

博士論文

透析中の血圧とシャント血流機能の  
動態に関する研究

2014年3月

兵庫県立大学大学院 応用情報科学研究科  
応用情報科学専攻

人見 泰正

## 要旨

維持血液透析療法（透析）中の血圧は、治療の影響を直接的に受けやすく、時に急激に低下して患者の生命を脅かす。安定した血圧を保持できるか否かは、治療成否の分かれ道といえる。また、透析に必要な血流量を得るための仕組みである vascular access: VA（シャント）は、透析患者の命綱ともいえ、シャントを無くして透析を施行することはできない。シャントを適切に管理することもまた、治療の成否を分ける重要なポイントである。これらの事実から、血圧とシャントは共に透析において最重要の評価・管理項目といえる。しかし、従来からその管理は容易でなく、これまでに様々な手法が試行されているがいずれも十分とはいえない。また、血圧とシャント血流量の間には密接な相関性があることが通説となっているが、その関連性についても実際には明らかでない。

本研究は、透析中の血圧とシャント血流動態との関連性を明確にすることと、それらの新たな管理手法を考案することを目的とし、以下の4つのカテゴリーに分類して行った。

研究 I では、血圧の決定因子のひとつである静脈還流を利用し、透析低血圧症の予防策として応用できるかを検討した。対象は 19 例（男性 10 例、女性 9 例）の透析患者とし、逐次型空気圧式マッサージ器による下腿型間欠的空気圧迫法（下腿空気圧迫法）を用いて、透析中に静脈還流の促進を行った。対象には 4 つの実験条件を課した。条件①は、静脈還流促進を行わず通常通りの透析を行なうこととし、これを対照とした。条件②は、透析中継続して 40mmHg、30 秒間隔の下腿空気圧迫法による静脈還流の促進を行った。条件③は、60mmHg、5 秒間隔の下腿空気圧迫法による静脈還流促進とし、条件④は患者の静脈還流速度に合わせた自動調節の下腿空気圧迫法による静脈還流促進とした。測定項目は、血圧変化率、循環血液量変化率（ $\Delta BV$ ）、感覚変化（下肢温感と軽快感）、経皮酸素分圧（ $tcPO_2$ ）、尿素窒素（UN）とクレアチニン（Cr）の除去率・クリアスペース、および気分評価尺度（POMS）とし、対照とした条件①と下腿空気圧迫法を施行した条件②③④とを比較検討した。検討の結果、透析中の血圧変化率は、対照の条件①のみが透析後半に有意な低下を示し（ $p < 0.001$ ）、下肢静脈還流を促進させた条件②③④では有意な低下を示さなかった。 $\Delta BV$  も血圧変化と一致する傾向を示したが、条件④は条件①と類似した傾向を示した。温感と軽快感の視覚評価尺度（VAS 値）は、条件②④において透析前と比較し透析後（ $p < 0.001$ ）と帰宅後（ $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ ）で有意な改善が見られた。 $tcPO_2$  は全条件で透析後半に低下傾向を示したが、条件①と条件②③④の間には有意差を示さなかった。UN と Cr の除去率は各条件間で差を示さず、クリアスペースでは Cr において条件③が条件①よりも有意に高値を示した（ $p < 0.05$ ）。POMS は、「抑うつ-落ち込み（D）」と「怒り-敵意（A-H）」の尺度で、条件②が条件①と比較して有意に低値を示した（ $p < 0.05$ ）。これらの結果から、透析中に持続的な静脈還流促進を加えることで、透析低血圧症の発症を予防できる可能性が示された。また、今

回の条件の中では、条件②の設定値が快適に施行でき血圧低下予防も可能であったことから、最も良いと考えられた。

研究Ⅱでは、透析中における経時的な血圧とシャント血流量 (Flow Volume: FV) および実血流量の変動傾向を解析し、透析中に FV が低下しやすい症例が持つ要因の抽出を試みた。対象は、透析患者 64 例、観察期間は 2 ヶ月とした。方法は、対象全例に対して、透析中の各時間値 (0h、1.5h、2.5h、4.0h) に、FV、実血流量、血圧 (収縮期、拡張期) を測定し、以下の 5 項目について検討した。(1) 透析中の FV、実血流量、血圧の推移。(2) FV、実血流量、血圧の相関解析。(3) 対象の分別 (FV 低下群/不変群)。(4) FV 低下群/不変群における血圧の推移。(5) 透析中の FV 低下要因の抽出 (17 項目)。検討の結果、FV と実血流量は透析中有意に低下し、両者の間には有意な正相関がみられた ( $R=0.76$ )。しかし、FV と血圧に相関関係はみられなかった ( $R=0.17$ )。対象を、FV 低下群と不変群に分類した上での血圧推移は、両群共に透析後半にかけて有意な低下を示した。透析中の FV 低下要因の抽出では、「シャント血管石灰化、ABI 異常、糖尿病、シャント拡張率低下」が有意に高い寄与率を示した。中でもシャント血管石灰化とシャント拡張率低下の FV 低下に対する寄与率は高く、 $\chi^2$  統計量はそれぞれ 15.2 と 10.2 と高値を示した。これらの結果から、FV と実血流量は透析中に同様の変化を示すが、それらと血圧との関連性は低いことが示された。また、透析中の FV 低下要因は、血圧低下よりもむしろシャント血管荒廃による影響が強いと考えられた。シャント血管に石灰化等の器質的病変を有し全身性の血管荒廃が見られる症例は、透析中に FV が低下する可能性があり、これらの症例では脱血不良や予期せぬ透析効率の低下を懸念する必要がある。

研究Ⅲでは、脱血時に超音波検査によるシャント血流機能 (FV、シャント血管抵抗指数 (resistance index: RI)) を測定し、その際の測定精度について検討した。FV と RI を脱血時に非脱血時と同等の精度で測定することができれば、透析患者のシャントを最も深く理解している透析医療スタッフによって、総合的なシャント管理が効率的に施行できる。対象は、透析患者 62 例とした。透析で血液ポンプを稼働しシャントから血液を引き抜いている状態を「脱血時」と定め、血液ポンプを一時的に止めた状態を「非脱血時」と定め、FV と RI を測定した。FV と RI の測定は、各症例につき、透析開始直前、透析 1.5 時間時、透析 2.5 時間時、透析終了時に、「脱血時」と「非脱血時」の状態をそれぞれ行い、以下の 5 項目について検討した。(1) 「脱血時」と「非脱血時」間における FV の相関解析と RI の相関解析。(2) FV と RI の全データの中から、FV が 350ml/min 以下であったデータを抽出し、そのデータの「脱血時」と「非脱血時」間における FV の相関解析と RI の相関解析。(3) FV と RI の全データの中から、RI が 0.6 以上であったデータを抽出し、そのデータの「脱血時」と「非脱血時」間における FV の相関解析と RI の相関解析。(4) 透析中における FV と RI の時系列変化の解析と、各時間における「脱血時」と「非脱血時」間の差の比較。(5) シャント部位別 (前腕部、肘部、上腕

部)におけるFVの標準偏差平均値の比較。検討の結果、「脱血時」と「非脱血時」間の相関解析では、FVもRIも有意な正相関を示した。また、FVが350ml/min以下の場合でも、「脱血時」と「非脱血時」間において、FVもRIも有意な正相関を示した。RIが0.6以上の場合では、FVは「脱血時」と「非脱血時」間で有意な正相関を示したが、RIは有意な相関を示さなかった。FVとRIの時系列変化では、どちらも透析中有意に低下した。しかし、各時間におけるFVとRIは、「脱血時」と「非脱血時」間に差を示さなかった。測定部位における評価では、上腕部と比較して前腕部と肘部で特に高い測定精度を示した。これらの結果から、脱血時におけるFVとRIの測定は、前腕部と肘部のシャントにおいて、脱血・非脱血の有無、および透析中の経過時間に関わらず、非脱血時と同等の測定精度を得ることが可能と考えられた。

