

中空糸膜の内外および外内拡散移動速度の差異を利用した膜の物理構造解析

ONO, Takahisa / 小野, 恭泰

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

59

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2018-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014838>

中空糸膜の内外および外内拡散移動速度の 差異を利用した膜の物理構造解析

PHYSICAL STRUCTURE ANALYSIS OF HOLLOW FIBER MEMBRANES UTILIZING DIFFERENCES OF
DIFFUSION RATES FROM INSIDE TO OUTSIDE OF THE MEMBRANE AND ITS OPPOSITE

小野恭尚

Takahisa ONO

指導教員 山下明泰

法政大学大学院理工学研究科応用化学専攻修士課程

Solute removal performance of the blood purifier is closely related to the structure of the hollow fiber membrane involved in the device. In this study, we evaluated the structure of dialysis membrane by conducting aqueous dialysis experiment from the inside to the outside of the membrane and its opposite. As a result, it was found that the asymmetry and the porosity of the asymmetric dialysis membrane can be semi-quantitatively evaluated by using the experimental method of this study.

Key Words : dialysis , membrane , solute permeability

1. 緒言

2016年12月現在、日本の末期腎不全患者数は329,191人であり¹⁾、その内の90%以上が人工腎臓（血液浄化器）を使用した治療を受けている。血液浄化器にはストロー状の半透膜（中空糸透析膜）が充填されており、膜分離技術を応用することで血液中の不要物質を除去する。血液浄化器の溶質除去性能は中空糸膜の構造と密接な関係があるため、透析膜の性能を向上させるには、膜の構造と溶質除去性能を関連付ける指標が必要である。現在、様々な透析膜の構造を評価する方法が考案されているが、透析膜を開発する上で十分な情報を得ることができる単体の指標は存在せず、種々の評価法を用いることで、その膜の特性を知ることが重要である。

本研究では、中空糸の内側から外側及び外側から内側への水系の透析実験を行うことで、透析膜の物理的構造を評価する方法について検討した。

2. 実験方法及び評価指標

試験液には、クレアチニン（MW=113、初期濃度 $C_0=28.0\mu\text{g/mL}$ ）、ビタミンB₁₂（MW=1355、 $C_0=80\mu\text{g/mL}$ ）、キモトリプシン（MW=25000、 $C_0=62.5\mu\text{g/mL}$ ）をそれぞれ溶解した水溶液（単一成分系）または、ビタミンB₁₂とアルブミン（MW=66000、 $C_0=240\mu\text{g/mL}$ ）を溶解した水溶液（二成分系）を用いた。Table 1に示す4種類の血液浄化器を使用し、試験液流量 $Q_B=200\text{ mL/min}$ 、透析液流量 $Q_D=500\text{ mL/min}$ 、濾液流量 $Q_F=0,30,45,60\text{ mL/min}$ で、中空糸膜の内側に試験液、外側に透析液を送液する通常の透

析実験（内外透析、Fig.1）を行った。実験中に試験液の体積の減少を防ぐために、試験液の溶媒を補液流量 $Q_S=Q_F$ として試験液に送液した。また、中空糸膜の外側に試験液、内側に透析液を流し、同様の条件で透析実験（外内透析、Fig.2）を行い、溶質透過性を比較した。

評価指標には(1)式で定義されるクリアランス C_L [mL/min] を用いた。また、内外透析の C_L に対する外内透析の C_L の比を膜の非対称性を評価する指標として *IHD* (Index for heterogeneity in dialysis) を(2)式で定義した。さらに、単一成分系と二成分系の C_L の違いを評価するために C_L 低下率(%)を(3)式より算出した。

$$C_L = \frac{C_{Bi} \times Q_B - C_{Bo} \times (Q_B - Q_F)}{C_{Bi}} \quad (1)$$

$$IHD = \frac{C_{L \text{ 外内}}}{C_{L \text{ 内外}}} \quad (2)$$

$$C_L \text{ 低下率} = \left(1 - \frac{C_{L \text{ 二成分系}}}{C_{L \text{ 単一成分系}}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Table 1 使用した血液浄化器

品名	膜素材	膜構造	略記
FB-210UHβeco	CTA	均質	FB
FIX-210Seco		非対称	FIX
MFX-21Seco	PES		MFX
PN-220X	PSf		PNX

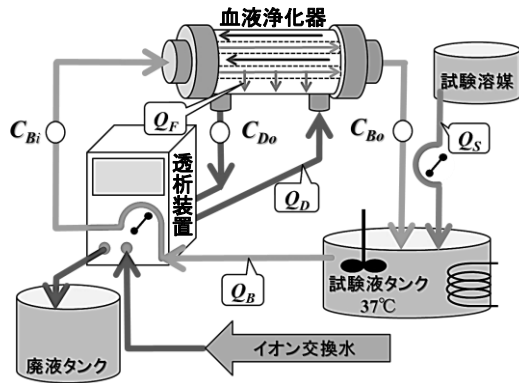


Fig.1 実験回路 (内外透析)

