

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K18593

研究課題名（和文）深層学習による画像認識技術を応用した舌評価法の開発

研究課題名（英文）Development of tongue evaluation method using image recognition by deep learning

研究代表者

大川 純平（Okawa, Jumpei）

新潟大学・医歯学系・助教

研究者番号：10846041

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：舌苔の付着や舌粘膜の湿潤度の低下は、口腔機能の低下を引き起こす可能性がある。これらは舌表層から評価できるにもかかわらず、その診査には専門的な知識や装置を要する。現在、深層学習による画像認識技術は医療機器においても応用されている。そこで、舌の写真に対し画像認識技術を適用することで、口腔内診査に応用できないかと考えた。

高齢者の舌の写真撮影を行い、歯科医師あるいは検査機器から得られた舌苔の付着および舌粘膜の乾燥度のデータをもとに深層学習を行い、これらの推定モデルを生成した。本研究で得られた推定モデルから、舌の画像認識技術による舌苔の付着や舌粘膜の乾燥度の評価の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

口腔機能の低下は、フレイルの主な原因である低栄養やサルコペニアを引き起こす。口腔衛生状態の不良による舌苔の付着や口腔乾燥による舌粘膜の湿潤度の低下は、口腔機能の低下を引き起こすことから、口腔機能低下症の診断基準の1つにもなっている。口腔機能が低下している者は、特に高齢者において在宅介護および施設入居、入院患者まで広く存在すると考えられる。

本研究より、舌の写真撮影から舌苔の付着や舌粘膜の湿潤度などの舌機能の評価が「だれでも・どこでも・簡単に」実施可能となる。さらに、評価に基づいた口腔ケアやリハビリ計画の決定に貢献できるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：Tongue coating and tongue dryness may cause oral hypofunction, which can be evaluated from the tongue surface. However, a simple objective and detailed method for examining the status of tongue has not been established. Image recognition technology based on deep learning is applied to medical examinations. Therefore, we hypothesized that applying the image recognition to photographs of the tongue could be applied to examinations for tongue.

The tongue image of the older people was photographed, and the data of the tongue coating and the tongue dryness were obtained by dentists or examination equipment. Deep learning was performed to generate image recognition model to estimate the tongue status. The image recognition model could estimate the tongue coating status and the degree of tongue dryness.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：舌苔 口腔乾燥 Tongue Coating Index 画像認識 深層学習

1. 研究開始当初の背景

口腔機能の低下は、フレイルの主な原因である低栄養やサルコペニアを引き起こす。特に、舌は「咀嚼・嚥下・構音」などの口腔機能において重要な役割を担っており、口腔衛生状態の不良による舌苔の付着や口腔乾燥による舌粘膜の湿潤度の低下は、口腔機能低下症の診断基準の1つとなっている。口腔機能が低下している者は、特に高齢者において在宅介護および施設入居、入院患者まで広く存在すると考えられるが、舌苔の付着や湿潤度は舌表層から評価できるにもかかわらず、その診査には専門的な知識や装置を要するのが現状である。

現在、深層学習による画像認識技術はスマートフォンやカメラにおける顔認識や、CTやMRIのような医療機器における画像解析にも広く応用されている。そこで、舌から得られる多様な情報に画像認識技術を適用することで、口腔内診査に応用できないかと考えた。写真から舌の範囲を自動的に切り抜く画像認識アルゴリズムの開発にはすでに成功しており、このアルゴリズムを応用することで、詳細な舌の画像認識技術への発展ができ、舌苔の付着や舌粘膜の乾燥度の評価が可能ではないかと考えた。

2. 研究の目的

舌の写真を画像認識することにより、簡便かつ信頼性の高い包括的な舌機能評価法の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、舌苔付着および舌粘膜の湿潤度の画像認識技術を確立するため、高齢者における舌の画像データを収集し、深層学習による画像認識ネットワークの生成と精度検証を行った。画像認識ネットワークには、(1) 舌検出ネットワークと(2) 舌苔の推定ネットワーク、(3) 舌乾燥の推定ネットワークの3つを生成した。

