

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：15301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2023

課題番号：20K23107

研究課題名（和文）隠れマルコフモデルに基づいた睡眠時ブラキシズム検査における筋電図波形識別の試み

研究課題名（英文）Experimental analysis of automatic discrimination performance between simulated bruxism and non-bruxism using electromyography and machine learning

研究代表者

大森 江 (Omori, Ko)

岡山大学・大学病院・医員

研究者番号：30884879

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：従来の評価基準では、ブラキシズムによる歯への機械的負荷を信頼性高く診断できるか疑問が残る。そこで我々は、各種ブラキシズム時や、嚥下、掻痒、体動時の筋電図を客観的に識別することが出来ないかと考えた。そのような中、筋電図を高次元のベクトル化することで、ベクトル値の変化（特徴量）を識別する手法を応用することで筋電図の識別が可能を試みた。その結果、今回の識別システムでは、咬筋EMGを使用した場合、歯の接触を伴う歯ぎしり運動と非歯ぎしり運動の識別が高い精度で可能であることが明らかとなった。さらに、両側舌骨下筋群と皮膚伝達音を加味した解析モデルでは、更に識別精度が高まることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、簡易筋電計による睡眠時の筋活動測定が広く行われている。そのため、本研究成果を基盤としてブラキシズムの詳細な測定精度の向上、社会実装が可能となった暁には、歯への機械的負荷を定量的に把握することが可能となる。これにより補綴装置の予後予測や適応症の診断、歯根破折リスクの診断が可能となることから、歯科臨床を大きく改変する可能性を有している。また、睡眠時/覚醒時ブラキシズムの生理学的理解や各種の治療法への反応性について検討を行う際にも、本研究結果は評価方法として活用できることから、口腔生理学、睡眠歯学、口腔運動学への学問的貢献も大きいと言える。

研究成果の概要（英文）：It remains questionable whether bruxism can be reliably diagnosed using conventional evaluation criteria. Therefore, we wondered whether it would be possible to objectively distinguish electromyograms during different types of bruxism, swallowing, scratching, and body movements. In this context, we attempted to discriminate electromyograms by applying a method to discriminate changes in vector values (feature values) by converting electromyograms into high-dimensional vectors.

As a result, it was shown that this classification system can discriminate teeth contact bruxism from non-bruxism with high accuracy using masseter muscle EMG. In addition, it was shown that an analysis model that included bilateral infrahyoid muscles and skin-transmitted sound further improved the accuracy of discrimination.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：筋電図 ブラキシズム 機械学習 生体情報

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

残存歯数が多い程、医科医療費は低いという事実から、歯の喪失を減らすことは歯科が医療全体に貢献できる課題と言える。現在、抜歯原因の上位に破折があることから、歯への過度の機械的負荷 (Excessive Mechanical Stress: EMS) が問題となる。この EMS の一因にブラキシズム (Brux) があることから、Brux による機械的負荷を把握し、適切な対処が口腔機能の維持に寄与することが認められ、Brux の客観的評価を目的とした睡眠時歯科筋電図検査が保険収載されるに至った。

これまで過去数十年にわたり睡眠時 Brux の評価は、筋電図によって一定閾値を超過した筋活動数の多寡という基準でなされてきた。しかしながらこの評価基準では、嚙下や体動といった筋活動亢進を示す非機能運動も Brux イベントと認識されてしまう点 (偽陽性率の高さ) が問題であった。事実、我々が行った音声動画付きの Polysomnography (PSG) 検査でも、睡眠時閉口筋の筋活動が亢進したイベントには、体動や嚙下、搔痒といった Brux 以外の筋活動やアーチファクトが約 80.7%含まれていた。さらに Brux には、開閉口筋が同時に緊張する病態 (bracing) もある。この bracing の際には、上下顎の歯は強く接触しないにもかかわらず、開閉口筋の筋活動は亢進を示す (Kothari SF, et al, 2021)。そのため、bracing と clenching, grinding を混同して評価してしまうことで、Brux による歯への機械的負荷を過大評価してきた可能性がある。

2. 研究の目的

「一定閾値を超過する筋電図亢進の回数」という評価基準では、Brux による歯への機械的負荷を信頼性高く診断できているか疑問が残ると考えられた。

そこで我々は、各種 Brux 時や、嚙下、搔痒、体動時の筋電図を客観的に識別することが出来ないかと考えた。そのような中、音声識別の領域で、音声信号を高次元のベクトル化することで、一定区間毎の音声情報の変化をベクトル値の変化 (特徴量) と見なすことで、それと同じ変化 (特徴量) を示す波形を識別する手法 (隠れマルコフモデル) の存在を知った。そこでこの手法を筋電図波形解析に応用することで、Brux/非 Brux 運動の識別が可能か試みた。

