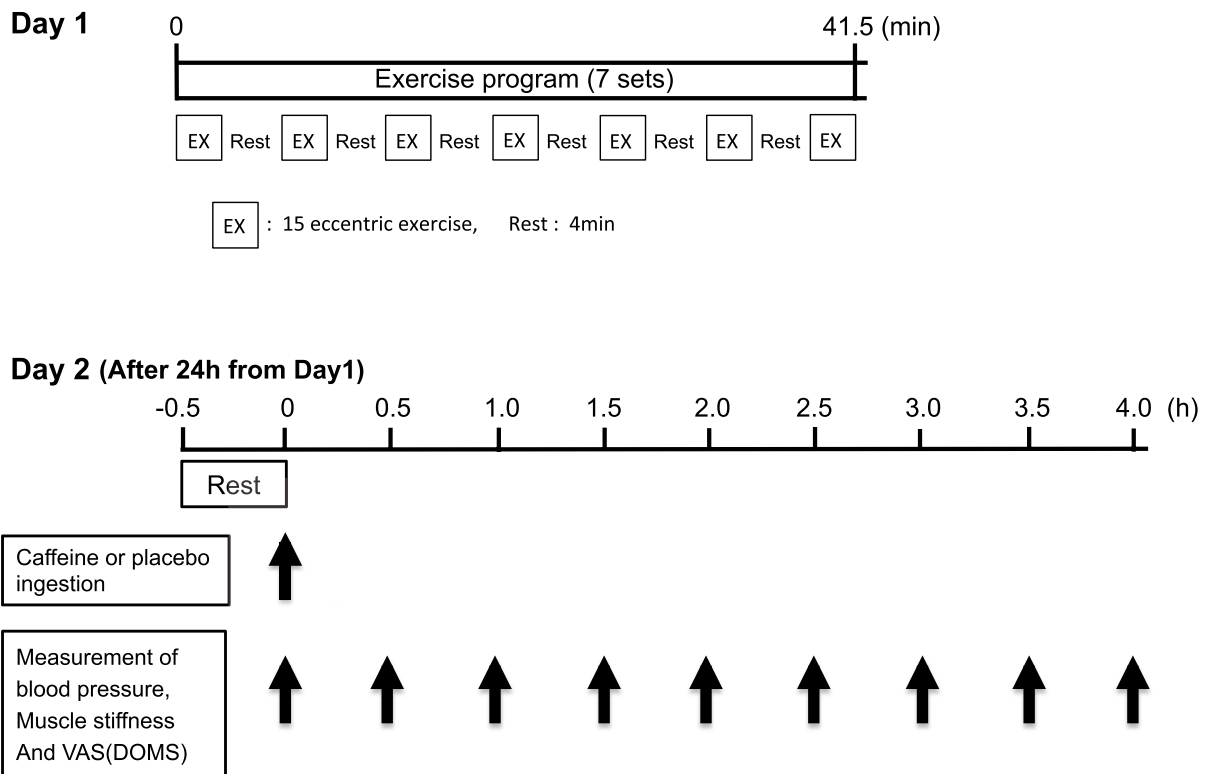


Fig.1 Experimental design.

を、200mlの市販ミネラルウォーターで摂取した。対照試料（プラセボ）として、同量の人工甘味料（パルスweet；味の素社製、0 kcal）を使用した。カフェイン中毒症の防止および本研究への影響を考慮し、被験者には、事前にカフェイン含有物の摂取を実験開始24時間前から実験終了24時間後まで禁止とすることを依頼した。

## 2.5 測定項目および測定方法

### 1) 心拍数

被験者にハートレートモニター（Polar社製、RS800CX）の装着を依頼し、座位安静状態にて心拍数（heart rate, HR）を30分間隔（9時点）でそれぞれ1分間測定し、その平均値を測定値とした。

### 2) 血圧

非利き腕の収縮期血圧（systolic blood pressure, SBP）および拡張期血圧（diastolic blood pressure, DBP）は、デジタル自動血圧計（OMRON社製、HEM-700）を用いてオシロメトリック法により、30分間隔（9時点）でそれぞれ1回ずつ測定した。

