

ポスター | 画像情報・生体信号処理

ポスター6

画像情報・生体信号処理

2019年11月23日(土) 14:40 ～ 15:40 ポスター会場1 (国際展示場 展示ホール8)

[3-P1-3-03] Deep Learningによる歯式情報認識に関する判別根拠の可視化

○丸山 陽市¹、山下 利佳¹、吉松 昌子² (1. 長崎大学病院 医療情報部, 2. 長崎大学病院 周術期口腔管理センター)

キーワード : Dental information, Deep learning, Personal identification, Grad-CAM, Dental chart

【目的】大規模災害時の身元不明者に対する個人識別に関して、口腔内情報の医療クラウドやデータベース化へ関心が高まっている。2015年より本院 DWHでは1歯単位での口腔内情報を蓄積し、第36回本大会で、個人識別には処置履歴と初診時の歯式情報が重要であると報告した。初診時の口腔内診査に対して効率的な入力機能の実現が必要なため、第38回本大会において、Single Shot Multibox Detector(SSD)による口腔内画像上の歯種と状態に対する自動認識は、歯式情報認識に有効な手段であると報告した。このような deep learningによる画像認識ではクラス分類に対する判断根拠を明確にすることが求められている。本研究では、画像認識による歯種分類の判断根拠を可視化したので報告する。

【対象および方法】歯の認識対象は上顎永久歯歯列咬合面画像に残存する健全歯や金属修復物がない非金属歯とした。歯式情報認識は SSD512モデル(512x512)で行った。ニューラルネットワークライブラリは keras(ver. 2.4)を使用し、バックエンドのフレームワークは TensorFlow(ver. 1.12)を利用した。認識領域の可視化は Gradient-weighted Class Activation Mapping(Grad-CAM)で行った。

【結果および考察】 Grad-CAMのヒートマップにおいて、前歯部は唇面か舌面、犬歯は尖頂から遠心辺縁、舌面、小臼歯では頬側咬頭から咬合面、大臼歯部では咬合面に強い勾配が認められた。ヒトの歯では解剖学的に切縁や咬頭の形態、咬合面の裂溝パターンで前歯、大臼歯等の歯種と上下顎、左右側の部位鑑別を行う。歯式情報認識の SSD512モデルでも解剖学的な特徴を捉えていると思われる。

【結論】歯式情報認識における歯種分類の関心領域は解剖学的な特徴領域と類似している。

Deep Learning による歯式情報認識に関する判別根拠の可視化

丸山 陽市^{*1}、山下 利佳^{*1}、吉松 昌子^{*2}

*1 長崎大学病院 医療情報部、*2 長崎大学病院 周術期口腔管理センター

Visual explanations for dental formula classification using deep learning

Youichi Maruyama ^{*1}, Rika Yamashita ^{*1}, Masako Yoshimatsu ^{*2}^{*1} Department of Medical Informatics, Nagasaki University Hospital,^{*2} Department of Perioperative Oral Management, Nagasaki University Hospital

In forensic dentistry, it has been recognized that intraoral dental information has been effective for individual identification to an unidentified person at large-scale disaster, and it is desired to realize some efficient methods of acquiring dental information for the database construction of dental information. In this study, using deep learning for intraoral images, visual explanations for automatic teeth detection and classification were investigated using maxillary dental arch images. Deep learning of dental information recognition for maxillary dental arch was achieved with Single Shot Multibox Detector (SSD512, 512x512) model. Keras for the neural network library and TensorFlow for the backend framework were used for teeth detection and classification, and Grad-CAM was used for visual explanations of localized important regions to SSD512 model. The result was that localized important regions of teeth detection and classification were recognized anatomical teeth features.