3. 研究の方法

適格基準を満たした健常者 12 名 (男性 10 名、女性 2 名、平均年齢 35.3 ± 8.4 歳) を対象とした。これら被検者の顔面皮膚上に皿電極ならびに皮膚音センサーを貼付した。貼付位置は、咬筋部、顎下部、オトガイ部、輪状軟骨部 (筋電図電極) と右側の下顎角部 (皮膚音センサー) とした。被検者には、意識下で仰臥位にて各種下顎運動 (歯の接触を伴う歯ぎしり運動 (BMwTC)、歯の接触を伴わない歯ぎしり運動 (BMwoTC) および非歯ぎしり運動 (non-BM)) を行わせた。歯の接触を伴う歯ぎしり運動 (BMwTC) には、クレンチング、タッピング、グライディングが含まれ、各 5 秒間行わせた。歯の接触を伴わない歯ぎしり運動 (BMwoTC) は、上下の歯列を接触させないよう指示し、舌を口蓋部に支持させた状態にて最大咬合力で 5 秒間閉口させた。非歯ぎしり運動 (non-BM) には、嚙下、あくび、発語、搔痒、体動、いびきを各 5 回もしくは 5 秒間行わせた。各実験タスク間には、5 秒間の安静を設けた。

この各タスク時の各種筋電図ならびに皮膚伝達音を睡眠ポリグラフィ装置 (PSG-1100、日本光電) ならびに IC レコーダーにてそれぞれサンプリング周波数 1,000Hz、44.1kHz にて収集した。全ての検査は、1 名の検者が、温度が一定で電磁波の影響を受けないシールドルーム内にて行った。

計測した筋電図波形、生体音はタスク開始時から 5 秒間もしくは 5 回分の全てのデータを解析対象とし、ハミング窓を用いてフレーム長 100ms、フレームシフト 50ms とし、メル周波数ケプストラム係数を特徴量として算出した。BMwTC と BMwoTC や安静状態を含む non-BM をそれぞれ 1 つのクラスとし、合計 2 つのクラスについてそれぞれ 5 状態の隠れマルコフモデル (HMM) を構築した。検出の際には 1 名の特徴量について、他の 11 名の被検者の特徴量で学習した HMM を用いた BMwTC、BMwoTC、non-BM 検出に関する評価を行った。評価項目は、検出した BMwTC、BMwoTC、non-BM データがそれぞれ真の BMwTC、BMwoTC、non-BM である確率と真の BMwTC、BMwoTC、non-BM のなかで BMwTC、BMwoTC、non-BM として検出できた確率とし、それらの調和平均である F 値を計測部位ごとに算出した。

さらに、本研究で用いた隠れマルコフモデルを、候補とする生体情報を単一情報として解析するシングルストリーム (SS) モデルならびに複数の生体情報を複合させて解析するマルチストリーム (MS) モデルを用いた際の識別精度についても算出した。

SS モデルでは、上述の各生体情報を個別に対象とした。一方 MS モデルでは、1) 両側咬筋、両側舌骨下筋群、頤部および舌骨上筋群、2) 両側咬筋、3) 両側咬筋と皮膚伝達音、4) 両側咬筋、両側舌骨下筋群、5) 両側咬筋、両側舌骨下筋群と皮膚伝達音、の合計 5 種類の複合生体情報モデルを構築し、解析に供した。トレーニングとテストには leave-one-out 法を

用い、11名のデータをトレーニングとし、残りの1名のデータをテストとした。識別精度は、感度、特異度および調和平均値にて評価した。

4. 研究成果

SSモデルにおいて、対象被験者12名のF値を比較したところ、咬筋筋電図が他の全ての部位より有意に高いF値を示した ($p < 0.001$, $p = 0.01$, Game-Howell)。特に、両側咬筋のBMwTCならびにnon-BMの平均は 0.77 ± 0.10 , 0.89 ± 0.04 であった。ただし、BMwTCの調和平均値は、 0.20 ± 0.16 であった。

MSモデルでは、SSモデルよりも高い精度が示され、最も高い調和平均を示した生体情報は、両側咬筋、両側舌骨下筋群と皮膚伝達音を組み合わせたモデルであった。一方、BMwTCの調和平均値は、このモデルが最も高かったものの、0.5未満であった。

