

# 高画素密度の 光起電力網膜プロテーゼ

たとえ加齢に伴う黄斑変性症や網膜色素変性症によって眼の光受容体が失われたとしても、内部網膜ニューロンの大部分は長い年月にわたって生存し続けることが多い。視覚に障害がある人の視力回復法としては、光遺伝子治療に加えて、外部カメラと網膜ニューロンを刺激するために移植された有線電極アレイがある。しかし、必要とされる部品はかさばり、画素密度は低く、伝送された画像は眼で自然に走査することができない。

画素密度は、独レティナ・インプラントAG社製のように、感光性画素の利用によって大いに改善された。しかし、ここでもまた、外部給電がデバイスを非常にかさばるものにし、移植と保守を困難にした。

これらの欠点の解決に向けて、米スタンフォード大学とカリフォルニア大学サンタクルス校の研究チームは、近赤外(NIR)パルス光が照射された時に網膜の神経節細胞に信号を送る内部網膜ニューロンを刺激するために、ワイヤレスで光起電力駆動型の網膜下フォトダイオードアレイを開発した<sup>(1)</sup>。この方式は、複雑なエレクトロニクスや配線を使わずに、画像知覚と眼球運動との自然なリンクを保持する。

## NIRゴーグル投影

網膜プロテーゼ(人工装具)は、基本的に画像を取得する小型ビデオカメラから成り、取得された画像は外部コン

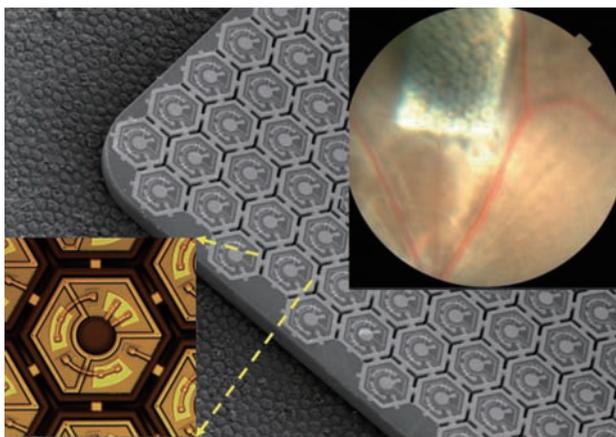


図1 ラットの眼の網膜下に移植された光起電力網膜プロテーゼアレイが示されている。高倍率の写真はアレイ自身とインプラントの1つの画素を示す。(資料提供:スタンフォード大学)

ピュータによって処理され、NIR(880~915nm)パルス照明を使って眼の近くのゴーグル投影システムによって眼に投影される。この画像は網膜上に焦点が合わせられ、網膜下のフォトダイオードアレイが光起電力デバイスと同様に光をパルス光電流に変換して各画素位置の神経を刺激する(図1)。

環境光は光起電力効果でニューロンを刺激するにはあまりにも暗すぎるので(少なくともその1000倍は必要)、NIRレーザー画像投影システムがフォトダイオードアレイを駆動する強いパルス照明を作り出す。光によって誘起された温度上昇は、ここで使用された905nm波長の場合、平均放射照度を5.2mW/mm<sup>2</sup>以下に抑えることによって、眼の生理学的安全性規制の範囲内(1℃以下)になる。

## 高画素密度アレイ

各70μm画素は直径20μmの酸化イリジウム電極と接続されたフォトダイオ

ードを含む。各画素は受け取った光を電荷バランス刺激パルスに変換する。対応する画素密度は約180ピクセル/mm<sup>2</sup>である。

現在のアレイ設計における共通リターン電極によって引き起こされる画素間のクロストークの量を制限する1つの解は、各画素に対して局所リターン電極を設けることだ。1画素あたり3つのダイオードを直列に接続し、より高い電流密度を達成した。この3重ダイオード画素は生理学的に安全な光度で最高

1.5Vを発生するが、同じ電流出力を得るために必要な照明レベルは単一ダイオード画素の3倍になる。

単一と3重のダイオードアレイを移植された健康なラットと変性ラットの網膜を使った実験室実験は、照明レベルとパルス幅によって変化する網膜応答によって、内部網膜の刺激の成功を確証した。4msパルスでの刺激しきい値(ピーク照度)は0.3mW/mm<sup>2</sup>であり、眼の安全性規制限界よりも2桁以上低かった。

ワイヤレスの薄い(30μm)網膜インプラントは網膜下外科手術の複雑さを大幅に簡素化した。複数のモジュールを並列に移植して、より大きな視界をカバーすることもできる。さらに、このアレイは、眼球の曲率との相似性を容易にするために、フレキシブルシリコン基板上に製造することもできる。

(Gail Overton)

## 参考文献

(1) K. Mathieson et al., Nat. Photon., 6, 391-397 (2012).