温スープ摂取後の主観的温度感覚および 深部・末梢体温の変化

高木 絢加^{*1}, 武田 一彦^{*2}, 御堂 直樹^{*2}, 駒居 南保^{*3}, 山口 光枝^{*1},
永井 成美^{*1, *3}

^{*1}兵庫県立大学大学院環境人間学研究科 ^{*2}クノール食品株式会社開発工業化センター

^{*3}兵庫県立大学環境人間学部食環境栄養課程

【目的】温かい飲食物摂取後の、「体の温かさ」や体温の変化を検討した報告は少ない。本研究の目的は、温度の異なるスープをサンプルとして、飲食物の温度が摂食者の主観的温度感覚と深部・末梢体温に及ぼす影響を調べることである。

【方法】前夜から絶食した若年女性20名に、異なる日の朝9時に、65°C スープ摂取、対照として 37°C スープ摂取、スープ摂取なし（ブランク）の3試行をランダムな順序で実施した。26°C の実験室で検査衣を着用した安静状態の被検者の、サンプル摂取10分前から摂取65分後までの主観的温度感覚、深部体温（鼓膜温）、末梢体温（手先温、足先温）、心拍数を測定した。スープ摂取後には嗜好調査を実施した（大変おいしい [10点] ~ 大変まずい [0点]）。

【結果】嗜好得点は、65°C スープでは37°C スープより有意に高かった。摂取後の鼓膜温、足先温、心拍数の変化量は、65°C スープ、37°C スープ、ブランクの順に高値で経時変化した（Sample effect, Sample×Time とも有意）。各測定時点の多重比較からは、65°C スープでは、主観的温度感覚は摂取直後で 37°C スープやブランクと比べて有意に高値であること、鼓膜温は摂取20分後まで、足先温は摂取15分後まで 37°C スープと比べて有意に高値であることが示された。

【結論】37°C スープとの比較から、65°C スープ摂取後の鼓膜温や足先温の上昇はスープの温度の影響を受けていると考えられた。3試行の結果から、飲食物に含まれるエネルギー基質や美味しさなどの要因に加え、飲食物の温度自体も主観的温度感覚や体温に影響を及ぼすことが示唆された。

栄養学雑誌, Vol.71 No.2 49-58 (2013)

キーワード: 温スープ, 温度感覚, 深部体温, 末梢体温, 心拍数

I. 緒 言

飲食物には、美味しいと感じる「食べごろ」の温度帯があることが知られており¹⁾、これは摂食者の嗜好上の理由で選択されている温度であると考えられる。また、一般的に、夏季にはビールや氷菓などの冷たい飲食物が好まれ、冬季にはシチューや鍋物などの温かい飲食物が好まれるが、これは、摂食者が飲食物により涼しいと感じたい、あるいは温かいと感じたいという、いわば生理学的な理由で選択されている温度であると考えられる。

わが国では、2011年3月の原子力発電所の事故以来、電力供給が不安定化したことを受けて、冬季と夏季には冷暖房の使用を控えるなどの節電が行われるようになった²⁾。その後、市販食品の中には、夏には食べると体が「ひんやり」する、冬には体が「ぽかぽか」するなど、これらの食品の摂取により暑さや寒さが軽減することを売り文句とした商品が見受けられるようになったが、これらはいわゆる「クールビズ」、「ウォームビズ」を目指した動きであると考えられる。

食品と体温の関連についてみると、トウガラシ³⁾ や

ショウガ⁴⁾ の摂取が食後の体熱産生（食事誘発性体熱産生）を増大させる作用を有することが報告されている。

また、ローヤルゼリー⁵⁾ やココア⁶⁾ の摂取が冷え症（性）の症状を緩和するとの報告もある。このように、いくつかの食品が摂取後のエネルギー消費量や温度感覚に影響を与えることが知られているが、飲食物自体の温度が、摂食者の主観的温度感覚や体温に及ぼす影響を検討した報告は調べた限りにおいて僅かである。御堂ら⁷⁾ は、冷スープ（10°C）、温スープ（70°C）、温湯（70°C）摂取後の鼓膜温は、3試行ともに上昇し試行間で差はなかったと報告している。Imms・Lighten⁸⁾ は、冷水（7°C）または体温付近温の水（37°C）摂取、ブランク（非摂取）後の鼓膜温は、冷水では他試行と比べて有意に低下したと報告している。Daanen ら⁹⁾ は、冷紅茶（0°C）、体温付近温の紅茶（37°C）、温紅茶（43°C）摂取後の鼓膜温は、冷紅茶では有意に低下し温紅茶では有意に上昇したと報告しており、既報間で結果に差異がみられる。以上の結果の不一致は、実験デザイン（温か冷のどちらかにフォーカスをあてたうえで、体温のサンプルとブランク試行を置く⁸⁾）や、鼓膜温測定方法（赤外線センサー方

