

微小針ドライ電極を用いた有毛部からの脳波計測および高齢社会における応用に関する提案

工藤 優汰*

三木 則尚*

概要：本論文では、当研究室において開発、製作してきたキャンドル型微小針ドライ電極についての説明、ならびにそれを用いた応用研究事例、それらの研究を踏まえた高齢社会への応用方法の提案の三つを報告した。キャンドル型微小針ドライ電極とは、角質層の削り出し、導電性ペーストの塗布といった皮膚処理を一切排除したドライ型の電極である。応用研究事例においては、キャンドル型微小針ドライ電極を用いて、精神負荷時の脳波計測を行い、精神疲労と脳波の関連性について研究した。その結果、アルファ波高周波において新たな知見を発見した。高齢社会への応用方法の提案としては、介護従事者の負担低下の為に、労働環境の最適化を脳波モニタリングを通して行う事を提案した。提案が実行されると、労働環境の改善、さらに新規介護労働従事者の増加も見込まれる。

1. 序論 *

本論文では、当研究室において開発、製作してきたキャンドル型微小針ドライ電極についての説明、ならびにそれを用いた応用研究事例、そしてそれらの研究を踏まえた高齢社会への応用方法の提案の三つを報告した。

近年、脳情報、特にシステム面の簡易さから最も応用しやすいと考えられている脳波の応用が盛んになってきている。特に、脳波を用いたバイオモニタリング等はその一例である。そういった応用事例、研究において依然問題となっているのが、脳波計測用の電極である。脳波とはそもそも、脳内部の神経細胞の微小な電気活動の総和を、脳表面に配置した電極で計測したものであり、電位変動であらわされる[1]。この計測は、従来型の計測方法であると、次の皮膚処理が必要である。計測電極設置対象表面の皮膚角質層を研磨剤煎りペーストで削る。さらに、そこに導電性ペーストを塗布し、電極を張り付ける。これらの皮膚処理は、脳波計測者にとって非常に高負荷である。さらにペーストの濁き等により長時間計測も困難である。そこで、当研究室では、微小針を有するドライ型の電極を作成してきた[2]。さらに、針根元にピラー機構を有しているため、有毛部での計測も可能となっている。筆者らは、これまでに、この電極を用いた応用研究として、精神疲労と脳波の関連性について実験を行っている。その研究においては従来成果の確認はもちろんのこと、新たな知見（ α 波の高周波数帯が精神疲労蓄積、回復に伴い強く変動する）も発見することが出来ている。これらの当研究室における研究事例を踏まえて、今後の高齢社会を考えた。主に本提案では、増加する高齢者そのものを対象とせず、その高齢者を支える職業に就く人々、特に介護職に従事している人々を対象とした。当研究室の応用研究の延長戦にあるバイオモニタリング技術を応用して、介護者等の働きの効率化、そして、過剰な労働を防げるようなサービス展開につなげることを考えている。

本提案が実現される事で、成熟していく高齢化社会での高齢者補助職の過剰労働の緩和が期待されると考えている。

2. キャンドル型微小針電極

本項では、これまで当研究室において開発してきたキャンドル型微小針ドライ電極に関して説明した。

当研究室では、Fig. 1 に示すようなコンセプトのキャンドル型微小針ドライ電極を開発してきた Fig. 2。当該電極は Fig. 1 に示すように微小針とピラー構造を有している為、頭表上有毛部においても皮膚処理なしに、高精度に脳波を計測することが可能である。電極の設計は Fig. 3 に示した。電極先端の微小針長さは 200 μm 、先端径が 10 – 15 nm で

