

令和8年5月8日現在

機関番号：43107

研究種目：基盤C

研究期間：2023～2025

課題番号：23K09520

研究課題名（和文）セルフ唾液腺マッサージの効果を評価する赤外線サーモグラフィー熱画像
指標の開発研究課題名（英文）Development of thermographic image indicators for assessing the
effects of salivary gland self-massage

研究者番号：60256980

研究成果の概要（和文）：本研究では、全データの測定ができた高齢群9名、対照若年群14名を分析対象とした。熱画像は、冷却負荷法による Thermo Shot F20W（口腔外はボックス規格撮影）により得た。咀嚼の有・無群別の経時的変化と温度別ピクセル数分布の比較は InfRec Analyzer NS9500 で実施した。その結果、比較群間で咀嚼の有無による温度回復過程には一元配置分散分析で有意差が認められ、筋運動による局所の血流増加が温度回復に影響していると考えられた。また、ボックス規格撮影での温度別ピクセル数分布の変化では、冷却によりボックス内の大部分は 30℃未満になるが、段階的に低温域が解消し、一度全体が低温にシフトしてから、レンジが狭くなり高温にシフトする温度変化パターンが確認でき、高齢群ではその変化が遅く温度回復も鈍い事が確認できた。高齢者4名に対しては口腔内熱画像の評価も実施したが、冷却負荷解放後の舌、頬粘膜温度の個人差が大きく、対象数も少なかったため評価は困難であるが、マッサージによる体温上昇は確認できた。今回確認できた局所運動による血流の促進は、高齢期の口腔機能の維持に寄与すると推察され、本研究で採用した評価方法は高齢者の機能訓練の評価指標としても活用できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、口腔機能を周囲で支持する顎・頬部の血流動態を、皮膚体温変化から詳細に検討し指標化を試み、その有用性を確認できた。また、社会的な意義としては個人差の大きな高齢期に応用しやすく、オーラルフレイル予防対策にも活用可能な、簡易性の高い機能指標を提示できた。

研究成果の概要（英文）：In previous studies, the applicant proposed new indicators quantified from infrared thermography thermal images and continued verifying the usefulness of the indicators. In the present study, analysis was conducted on nine older subjects and 14 younger(20s) controls for whom all data measurements were obtained. Thermal images were taken with Thermo Shot F20W (box standard for extraoral imaging) using the cooling load method. An InfRec Analyzer NS9500 was used to compare the temporal changes and pixel count distribution by temperature with and without mastication. One-way analysis of variance revealed a significant group difference in the temperature recovery process with and without mastication, suggesting that increased local blood flow due to muscle exercise affects temperature recovery. As for the pattern of changes in pixel count distribution by temperature in box standard imaging, most of the box interior dropped below 30°C with cooling, then the low-temperature zone gradually disappeared and the temperature shifted lower throughout the box momentarily before the range narrowed and shifted to a higher temperature. The images showed that the changes and temperature recovery were slower in older subjects. Assessment by intraoral thermal imaging was also conducted on four older subjects, but it was difficult to perform as there were large individual differences in tongue and buccal mucosa temperature after releasing the cooling load and the sample size was small. Nonetheless, temperature was confirmed to rise with massage. The increase in blood flow with local movement confirmed in this study may be expected to contribute to the maintenance of oral function in old age. This suggests that the assessment method used in the study can potentially be utilized as an evaluation indicator for functional training in older adults.

研究分野：口腔衛生学

キーワード：唾液腺マッサージ、口腔乾燥症、サルコペニア、サーモグラフィー、熱画像評価、

1. 研究開始当初の背景

オーラルフレイルが広く注目されるようになり、歯科領域でも口腔乾燥症や口腔機能低下症の対策が急がれるようになってきた。その理由としては、高齢期の QOL 向上対策の中で食生活の充実が特に重視されていることや、低栄養状態を抑制する必要性が高まり、口腔機能と健康寿命との関連性が明らかになってきたためと考えられる。

要介護認定審査で活用されるチェックリストの質問にも、「半年前に比べて固いものが食べにくくなりましたか」、「口の渇きが気になりますか」といった質問が採用され、多くの市町村の介護予防総合事業で、口腔体操や唾液腺マッサージが口腔機能向上対策として採用されている。

このような状況を受けて、高齢期の口腔機能を客観的かつ簡便に評価可能な検査方法が検討され、口腔機能低下症の医療保険算定要件に挙げられている検査もあるが、その多くはチェアサイドでの利用を想定した臨床的なものが多く、包括的指標として口腔機能低下のスクリーニングや、介護予防での目標設定に向く指標は限られていた。

本研究で採用した冷却負荷サーモグラフィー熱画像測定法は、研究代表者らが口腔周囲の支持機能までを含めた包括的評価を目標に開発した方法である。赤外線サーモグラフィーを活用した機能的検査法は、医科ではすでに神経疾患や循環障害、形成外科、整形外科領域で保険適用となっており、血流や局所機能・活動性の低下を把握する指標として高い有用性が報告されている。特に令和以降の熱画像撮像カメラと評価ソフトの両面的な技術革新は、熱画像の臨床的な価値を著しく高め、従来は不可能だった表層下部も含めた局所血流の循環動態を評価できる簡易な指標として注目されていた。

しかしながら歯科領域でのサーモグラフィー検査の保険適用は無く、研究報告に関しても増崎ら[①]、小松崎の先行研究[②-⑤]の報告等が散見される程度で、口腔機能評価への使用例は狭隘した範囲では他に認められなかった。その一方で、サーモグラフィーは新型コロナウイルス感染症が流行した際の体温観察に使用され、全世界的に爆発的に普及し身近な検査法となった。日本における医療用サーモグラフィーは発熱の有無を簡易に評価できるだけでなく、疾患や障害の他覚的および補助的な評価に有益な診断装置として、開発当初から医療機器指定（クラスⅡ）に該当する機器となっている。本研究では、その簡便性や非侵襲性といった長所を活かし、唾液腺や咬筋など頬部に存在する諸器官の機能的評価が、咀嚼による熱画像の変化から可能かを検証することとした。