連絡先：永井成美 〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町1-1-12 兵庫県立大学環境人間学部食環境栄養課程
電話 079-292-9405（直通）FAX 079-292-9405（直通）E-mail nagai@shse.u-hyogo.ac.jp

式⁷⁾ かサーミスタによる実測法^{8,9)} の違いにもよると考えられた。

そこで本研究では、健康若年女性を被験者として、温スープ摂取（コーンポタージュ、65°C、150 ml）、対照として体温付近温のスープ摂取（コーンポタージュ、37°C、150 ml）、およびスープ摂取なし（ブランク）の3試行を設定し、高感度のサーモセンサーによる鼓膜近似温の実測法により、温かい飲食物摂取が摂食者の主観的温度感覚と深部・末梢体温に及ぼす影響について検討した。

Ⅱ. 方 法

1. 被 験 者

非肥満で喫煙習慣を有さない若年健康女性（18～21歳）20名を兵庫県立大学内で募集した。ドロップアウトがなかったため、全員のデータを解析に用いた。被験者の身体的特徴は表1に示した。本実験の実施にあたっては、被験者の個人情報保護や倫理的配慮を盛り込んだ実験計画書を作成し、兵庫県立大学倫理委員会の審査と承認を受けた。また、全員へインフォームド・コンセントを実施し、全員から実験参加同意書への署名を得た。

2. 試験サンプル調整

試験サンプルとして用いたスープは、市販のコーンポタージュ（エネルギー 82 kcal、たんぱく質 0.94 g、脂質 3.2 g、炭水化物 12.0 g、ナトリウム 420 mg、味の素株式会社製）である。本研究では、温かいスープ摂取により体深部が温められ、その熱が体表面へと移動する熱移動が起こると考え、温かいスープ摂取後の深部・末梢体温を主観的温度感覚とともに経時測定することを目的としている。そのため、試験サンプルは、温スープ（一般的にスープの適温とされている 65°C に設定¹⁾）とし、熱移動が起こらない体温付近温スープ（37°C）を対照とした。またスープ摂取により、食事誘発性体熱産生が生じるため、スープ摂取なし（ブランク）も含めた3試行

を設定した。試験サンプル作成と温度（65°C、37°C）の調整は次の手順で行った。65°C スープは、白色のスープカップにスープ粉末を入れ、150 ml の熱湯で溶解後、室温下で攪拌しながら 65°C まで冷まして被験者に供した。37°C スープは、蓋付耐熱ガラス容器にスープ粉末を入れ、150 ml の熱湯で溶解し、39°C の恒温水槽にスープを入れたガラス容器とスープカップを入れた。負荷直前に、ガラス容器からスープカップにスープを移し、37°C になったことを確認後、被験者に供した。スープの温度は、防水型デジタル温度計（SK-250WP、株式会社佐藤計量器製作所、東京）で測定した。

3. 実験デザインと期間

実験は、ランダム化クロスオーバーデザインで実施した。全被験者に対し、65°C スープ摂取、37°C スープ摂取、およびスープ摂取なし（ブランク）の3試行を無作為な順序で、異なる日の同時刻（9時）に、同条件（検査衣着用、室温 26°C）で行った。期間は、外気温が 30°C 以上または 10°C 未満となる夏季・冬季期間を避け、2011年9月下旬から12月上旬に実施した。終了が12月となったのは、被験者の体調や授業の都合で実験日程が延長した者が2名いたためであり、大部分の実験は11月中旬までに終了した。

4. 実験プロトコル

実験の精度を確保するために、1日あたりの被験者数は1～2名とした。各被験者に、検査日前日にはカフェイン、香辛料、油の多い食事、激しい運動を避けること、および午後10時以降の絶食と12時以前の就寝を依頼した。検査当日、被験者は前夜からの絶食のまま（飲水は実験2時間前まで許可）、兵庫県立大学環境人間学部栄養生理学実験室に8時30分に入室した。検査衣に着替えた後、被験者は測定用ベッドに移動し、体温測定用のセンサーと心電図電極を装着され、上体を45°起こした姿勢で15分間安静を保持した。血圧（OMRON HEM7000、オムロン株式会社、京都）を2回測定した後、体温と心電図^{10,11)}をサンプル摂取10分前から摂取65分後まで連続測定した。主観的温度感覚（体全体の温かさ）の測定にはビジュアルアナログスケール（Visual Analogue Scales: VAS）¹²⁾を用いた。被験者は、試験サンプルを概ね5分間で完食し、摂取直後に嗜好調査票に美味しさの得点を記入した。測定中はベッドをパーテーションで仕切り、刺激の少ない環境にするとともに、会話、体動、および居眠りを禁止した。被験者は、体温を測定していないほうの手（右手）で、測定前に選んだ雑誌等を読み安静と覚醒を保持した。被験者の体組成は、ブランク試行の日に検査衣着用にて、4極8点接触式電極の生体インピーダンス法