研究Ⅳでは、研究ⅡとⅢで得られた結果を基に、透析中に測定したFVとRIの両データを、透析支援システムを用いて自動で透析コンソールと患者サマリに出力するシステムツールを作製し、その利便性についてのアンケート調査を行った。調査の結果は、シャント管理の質向上に貢献し得るものであった。

本研究全体を通して、透析中の血圧に関しては、簡便で生体にとって負担のない透析低血圧症の予防策を提案することができた。透析中の血圧とFVの関連性からは、透析中のFV低下要因は、血圧よりも血管荒廃の影響が強い可能性を示すことができた。脱血時におけるFVとRIの測定精度の検討では、脱血時でも非脱血時と同等の測定値が得られる可能性を示すことができた。

これら本研究から得られた一連の知見は、現在の透析医療における血圧管理やシャント管理の盲点となっている部分である。透析中の血圧とシャント血流動態との関連性と、それらの新たな管理手法を臨床研究で見出すことができたことが、本博士論文の成果である。

## *Studies of the Dynamics of Hemodialysis-induced Hypotension and the Function of Internal Shunt Blood Flow*

*Yasumasa Hitomi*

Blood pressure (BP) is liable to fall during dialysis treatment and a sudden fall in BP is a life-threatening event. Successful and safe dialysis treatment depends primarily on stable BP during dialysis. Vascular Access (VA) is a tool necessary for dialysis treatment as a lifeline and we cannot perform dialysis without providing a VA device. In other words, evaluation and management of VA sites is also a key to the success of dialysis treatment.

In dialysis treatment both BP and VA are the most important factors for performing safe dialysis, and should be used as the first priority when medical attention is required. A variety of methods and devices for controlling BP and evaluation of VA devices have been available and suggested in clinical use; however, they are far from perfect. Despite an awareness of the importance of BP and VA, detailed understanding has remained elusive. The close correlation between BP and VA is widely acknowledged but relevant data are not available. This study was conducted in four phases.

Phase I studies:

Taking venous return as a factor for controlling BP, a preventive effect on dialysis hypotension was examined in 19 patients (10 males and 9 females) undergoing maintenance hemodialysis. To accelerate venous return during dialysis, crus pneumatic compression by a sequential pneumatic compression massage tool (foot pump) was used. Four experimental conditions were set and a comparison was done between the control condition and each of the conditions using crus pneumatic compression. The experimental conditions were as follows: Condition ①; No massage (control), Condition ②; A slight massage (40 mmHg, at 30 second intervals), Condition ③; A hard massage (60 mmHg, at 5 second intervals), and Condition ④; An automatic massage (adjusting to the patient's venous return velocity). The measurement items were blood pressure rate of change, blood volume rate of change ( $\Delta$ BV), sensation change (crus thermal sensing and feeling of lightness), transcutaneous oxygen (tcPO<sub>2</sub>), removal rates of urea nitrogen (UN) and creatinine level  $\cdot$  clear space, and a mood evaluation scale (Profile of Mood States: POMS). The result of our study is that only Condition ① showed a significant decrease in the blood pressure rate of change ( $p < 0.001$ ) during the latter half of dialysis, and Conditions ②, ③, and ④ did not show such a decrease.  $\Delta$ BV also showed a slope matching that of blood pressure change. Condition ④ showed a slope similar to

Condition ①. Regarding the visual analogue scale values (VAS values) for thermal sensing and feeling of lightness compared before dialysis, Conditions ② and ④ showed a significant improvement after dialysis ( $p < 0.001$ ) and after the patient returned home ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ).  $tcPO_2$  showed a decreasing tendency in all conditions during the latter half of dialysis; however, there was no significant difference between Condition ① and the other Conditions ②, ③, and ④. There was no significant difference in removal rates of UN and Cr between Conditions, and in clear space significantly higher Cr values were found in Condition ③ than in Condition ① ( $p < 0.05$ ). POMS indicates a scale of “Depression (D)” and “Anger-Hate (A-H)” and Condition ② showed a significantly lower value compared to Condition ① ( $p < 0.05$ ). From these results, a reduction in dialysis hypotension is feasible by accelerating the venous return.

#### Phase II studies:

The purpose of Phase II studies is two-fold: an analysis of 1) the transitions in BP over time, 2) internal shunt blood flow volume (Flow Volume: FV) and 3) actual blood flow circulation during dialysis. Risk factors responsible for decreasing these values during dialysis were suggested. The subjects were 64 patients undergoing maintenance hemodialysis and the period of observation was two months. Measurements of FV, real blood flow, and blood pressures (systolic, diastolic) were made at the time of 0, 1.5, 2.5 and 4.0 hours from the start of dialysis. The following are the items for consideration: (1) Changes in FV, real blood flow, and blood BP in transition over time, (2) Correlation analysis of FV, real blood flow, and BP, (3) Classification of subjects in two group; (decreased FV group and no change group as control), (4) Transition of BP changes in decreased FV group in comparison of control group, and (5) 17 factors contributing to FV decrease during dialysis. The results showed that a significant decrease was found in FV and real blood flow volume during dialysis, and a positive correlation was found between FV and real blood flow ( $R=0.76$ ). However, no correlation was found between FV and BP ( $R=0.17$ ). The results also indicate that the factors highly responsible for FV decrease are abnormal ABI, diabetes, decrease in shunt enlargement rate, and shunt vascular calcification, among which the latter two factors showed higher contribution to FV decrease with  $\chi^2$  values of 10.2 and 15.2, respectively. These results indicate that changes in FV are similar to the changes in real blood flow during dialysis, and these changes may occur in some patients but not in others. The causes for decreased FV and real blood flow are possibly due to shunt vessel dilapidation rather than BP decrease. Patients who have mechanical and organic lesions in shunt vessels such as shunt vessel calcification or systematic torn vessel need careful medical checking during dialysis because such patients might show a decrease in internal shunt FV or incomplete blood

removal or unexpected inefficiency of dialyzing apparatus.

Phase III studies:

Since VA management can be easily and effectively improved by measurements of internal shunt flow parameters such as FV and resistance index (RI) during dialysis sessions, FV and RI were measured on ultrasonography and precision of internal shunt flow function was evaluated during dialysis. The subjects were 62 patients on maintenance hemodialysis. In measurement of FV and RI, the ongoing dialysis session is defined as “within-session” and the withdrawal session is defined as “between-session”, and in both sessions FV and RI were measured in each patient at the start of dialysis, at dialysis 1.5 h, at dialysis 2.5 h, and at the end of dialysis, respectively. The following 5 items were examined for consideration: (1) The correlation analyses on both FV and RI between two sessions of “within-session” and “between-session”, (2) Extraction of data showing  $FV < 350 \text{ ml/min}$  and correlation analyses on FV and RI between two sessions, (3) Extraction of data showing  $RI > 0.6$ , and correlation analyses on FV and RI between two sessions, (4) Analyses of time series changes of both FV and RI, and comparison of the difference at each measurement time between two sessions, and (5) Calculation of average SD of FV at each shunt access site (forearm, elbow, and upper arm) and comparison of the degree of measurement error between access sites. The results indicated that both FV and RI had a significantly positive correlation between two sessions even with the cases of  $FV < 350 \text{ ml/min}$ . Where RI is more than 0.6, a significantly positive correlation was found in FV between two sessions, but not in RI. Both FV and RI showed significant reduction in the time series change during dialysis. The difference between FV and RI at each measurement time, however, was not found between “within-session” and “between-session”. Measurement accuracy was particularly higher at the shunt site in the forearm and the elbow compared with the site of the upper arm. Taken together these results, accuracy of FV and RI can be obtained when measured at the shunt site in the forearm and the elbow regardless of the dialysis sessions and duration of dialysis.