### 3) 筋硬度

非利き腕の上腕二頭筋を被験筋とし、測定ポイントが同一となるように筋中央部にペンでマークをつけ、筋硬度計（TRY-ALL社製、NEUTONE TDM-N1/NA1）を用いて筋硬度を測定した。筋硬度の計測は5回行い、それらの最大値と最小値を切り捨てた3回の値の平均を測定値とした（肥田・天野, 2010）。また、測定者は筋硬度計の測定に慣れた男性1名とした。なお、筋硬度の単位は筋硬度計製造会社の任意単位であるトーン（T）を用いた。

### 4) 主観的な筋肉痛の評価

筋肉痛の評価には、主観的な指標であるVASを用いた。VASは左端を「痛みなし」右端を「非常に痛い」と設定した100mmの直線とした（Nosaka et al., 1995; Nosaka et al., 2002; 李・佐藤, 2009）。被験者は、以下に示した3条件にて、立位での主観的な筋肉痛の程度をVAS上に記入した。なお、以下の三条件での測定は、実験数日

前から事前に練習を重ね、習熟度を高めた上でおこなった。

- ① 肘伸展条件：非利き腕を肘伸展状態（肘関節角度：170～180°）にしたときの痛み
- ② 肘屈曲条件：非利き腕を肘伸展状態からゆっくりと肘屈曲状態（肘関節角度：50～60°）に動かしたときの痛み
- ③ 上腕部指圧条件：肘伸展状態で被験者の3指（利き手の第二～四指）により上腕二頭筋中央部（ペンによりマークされた同一箇所）をゆっくり圧迫したときの痛み

## 2.6 統計処理

データは、すべて平均値±標準誤差で表した。測定値の差の検定には、対応のあるt検定を用いた。なお、統計学的な有意水準は危険率5%未満とし、5～10%を傾向ありと判断した。

## 3. 結果

### 3.1 心拍数の変化

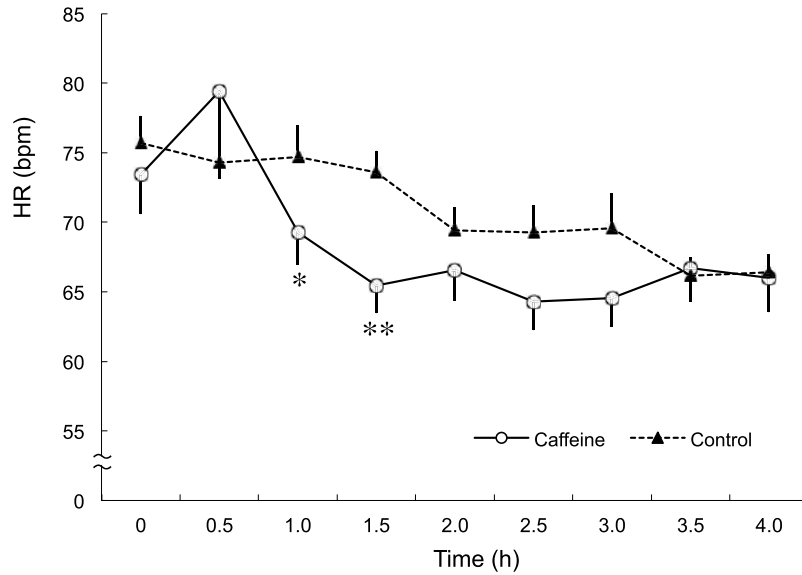
心拍数へのカフェイン摂取の影響について、Fig.2に示した。カフェイン摂取により、被験者の心拍数は1時間後（ $p < 0.05$ ）および1.5時間後（ $p < 0.01$ ）に有意に減少した。

### 3.2 血圧の変化

カフェイン摂取後の収縮期血圧および拡張期血圧の変化について、Fig.3に示した。カフェイン摂取後の収縮期血圧は、対照と比較して、2.5時間後において、有意に高い値（ $p < 0.05$ ）を示した。また、カフェイン摂取により、拡張期血圧は対照に比べて、2時間後で高い傾向を示した（ $p = 0.09$ ）。