表1 被験者の身体的特徴

	(n=20)
年齢 (歳)	19.2 ± 0.2
身長 (cm)	159.0 ± 0.9
体重 (kg)	48.7 ± 0.9
BMI (kg/m ²)	19.3 ± 0.4
体脂肪率 (%)	24.4 ± 0.9
収縮期血圧 (mmHg)	97.2 ± 1.2
拡張期血圧 (mmHg)	57.8 ± 0.8

平均 ± 標準誤差。

(InBody520, Biospace, Korea) で測定し、血圧は3日間の平均値を各被験者の測定値とした。

5. 試験サンプルへの嗜好性

試験サンプルへの被験者の嗜好性は、各サンプル摂取直後に嗜好調査票（大変おいしい [10点]～大変まずい [0点] の11段階で自己評価¹³⁾）を用いて調査した。

6. 主観的温度感覚（体全体の温かさ）の測定

本研究で使用した VAS 質問紙は、①質問または見出し、②横に引いた 100 mm の長さの線 (VAS)、③線の左右末端に記された最小／最大の状態を表す言葉より構成されている¹²⁾。主観的温度感覚について、“全く温かさを感じない（最小の状態）”から、“これ以上ないほど温かく感じる（最大の状態）”とした VAS を作成し、自記式にて回答を得た。測定は、摂取直前（0分）、摂取直後（5分後）、摂取20分・35分・50分・65分後の6回行った。被験者は、自分の温度感覚と一致するように VAS 上に交差する印をつけ、線の左端から被験者がつけた印までの距離（mm）を評価に用いた。

7. 体温の測定

体温は、既報¹⁴⁾の測定部位に基づき、深部体温の指標として鼓膜近似温（以下、鼓膜温と表記する）を、末梢体温として左手薬指と左足中指の皮膚表面温度（以下、手先温および足先温と表記する）を測定した。鼓膜温は、深部体温の1つである脳温に近く、体温調整中枢の温度変化を正確に反映するため臨床上有用な指標である¹⁵⁾。しかし、直接鼓膜に触れずに測定できる市販の耳式体温計は赤外線センサーと温度センサーの差の情報を演算する推定値を用いており実測値ではない¹⁵⁾。そこで、温度センサーを直接鼓膜に接着させることなく外気温の影響も排除できる方法として、耳栓で閉塞した耳内平衡温度を高感度のサーモセンサーで測定する方法を採用した^{16, 17)}。具体的には、水泳競技用の耳栓の内側に、サーモセンサーを設置した耳栓式サーミスタ温度プローブ（日機装サーモ株式会社、東京）を被験者の左耳に装着し、耳腔内温度が平衡に達した時点を鼓膜温とした。一方、末梢体温は室内の気流の影響を受けやすいため¹⁸⁾、独自に作製した気流防御フードで左手首より先と左足首より先に風除けを作り、サーミスタ温度プローブ（日機装サーモ株式会社、東京）を左手薬指と左足中指の皮膚表面にサージカルテープで装着し測定した¹⁷⁾。測定データは、体温測定専用のデータログ（高精度8チャンネルデータログ N542R, 日機装サーモ株式会社、東京）を介して10秒間隔でコンピュータのハードディスクに記録し、1分毎の平均値を求めた。サーミスタ温度プローブより入力される信号から体温をリアルタイム表示する

データログの温度測定精度は、 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ （ $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ）、温度表示分解能は 0.01°C であり、パソコン画面上には小数点第2位まで温度表示される。

8. 心拍数の測定

心拍数の測定は、森谷ら^{10, 11)}が開発した心電図測定システムおよび解析プログラムを用いて、サンプル摂取前10分間、およびサンプル摂取後65分間連続で心電図をサンプリングした。具体的には、CM5誘導で心電図生波形をA/D変換器を介してパソコンのハードディスクにデータとして取り込み、その後、心電図解析プログラムを用いて各R波の頂点を1/1,000秒の精度で検出し、測定時点毎に1分間のR波数を実測する方法で心拍数を測定した。

9. 統計処理

データは平均 $\pm$ 標準誤差で表した。統計処理には PASW Statistics 18 for Windows (IBM, 東京) を用い、検定の有意水準は5%未満（両側検定）とした。各統計手法は、各変数の正規性を Shapiro-Wilk 検定で確認した上で決定した。各試行間の嗜好得点（正規性のない変数、対応あり）の比較には Wilcoxon の符号付き順位検定を用いた。各試行間の時系列データ（主観的温度感覚、体温、心拍数）は、0分（摂取直前）との差を求め、その変化量の経時変化パターンを二元配置分散分析（対応ありと対応あり）で検定した。Mauchly の球面性検定を行い、球面性の仮定もしくは Huynh-Feldt のイプシロンの修正により被験者内効果 (Time effect, Sample effect)、交互作用 (Sample $\times$ Time) をそれぞれ検定した。交互作用が $p < 0.05$ の場合は交互作用あり（変化のパターンがサンプルにより異なる）と判定し、交互作用が見られた場合、各時間における多重比較には Bonferroni の補正法を用いた。SPSS では、Bonferroni 検定結果は、自動的に総検定数で割った値に誤差率が設定されるため¹⁹⁾（ $p < 0.05/3$ と設定され、 p 値は3倍の値で出力される）、全体の危険率は5%で担保されている。

