

## 18 シングルニードル透析時の至適設定について

松本市立病院 臨床工学科<sup>1)</sup>腎透析センター<sup>2)</sup>鈴木康二郎<sup>1)</sup> 赤羽颯<sup>1)</sup> 石曾根宏輔<sup>1)</sup> 青柳和馬<sup>1)</sup> 早坂啓明<sup>1)</sup> 横田勝也<sup>1)</sup> 安部隆宏<sup>1)</sup>  
佐藤雄一<sup>2)</sup> 高橋京子<sup>2)</sup> 赤穂伸二<sup>2)</sup>

## 【背景・目的】

シングルニードル透析(以下 SN 透析)は穿刺針 1 本を用いて脱血と返血を交互に行う方法であり、穿刺回数の低減が望めシャント保護や患者の苦痛軽減などに有用な反面、実質血流量が低く透析効率が悪いなどのデメリットもある。

近年透析治療のモダリティが多様化し SN 透析が在宅透析やアクセス困難な高齢者などに使用される例が報告されている。しかしデメリットである実血流量の低さを克服する圧設定について明確な結論はなく、各施設の判断によって決められている。

そこで本研究では模擬血液を用い、圧力等の条件を変化させた場合の流量データから SN 透析の至適な圧力設定について検討したので報告する。

## 【方法】

## 1. 使用機材および実験モデル

〔模擬血液 (Ht46%相当)〕:

水 60%グリセリン 40%キタンタンガム 0.04%<sup>1)</sup>

〔多用途透析装置〕:

日機装社製 DCS100NX

〔血液回路〕:

川澄化学工業社製カーミライン KU

透析用血液回路標準化基準 Ver, 1.00<sup>2)</sup> 適合

〔ダイアライザ(膜面積 1.5 m<sup>2</sup>)〕:

東レメディカル社製 NV-15U

〔透析用穿刺針(16G、17G 有効長 38 mm)〕:

メディキット社製ハッピーキャス V

以上を用いて実験モデルを構成した。(図 1)

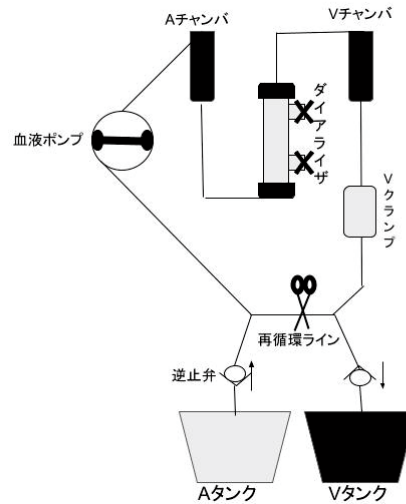


図 1 SN 透析実験モデル

## 2. 計測条件

事前に多用途透析装置の圧トランスデューサーの校正をし、回路内に模擬血液を十分に還流させ中空糸外側にも模擬血液を封入した。

血液ポンプの設定流量が正確に反映されるよう返血側に使用したハッピーキャス V の添付文書(ハッピーキャス V. メディキット株式会社, 2020 年 10 月改定)に記載されている JIS-T3249 における流量試験の結果に近い 200ml/min を血流量として採用した。透析装置の運転モードは ECUM、除水設定は無しとした。またチャンバ液面は AV 共にチャンバ長の 7 割になるように都度調整した。

SN 透析には返血切り替え圧(最高圧)脱血切り替え圧(最低圧)の設定があり、この間で血液ポンプと V クランプを ON-OFF させ血液回路内に溜めた圧力で血液を送り出している。

最高圧、最低圧の設定また再循環の有無、脱血不良状態などの状態を変化させ流量の測定を行った。

問合せ先: 鈴木康二郎 〒390-1401

松本市波田 4417-180 松本市立病院 臨床工学科

流量は3分間運転させた際のVタンク(図1)の質量変化とR0水:模擬血液の比重(1:1.08)をもとに算出した。

### 3. 圧力設定と流量の関係

圧力設定が流量にもたらす影響について検討するため以下の実験を行った。

脱血不良や再循環の影響をなくすため、いずれの場合も再循環ライン(図1)はクランプ、返血側には透析用穿刺針16G、針脱血側は針無しとした。データ処理は因子の差を検討するため分散分析を行い各水準ごとの比較はTukeyHSD検定によって隣り合ったデータのみ比較を行った。

