

BPA2-1

シングルニードルにおける後希釈 HDF の基礎検討

○上田 満¹⁾、高橋 加瑞磨¹⁾、藤原 千尋²⁾、小川 武人¹⁾、望月 精一¹⁾

1)川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床工学科、

2)岡山大学病院 血液浄化療法部

【緒言】シングルニードル透析とは、穿刺針を1本のみ用いて、脱血と返血を交互に行う血液透析治療モードである。シングルニードル透析では、平均血流量の低下や静脈圧の上昇下降が発生するため、2本穿刺と同様に HDF を施行できるか不明である。そこで本研究では、シングルニードルで後希釈 HDF を施行した際の基礎特性について検討した。

【方法】溶質としてリボフラビン(VB2、分子量376)、リゾチーム(分子量14,300)を透析液(キンダリー透析剤2E、扶桑薬品工業)に溶解して灌流液とした。血液透析濾過器としてABH-21F(旭化成メディカル)を用いた。透析条件は、設定血流量を250 mL/min、透析液流量を500 mL/min、静脈圧上限値を200 mmHg、下限値を100 mmHgとした。補液流量はHDでは0 mL/min、後希釈 HDF では40 mL/minとし、シングルパスにて実験した。血液側入口、血液側出口、透析液側出口からサンプルを採取し、各溶質の吸光度からクリアランスを算出した。血液流量はメスシリンダを用いて測定した。なお、結果は平均値±標準偏差で表示し、統計学的処理はt検定を用いて $p < 0.05$ で有意とした。

【結果】設定血流量250 mL/minでのHDと後希釈 HDF における平均血流量は、それぞれ 166 ± 2 と 170 ± 4 mL/minであった($p = \text{NS}$)。補液流量0 mL/min、40 mL/minにおけるVB2のクリアランスは、それぞれ、 145 ± 1 、 160 ± 1 mL/minであった($p < 0.005$, $n = 3$)。リゾチームのクリアランスは、それぞれ 85 ± 1 、 107 ± 1 mL/minであった($p < 0.001$, $n = 3$)。

【考察】シングルニードル透析では、平均血流量の低下により小分子量物質のクリアランスが低下する。HDF には前希釈と後希釈があるが、前希釈では、濃度低下による更なる小分子量物質のクリアランス低下を招く可能性があるため、後希釈法を選択した。実際のシングルニードル透析では、設定血流量と比べて、平均血流量の低下が確認された。過度な血液濃縮を避けるためには、補液流量を下げる必要があり、本研究では補液流量は40 mL/minとした。VB2、リゾチームともに HDF を行った方がクリアランスは増加した。いずれも濾過による物質除去が促進され、クリアランスが増加したと考えられる。特にリゾチームでその効果が顕著であった。

【結論】シングルニードル透析において、後希釈 HDF を施行することで、分子量300 (VB2) から分子量14,000 (リゾチーム) の領域でクリアランスの向上が期待できた。その場合、設定血流量ではなく、平均血流量に合わせた補液流量を設定する必要があると考えられた。

BPA2-2

透析中の非接触式電気的抜針検出法に関する基礎的検討

○角田 智美、塩飽 弥希、立川 都花沙、中満 稔、富士原 拓也、清水 希功

広島国際大学 保健医療学部 臨床工学科

【はじめに】血液透析は体外循環を用いた治療であるため、その実施においては抜針や回路離断による出血、空気誤入等のトラブルが生じる可能性があり、これらの事故対策は重要である。我々は、この中でも抜針対策に着目し、抜針を電気的に検出する方法について検討してきた。これは、血液回路の二点間に電極を装着して高周波電圧を印加し、電極間のインピーダンスの変化を測定して抜針を発生直後に発見しようとするものである。本研究では、電極の装着法を血液回路の外周とし、回路内の血液とは非接触式に装着した電極を用いて、インピーダンス変化により抜針を捉えることができるかについて検討した。

【方法】

- ①塩化ビニル製透析用血液回路の外周に長さ4 cm (電極面積 5.0 cm^2) の銅製電極を電極間隔30 cm で1対装着し、印加周波数1k、10k、100kHzにおいて、回路内が空気又は生理食塩液のときのインピーダンスをLCRメータにより測定した。
- ②通常の透析用回路としてセットアップしたダイアライザ・血液回路内を生理食塩液で満たし、動脈側・静脈側針接続部に長さ4 cm の電極をそれぞれ装着して100kHzにおけるインピーダンスを測定した。生理食塩液で満たした模擬血管に両針接続部を接続した状態を「正常」、模擬血管から動脈側・静脈側針接続部を故意に外した状態を「A抜針」、「V抜針」、「両抜針」として比較した。