口腔機能低下に関するモデル・仮説としては、唾液腺（耳下腺）、咬筋を含む頬部組織の機能が高ければ、冷却負荷後の温度回復は早く、逆に高齢者で喪失歯・処置歯の多い者では局所機能の包括的低下によって温度回復時間が延長すると想定していた。フレイルサイクルを止め、口腔機能低下を抑止するためには、早期から口腔機能維持・回復対策を実施する必要があり、その対象者のスクリーニング法の1つとして、簡便に実施可能な客観的機能指標が必要になると考えられた。本研究により、その有用な基礎資料が得られると推察され、QOLの維持・向上に寄与できる新規指標への発展性と、社会実装への可能性を見込んでいた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、唾液分泌や咀嚼などの口腔機能の加齢による低下状況や、唾液腺マッサージや口腔体操といったレジスタント運動の効果を、頬部体温の変化パターンとの関連性から分析し、赤外線サーモグラフィー熱画像評価システムを中核として用いて、包括的な口腔機能評価システムと新たな機能評価指標を開発することである。

従前からの高齢者の全身機能低下に対する機能補完的手法は、すでに長寿科学研究分野の大きなテーマとなっていたが、その多くは「摂食・咀嚼支援」に主眼が置かれ、唾液腺マッサージ等のレジスタンス運動の機能的効果、慰安的効果の検証は極めて少ない状況となっていた。研究代表者も高齢者の口腔機能向上に向けた介護予防の重要性を強く認識しつつ、「包括的かつ全人的保健医療の推進」の観点から、第三次予防的なアプローチの必要性が新たなテーマとして浮上し先行研究の着想を得たが、その一方で、介護予防総合事業の現場で遭遇する第一次、第二次予防レベルでの対応の必要性も強く認識していた。

本研究では、当初はセルフ唾液腺マッサージ効果の簡便な把握に向け、基本的口腔機能の恒常的維持・向上を目的とした測定を想定していたが、予備測定では温度変化の個人差が対照群でも大きく、最も安定的な温度変化が把握できた咀嚼運動の有無による比較でセルフ唾液腺マッサージ・口腔体操のデータを代替し、外力的マッサージとの差異を今回は検証する事とした。

また、新型コロナパンデミック以降の高齢者の意識の変化は、研究協力者の確保を困難とする影響を生じており、比較的自立高齢者が多い地域茶の間利用者でも対象者の確保は以前よりも格段に困難な状況となっていたが、測定機会を最大化し人数確保を目指した。

このように非常に研究遂行の障害は多い状況ではあったが、予備調査で得られた熱画像から得た基礎データの傾向からも、研究のスコープは適格との蓋然性が確認でき、オーラルフレイルに対する予知性の高い指標となる可能性や、機能訓練の効果確認に応用できる発展性を高めるために、最新の生活支援ロボットや介護予防技術を参考として新規性の担保を重視した。学術的にも先進的技術を導入し、口腔周囲における支持機能の障害を早期に発見、兆候を検出し、即応的に機能低下のアシストや、精神的な慰安に至るまでの全人的なレベルでの支援を、新たな介護予防対策に取り入れることを最終的な到達目標に位置づけている。

3. 研究の方法

(1) 研究対象者と測定期間

本研究の対象者のうち高齢群の者は、新潟県内のN市、S市が実施する介護予防総合事業に参加者と、関東地方に在住する要支援認定の高齢者で、本研究への協力の承諾が得られた57歳以上の成人9名（以下、高齢群とする：男性4名、女性5名：平均年齢72.0±16.2歳）である。

対照群としては、全身および顎口腔に疾患の無い20歳代の研究ボランティア（一般成人および学生等で本研究への協力の承諾が得られた者）合計14名（以下、対照群とする：男性2名、女性12名：平均年齢22.1±3.6歳）の協力を得た。

本研究は断面研究であり、測定の期間は2023年7月～2025年12月とした。熱画像測定を実施するため、測定環境が可及的に一致するように測定場所は本学内と、介護予防事業の現場で、熱画像測定に影響が生じない環境で測定するように配慮した。