今回の隠れマルコフモデルによる識別システムでは、咬筋EMGを使用した場合、BMwTCと非BMの識別に関しては高い精度を示すことが明らかとなった。さらに、両側舌骨下筋群と皮膚伝達音を加味した解析モデルでは、より識別精度が高まることが示された。

Table 1-a Validity of the BMwTC detection in single-stream HMM				
	Sensitivity	Specificity	Positive predictive value	Negative predictive value
Right masseter	0.81 +/- 0.14	0.95 +/- 0.03	0.76 +/- 0.12	0.96 +/- 0.03
Left masseter	0.78 +/- 0.22	0.95 +/- 0.03	0.77 +/- 0.11	0.96 +/- 0.04
Right infrahyoid muscles	0.62 +/- 0.31	0.42 +/- 0.18	0.15 +/- 0.06	0.88 +/- 0.08
Left infrahyoid muscles	0.59 +/- 0.35	0.46 +/- 0.19	0.16 +/- 0.07	0.88 +/- 0.08
Chin	0.50 +/- 0.24	0.83 +/- 0.10	0.38 +/- 0.15	0.90 +/- 0.04
Suprahyoid muscles	0.64 +/- 0.22	0.64 +/- 0.13	0.25 +/- 0.07	0.91 +/- 0.04
Sound data	0.66 +/- 0.26	0.91 +/- 0.06	0.61 +/- 0.15	0.94 +/- 0.04
				(mean +/- SD)

Table 1-b Validity of the BMwoTC detection in single-stream HMM				
	Sensitivity	Specificity	Positive predictive value	Negative predictive value
Right masseter	0.47 +/- 0.39	0.90 +/- 0.05	0.18 +/- 0.15	0.97 +/- 0.02
Left masseter	0.45 +/- 0.41	0.86 +/- 0.08	0.11 +/- 0.09	0.97 +/- 0.02
Right infrahyoid muscles	0.67 +/- 0.37	0.85 +/- 0.09	0.17 +/- 0.11	0.98 +/- 0.02
Left infrahyoid muscles	0.60 +/- 0.43	0.82 +/- 0.15	0.15 +/- 0.13	0.98 +/- 0.02
Chin	0.25 +/- 0.26	0.87 +/- 0.12	0.10 +/- 0.13	0.96 +/- 0.02
Suprahyoid muscles	0.60 +/- 0.40	0.93 +/- 0.04	0.27 +/- 0.20	0.98 +/- 0.02
Sound data	0.45 +/- 0.34	0.92 +/- 0.05	0.19 +/- 0.13	0.97 +/- 0.02
				(mean +/- SD)

Table 1-c Validity of the non-BM detection in single-stream HMM				
	Sensitivity	Specificity	Positive predictive value	Negative predictive value
Right masseter	0.86 +/- 0.07	0.88 +/- 0.14	0.97 +/- 0.04	0.63 +/- 0.11
Left masseter	0.81 +/- 0.11	0.85 +/- 0.21	0.96 +/- 0.05	0.58 +/- 0.16
Right infrahyoid muscles	0.25 +/- 0.22	0.81 +/- 0.30	0.91 +/- 0.10	0.20 +/- 0.07
Left infrahyoid muscles	0.27 +/- 0.16	0.80 +/- 0.19	0.88 +/- 0.08	0.22 +/- 0.04
Chin	0.72 +/- 0.19	0.70 +/- 0.24	0.91 +/- 0.06	0.43 +/- 0.13
Suprahyoid muscles	0.58 +/- 0.15	0.80 +/- 0.20	0.94 +/- 0.05	0.33 +/- 0.06
Sound data	0.86 +/- 0.10	0.82 +/- 0.19	0.95 +/- 0.05	0.63 +/- 0.14
				(mean +/- SD)

Table 2 F-value of BMwTC, BMwoTC and non-BM detection in single-stream HMM			
	BMwTC	BMwoTC	Non-BM
Right masseter	0.77 +/- 0.08	0.23 +/- 0.18	0.91 +/- 0.04
Left masseter	0.77 +/- 0.13	0.17 +/- 0.15	0.87 +/- 0.05
Right infrahyoid muscles	0.24 +/- 0.10	0.27 +/- 0.17	0.34 +/- 0.22
Left infrahyoid muscles	0.24 +/- 0.10	0.23 +/- 0.19	0.39 +/- 0.19
Chin	0.40 +/- 0.13	0.14 +/- 0.14	0.79 +/- 0.14
Suprahyoid muscles	0.36 +/- 0.09	0.35 +/- 0.23	0.70 +/- 0.10
Sound data	0.60 +/- 0.16	0.25 +/- 0.18	0.90 +/- 0.05
			(mean +/- SD)