【結果】①では、印加周波数100kHzにおいて生理食塩液の有無におけるインピーダンス変化が最大であり、5回における平均値±標準偏差は、生理食塩液 $63.7 \pm 0.5 \text{ k}\Omega$ 、空気 $79.0 \pm 0.6 \text{ k}\Omega$ であった。これにより印加周波数は100kHzを用いることとした。②における5回における平均値±標準偏差は、「正常」 $142.3 \pm 0.5 \text{ k}\Omega$ 、「A抜針」 $166.3 \pm 0.2 \text{ k}\Omega$ 、「V抜針」 $170.1 \pm 0.6 \text{ k}\Omega$ 、「両抜針」 $170.1 \pm 0.7 \text{ k}\Omega$ であった。正常と少なくともいずれかが抜針した状態では、約20k Ω のインピーダンスの差が認められ、Student T検定により有意差を認めた($P < 0.05$)。

【考察】①の実験は、100kHzの印加電圧では、血液回路の外周に装着した電極により、回路内の生理食塩液に塩化ビニルの静電容量を介して電流が流れることが明らかとなり、また電気的安全性も確保されることが確かめられた。また②により、抜針に伴って生じるインピーダンス変化は抜針の内訳に関係なく約20k Ω であった。

【結語】塩化ビニルの回路外に非接触式に装着した1対の電極で抜針が検出できるかについて検討した。100kHzにおける電極間のインピーダンス測定において正常と抜針には約20k Ω の差を認めたことより、この変化を検出することで抜針を検出することが可能であることが示唆された。

BPA2-3

血液浄化用ローラーポンプ長時間運転における流量特性の基礎検討

○長瀬 貴史¹⁾、小原 啓太¹⁾、武蔵 健裕²⁾

- 1) 広島国際大学 保健医療学部 臨床工学科、
2) 広島国際大学 保健医療学部 医療技術学科

【目的】近年の血液浄化療法は治療方法の選択肢が増え、患者の状態に応じた浄化方法の選択と条件設定が可能となっている。血液透析施行時間についても長時間透析、オーバーナイト透析、短時間頻回透析など患者のライフスタイルに合わせて様々な選択が可能となっている。

ローラーポンプは回転物によってポンプチューブをしごくことにより、チューブ内の灌流液に流れをつくりだすことができる。また、しごかれたポンプチューブの復元力によりチューブ内へ灌流液を再び満たすことができ、これを繰り返すことで一定の流量を得ることができる。しかし、長時間のローラーポンプ使用に伴い、ポンプチューブが繰り返し押し潰されることで復元力が低下し、流量低下による治療効率の低下が懸念される。そこで、ローラーポンプを長時間連続運転させた状態が流量特性に及ぼす影響について実験的に検討した。

【方法】実験前にローラーポンプの圧閉度を調整した。標準的な血液透析回路(外径12mm、内径8mm)とローラーポンプ(TORAY:TR-3000M)、恒温槽(AS ONE:TR-2A)を用いて循環回路を準備した。灌流液として水および3cPキサンタンガム水溶液を作成し、恒温槽にて37℃に加温維持し回路内に充填した。ローラーポンプの前方にクレンメを装着し、脱血圧(HODAKA:HT-1500H)を3段階(無負荷-20、-150、-300mmHg)に設定した。血液ポンプ流量を200mL/minに設定し、ローラーポンプ運転開始直後、4、8、12時間後の吐出量を各条件にて測定した。

【結果】灌流液として水を用いた場合、脱血圧無負荷-20mmHgでは12時間後まで流量の低下は認められなかった。脱血圧-150mmHgでは、運転直後に比べ4時間後以降は有意に流量の低下が認められた。また、脱血圧-300mmHgでも同様に、運転直後に比べ4時間後以降は有意に流量の低下が認められ、運転直後の流量に対して12時間後では5%以上の流量低下が発生した。灌流液として血液を模擬した3cPキサンタンガム水溶液を用いた場合も同様な傾向を示したが、脱血圧-300mmHgでは、水の場合よりも流量低下が大きくなった。

【考察】ローラーポンプの長時間運転が単純にポンプチューブの疲労へ影響することも考えられるが、これ以上にポンプチューブの復元力に対して脱血圧や灌流液の粘性など、脱血の状態が吐出流量低下に影響を及ぼすことが考えられる。