対象群の設定と測定データの集計・分析に関しては、図1に示したデータフローのように実施し、全有効データと研究協力承諾が得られた対象者のみを対象として採用した。

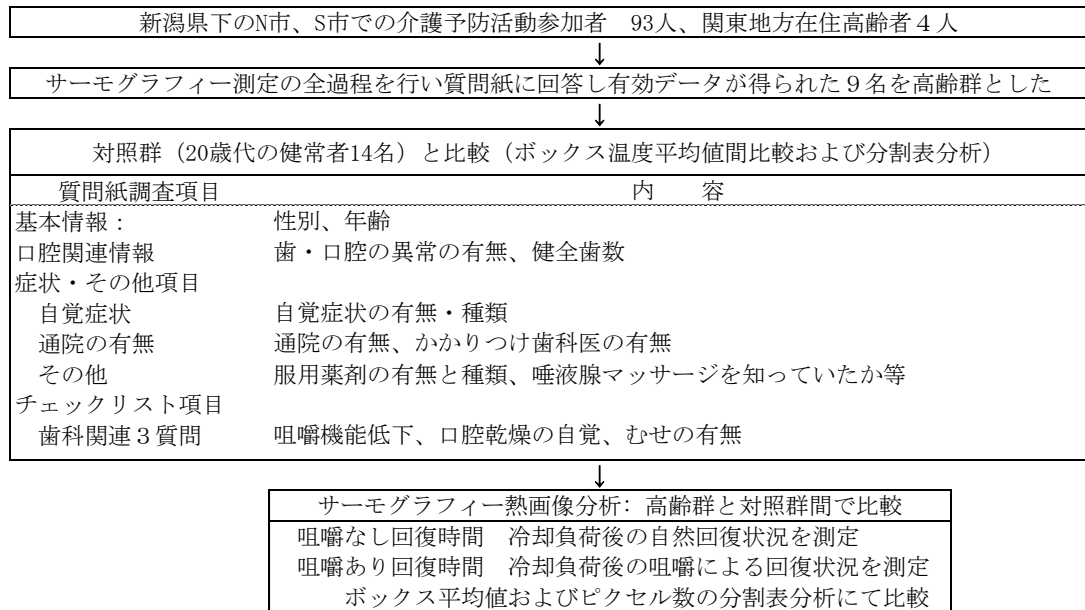


図1 対象者の設定と本研究でのデータフロー

(2) 熱画像の測定方法

熱画像の測定には、図2に示した携帯型サーモグラフィーカメラ Thermo Shot® F20W および、口腔内撮影用には小型カメラプローブを装着した F50 (NEC アビオニクス社：東京) を使用した。熱画像測定の温度レンジは24.0～42.0℃に設定し、温度パレットは12色調段階、放射率は1.0に設定し、評価ソフト (InfRec Analyzer NS9500 Lite、NEC アビオニクス社：東京) のボックス測定機能 (ボックス内の平均温度および温度別ピクセル数比較) での評価が可能のように規格化撮影を実施した (図3)。測定時の対象者の姿勢は背もたれのあるイスに座位とし、フランクフルト平面 (耳珠上縁と眼窩下縁の間を結ぶ線) が床面と並行となるように着座させ、測定モニターを中心と耳珠が一致するように撮影位置を設定した。測定側は問診した結果で、高齢者群では喪失歯や義歯を使用している側とし、対照群では習慣的に咀嚼で使用していない側 (習慣側が無い場合は左側とした) を測定側とした。



図2 Thermo Shot® F20W と F50

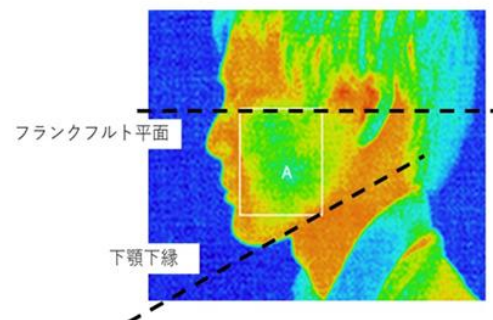


図3 熱画像撮影規格化と測定ボックス設定

測定手順については図4のような流れで①冷却負荷からの咀嚼なしでの自然回復の撮影と②冷却負荷後の試料咀嚼回復の撮影の2回の測定を、レスト時間を挟んで同一日に実施した。冷却負荷は医療用保冷剤（アイスノンピロー、白元：東京）を使用し、測定側頬部に対して頭部が移動しない範囲の圧力で圧接し、20秒間の冷却後ただちに開放し初回測定（撮影）を実施した。その後の測定は30秒間隔で実施し、冷却負荷開放後5分間まで測定した。

咀嚼あり条件での回復過程の測定も20秒間の冷却後ただちに開放し、試料（クラシカルクラッカー®1枚 3.15g：ヤマザキビスケット社：茨城）3枚を順次、咀嚼・嚥下するように指示した。

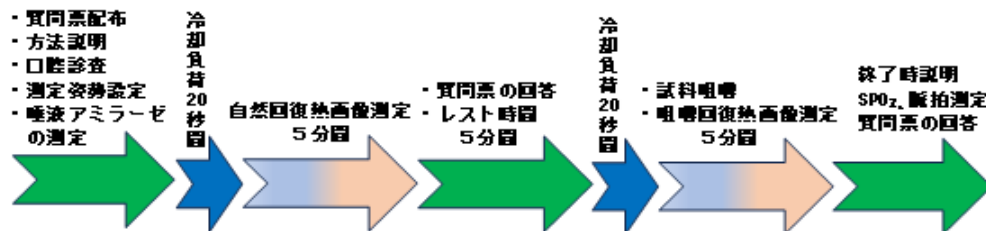


図4 熱画像測定の手順

(3) 口腔診査、質問紙調査および熱画像以外の測定項目

口腔内状況の確認のため、視診型診査法により歯を単位とした口腔診査を実施した。質問紙調査に関しては図1に示した項目について選択肢を用意した自記式回答用紙を会場で配票して調査した。体温変化や局所血流に影響する交感神経の状態をモニターする目的で、測定前に酵素分析装置唾液アミラーゼモニターCM2.1（NIPRO社：東京）により唾液アミラーゼ活性を、脈拍およびSpO₂の値をパルスオキシメーターHP0-300T（オムロン社：東京）で測定し、交感神経興奮状態にないことを確認した。

(4) 熱画像分析の方法と統計処理

測定した熱画像はInfRec Analyzer NS9500 Lite（NECアビオニクス社：東京）のボックス測定機能（ボックス内の平均温度および温度別ピクセル数比較）で、温度ごとのピクセル数を指標化（ボックス平均値および基準値間比較）した。測定ボックス（図3のAで示した領域）を個人単位で指定し、全時間水準の熱画像ピクセル数が同値（設定誤差±20ピクセル以内）となるよう測定した。ボックス内の平均温度、および冷却負荷前の平均温度より高温域、低温域のピクセル数をピクセルヒストグラムから求めて比較した（図5）。