Keywords: Dental information, Deep learning, Personal identification, Grad-CAM, Dental chart

1. 緒言

大規模災害時の身元不明者に対する個人識別に対して口腔内情報が有効であり、口腔内情報の医療クラウドやデータベース化へ関心が高まっている。長崎大学病院では、2015年より歯科部門システムで発生する情報をデータウェアハウス(DWH)に蓄積している。このDWHは1歯単位での初診状態、歯科病名、歯科処置履歴、歯周組織情報等の歯科情報を有している。第36回本大会において、DWHの情報をを用いて個人識別した場合、個人識別には処置履歴と初診時口腔内診査の歯式情報が重要であると報告した¹⁾。歯式情報とは残存歯、欠損歯、健全歯、保存修復(金属、陶材)、歯冠修復(金属、陶材)、義歯等の歯に対する部位情報と状態情報であり、数多くの口腔内情報からなっている。本院の初診時口腔内診査は端末のキーボードやタブレットデバイスで入力を行っているが煩雑であり(図1)、効率的な入力機能の実現が望まれている。歯科領域では口腔内情報保存を目的として、カメラによる口腔内画像を取得する場合が多い。この口腔内画像に対してDeep Learning(深層学習)による歯式情報認識が可能になれば、口腔内情報入力が効率的に行われることが期待される。そこで第38回本大会において、Single Shot Multibox Detector(SSD)による口腔内画像上の歯種と状態に対する自動認識は、歯式情報認識に有効な手段であると報告した²⁾。近年、機械学習モデルに対する解釈性は重要視され、このようなDeep Learningによる画像認識を臨床の場で使用する場合、クラス分類に対する判断根拠を明確にすることが求められている。

2. 目的

本研究では、口腔内画像の上顎歯列情報からDeep Learningによる歯の自動認識を行った場合、歯の検出とクラ

ス分類に対する解釈性を明確にする目的で、画像認識による歯式情報認識の判断根拠を可視化したので報告する。



図1 初診時口腔内診査の入力画面

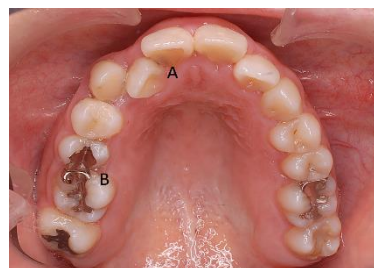


図2 上顎歯列の口腔内画像例
A: 初期う蝕 B: インレー(金属による保存修復)

3. 方法

3.1 対象

歯式情報の自動認識を試みる対象画像は、矯正歯科外来

で受診初回時に撮影し、以後の受診歴がなく、患者 ID が付与されていない該当者不明な口腔内画像から抽出した上顎永久歯列咬合面画像 510 枚とした。これらの画像から学習用画像データセットとして 460 枚、評価用画像データセットとして 50 枚を任意に選択した。選択した画像は正常な永久歯歯列だけでなく、不正咬合、欠損歯、歯冠修復、保存修復、う蝕歯、歯面色素沈着、歯冠の形態異常歯(矮小歯、巨大歯、咬耗、エナメル質破折)、位置異常歯等を含み、義歯装着画像は存在していなかった(図 2)。

3.2 クラス分類の定義

丸山らのクラス定義²⁾に従い、健全歯、う蝕歯、歯面色素沈着歯、陶材やコンポジットレジンによる保存修復、陶材や硬質レジンによる歯冠修復等の金属色を有さない歯を非金属歯、金属による保存修復歯(インレー)を金属歯の 2 グループに対して、表 1 で示す上顎歯列 14 歯のクラスを定義し、金属による歯冠修復物と上顎左右側第 3 大臼歯は除外した。

表 1 歯式情報認識のクラス定義
(参考文献 2)より引用)

第2大臼歯<-----				上顎右側				----->中切歯				中切歯<-----				上顎左側				----->第2大臼歯			
非金属歯																							
17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27										
金属歯																							
17_inlay	16_inlay	15_inlay	14_inlay	13_inlay	12_inlay	11_inlay	21_inlay	22_inlay	23_inlay	24_inlay	25_inlay	26_inlay	27_inlay										

3.3 口腔内画像の歯式情報認識

歯式情報認識は Single Shot Multibox Detector(SSD)³⁾の SSD512 モデル(512x512)で行った。ニューラルネットワークライブラリは keras(ver. 2.2.4)を使用し、バックエンドのフレームワークは TensorFlow(ver. 1.13.1)を利用した。
SSD512 に対して、一般物体認識データセット(VOC2007) 4500 枚で新たに事前学習させたパラメータを初期値とし、conv4_3 以降のパラメータについては 460 枚の学習画像データセットによるファインチューニングを行った。ファインチューニングは非金属歯と金属歯に対してそれぞれ独立して行い、非金属歯と金属歯毎のパラメータ調整を行った²⁾。