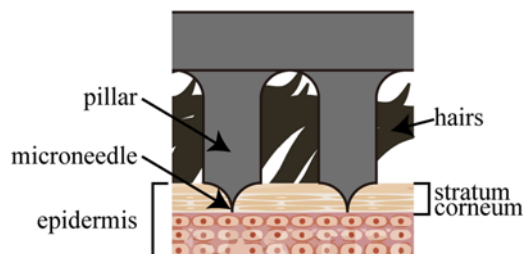


Fig. 1 キャンドル型微小針電極コンセプト図

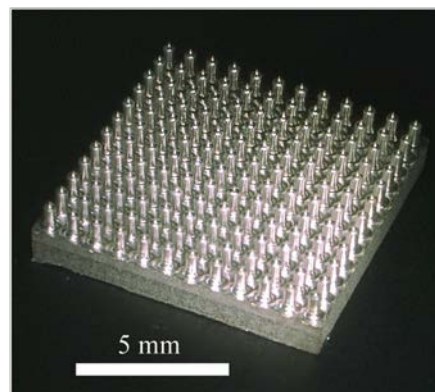


Fig. 2 キャンドル型微小針電極

* 慶應義塾大学
Keio University

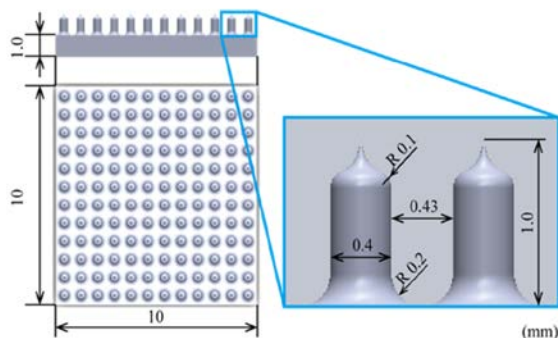


Fig. 3 電極設計

あるので、皮膚内部の痛点約 250 μm に到達しない。つまり、無痛使用が可能である。一方、従来臨床において脳波計測に用いられてきたウェット電極では、皮膚角質層の削りだしによる除去、そして導電性の塗布が必要となる。さらに、有毛部では髪が邪魔になり計測が困難となる。当該微小針電極は計測の簡便性、並びに有毛部での計測可能性において、従来型電極より優れている。

製作プロセスは転写法を用いた Fig. 4. (a)合金で作成した母型を、(b)PDMS に転写。(c)凹型の PDMS 型に、基盤となる、エポキシ系樹脂 SU-8 を流し込み、(d)成型した。導電性を上げるため表面に銀を蒸着した。さらに外層に極薄膜の不導体パレレンを蒸着した。極薄膜パレレンは表面に微小孔を大量に有するため、導電性を保ちつつ、銀膜の剥離を防ぐ事が可能である。

当研究室における先行研究として、従来型の皮膚処理を必要とするウェット電極と信号精度の比較を行ったところ、ほぼ同程度の高精度な信号が計測されていることがすでに確認済みである[3]。

3. キャンドル型微小針電極を用いた応用研究事例

当研究室では、当該電極を用いた応用研究例として、精神負荷中の被験者の脳波成分と主観的な被験者の精神疲労度合いとの相関を調べる実験を行った。本項では、その応用研究について述べた。

当該電極を用いた応用研究事例として、当研究室では、精神疲労と脳波の相関を調べる研究を行った。

すべて被験者は精神負荷として、一ケタの足し算を行った。主観評価として、Visual Analog Scale(VAS)を用いた。疲労していない、疲労していると左右端にかかれた数直線上に直感的な疲労度合いを記してもらい、左端からの距離を主観的疲労度とするものである。客観評価として Heart Rate Variance(HRV)を用いた。この評価方法は、心電図をもとに自律神経評価指数という自律神経の活動を反映する指標を算出するものである。VAS, HRV のどちらも上昇すると、精神疲労蓄積を示し、下降すると、精神疲労減少を示す[4]。

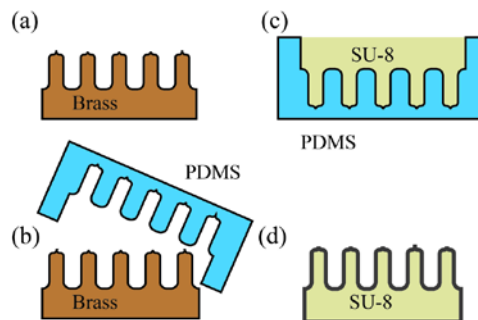


Fig. 4 電極製作方法

脳波はすべて被験者後頭有毛部より当該電極を用いて、閉眼安静状態において計測された。

被験者は 20 - 25 歳の健康な男女 25 人であり、書面において実験への承諾を得た。さらに、すべての実験は慶應義塾大学倫理委員会の承認を得て行われたものである。

精神負荷は 90 分行われ、各 10 分ごとに、脳波、心電図、主観評価シートへの記入が行われた。

結果は Fig. 5 に示した。このグラフが示すように、被験者の脳波成分のうち、High Alpha(10.5 - 13 Hz)の Alpha 波高周波成分が主観的疲労に同期して反応していることがわかる。さらに、主観評価より 10 分ほど早く変動を変えていることも読み取れる。これらより、脳波のある成分は、精神疲労の変動に対し主観評価よりも早く反応できる可能性がある事を示している。