【結語】ローラーポンプ長時間運転が流量特性へ与える影響について実験的に検討した。脱血圧無負荷-20mmHg程度の場合には、長時間運転による流量低下は認められなかった。しかし、脱血圧-150、-300mmHgと陰圧が増す状態では、運転時間の長時間化に伴い流量が低下する傾向を示した。また灌流液の粘性が大きい場合には、流量低下がより顕著に発生した。

これらのことより、ローラーポンプを長時間運転する場合には、治療後半の脱血圧低下は治療開始時より一層の流量低下を生じていることを考慮し対処する必要があると示唆された。

BPA2-4

自作の除細動器テストにおいて小児モードの出力エネルギー計算に積分間隔が与える影響

○草野 貴俊¹⁾、松本 好貴¹⁾、森本 悠真²⁾、堀 純也¹⁾²⁾

- 1) 岡山理科大学 理学部 応用物理学科 医用科学専攻、
2) 岡山理科大学大学院 理学研究科 応用物理学専攻

【はじめに】除細動器の点検において出力エネルギーの確認は必要であるが、市販のエネルギーチェッカは高価であるため、自作することによりコストを抑えることができる。出力エネルギーの計測過程においては、時間積分計算を行う必要がある。その数値計算を行うに当たっては、電圧測定の時間間隔が短いほど誤差が小さくなるといえる。これまでに様々な自作チェッカが学会等で報告されているが、測定時間間隔の影響について言及しているものは見受けられない。そこで、われわれは、具体的にどの程度の時間間隔で行うべきかを検討するために実験を行った。除細動器は、小児モードと成人モードのどちらで使用するかによって出力エネルギーが異なる。成人モードの結果については、すでに報告しているため¹⁾、今回は、小児モードについて同様の実験を行った結果を報告する。

【方法】50Ωと100Ωの負荷抵抗を含む回路にそれぞれ出力したAED(ハートスタートFR3 Pro, PHILIPS)の電圧を1/100分圧回路を介してPCオシロスコープ(PicoScope4262, Pico Technology Ltd.)で測定した。得られた出力電圧を二乗し、時間積分した後に負荷抵抗の値で割ったものを出力エネルギーとした。数値積分は台形公式およびシンプソンの積分公式で行い比較した。また、積分する際の時間間隔 Δt を1μs~1msまで1μsずつ上昇させながら計算を行った。

【結果・考察】負荷抵抗50Ωの場合、 $\Delta t=1\sim 250\mu s$ 程度の間あればエネルギーの計算値の差は概ね5%以内で一致した。一方、負荷抵抗100Ωの場合は、 $\Delta t=1\sim 450\mu s$ 程度で同様の結果となった。これは、成人モードの場合と同様に負荷抵抗が増加したことにより出力時間が延び、全出力時間に対する測定間隔の比率が相対的に短くなったためである。これらの Δt の範囲内においては、積分計算処理を台形公式で行っても結果に顕著な違いは見受けられなかった。今回使用したAEDの全出力時間は、負荷抵抗が50Ωに対して11.2ms、負荷抵抗が100Ωに対して13.7msであることから、 Δt を全出力時間の1/50程度以下にすれば測定間隔による影響が概ね5%程度以下に抑えられることがわかった。さらに影響を十分に抑えるためには、1/100程度に設定しておけばよいと思われる。

【結語】AEDの出力電圧の測定間隔と、エネルギー算出時の数値積分の方法を変えてその影響を調べた結果、測定間隔を全出力時間の1/100程度に設定しておけば、十分に影響を抑えられることがわかった。また、積分計算においては、数値計算が簡単な台形積分でも問題ないことがわかった。

【謝辞】本研究はJSPS科研費25870972の助成を受けて行われた。

【文献】

- 1) 堀純也ほか、「自作の除細動器テストにおいて電圧測定間隔の違いがエネルギー計算に与える影響」、公益社団法人日本臨床工学会誌, No. 54, p158(2015).

