



物質移動型人工臓器(腎臓と肺)の構造と機能設計

Keywords: 生体機能代行装置、人工臓器(腎臓、肺)、物質移動論、膜、生体適合性

● 研究概要

「ヒトの体は小型の化学プラント」とであるという医用化学工学の立場から、生体機能代行装置(腎臓と肺)の構造と機能設計に関する研究をしています。臨床工学技士の皆さんにも関連するテーマを推進します。



所属 医用工学科
医用化学工学研究室
准教授
氏名 福田 誠
Fukuda Makoto

● 研究テーマ

・人工腎臓の至適設計

「人工腎臓」は、大部分の臨床工学技士が関わる血液透析治療に用いられる「生体機能代行装置」である(図1)。ヒトの腎臓は1日に180リットルもの血液を浄化する。腎臓の機能が損なわれた患者では尿や老廃物が体外に排出されず、この治療を1週間受けないと死にいたってしまう。



図1 人工腎臓を用いた血液透析治療(イメージ)

そこで人工腎臓がまるで化学プラントのように患者血液を浄化する。人工腎臓には血液透析膜が装填され(図2)、物質除去性能は中空系内外の血液や透析液の流動状態に大きく依存する。理想的な透析液流動状態を得るためにジャケット形状や中空系形状に新しい設計概念を導入した人工腎臓を開発した。化学工学的物質移動論に基づいて、設計因子と物質除去性能および透析液流動の関係、ダウンサイジングデバイスとの物質除去効率の同等性を明らかにした(論文1、2、著書1)。

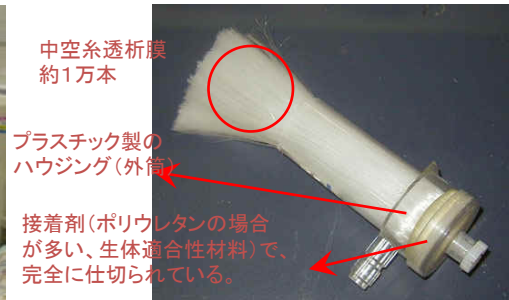


図2 人工腎臓の構成

・高生体適合性血液透析膜の開発

透析治療中の生体非適合反応や長期にわたる治療において合併症などの副作用を顕在化させない高度な生体適合性が求められる。補体活性化によるロイコペニアや血液凝固あるいはアナフィラキシー様症状などの生体非適合反応に対応するために、ナノスケールでの構造設計と生体適合性との関係を検討している。

原子間力顕微鏡(AFM)でポリスルホン(PS)系膜のPSとポリビニルピロリドン(PVP)の絡み合いを観察し、湿潤状態でのPVPの水和(膨潤)によって散漫層が形成され(図3)、この局在状態や分子運動性が血小板活性化やタンパク質吸着、溶出に影響することを明らかにした。(論文3、著書1)

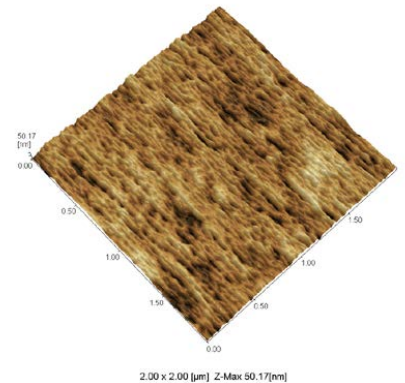


図3 PS膜内表面のAFM画像(湿潤状態)

・膜型人工肺の構造と機能設計に関する研究

高出力X線CTを用いた非破壊局所血液チャネリング・エア滞留測定(特許1)、Fanningの式における管摩擦係数を用いた血液流動解析などを行っている。

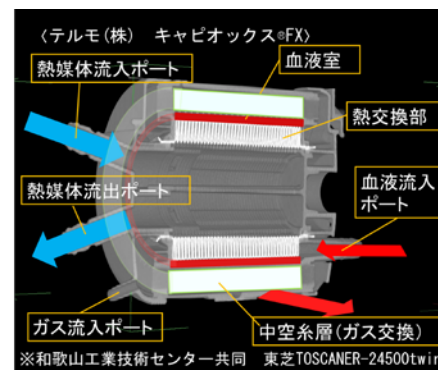


図4 膜型人工肺の非破壊血液流動解析

● 論文・特許等

【論文】

1. Makoto Fukuda, Kiyotaka Sakai et al: Technical characterization of dialysis fluid flow and mass transfer rate in dialyzers with various filtration coefficients using dimensionless correlation equation. J.Artif.Organs, Vol.20:pp.145-51, 2017
2. Makoto Fukuda, Kiyotaka Sakai et al: Identical dependence of dialysate-side mass transfer coefficient on Reynolds number using dimensionless correlation based on the mass transfer model in newly developed dialyzers and a downsized dialyzer. Advanced Biomedical Engineering Vol.5:pp.118-23, 2016 2018年日本生体医工学学会論文賞・阪本賞受賞
3. Koki Namekawa, Makoto Fukuda et al: Poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) elution polysulfone dialysis membranes by varying solvent and wall shear J.Artif.Organs, Vol.15:pp.185-92, 2012

【特許】 1. 特願2017-167965: 平成29年8月31日: 非破壊流動解析方法

【著書】 1. 酒井清孝、宮坂武寛編、なぜ? から学ぶ血液浄化77, (株)東京医学社, 2017