

マイクロニードルを使った光による生体治療

東京大学 生産技術研究所

朴 鍾溟, 金 範埃

1. はじめに

光線療法 (Phototherapy, Light therapy) は、特定の波長を有する光を生体組織 (主に皮膚) に照射することで疾患を治療する治療方法である。その際、使用する光の波長と照射方法は、治療対象となる疾患や患部、そして目的によって様々である。現在の光線療法は、照射する光の作用によって大きく光温熱分解療法 (Photothermolysis) と光生体調節療法 (Photobiomodulation), 2 つに分かれている。前者は、照射した光のエネルギーを患部に吸収させて熱の発生によって病所を破壊する¹⁾。例えば、パルスレーザーを照射して皮膚中の色素を選択的に破壊することによって色素沈着やタトゥー等を除去したり、美容の目的のためにレーザーを用いて毛根を焼灼し、脱毛を行うことがある。後者は、光の照射によって患部と光子の間で起きる光化学反応を用いて治療を行う方法である²⁾。この方法は光温熱分解療法と比べて熱を発していないという特徴があり、光源として主に LED 等が用いられている。その例として、紫外線を用いて皮膚の免疫反応を抑えることより自己免疫疾患のアトピー性皮膚炎や尋常性乾癬を治療、または症状を軽減させることがある。さらに、最近では光感受性物質を皮膚に近い悪性腫瘍に集積させ、レーザー光を照射することより悪性腫瘍を選択的に焼灼する、2 つの方法を融合した光線力学的療法 (Photodynamic therapy) も活発に行われている。そこで、これからも低侵襲で、かつ正常細胞を傷つけずに病所のみを破壊できて従来の外科的治療より患者さんの負担が軽減できる治療方法として期待されている。

しかし、光の照射と治療の効率において解決すべき様々な課題も残っている。その中、一番重要であるのが皮膚の中における光の伝搬である。人の皮膚は、ランダムな組織構造を持つ多散乱体であり、皮膚の中では生体組織とその構成要素 (メラニン等) による光の吸収、表面と各層における光の反射や散乱の発生によって光エネルギーが低下される³⁾。その結果、深い組織まで光を照射して治療効果を得るためには使用する光源のエネルギーを高める必要が生じ、それによって周囲の正常細胞へのダメージが予想される。また、青色 LED のような短波長の光の場合、皮膚への到達性が低く、深部まで選択的に光を照射することができなくなるため、予想した治療効果が得られない可能性が高い。以上のことを踏まえて、治療効果の高効率化と今後の多様な波長の光による治療への応用の実現のために、ターゲットの深さや光の波長の考慮、そして伝搬方法の改善も必要であると考えられる。

そこで、近年、皮膚内における光の伝搬に関する課題を解決するために、光学マイクロニードルアレイが提案された⁴⁻⁶⁾。透明で微細な構造体であるマイクロニードルを導波路として用いることより、皮膚組織を介せず光を皮膚中のターゲットの患部まで伝搬したり、拡散をさせたりすることで治療効率が上昇させる。また、光学マイクロニードルの使用によって波長の影響と制限を受けずに、短波長の光も深いところまで伝搬できるため、今後様々な波長を用いた治療への応用が期待されている。

本稿では、これら光学マイクロニードルの概要と特性を紹介すると共に、光学マイクロニードルのアレイによる生体治療に向けた応用研究の紹介及び今後の展望について解説する。