1) 最高圧と最低圧の差圧(以下圧較差)を50mmHgで固定し、最高圧を50、100、150、200、250、300、350、400mmHgと変更し、その流量を各3回(n=3)測定した。

2) 最高圧を400mmHgに固定し、圧較差を400、350、250、150、50mmHgと変化させた時の流量を各3回(n=3)測定した。

### 4. 脱血不良、再循環の影響

実際の臨床では上記の圧力設定に加え再循環や脱血不良が生じ、それぞれが流量に影響を与えていることが推測できる。再循環や脱血不良が存在する状態で圧力設定を変動させ流量の変動を検討し、それぞれがどの程度流量へ影響をあたえているかを明らかにするため以下の実験を行った。前記の実験をもとに最高圧は250mmHg、圧較差は50、100、150mmHgの3パターンとし再循環ありの場合は再循環ライン(図1)を開放とした。再循環なしの場合は再循環ライン(図1)をクランプとした。また脱血不良ありの場合は脱血針に透析用穿刺針17Gを装着した。

本実験で用いた17G針は実験モデル(図1)を用い再循環ラインをクランプした状態で血液ポンプ速度200ml/minを1分間連続運転した時の実流量が164.3ml/minであった。これをもって脱血不良

と定義した。

いずれの場合も返血側は透析用穿刺針16Gを装着した。

再循環流量については直接観察出来ないため圧設定や脱血不良状態などの条件をそろえた上で再循環ラインをクランプした時の流量から開放した時の流量を差し引く事で算出した。

データ処理は因子の差を検討するため分散分析を行い各水準ごとの比較は3群以上のものはTukeyHSD検定、2群間はPaired t検定による比較を行った。

1) 圧較差設定50、100、150mmHgの条件下で再循環あり、なし。脱血不良あり、なしの計12パターンで流量を各3回(n=3)測定した。

2) 上記実験で得たデータをもとに再循環、圧較差、脱血不良の影響について検討した。

もっとも流量が大きかった圧較差50mmHg、再循環なし、脱血不良無しの流量を基準にし、上記と同様に条件をそろえた上で引き算をすることで、各パラメータによりどの程度流量が減少しているのかを算出し図示した。

## 【結果】

### 1. 圧力設定と流量の関係

1) 最高圧100mmHgが $104 \pm 1.07$ ml/min

と最も流量が低く、最高圧400mmHgが $138.6 \pm 1.63$ ml/minと最も流量が大きかった。

分散分析で水準間に有意差を認めた。

( $F[1, 20]=301.3, p<0.05$ )

流量は最高圧をあげるごとに上昇し、300mmHgまでは有意差をもって上昇した。また近似線は線形近似で $R^2=0.9437$ 対数近似で

$R^2=0.9973$ と対数近似の方が当てはまりがよく、最高圧は高い方が高流量を得られるがその効果は漸減し300mmHgから有意を認めなくなる結果となった。(図2)

2) 圧較差400mmHgが $106.3 \pm 1.87$ ml/minと最も

流量が低く、圧較差 50mmHg が

144.4±1.22ml/min と最も流量が大きかった。

分散分析で水準間に有意差を認めた。

(F[1, 14]=377.3, p<0.05)

流量は圧較差を小さくするごとに上昇しすべての水準ごとで有意差をもって上昇した。また近似線は線形近似で R<sup>2</sup>=0.9388 対数近似で R<sup>2</sup>=0.94445 と対数近似の方が当てはまりがよく、圧較差は小さいほど高い流量が得られるがその効果は漸減する結果となった。(図3)