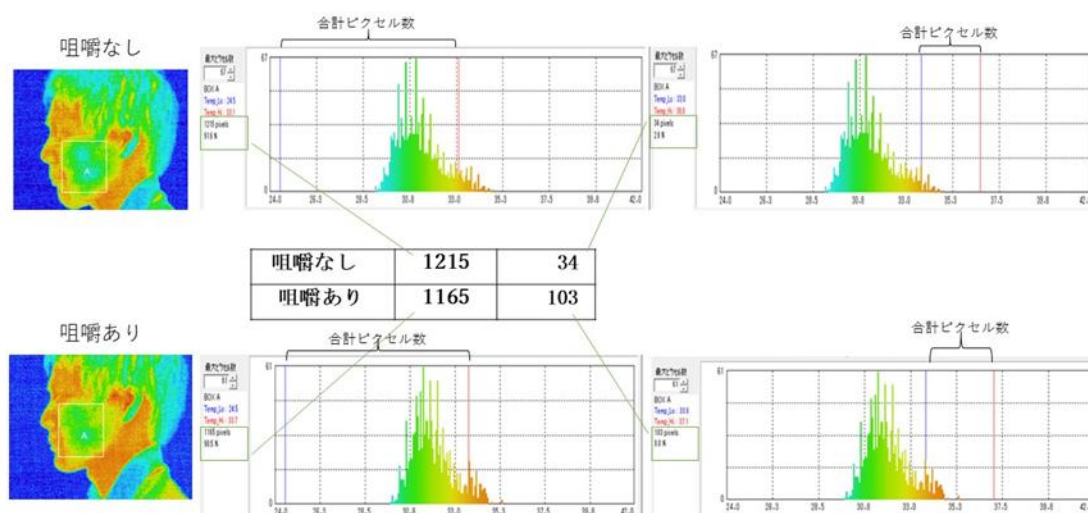


図5 冷却前平均温度以上・未満間でのピクセル数の比較(分割表分析の方法)

統計分析に関しては、高齢群と対照群間の時間水準間の平均値間の多重比較には二元配置分散分析(Bonferroniの多重比較検定)を用い比較した。分割表分析の検定には χ^2 検定を用いた。その他の群間の平均値の比較にはt検定を用いた。集計・分析ソフトには表計算ソフトMicrosoft Excel 2010（日本マイクロソフト社、東京）およびエクセル統計（ベルカブ社：東京）を使用し、統計学的有意水準は $p < 0.05$ とした。

(5) 倫理的配慮および利益相反について

本研究は、高齢者群、対照群ともにヘルシンキ宣言および人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針に準じた倫理的配慮を実施して遂行し、日本歯科大学新潟短期大学倫理審査委員会の承認（承認番号：NDUC-119）を得て実施した。測定予定者には事前に研究内容の説明会を実施し、十分な理解を図った上で研究協力の承諾が得られた者を対象者とした。

COIに関しては、本研究に関して申告すべきCOIはない。



図6 研究代表者による住民講習会での説明と測定体験

4. 研究成果

(1) 対象者（高齢群、対照群）の全身、口腔状況について

表1に対象両群の全身および口腔状況を比較して示した。高齢群の平均年齢は70歳を超えており、全身機能の加齢変化と推察される値は観察されたが有意差が認められる程ではなかった。高齢群の全員が医科に通院し投薬を受けており、その中でも循環動態に影響するβ遮断薬（交感神経のβ受容体への遮断作用により血圧や心拍数などを抑え末梢の血流は抑制）を服用する者が6名確認できた。交感神経の興奮を反映する唾液アミラーゼ値に関しては高齢群で57.3と高値を示し、対照群との間に有意差（ $p < 0.01$ ）が認められた。

口腔状況としては高齢群の1名以外は喪失歯を有しており、現在歯数の最小値は0歯で、健全歯数の平均値は9.8歯だった。健全歯数の平均値は両群間で有意差（ $p < 0.01$ ）が認められた。

表1 高齢群と対象群の全身および口腔状況

| 群別 | 唾液アミラーゼ値 | 脈拍数 | SpO ₂ | 健全歯数 | β遮断薬服用者数 |
|-----|----------|------|------------------|------|----------|
| 高齢群 | 68.8 | 67.3 | 96.3 | 9.8 | 6 |
| 対照群 | 21.9 | 73.6 | 97.6 | 26.9 | 0 |

(** : $p < 0.01$)

(2) サーモグラフィー熱画像の咀嚼の有無別にみた両群間の比較

冷却負荷前の頬部体温の比較では高齢群、対照群ともに32℃台で差は認められなかった。冷却負荷開放以降の各時系列水準の平均値比較を図6に、時系列変化を図7に示した。

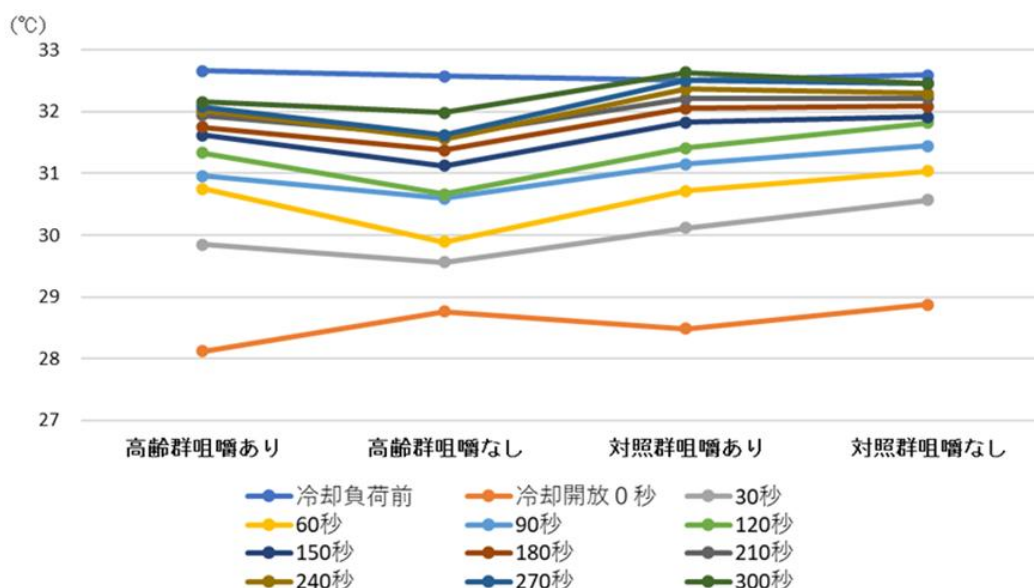


図6 咀嚼の有無別に見た高齢群と対照群の各時間経過水準での平均値の比較

両群ともに頬部体温の分布は 28℃～33℃の範囲で推移しており、全測定条件とも冷却負荷で 29℃以下に低下した後に 31℃付近まで回復速度は早く、咀嚼の有無で回復速度には差異が認められた。咀嚼あり条件の方が 150 秒後までの回復率が高く、240 秒以降に 32℃近くまで回復して以降の回復速度は遅くなる傾向が認められた。