Ⅲ. 結 果

1. 嗜好得点

試行サンプルへの嗜好得点は、 37°C スープ (8.2 ± 0.3 点) に比べて 65°C スープ (8.9 ± 0.2 点) で有意に高い得点が示された ($p = 0.004$)。

2. 主観的温度感覚

図1に、摂取直前（0分）から65分後までの、主観的温度感覚（0分をベースラインとした VAS 変化量）の経時変化を示した。二元配置分散分析で経時変化の交互作

図1 主観的温度感覚変化量の経時変化

試験サンプル摂取直前（0分）を基点とした、65分間の主観的温度感覚変化量の経時変化。平均±標準誤差。

** $p < 0.01$, 65°C vs. ブランク; † $p < 0.01$, 65°C vs. 37°C（二元配置分散分析の後、Bonferroniの補正法を用いた）。

用を検討した結果、変化のパターンが試行間で有意に異なることが示された（Sample $\times$ Time, $p < 0.001$ ）。また、65°C スープでは摂取直後（5分後）に、37°C スープやブランクと比較して有意な高値を認めた。

3. 体 温

図2に、摂取直前（0分）から65分後までの深部体温と末梢体温（0分をベースラインとした変化量）の経時変化を示した（図2A：鼓膜温，図2B：手先温，図2C：足先温）。65°C スープ，37°C スープ，ブランクの摂取直前の各体温は，鼓膜温：36.23±0.09°C，36.20±0.11°C，36.13±0.09°C，手先温：33.39±0.18°C，33.51±0.20°C，33.39±0.21°C，足先温：29.57±0.82°C，29.56±0.83°C，30.16±0.79°Cであった。二元配置分散分析で経時変化の交互作用を検討した結果，鼓膜温（Sample $\times$ Time, $p < 0.001$ ）と足先温（Sample $\times$ Time, $p = 0.002$ ）において経時変化のパターンが試行により有意に異なることが示された。各測定時点における鼓膜温変化量を比較すると，65°C スープでは，ブランクに比べて摂取直後（5分後）から30分後まで有意な高値を認め，37°C スープに比べて摂取直後から20分後まで有意な高値を認めた。37°C スープではブランクに比べて，摂取直後から15分後まで有意な高値を認めた。各測定時点における足先温変化量を比較すると，65°C スープでは，ブランクに比べて摂取10分後から45分後まで有意な高値を認め，37°C スープに比べて摂取直後から15分後まで有意な高値を認めた。37°C スープでは，ブランクに比べて摂取15分後，および25分後から40分後まで有意な高値を認めた。手先温変化量には，3試行の経時変化のパターンに有意

差はなかった（Sample $\times$ Time, $p = 0.210$ ）。

4. 心 拍 数

図3に，摂取直前（0分）から65分後までの，心拍数（0分をベースラインとした変化量）の経時変化を示した。二元配置分散分析で経時変化の交互作用を検討した結果，変化のパターンが試行間で有意に異なることが示された（Sample $\times$ Time, $p < 0.001$ ）。各測定時点における心拍数変化量を比較すると，65°C スープでは，ブランクに比べて摂取直後（5分後）から55分後まで有意な高値を認め，37°C スープに比べて摂取直後，10分後，20分後で有意な高値を認めた。37°C スープでは，ブランクに比べて摂取直後から45分後まで有意な高値を認めた。

IV. 考 察

本研究で得られた主な知見は次の2点である。1）3試行の経時変化：摂取後の鼓膜温，足先温，心拍数の各変化量は，65°C スープ，37°C スープ，ブランクの順に高値で推移した。2）各測定時点の多重比較：65°C スープでは，主観的温度感覚は摂取直後37°C スープやブランクと比べて有意に高く，鼓膜温は摂取20分後まで，足先温は摂取15分後まで37°C スープと比べて有意に高値を示した。

1. 65°C スープ摂取による主観的温度感覚の上昇

本研究では，被験者がどの程度「体全体が温かい」と感じているかを，0～100 mmのVASスコアで評価した。この主観的温度感覚は，65°C スープ摂取直後に強く自覚され，20分以降は37°C スープとの差が消失した。65°C

図2 体温変化量の経時変化

試験サンプル摂取直前（0分）を基点とした、65分間の体温変化量の経時変化（A：鼓膜温，B：手先温，C：足先温）。平均 $\pm$ 標準誤差。

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, 65°C vs. ブランク；† $p < 0.01$, † $p < 0.05$, 65°C vs. 37°C；‡ $p < 0.01$, ‡ $p < 0.05$, 37°C vs. ブランク（二元配置分散分析の後，Bonferroniの補正法を用いた）。