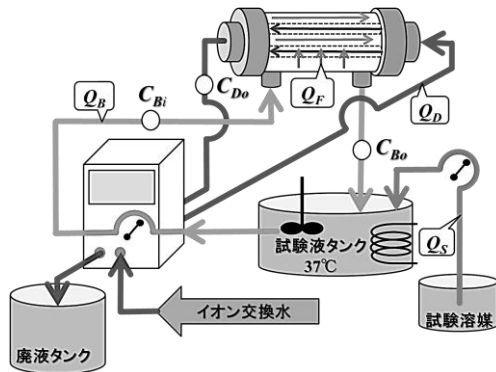


Fig.2 実験回路 (外内透析)

3. 結果及び考察

Fig.3 に各分子量の IHD を示す。ほとんどの浄化器において、クレアチンの C_L は内外透析よりも外内透析の方が小さくなった。外内透析では、試験液がダイアライザのハウジング壁面近傍などの流れ易い部分に流れるチャネリングが生じ、有効な膜面積が減少したことがその原因と考えられる。また、クレアチンに比べ分子量が 10 倍大きいビタミン B_{12} の IHD は 1 に漸近した。

FB が他の膜に比べてキモトリプシンの IHD が 1 に近いのは、中空糸膜が内側から外側にかけて均一な構造であることが原因だと思われる。また、膜が非対称構造を有する FIX、MFX、PNX では、大分子であるキモトリプシンの IHD が 1 から乖離した。非対称構造は、中空糸膜の内側に溶質の分離に寄与する緻密層、外側に多数のマクロ孔が存在する多孔質体の支持層から成っており、中空糸の外側を入口とした方が透過性が高いものと考えられる。さらに、 IHD が PNX で 1.10、FIX で 1.12、MFX で 1.20 と異なることから、非対称構造の溶質透過性から見た膜の非対称性は、MFX が最も大きいものと思われた。

Fig.4 にアルブミン存在下におけるビタミン B_{12} の C_L 低下率を示す。非透過性物質であるアルブミンが存在することで、透析膜に対して堆積や目詰まりが生じ²⁾、ビタミン B_{12} の透過性を低下させると思われたが、内外透析ではその現象は見られなかった。同じ実験方法を用いて膜による違いを評価するためにはアルブミンの C_0 及び Q_F を増大させる必要があると思われた。

外内透析では、膜が均質構造を有する FB において、ビ

タミン B_{12} の C_L 低下率は約 0% を示した。それに対し、膜が非対称構造を有する FIX、MFX、PNX では、 Q_F の増加に伴いビタミン B_{12} の C_L 低下率も増大した。支持層に存在するマクロ孔に入り込んだアルブミンがビタミン B_{12} の透過性を低下させたものと思われる。また、FIX で 5.3~7.1%、MFX で 2.8~3.5%、PNX で 0.6~1.0%、 C_L が低下した。孔内に存在するアルブミンがビタミン B_{12} の透過を阻害する効果が大きいことから、FIX の支持層の多孔性が最も低いと考えられる。

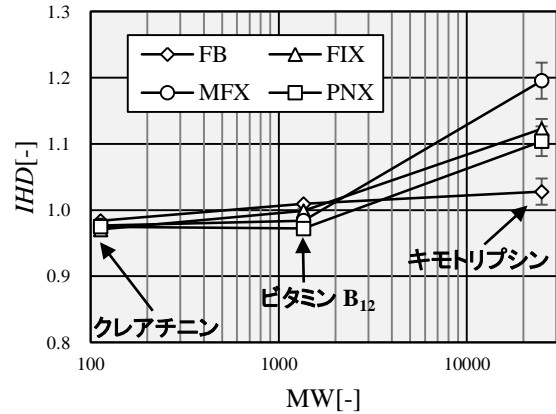


Fig.3 内外透析の C_L に対する外内透析の C_L の比と分子量の関係

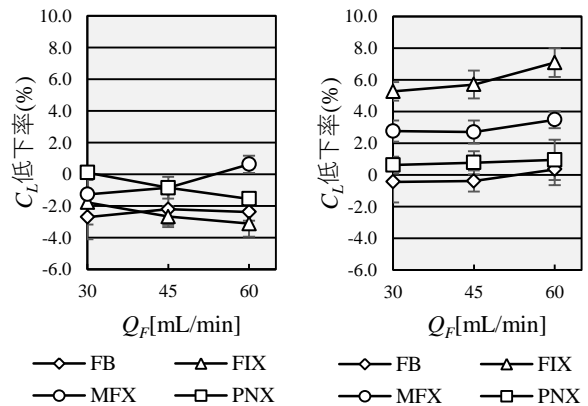


Fig.4 アルブミン存在下におけるビタミン B_{12} の C_L 低下率 (左: 内外透析、右: 外内透析)

4. 結言

内外および外内透析の結果を比較することで、透析膜の非対称性及び多孔性を評価できる。

参考文献

- 1) (社)日本透析医学会: 図説 わが国の慢性透析療法の現状 (2016年12月現在), p3, 2017
- 2) 伊藤章: 膜濾過—細孔モデルと濃度分極モデル—, 化学工学学会誌 79(12), p1~3, 2015