

IV. ナノテクノロジーを用いた透析膜の開発

慶應義塾大学理工学部機械工学科

専任講師

三木 則尚

慶應義塾大学医学部血液浄化・透析センター 専任講師

菅野 義彦

1960年代に臨床応用された人工透析療法により腎不全による死亡は事実上回避できるようになった。なかでも血液透析療法はわが国で大いに発展し、医療分野のなかでは世界をリードする数少ない領域である。そのため腎代替療法を必要とする約30万人の患者のうち血液透析療法を行っている患者が95%以上を占める。臨床応用初期には透析導入による死亡回避は数カ月であったが、現在では技術の進展や合併症に対する予防法の浸透により30年以上も透析生活を送る例がまれではない。その意味では現在の血液透析療法はほぼ完成の域に達しているともいえるが、実際には週3回、1回約4時間の治療を受ける必要があり、大きな生活制限がかかる。また本来48時間かけて排泄する2日分の水・老廃物を4時間で除去するために血液透析療法自体が患者の身体に負担となるほか、毎回の血管穿刺・床上安静も強いストレスとなる。長期生存が可能になったことでこれまでは想定できなかった合併症が出現してきたが、これらはいずれも老廃物の除去が不十分であることに起因している。こうした問題は現在の機器・システムで血液透析を行う以上は避けられないものであり、人工透析療法は臨床応用から約40年を経て完成の域には達しているが、逆に行き詰っているとも考えられ、今後も透析医療に従事するものとして画期的なブレークスルーが必要だと考えている。

一つの解決策は腎臓移植であるがその症例数は増加していない。現在では血液型不適合者からの提供臓器も大きな問題なく移植されているが、こうした環境が整っているにもかかわらず症例が増えないのにはわが民族に固有といわれている臓器移植に対する消極的な考え方が原因と考えられている。このため少なくともわが国においては、腎臓移植が今後血液透析にとって代わる治療法となる可能性は極めて低い。また透析療法の進歩の一つに透析膜面積を下げた時間当たりの除去量を落とす代わりに透析時間を延長して必要な除去量を確保するという持続血液透析（Continuous hemodialysis-CHD）という方法がある。これは通常の血液透析に耐えられない重症患者に対して開発された方法である。通常は2日に4時間しか行わない透析を48時間行うため、身体への負担は少なく合併症も少ない。血液浄化法としては固有腎の働きに近い理想的な方法であるが現時点ではさまざまな制約から重症患者のみに行われている。

近年のナノテクノロジーの進歩には目を見張るものがあるが、これまで透析療法の領域では十分な連携がなされていない。われわれはナノテクノロジーを用いることで、血液透析のシステムをCHDよりも更に小型化することを目標として共同研究を開始した。すでに三木は血液透析療法の基盤であるダイアライザーを小型化したマイクロダイアライザーを開発した（Gu and Miki J Micromech Microeng 2007）。これは透析膜となるポリエーテルスルホン（PES）薄膜と、200 um幅のマイクロ流路を積層することで、効率よく低分子を透析液側に拡散することができ、尿素水溶液の尿素を除去する十分な機能を持っているため（Gu and Miki J Micromech Microeng 2009）、慢性腎不全患者の高窒素血症を治療することが可能であると考えている。これを主体として全体で本来の腎臓程度の大きさに血液透析システムをまとめ上げれば、いわば人工の移植腎として体内に埋め込むことが可能ではないかと考えている。