スープ摂取後の実測体温は，ブランクと比較すると鼓膜温では摂取直後から30分後まで，足先温では摂取10分後から45分後まで有意な高値を認めたのに対し，主観的温度感覚の上昇は一時的であった。

身体各部位の体温の中で，食物が直接触れながら通過する口腔から胃にかけての体温は，食物の温度の影響を直接受けやすいため，直腸温や鼓膜温などの深部体温と比べて変化が大きい，食物の移動とともに短時間で収束することが知られている^{20, 21)}。Terndrupら²⁰⁾は，0°C

と46°Cの水180 mlを用いて負荷前後の口腔温を測定し，いずれも15分後には負荷前の口腔温に戻ったことを報告している。また，Sunら²¹⁾は，4°Cと50°Cのオレンジジュース400 mlを用いて負荷前後の胃内温を測定し，いずれも20分後には負荷前の胃内温に戻ったことを報告している。以上の既報から，本結果の主観的温度感覚上昇が一過性であった理由として，65°Cスープが接触した口腔から胃にかけての体温が一時的に上昇したことが体幹の温かさと感じ取られたためと推測される。

図3 心拍数変化量の経時変化

試験サンプル摂取直前（0分）を基点とした、65分間の心拍数変化量の経時変化。平均±標準誤差。

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, 65°C vs. ブランク; † $p < 0.05$, 65°C vs. 37°C; ‡ $p < 0.01$, † $p < 0.05$, 37°C vs. ブランク（二元配置分散分析の後、Bonferroniの補正法を用いた）。

2. スープ摂取による体温上昇

1) 深部体温の上昇

深部体温は、朝4時前後に上昇し始め、その後昼ごろより夕方まで高値に維持された後下降するというサーカディアンリズムを有していることが知られている²²⁾。本研究では全ての実験を午前中に行ったので、ブランク試行（図2A, △）での鼓膜温上昇はサーカディアンリズムによる上昇分と考えられる。また、ブランク試行（図2A, △）と37°C スープ試行（図2A, ○）の鼓膜温上昇の差は、スープ摂取に伴う味覚刺激²³⁾や、スープ摂取後の栄養素の消化・吸収・運搬等に伴って起こる食事誘発性体熱産生²⁴⁾による上昇分と考えられる。さらに、37°C スープ試行（図2A, ○）と65°C スープ試行（図2A, ●）の鼓膜温上昇の差は、65°C スープの温度そのものによる上昇分と考えられる。以上のように、65°C スープ摂取後の鼓膜温変化には、①サーカディアンリズム、②食事誘発性体熱産生（スープに含まれるたんぱく質、脂質、炭水化物から計算した理論値：4.9 kcal）、③スープ自体の温度の3要素があり、それぞれを抽出できたと考えられる。

これまでに、冷水（7°C）摂取後には鼓膜温が60分後まで低下すること⁸⁾や、甘い紅茶摂取後の深部体温（直腸温、鼓膜温）は冷紅茶（0°C）で低下し温紅茶（43°C）で上昇すること⁹⁾が報告されており、摂取する飲食物自体の温度が深部体温を変化させるという点で本研究結果と一致している。一方で、冷スープ（10°C）、温スープ（70°C）、温湯（70°C）の摂取後は全て鼓膜温が上昇し、

試行間で差がなかったとの報告⁷⁾もある。同じスープサンプルにもかかわらず本研究結果との不一致がみられた原因として、既報⁷⁾では、①鼓膜温に差を及ぼさないと考えられるブランク（非摂取）試行、体温付近温のスープ試行がないこと、②冬季、室温約21°Cという寒い条件で行われていること、③測定機器の耳式温度計は赤外線センサー方式による推定値で、本研究で使用了機器と比べて測定分解能が低いこと、④測定時毎に1分間のクレペリン検査を行っていること、⑤測定がベッド上ではなく座位で行われていることから、実験条件や測定機器の差異により結果が異なると考えられる。中でも、本研究の鼓膜温測定は、室内気流や室温の影響を排除できる耳内閉塞方式の高感度のサーミスタ温度プローブを装着したまま経時変化を実測しており、間欠的に赤外線センサーで測定を繰り返すよりも安定したデータが得られたと考えられる。

2) 末梢体温（足先温）の上昇

足先温では65°C スープ摂取後に有意な上昇を認めたが、手先温では試行間で差はなかった。また、65°C スープ摂取後に足先温では約2°Cの上昇が摂取30分後まで持続したのに対し、同時帯の手先温の上昇は約0.5°Cに留まった。温暖な環境下では、手の皮膚温は足の皮膚温より高いことが報告されているとおり^{25, 26)}、本研究においても、足先温より手先温のほうがサンプル摂取前から高かった。以上から、推察となるが、ベースの皮膚温の違いがサンプル摂取後の体温上昇の程度にも影響を及ぼした可能性が考えられる。深部からの熱移動による体温

