

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16034

研究課題名(和文) イオン液体ゲルと布状電極を用いたウェアラブル無線筋電計測システム

研究課題名(英文) Wearable wireless electromyography system with ionic liquid gel and fabric electrode

研究代表者

高松 誠一 (Takamatsu, Seiichi)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：20635320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：筋肉の動きをイオン性液体ゲルと導電性ポリマーをコーティングした布状電極を用いたウェアラブル電極により計測を行った。布へ印刷方法として、シリコンゴムを用いてネガパターンを形成後に、その内側に導電性ポリマー、イオン液体性ゲル等を形成する方法を開発した。この方法で試作した電極の特徴として、医療用のものに比べインピーダンスが低く、1カ月以上乾燥しないため24時間以上の長時間の使用が可能であることが分かった。筋電計測時には、通常用いられている医療用電極と同様の波形が得られることを確認し、M、V、H波形の計測に成功した。

研究成果の概要(英文)：To monitor and stimulate muscle activity for long time, we developed wearable electrode which is made of conductive polymer and ionic liquid gel. The fabrication process to pattern conductive polymer and ionic liquid gel on soft stretchable knit textile has been constructed. The fabricated electrode is utilized for Electromyography (EMG). Our electrode exhibits lower impedance between human skin. these electrodes demonstrated high performance long-term stability during more than 24 hours of ECG recordings. Finally, the neuromuscular tests were performed with our wearable electrode and M, V, H waves were observed.

研究分野：ウェアラブルデバイス

キーワード：導電性ポリマー ウェアラブル イオン性液体 筋電

1. 研究開始当初の背景

スポーツやリハビリ研究分野においては、被験者の筋肉の動きを長時間、配線ケーブルの拘束なしに計測することが求められてきた。このようなスポーツ分野からの要請に応えるには、低いインピーダンスで皮膚と電極を接続できるウェアラブルな布状電極と無線筋電アンプ端末が必要となると考えられる。

筋肉の計測においては、従来技術では皮膚と布電極の間に水溶性の導電性ゲルが使われていたが、2-3時間で乾いてしまっていてインピーダンスが上がってしまうという問題があり長時間用いることができるゲルが必要であった。また、筋電用アンプは実験室に据え置き型であり、長い電気配線で人との間をつないでいる。そのため、計測できる運動がルームランナーなど室内運動に限られてしまう問題がある。自由に運動を計測することができるアンプが必要であった。

一方で、このようなウェアラブル技術として研究代表者らは、導電性ポリマーなど電極材料について膜厚を調整しながらナイロン糸上に塗布する技術とその電極糸を織り込む自動織機を開発するなど布状デバイスを構築する製造技術を確立してきた。この技術を用いて、スポーツやリハビリ分野に求められるの筋電計測デバイスを開発することが研究背景である。

2. 研究の目的

導電性ポリマーとイオン性液体ゲルを塗布した布電極の形成とアンプによる計測システムで、被験者が自由な状態で長時間筋電を計測できるシステムの構築が目的であった。具体的な目標は、

- A) 布状電極として、導電性ポリマーとイオン液体ゲルを布上にパターンニングする技術の確立を行う。
- B) 布状電極と皮膚の間のインピーダンスを明らかにし、24時間以上インピーダンスが変化しないことを示す。
- C) 布電極と微小電圧アンプにより、筋電計測を実際に行う。

3. 研究の方法

A) 布上へのパターンニング技術

布への電極のパターンニング技術として、図1のような方法を提案、実現した。導電性ポリマーやイオン性液体ゲルをパターンニングする際の問題点は、通常のリソグラフィー技術で用いられるアルコールやデベロッパによる薬品処理であった。そのため、パターンニングプロセス中に薬品での処理がないことが重要である。提案したプロセスにおいては、まず、ネガパターンをPDMSゴムを布に形成する。その後、必要な導電性ポリマー(PEDOT:PSS, ClevisTM PH1000, Heraeus) やイオン性液体(1-ethyl-3-methylimidazolium-ethyl