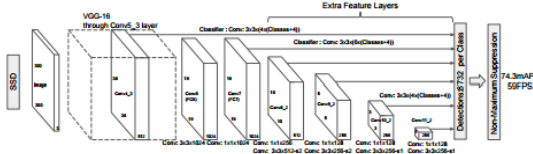


図 3 SSD モデル(参考文献 3)より引用)

3.4 歯式情報認識に関する判別根拠の可視化

評価画像データは歯の傾斜や位置の偏位、口腔内画像撮影時のカメラの傾き等の認識への影響を考慮して、+0.18rad や-0.18rad の回転を行った。歯の認識対象は上顎永久歯歯列咬合面画像に残存する健全歯や金属修復物がない非金属歯と、インレー等の金属による保存修復物が存在する金属歯とした。
歯式情報認識に関する判別根拠になる注視領域の可視化はニューラルネットワーク可視化ツールキットである keras-vis(ver. 0.4.1)を用い、Gradient-weighted Class Activation Mapping(Grad-CAM)⁴⁾によるヒートマップを作成した。Grad-

CAM により得られたヒートマップに対して、図 4 に示す前歯、犬歯、小臼歯、大臼歯の典型的な形態と対比することで、歯式情報認識の注視領域を評価した。

4. 結果

歯の位置異常を含まない、金属歯が存在している正常な上顎歯列画像に非金属歯の SSD512 モデルを適応した場合、金属歯である 26 は認識せず、26 以外のすべての非金属歯は正確に認識していた。Grad-CAM のヒートマップにおいて、前歯部は唇面、切縁と舌面、犬歯は尖頭から遠心辺縁、唇面、舌面、小臼歯では頬側咬頭から咬合面、大臼歯部では咬合面に強い勾配が認められた(図4)。上顎両側中切歯の前突、上顎両側側切歯の舌側傾斜が生じている前歯部叢生状態の上顎歯列(金属歯あり、欠損歯なし)において、すべての非金属歯を正確に認識している。上顎中切歯は口腔内写真の撮影方向の影響で唇面が写っていないため、切縁と舌面に強い勾配が認められる。上顎右側側切歯は勾配が弱い結果であった。臼歯部は図 4 と同様に咬合面に強い勾配が認められた(図 5)。

金属歯の認識に対して、図 6 左の 26_Inlay では金属体だけでなく近心頬側咬頭や遠心頬側咬頭、近心舌側咬頭とこれらの内斜面、隆線等が注視領域となっていた。図 6 中央では 16_Inlay に対して強い勾配が認められる。15_Inlay、26_Inlay は歯式情報として認識できているが、16_Inlay ほど強い勾配ではなかった。図 6 右では 15_Inlay、16_Inlay、26_Inlay については金属体を含む咬合面に強い勾配を認め、17_Inlay は認識できていない状態であるが、

Grad-CAM では近心舌側咬頭と遠心舌側咬頭内斜面部の金属体の一部が注視領域であった。インレーによる保存修復が行われている金属歯では、金属体だけが注視領域ではなく、金属体とその周囲の咬頭や隆線等の解剖学的特徴を有する部位も注視領域であった。

5. 考察

残存歯の歯式や歯科治療痕による身元不明者に対する個人識別に対して、歯式と治療痕の組み合わせは他の身体的特徴と共に個人識別に有効であると認識されている。しかし、歯科診療所レベルで電子カルテが十分に普及していない状況のため、個人識別可能な口腔内情報を蓄積したデータベースを有している医療機関がほとんどなく、迅速で正確な医療機関への照会ができない状況である。このため、個人識別に関する医療クラウドや口腔内情報のデータベース化への関心が高まっている。データベース構築には歯式情報入力 of 自動化のために、Deep Learning による口腔内画像からの歯式情報認識が必要と考えられる。これまでの研究では、SSD で歯式情報認識が可能であり、SSD300 よりは SSD512 の方が口腔内画像からの歯式情報認識に適していることが明らかになっている²⁾。この SSD512 のような機械学習モデルによる臨床業務の自動化には結果に対する説明責任が求められ、クラス分類に対する判断根拠を明確にする必要がある。さらに、歯の検出やクラス分類の正確度向上のためのパラメータ調整でも結果の解釈性が必要である。そこで本研究では、特徴マップに対して Grad-CAM によるヒートマップを求め、歯式情報認識での注視領域を示すことで、歯式情報の判断根拠を明らかにする試みを行った。