シングルストリームモデルにおける BMwTC, BMwoTC および non-BM の識別精度 (感度, 特異度, 陽性/陰性適中率) ならびに調和平均値 (F 値)

Table 3-a Validity of the BMwTC detection in multi-stream HMM				
	Sensitivity	Specificity	Positive predictive value	Negative predictive value
MS-1	0.85 +/- 0.16	0.96 +/- 0.03	0.81 +/- 0.11	0.97 +/- 0.03
MS-2	0.82 +/- 0.16	0.96 +/- 0.03	0.80 +/- 0.11	0.97 +/- 0.03
MS-3	0.81 +/- 0.16	0.96 +/- 0.02	0.79 +/- 0.09	0.97 +/- 0.03
MS-4	0.83 +/- 0.22	0.96 +/- 0.03	0.83 +/- 0.09	0.97 +/- 0.04
MS-5	0.86 +/- 0.16	0.96 +/- 0.03	0.83 +/- 0.10	0.97 +/- 0.03
				(mean +/- SD)
MS-1: EMG of bilateral masseter muscle, bilateral infrahyoid muscle, chin and right suprahyoid muscle				
MS-2: EMG of bilateral masseter muscle				
MS-3: EMG of bilateral masseter muscle and cutaneous transmittance sound				
MS-4: EMG of bilateral masseter muscle and bilateral infrahyoid muscle				
MS-5: EMG of bilateral masseter muscle, bilateral infrahyoid muscle and cutaneous transmittance sound				

Table 3-b Validity of the BMwoTC detection in multi-stream HMM				
	Sensitivity	Specificity	Positive predictive value	Negative predictive value
MS-1	0.58 +/- 0.41	0.93 +/- 0.04	0.23 +/- 0.15	0.98 +/- 0.02
MS-2	0.45 +/- 0.40	0.90 +/- 0.06	0.17 +/- 0.15	0.97 +/- 0.02
MS-3	0.52 +/- 0.40	0.91 +/- 0.05	0.18 +/- 0.14	0.98 +/- 0.02
MS-4	0.66 +/- 0.39	0.90 +/- 0.06	0.23 +/- 0.15	0.98 +/- 0.02
MS-5	0.58 +/- 0.36	0.96 +/- 0.03	0.37 +/- 0.22	0.98 +/- 0.02
				(mean +/- SD)
MS-1: EMG of bilateral masseter muscle, bilateral infrahyoid muscle, chin and right suprahyoid muscle				
MS-2: EMG of bilateral masseter muscle				
MS-3: EMG of bilateral masseter muscle and cutaneous transmittance sound				
MS-4: EMG of bilateral masseter muscle and bilateral infrahyoid muscle				
MS-5: EMG of bilateral masseter muscle, bilateral infrahyoid muscle and cutaneous transmittance sound				

Table 3-c Validity of the non-BM detection in multi-stream HMM				
	Sensitivity	Specificity	Positive predictive value	Negative predictive value
MS-1	0.88 +/- 0.06	0.85 +/- 0.17	0.96 +/- 0.04	0.67 +/- 0.10
MS-2	0.87 +/- 0.07	0.87 +/- 0.16	0.96 +/- 0.04	0.65 +/- 0.13
MS-3	0.87 +/- 0.07	0.87 +/- 0.16	0.96 +/- 0.04	0.66 +/- 0.13
MS-4	0.85 +/- 0.07	0.86 +/- 0.17	0.96 +/- 0.04	0.62 +/- 0.11
MS-5	0.92 +/- 0.06	0.84 +/- 0.17	0.96 +/- 0.04	0.76 +/- 0.12
				(mean +/- SD)
MS-1: EMG of bilateral masseter muscle, bilateral infrahyoid muscle, chin and right suprahyoid muscle				
MS-2: EMG of bilateral masseter muscle				
MS-3: EMG of bilateral masseter muscle and cutaneous transmittance sound				
MS-4: EMG of bilateral masseter muscle and bilateral infrahyoid muscle				
MS-5: EMG of bilateral masseter muscle, bilateral infrahyoid muscle and cutaneous transmittance sound				

