

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K11773

研究課題名(和文) 頭部加速度と咬合力を同時計測するマウスガード型ウェアラブルセンサの作製

研究課題名(英文) Fabrication of a Mouthguard Type Wearable Sensor for Simultaneous Measurement of Head Acceleration and Occlusal Force

研究代表者

上野 俊明 (UENO, Toshiaki)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・准教授

研究者番号：30292981

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)：運動時の咬みしめをモニタリングするためにMG中にフォースセンサを内蔵したMG型ウェアラブルセンサの開発を目的とした。センサ応答は70Nまで直線的に増加することを確認した。フォースセンサを内蔵したMGセンサを作製し、4種類の咬合試験(クレンチング、タッピング、顎運動、グライディング)およびサイクルエルゴメーターを用いて運動中の咬合状態のモニタリングを行った。咬合試験において、MGセンサは咬合力を検出できるとともに、十分な時間分解能を持っていた。またセンサの応答はセンサ配置や歯列に依存し、ビデオモーション解析の結果と一致した。運動負荷試験でも咬みしめが検出でき、MGセンサの有効性が確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動時の咬みしめは、スポーツパフォーマンスや健康にとって重要である。口腔内の状態をモニタリングするためのマウスガード(MG)型ウェアラブルデバイスが研究されてきたが、新たに、開発したMG型ウェアラブルセンサは、咬みしめのタイミングや時間、運動中の咬みしめの強度をモニタリングするのに有用であった。従来の筋電図活動(EMG)によるモニタリングに替わり、あるいは同時にモニタリングをすることで、運動時のスキルレベルに応じた咬みしめの傾向やタイミングなどを把握することでパフォーマンス向上の一助も期待される。

研究成果の概要(英文)：We developed a wearable mouth guard (MG) device with force sensors to monitor teeth clenching. The force sensor output increased linearly up to 70 N. In four simple occlusion tests (teeth clenching, teeth tapping, jaw movement, and teeth grinding), the trends exhibited by the outputs of the MG sensor were consistent with those of an electromyogram (EMG), and the MG device featured sufficient temporal resolution to measure the timing of teeth clenching. When the jaw moved, the MG sensor outputs depended on the sensor position. The MG sensor output from the teeth-grinding test agreed with the video-motion analysis results. It was comparatively difficult to use the EMG because it contained a significant noise level. The usefulness of the MG sensor was confirmed through an exercise tolerance test. It indicated that the developed wearable MG device is useful for monitoring clenching timing and duration, and the degree of clenching during exercise,

研究分野：スポーツ歯科学

キーワード：マウスガード ウェアラブルセンサ 咬合力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運動時の咬合状態の確認は、筋電図活動の変化に関する報告はあるが、歯列にかかる咬合圧や衝撃圧を測定した報告はない。その測定にはセンサ内蔵マウスガード (MG) 型ウェアラブルセンサが有用と考えられるが、開発に至っていなかった。咀嚼筋や咬みしめとスポーツパフォーマンスとの関係について様々な研究が行われており、咬みしめが身体能力や身体のバランスに影響を及ぼすことが示唆されている。先行研究では、この関係を明らかにするため筋電図 (EMG) が用いられてきた。しかし、EMG では、電極やワイヤーを皮膚に装着する必要があり、安全性や接触の安定性に問題がある。また、筋活動を測定するため、実際に歯にかかる力を測定できない。

2. 研究の目的

ヘルスケアやスポーツ分野でウェアラブルデバイスが注目されており、口腔内を調べるデバイスとして、MG の中に各種センサを入れた MG 型ウェアラブルデバイスが開発・研究されている。MG 型は非侵襲的で外部デバイスの危険性や不便さを解消でき、口腔内で位置が固定できるため、装着や取り外しが容易である。

そこで、本来の防護機能を損なうことなく、口腔機能も障害せず、快適性も担保される MG 型センサデバイスを試作し、口腔内での実装テストを含めたセンサデバイスの挙動試験が必要と考えられた。運動中の咬みしめをモニタリングするためのフォースセンサを内蔵した MG 型ウェアラブルセンサの開発を目的とし、咬合試験や運動試験でその有用性を調べた。

3. 研究の方法

MG 材料内に内蔵したフォースセンサの応答を確認するため、フォースセンサ (厚さ 0.203 mm、測定範囲 0~111 N) を 2 枚のエチレンビニルアセテート製 MG シート (厚さ 2 mm、直径 30 mm) の間に内蔵し、0.25 mm/min の速度で荷重をかけ、荷重とセンサ出力の関係を求めた。