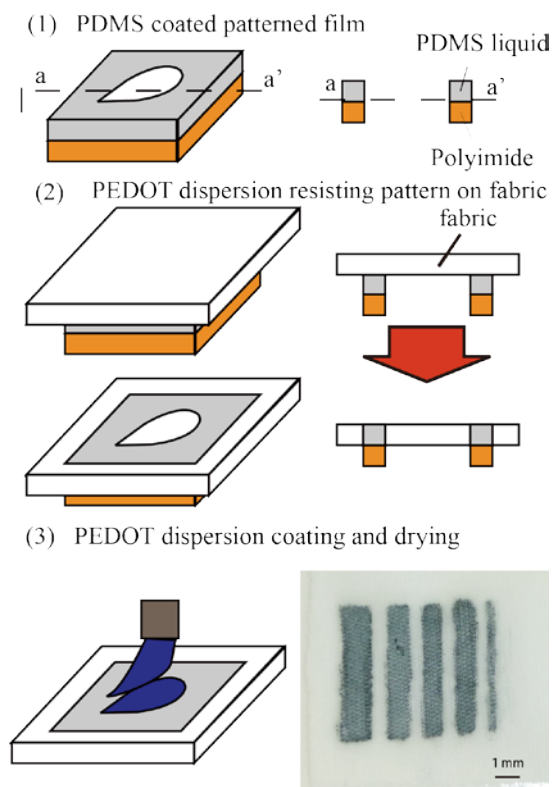


図1 布状電極のパターンニング法

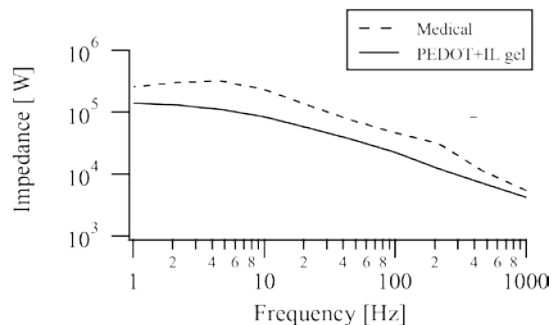
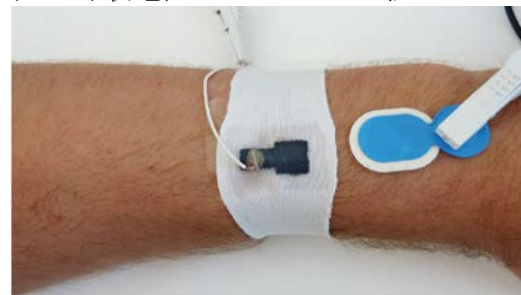


図2 生体電極と皮膚との間のインピーダンス

sulfate) を上に形成する。この方法により、導電性低下がないことが確認された。さらに、パターンニングの精度として 500 μ m 幅のラインアンドスペースが可能であることが分かった。これは、糸一本が 250 μ m 程度であるため糸 2 本分程度であり、布上での電極のパターンニング限度であるといえる。

(B) 布状電極と皮膚の間のインピーダンス評価

まず、布状電極のシート抵抗を 4 端子法で計測した。その結果、布状電極のシート抵抗が 230 Ω /sq. であり、無機材料の ITO (100

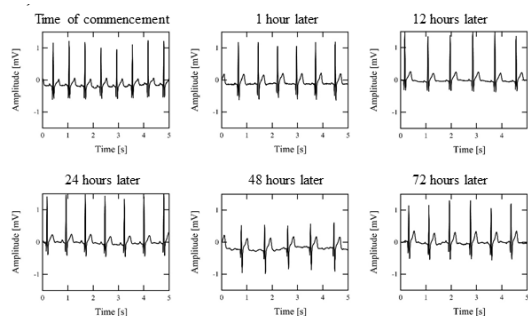


図3 長時間心電計測結果

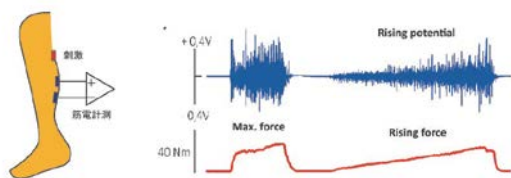


図4 ふくらはぎの筋電計測結果

$\Omega/\text{sq.}$)より高いが同じオーダーであることが分かった。また、この値はパターンニングなしにディップコートした場合と同じであった。そのため、提案したパターンニング方法による導電性低下がなかった。