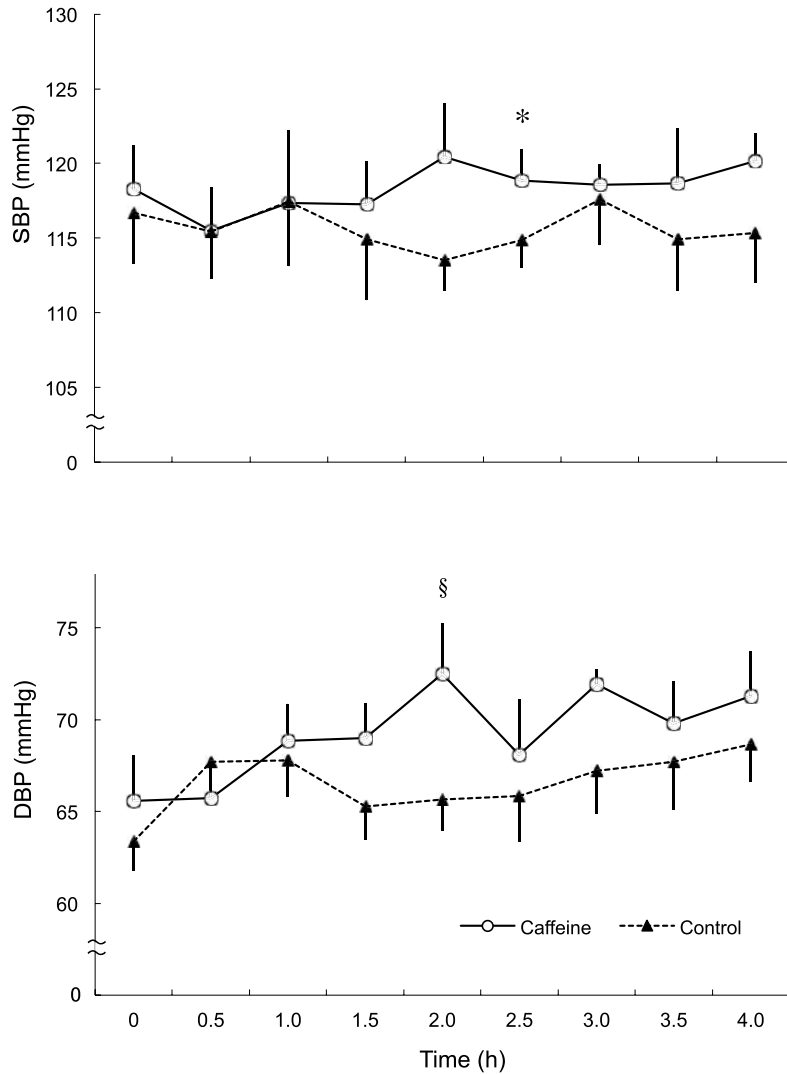
### 3.3 上腕二頭筋の筋硬度の変化

上腕二頭筋の筋硬度変化の結果をFig.4に示した。実測値において、上腕二頭筋の筋硬度はカフェイン摂取による有意な影響は認められなかった。しかしながら、実験試料摂取直前値を基準とした変化率において、カフェイン摂取1.5時間後（ $p =$

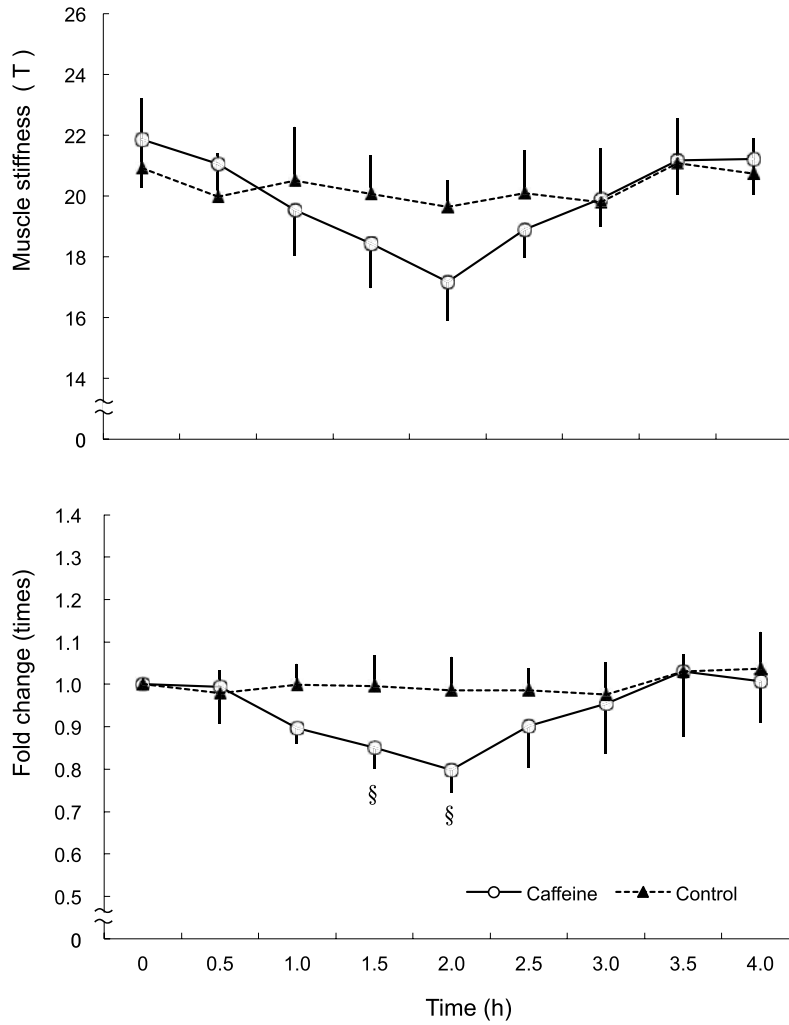


**Fig.2** Changes of Heart rate after caffeine ingestion.

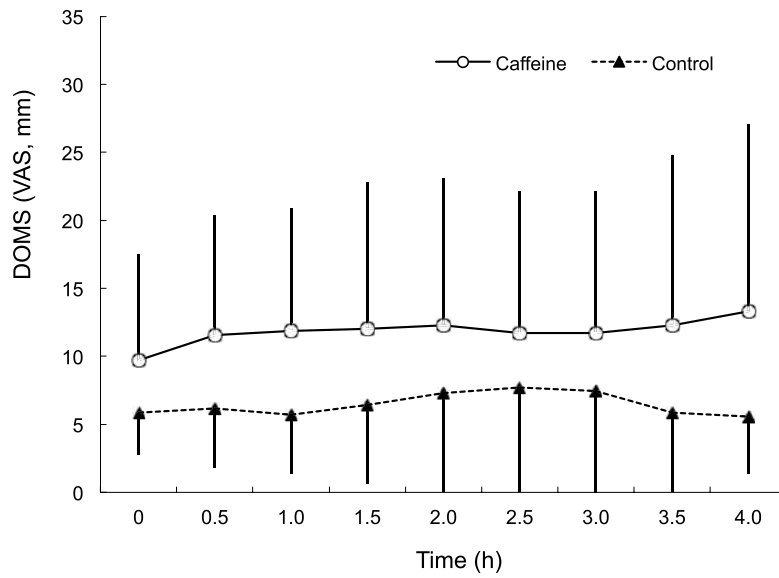
Points and bars represent means and SE, respectively. \*:  $p < 0.05$  (vs Control), \*\*:  $p < 0.01$  (vs Control)



**Fig.3** Changes of systolic (SBP) and diastolic (DBP) blood pressure after caffeine ingestion. Points and bars represent means and SE, respectively. \*:  $p < 0.05$  (vs Control), §:  $p < 0.1$  (vs Control)

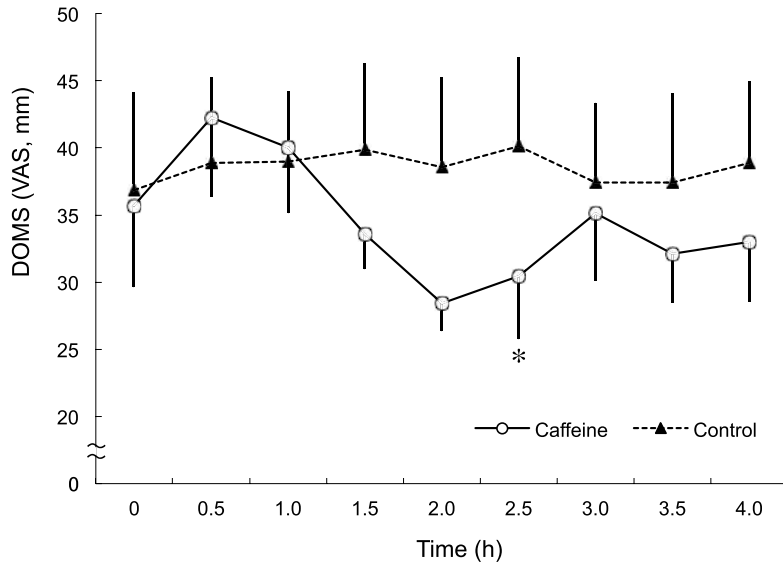


**Fig.4** Changes of muscle stiffness after caffeine ingestion. Points and bars represent means and SE, respectively. §:  $p < 0.1$  (vs Control)

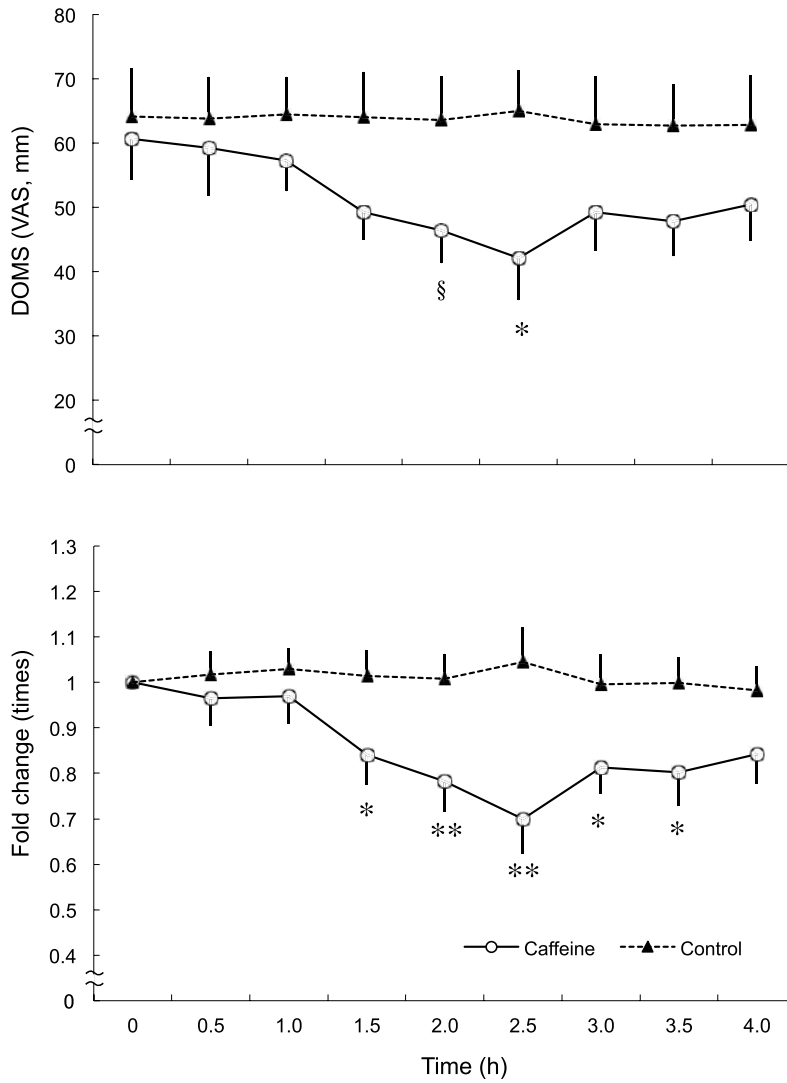


**Fig.5** Changes of DOMS (VAS) in the arm-extended condition after caffeine ingestion. Points and bars represent means and SE, respectively.

カフェイン摂取が遅発性筋肉痛及び筋硬度に及ぼす影響



**Fig.6** Changes of DOMS (VAS) in the arm-flexed condition after caffeine ingestion. Points and bars represent means and SE, respectively. \*:  $p < 0.05$  (vs Control)



**Fig.7** Changes of DOMS (VAS) in a state of acupuncture after caffeine ingestion. Points and bars represent means and SE, respectively. §:  $p < 0.1$  (vs Control). Asterisks indicate significant differences between caffeine and control (\* $p < 0.05$  and \*\* $p < 0.01$ ).



0.06) および2時間後 ( $p=0.096$ ) の値は、対照より低い傾向を示した。

### 3.4 主観的な筋肉痛の経時的变化

肘伸展条件 (Fig.5) におけるカフェイン摂取の主観的筋肉痛と対照との間には有意な差は見られなかった。一方、肘屈曲条件 (Fig.6) でのカフェイン摂取後の主観的筋肉痛は、プラセボ摂取後の値と比較して、2.5時間後 ( $p<0.05$ ) において有意に低い値を示した。さらに、上腕部指圧条件 (Fig.7) においても、カフェイン摂取後の主観的筋肉痛は、対照と比較して、2時間値 ( $p=0.07$ ) において低い傾向を示し、2.5時間値 ( $p<0.05$ ) では有意に低い値を示した。さらに、実験試料摂取直前値を基準とした変化率により上腕部指圧条件での結果を検討した場合 (Fig.7)、カフェイン摂取後の主観的筋肉痛は、摂取1.5時間後 ( $p<0.05$ )、2時間後 ( $p<0.01$ )、2.5時間後 ( $p<0.01$ )、3時間後 ( $p<0.05$ ) および3.5時間後 ( $p<0.05$ ) の2時間にわたって有意に低い値を示した。

## 4. 考察

本研究では、運動習慣のある大学生男子を対象者に、上腕二頭筋エクセントリック運動により発生する上腕部DOMSへのカフェイン摂取効果およびその継続時間を検討した。また、DOMSが発生した筋は、スティフネス (硬さ) が増加し、痛みへの感受性が高まることが報告 (Jones et al., 1987; Ebbeling and Clarkson., 1989; Murayama et al., 2000) されていることから、筋硬度へのカフェイン摂取の影響についても検討した。その結果、カフェイン摂取は、筋硬度を低下傾向にし、主観的筋肉痛を軽減させる効果があることが示された。

これらの結果は、遅発性筋肉痛の対処法の一つとして、カフェイン含有飲料 (コーヒーやお茶など) の摂取が有効である可能性を示している。

### 4.1 本研究におけるカフェイン摂取の生理学的機序

本研究により、カフェイン摂取が、一時的に血圧を上昇させ、その一方で心拍数は減少させることが示された。Corti et al. (2002) は、生理食塩水に溶解したカフェインを静脈投与 (250mg) した場合、コーヒー摂取習慣のあるなしにかかわらず、筋交感神経系および血圧を刺激することを彼らは確認している。本研究結果はCorti et al. (2002) の報告を支持するものであったが、有意な血圧上昇時間は、摂取2時間後からの1時間程度であった。本研究のカフェイン摂取方法は、薬用カプセルへ粉末カフェイン (6 mg/kg BW) を封入し、市販ミネラルウォーターで飲み込むというものであった。したがって、薬用カプセル (粉末) を用いた経口投与であったことから、静注投与より吸収速度が遅く、血中カフェイン濃度の上昇に時間を要した可能性が推察される。

カフェイン摂取による血圧上昇は、交感神経系の興奮によるものと考えられるが、一方で、心拍数はカフェイン摂取により減少した。これは、先行研究結果 (Robertson et al., 1978; Corti et al., 2002) と一致する。カフェインの血圧上昇作用は、中枢もしくは末梢の交感神経の興奮が関与していると考えられているが、末梢と心臓での交感神経活性において異なる刺激があったと考えられる。Spieker et al. (2000) は、昇圧剤が心臓の交感神経活性を抑制することを報告している。一方、カフェインは中枢性には延髄の迷走神経中枢の刺激によって徐脈を起こすことがある (Robertson et al., 1978)。これらのことから、心拍数に対するカフェインの作用は複雑と考えられるが、通常中枢作用は末梢作用に覆われると考えられているので、本研究で観察されたカフェインによる心拍数低下は、末梢交感神経刺激による血圧上昇作用とは異なる刺激により、心臓の交感神経活性を抑制したのではないかと推察する。

本研究により、カフェイン摂取に上腕二頭筋エクセントリック運動で誘発されたDOMSにおける主観的痛みについて、上腕部指圧条件で約2時

間にわたり軽減させる効果があることが示された。DOMSにおける痛みは、筋をダイナミックに動かすことや圧迫により発することが報告されており、筋を動かさなければ、強い痛みは感じないとされている (Clarkson et al., 1992; Miles, 1994)。このことから、本研究における肘伸展条件でのDOMSの測定では、主観的痛みのVAS値が低く (Controlの9測定点の平均値±標準誤差:  $6.4 \pm 5.9$ mm), カフェイン摂取の影響は認められなかった。また、肘屈曲条件では、屈曲時に被験者の主観的な痛みが高まり (Controlの9測定点の平均値±標準誤差:  $38.6 \pm 6.4$ mm) はしたが、ダイナミックな筋の動きを伴う動作ではなかったため、カフェイン摂取の影響は、摂取後2.5時間の1時点でしか示されなかった。これに対して、上腕部指圧条件では、3指(利き手の第二~四指)にて被検筋の痛点を圧迫したことにより、主観的痛みのVAS値が高く (Controlの9測定点の平均値±標準誤差:  $63.7 \pm 6.8$ mm), カフェインのDOMSに対する緩和効果(変化率)は摂取後1.5~3.5時間までの5時点に認められた。

Jones et al. (1987) は、DOMSを誘発させるエクセントリック運動後には筋のスティフネスの増加が大きくなることを報告している。本研究で用いたエクセントリック運動プログラム前後において、被験者の筋硬度は、運動前 ( $15.2 \pm 1.0$ T) に比べ運動直後 ( $20.4 \pm 0.5$ T) で有意に増加 ( $p < 0.01$ ) しており、Jones et al. (1987) の報告を支持する結果であった。エクセントリック運動プログラムで高められた上腕二頭筋の筋硬度(変化率)は、カフェイン摂取により、摂取後1.5および2.0時間で軽減される傾向にあった。筋硬度は、マッサージやストレッチで軽減されることが報告されている (肥田ほか, 2010; 梨本ほか, 2012) が、マッサージやストレッチは、DOMSの軽減に効果があることが報告 (Rodenburg et al., 1994; Lund et al., 1998) されており、筋硬度の減少とDOMSの軽減に何らかの関連性がある可能性が推察される。

## 4.2 本研究のスポーツ科学的意義

本研究で使用したカフェイン量は平均426mg (6 mg/kg体重)であり、これはドリップコーヒー約3杯分に相当すると言われている。その量のカフェインを摂取することで、一時的に筋肉痛を軽減することが期待できる。このメカニズムについて、Lindskog et al. (2002) およびMaridakis et al. (2007) の先行研究では、カフェインはアデノシンA1受容体 (鎮痛作用), 及びA2a受容体 (疼痛作用) の働きを阻害したと報告しているが、本研究では、カフェインが鎮痛作用を引き起こすアデノシンA1受容体の働きを阻害したかは不明である。その理由として、アデノシンがA1受容体を介して発揮する他の生理作用に、血圧上昇作用を持つレニンの放出を抑制する働きがある (Robertson et al., 1978) が、本研究において血圧の上昇がみられたため、カフェインはアデノシンA1受容体には作用していない可能性が挙げられる。一方、筋肉痛が軽減されたことから、カフェインはアデノシンA2a受容体の働きを阻害したのではないかと考える。これは、カフェインが筋肉痛以外の神経性疼痛にも効果がある可能性を示している。

本研究において、カフェインの効果が出現する時間が先行研究に比べて遅いという印象を得た。これは、本研究のダブルブラインド試験で用いた実験試料が粉末の無水カフェイン (薬用カプセル封入) であったため、胃内での溶解に時間を要したためではないかと推察される。コーヒーなどの水溶液としてカフェインを摂取した場合には、体内への吸収が速やかで、本研究で得られた結果よりも短時間で効果が現れはじめたかもしれない。これらについては、今後の検討課題としたい。

## 5. 結論

本研究では、運動習慣のある男子大学生を対象に、上腕のエクセントリック運動により誘発されたDOMSへのカフェイン摂取効果を検討した。その結果、カフェイン摂取は、遅発性筋肉痛に対し