図 7 の時系列変化では、高齢群と対照群の差が明確に確認でき、対照群では咀嚼の有無での差異が 150 秒以降は僅かであるのに対し、高齢群では全時系列水準において咀嚼なしより咀嚼あり条件の方が頬部体温は高く、体温回復効果が大きい。逆に咀嚼なしでの頬部体温回復は遅く、300 秒時点でやっと 32℃前後まで回復していた。

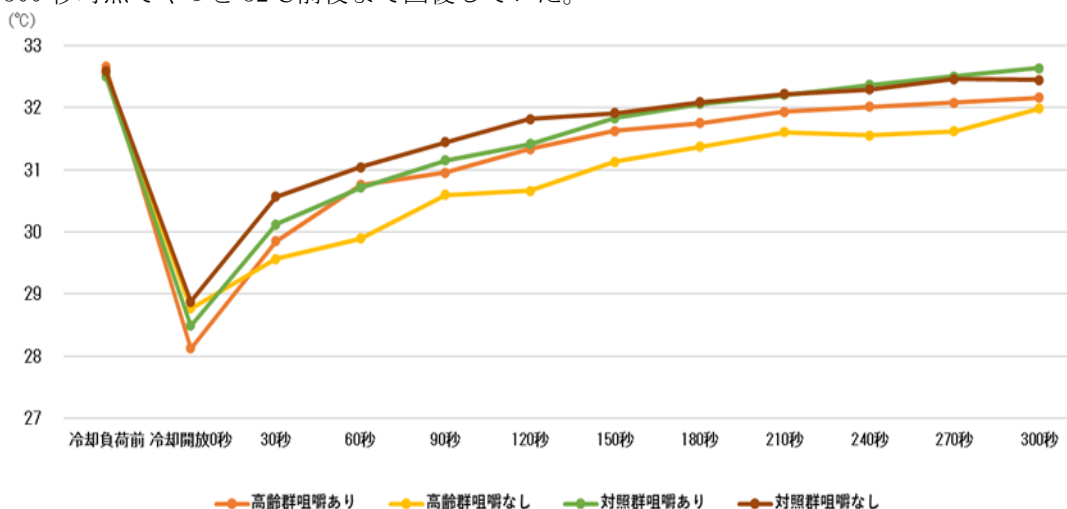


図 7 高齢群、対照群の咀嚼の有無別での温度回復パターンの差異

これらの時系列変化での差異を統計学的に分析するため二元配置分散分析を実施した結果を表 2、表 3 に示した。

表 2 には分散分析表を示した。等分散性検定で等分散性が確認できたことから、二元配置分散分析により因子主効果と交互作用の確認、および水準間の多重比較検定を実施した。

表 2 等分散検定結果および分散分析表

| 等分散性検定 | | | | | | | |
|----------|-------------------|------------------|----------|---------|--------|------------------------------|--|
| バートレット検定 | | 全水準ともに $p > 0.1$ | | 等分散性を確認 | | | |
| 二元配置分散分析 | | | | | | | |
| 因子 | 項目 | 偏差平方和 | 自由度(*補正) | F 値 | P 値 | *: $P < 0.05$ **: $P < 0.01$ | |
| 被験者内因子 | 被験者内因子 | 541.6 | 11 | 188.29 | 0.0001 | ** | |
| | (主効果) | 541.6 | *3.88 | 188.29 | 0.0001 | ** | |
| | 群別 * 被験者内因子(交互作用) | 12.9 | 33 | 1.50 | 0.0402 | * | |
| | 誤差 | 109.3 | 418 | | | | |
| 被験者間因子 | 全体 | 1052.5 | | | | | |
| | 群別 | 30.7 | 3 | 1.33 | 0.2775 | | |

表 2 のように補正自由度でも被験者内因子の主効果は有意 ($p < 0.01$) であり、群別との交互作用も有意 ($p < 0.05$) だったことから、群別・咀嚼条件別で経時的変化は差があると判定できた。群別の主効果 (図 6 の 4 群別条件間の比較結果で有意なものは認められなかった) は確認できなかった。この点に関しては図 7 の経時的変化の推移からも、両群ともに咀嚼の有無に関わらず温度回復パターンは類似しており、固定的な循環障害のようなものを反映した群別での差異は認められなかったと解釈した。

一方、図 7 に示した「群別」の各水準における「被験者内因子」の単純主効果の検定結果は 4 群ともに有意 ($p < 0.01$) となっていた。この結果を受けて 4 群別条件の各水準間で多重比較した結果の一部を表 3 に示した。

高齢群では咀嚼あり群の 60-90 秒間以外の全てで有意差 ($p < 0.01$) が認められた。両群ともに 150 秒と、それ以降の水準との間の比較で一部 (対照群咀嚼ない条件の 210 秒以降) に有意差が認められない組み合わせもあったが、大部分の水準間の比較では有意差が確認できた。

高齢群では咀嚼あり群の 60-90 秒間で差が認められなかった点は、やはり高齢者の頬部の血流の低下を反映した温度回復の立ち上がりの悪さを把握している可能性が示唆された。先行研究での知見から冷却負荷時間を 30 秒から 20 秒に短縮したが、これは高齢者の冷えすぎを防ぎ開放後の温度回復時間差の把握には最適な冷却時間であると考えられた。