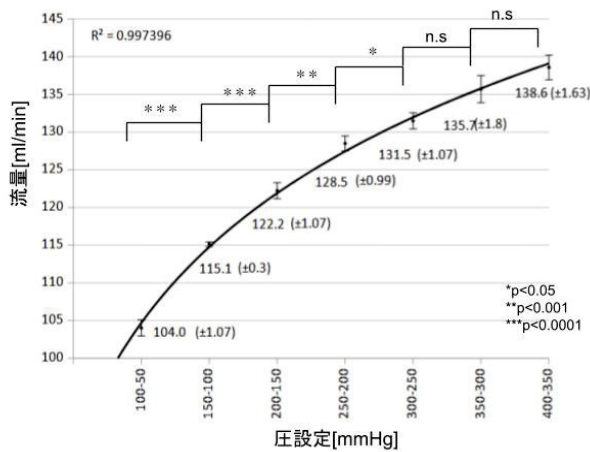


図2 流量と圧力の関係 1

圧較差を 50mmHg に固定した場合の圧設定と流量の関係。近似値線は対数近似をとっている。

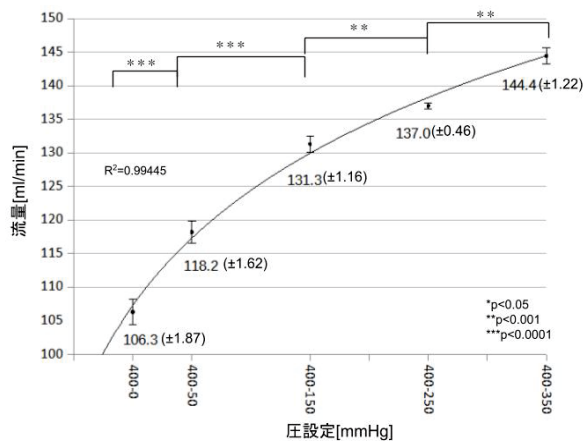


図3 流量と圧力の関係 2

最高圧を 400mmHg に固定した場合の圧設定と流量の関係、近似値線は対数近似をとっている。

## 2. 脱血不良、再循環の影響

1) 再循環なしの場合は脱血不良無し、圧較差 50mmHg が 122.7ml/min(±0.92) と最も流量が大きかった。

脱血不良はすべての場合で流量を減少させた。

二元配置分散分析で脱血不良の有無に有意差 (F[1, 1]=150.63, p<0.05) 圧設定に有意差 (F[1, 2]=179.6, p<0.05) 交互作用にも有意差を認めた。(F[2, 2]=9.51, p<0.05)

流量は先の実験と同様に圧較差が小さいほど上昇した。(図4)

再循環ありの場合は脱血不良無し圧較差 100mmHg が 84.9ml/min(±1.41) と最も流量が大きかった。

脱血不良はすべての場合で流量を減少させた。

二元配置分散分析で脱血不良の有無に有意差 (F[1, 1]=369.5, p<0.05) 圧設定に有意差 (F[2, 1]=113.7, p<0.05) 交互作用に有意差を認めた。(F[2, 2]=6.71, p<0.05)

流量は圧較差 100mmHg が最も大きく次いで 150mmHg、50mmHg の順番であった。(図5)

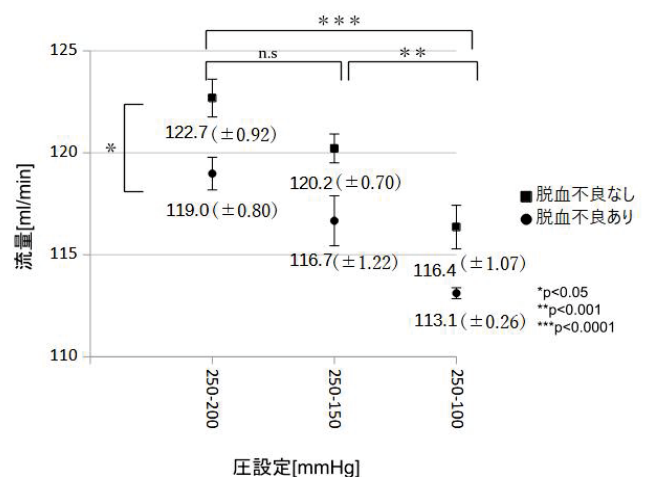


図4 脱血不良と再循環の影響 1  
再循環なしでの測定

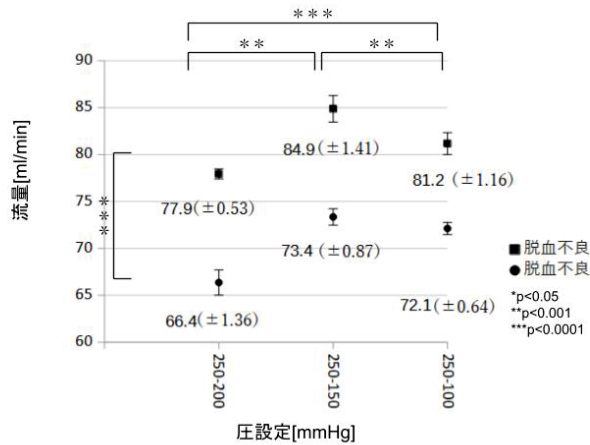


図5 脱血不良と再循環の影響2  
再循環ありでの測定

2) 再循環の影響による流量の減少は圧較差50mmHg、脱血不良ありが 53.76±1.35ml/min と最も流量が減少した。圧較差設定が大きいほど有意に流量への影響が少なかった。

