電気触覚ディスプレイ用微小針電極アレイの開発

Development of Micro-needle Electrode Array for Electro Tactile Display

○学 北村 謙英 (慶大) Julian Chim (慶大) 正 三木 則尚 (慶大)

Norihide KITAMURA, Keio University
Julian CHIM, Keio University
Norihiisa MIKI, Keio University

This paper describes electro tactile display with micro-needle electrodes that stimulate tactile receptors using electric stimulation. Electro tactile displays can be thin and flexible, however, the high electric impedance of the stratum corneum requires high voltage to stimulate the tactile receptors. In our device, we use needles as electrodes and the needle length was designed to have approximately the same length as the stratum corneum so as not to injure nerve area. This device allowed subjects to feel tactile sensation with lower voltage than a flat electrode array with good repeatability. In addition, the tactile sensation was created in the vicinity of the needles, i.e., tactile display with a high spatial resolution was achieved.

Key Words: Tactile Display, Micro-Needle, Titanium Etching, Electrical Stimulation

1. 序論

近年、新たな情報伝達のインターフェースとして「触覚」を用いたデバイスの研究が盛んに行われている。

触覚は、皮膚の変形により触覚受容器が刺激され、電気的に興奮状態となることで生じる。したがって、受容器を人工的に刺激することで疑似的な触覚を与えられる。これを利用したデバイスが触覚ディスプレイである。

現在触覚提示デバイスとして研究が進められているものは、主に触覚受容器を機械振動で刺激するものと電気刺激するものである。前者は形状の提示に優れている反面、大型化・高消費電力を避けられない。一方後者は薄型化・軽量化が可能で低消費電力、形状もフレキシブルであるが、指腹部の抵抗値が非常に高いことから、質感の安定性に欠けている。

そこで本研究では、電気刺激型デバイスの電極を針型に変更し、指腹部に刺入して抵抗を軽減することで、触覚を効率的かつ安定した質感で提示することを提案する。針型電極には抵抗値の低減と無痛性が求められるため、本研究では Fig.1 に示すように、指腹部において最も抵抗値の高い角質層のみを貫き、痛覚神経を刺激しない微小針電極アレイを製作し、微小針電極を用いた触覚ディスプレイの優位性を示した。

2. 微小針電極の設計

2.1 微小針電極の形状

人間の指腹部は大きく分けて外側から角質層、表皮、真皮の3つから構成されている。角質層のインピーダンスは非常に高く、その厚さは約 600 μm あるため触覚受容器を刺激するためには大きな電圧を必要とする。また、表皮の厚さは 100 μm 程度で痛点や触点といった神経や受容器が存在しない。以上のことから角質層のみを貫通する長さ約 650 μm の針型電極を用いて表皮からの触覚受容器刺激を図る。

Fig. 1 Illustration of Electro Tactile Display

2.2 電極の材料および加工方法

微小針電極の素材には、生体適合性を持つ金属の中でも容易に手に入り、機械的性質、耐食性ともに優れているチタンを用いた。また、チタンの針型への加工は電解エッチングを用いた。この際、エチレングリコールに塩化ナトリウムを溶解させた電解液を用いることで安全なエッチングを行った。また、アレイ化を行うにあたり、容易に針を固定でき、かつ生体適合性を有する熱硬化性ポリマ、Polydimethylsiloxane (PDMS)をディスプレイ本体に使用した。

2.3 微小針電極の配置

指腹部には大きく分けて2種類の触覚受容器が存在する。圧覚から凹凸を感じる Slow Adapting (SA)と振動覚から「つるつる」や「ざらざら」を感じる Fast Adapting (FA)である。これらの触覚受容器はそれぞれ刺激される電流の正負が決まっており、電流の向きを変えることで違う触覚を提示することができる。以上のことから、本研究においては、刺激電極をアノード及びカソードに切り替えられるよう、Fig.2 に示した通り、受容器を刺激する電極を囲むように接地した電極を配置した。これにより、圧覚と振動覚の2つの異なる触覚の提示が可能となる。

3. 製作と実験

3.1 針電極アレイの製作

針電極アレイの製作プロセスを Fig.3 に示す。(a)まず、機械加工により製作したワイヤホルダに、折り曲げたチタンワイヤを差し込んだ。接地用の針を導通させる場合はこの時点で導電性ペーストを用い導通させた。(b)その後PDMSを流し込み、熱硬化させることでワイヤを固定し、必要な部分を切り出してガイドを外すことにより長さの揃ったチタンワイヤアレイを得た。(c)製作したアレイを、ワイヤ内における極板との距離の差異を利用して電解

Fig. 2 Electro Tactile Display We Developed

エッチングを行うことでワイヤ先端を針型へと加工した。この際ワイヤをアノードとし、カソードをアレイの真下に配置することで、ワイヤ先端とカソードの距離を均一にした。これにより、全てのワイヤが均一な針形状に加工された微小針電極アレイを製作した。

3.2 針電極アレイの刺入性評価

製作した針電極アレイに対し、皮膚に見立てたウレタン樹脂を用いて圧縮試験による刺入性評価を行った。針先端を始点とし、5 mm/min のストロークで同一点に対し2回の圧縮試験を行った結果を Fig.4(a) に示す。1回目の試験力に対し、2回目の試験力がグラフ後半において低下しているのが確認できる。またこのとき針の形状変化は見られなかった。したがって、2回目の試験力の低下は Fig.4 (b) で示した通り、ウレタン樹脂に穴が存在するためにおこったと考えられる。以上から1回目の圧縮試験時に針をウレタン樹脂に刺入させることができたとする。また、Fig.4 (c)は実際に被験者の指腹部に針アレイを刺入させた様子である。このとき、針アレイが外力による支えなしで落下しないこと、被験者が痛みを感じていないことから、本デバイスの刺入性と無痛性を確認できた。

3.3 微小針電極アレイの特性評価

製作した微小針電極アレイと同径の電極をもつ平面形状電極アレイを用いて触覚閾値比較実験を行った。この際、被験者の左手人差し指にマーカを設け、刺激電極が同一位置になるよう考慮した。ブレッドボードに設置した両電極アレイに対し、マーカを付けた指を垂直に置いた。電気刺激に関してはファンクションジェネレータを用いて 10, 20, 50, 100, 200 および 500 Hz 正電圧矩形周波を、それぞれの周波数において徐々に電圧を上げながら入力した。なお、各実験は前実験の感覚が残ることを考慮し、十分な時間を空けて行った。

各周波数において、指腹部に振動感覚が生じた閾値を計測した代表的な被験者の結果を Fig.5 に示す。本研究で製作した針電極アレイを用いると、触覚閾値をもたす電圧が平面形状電極に対して平均で7%程度まで低減していることが分かる。また、閾値のばらつきも標準誤差で平均約25分の1まで低減させることができた。さらに、微小針電極アレイを用いて 20 Hz の周波数で実験中、閾値付近において電流の向きを正電流から負電流へと逆転させると、被験者に振動感覚から圧感覚への明確な変化を感じさせることができた。

Fig. 3 Production Process of Needle Array

4. 結論

微小針電極アレイを用いた電気触覚ディスプレイの製作プロセスを確立した。また、平面形状電極を用いたデバイスに対して本研究で製作した微小針電極を用いたデバイスが、触覚閾値電圧において約93%、およびそのばらつきにおいては約96%優位であることを示した。電流の正負を切り替えることで、圧覚と振動覚の2種類の触覚を提示できることを確認した。

Fig.4 Penetration test results and the Picture when Needles penetrated the skin

Fig.5 Thresholds voltage of sensation when use flat electrodes and needle electrodes

参考文献

- [1] 梶本裕之, 川上直樹, 前田太郎, 舘暲, “皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ”, 電子情報通信学会, 2001
- [2] B. Ju, Y. Chen, Y. Ge, “The art of electrochemical etching for preparing tungsten probes with controllable tip profile and characteristic parameters”, in *Review of Scientific Instruments* 82, 013707 1-8, 2011