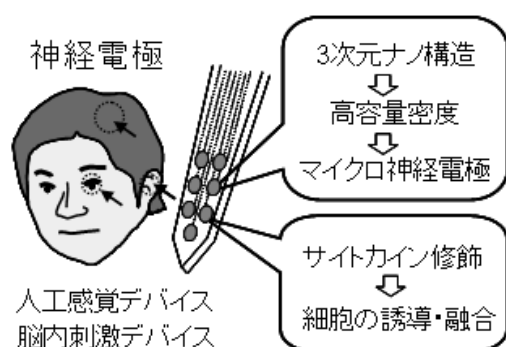


ディビジョン番号	11
ディビジョン名	電気化学

大項目	2. 有機／生物電気化学
中項目	2-2. 生物電気化学
小項目	2-2-3. 生物電気化学計測（神経電極）

概要（200字以内）

感覚器や脳の機能補完を目的とする埋め込み電子デバイスの開発が盛んであるが、高効率で安全な作動のためには、インターフェースである神経電極に関して、電極表面の3次元構造や生化学特性がナノ・分子レベルで厳密に制御される必要がある。電極界面の高容量密度化は、マイクロ神経電極による高精度な細胞刺激を可能とする。分子修飾による細胞機能の局所誘導も、電極と細胞・組織との長期的融合のために重要な検討課題である。



現状と最前線

生体機能の補完を目的とする未来医療デバイスの開発が加速しており、特に、脳に代表される神経系システムは中心的な研究ターゲットである。脳内刺激デバイス（脳のある部位の働きを刺激して補う）や、人工感覚デバイス（失われた感覚を機械からの入力信号で補う）の開発と動作実証が次々と報告され、米国では人への臨床試験などが本格的に進められている。

このような埋込型バイオニックデバイスにおいて、生体（イオン系）とデバイス（電子系）を低侵襲に接合し、効率的に情報交換を行なうためには、デバイスと細胞との接合界面が分子レベルで制御されねばならない。これは明らかに、固液界面の構造・機能制御を中心課題とする「電気化学」の学理と技術を持って取り組むべきテーマである。

長期間に渡って神経系の情報を低侵襲に計測・刺激するために必要な神経電極の基本特性は、次の3項目である。①抗炎症性、②低インピーダンス、低ノイズ、③大きな二重層容量密度。現在までの神経電極の開発は、どちらかと言うと神経システムを「知る」とめの「計測」に重点が置かれており、徹底したノイズ対策が図られ、成果を挙げてきた。一方、「制御」するための「刺激」を安全に行うためには、後述するように電極界面の二重層容量密度が十分に大きい必要があるが、その検討は明らかに遅れている。

体内での電気刺激は組織液の電気分解が起こらない条件で行わなければならない。すなわち、電気二重層への充放電のみで、刺激に必要な電荷を賄わなければならない。二重層の容量は電極面積に比例するので、これまでの研究のように比較的大きな電極による神経刺激では、Pt や W などの電極が問題なく使われてきた。しかし今後、細胞サイズに微小化されたマイクロ電極のアレイが開発され、機能的な細胞刺激を行おうとする際には、電極の容量による注入電荷量の制限が深刻となる。たとえば、数 μm 径の微小電極によって網膜組織の閾値を越える電荷を注入するためには、現在使われている金属電極の数 10 倍以上の容量密度が必要だと概算される。

電極の容量密度を増大させるには、電極表面を微細な 3 次元構造とするのが有効である。これは、電気化学キャパシタなどで使われてきた技術であるが、マイクロ神経電極の開発にも、生体適合性に配慮しながら技術移転が進むと考えられる。すでに、カーボンナノチューブを集合させた高容量マイクロ神経電極の報告などが相次いでおり、最近の材料系国際会議 (MRS, 2007 年 4 月, サンフランシスコ) においても、神経電極表面の高容量化をメインテーマとするシンポジウムが催された。数 100 倍の容量密度が期待できる導電性高分子の応用も活発に検討されている。たとえばポリピロールは、PLGA 並みの抗炎症性が認められた生体親和性材料でもあり、増殖因子などの分子修飾も可能なので、電極周辺の細胞との接着や細胞分化の制御なども期待できる。

さらに長期的には、神経電極の④知能化と、⑤治療機能の搭載、が望まれる。神経電極それぞれが IC 化され、刺激と計測を同時に行い、またインピーダンス計測を常に行いながら、適切な強度の刺激を加えることが出来るようになる。電気刺激のタイミングと強度をセルフチューニングする、細胞レベルでの機能的電気刺激の実現である。また、薬剤投与などの治療機能を搭載した神経電極の登場も予想される。

将来予測と方向性

・ 5 年後までに解決・実現が望まれる課題

超高容量密度のマイクロ神経電極の開発と、それによる高効率・低侵襲な細胞刺激の実現
電極表面の分子修飾・分子内包による、生体親和性向上ならびに細胞との機能的融合
上記の神経電極の搭載による、人工感覚デバイスや脳内刺激デバイスの格段の性能向上

・ 10 年後までに解決・実現が望まれる課題

刺激の強度とタイミングをセルフチューニング可能な IC 化神経電極の実現
薬剤投与などの治療機能の搭載

キーワード

神経細胞、神経電極、電気二重層、人工感覚デバイス、脳内刺激デバイス