上昇がなぜ手と足で異なるのかについては、測定姿勢（半仰臥位、手はテーブルの上）も関連していると考えられるが、詳細を検討するためには、今後の血流量測定を伴う追試が必要である。スープ摂取後の足先温の上昇の要因について以下に考察する。

深部体温に比べて、末梢体温は外部環境の影響を受けやすいことが知られている²⁷⁾。ブランク試行（図2C, △）で65分後に足先温が約1°C低下したのは、室温（26°C）の影響分であると考えられる。また、ブランク試行（図2C, △）と37°Cスープ試行（図2C, ○）の足先温の差は、スープ摂取時の味覚刺激²³⁾やその後の消化作用等により生じた食事誘発性体熱産生²⁴⁾による影響分と考えられる。さらに、37°Cスープ試行（図2C, ○）と65°Cスープ試行（図2C, ●）の足先温の差は、65°Cスープの温度そのものによる影響分と考えられる。以上より、本実験における65°Cスープ摂取後の足先温変化には、①室温、②食事誘発性体熱産生、③スープ自体の温度の3要素があり、それぞれを抽出できたと考えられる。

65°Cスープ摂取後の鼓膜温と足先温の変化の特徴に注目すると（図2）、65°Cスープ摂取後には、先に深部体温（鼓膜温）の著明な上昇が起こり、少し遅れて末梢体温（手先温、足先温）が上昇していることが見てとれる。ヒトの体温調節において、深部体温を至適域に保つために、深部体温が上昇すると熱放散反応が起こり、深部体温が低下すると熱産生反応が起こることが知られている²⁸⁾。65°Cスープ摂取後の深部体温上昇により、心臓交感神経の興奮と皮膚交感神経の抑制という反応が起こり、心拍数の増加とともに末梢への血流量が増加したと考えられる²⁹⁾。この熱放散反応が四肢末端の皮膚で起こると、末梢皮膚温が上昇する³⁰⁾。手足の皮膚温は放熱量を反映するとされており³⁰⁾、足先温が65°Cスープ摂取後に2°C以上上昇したことは、深部体温上昇により足部で活発な熱放散が行われたことを示していると考えられる。既報³¹⁾では、運動中に温度の異なる（10°C、37°C、50°C）香水を摂取させると50°C香水で心拍数が最も増加したことから、温刺激の関与が示唆されている。また、50°C香水では皮膚温も有意に上昇しており、心拍数増加による血流量増加の結果、皮膚温が上昇したと考えられている。以上より、本研究での65°Cスープ摂取後の末梢体温上昇は、温刺激で心拍数が増加し血流量が増えたことによると推察される。

若年女性の約半数が、いわゆる“冷え症（性）”と呼ばれる“季節を問わず四肢などに冷え感を自覚する”症状を有しているといわれており³²⁾、この症状と低い末梢体温が関連しているとの報告もある^{25, 27)}。65°Cスープ摂取

後約1時間にわたり認められた足先温の上昇は、一時的にはあるが冷え感の軽減につながるかもしれない。

3. 研究の新規性と限界

温かい飲食物摂取が深部・末梢体温に及ぼす影響について、体温付近温のサンプル摂取と摂取なしとの比較により、経時変化を詳細に検討した研究は調べた限りにおいて僅かであり、本研究の新規性であると考えられる。

一方、研究の限界点として、次の3点が挙げられる。

1点目は、試験サンプルに関する問題である。65°Cスープ摂取時には、やけどをしないよう被験者は息を吹きかけて冷ましながら摂取しており、実際には65°Cより低い温度で摂取したと考えられる。また、65°Cスープは37°Cスープより嗜好得点が高かったため、両スープのpalatability（美味しさ）の差が食事誘発性体熱産生（自律神経系を介した任意的体熱産生）に影響²³⁾した可能性は排除できない。

2点目は、検定法の問題である。本研究では、各測定値変化量について経時変化の分散分析を行い、経時変化のパターンに有意差が認められた場合に時点毎の輪切り検定をBonferroniの補正法で行った。その結果、足先温は20分後、心拍数は15分後で有意差が消失するという連続性のない結果となった。0分（摂取直前）を対照として、どの時点から有意に上昇しどの時点まで続いたかを明らかにするためには、Dunnettの多重比較等を実験計画時に採用することが望ましかったと考える。

3点目は、ヒトを対象としているため、3回の実験を全く同じ心身の条件で実施するのが困難であったという点である。体温は心身の体調や性周期、皮膚温は実験当日の外気温や実験室に来る時の服装などの様々な要因の影響を受けるため、条件を完全にコントロールすることは困難であった。

スープを用いた場合のデータであること、前夜からの絶食状態であること、午前中であること、若年女性を対象としたデータであるといった実験条件下で得られた結果であることから、得られた結果を慎重に解釈し、一般化の際には配慮が必要である。