歯の位置異常を含まない、金属歯が存在している正常な上顎歯列形態に非金属歯用の SSD512 モデルを適応した場合、非金属歯は正確に認識し、Grad-CAM のヒートマップにおいて、前歯部は唇面、切縁と舌面、犬歯は尖頭から遠心辺

縁、唇面、舌面、小臼歯では頬側咬頭から咬合面、大臼歯部では咬合面に強い勾配が認められた。上顎両側中切歯の前突や上顎両側側切歯の舌側傾斜が生じている前歯部叢生状態の上顎歯列では、すべての非金属歯を正確に認識し、臼歯部で咬合面に強い勾配が認められたが、上顎右側側切歯は勾配が弱い状態であった。ヒトの歯列形態はすべて半楕円形の形態を有するのではなく、歯の排列が不正な部位は前歯部、犬歯に生じやすく、大臼歯の位置は比較的安定し、咬合面観で極端な違いが生じない。前歯部、犬歯には唇側傾斜、舌側傾斜、転位、捻転、移転等の位置異常が多く存在するため、それぞれの位置不正に対する学習データ数が臼歯部より相対的に少なくなることが、不正な位置にある前歯でヒートマップの勾配が弱くなった原因と考えられる。これは、不正咬合を含んだ学習データセット数を増やすことで改善できる可能性がある。インレー修復による金属歯認識の場合、注視領域は金属体だけと予測していたが、実際には金属体とその周囲の咬頭や隆線等の解剖学的特徴を有する部位も注視領域であった。これは歯種、歯の状態の判断根拠として理解できるものである。ヒトの歯では解剖学的に切縁や咬頭の形態、咬合面の隆線走行パターンや裂溝パターンで前歯、大臼歯等の歯種と上下顎、左右側の部位鑑別を行う。歯式情報認識の SSD512 モデルでも解剖学的な特徴を捉えている可能性がある。

本研究では上顎歯列の口腔内画像から歯式情報認識を行い、判断根拠としてのヒートマップが得られた。図7, 8で示すように、歯冠の形は歯の種類により著しく異なっており、その表面は各歯に特有な凹凸を示している⁵⁾。前歯、犬歯、小臼歯、大臼歯はそれぞれ固有の形態があり、判別は容易である。中切歯と側切歯、第1小臼歯と第2小臼歯、第1大臼歯と第2大臼歯は類似した形態であり左右側に存在するが、それぞれ咬合面形態に解剖学的特徴がある。例えば、第1小臼歯では咬合面輪郭において、遠心頬側隅角は近心頬側隅角よりも明らかに尖鋭であって、これが上顎第1小臼歯にのみ特有な関係であり、中心溝は深く一文字に走って、頬舌両側の咬頭を完全に分離している形態的特徴を有している⁵⁾。

今回は上顎歯列咬合面の画像のみを歯式情報認識の対象とした。これは、歯種判別の形態的特徴を多く有し、画像1枚で中切歯から第2大臼歯までの認識が可能であるためである。しかし、唇側面や頬側面からの画像も必要になる可能性もあるため、多方向からの歯式認識情報の統合も検討する必要がある。今後は下顎歯列に対する歯式情報認識とその評価を行う必要がある。