表 3 高齢群の咀嚼有無別の各水準（抜粋）における多重比較検定の結果

| Bonferroni | 群咀嚼有無別 | 水準1 | 水準2 | 平均1 | 平均2 | 平均差 | 標準誤差 | p値 | ***:P<0.01 |
|------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|------------|
| 高齢群咀嚼あり | 冷却開放〇秒 | 30秒 | 30秒 | 28.12 | 29.85 | 1.72 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 60秒 | 60秒 | 28.12 | 30.76 | 2.63 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 90秒 | 90秒 | 28.12 | 30.96 | 2.83 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 120秒 | 120秒 | 28.12 | 31.34 | 3.21 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 150秒 | 150秒 | 28.12 | 31.62 | 3.50 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 180秒 | 180秒 | 28.12 | 31.75 | 3.63 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 210秒 | 210秒 | 28.12 | 31.94 | 3.81 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 240秒 | 240秒 | 28.12 | 32.02 | 3.89 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 270秒 | 270秒 | 28.12 | 32.08 | 3.95 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | | 300秒 | 300秒 | 28.12 | 32.16 | 4.04 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 60秒 | 90秒 | 30.76 | 30.96 | 0.20 | 0.11 | 1.00 | | |
| | | 120秒 | 30.76 | 31.34 | 0.58 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 150秒 | 30.76 | 31.62 | 0.87 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 180秒 | 30.76 | 31.75 | 1.00 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 210秒 | 30.76 | 31.94 | 1.18 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 240秒 | 30.76 | 32.02 | 1.26 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 270秒 | 30.76 | 32.08 | 1.32 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 300秒 | 30.76 | 32.16 | 1.41 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| 高齢群咀嚼なし | | 冷却開放〇秒 | 30秒 | 30秒 | 28.77 | 29.56 | 0.79 | 0.11 | p<0.001 |
| | 60秒 | | 60秒 | 28.77 | 29.89 | 1.12 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 90秒 | | 90秒 | 28.77 | 30.59 | 1.83 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 120秒 | | 120秒 | 28.77 | 30.66 | 1.90 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 150秒 | | 150秒 | 28.77 | 31.13 | 2.36 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 180秒 | | 180秒 | 28.77 | 31.37 | 2.61 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 210秒 | | 210秒 | 28.77 | 31.61 | 2.84 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 240秒 | | 240秒 | 28.77 | 31.56 | 2.79 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 270秒 | | 270秒 | 28.77 | 31.62 | 2.85 | 0.11 | p<0.001 | ** |
| | 300秒 | | 28.77 | 31.98 | 3.22 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | 60秒 | 90秒 | 29.89 | 30.59 | 0.70 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 120秒 | 29.89 | 30.66 | 0.77 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 150秒 | 29.89 | 31.13 | 1.24 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 180秒 | 29.89 | 31.37 | 1.48 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 210秒 | 29.89 | 31.61 | 1.72 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 240秒 | 29.89 | 31.56 | 1.67 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 270秒 | 29.89 | 31.62 | 1.73 | 0.11 | p<0.001 | ** | |
| | | 300秒 | 29.89 | 31.98 | 2.09 | 0.11 | p<0.001 | ** | |

(3) 分割表分析による各水準でのピクセル数割合の比較

各水準の冷却負荷前の平均温度を基準として、図5のように咀嚼有無別で高温域、低温域に区分したピクセル数をピクセルヒストグラムから求め比較した結果を表4に示した。

また、冷却負荷後の温度別ピクセルヒストグラムの対照群での典型的な推移の例を図8に示した。30秒ごとに追うことで温度分布が全体として高温にシフトする過程が観察でき、120秒後以降は温度分布の集中性が高くなる傾向も観察できた。

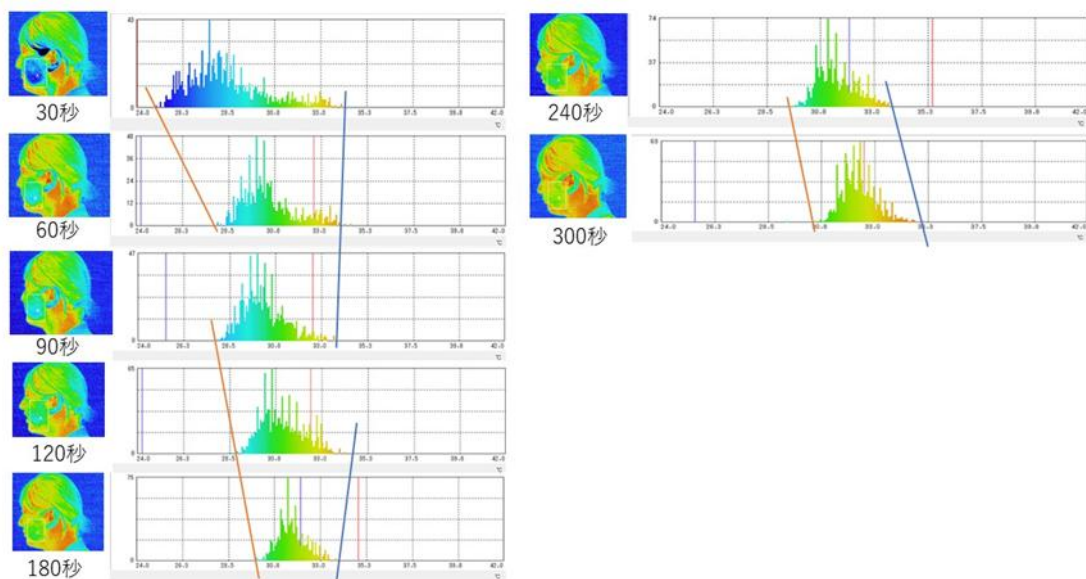


図 8 温度別ピクセル数ヒストグラムの時系列推移の例

表 4 分割表分析（咀嚼有無でのピクセル数比較）で有意差が確認できた時系列水準

| 比較群 | χ^2 検定結果 | 冷却負荷前 | 冷却開放0秒 | 30秒 | 60秒 | 120秒 | 180秒 | 240秒 | 300秒 |
|-----------|---------------|-------|--------|-----|-----|------|------|------|------|
| 高齢群(n=9) | p<0.01 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 6 |
| | p<0.05 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| 対照群(n=14) | p<0.01 | 3 | 9 | 10 | 12 | 10 | 13 | 11 | 13 |
| | p<0.05 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

分割表は2×2表で構成されており、咀嚼の有無によって回復速度に差異が生じた場合には咀嚼の有無間のピクセル数には差が認められた。全水準で有意差が認められた対象者があったが、二元配置分散分析の結果と同様に多くの水準で有意差が認められた。この結果から咀嚼群、対照群ともにボックス内のピクセル分布は段階的に回復するが、その速度は冷却解放後の時間によって変化すると考えられた。