食品機能の1つとして体温に着目した研究（夏にはより涼しさを感じ、冬にはより温かさを感じる食品や食べ方の探求）を進めるためには、多様なサンプルや異なる室温によるさらなる検証が必要である。

V. 結 論

37°Cスープとの比較から、65°Cスープ摂取後の鼓膜温や足先温の上昇はスープ自体の温度の影響を受けてい

と考えられた。3試行の結果から、飲食物に含まれるエネルギー基質や美味しさなどの要因に加え、飲食物の温度自体も主観的温度感覚や体温に影響を及ぼすことが示唆された。

謝 辞

実験ボランティアの皆様にご心より感謝いたします。

利益相反

- 1) 著者の武田一彦と御堂直樹は、クノール食品株式会社の研究員である。
- 2) 本研究は、クノール食品株式会社からの資金（共同研究費）により実施された。

文 献

- 1) 測上倫子：テキスト食物と栄養科学シリーズ5 調理学, p. 28 (2006) 朝倉書店, 東京
- 2) 経済産業省：電力需要に関する検討会合, http://www.meti.go.jp/earthquake/electricity_supply/0325_electricity_supply.html, (2012年11月18日)
- 3) Ludy, M.J., Mattes, R.D.: The effects of hedonically acceptable red pepper doses on thermogenesis and appetite, *Physiol. Behav.*, **102**, 251–258 (2011)
- 4) 夏野豊樹, 平柳 要：生姜抽出物の経口摂取が冷え性の人のエネルギー消費等に及ぼす効果, *人間工学*, **45**, 236–241 (2009)
- 5) 山田典子, 吉村裕之：若年女性の冷え症に対するローヤルゼリー摂取の改善効果, *日本栄養・食糧学会誌*, **63**, 271–278 (2010)
- 6) 有山 愛, 森 由佳, 稲野美穂, 他：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*, **56**, 628–638 (2009)
- 7) 御堂直樹, 徳永美希, 磯村隆士, 他：摂取するスープの温度が温度感覚, 体温および心拍数に及ぼす影響, *日本食品科学工学会誌*, **59**, 262–267 (2012)
- 8) Imms, F.J., Lighten, A.D.: The cooling effects of a cold drink, *Thermal Physiology 1989* (Mercer, J.B. editor), pp. 135–139 (1989) Elsevier Science, New York
- 9) Daanen, H.A., Van de Linde, F.J., Romet, T.T., et al.: The effect of body temperature on the hunting response of the middle finger skin temperature, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, **76**, 538–543 (1997)
- 10) 森谷敏夫, 林 達也, 榊田 出, 他：安静時および運動負荷時における糖尿病患者の自律神経活動—心拍変動スペクトル解析による比較検討—, 別冊プラクティス 糖尿病の運動療法'94 運動のサイエンスと実践 (日本糖尿病協会療養指導委員会), pp. 78–84 (1994) 医歯薬出版, 東京
- 11) Moritani, T., Hayashi, T., Shinohara, M., et al.: Sympatho-vagal activities of NIDDM patients during exercise as determined by heart rate spectral analysis, *Gucose Fluxes, Exercise and Diabetes* (Kawamori, R., Vranic, M., Horton, E.S., et al., editor), pp. 91–96 (1995) Smith-Gordon, London
- 12) 永井成美, 日比壮信, 山口 亨, 他：視覚的アナログ目盛り (visual analogue scales: VAS) を用いた日本語版食欲質問紙の作成と再現性, 妥当性の検討, *肥満研究*, **18**, 39–51 (2012)
- 13) 永井成美, 山本百希奈, 御堂直樹, 他：スープ摂取後の安堵感の評価と心理的, 生理的要因の検討, *日本栄養・食糧学会誌*, **63**, 279–285 (2010)
- 14) Takumi, H., Fujishima, N., Shiraishi, K. et al.: Effects of alpha-glucosylhesperidin on the peripheral body temperature and autonomic nervous system, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**, 707–715 (2010)
- 15) 大西喜英：赤外線の話：耳式体温計はなぜ売れたか?, 体温のバイオロジ— 体温はなぜ 37°C なのか (山蔭道明), pp. 169–172 (2005) メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京
- 16) 永井成美, 脇坂しおり, 高木絢加, 他：香辛料を含むスープの摂取が胃運動と食欲に及ぼす作用, *栄養学雑誌*, **70**, 17–27 (2012)
- 17) 高木絢加, 山口光枝, 脇坂しおり, 他：若年女性の安静時エネルギー消費量, および中性温度域における体温と温度感覚の変化—日常的な冷え感の有無による2群の比較—, *女性心身医学*, **17**, 193–205 (2012)
- 18) 堀越哲美, 鈴木健次：室内気流と人体, からだと温度の事典 (彼末一之), pp. 357–363 (2010) 朝倉書店, 東京
- 19) PASW® Statistics Base 18, p. 58, <ftp://ftp.soc.uoc.gr/Psycho/spss/spss18.0/Documentation/Japanese/Manuals/PASW%20Statistics%20Base%2018.pdf>, (2013年1月6日)
- 20) Terndrup, T.E., Allegra, J.R., Kealy, J.A.: A comparison of oral, rectal, and tympanic membrane-derived temperature changes after ingestion of liquids and smoking, *Am. J. Emerg. Med.*, **7**, 150–154 (1989)
- 21) Sun, W.M., Houghton, L.A., Read, N.W., et al.: Effect of meal temperature on gastric emptying of liquids in man, *Gut*, **29**, 302–305 (1988)
- 22) 入来正躬：体温生理学テキスト—わかりやすい体温のおはなし—, pp. 25–26 (2003) 文光堂, 東京
- 23) LeBlanc, J., Brondel, L.: Role of palatability on meal-induced thermogenesis in human subjects, *Am. J. Physiol.*, **248**, E333–336 (1985)
- 24) Nielsen, B.: Does diet-induced thermogenesis change the preferred ambient temperature of humans?, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, **56**, 474–478 (1987)
- 25) 高取明正：サーモグラフィによる冷え性の診断の確立, *日本産科婦人科学会雑誌*, **44**, 559–565 (1992)
- 26) 大形一憲, 森 英俊, 西條一止：冬・春季のサーモグラフィによる全身皮膚温分布の検討：高齢者と若年者及びその比較, *医学・生物学サーモロジー*, **23**, 173–180 (2004)
- 27) Nagashima, K., Yoda, T., Yagishita, T., et al.: Thermal regulation and comfort during a mild-cold exposure in young Japanese women complaining of unusual coldness, *J. Appl. Physiol.*, **92**, 1029–1035 (2002)