次に、イオン性液体を導電性ポリマーの上に塗布した電極と皮膚の間で計測を行った。このとき、通常の生体電極である銀塩化銀電極とインピーダンスと比較を行った。その結果(図2)、10Hzで2.5倍程度インピーダンスが低いことが分かった。そのため、本研究で用いたイオン性液体ゲルは生体電極として適している。

さらに生体電極としての特性を評価した。評価として、通常の生体電極と比較しながら長時間の心電計測を行った(図3)。心電計測においては、通常の生体電極と同様の信号を検知可能であり、心電のPQRST波形を検出できた。また、長時間の連続計測については、72時間装着し計測が可能であった。さらに1月後に装着し計測を行ったところPQRST波形を計測可能であり、イオン液体性ゲルが蒸発せず使用可能であることが分かった。

4. 研究成果

C) 布電極と微小電圧アンプ作成と筋電計測

微小電圧アンプと無線通信用のブルートゥース通信端末についても試作を行った。ノイズをカットするノイズフィルターの入った微小電圧を増幅する回路を試作した。また、低消費電力で通信が可能なブルートゥースローエネルギー(BLE)の通信モジュールの試作を行い信号のやり取りができることを確認した。

筋電計測は、ふくらはぎに2点に電極を設置し、足に力を入れるとき、また、膝裏に電気刺激を行う方法で行った。図4のように、足に力を加えていったときに、筋電が増加す

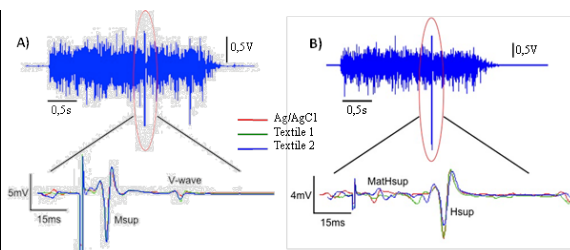


図5 刺激を与えた場合の筋電計測結果

る様子が計測できており、通常の生体電極と同様であった。また、図5のように、膝裏に電気刺激を加えた時のM、V、H波を毛引致することが可能であることが分かった。

本研究では、上記のように試作したウェアラブル布状電極は長時間計測(72時間以上)が可能であることが分かった。また、この電極を用いて刺激、計測を行うことでM、V、H波など筋電を計測することが可能であることが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

1. Wearable Keyboard Using Conducting Polymer Electrodes on Textiles, S. Takamatsu, T. Lonjaret, E. Ismailova, A. Masuda, T. Itoh, and G. G. Malliaras, *Advanced Materials*, vol. 28, pp. 4485-4488, Jun 8 2016. (査読有)
2. Cutaneous Recording and Stimulation of Muscles Using Organic Electronic Textiles, M. Papiordanidou, S. Takamatsu, S. Rezaei-Mazinani, T. Lonjaret, A. Martin, and E. Ismailova, *Adv Healthc Mater*, pp. 2001-2006, May 31 2016. (査読有)

[学会発表] (計 3件)

1. Mechanical characterization of biomedical electrode, S. Takamatsu, and T. Itoh, DTIP2016, 2016.5.30 ブダペスト(ハンガリー)
2. 布状生体電極のための配線材料の検討, 高松誠一、山下崇博、伊藤寿浩 第30回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、2016.3.23, 東京都・目黒区
3. イオン性液体ゲルと布状電極を用いたECG, 高松誠一, イスマエラ エズマ, ロンジャレ トーマ, マリアラス ジョージ, 第32回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 2015.10.21, 新潟県・新潟市

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況（計 0件）

〔その他〕

ホームページ www.hem.k.u-tokyo.ac.jp

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高松 誠一 (Seiichi TAKAMATSU)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・
准教授

研究者番号：20635320

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし