

### 中空糸内に活性炭内包ゲルを充填した携帯型 血液浄化システムの開発

升本, 裕也 / MASUMOTO, Yuya

---

(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. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

65

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030671>

# 中空糸内に活性炭内包ゲルを充填した 携帯型血液浄化システムの開発

DEVELOPMENT OF A PORTABLE BLOOD PURIFICATION SYSTEM WITH ACTIVATED  
CHARCOAL-CONTAINING GEL FILLED INSIDE THE HOLLOW FIBERS

升本裕也

Yuya MASUMOTO

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

Hemodialysis therapy requires patients to visit to the hospital and involves the burden on the patient's body due to rapid changes in fluid composition during treatment. In this study, we prototyped a new blood purification device by filling activated charcoal-containing gel inside of a part of hollow fibers in a dialyzer and investigated its solute and water removal performance. In the device, the gel-filled hollow fibers contributed to solutes removal by adsorption, and the empty hollow fibers contributed to water removal by ultrafiltration. Their performances, therefore, were controlled by the gel filling rate.

**Key Words:** Adsorption, Ultrafiltration, Gel, Portable blood purification device

## 1. 緒言

慢性腎不全患者に対する腎代替療法の一つである血液透析は、大型の制御装置と大量(120~150L)の透析液を必要とし、1回4時間、週3回の通院治療が基本となる。また、治療中の溶質除去および除水に伴う急激な体液組成の変化は患者の身体への負担となる。

本研究では、患者の時間的・身体的な負担を低減するため、携帯可能かつ生体腎に近い緩徐な溶質除去および除水が可能なデバイスの開発を目的として、血液透析器(ダイアライザ)の中空糸の一部に活性炭を分散したゲルを充填したデバイスを作製した。このデバイスにより、ゲル内への拡散と活性炭への吸着による緩徐な溶質除去、およびゲルを充填していない中空糸からの除水が同時に達成できると考え、その溶質除去および除水性能を水溶液系および牛血液系実験により評価した。

## 2. 実験方法

### (1) 中空糸内ゲル充填デバイスの作製方法

生理食塩水 300 mL にゲルライト®2.7 g と粉末状活性炭 3.0 g を加えて 90°C に加熱し、ゲル溶液を作製した。ダイアライザ (FDY-15, 日機装 (株)) の中空糸ポッティング部の一部をアルミテープでマスクした後、残った中空糸内部にゲル溶液を充填し、冷蔵庫内で冷却してデバイスを作製した。デバイスのゲル充填率は、アルミテープの被覆率で任意に設定した。

### (2) 溶質除去・除水性能評価実験

図1に実験回路を示す。試験液には、水溶液系としてビタミン B<sub>2</sub> を溶解した生理食塩水溶液、牛血液系として赤血球分率(ヘマトクリット)を  $31.8 \pm 1.3\%$  に調整した牛全血 2000 mL を用いた。血液ポンプを用いてデバイスの中空糸外側に、試験液を流量 200 mL/min で送液し、タンクに還流した。内腔が空の中空糸内側から得られた濾液もタンクに還流した。紫外可視分光光度計で試験液タンク内溶液の吸光度を測定し、溶質濃度 ( $C_B$ ) を測定した。実験中、一定時間ごとに除水速度を測定した。

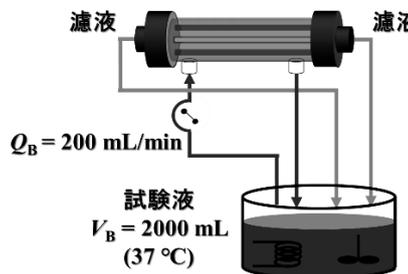


図1 実験回路

## 3. 理論

試験液タンクを完全混合槽と仮定すると、タンクにおける物質収支は(1)式で表される。

$$V_B \cdot \frac{dC_B(t)}{dt} = G - C_L \cdot C_B(t) \quad (1)$$

ここで  $V_B$  は試験液体積[mL],  $t$  は時間[ $\text{min}$ ],  $C_B(t)$  は時刻  $t$  における溶質濃度[ $\text{mg/mL}$ ],  $G$  はタンク内における溶質の生成速度[ $\text{mg/min}$ ],  $C_L$  はクリアランス[ $\text{mL/min}$ ]である。本実験系では  $G = 0$  であり,  $C_L$  は時間によらず一定とみなせる範囲で(1)式を解くと, (2)式が得られる。

$$\ln C_B(t) = \ln C_B(0) - \left(\frac{C_L}{V_B}\right) \cdot t \quad (2)$$

本研究では実験開始後 20 min から 80 min までの値を用いて実験初期におけるクリアランスを算出し, 溶質除去性能の評価指標とした。

#### 4. 結果および考察

図 2 にゲル充填率が異なる 4 種類のデバイスを用いた水溶液系実験における正規化濃度 ( $=C_B(t)/C_B(0)$ ) の経時変化を示す。いずれのデバイスでも実験開始直後に急激な濃度の低下が見られた。これは, 実験前に回路およびデバイス内に充填した生理食塩水による希釈の影響と考えられる。初期の急激な濃度低下以降, ゲル充填率 0% のデバイスでは実験終了時 (1440 min) まで濃度はほぼ一定の値を示し, その他の 3 種類のデバイスでは濃度は経時的に減少した。この結果より, 中空糸内に充填した活性炭内包ゲルにより長時間にわたる溶質除去が達成されたことがわかる。また, ゲルを充填した 3 種類のデバイスに着目すると, ゲル充填率が高いほど濃度が大きく低下した。デバイス内の活性炭量および活性炭内包ゲルを充填した中空糸本数の増加とともに, 溶質の吸着速度および吸着量が増加したと考えられる。

図 3 にゲル充填率と初期クリアランスおよび平均除水速度の関係を示す。ゲル充填率が高いほど初期クリアランスが増加した一方で, 平均除水速度は低下し, ゲル充填率 100% のデバイスでは除水は認められなかった。以上の結果より, 本デバイスはゲル充填率により, 溶質除去および除水性能を制御できることが示された。

図 4 にゲル充填率 50.4% のデバイスを用いた水溶液系および牛血液系実験における除水速度の経時変化を示す。健康者の尿量はおおよそ 1.0~2.0 L/日[1]であるため, 装着型血液浄化デバイスに求められる除水速度はおおよそ 1.0 mL/min である。水溶液系では臨床的に要求される 50 倍の値が得られ, 経時的な変化はなかった。牛血液系では水溶液系と比べると除水速度は低く, さらに実験終了時まで約 50% 低下した。これは, 水溶液と牛血液の粘性の違いに加え, 牛血液系では経時的にファウリング (血漿タンパク質の膜への付着) が生じたためと考えられる。しかし除水性能が低下した牛血液系の結果でも, 除水速度は臨床的に求められる性能の 16 倍であり, 除水速度を制御する必要がある。また, 本研究では試験液の送液にポンプを用いたが, これを患者の血圧で代替できればポンプ

レスで携帯可能なシステムが実現可能である。

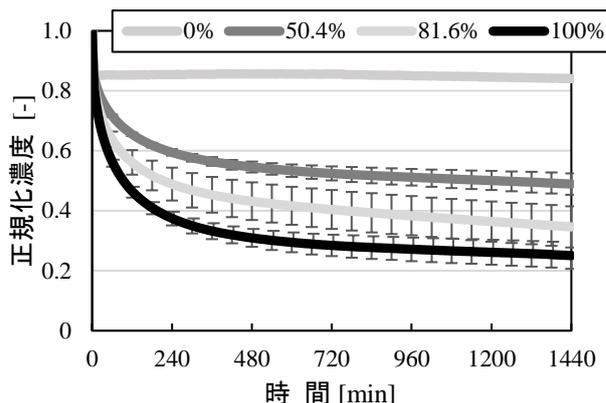


図 2 水溶液系実験での正規化濃度の経時変化

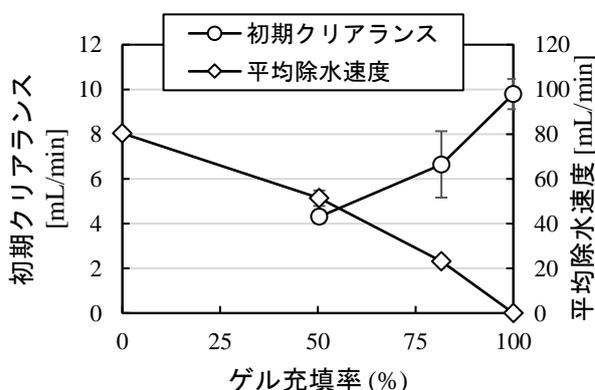


図 3 水溶液系実験におけるゲル充填率と平均除水速度および初期クリアランスの関係

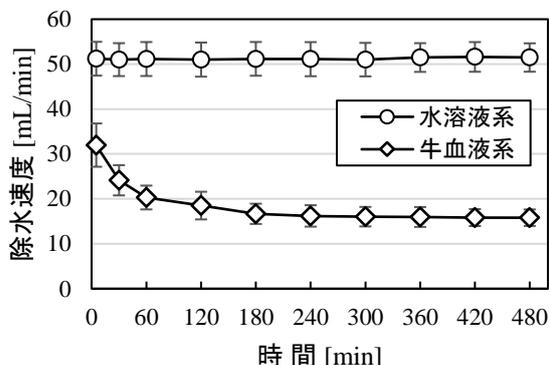


図 4 除水速度の経時変化 (ゲル充填率 : 50.4%)

#### 5. 結言

ダイアライザの中空糸の一部に活性炭内包ゲルを充填し, 残りを中空のままとすることで, 緩徐な溶質除去および除水が可能な携帯型血液浄化デバイスを構築できた。

#### 参考文献

- 成清卓二：腎疾患：診断と治療の進歩 I.腎疾患の診療 1.尿検査の実際とその評価, 日本内科学会雑誌, 第 79 巻 第 2 号, pp.129-133, 1990.