Phase IV studies:

Based on Phases II and III, both FV and RI measured during dialysis are currently in clinical use. This data has been recorded by the author at the Dialysis Support System in the Ayabe Municipal Hospital, Hemodialysis Treatment Center. In clinical settings the system tool created by the author is currently used for VA management, and an automatic output to the dialysis console and to patient summary is available.

Through these studies easy and non-invasive preventive measures for dialysis hypotension has been suggested. In an analysis of the relationship between BP and FV

during dialysis, it is suggested that blood vessel dilapidation rather than BP might be involved in the change in FV. Further studies using ultrasonography revealed that evaluation of FV function in dialysis patients is possible during dialysis. No medical staff working in the area of dialysis treatment has focused on this aspect of blood pressure control and FV management in dialysis-induced vascular compliance. This study may be a step ahead of current research in the specific field of dialysis treatment.



## 目次

<b>第 1 章</b>	<b>序論</b> .....	<b>1</b>
1.1	緒言.....	1
1.2	慢性腎不全と透析.....	2
1.2.1	慢性腎不全の病期と透析の現況.....	2
1.2.2	透析導入の適応と透析方法の選択.....	5
1.2.3	透析の原理.....	7
1.2.4	透析合併症.....	9
<b>第 2 章</b>	<b>静脈還流の促進を利用した透析低血圧症の予防</b> .....	<b>11</b>
2.1	透析低血圧症.....	11
2.1.1	透析と血圧.....	11
2.1.2	透析低血圧症の要因（心拍出量）.....	14
2.1.3	透析低血圧症の要因（末梢血管抵抗）.....	15
2.1.4	急速に生じる透析低血圧症の原因と対策.....	16
2.1.5	透析低血圧症の予防策.....	18
2.2	背景.....	20
2.3	目的.....	21
2.4	対象.....	21
2.5	方法.....	22
2.5.1	静脈還流の促進方法、観察期間、実験条件.....	22
2.5.2	検討事項（1）～（7）、測定方法、測定回数.....	24
2.5.3	統計手法.....	30
2.6	結果.....	31
2.6.1	SCD エクスプレス®の下腿加圧間隔.....	31
2.6.2	血圧変化率.....	31
2.6.3	$\Delta BV$ .....	33
2.6.4	感覚変化.....	36
2.6.5	tcPO <sub>2</sub> .....	37
2.6.6	UN と Cr の除去率・クリアスペース.....	37
2.6.7	POMS.....	38
2.7	考察.....	39
2.8	結論.....	40
<b>第 3 章</b>	<b>透析中のシャント血流量の変動とその関連因子の抽出</b> .....	<b>42</b>
3.1	バスキュラーアクセス（vascular access: VA）.....	42
3.1.1	VA の歴史と分類.....	42
3.1.2	自己血管使用皮下動静脈瘻（arteriovenous fistula: AVF）.....	45

3.1.3	人工血管使用皮下動静脈瘻 (arteriovenous graft: AVG)	47
3.2	シャント合併症	48
3.3	シャントの評価・管理法の種類	51
3.4	超音波画像診断装置の概要	55
3.4.1	超音波画像診断装置のシステム構成	55
3.4.2	超音波プローブ	57
3.5	超音波検査によるシャント評価	58
3.5.1	超音波ドプラ法	59
3.5.2	パルスドプラ法およびカラードプラ法の特徴	62
3.5.3	シャント血流機能評価 (FV、RI)	63
3.5.4	シャント形態評価	69
3.6	シャントの治療	71
3.7	背景	72
3.8	目的	73
3.9	対象	73
3.10	方法	73
3.10.1	観察期間・測定方法	73
3.10.2	検討事項 (1) ~ (5)	77
3.10.3	統計手法	78
3.11	結果	79
3.11.1	FV、実血流量、血圧の推移	79
3.11.2	FV、実血流量、血圧の相関解析	80
3.11.3	FV 低下群/不変群の分類	83
3.11.4	FV 低下群/不変群における血圧推移の比較	83
3.11.5	FV 低下に寄与する因子の抽出	85
3.12	考察	86
3.13	結論	87
<b>第4章</b>	<b>脱血の有無と超音波検査を用いたシャント血流機能評価との関連性..</b>	<b>88</b>
4.1	背景	88
4.2	目的	89
4.3	対象	89
4.4	方法	89
4.4.1	観察期間・測定方法	89
4.4.2	検討事項 (1) ~ (6)	90
4.4.3	統計手法	91

4.5	結果.....	92
4.5.1	脱血の有無による FV および RI の相関.....	92
4.5.2	FV 低値の場合の脱血の有無による FV および RI の相関.....	93
4.5.3	RI 高値の場合の脱血の有無による FV および RI の相関.....	94
4.5.4	脱血時および非脱血時における FV と RI の経時変化 .....	96
4.5.5	シャント部位別の FV 標準偏差値比較と上腕動脈描出率.....	97
4.6	考察.....	97
4.7	結論.....	99
<b>第 5 章</b>	<b>透析支援システムを用いたシャント血流機能評価値の管理 .....</b>	<b>100</b>
5.1	透析支援システムの概要と研究の目的.....	100
5.2	①透析コンソールへの FV・RI 自動掲載機能の活用.....	101
5.3	②患者連絡表へ FV・RI を自動転記する機能 .....	103
5.3.1	動作環境と操作法 .....	103
5.4	③作製したアプリケーションツールの評価.....	108
5.4.1	アンケート調査.....	108
5.4.2	方法 .....	108
5.5	結果.....	110
5.6	考察.....	112
5.7	結論.....	113
<b>第 6 章</b>	<b>総括.....</b>	<b>114</b>
6.1	結語.....	114
6.2	将来の展望 .....	126
謝辞	.....	125
参考文献	.....	117
学位論文の基礎となる学術論文目録.....		125
その他の学術論文目録.....		127

# 第1章 序論

## 1.1 緒言

維持血液透析療法（透析）におけるモニタリング項目として特に重要なもののひとつに血圧がある。また、透析を行うには血管へのアクセスが必須であるが、そのための重要な仕組みとして vascular access（VA）がある。この二つは、慢性腎不全患者が透析を迫行していくうえでの生命線ともいえ、長期的に綿密な計画のもとに管理されるべきものである。しかしながら血圧とVAは、共にその管理に苦勞することが多く、これまで様々な管理手法が試されているものの、十分ではない。また、両者は一般的に密接な相関関係にあると考えられているが、その詳細も明確ではない。

透析において問題となる血圧の変化として、治療中に突然血圧が低下する透析低血圧症がある。透析低血圧症は、10～30%の透析患者に発症することが分かっており [1]、頻発する場合は生命予後が不良である [2]。対処法については、生理食塩液の補液や投薬による調整が主体であるが、これらは何れも、患者にとって身体的負担となる手法である。近年では、透析法を工夫することによる予防策 [3]も考案されているが、技術的な問題により汎用されるには至っていない。また、透析中の血圧低下は、近年急速に発展している透析の自動化 [4][5]という観点からも、工程の複雑化や煩雑化に繋がる障害因子として問題である。今後、できるだけ簡便で生体負担のない予防策の考案が迫られている。

またVA管理上の問題点としては、VAの形態と血流を簡便に直接定量化できる手法が存在しないことが挙げられる。VAの主流は、arterio venous fistula: AVFとarterio venous graft: AVGであり、前者が全体の約9割、後者が全体の0.7割を占め、これらはシャントと呼ばれる。シャントの管理手法の中心は理学所見であり [6]、それのみでは定量情報を得ることができない。近年、超音波検査がその代用となり、同時に定量機能も兼ね備えるということで注目されているが [7]、シャントそのものの血流機能（シャント血流量（flow volume: FV）、シャント血管抵抗指数（resistance index: RI））の定量化については、透析中の血管状態や血圧、および種々の生体パラメータが測定値にどのような影響を与えるかという基礎的な情報が明確となっていない。また、いつ、どのように、どの部位でFVとRIを評価すべきかという、周辺情報の基準も十分に確立していない。

本研究は、透析中の血圧とシャント血流動態との関連性を明確にすることと、それら

の新たな管理手法を考案することを目的として行った。

本研究において、第1章では研究全体の緒言と透析の現況について述べる。

第2章では、透析低血圧症の予防策として考案した、透析中の静脈還流促進についての研究成果を、透析中の血圧低下の原理や使用した医療機器の概要と共に述べる。

第3章では、透析中の FV 変動とその要因の抽出について検討した研究成果を述べ、第4章では、脱血時に行う FV と RI の測定精度について各方面から検討した研究成果を述べる。同時にこれらの章では、シャントを含む VA の概要と合併症、およびシャント超音波検査法の意義についても述べる。

第5章では、FV と RI の測定値を、透析コンソールと患者サマりに自動表示させ、透析支援システム上で病院内の末端から閲覧できる環境と、転院時や入院時、およびシャント手術時に即座に情報提供できるシステムツールを作製した結果と、それらについてのアンケート調査結果について述べる。

最後に第6章では、全体の総括として本研究の結語と今後の課題を述べる。

## 1.2 慢性腎不全と透析

腎臓は、体内で生じた老廃物を血液中から尿として排出し、水・電解質および血液の酸・塩基平衡を一定に維持する事で体液の恒常性を維持するとともに、内分泌器官としてのホルモンの産生や活性化、および血圧の調整などを司る機能を持つ。慢性腎不全では数年から数十年に亘ってこれらの機能が徐々に低下し、末期に至ると全身に多彩な症状を認める。それら症状は腎機能の低下と共に蓄積する物質の毒性（尿毒素）によって起きると考えられており、慢性腎不全の末期に至るとその病態は尿毒症と呼ばれる [8]。尿毒症に陥ると、人間の身体は何らかの腎代替え療法にて血液中の老廃物を浄化し、過剰となった水分を血液中から除去しなければ、全身症状が悪化して死に至る。

我が国における末期慢性腎不全の中心的治療法は透析である。現状として国内には約31万人の透析患者が存在し、一般的には週に3回、各4時間の治療時間で腎機能の代替えが行われている。また、この末期慢性腎不全の病態は不可逆性であり、一旦透析を導入するとほとんどの場合は、一生涯、治療を継続しなくてはならない。

ここでは、慢性腎不全の病期と透析の現況、および透析の原理と関連する合併症について解説する。

### 1.2.1 慢性腎不全の病期と透析の現況

#### A) 慢性腎不全の病期

慢性腎不全が末期へと進行するに従い、臨床症状は多彩となる。その進行過程は原疾患や個人差によって多少の違いはあるが、一般的に糸球体濾過値（glomerular

filtration rate: GFR) を基に決定される。表 1-1 は、Kidney Disease Outcome Quality Initiative (K/DOQI) の慢性腎不全 (chronic kidney disease: CKD) 病期分類である [9]。

ステージ 1、ステージ 2 は腎代償機能が働いており、ほとんどの場合無症状である。ステージ 3 に進行すると残存腎機能の代償が不完全となり、尿量の増加や血清尿素窒素 (BUN) の上昇を認め、腎性貧血も出現してくる。ステージ 3~4 にかけては、体液の恒常性が保たれなくなるため、代謝性アシドーシス、低カルシウム血症、高リン血症等の電解質異常、高血圧や貧血の増悪等、多彩な症状が出現する。ステージ 5 では、体液異常の進行とともに代謝性アシドーシスや高カリウム血症が顕著となり、肺水腫等の高度な尿毒症症状が出現する。ここまでくると、生命維持のために何らかの腎代替え療法が必要となる [9]。

表 1-1 慢性腎不全病期分類 (K/DOQI) [9]改変

ステージ 1	糸球体濾過値 (glomerular filtration rate: GFR) が $\geq 90$ ml/分/1.73 $m^2$ であり、生体の恒常性はほぼ正常に維持されており、無症状である
ステージ 2	GFR 60-89 ml/分/1.73 $m^2$ で、軽度の GFR 低下を認める腎障害
ステージ 3	GFR 30~59 ml/分/1.73 $m^2$ で、中等度の GFR 低下を認める腎障害
ステージ 4	GFR 15~29 ml/分/1.73 $m^2$ で、高度の GFR 低下を認める腎障害
ステージ 5	GFR < 15ml/分/1.73 $m^2$ で、多彩な症状 (尿毒症症状) が出現し、放置すれば死に至る

## B) 透析の現況

図 1-1 に示すように、わが国における透析患者数は増加の一途をたどり、2012 年末統計では 309,946 人に達している [10]。また、透析歴長期の患者が増加し、同時に高齢化も進んでいる。透析患者全体の平均年齢は 68.44 歳、透析導入平均年齢は 67.63 歳である [10]。さらに近年では、糖尿病性腎症からの透析導入患者が著しく増加しており、新規導入原疾患の第一位であると共に、その割合も全体の 44.1% と大部分を占める (図 1-2) [10]。これら、長期透析患者の増加、透析患者の高齢化、糖尿病性腎症の増加は、今後のさらなる透析合併症の増加に繋がると考えられる。

透析患者の死因統計では、心不全 (25.6%)、感染症 (25.2%)、悪性腫瘍 (10.7%)、脳血管障害 (5.2%) などが上位に入る [10]。その他、導入後の生存率は、5 年生存率が 59.6%、10 年生存率が 36.0%、15 年生存率が 22.8%、20 年生存率が 15.8%、25 年生存率が 12.5% とである [10]。また、2009 年末の透析の治療形態は、昼間透析が 83.3%、夜間透析が 13.5%、腹膜透析が 3.1%、在宅透析が 0.1% で、依然として透析 (血液透析) が全体の 96.8% の割合を占める [10]。図 1-3 に、綾部市立病院の透析センターと、透析中の風景を示す。

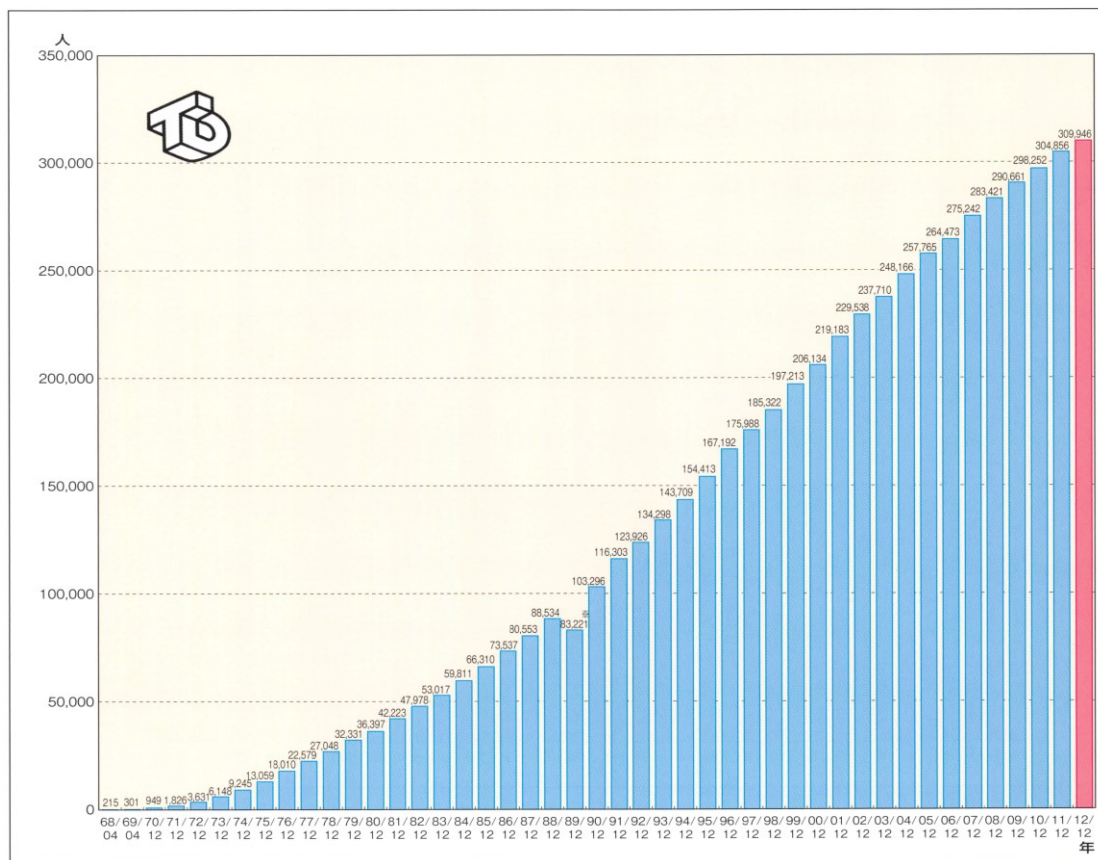


図 1-1 わが国の透析患者数 [10]

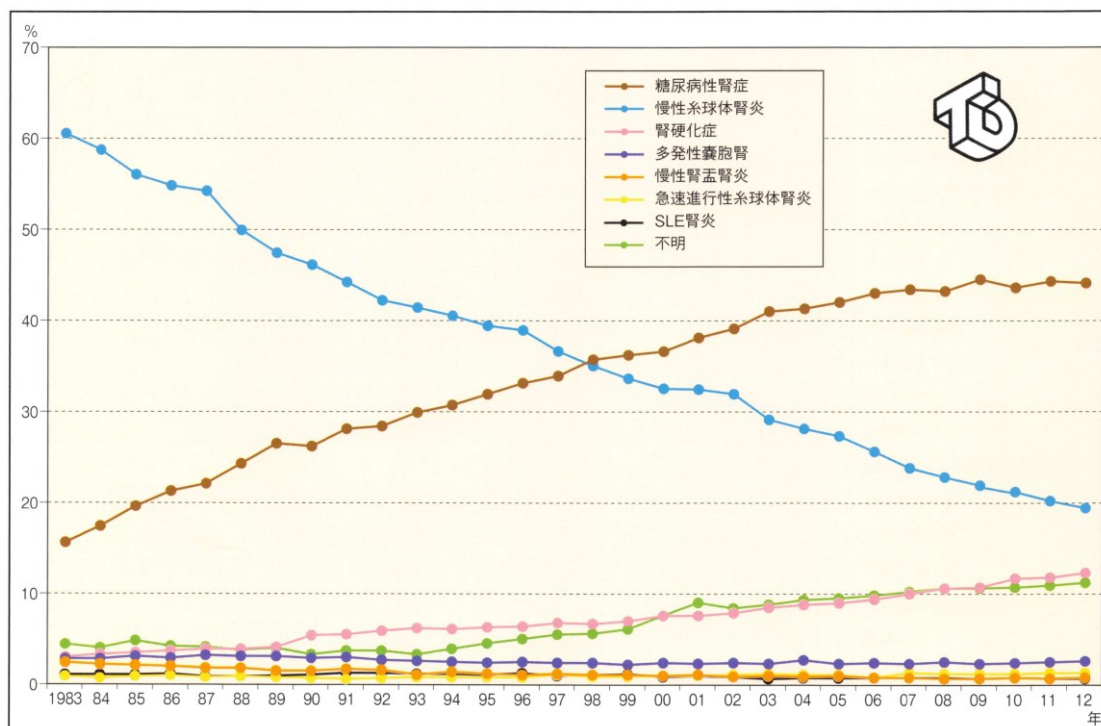


図 1-2 透析導入患者の主要原疾患 [10]



図 1-3 透析センター内部と透析中の風景

### 1.2.2 透析導入の適応と透析方法の選択

腎移植の普及が不十分であるわが国では、慢性腎不全の保存的管理が困難になると、透析による治療が主体となる。導入の適応に関しては、検査所見のみならず臨床症状を含めて総合的に判断する。透析導入時の臨床症状は多彩で全身に及び、体液貯留による全身浮腫・肺浮腫が最も高頻度である。糖尿病性腎症例での心不全・肺浮腫には、溢水のみでなく虚血性心疾患によるものも多い。そのほかには体液異常（電解質異常）、神経症状、消化器症状、エリスロポエチン不反応性貧血を含めた血液異常などを認める。透析導入基準は、これらの臨床症状に加えて、腎機能障害、日常生活、年齢などを点数化し、表 1-2 に示す点数が合計で 60 点以上の場合と定められている[11]。

近年では、慢性腎不全患者の保存的管理が集学的に行われるようになり、心機能が良好で食事療法が遵守されている症例では透析への導入を遅延し得る。一方で、糖尿病性腎症では虚血性心疾患や水分管理が困難で、基準より早期の導入を要することが多い。

腎不全治療に対して最も一般的な治療法は透析であり、全体の約 96% を占める [10]。透析の変法として、血液濾過透析や血液濾過、および無酢酸透析などがあるが、これらは基本的に透析と似通った治療法である。これらとは一線を介した方法として、生体の一部である腹膜を利用する、腹膜透析（continuous ambulatory peritoneal dialysis: CAPD）がある。表 1-3 には、透析と腹膜透析の病態別の特徴を示す [11]。在宅療法が可能という面では CAPD に分があるが、長期的に安定した治療が可能なのは透析である。CAPD では、腹膜炎や CAPD チューブへのトンネル感染を避けられず、十分な透析の質を確保できにくいなどの問題点がある。



表 1-2 透析への導入基準[11]改変

<b>I. 臨床症状</b>
A) 体液異常 (管理不能の電解質、酸塩基平衡障害)
B) 神経症状 (中枢・末梢神経障害、精神症状)
C) 消化器症状 (悪心、嘔吐、食思不振、下痢など)
D) 血液異常 (貧血*、出血傾向)
E) 循環器症状 (重篤な高血圧、心不全、心包炎)
F) 体液貯留 (全身浮腫、肺浮腫)
G) 視力障害
<b>II. 腎機能障害</b>
血清クレアチニン濃度 (Serum creatinine: Scr) 8mg/dl 以上
クレアチンクリアランス (Creatinine clearance: Ccr) 10ml/分 以下
<b>III. 日常生活能の障害</b>
起床できない (高度)、日常生活が著しく制限される (中等度)、運動・労働ができない (軽度)

I: このうち3つ以上の症状が該当=30点、2つ該当=20点、1つ該当=10点 II: 持続的に SCr 8mg/dl 以上 (あるいはクレアチンクリアランス 10ml/min 以下) =30点、SCr 5~8mg/dl (Ccr 10~20ml/min 未満)=20点、SCr 3~5mg/dl 未満 (Ccr 20~30ml/min 未満) 10点 III: 起床不可 (高度) =30点、著しい制限 (中等度) =20点、運動労働不可 (軽度) =10点 ※10歳以下または65歳以上の高齢者または糖尿病、膠原病、動脈硬化疾患など全身性血管合併症の存在する場合は10点を加算。