(1) 舌検出ネットワーク

参加者数は、251名（女性178名、男性73名、 74.7 ± 6.6 歳）であった。舌の画像は、デジタルカメラ（アイスペシャルC-II、松風）を用いて、参加者の舌を突出させた状態で1枚ずつ撮影した。各被験者の撮影は、異なる2日間で測定した。2日の撮影のうち、1日のみ参加した参加者がいたため、収集された画像の合計は、443枚となった。

443枚の写真データに対して、写真中の舌を含む1つの矩形のエリア（バウンディングボックス）を学習領域として設定した（図1A）。443枚のうち70%となる310枚を学習のためのデータ、30%となる133枚を精度検証のためのデータとした。物体検出ネットワークとして You-Only-Look-Once (YOLO) v2 を用い、事前学習済みネットワークに対する転移学習を行った。

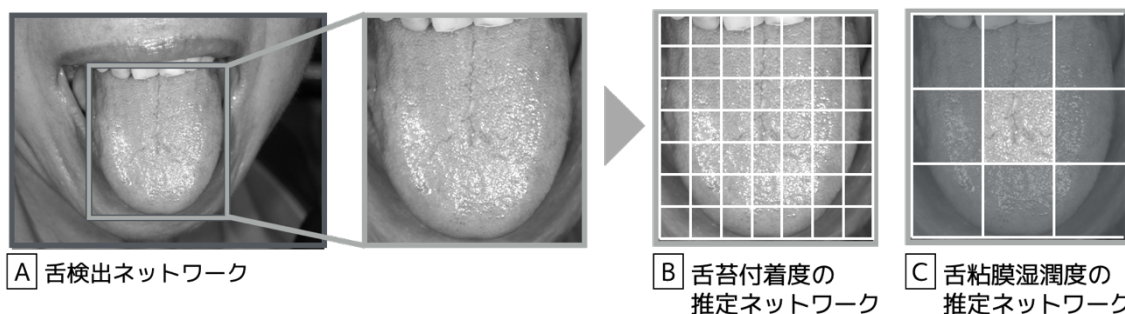


図1. 舌検出ネットワーク(A)、舌苔付着度の推定ネットワーク(B)、舌粘膜の湿潤度の推定ネットワーク(C)のそれぞれにおける学習の対象エリア。

精度の評価は、精度検証のためのデータに対して舌範囲の検出を行い、得られた Intersection over Union (IoU)を算出することにより行った。IoUは、適切なバウンディングボックスとネットワークが推定したバウンディングボックスとの重なりを示したものであり、1に近いほど高い精度となる。さらに、IoU 閾値を 0.50 および 0.75 とした適合率 (Precision) および再現率 (Recall) から描記した Precision-Recall 曲線をそれぞれ作成し、その曲線下面積から平均適合率を算出した。

(2) 舌苔付着度の推定ネットワーク

参加者数は、(1) 舌検出ネットワークで対象となったもののうち、134名(女性83名、男性61名、73.8±7.3歳)とした。収集された画像の合計は、215枚となった。

学習データとして97名157枚、精度検証データとして37名58枚に設定した。各データ間で同一人物は含まなかった。(1)で生成した舌検出ネットワークを適用し、それぞれの画像に対して舌の矩形範囲を検出して、さらに7×7=49 エリアを設定して画像を切り抜いた。これにより、学習データに157枚×49 エリア=7693枚、精度検証データに58枚×49 エリア=2842枚の画像を生成した(図1B)。

舌苔付着度の評価者として高齢者歯科を専門とする歯科医師5名が、すべてのエリアに対して舌苔付着度の評価を行った。はじめに、評価者は、各エリアを舌か舌以外かの2つに分けた。舌以外は、エリア内の舌の占める割合が2/3以下のものと定義し、評価者1名以上が舌以外としたものを「舌以外のエリア」とした。次に、舌と分類されたエリアに対し、Tongue Coating Indexにおける舌苔付着度の評価指標をもとに、各エリアの舌苔付着度を3段階(0, 1, 2)で評価した。その後、評価者5名の平均値をもとに各エリアの舌苔付着度を以下の5段階に細分化した: score 0, <0.4; score 1, <0.8; score 2, <1.2; score 3, <1.6; score 4, ≤2; 右辺は平均値。以上の評価をもとに、各エリアに対して「舌以外」あるいは舌苔付着度5段階の合計6種類のラベル付けを行い、舌苔の推定ネットワークの学習を行った。学習は、画像認識ネットワークとして事前学習済みネットワークに対する転移学習を行なった。