6. 結論

歯式情報認識における歯種分類の注視領域は解剖学的な特徴領域と類似している可能性がある。

本研究は JSPS 科研費 JP17K12014 の助成により行った。

参考文献

- 1) 丸山陽市, 藤原 卓, 本多正幸. 歯科情報を蓄積したデータウェアハウスによる個人識別の評価. 医療情報学 2016;36(Suppl.): 1144-1147.
- 2) 丸山陽市, 藤原 卓, 本多正幸. Deep Learning による口腔内画像からの歯式情報認識の試み. 医療情報学 2018;38(Suppl.): 968-971.
- 3) Liu W., Anguelov D., Erhann D., Szegedy C., Reed S. E., Fu C. -Y. and Berg A. C.: Single Shot MultiBox Detector, CoRR, Vol. abs/1512.02325, 2015.
- 4) Ramprasaath, S., R., Michael, C., Abhishek, D., Ramakrishna, V., Devi, P. and Dhruv, B. : Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization. International Conference on Computer Vision 2017:618-629.
- 5) 藤田恒太郎. 歯の解剖学. 金原出版, 1976 : 13-88.

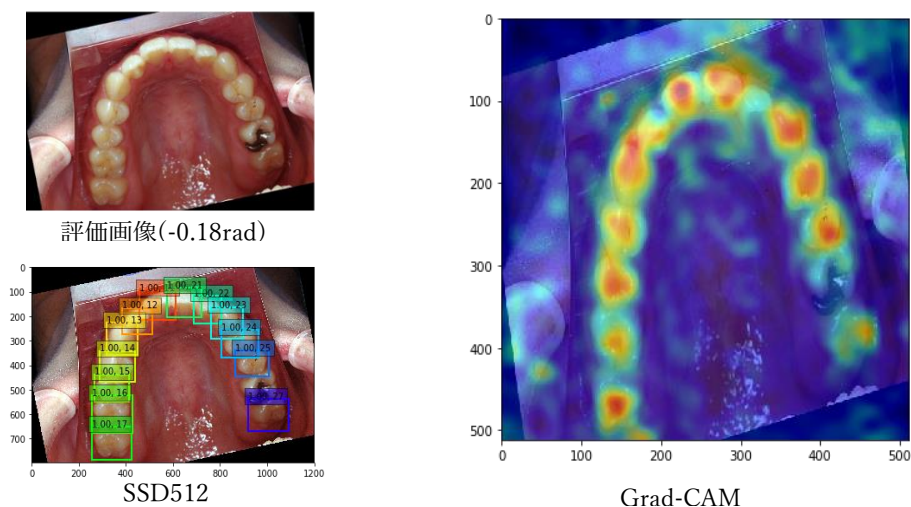


図4 正常形態の上顎歯列(金属歯あり、欠損歯なし)

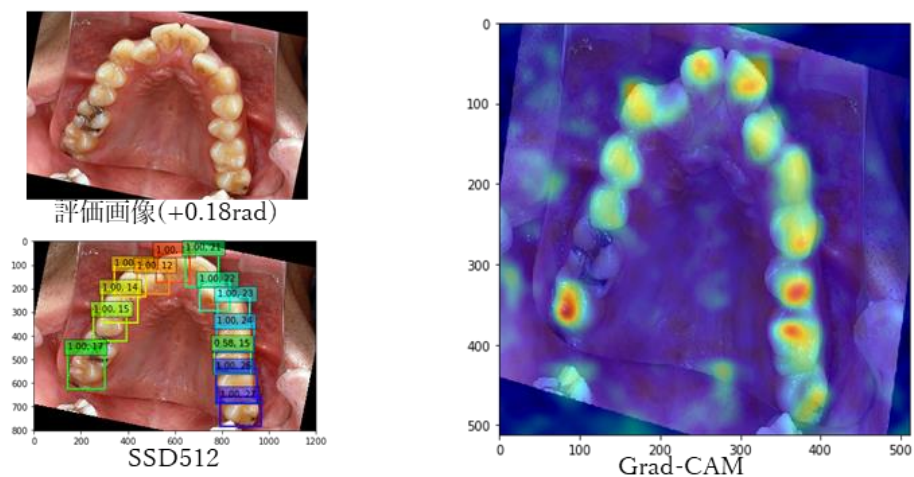


図5 上顎中切歯の前突、叢生状態の上顎歯列(金属歯あり、欠損歯なし)

