

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K12014

研究課題名（和文）個人識別に最適化する歯式マトリックスと深層学習による個人識別に関する基礎的研究

研究課題名（英文）Basic research on individual identification by dental information matrix and deep learning

研究代表者

丸山 陽市（MARUYAMA, Youichi）

長崎大学・病院（歯学系）・講師

研究者番号：50173969

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：近年、大規模災害時の身元不明者に対する個人識別を行うには、口腔内情報が有効であると言われている。本研究では深層学習による個人識別の基礎的研究と歯式マトリックスの評価を行った。

口腔内画像から深層学習による歯種分類の自動認識を試み、良好な認識率が得られた。さらに、歯種分類に対する判断根拠の可視化をGradCAMで行い、ニューラルネットワークモデルで解剖学的な特徴を捉えていることが明らかになった。歯式マトリックス定義は口腔診査情報標準コード体系を採用した。しかし、このコード体系では可変長データとなるため、ニューラルネットワーク作成にはLSTMが適切であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では口腔情報を表現する歯式マトリックスを定義し、深層学習で形成したニューラルネットワークに歯式マトリックスをパターン認識させて個人識別を行うものである。

現在、本院のデータウェアハウスを使用して、初診登録した患者に対して歯式情報で個人識別が可能となっているが、1歯単位の検索のために個人特定に時間を要する。本研究により高速な個人識別が可能になると予想できる。大規模データベースで歯式マトリックスのニューラルネットワークによるパターン識別で個人識別が可能になれば、高速な検索が可能となることが予測され、東日本大震災のような大規模災害時の身元確認に貢献できる意義がある。

研究成果の概要（英文）：In recent years, it has been recognized in forensic dentistry that dental information is effective for personal identification to unidentified person in the event of a large-scale disaster. In this study, basic research of individual identification by deep learning and evaluation of oral information matrix were investigated.

An attempt was made to automatically recognize the tooth classification by deep learning from the intraoral image, and the high recognition rate was obtained. Furthermore, it was revealed that the evidence for tooth classification was visualized by GradCAM and the anatomical features were captured by the neural network model. The oral information matrix definition adopted the oral examination information standard code system. However, since this code system produces variable-length data, it became clear that LSTM is suitable for neural networks.

研究分野：医療情報学

キーワード：歯科医療管理 個人識別 深層学習 deep learning 口腔情報 デンタルチャート 大規模災害 身元確認

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 歯式や治療痕による個人識別は東日本大震災において遺体の身元確認に歯科情報が活用されたが、最終的な身元確認率は数%程度であった。身元確認率が低い主要因は津波によるカルテ流失であるため、遠隔地バックアップへの関心が高まっている。医科では SS-MIX2¹⁾ によるバックアップが開始されているが、歯式、歯科病名と部位、歯科処置等は対象外であり、歯科では対応が遅れている状況である。国内では厚生労働省でも歯科診療録の標準化を検討している²⁾。

(2) 長崎大学病院歯科では、医科歯科連携を可能とする医科歯科統合型電子カルテを構築し（図1）、平成20年に運用開始した^{3,4)}。診療記録は運用開始時よりウェアハウスに蓄積し、平成23年に2次利用に対する評価を行っている⁵⁾。東日本大震災直後に、平成25~27年度科研費成果により、平成27年度の新システム更新時から初診時の歯式情報（顎部位、歯番、欠損情報、治療痕）、1歯単位の治療履歴をデータウェアハウスで蓄積している。これにより、初診時歯式情報と処置履歴により、データウェアハウス検索による個人識別が可能となった⁶⁾。しかし、1歯単位の検索のため、32歯に対してAND検索を行うと、検索に時間がかかる問題が生じている。そこで1口腔単位でのパターン識別を考え、歯式マトリックスによるパターン識別の着想に至った。