Table 4 F-value of BMwTC, BMwoTC and non-BM detection in multi-stream HMM			
	BMwTC	BMwoTC	Non-BM
MS-1	0.82 +/- 0.09	0.32 +/- 0.21	0.92 +/- 0.03
MS-2	0.79 +/- 0.09	0.22 +/- 0.18	0.91 +/- 0.03
MS-3	0.79 +/- 0.07	0.26 +/- 0.21	0.92 +/- 0.03
MS-4	0.80 +/- 0.15	0.33 +/- 0.20	0.90 +/- 0.04
MS-5	0.83 +/- 0.09	0.43 +/- 0.25	0.94 +/- 0.03
			(mean +/- SD)
MS-1: EMG of bilateral masseter muscle, bilateral infrahyoid muscle, chin and right suprahyoid muscle			
MS-2: EMG of bilateral masseter muscle			
MS-3: EMG of bilateral masseter muscle and cutaneous transmittance sound			
MS-4: EMG of bilateral masseter muscle and bilateral infrahyoid muscle			
MS-5: EMG of bilateral masseter muscle, bilateral infrahyoid muscle and cutaneous transmittance sound			

マルチストリームモデルにおける BMwTC , BMwoTC および non-BM の識別精度 (感度, 特異度, 陽性/陰性適中率) ならびに調和平均値 (F 値)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名	坂本和基, 大野 彩, 三野卓哉, 黒崎陽子, 中川晋輔, 下村侑司, 大森 江, 樋口隆晴, 小山絵理, 徳本佳奈, 縄稚久美子, 窪木拓男
2. 発表標題	高齢メンテナンス患者における欠損補綴治療と食品摂取状況との関連
3. 学会等名	令和5年度公益社団法人日本補綴歯科学会中国・四国支部学術大会
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	三木春奈, 長崎光弘, Hoang Dinh Loc, 水口 一, 大森 江, 西村多寿子, 峯松信明, 窪木拓男
2. 発表標題	機械学習の応用によるブラキシズム/非ブラキシズム時の筋電図波形識別の試み
3. 学会等名	第35回一般社団法人日本顎関節学会学術大会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	三木春奈, 長崎光弘, Hoang Dinh Loc, 水口 一, 大森 江, 西村多寿子, 峯松信明, 窪木拓男
2. 発表標題	機械学習の応用による睡眠時筋電図波形のブラキシズム/非ブラキシズム識別の試み
3. 学会等名	公益社団法人日本補綴歯科学会第131回学術大会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	坂本和基, 大野 彩, 三野卓哉, 黒崎陽子, 下村侑司, 大森 江, 樋口隆晴, 小山絵理, 徳本佳奈, 縄稚久美子, 窪木拓男
2. 発表標題	欠損補綴治療が高齢者の食品摂取の多様性や摂取可能食品に与える影響
3. 学会等名	一般社団法人日本口腔リハビリテーション学会第36回学術大会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 大森 江, 大野 彩, 大野充昭, 小山絵理, 徳本佳奈, 山本道代, 三野卓哉, 黒崎陽子, 中川晋輔, 窪木拓男
2. 発表標題 要介護高齢者の腸内細菌と治療抵抗性低栄養および生命予後との関係
3. 学会等名 公益社団法人日本補綴歯科学会第131回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長崎光弘, Hoang Dinh Loc, 西村多寿子, 峯松信明, 水口 一, 窪木拓男
2. 発表標題 筋電図波形と音響信号を用いたブラキシズム及び擬似クレンチングの自動検出
3. 学会等名 第60回日本生体医工学大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hoang Dinh Loc, 長崎光弘, 水口 一, 三木春奈, 坂本和基, 下村侑司, 大森 江, 西村多寿子, 峯松信明, 窪木拓男
2. 発表標題 機械学習を応用したブラキシズムの筋電図波形識別の試み
3. 学会等名 公益社団法人日本補綴歯科学会第130回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 樋口隆晴, 大野 彩, 大野充昭, 黒崎陽子, 大森 江, 徳本佳奈, 中川晋輔, 三野卓哉, 石橋 啓, 下村侑司, 坂本和基, 窪木拓男
2. 発表標題 献体を利用したインプラント術前検査としての歯槽骨密度測定の信頼性と妥当性
3. 学会等名 公益社団法人日本補綴歯科学会第130回学術大会
4. 発表年 2021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
---------	---------