圧較差設定の影響による流量の減少は150mmHg、脱血不良ありが 16.51±0.27ml/min 最も流量が減少した。圧較差設定が小さいほど有意に流量への影響が少ない結果となった。

脱血不良の影響はすべてのパラメータで有意に流量を減少させた。(図6)

再循環と圧設定の両方を考慮した場合圧較差100mmHg、脱血不良無しが 53.7±2.23ml/min と最も流量の減少が少ない結果となった。(表1)

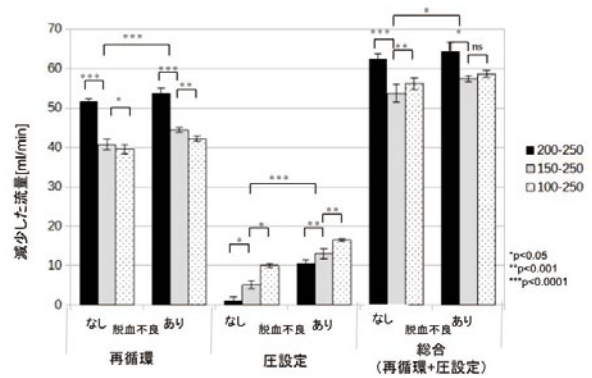


図6 脱血不良と再循環の影響3  
再循環なし、圧設定100-250mmHgを基準とし各パラメータにより減少する流量を視覚化した

表1 脱血不良と再循環の影響により減少した流量

	脱血不良の有無	圧設定 (mmHg)		
		200-250	150-250	100-250
再循環	なし	51.69 (±0.53)	40.74 (±1.41)	39.61 (±1.17)
	あり	53.76 (±1.35)	44.44 (±0.64)	42.13 (±0.64)
圧設定	なし	1.13 (±0.99)	5.14 (±0.94)	9.98 (±0.47)
	あり	10.65 (±0.8)	12.96 (±1.22)	16.51 (±0.27)
総合 (再循環+圧設定)	なし	62.35 (±1.39)	53.7 (±2.23)	56.12 (±1.43)
	あり	64.4 (±2.14)	57.41 (±0.79)	58.64 (±0.9)

【考察】

1. 至適設定について

SN透析の設定は最高圧は300mmHg程度、圧較差は再循環を加味しないのであれば50mmHg、再循環を加味するのであれば100mmHgが最も流量を得やすい結果となった。

最高圧は高い方がより流量を得られる結果となったが、300mmHg以降は有意差を認めずその効果も漸減する結果となった(図2)これは返血用に用いていた16G針が流量限界を迎えるためだと考えられる、また再循環を加味しないのであれば(図3)に示すように圧設定は小さいほど良い、返血時の血液流速は圧力が高い時の方が大きく、ポアズイユの法則のからも推測できる。そのため高い圧力

を維持しながら脱血、返血を繰り返す圧較差 50mmHg でより高い流量を得られたと考えられる。しかし再循環を加味した場合には圧較差 100mmHg が最も高い流量がえられた。(図 5)

再循環は血液ポンプの停止位置や V クランプとの連動のずれによって返血切り替え時に流量の一部が脱血回路へ引き込まれる事によって生じ、時間当たりの切り替え回数が多いほどより強く影響を受ける<sup>3) 4)</sup> 圧較差設定が小さいほど切り替え回数が多くなり再循環量が多くなった。これに前述の圧設定による流量の影響が組み合わさった時、圧較差設定 100mmHg が最も受ける影響が少なく結果として最も大きい流量が得られたと考えられる。(図 6)

## 2. 現状での SN 透析の限界

本条件下であれば SN 透析の至適設定を示すことができたが、臨床に近い再循環を加味したモデルでは最も流量を得ることができて 84.9ml/min であり、維持透析を行うには十分なクリアランスの確保ができるとは言い難い。同条件でありながら再循環を加味しなければ流量は 120.2ml/min であり流量の減少に再循環が最も寄与していることが分かった。