精度の評価には精度検証データを使用し、評価者から得られた5段階評価と舌苔の推定ネットワークとの一致度として、舌もしくは舌以外の分類については、重み付けなしカップ係数を算出した。舌と分類された各エリアにおける5段階の舌苔付着度については、2次重み付けカップ係数を算出した。次に、得られた各エリアの舌苔付着度から、以下の式より TCI を算出した: 次に、得られた各エリアの舌苔付着度から、以下の式を用いて TCI を算出した。

$$TCI = \frac{\text{score 1 の数} \times 1 + \text{score 2 の数} \times 2 + \text{score 3 の数} \times 3 + \text{score 4 の数} \times 4}{\text{score 0~4 の数} \times 4} \times 100 [\%]$$

分子は得られたスコアの合計値、分母は取りうる最大のスコアとなる。評価者の評価および舌苔付着度ネットワークから算出した TCI について、級内相関係数 ICC(2,1)を算出した。

(3) 舌粘膜の湿潤度の推定ネットワーク

参加者数は、184名(女性139名、男性45名、73.0±6.4歳)とした。舌粘膜の湿潤度の評価として、口腔水分計(ムーカス、ライフ)を使用し、舌先端から10mmの舌背中央となる位置で舌粘膜の湿潤度を計測した。得られた舌粘膜の湿潤度が27未満の時、口腔乾燥と診断された。また、収集された画像の合計は362枚であった。

学習データとして147名304枚、精度検証データとして37名58枚に設定した。各データ間で同一人物は含まなかった。(1)で生成した舌検出ネットワークを適用し、それぞれの画像に対して舌の矩形範囲を検出して、さらに3×3=9 エリアを設定し、画像を切り抜き、その中央

の画像1枚を使用した(図1C)。それぞれの舌の画像について、舌粘膜の湿潤度の測定値より、口腔乾燥の有りおよび無しの2つのラベル付けを行った。学習は、画像認識ネットワークとして事前学習済みネットワークに対する転移学習を行い、特徴量を抽出するモデルを生成した。そのモデルを使用して、画像から抽出された特徴量にサポートベクタマシンを適応し、舌粘膜の湿潤度を推定した。

精度の評価には精度検証データを使用し、口腔水分計から得られた舌粘膜の湿潤度および推定ネットワークから算出した舌粘膜の湿潤度について、級内相関係数 ICC(2,1)を算出した。

4. 研究成果

(1) 舌検出ネットワークの精度

精度検証データの133枚のうち1枚のみ、舌が検出されなかった。舌の検出されなかった写真は、舌の写真に占める範囲がテストデータの中で最も小さいものであり、その範囲は写真の約10%であった。テストデータにおいて算出された平均IoUは 0.885 ± 0.080 であり、 $IoU=0.50$ および $IoU=0.75$ を閾値とした平均適合率は、それぞれ0.985および0.932(1が最大値)であった。

(2) 舌苔付着度の推定ネットワークの精度

評価者による評価とネットワークにより識別されたスコアとの混同行列を図2に示す。舌/舌以外の一致度は、重み付けなしカッパ係数 $\kappa=0.88$ と高い一致を示した。また、舌と分類された各エリアにおける5段階の舌苔付着度の一致度は、2次重み付けカッパ係数 $\kappa=0.83$ となり、高い一致を示した。

舌以外	19	3	1	1	0	1567
4	0	0	1	66	125	12
3	0	5	45	129	65	14
2	3	43	112	86	11	11
1	40	124	46	13	5	36
0	143	53	6	2	1	54
	0	1	2	3	4	舌以外
	推定されたスコア					