表 1-3 透析方法とその病態における特徴 [11]改変

	透析	CAPD	特徴
アクセス	シャント	腹膜	アクセスとの生体適合性に注意
治療形式	間欠的治療	持続的治療	
抗凝固剤	要	不要	透析では出血傾向への対策が必要
体外循環	あり	なし	透析では血管系への負荷あり
糖・脂質代謝	糖負荷なし	糖負荷あり	CAPD では糖・脂質代謝障害あり
動脈硬化	進展あり	進展あり	
感染症	シャント感染	腹膜炎、トンネル感染	透析患者は易感染症のため、CAPD による腹膜炎には注意が必要
栄養障害	やや有利	低蛋白血症	CAPD では透析不足に注意が必要
透析アミロイド	進展あり	進展遅延?	
副甲状腺機能	hypo- hyper	hypo	カルシウム、リン代謝管理に注意
通院	頻回通院	在宅療法	社会復帰、生活の質 (QOL) を考慮

### 1.2.3 透析の原理

透析は、老廃物を含んだ血液を透析膜であるダイアライザ（人工腎臓）へと導き浄化した後、再び体内に戻す治療法である。人工腎臓では半透膜を介して血液側から透析液側へと老廃物を排出するが、その際に（A）拡散現象と（B）限外濾過という2つの原理を利用する。

図1-4は透析の概略図である。透析コンソールでは、透析液供給装置から透析液原液を脱イオン水で約35倍に希釈して透析液を調合する。調合された透析液は人工腎臓へ送られ、半透膜を介して血液と接触する。両者間には接触に伴い拡散現象が起こり老廃物は血液側から透析液側へ除去される。その際、血液と人工腎臓との接触による血液凝固を防ぐため、血液回路内に抗凝固剤（主にヘパリン）が投与される。以下に、透析の主要原理である拡散現象と限外濾過について解説を加える。

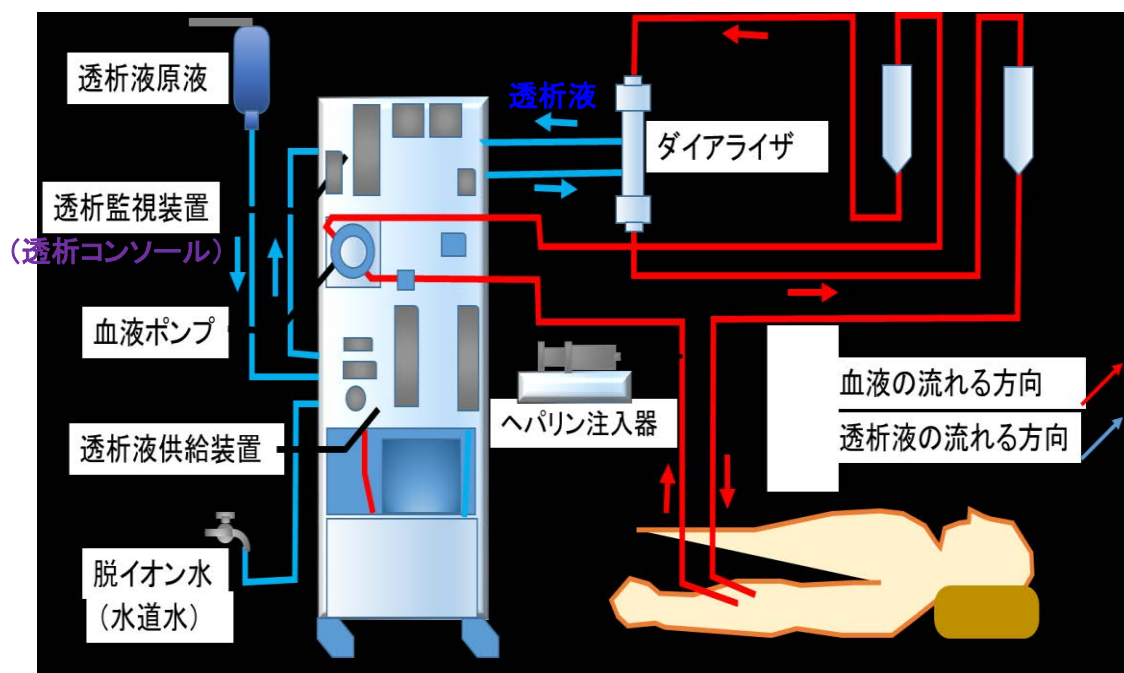


図1-4 透析の概略図

#### A) 拡散現象 (diffusion)

透析に用いる人工腎臓の半透膜は特定の大きさを持った物質（分子、イオン）だけが通過できるように作られている。この半透膜を境にして老廃物を含んだ血液と透析液の間に濃度勾配がある場合、溶質は濃度の濃い方から薄い方へ移行し、均一な濃度になる性質がある。これを拡散現象という [8]。

血液中の小さな分子（水、ナトリウム、カリウム、リン、尿酸、クレアチニン、

尿素窒素等) は半透膜の孔をすり抜けることができるので、透析液側へ出ることができるが、赤血球やタンパク質などの大きな分子は出ることができない。よって、透析の施行により、血液中の老廃物は透析液へ排出されて代わりに不足している成分は透析液から血液中へ移動して体内に補充されるが、一定以上の大きさを持った血球成分などの分子は血液中に留まる。

この拡散現象はフィックの第一法則に従う [12]。図 1-5 に示したように、ある溶液において濃度が濃い部分と薄い部分がある場合、この溶液は全体の濃度が均一になるように働き、それぞれの濃度勾配を持った分子は  $x$  の方向 (濃度が薄い部分) に向けて移動 (拡散) する。

透析では、この拡散現象によって血液中の必要な成分を残しつつ、不要な老廃物を血中から除去する [8]。

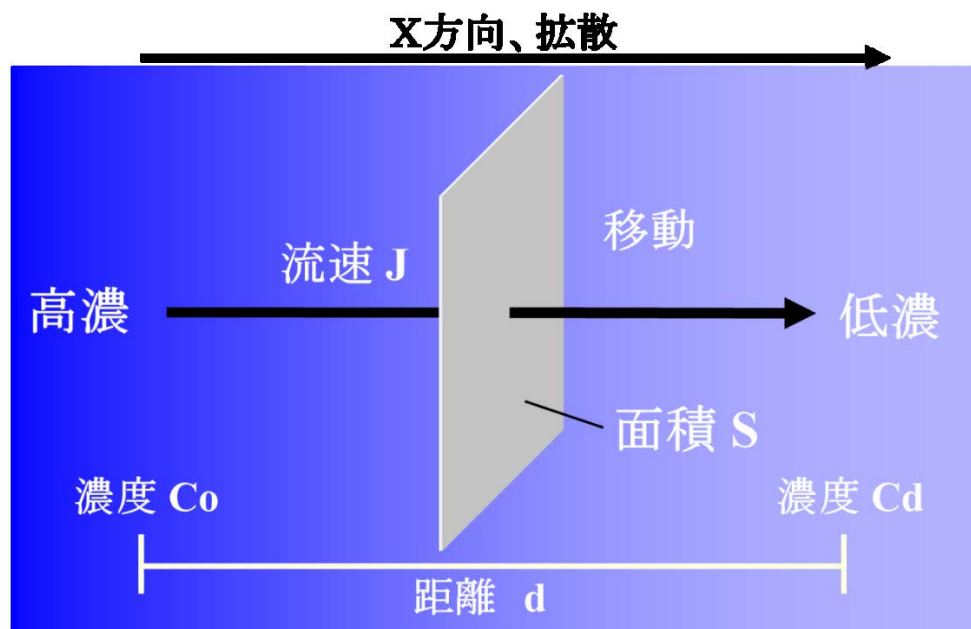


図 1-5 拡散現象の原理 [12]改変

図 1-5 では、単位面積、単位時間当たりには通過する溶質の量を流速  $J$  ( $\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) という。このとき、断面積  $S$  を  $\Delta t$  秒で動く溶質の量は  $JS\Delta t$  で表わされる。また、このとき通過する溶質の量は「濃度差とその距離による濃度勾配  $(C_o - C_d)/d$ 」、「断面積  $S$ 」、「時間  $\Delta t$ 」に比例する。よって、式 1-1、式 1-2 を導き出すことができる。

