皮膚レーザー治療における刺青検出法の研究

A Study of Detection Method of Tattoo Inks in Skin Laser Therapy

○学 長谷川研介 (新潟大・院) 学 高木 謙 (新潟大)
正 新田 勇 (新潟大) 正 坂本 秀一 (新潟大)
学 荻原 優一 (新潟大・院)

Kensuke HASEGAWA, Niigata University, 8050, Ikarashi2-nocho, Nishi-ku, Niigata, 950-2181
Ken TAKAGI, Niigata University, 8050, Ikarashi2-nocho, Nishi-ku, Niigata, 950-2181
Isami NITTA, Niigata University, 8050, Ikarashi2-nocho, Nishi-ku, Niigata, 950-2181
Shuichi SAKAMOTO, Niigata University, 8050, Ikarashi2-nocho, Nishi-ku, Niigata, 950-2181
Yuichi OGIHARA, Niigata University, 8050, Ikarashi2-nocho, Nishi-ku, Niigata, 950-2181

Key Words: medical engineering, laser therapy, human sensing

1. 緒言

近年、医療分野においてレーザーを用いた治療や診断が盛んに行われている。その中でも皮膚科・形成外科では、あざ・ほくろ・しみ・刺青などを除去するために、レーザー治療が行われている。現在使用されているレーザー治療装置は、ハンドピースタイプが多く、治療時間短縮のため、レーザー光のスポット径を大きくする傾向がある。また、あざの照射領域を医師の目視に委ねている。以上のことから、レーザー光を重ね撃ちしたり、患部以外を照射したりしてしまう。結果として、照射した患部周辺部にやけどを生じてしまう場合があり、問題となっている。

この問題を改善するために、コンピュータで制御し、レーザー光のスポット径を小さくして、患部のみに照射する方法を考えた⁽¹⁾。これにより、レーザー光をピンポイントで正確に患部に照射することが可能となる。しかし現在、治療部位の正確な位置情報を知るすべは、筆者の知る限り存在していない。1つの方法として、皮膚表面の画像処理が考えられる。しかし、あざなどの皮膚病変の原因は、皮膚内部に存在し、皮膚表面のみでは判断できない。

そこで、レーザー治療時に生じる音(振動)を利用することとした。一般的なレーザー治療において、医師は治療中に生じる音をあざなどの有無の目安として使用している。これは、レーザー光が皮膚病変の原因物質である皮膚内部に存在する色素などに当たった際に生じるものと思われる。これを厳密に計測することによって、あざの正確な位置情報をリアルタイムでモニタすることが可能ではないかと考えた。本研究では音(振動)を検出することができるのか。また、どの条件で検出することができるのかを検討したので報告する。

2. 実験

本研究で使用した刺青検出法の装置の概要を図1に示す。レーザー装置によってスポット径を $30\ \mu\text{m}$ に絞られたレーザー光を、試料に照射する。音(振動)はレーザー光が色素に当たることによって発生し、ハイドロフォン(水中マイクロフォン)で測定する。ハイドロフォンは音(振動)を圧電効果により電圧に変換することで、電気的に検出する。ハイドロフォンによって得られた電気信号はチャージアンプによって増幅され、ハイパスフィルタにより周囲の騒音などの不要な低周波数信号を排除され、オシロスコープによってパソコン上に波形として表示される。今回の実験では試料として、豚皮を用いた。豚皮は除毛後、手動で刺青を入れ、表面の墨で反応す

るのを極力抑えるために水道水で墨を洗い流した。ハイドロフォンはハイトゲージに取り付けた治具に固定され、豚皮との変位を実験ごとで一定にするため接触してから $5\ \text{mm}$ 押し込んだ。また、ハイドロフォンと豚皮の間には空気層ができないようにワセリンを塗布した。データ数は50万個、サンプリング周期は $8\ \mu\text{s}$ とした。

2-1 刺青の検出可能な距離の測定 レーザー治療のモニタとして使用する場合、皮膚病変の近くにセンサを配置することが困難な場合がある。そこで、電気信号を得ることができるハイドロフォンとレーザー光との距離を調べた。また、レーザー光が墨にのみ反応しているのかを確認するために、レーザー照射は豚皮の刺青を入れた領域と刺青を入れていない領域の2ヶ所で行った。レーザー光はフルエンスを一般的なレーザー治療の出力に近い $13.3\ \text{J}/\text{cm}^2$ とし、ハイドロフォンからの距離を $15\ \text{mm}$ から $115\ \text{mm}$ まで走査しながら $2.5\ \text{mm}$ 間隔で計41発照射した。