て軽減作用を有することが示唆された。

## 文 献

- Armstrong, R. B. (1984) Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness : a brief review. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 16: 529-538.
- Chen, Y., Hubal, M. J., Hoffman, E. P., Thompson, P. D., and Clarkson, P. M. (2003) Molecular responses of human muscle to eccentric exercise. *J. Appl. Physiol.*, 95: 2485-2494.
- Clarkson, P. M., Nosaka, K., and Braun, B. (1992) Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24: 512-20.
- Cleak, M. J., and Eston, R. G. (1992) Delayed onset muscle soreness: mechanisms and management. *J. Sports Sci.*, 10: 325-341.
- Corti, R., Binggeli, C., Sudano, I., Spieker, L., Hänseler, E., Frank Ruschitzka, F., Chaplin, W. F., Lüscher, T. F., and Noll, G. (2002) Coffee acutely increases sympathetic nerve activity and blood pressure independently of caffeine content. *Circulation*, 106: 2935-2940.
- Ebbeling, C. B., and Clarkson, P. M. (1989) Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med.*, 7: 207-234.
- Hayasida, M., Fukada, K., and Fukunaga, A. (2005) Clinical application of adenosine and ATP for pain control. *J. Anesth.*, 19: 225-235.
- 肥田朋子・天野幸代 (2010) 筋硬度計による生体の硬さ測定 - 再現性と妥当性と有用性 -. 名古屋学院大学論集人文・自然科学篇, 46: 55-61.
- Jones, D. A., Newham, D. J., and Clarkson, P. M. (1987) Skeletal muscle stiffness and pain following eccentric exercise of the elbow flexors. *Pain*, 30: 233-242.
- 李松・佐藤 佑 (2009) 高圧・高酸素環境下での滞在が遅発性筋肉痛 (DOMS) の回復に及ぼす影響. 仙台大学大学院スポーツ科学研究科修士論文集, 10: 87-94.
- Lindskog, M., Svenningsson, P., Pozzi, L., Kim, Y., Fienberg, A. A., Bibb, J. A., Fredholm, B. B., Nairn, A. C., Greengard, P., and Fisone, G. (2002) Involvement of DARPP-32 phosphorylation in the stimulant action of caffeine. *Nature*, 418: 774-778.
- Lund, H., Vestergaard-Poulsen P., Kanstrup I. L., and Sejrnsen P. (1998) The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 8: 216-221.
- Maridakis, V., O'Connor, P. J., Dudley, G. A., and McCully, K. K. (2007) Caffeine attenuates delayed-onset muscle pain and force loss following eccentric exercise. *J. Pain*, 8: 237-243.
- Miles, M. P. (1994) Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 34: 203-216.
- Murayama, M., Nosaka, K., Yoneda, T., and Minamitani, K. (2000) Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 82: 361-367.
- 梨本智史・渡辺博史・松岡 潤・地濃勇介 (2012) 筋硬度計を用いた静的ストレッチング時間とその効果についての検討. *スポーツ傷害*, 17: 37-39.
- Newham, D. J., Jones D. A., Ghosh G., and Aurora P. (1998) Muscle fatigue and pain after eccentric contractions at long and short length. *Clin. Sci.*, 74: 553-557.
- Nosaka, K. and Clarkson, P. M. (1995) Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27: 1263-1269.
- Nosaka, K., Newton, M., and Sacco, P. (2002) Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 12: 337-346.
- Robertson, D., Frolich, J. C., Carr, R. K., Watson, J. T., and Hollifield, J. W. (1978) Effects of caffeine on plasma resin activity, catecholamines and blood pressure. *New England J. Med.*, 298: 181-186.
- Rodenburg, J. B., Steenbeek, D., Schiereck, P., and Bär, P. R. (1994) Warm-up, stretching and massage diminish harmful effects of eccentric exercise. *Int. J. Sports Med.*, 15: 414-419.
- Sawynok J. (1998) Adenosine receptor activation and nociception. *Eur. J. Pharmacol.*, 317: 1-11.
- Spieker, L. E., Corti, R., Binggeli, C., Lüscher, T. F., and Noll, G. (2000) Baroreceptor dysfunction induced by nitric oxide synthase inhibition in humans. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 36: 213-218.

(村田 芳久 北海道教育大学旭川校准教授)  
(齋藤 健 北海道教育大学旭川校学生)