しかし現状で再循環を抑制する方法はなく、脱血不良の改善や圧設定の工夫など少しでも血流量を確保するのが望ましい。

またより高い実血流量を実現するには、再循環のような大きく影響を及ぼすパラメータについてデバイスや機器の改良にて抑制、防止していく事が必須であり、海外や本邦でも報告がされているダブルポンプによる SN 透析<sup>5)</sup> や Volume reservoir 方式<sup>4)</sup> など方式の更なる研究が求められる。

## 3. 今実験を踏まえ SN 透析を臨床で使用する際の注意点

現行の多用途透析装置の中には SN 透析中の血流量を表示する機器もあるが再循環は加味されて

おらず実血流量とは大きく乖離していることが想定される。実血流量を知るためにはクリアランスギャップを求める上で使用されるクリアランス理論値の式から逆算するなど、工夫して管理する必要がある。

## 4. 今後の課題

今実験は Vitro での結果であり臨床へ応用した時の有効性などを検討する必要がある。

SN 透析の実血流量予測や設定の調整が困難な理由の一つに影響するパラメータの多さがあげられる。設定 Qb、圧較差、最高圧、再循環、脱血不良、血液粘度などそれぞれの要素が実 Qb へ影響する。

今回は設定 Qb を 200ml/min と固定にしたが本設定以外に小川ら<sup>6)</sup> によると Qb300ml/min にて最高圧 300mmHg 圧較差 100 又は 150 mm Hg が至適であるという報告もある。デバイスが透析針でなく再循環の影響を加味していないなどその扱いは慎重にするべきであるが設定 Qb によって結果に違いがでることも予想され、今後設定 Qb がもたらす影響についても明らかにしていく必要がある。

SN 透析の正確な流量特性を調査するためにはヒトまたは動物の血液を使用するのが望ましいが、腐敗や感染症、倫理面で使用が難しいため今回は模擬血液を使用した、使用した模擬血液はよりヒトの血液に近い非ニュートン流体であるキサンタンガムを含むものを採用したが Ht46% 相当であり、Hb10 から 12mg/dl に管理されている維持透析患者の Ht としては少し高いものであるため、より臨床に近い条件の模擬血液についても探求していきたい。数あるパラメータの影響をひとつづつ解明することがより高い実血流量確保や実血流量予測につながると考える。

## 【結論】

SN透析での至適設定に関しては最高圧 300mmHg 程度圧較差 100mmHg 程度が望ましい条件と考えられる。

利益相反:本研究において開示すべき利益相反 (COI) はない

## 【参考文献】

- 1) Lindsey Webb(2020)” Mimicking Blood Rheology for Accurate Modeling in Benchtop Research”,UCF Undergraduate Research Journal (URJ):Vol.12:Iss 1, Article 6
- 2) 公益社団法人日本臨床工学技士会透析用血液回路標準化委員会:透析用血液回路標準化基準 (Ver. 1.00)2012.9
- 3) 藤原千尋,小川武人,小野淳一,他:シングルニードル透析中の回路内流量・圧力の測定と解析. 日本バイオレオロジー学会誌. 26(1):pp. 5-7. 2012
- 4) 稲垣豊,天野泉,吉田俊彦,他: Singleneedle dialysis の改良-volume reservoir の開発-. 人工腎臓 14(1), 98-103. 1985
- 5) 川久保宏也,小松緑,水上悦子,他: シングルニードルダブルポンプの使用経験. 長野県透析研究会学会誌, 2002-08 ; 25 : 69-70
- 6) 小川和俊,玉谷亮一,林直博,他:透析会誌シングルルーメンカテーテルを使用した単針血液透析条件の検討. 54(1):15-20, 2021
- ・ 藤原 千尋, 小川 武人, 小野淳一, 他 : シングルニードル透析における血液ポンプのローラー停止位置からみた最適操作条件の検討, 生体医工学 50 (6) :645-650. 2012
- ・ 中村淳史: 人工心肺中におけるリアルタイム血液粘度測定法の開発と有用性, JPN J Extra-Corporeal Technology41 (2) :123-130, 2014
- ・ 2015 年版日本透析医学会 慢性腎臓病患者における腎性貧血治療ガイドライン: 日本透析医学会雑誌 49-2、2016