$$JS\Delta t = -D \frac{C_d - C_o}{d} S\Delta t \quad (1-1)$$

$$J = -D \frac{C_d - C_o}{d} \quad (1-2)$$

Dは比例定数であり、拡散係数と呼ばれている。

式 1-1、式 1-2 のとおり、濃度勾配が高ければ流速も速くなる。この時、距離 d を十分小さくすると式 1-3 が成り立つ。(距離 d を十分小さくしていき、距離  $\Delta x$  にする)

$$J = -D \frac{dC}{dx} \quad (1-3)$$

式 1-3 で表わされる関係がフィックの第一法則で、透析の溶質除去の原理の基礎となる。

### B) 限外濾過 (ultrafiltration)

透析膜の内外に圧力差を作ることで、水分を除去する方法である。透析膜の片側の溶液に圧力をかけると、溶液は膜の反対側に押し出される。これを限外濾過という。透析の場合は、血液側から透析液側へ陽圧をかけるか、もしくは透析液側から血液側へ陰圧をかけているので、その圧力の程度により血液中の余分な水分を除去することができる。

末期慢性腎不全患者では、自身の腎機能が低下し尿を排泄できないため、飲食した量そのまま体重の増加となる。透析では一定時間の間に、過剰となった水分を除水して是正する必要があるため、限外濾過は治療上において必要不可欠な動作原理といえる。

## 1.2.4 透析合併症

透析患者にみられる合併症は、表 1-4 に示すように多岐にわたる。主には透析中に急激に発症する透析中合併症と、腎不全や原疾患を基礎として緩徐に発症して持続する長期透析合併症とに分けられる。ただ、これらの合併症は全ての透析患者に同頻度で発症するわけではない。

表 1-4 (A) ①の、透析中に発症する急性合併症のうち透析低血圧症や筋肉痙攣は比較的高い頻度で認められる。特に血圧低下が顕著になると、悪心や嘔吐を併発しやすく、進行すると胸・背部痛に示されるような虚血性変化が生じる可能性がある。発熱は、主に水質の低下によるエンドトキシン等の発熱物質が原因となることが多い。頭痛ははっきりした原因がわかっていないが、不均衡症候群による影響が関与している可能性があ

る。掻痒は、アレルギー、皮脂の減少・乾燥、神経障害など様々な原因が存在するといわれている。

表 1-4 (A) ②には、低頻度ではあるが重篤なものを示す。不均衡症候群やアナフィラキシーショックは、主に人工腎臓や血液回路などの医療材料と生体間との不適合によって起こると考えられる。

表 1-4 (B) ①に挙げられる腎性貧血や免疫不全は、透析導入時点ではほとんど全ての患者に合併を認めるが、これらは元々の腎機能の一部であり、腎不全に陥った場合、必然的に表れる症状である。

表 1-4 (B) ②には、透析が長期化するに従い発症頻度が高くなるものを示す [13]。骨ミネラル代謝異常は、腎臓からリンの排泄ができないことによって、血中濃度が上がり、その代償機能として副甲状腺ホルモンが過剰分泌され発症することが多い。病状は長期的な経過をたどり、異所性石灰化が進行すると動脈硬化や弁膜症を伴うリスクが増加する。透析アミロイドーシスは透析療法での除去が難しい中分子領域の塩基性蛋白が体内に蓄積することで発症するとされる。VA 異常は、長期透析を行う上で避けられない合併症である。VA が人工的に作られた産物である以上、永久的に使用できるアクセスは存在せず、状況に応じた作成と修復およびその管理が必要となる。腎嚢胞は末期慢性腎不全患者の腎臓には特に発生しやすく、それが腎癌発症のリスク因子ともなっている。皮膚障害は、長期的な皮脂の減少と乾燥から生じてくる症状である。栄養障害や免疫不全および動脈硬化は、長期的な透析の継続による蛋白の除去、および長期にわたり異物と血液が接触することによる慢性炎症の継続によるところが大きい。

表 1-4 透析合併症の種類

A. 透析中に発生する急性合併症	B. 透析患者の慢性合併症
<p>①比較高頻度にとめるもの 透析低血圧症、筋痙攣、悪心・嘔吐、頭痛、胸・背部痛、掻痒、発熱、腹痛</p>	<p>①透析導入時に殆どの患者に認めるもの 高血圧、腎性貧血、免疫不全、糖・脂質・蛋白代謝異常、内分泌異常</p>
<p>②低頻度であるが重篤なもの 不均衡症候群、アナフィラキシーショック</p>	<p>②透析の期間が長期化するに伴って頻度が増加するもの 骨ミネラル代謝異常、VA 異常、異所性石灰化、心機能障害、栄養障害、動脈硬化、透析アミロイドーシス、免疫不全、嚢胞腎・腎癌、皮膚障害</p>

## 第2章 静脈還流の促進を利用した透析低血圧症の予防

### 2.1 透析低血圧症

第2章では、はじめに本研究の基礎となる血圧の基礎知識と透析低血圧症のメカニズムについて解説する。特に透析低血圧症については、その原因と種類、およびその予防策と対処法について、現在の主流と考え方について述べる。

#### 2.1.1 透析と血圧

##### A) 血圧の決定因子と透析の関係

人の血圧は心拍出量と末梢血管抵抗によって決定され、心拍出量が多いほど、また末梢血管抵抗が大きいほど高くなる。この関係は、以下の式 2-1 により表される [14]。

$$\text{血圧} = \text{心拍出量} \times \text{末梢血管抵抗} \quad (2-1)$$

なお、平均血圧は以下の式 2-2 で求められ [14]、心臓が収縮した際の収縮期血圧と心臓が拡張した際の拡張期血圧によって規定されている。

$$\text{平均血圧} = \frac{(\text{収縮期血圧} + 2 \times \text{拡張期血圧})}{3} \quad (2-2)$$

血圧の決定因子について図 2-1 に示す。血圧の主たる決定因子は心拍出量と末梢血管抵抗であるが、その内、心拍出量は中心静脈圧と心筋収縮力によって決定される。中心静脈圧は全身の静脈に分布する血液量と細静脈壁の緊張度に依存する [15]。

また、体内の血液の約 70% は静脈に分布しており、循環血液量の増減は主に静脈に分布する血液量の増減に依存する [14]。透析における循環血液量の変動は、直接的に中心静脈圧に影響を及ぼす因子である。