- 28) 永島 計, 時澤 健: 中枢での温度受容機構, からだと温度の事典 (彼末一之), pp. 5-7 (2010) 朝倉書店, 東京
 - 29) 永井正則: なぜ体温は 37°C か? —恒温性をめぐって, 体温のバイオロジー 体温はなぜ 37°C なのか (山蔭道明), p. 23 (2005) メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京
 - 30) 本間研一: 体温のリズム, 体温のバイオロジー 体温はなぜ 37°C なのか (山蔭道明), pp. 41-46 (2005) メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京
 - 31) Lee, J.K., Shirreffs, S.M.: The influence of drink temperature on thermoregulatory responses during prolonged exercise in a moderate environment, *J. Sports Sci.*, **25**, 975-985 (2007)
 - 32) 中村幸代: 「冷え症」の概念分析, 日本看護科学会誌, **30**, 62-71 (2010)
- (受付: 平成24年11月18日, 受理: 平成25年 2 月10日)

Time Course of Thermal Sensations, and Core and Peripheral Temperatures after Ingestion of Hot Soup

Ayaka Takagi^{*1}, Kazuhiko Takeda^{*2}, Naoki Midoh^{*2}, Naho Komai^{*3},
Mitsue Yamaguchi^{*1} and Narumi Nagai^{*1,*3}

^{*1}Graduate School of Human Science and Environment, University of Hyogo

^{*2}Processed Food Development & Technology Division, Knorr Foods Co., Ltd.

^{*3}School of Human Science and Environment, University of Hyogo

ABSTRACT

Objective: Few studies have investigated the change in body temperature after eating a hot meal. We examined the effects of meal temperature on postprandial thermal sensations, and core and peripheral temperatures using soup samples at different temperatures.

Methods: Twenty young women were studied using preloads consisting of equivalent amounts (150 ml) of soup at 65°C and 37°C, on separate days at 9 am in a randomized order; the control condition involved no soup ingestion. After overnight fast, each subject wore a t-shirt and short pants and thermal sensations, core (eardrum) and peripheral (a fingertip and a toe) temperatures, and heart rate (HR) were measured 10 min before and 65 min after soup ingestion in a temperature-controlled (26°C) room. Palatable score was measured immediately after consumption (from unpalatable [0] to palatable [10]).

Results: The palatable score was significantly higher after 65°C-soup consumption than after 37°C-soup consumption. Postprandial changes in eardrum and toe temperatures, and HR after 65°C-soup consumption were significantly higher than that after 37°C-soup consumption and in the control (Sample effect: $p < 0.05$, Sample $\times$ Time: $p < 0.05$). Post-hoc comparison tests showed that the thermal sensation was significantly higher just after 65°C-soup consumption than after 37°C-soup consumption and in the control; moreover, eardrum (0–20 min) and toe temperatures (0–15 min) were significantly higher after 65°C-soup consumption than after 37°C-soup consumption.

Conclusion: Our results suggest that 65°C-soup ingestion increases eardrum and toe temperatures. Not only the energy content of the substrate and palatability, but also the temperature of meals affects thermal sensations and body temperature.

Jpn. J. Nutr. Diet., **71** (2) 49–58 (2013)

Key words: hot soup, thermal sensation, core temperature, peripheral temperature, heart rate