Fig.1 Outline of detection method of tattoo inks

2-2 刺青の検出可能な強さの測定

レーザ光のフルエンスを下げて行き、電気信号がどの強さまで検出できるかを調べた。レーザ治療で使用しないような低いフルエンスで電気信号を取得することができれば、治療を行う前に低出力レーザ光で皮膚を損傷させることなく、皮膚病変の位置情報が得られると考えた。フルエンスを 13.3, 10, 5, 1, 0.5, 0.1 J/cm² に設定し、それぞれ 3 回の測定を行った。レーザ光の照射方法は 2-1 と同様にハイドロフォンからの距離を 15 mm から 115 mm まで走査しながら 2.5 mm 間隔で計 41 発の照射とした。

3. 実験結果

3-1 刺青の検出可能な距離の測定結果

刺青を入れた領域の測定結果を図 2 に、刺青を入れていない領域の測定結果を図 3 に示す。出力結果は 0 V を軸対象にほぼ等しいので、下半分のデータをカットしてある。下部にある帯はフィルタで排除できなかったノイズによる信号である。図 2 と図 3 を見比べることにより刺青の有無によって、反応の差があることは非常に良くわかる。両者の違いは、刺青の有無のみであるので、レーザ光を照射され、刺青粒子が反応したものと考えられる。これより、刺青によって反応が起きていることが確認でき、音（振動）による墨の有無を計測できることがわかった。

図 2 より 15 mm から 115 mm にかけてパルス成分が見られる。これは、刺青の粒子にレーザ光が当たり、音（振動）を発生させたものである。これより、ハイドロフォンとレーザ光との距離が 100 mm 以上離れていても電気信号を得ることができることがわかった。しかし、レーザ光は 2.5 mm 間隔で 41 発照射したにもかかわらず、パルス成分の間隔と数が一致しない。これは、刺青が均一に入っていないためである。刺青が入っていない部分で、反応しなかったものと考えられる。

Fig.2 Laser scanning to sample with tattoo inks

Fig.3 Laser scanning to sample without tattoo inks

3-2 刺青の検出可能な強さの測定結果

フルエンスを 13.3, 10, 5, 1, 0.5, 0.1 J/cm² に設定して照射した結果、フルエンスを下げるに従い、パルス成分の数と電圧は減少した。ここで、フルエンスとパルス成分の数の関係を図 4 に示す。パルス成分の数は 3 回の実験の平均値を取っている。一般的なレーザ治療のフルエンスよりも低い 1 J/cm² で反応していることがわかった。これより、低出力レーザ光によっても信号を取得できることがわかった。また、フルエンスが 1 J/cm² のときの結果を図 5 に示す。フルエンスを低くすれば電気信号は遠くまで届かず減衰するものと思っていた。しかし、低出力レーザ光であるにもかかわらず、電気信号はハイドロフォンとレーザ光との距離が 100 mm 以上離れていても得られることがわかった。

4. 結言

本研究により次のことが得られた。

- (1) レーザ光が刺青の墨に照射されたときの音（振動）を検出することができた。また、一般的なレーザ治療の出力に近い 13.3 J/cm² で測定した結果、ハイドロフォンとレーザ光との距離が 100 mm 以上離れていても電気信号を得ることができることがわかった。
- (2) 電気信号はフルエンス 1 J/cm² のときまで抽出できることがわかった。これより、レーザ治療前に弱い出力のレーザを用いることによって刺青検出が可能である。

参考文献

- (1) 新田勇・菅康志・丸山友裕・前田宜俊・趙学峰・菅野明宏：微細スポット走査法を用いたレーザピンポイント治療装置の開発：シュリンクフィッタ法を用いたレーザ広範囲走査，日本機械学会論文集 A 編，Vol.72, No.722(20061025) pp. 1430-1436

Fig.4 Relation between fluence and pulse component

Fig.5 Laser scanning to sample by 1 J/cm²