また、最終測定である5分（300秒）の段階でも有意差が認められた組合せが多くあり、冷却負荷の差異の影響（高齢者では冷えすぎの可能性）がデータに反映された可能性がある。冷却負荷前の段階で有意差が認められた者が両群ともに存在した点は、レスト時間（5分）が対象者によって完全に通常体温にまで回復するには短かった可能性があるが、平均値間では有意差は認められなかった点から冷却負荷に関してデータ推移に影響するような問題は無かったと思われる。

（4）質問紙調査の結果について

表5には質問紙調査の結果について、両群別の回答率を示した。介護保険申請で用いられるチェックリストの歯科関連3項目の質問に関しては、対照群では「ある」と回答した者は無く、高齢群では3質問とも「はい」と回答する者が少数であるが確認できた。

表5 群別にみた質問紙調査結果の比較（回答者率の比較）

| 質問 | 高齢群 | 対照群 | p値(χ^2 検定) |
|-------------------------|---------|----------|------------------|
| チェックリスト項目) | | | |
| 半年前に比べ固いものが食べにくくなりましたか | 1(11.1) | 0(0.0) | 0.14 |
| 口の渴きが気になりますか | 4(44.4) | 0(0.0) | 0.18 |
| お茶や汁物でむせる事がありますか | 3(33.3) | 0(0.0) | 0.18 |
| その他項目) | | | |
| お口のおいが気になるようになった | 2(22.2) | 0(0.0) | 0.18 |
| 唾液腺マッサージという言葉を知っていますか | 3(33.3) | 13(92.9) | 0.04* |
| 定期的に通院する歯科医院はありますか | 4(44.4) | 7(50.0) | 0.75 |
| 試験食品の咀嚼に関する項目) | | | |
| 唾液が出て水なしでも食べられる感じでしたか | 6(66.6) | 13(92.9) | 0.59 |
| クラッカーは水なしでは食べにくいと思いましたが | 7(77.7) | 3(21.4) | 0.08 |

(回答数(%), *:p<0.05)

群間で回答率に有意差が認められた質問は「唾液腺マッサージという言葉を知っていますか」のみだった。試験食品のクラシカルクラッカー®に関して、「クラッカーは水なしでは食べにくいと思いましたが」の回答率は高齢群で7名（77.7%）が「はい」と回答しており、有意差は認められなかったが（p=0.08）対照群の3名（21.4%）に比べ高い傾向が観察され、乾燥した食品で唾液が十分に分泌されないと咀嚼しにくいと感じる食品の摂取に影響が出ている可能性がある。

本研究では高齢群の対象者数が少なく、質問紙調査での結果（回答率）も低い項目が多かったため、質問紙調査結果で群別しての比較は実施できなかった。ただし、チェックリストの3質問で「はい」との回答があった者（6名）の頬部温度変化を確認したところ、有意差は認められなかったが相対的に低温（31℃未満）で推移している時間が長い者が多い傾向が認められた。

（5）口腔内の熱画像の傾向

高齢者4名に対しては口腔内熱画像の評価も実施したが、冷却負荷解放後の舌、頬粘膜温度の個人差が大きく、対象数も少なかったため評価は困難であるが、頬部マッサージによる口腔内温度（頬粘膜中央部でマッサージによる機械的影響が及んだと推測される部位での変化）の上昇は全員で確認できた。口腔内は冷水での冷却負荷で測定を実施したが、不可解放後の温度上昇は早く、また口角拘の挿入が困難な者が多く定時的な測定は困難であったことから、口腔内熱画像の測

定に際しては専用の測定治具を準備するなどの工夫が必要と考えられた。

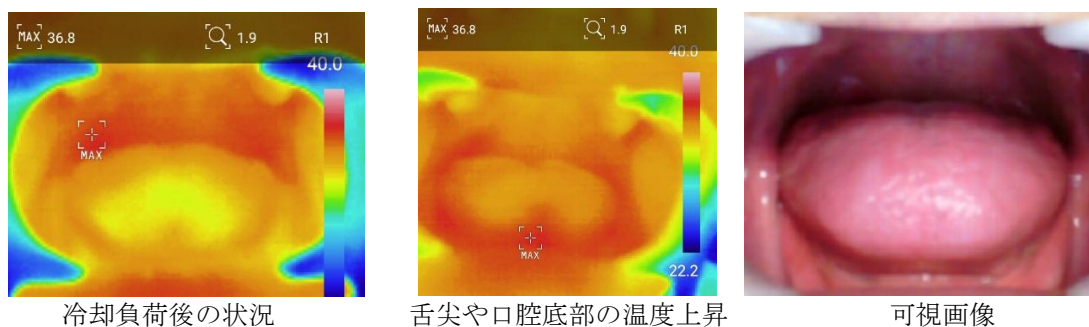


図9 無歯顎者での冷水による冷却負荷法の試行

(6) 結果の総括および考察

本研究の結果から、高齢者の咀嚼機能を反映した頬部体温の変化を確認できた。高齢者では平均体温が 0.2°C 以上低いとの報告があり、その理由としては筋肉量の低下や、脂肪量の増加、活動性の低下に伴う代謝の低下などが関係していると考えられているが、体温低下に至る明確なエビデンスは確立していない。人間は体温を一定に保つ生理機構が機能しており、調節手段には自律的体温調節と行動性体温調節の2つの方法があり、これらの調節には視床下部が関与しているが、生体防御にも深く関わる生理機能の1つである。