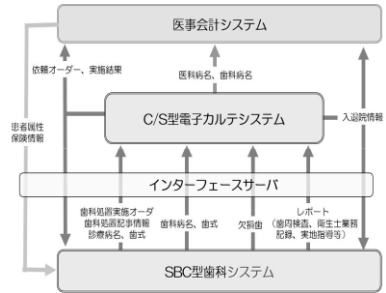


図1 医科歯科統合型電子カルテのデータフロー

2. 研究の目的

東日本大震災を契機に、個人識別を目的とした歯式データベースの必要性が言われている。しかし、歯科領域では電子カルテが普及していない状況であるため、診療情報のIT化による歯科情報の収集方法や大規模データベースに関する基礎的研究が行われていない。本研究では大規模歯式データベースでの個人識別に不可欠な、次の2項目に関する基礎的研究を目的とする。

- ・ 深層学習による個人識別のニューラルネットワーク作成
- ・ 大規模歯式データベースでの個人識別に用いる歯式マトリックスの定義

3. 研究の方法

(1) 対象

歯の自動認識を行う対象画像は上顎永久歯列咬合面画像510枚とした（図2）。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、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。

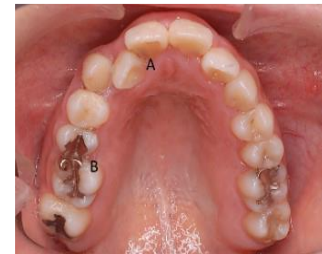


図2 上顎歯列の口腔内画像

A: 初期う蝕 B: インレー（金属による保存修復）

(2) クラス分類の定義

口腔内画像からの歯式情報認識の可能性についての評価を目的とするため、健全歯、う蝕歯、色素沈着歯、陶材や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を非金属歯、金属による保存修復歯（インレー）を金属歯とし、この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た。金属で被覆されている歯冠修復物と第3大臼歯は画像認識の対象外とした。

表1 歯式情報認識のクラス定義

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) 口腔内画像の歯式情報認識

上顎歯列に対する歯式情報認識はSingle Shot Multibox Detector(SSD)⁶⁾で行った。歯式情報認識に対して最適な画像入力サイズが現状では不明なため、画像入力サイズの違いによる認識機能評価を目的としてSSD300とSSD512を使用した。SSD300とSSD512に対して、どちらも一般物体認識データセット(VOC2007)4500枚で新たに事



図3 SSDモデル（参考文献7）より引用）

前学習させた pool4 までの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。

(4) 認識機能の評価

歯式情報認識に対する最適な画像入力サイズを評価するために、学習に使用していない評価画像データセット 50 枚を用い、非金属歯対象の歯式情報認識について適合率と再現率を求めた。

$$\text{適合率} = \frac{\text{正しい歯番で検出した非金属歯数}}{\text{全検出歯数}}$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{正しい歯番で検出した非金属歯数}}{\text{検出すべき非金属歯全数}}$$

(5) 歯式情報認識に関する判別根拠の可視化

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 Grad-CAM⁸⁾ によるヒートマップを作成した。得られたヒートマップに対して、前歯、犬歯、小白歯、大白歯の典型的な解剖学的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。

(6) 大規模歯式データベースでの個人識別に用いる歯式マトリックスの定義

大規模歯式データベースでの個人識別に用いる歯式マトリックスの定義については、厚生労働省標準規格として策定された口腔診査情報標準コード²⁾ に準ずるコード体系を使用した。

4. 研究成果

(1) 歯式認識機能の評価

金属による保存修復物や補綴物が存在しない非金属歯認識において、適合率は SSD300 で 0.983、SSD 512 で 0.963 であった。再現率については SSD300 で 0.897、SSD512 で 0.953 であり、F 値は SSD300 より SSD512 でわずかであるが高い数値が認められ(表 2)、歯式情報認識には SSD512 が適切であると思われる。

表 2 画像入力サイズに対する認識機能評価

モデル	適合率	再現率	F 値
SSD300	0.983	0.897	0.938
SSD512	0.963	0.953	0.958

(2) 歯式情報認識の具体例

図 4 の正常な上顎歯列形態の場合、SSD300 と SSD512 のモデルにおいて、すべての非金属歯を正確に認識していたが、図 5 の叢生状態で唇側転位している 23 (上顎左側犬歯) について、SSD300 で認識せず、SSD512 では認識できていた。

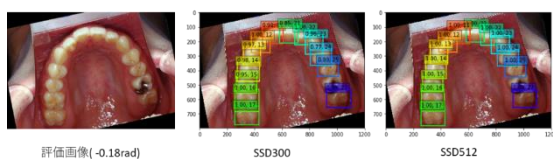


図4 正常形態の上顎歯列(金属歯あり)

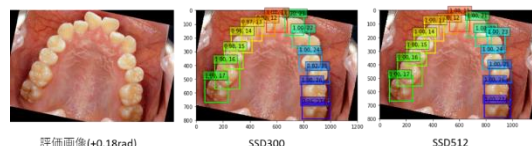


図5 上顎中切歯の前突、叢生状態の上顎歯列(金属歯、欠損歯なし)

図 5 の歯列形態と類似している図 6 において、SSD300 では 13、14 は認識できず、上顎右側第 1 大白歯は本来 16_Inlay であり、認識対象外であるが、誤認識で 16 となっていた。SSD512 ではすべての非金属歯を正確に認識しており、上顎右側第 1 大白歯の誤認識は認められなかった。図 7 は叢生状態で非金属歯と金属歯が混在し、16、26、27 が欠損している状態である。SSD300、SSD512 とも非金属歯はすべて検出しているが、SSD300 において 14 が 13 となり、誤認識が認められた。

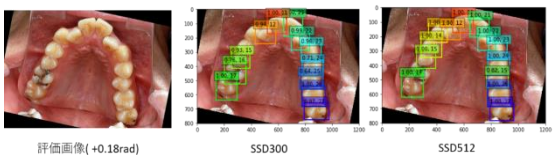


図6 上顎中切歯の前突、叢生状態の上顎歯列(金属歯あり、欠損歯なし)

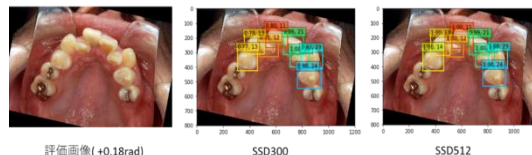


図7 叢生状態の上顎歯列(金属歯、欠損歯あり)

SSD512 による金属歯の認識では、図 8 中央の左側第 2 小白歯は 25_Inlay が正解であるが、26_Inlay と誤認識している状況であった。さらに、図 9 右のように、17_Inlay である金属歯を認識できない例が見られた。金属歯に対しては、金属歯が存在する学習画像データセットが少ない影響で、SSD512 を使用しても歯番の誤認識や未検出が生じている。以上の問題点を含めて、適合率、再現率は 100%を達成できていない。pool4 までの一般物体認識データセットを処理時間短縮のために 4500 枚に減らして行い、conv4_3 からの口腔内画像も少ないため、金属歯を含むデータセットを含めた学習画像データセットの不足が考えられる。

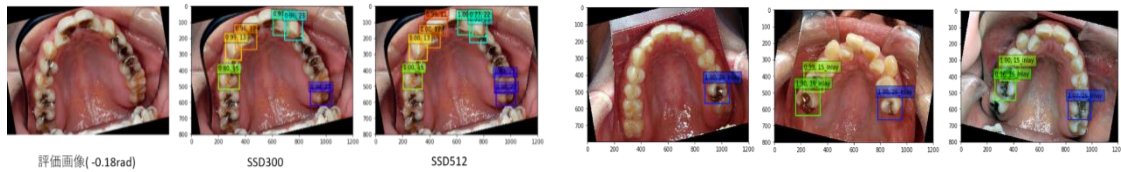


図8 色素沈着歯（金属歯あり、欠損歯なし）

図9 SSD512モデルによる金属歯（インレー）の認識状態

(3) 歯式情報認識に関する判別根拠の可視化

金属歯が存在している正常な上顎歯列形態に非金属歯の 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、小白歯では頬側咬頭から咬合面、大白歯部では咬合面に強い勾配が認められた（図 10）。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 10 と同様に咬合面に強い勾配が認められた（図 11）。

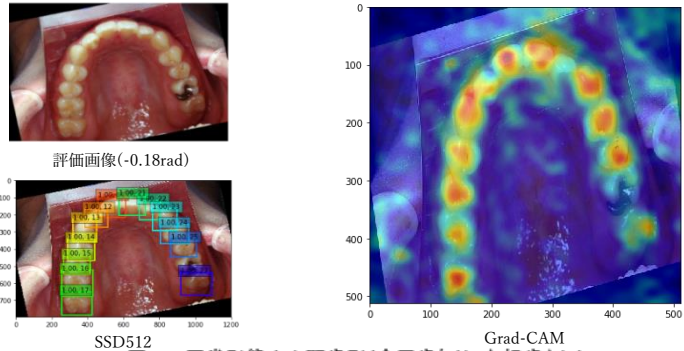


図10 正常形態の上顎歯列（金属歯あり、欠損歯なし）

金属歯の認識に対して、図 12 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、近心舌側咬頭とそれらの内斜面、隆線等が注視領域となっていた。図 12 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 12 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。

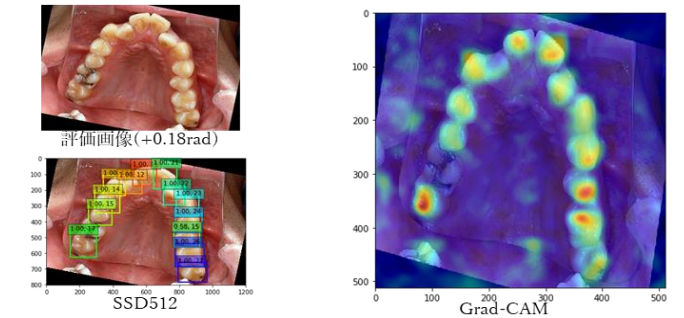


図11 上顎中切歯の前突、叢生状態の上顎歯列（金属歯あり、欠損歯なし）

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。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、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、全結合層前の最終畳み込み層の出力に対して 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。

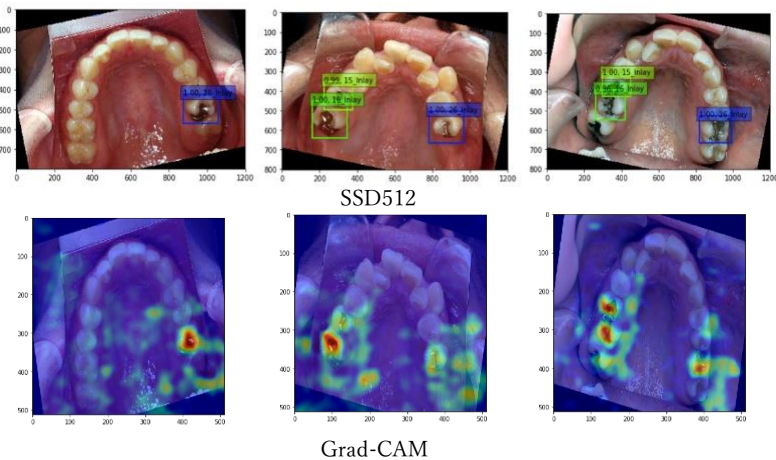


図12 SSD512モデルによる金属歯（インレー）の認識状態

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⁹⁾、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。歯冠形態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¹⁰⁾。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。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。

(4) 大規模歯式データベースでの個人識別に用いる歯式マトリックス

厚生労働省標準規格として策定された口腔診査情報標準コードに準ずるコード体系を流用して、大規模歯式データベースでの個人識別ニューラルネットワークを作成する場合、口腔診査情報標準コードの入力機関情報レコード、個人識別情報コード、部位レコードの一部に可変長データが混在し、一部が省略可能なコードも存在することから、一患者に対するデータが常に可変長となってしまうことが明らかになった。このようなデータ構造に対して深層学習によるニューラルネットワーク作成ためには、可変長データが扱えて、自然言語処理が可能な LSTM (Long Short-Term Memory) が適切であることが明らかになった。

参考文献

- 1) SS-MIX 普及推進コンソーシアム, <http://www.ss-mix.org/cons>
- 2) 厚生労働省 : 歯科診療録の標準化に関する検討会, <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/other-isei.html>
- 3) 丸山陽市, 藤原 卓 : シンポジウム「歯科において病院情報システムはどのように貢献できるか」医療歯科統合システムにおけるマルチベンダーによる歯科電子カルテの構築, 医療情報学 28(Suppl.) : 171-172, 2008.
- 4) 丸山陽市, 本多正幸 : 医科・歯科統合電子カルテシステム構築で解決すべき歯科の基本要件, 新医療 38 : 122-126, 2011.
- 5) 丸山陽市, 藤原 卓, 本多正幸 : 歯科情報の2次利用における問題点とこれからの課題について, 医療情報学 31(Suppl.) : 159-162, 2011.
- 6) 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 36(Suppl.) : 1144-1147, 2016.
- 7) 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.
- 8) 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:618-629, 2017.
- 9) 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 ; 38(Suppl.) : 968-971, 2018.
- 10) 藤田恒太郎 : 歯の解剖学. 金原出版, 1976 : 13-88.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 丸山陽市、山下利桂、吉松昌子	4. 巻 39(Suppl.)
2. 論文標題 Deep Learningによる歯式情報認識に関する判別根拠の可視化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 医療情報学	6. 最初と最後の頁 781-785
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 丸山陽市、本多正幸、藤原 卓	4. 巻 38(Suppl.)
2. 論文標題 Deep Learning による口腔内画像からの歯式情報認識の試み	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 医療情報学	6. 最初と最後の頁 968-971
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 吉松昌子、丸山陽市、本多正幸、藤原 卓	4. 巻 38(Suppl.)
2. 論文標題 DWH を利用した患者受診状況調査	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 医療情報学	6. 最初と最後の頁 874-877
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 丸山陽市、牛嶋拓也、藤原 卓、本多正幸	4. 巻 37(Suppl.)
2. 論文標題 データウェアハウスに蓄積した歯科情報による無歯顎者に対する個人識別の評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 医療情報学	6. 最初と最後の頁 989-992
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 末永しずえ、丸山陽市、柴原妙香、平尾直美、藤原 卓、本多正幸、梅田正博	4. 巻 37(Suppl.)
2. 論文標題 周術期口腔機能管理における歯科衛生士業務内容と口腔がんとの共起関係について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 医療情報学	6. 最初と最後の頁 956-959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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8件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 丸山陽市、山下利桂、吉松昌子
2. 発表標題 Deep Learningによる歯式情報認識に関する判別根拠の可視化
3. 学会等名 第39回医療情報学連合大会 (第20回日本医療情報学会学術大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山陽市、本多正幸、藤原 卓
2. 発表標題 Deep Learning による口腔内画像からの歯式情報認識の試み
3. 学会等名 第38回医療情報学連合大会 (第19回日本医療情報学会学術大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉松昌子、丸山陽市、本多正幸、藤原 卓
2. 発表標題 DWH を利用した患者受診状況調査
3. 学会等名 第38回医療情報学連合大会 (第19回日本医療情報学会学術大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丸山陽市、本多正幸、吉田教明
2. 発表標題 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に対する不正咬合情報の検討
3. 学会等名 第76回日本矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 濱中 僚、陣内祥男、丸山陽市、吉田教明
2. 発表標題 人工知能技術を用いた顎顔面成長量の予測
3. 学会等名 第76回日本矯正歯科学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸山陽市、牛嶋拓也、藤原 卓、本多正幸
2. 発表標題 データウェアハウスに蓄積した歯科情報による無歯顎者に対する個人識別の評価
3. 学会等名 第37回医療情報学連合大会（第18回日本医療情報学会学術大会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------