BPA2-5

実験計画法を用いた簡易血圧計の測定値ばらつき
因子の抽出方法の検討

○内田 翔子、高橋 瑞樹、夕部 萌恵、大西 航平、國藤 亮平、
入本 知志、西岡 幹人
徳島文理大学 保健福祉学部 臨床工学科

【はじめに】家庭用血圧計としてオシロメトリック式血圧計が使われている。この方式の血圧計は、エアポンプにより腕帯を加圧することで血管を圧迫し、圧力センサで測定した脈波と腕帯内圧の相関から血圧を測定する。そのため、腕帯の位置ずれ、腕帯の締め付け具合や測定時の姿勢などの多くの測定条件(以下、誤差因子と称す)により測定値がばらつく。さらに実際の測定では多くの誤差因子が複合して加わる。そのため、実際に起こりえる測定値ばらつきの程度を評価するためには、測定ばらつきに影響を与える主要因子を抽出し、これら因子を複合して与え評価する必要がある。今回、実験計画法により、多くの誤差因子の中から測定ばらつきに与える影響が大きい因子を効率的に抽出する方法を検討したので報告する。

【方法】まず、誤差要因をできるだけ除いて血圧計単体の測定ばらつきを測定した。次に、測定誤差の要因7つ(以下、因子A~因子G)を取り上げた。これらの因子の水準を2水準とし、混合型のL12直行表に割付け、被験者の血圧値のばらつきを測定した。以下に誤差因子を示す。因子A:血圧計本体の測定環境(40度/10度)、因子B:血圧計の電圧降下(6V/5V)、因子C:腕帯の締め付け具合(指1本/2本)、因子D:測定者の姿勢(座る/寝る)、因子E:腕帯を巻く位置(肘の中心/肘より10cm上)、因子F:心臓に対する腕帯の位置(10cm上/10cm下)、因子G:ゴムパイプの変形(有/無)である。ここで、因子Aでは血圧計の回路基盤を直接に加温/冷却した。因子Bでは乾電池の電圧が下がるとエアポンプの能力が変動すると考えた。直交表に基づいて12通りの実験を複数回行い、分散に関する要因効果図を作成し主要因を抽出した。抽出した因子は、さらに1因子実験を行い血圧計単体の測定ばらつきに対して測定値の分散が優位かどうかを評価した。

【結果】収縮期血圧の測定値をばらつかせる主要因子は因子Fであった。因子F単体で測定した分散は、血圧計単体の値の約2倍以上大きな値になり、腕帯の位置が測定ばらつきに影響していることを確認した。その他の因子は血圧計単体の分散程度であり、測定ばらつきに影響する因子とは言えなかった。一方、拡張期血圧に対しては、因子B、因子Dと因子Fが測定ばらつきを大きくする傾向にあることを示したが、1因子実験の結果はどの因子も血圧計単体の分散程度であり測定ばらつきに影響を与える因子とは断定できなかった。

【まとめ】実験計画法は多くの誤差因子の中から血圧計の測定ばらつきに影響する主要因子を抽出するのに有用な方法であることが分かった。今後、他の多くの因子に対しても適用し、得られた因子を複合して与えることで、実際に起こりえる測定ばらつきの程度を評価するとともに、同じ誤差条件で複数の血圧計の性能比較を行い機器選別に利用する。

BPA2-6

1回換気量の評価のための胸郭インピーダンス連続
モニタリングに関する基礎的検討

○富士原 拓也、廣田 凌、角田 智美、塩飽 弥希、
立川 都花沙、中満 稔、清水 希功
広島国際大学 保健医療学部 臨床工学科

【はじめに】胸郭インピーダンスは、1対の電極を胸部に装着し高周波電流を印加して得られる電極間のインピーダンスである。呼吸や肺水分量の影響を受けることにより、呼吸回数や心不全の非侵襲的連続測定を可能するパラメータとして広く臨床応用されている。また研究分野では、心拍出量測定や循環血液量の変化量を胸郭インピーダンスより推定することができる等の有用性が報告されている。本研究では、臥位の患者における1回換気量を連続測定することを目的として、胸郭インピーダンスと肺気量の関係について調べた。

【方法】健康なボランティア学生9名(すべて男性、平均年齢21.3歳)を対象として、胸郭上に心電図モニタリング用のディスプレイ電極を配置し、80kHzの高周波電流を印加し(0.2V、0.3mA以下)、座位と仰臥位のそれぞれの体位において、自発的な吸気、呼気における胸郭インピーダンスを測定した。胸壁上の電極配置は①心電図上の第II誘導類似(以下、II誘導)、②左右の乳頭線上で左右の側壁上の配置(以下、左右誘導)、③左右の乳頭線上で前壁と後壁の配置(以下、前後誘導)の3種類を用いた。また肺気量はニューモタコグラフを用いたスパイロメータにより測定し、胸郭インピーダンスと同時測定した。そうして体位別にそれぞれの電極配置で測定したインピーダンスと肺気量の相関性について検討した。