赤外線サーモグラフィーは、物体から放射される赤外線(主に $5\sim 10\mu\text{m}$ の波長の電磁波)を検知し、温度分布を表した画像や映像、またはその画像を取得する装置を指す。サーモカメラは、熱画像を映し出して可視化するシステムを搭載するカメラのことで、多くの場合は高温域を赤や黄色に、低温部分を緑や青く表出する。現在使用されている機材の多くはパーソナルコンピュータに接続して熱画像解析ソフトを用いて分析する機種が主流となっており、その一部は医療用診断装置として医療機器指定(クラスII)の指定を受けているものもある。赤外線サーモグラフィー熱画像の詳細な分析に際しては、放射率と撮影条件の設定が重要とされている。赤外線の放射率は測定する物体の特徴(組成や表面状態、色など)によって異なるため、測定誤差を小さくするため適正な放射率を実施する。本研究では製造元が公表する常温の人体皮膚(0.98)を参考に1.00の設定で測定を実施した。頬部の皮膚温に影響を与える環境因子にも着目する必要があるが、頬部体温測定は必ず空調設備のある室内で行い、室温は $26.0\sim 28.0^{\circ}\text{C}$ に設定し、日照や気流の影響が無いことを事前に確認し測定した。

対象群の熱画像測定を先行して実施し、測定間隔は30秒間、測定時間は分に設定して温度回復過程を把握できると確認して高齢者群の測定を実施したが、高齢者においては温度回復に時間を要する例もあり、熱画像測定タスクに関しては高齢者を対象として再考する余地があると考えられた。測定レンジに関しては 24°C から 42°C での測定で温度変化の色調表現を適正に実施できた。

本研究では高齢群の対象数を十分に確保できず、このため、他の項目や質問紙調査での群別での比較は不可能だった。特に事前に影響が予測された服用薬剤の影響に関しては、対象の高齢者の多くが複数の薬剤の処方を受けており、末梢血流に影響する薬剤の服用者も多かった。服用する薬剤によっては口腔乾燥や唾液分泌機能低下などが現れることがある。高齢群の中で β 遮断薬を服用している者が5名確認できた。 β 遮断薬は血流を抑制するため頬部体温の上昇を妨げた可能性が示唆された。

一方、咀嚼の有無による差異に関しては、対象群との違いを確認することができた。試験食品に使用したクラシカルクラッカー®は乾燥した破片化しやすい層状構造の柔らかい食品であり、唾液の分泌が悪いと噛みにくい食品である。今回の高齢測定者のうち、中断し水を飲んだ者は1名(測定中断したためデータには含まれていない)のみで、水分がない(唾液の分泌が悪い)と咀嚼に影響があるようなものを使用したため、実際に「噛みにくい」と評価する者もあり、今後は咀嚼と唾液分泌能との関連を評価する場面で使用しやすい試験食品と考えられた。

咀嚼の自己評価は市町村が実施する口腔機能向上事業(総合事業)の対象者のスクリーニングにも活用されている。近年の歯科疾患実態調査において現在歯数は増加しているが、咀嚼支持機能面の問題からオーラルフレイルやサルコペニアといった新たな障害が生じている。フレイルの状態は「可逆的」であり、早期に発見し適切な機能訓練を行うことにより改善が可能な状態である。口腔機能は様々な機能が複合的に作用しており、1つの機能が低下してもその他の機能で代償されるため、機能低下は表出しにくいと考えられる。

しかし、機能低下が進行すれば機能障害として様々な問題を生じる。近年医療保険に病名として加えられた口腔機能低下症は、7項目の評価から早期診断を図るものであり口腔機能の維持に

着目した基準といえる。筋肉の力や巧緻性、口腔環境や唾液分泌といった咀嚼に必要な支持機能の複合指標となっている。基本的に受診患者を想定しているため、すでに機能低下を生じている者の臨床的評価を目的にしたものであるが、客観的な指標が多いため、一般市民を対象とした口腔機能向上事業において活用できる可能性もある。

本研究で使用した冷却負荷法サーモグラフィー熱画像評価についても、簡便な方法で機能低下を評価できる点で集団を対象とした活用に向いており、機能訓練の目標設定に活用できる可能性も含め、今後もその有用性を評価・検討するべきと考えられた。

実際に本研究での熱画像の評価結果から明らかとなった高齢群での温度回復の遅延は、頬部の咬筋や唾液腺部の血流の低下を反映している可能性があり、口腔体操や咀嚼訓練、唾液腺マッサージといった機能訓練の効果測定も含めて、今後も継続的に検討するべきと考えられた。

本課題の限界については、少人数の対象者での断面調査の結果であり、因果関係の検証や外的妥当性の検証は困難である。

また、予期しない未知の交絡因子の影響をデータが受けている可能性がある。調査項目の中には主観的評価、質問紙調査も設定されており、バイアスの影響や適切な調査項目が適用されていない可能性がある。これらの問題点を克服するためにも、引続き多面的な分析を多数の対象者に実施する必要があり、咀嚼機能や口腔の運動、機械的マッサージと体温変化との関連性を包括的に明らかにして行く必要がある。

〈引用文献〉

- ① 増崎雅一、兒野喜穂、岸 廣彦、岸澤 豊、関口裕子、下尾嘉昭、真島一彦：歯科口腔外科領域におけるサーモグラフィー検査の有用性について、日本口腔外科学会雑誌, 46(13), 981, 2000.
- ② 煤賀美緒、小松崎 明、菊地ひとみ、元井志保、宮崎晶子、三富純子、小野幸絵、鴨田剛司：咀嚼による頭頸部血流量の増加を赤外線サーモグラフィーで定量的に評価できるか？、口腔衛生学会雑誌, 72(1), 60. 2022.
- ③ 小松崎 明、、小野幸絵、横井康乃、大滝達也：新潟県産クマ笹エキスを配合した唾液腺マッサージクリームの開発（第2報）、口腔衛生学会雑誌, 72(1), 60. 2022.
- ④ T. Endo, A. Komatsuzaki, Y. Miyagawa, T. Kamoda, S. Goto, K. Koide, M. Mizutani: Thermographic assessment of facial temperature in patients undergoing orthognathic surgery, J Oral Sci. 61(2), 321-326, 2019.
- ⑤ 浅川明璃、貝沼花音、小松崎 明：咀嚼による頬部の発熱量測定方法の検討：口腔衛生学雑誌, 75, 186, 2025.