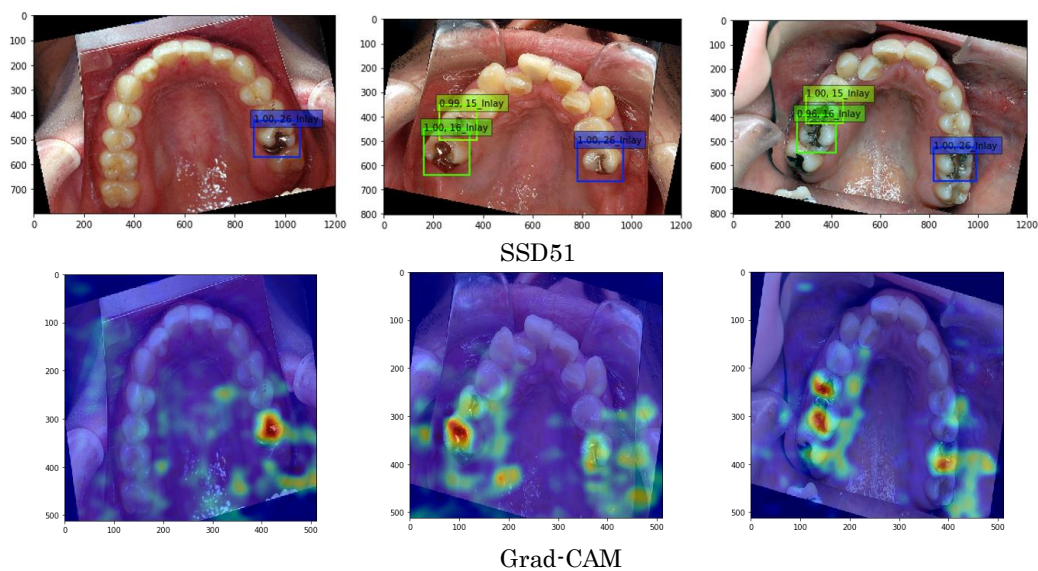


図6 SSD512 モデルによる金属歯(インレー)の認識状態

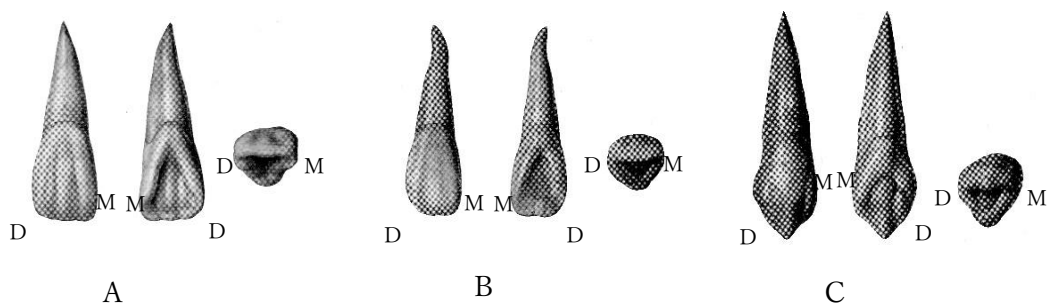


図7 歯の模式図

A:上顎右側中切歯 B:上顎右側側切歯 C:上顎右側犬歯 M:近心 D:遠心
(参考文献 5)より引用 一部改変)

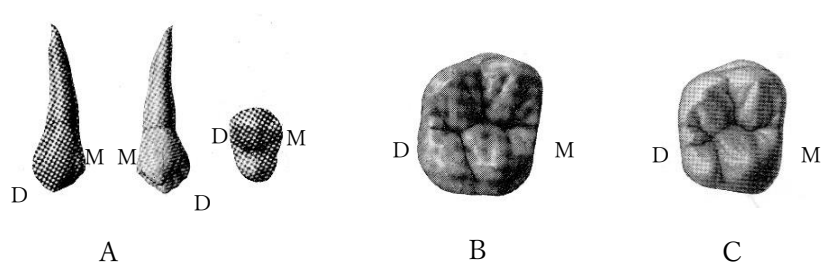


図8 歯の模式図

A:上顎右側第1小臼歯 B:上顎右側第1大臼歯 C:上顎右側第2大臼歯 M:近心 D:遠心
(参考文献 5)より引用 一部改変)