【結果】被験者の仰臥位、安静時呼気位における胸郭インピーダンスは、 $720.2 \pm 88.2 \Omega$ であり、被験者間の標準偏差が大きいことより、吸気、呼気のいずれも安静時呼気位からの胸郭インピーダンス変化量(以下、 ΔZ)を用いた。肺気量と ΔZ において、座位の吸気量ではII誘導、左右誘導に有意な正の相関、呼気量では左右誘導に有意な負の相関が認められた。仰臥位では、吸気量で左右誘導に高い相関がみられたが、呼気量ではいずれの電極配置にも有意な関係は認められなかった。被験者の1回換気量(吸気量)及び ΔZ は、仰臥位においてそれぞれ $1.29 \pm 0.23L$ 、 $1.39 \pm 0.32 \Omega$ であった。

【考察】仰臥位における ΔZ は、左右誘導において肺気量との相関性が高く、吸気による胸郭の拡大を精度良く捉えやすい電極配置であったと考えられる。また測定した1回換気量と ΔZ 間で有意差はなく、胸郭インピーダンスを測定することにより、肺気量を連続的に安全かつ簡便に測定することが可能であると考えられた。今回は肺気量の測定にスパイロメトリーを用いたが、仰臥位ではフローが呼出しにくく、肺気量の正確な測定法を検討する必要がある。

【結語】被験者の肺気量を変化させたときの胸郭インピーダンス変化量を測定し、両者の定量的な解析を行った。仰臥位では、スパイロメトリーによる吸気量と左右誘導の ΔZ に高い相関性がみられ、胸郭インピーダンスのモニタリングによって1回換気量の測定が可能であると考えられた。

BPA2-7

シングルニードル透析における患者監視装置の
機器特性の比較検討

○光畑 和樹¹⁾、森 大祐¹⁾、藤原 千尋²⁾、小川 武人¹⁾、
望月 精一¹⁾

1)川崎医療福祉大学 医療技術学部 臨床工学科、

2)岡山大学病院 臨床工学部 血液浄化療法部

【序論】 シングルニードル(SN)透析では、脱血と返血を交互に繰り返すため、その透析効率は設定血流量だけでなく、脱返血の切替をする静脈圧の設定など多様な条件の影響を受ける。そのため、機種異なる患者監視装置間で動作に違いがあれば、透析効率にも影響すると考えられるが、そのような装置間の違いは明らかにされていない。そこで本研究ではSN透析における患者監視装置ごとの特性を評価し、比較した。

【方法】 37±1℃に保持したショ糖溶液を灌流液として使用し、透析器にはKF-12(旭化成メディカル)を、穿刺部にはY字コネクタおよび16G針を用いた。実験条件は血流量を200mL/minとし、透析液は流さなかった。設定静脈圧(上限/下限)を200/100mmHgとして、患者監視装置は、東レメディカル社製TR-3000Mと日機装社製DCS-72を使用した。平均血流量はメスシリンドを用い、圧力は、トランスデューサを用いて計測した。その後、両者の切替静脈圧が等しくなるように設定で実験した。

【結果】 TR-3000Mは約300/50mmHg、DCS-72では約230/75mmHgであり、1周期はそれぞれ約6.5秒と4秒だった。ただし、平均血流量に大きな差は見られなかった。また実静脈圧が同じになるように調整した場合、1周期はほぼ同じ値となった。

【考察】 いずれの装置においても、脱返血の切替時の実測静脈圧は、設定値よりも上限が高く、下限が低くなっていた。脱返血の切替動作は、実際の静脈圧が設定の上限下限に達してから、ポンプとバルブが動作するまでの時間遅れおよび静脈圧の平均化処理などのため、設定静脈圧と実際の静脈圧には差が生じていたと考えられた。設定静脈圧を同じにした場合の結果から、これら動作の遅れや静脈圧の処理には患者監視装置間で違いが見られ、実際の切替静脈圧に違いが生じたと考えられた。一方、実際の切替静脈圧を同一になるように設定すれば、周期と平均血流量ともにほとんど差を生じないことが確認できた。ただし、切替時の動作を観察したところ、TR-3000Mではポンプが停止後、バルブが開くまでに時間遅れが存在するのに対し、DCS-72ではバルブが開いた直後にポンプが停止した。そのため、実際の切替静脈圧を一致させても、ポンプおよびバルブの動作に違いがあり、返血時の再循環や一時的な圧力変化ならびに血液停滞による血栓形成などに違いが見られる可能性があると考えられた。

【結論】 SN透析において、患者監視装置ごとにポンプの動作切替のタイミングに違いがあり、SN透析の操作条件を比較する場合や患者監視装置を変更した場合には注意が必要であると考えられた。