図2. 舌苔スコアの混同行列

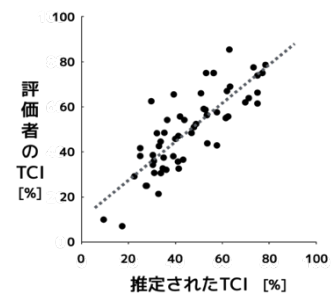


図3. TCIの相関

評価者およびネットワークにより算出されたTCIの級内相関係数 $r=0.81$ であった(図3)。

(3) 舌粘膜湿潤度の推定ネットワークの精度

口腔水分計から得られた舌粘膜の湿潤度と推定ネットワークから算出した舌粘膜の湿潤度との、級内相関係数は $r=0.31$ であった(図4)。

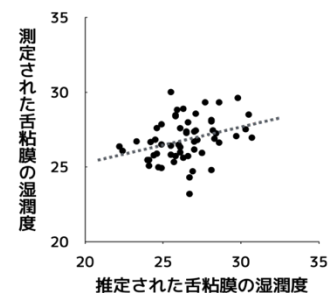


図4. 舌粘膜湿潤度の相関

以上より、撮影された舌の写真に対し深層学習による画像認識技術を用いることで、舌の自動検出と詳細な舌苔の付着および舌粘膜の乾燥度の評価を行える可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kodama Shohei, Fujiwara Shigehiro, Okawa Jumpei, Shitara Satoko, Hori Kazuhiro, Ono Takahiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Modulation of tongue motion and tongue pressure during liquid swallowing with different bolus volumes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oral Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 1243 ~ 1251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/joor.13248	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujiwara Shigehiro, Hori Kazuhiro, Shitara Satoko, Okawa Jumpei, Kodama Shohei, Murakami Kazuhiro, Ono Takahiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Effect of hard gummy candy chewing on masticatory function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oral Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 909 ~ 915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/joor.13208	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Kazuhiro, Tokuda Yoshitsugu, Hori Kazuhiro, Minagi Yoshitomo, Uehara Fumiko, Okawa Jumpei, Ishihara Sayaka, Nakauma Makoto, Funami Takahiro, Maeda Yoshinobu, Ikebe Kazunori, Ono Takahiro	4. 巻 52
2. 論文標題 Effect of fracture properties of gels on tongue pressure during different phases of squeezing and swallowing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Texture Studies	6. 最初と最後の頁 303 ~ 313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jtxs.12593	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okawa Jumpei, Hori Kazuhiro, Yoshimoto Tasuku, Salazar Simonne E., Ono Takahiro	4. 巻 8
2. 論文標題 Higher Masticatory Performance and Higher Number of Chewing Strokes Increase Retronasal Aroma	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Nutrition	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnut.2021.623507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hori Kazuhiro, Uehara Fumiko, Yamaga Yoshio, Yoshimura Shogo, Okawa Jumpei, Tanimura Motoki, Ono Takahiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Reliability of a novel wearable device to measure chewing frequency	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontic Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2186/jpr.JPR_D_20_00032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Jumpei Okawa, Kazuhiro Hori, Tasuku Yoshimoto, Takahiro Ono
2. 発表標題 Your Urge to Swallow may be Influenced by Retronasal Aroma
3. 学会等名 6th International Conference on Food Oral Processing 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 Jumpei Okawa, Kazuhiro Hori, Fumiko Uehara, Shohei Kodama, Satoko Shitara, Takahiro Ono
2. 発表標題 Detection of Pharyngeal Residue after Swallowing using Odor Sensor
3. 学会等名 World Dysphagia Summit 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 大川純平、堀一浩、設樂仁子、兒玉匠平、小野高裕
2. 発表標題 舌運動と舌圧との同時計測による嚥下動態の解析
3. 学会等名 LIFE 2020-2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 大川純平
2. 発表標題 深層学習による画像認識技術を応用した舌苔（舌の汚れ）と舌湿潤度（舌の乾燥）の評価
3. 学会等名 新技術説明会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 大川純平, 堀 一浩, 善本 佑, 小野高裕
2. 発表標題 高い咀嚼能率はレトロネーザルアロマの発生を促進する
3. 学会等名 令和2年度日本補綴歯科学会関東支部学術大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 重本心平, 堀 一浩, 大川純平, 宮島 久, 小野高裕
2. 発表標題 総合病院入院中の嚥下障害患者における咀嚼・嚥下機能と食事形態
3. 学会等名 日本咀嚼学会第31回学術大会
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 舌状態推定装置、舌状態推定方法及びプログラム	発明者 小野高裕、堀一浩、 大川純平	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-159436	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------