この研究結果は、脳波の精神疲労推定手法への応用可能性を強く支持できるものだと考えられる。

4. 高齢社会への提案

本項では、前項までの内容を踏まえ、高齢社会における応用技術を提案する。

本項まで、当研究室において開発してきたキャンドル型微小針ドライ電極に関する説明、ならびにそれを用いた応用研究事例に関して述べた。これらを簡潔に言い換えるならば、「脳波を簡便かつ高精度に、全頭表上から計測可能で

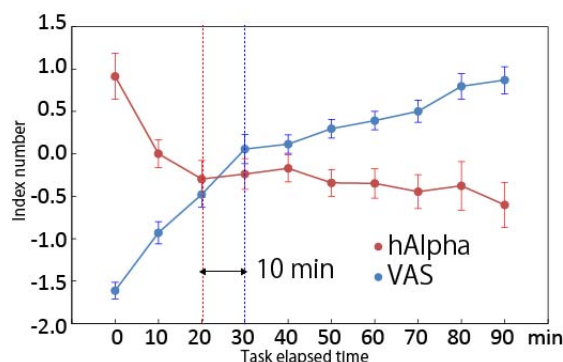


Fig. 5 精神負荷実験結果

あること」と、「脳波の精神疲労推定手法への応用可能性」である。この二つを踏まえて、実現可能な技術としては、皮膚処理の一切必要のないウェアラブル脳波計測デバイスを用いたバイオモニタリングである。つまり、そのデバイスは、皮膚処理等一切必要なく、装着するだけで精神状態等のバイオモニタリングが可能となる技術である。この技術が実現している状態を想定して、今後の高齢化社会を考える。今後の高齢化社会においては、つまりは高齢者がさらに増加した未来においては、二つの種類の問題の発生が考えられる。一つは、高齢者群において発生する種々の疾病によって発生する問題。もう一つは、その高齢者補助において発生する問題。本提案では、特に後者において重大な問題が発生すると考え、高齢者補助側において、特に「介護」に焦点を当てた。今後の高齢社会においては、介護職に従事する人が少ないことも相まって、さらに労働は激化してしまうと推測される。労働激化によって、肉体疲労、精神疲労の回復が間に合わない蓄積が起こる。結果的に、体調を壊し、さらには、精神を病んでしまい、社会的な事件につながる可能性もある。このような状況下で、行うべきことは、根本的な問題である介護職従事者の「労働環境改善」である。労働環境改善を、本論文では、介護労働の介護職従事者にとっての最適化を行う事として考える。最適な従事者の心身状態で労働を行う事は、ひたすらに長時間働くよりも効率的に、より良い労働結果を出す事に繋がると仮定している。具体的には、先述したデバイスを用いて、労働従事者のバイオモニタリングを行い、精神疲労度や集中度、覚醒度等のログを取得し、解析することで、労働従事者の状態を把握する。各パラメーターに基準値を設け、その値を下回った場合に最適なタイミングで休憩等を挟み、必要量回復したタイミングで仕事に復帰する。この労働サイクルの最適化を行うことで、少ない介護職従事者の無駄な負担と少しでも軽減させていくことが可能であると考えている。

5. 結論

当研究室で開発してきたキャンドル型微小針ドライ電極を用いる事で次の技術が実現可能となると考えられる。

「皮膚処理の一切必要のないウェアラブル脳波計測デバイスを用いたバイオモニタリング技術」である。

この技術を応用して、筆者らは次のような提案をする。

「脳情報からのバイオモニタリングにより、介護職従事者の労働サイクルを最適化し、非効率的な労働や疲労を防ぐ」という提案である。この提案が実現されることで、高齢社会における介護職従事者の労働環境は改善され、さらにはその改善状況により、新たな介護職労働従事者の増加も見込むことが可能であると考えている。

参考文献

- [1] H. Berger, “Über das Elektrenkephalogramm des Menschen,” *Arch. Psychiatr. Nervenkr.*, vol. 94, no. 1, pp. 16–60, Dec. 1931.
- [2] M. Arai, Y. Nishinaka, and N. Miki, “Electroencephalogram measurement using polymer-based dry microneedle electrode,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 54, no. 6S1, p. 06FP14, Jun. 2015.
- [3] M. Arai *et al.*, “Polymer-based candle-shaped microneedle electrodes for electroencephalography on hairy skin,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 55, no. 6S1, p. 06GP16, Jun. 2016.
- [4] 倉恒弘彦, 井上正康, 渡辺恭良, 危ない! 「慢性疲労」. 日本放送出版協会, 2004.