MG 型ウェアラブルセンサ (MG センサ) の実験は、男性 3 名 (A: 29 歳、B: 19 歳、C: 28 歳) を被験者とした。本研究は、東京医科歯科大学歯学部倫理審査委員会の承認を得て行った (No. D2018-060)。MG シート材を吸引成形器で被験者の上顎歯列石膏模型の上に熱成形した。絶縁と防水のためにカプトンテープで覆ったフォースセンサを上顎第一大臼歯の左側 (MGL) と右側 (MGR) の位置にそれぞれ配置した。浸水がないことを確認するため、フォースセンサにはインジケータを貼付した。その後、吸引成形器で MG シート材をラミネートし、対合の咬合面を付与した。冷却後、トリミングを行い、MG2 層目のセンサ端子相当部を切り、リード線を端子に接続し、ヒートガンで封鎖した。

作製した MG センサを用いて 4 種類の咬合試験を行った。MG センサを被験者に装着し、出力は小型データロガーで記録した。EMG の電極 (電極間距離 30 mm) は、左側 (EMGL) と右側 (EMGR) の咬筋相当部に装着した。カメラと動作解析ソフトにより、下顎の動きを解析した。咬合試験の内容は以下の通りである。

1. クレンチング: ビジュアルフィードバックを用いて、100%、75%、50%、25% の 4 段階の強度で咬みしめを行い、それぞれ 5 秒間行い、最後に歯を軽く接触させた。
2. タッピング: 10 秒間のタッピングを行った。
3. 顎運動: 咬頭嵌合位で最大咬みしめを行い、安静時から下顎左側側方運動、右側側方運動、前方運動を行った。それぞれの動作は 5 秒間で、動作間には 5 秒間のインターバルを設けた。
4. グラインディング: 10 秒間の歯ぎしりを行った。

EMG のデータは二乗平均平方根 (平滑化時間 = 50 msec) 処理した。MG センサ、EMG とともに安静時と最大筋力発揮時の値で正規化した。統計解析ソフトウェアを用いて、一元配置分散分析と Tukey-Kramer 検定 ($\alpha = 0.05$) による多重比較を行った。

運動中を模した実験として、サイクルエルゴメーターを用いた運動負荷試験を行った。3 段階で負荷をかけ、第 1 段階の負荷設定は性別と体重に基づいて決定し、第 2、3 段階は前段階の結果から負荷を設定した。また、カメラと動作解析ソフトにより、足の動きを追跡した。

4. 研究成果

万能試験機を用いて MG 材料内に内蔵したフォースセンサに荷重をかけた結果、フォースセンサの出力は 70 N の荷重と出力の関係が線形であった。(図 1)

被験者を用いた全ての試験中に MG センサ内のインジケータに発色はなく、浸水がないことが確認できた。

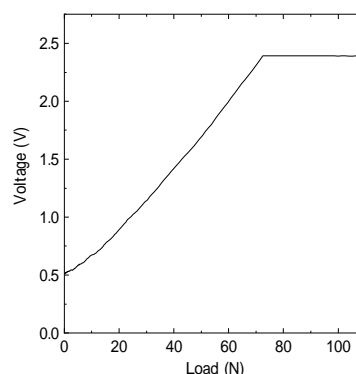


図 1 Correlation between the output voltage of the force sensor in MG materials and the load

クレンチングの結果から、被験者Cの左側以外はMGセンサとEMGの強度が比例関係にあった。(図2)

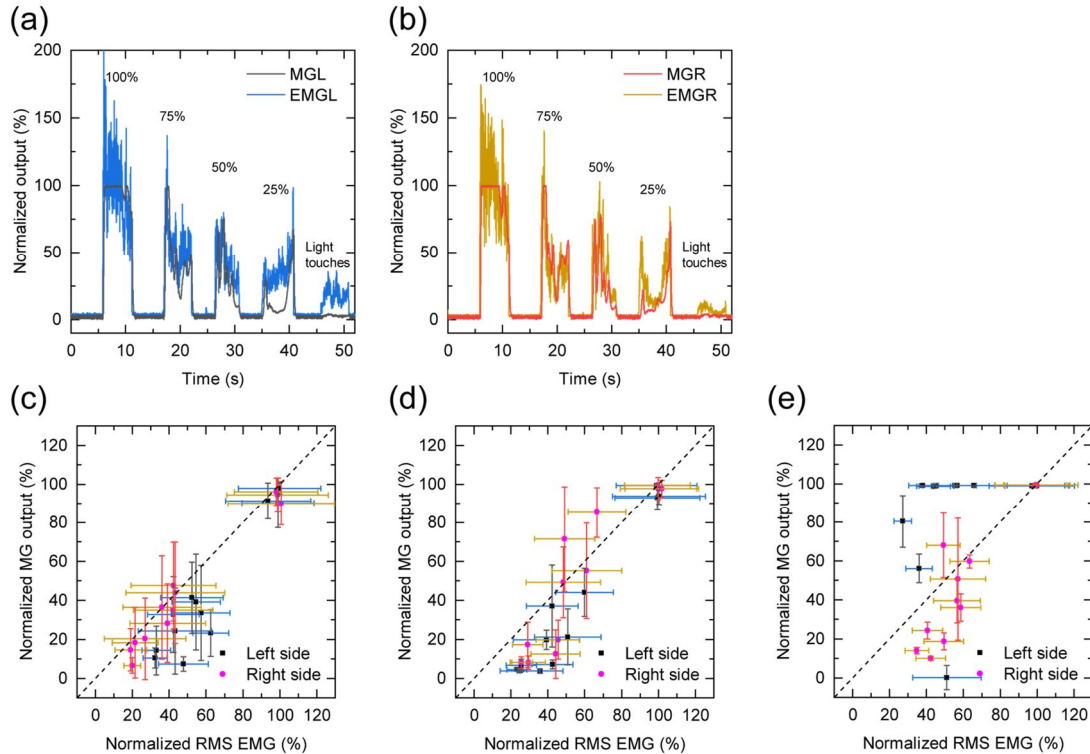


図2. MG sensor outputs and the electromyograms (EMGs) during the teeth-clenching task at four different levels from 100% to 25% in steps of 25% and during light teeth touches. (a) Left-side sensors (MGL and EMGL); (b) right-side sensors (MGR and EMGR); and correlation between the MG sensor output and EMG (right and left sides, respectively) for each participant: (c) participant A, (d) participant B, and (e) participant C. Error bars represent the standard deviation.

タッピングの結果では、MGセンサとEMGのピーク間隔に有意差はなく、被験者が1秒間に最大3.6回のタッピングを行ったことが確認できた。(図3)

顎運動では、MGセンサは、左側側方運動時はMGLが大きくなり、右側側方運動時はMGRが大きくなった。前方運動時の出力は左右で同じであった。EMGは、MGセンサほどの左右差はなかった。被験者特有の結果として、被験者BはMGRが大きくなる傾向があり、被験者Cは前方運動時にMGLが大きかった。(図4)

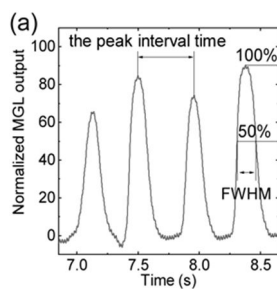


図3 MG sensor output during the teeth-tapping

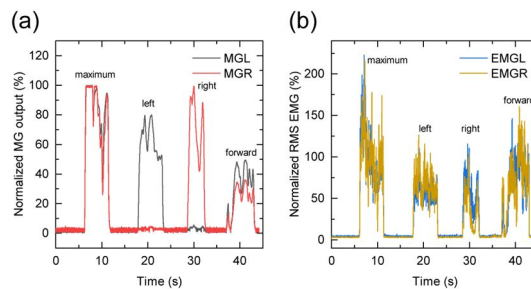


図4 (a) MG sensor output and (b) EMG during the jaw movement task.

グラインディングは、動作解析の結果より1秒間に約0.8回(A) 約2.2回(B) 約1.3回(C)の歯ぎしりを行っていたことがわかった。MGセンサの出力ピークはEMGよりも明確であった。被験者Aは下顎が左側にあるときにMGLの出力が大きくなり、右側にあるときにMGRの出力が大きくなったが、被験者Bは下顎が左側にあるときにMGLとMGRの出力がともに増加した。被験者Cは下顎が左右に動くときにMGLとMGRの出力がともに増加と減少を繰り返した(図5)

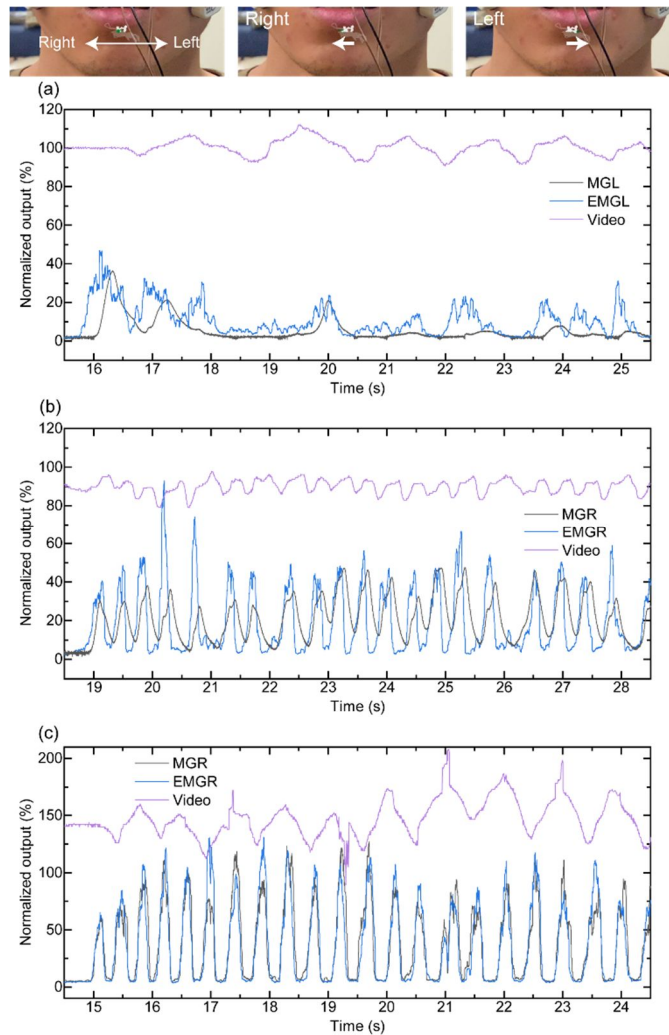


図5 Sensors compared with the video-motion analysis during the grinding task for each participant: (a) participant A, (b) participant B, and (c) participant C.

運動負荷試験において、MG センサ、EMG とともに左右の出力は類似していた。MG センサと EMG では両方とも同等の反応を示すときと MG センサはほぼ 0% なのに対して EMG だけ低い値を示すことがあった。MG 活動があっても上下の咬合接触がないタイミングがあることが確認された。

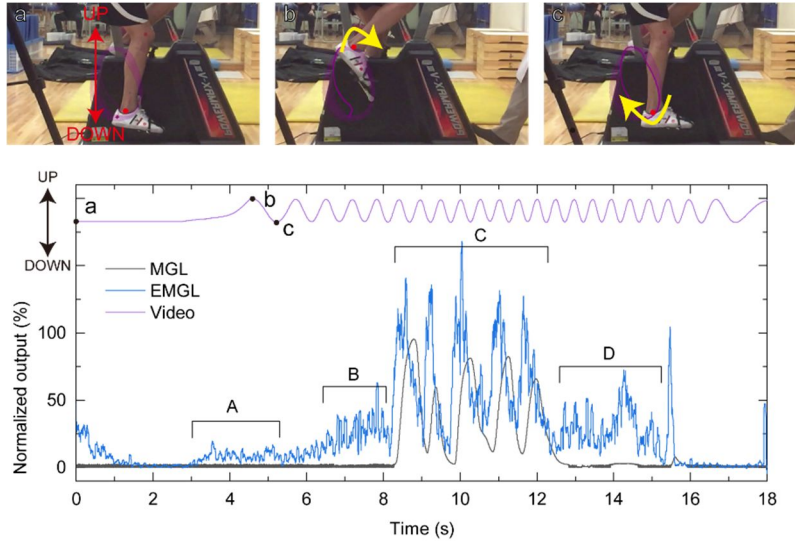


図6 Outputs of left-side sensors (MGL and EMGL) compared with the video-motion analysis during the exercise tolerance test.

先行研究では同様の運動負荷試験中に感圧シートを用いて運動時の咬合力を測定していたが、

咬みしめのタイミングや持続時間は計測できていなかった。本研究ではMGセンサを使用することで咬みしめのタイミングや持続時間が計測できた。EMGでは、MGセンサで検出されなかったピークが多くあった。EMGは両側咬筋に装着したが、電極が動くことでの影響や咬筋以外の筋活動を受けている可能性がある。EMGの結果だけで歯の接触を伴う咬みしめがおこなわれているかを判断することは困難であり、MGセンサとEMGの結果を組み合わせることが重要であった。

本研究では、MGセンサが運動時の咬みしめをモニタリングするのに有用であることを示した。また、咬みしめのモニタリングが重要な睡眠時ブラキシズムや顎関節症に関する研究にも応用できると考えられた。本研究は、MGセンサの開発、可能性の実証を目的としており、限られた運動負荷試験での結果に留まり、現時点での結果では咬みしめとスポーツパフォーマンスを議論するには不十分である。スポーツ選手の歯の健康とパフォーマンスの向上のためには、実際のスポーツに近い条件での研究を行い、咬みしめとスポーツパフォーマンスの関係を明らかにする必要がある。

MG型ウェアラブルセンサを作製・装着し、咬合試験と運動試験を行うことができた。MGセンサは咬合力を検出できるとともに、十分な時間分解能を持つことがわかった。MGセンサの応答はセンサの配置や歯列に依存した。運動試験ではMGセンサを用いて咬みしめのタイミングと時間、および強度をモニタリングすることができた。これらの結果から、MGセンサは運動時の咬みしめの傾向を知るための有用なツールとなり得ることが確認された。今後、無線デバイス化などの高機能化とともに多種多様な運動時での応用確認が必要と言えた。

<引用文献>

Rio Kinjo, Takahiro Wada, Hiroshi Churei, Takehiro Ohmi, Kairi Hayashi, Kazuyoshi Yagishita, Motohiro Uo, Toshiaki Ueno. Development of a Wearable Mouth Guard Device for Monitoring Teeth Clenching during Exercise. *Sensors* (Basel). 2021 Feb 22;21(4):1503. doi: 10.3390/s21041503.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Rio Kinjo, Takahiro Wada, Hiroshi Churei, Takehiro Ohmi, Kairi Hayashi, Kazuyoshi Yagishita, Motohiro Uo, Toshiaki Ueno.	4. 巻 21(4)
2. 論文標題 Development of a Wearable Mouth Guard Device for Monitoring Teeth Clenching during Exercise	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors (Basel)	6. 最初と最後の頁 1503
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/s21041503	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 3件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 金城里於, 和田敬広, 中禮宏, 林海里, 吉田結梨子, 田邊元, 宇尾基弘, 高橋英和, 上野俊明.
2. 発表標題 マウスガード材に内蔵した圧力センサの挙動.
3. 学会等名 第71回日本歯科理工学会学術講演会.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金城里於, 和田敬広, 中禮宏, 林海里, 高橋英和, 宇尾基弘, 上野俊明.
2. 発表標題 マウスガード型ウェアラブルセンサ開発に向けたフォースセンサの挙動評価.
3. 学会等名 第29回日本スポーツ歯科医学会.
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rio Kinjo, Takahiro Wada, Hiroshi Churei, Hidekazu Takahashi, Toshiaki Ueno, Motohiro Uo
2. 発表標題 Evaluating the use of a force sensor for the development of a mouth guard-type wearable sensor
3. 学会等名 3rd International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (iLIM-3) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野俊明
2. 発表標題 スポーツマウスガードの効果・効能を探る / マウスガードとパフォーマンスの考え方
3. 学会等名 第28回日本臨床スポーツ医学会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野俊明
2. 発表標題 スポーツ・運動中の歯・口の外傷事故 事例分析と予防10か条
3. 学会等名 日本スポーツ振興センター・スポーツ事故防止対策協議会 / スポーツ事故防止セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野俊明
2. 発表標題 運動・スポーツ実施に伴う口内環境の変化について - より良いスポーツ歯科保健指導と予防処置を実践するために
3. 学会等名 第28回日本スポーツ歯科医学会 / 第5回SDHセミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柴田千帆, 中禮宏, 林海里, 白子高大, 相澤純也, 柳下和慶, 上野俊明.
2. 発表標題 背部への衝突外乱から生じる頭部回転角加速度に対する咬合の介入研究
3. 学会等名 第28回日本スポーツ歯科医学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 2. 金城里於, 和田敬広, 中禮宏, 林海里, 吉田結梨子, 田邊元, 宇尾基弘, 高橋英和, 上野俊明.
2. 発表標題 マウスガード材に内蔵した圧力センサの挙動.
3. 学会等名 第71回日本歯科理工学会学術講演会
4. 発表年 2018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
研究分担者	和田 敬広 (WADA Takahiro) (10632317)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教 (12602)	
研究分担者	中禮 宏 (CHUREI Hiroshi) (50431945)	東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教 (12602)	
研究分担者	林 海里 (HAYASHI Kairi) (30803192)	東京医科歯科大学・歯学部附属病院・特任助教 (12602)	

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
---------	---------