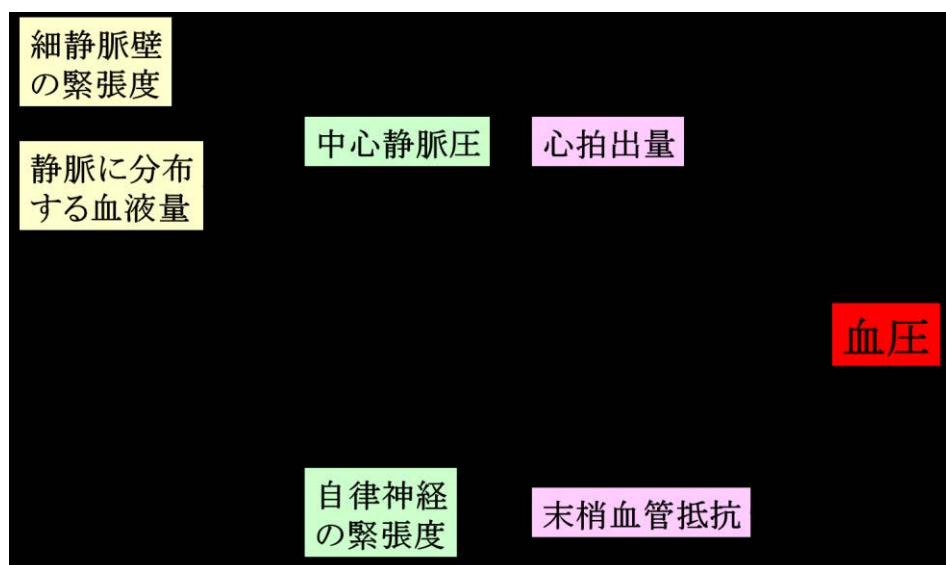


図 2-1 血圧の決定因子

末梢血管抵抗は、細動脈と毛細血管の連結部の細動脈上に存在する毛細血管前括約筋の緊張度により決定され、毛細血管前括約筋の緊張度を決定する因子は自律神経機能である [15]。例えば透析中、除水に伴い心拍出量が低下すると、その程度に応じて細動脈の毛細血管前括約筋の緊張度が増し、血圧の低下が防がれる。しかし、その際に全身の臓器で毛細血管前括約筋が一様に緊張度を増すのではなく、まずは皮膚の細動脈毛細血管前括約筋が緊張度を増す。心拍出量がさらに低下すると、次いで筋肉の細動脈毛細血管前括約筋の緊張度が増す。細動脈の毛細血管前括約筋の緊張度が増すと血圧は保たれるが、毛細血管前括約筋より末梢への血流は減少する。皮膚の血流量が減少すれば、皮膚は蒼白となり、皮膚温は低下する。これが高度になれば交感神経が緊張し発汗が生じる。一方、筋肉の血流量が減少すると、筋肉細胞の代謝が障害され、いわゆる倦怠感が生じる。また、筋肉の血流量減少に何らかの因子（電解質バランス等の異常）が加わると筋肉の痙攣が生じる。消化器系臓器や脳などの代謝が活発な臓器では、血流が減少すると局所で半減期が極めて短い血管拡張物質が産生される。よって、代謝が活発な臓器では血圧がある程度低下しても血流は保たれるが、血管拡張物質の産生増加にともなう局所血流の増加が血圧低下による局所血流の減少を相殺できなくなると、それぞれの臓器に特有な症状が現れる。消化器系臓器であれば、腸音の消失をともなう激しい腹痛が出現し、脳血流量が低下し始めると、最初は欠伸が生じ、さらに減少すると意識が消失する [14]。

## B) 透析中の血圧推移

透析中、除水を行うと循環血液量がしだいに減少する。循環血液量が減少すると、

静脈に分布する血液量も減少し、それに伴い中心静脈圧が低下する[15]。中心静脈圧が低下すると心拍出量が低下する[15]。この場合の血圧低下は、ある程度まで交感神経の緊張度の増大による末梢血管抵抗の上昇により防がれる。しかし透析中、除水が進行し、それに伴い心拍出量があるレベル以下に下がると、末梢血管抵抗の増大ではこれを代償しきれなくなり血圧が下降し始める。高度の心不全があれば、比較的軽度の中心静脈圧低下でも心拍出量は著明に低下し血圧は下降する。すなわち、少量の除水でも心拍出量は有意に低下し血圧が降ちる。また、高度の自律神経失調があれば、少ない除水量による軽度の心拍出量の低下でも、これを交感神経の緊張度の亢進により代償することができないので、やはり血圧は低下する [14]。それらの関連性を図 2-2 に示す。

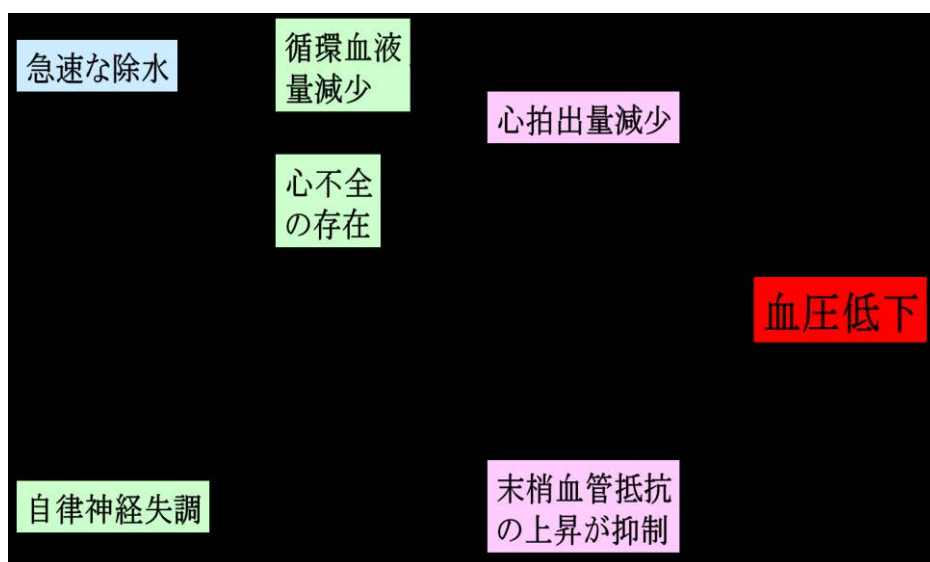


図 2-2 透析低血圧症の要因

### C) 透析低血圧症と脳血流

透析低血圧に伴う症状の多くが、脳血流量の減少に関連する症状である。脳血流量は、血圧の低下が軽度であるうちはほとんど影響を受けないが、血圧があるレベルを越えて下降していくと減少し始める (図 2-3)。この脳血流量が減少し始める血圧のレベルには個人差が大きい。高齢者、動脈硬化が著しい患者では、比較的軽度の血圧の下降でも、脳血流量が減少する。したがって、血圧が低下しても脳血流量が減少するほどではない場合は無症状である。

脳血流量減少の初期症状は、大脳機能の低下に伴う欠伸や倦怠感の出現である。脳血流量が減少すると、反射的に副交感神経系の緊張度が亢進し、悪心、嘔吐が出現する。それでもさらに血圧低下を放置しておく、脳血流が極限まで低下し、意識が消失する [14]。



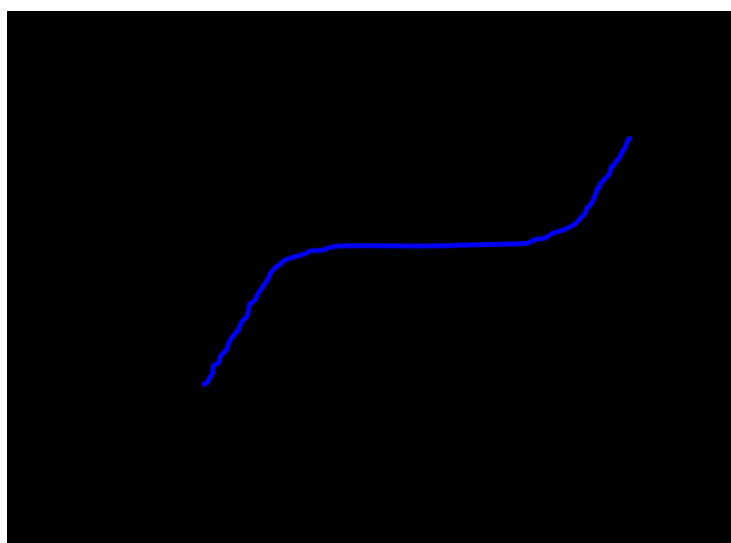


図 2-3 脳血流量と平均血圧の推移 [14]改変

### 2.1.2 透析低血圧症の要因（心拍出量）

#### A) ドライウエイト（dry weight: DW）が低すぎる

DW についての詳細な解説は、2.1.5.C 節に後述するが、図 2-4 に示すように、設定した DW が低すぎる場合には、透析後半の過度な除水により循環血液量の著しい低下を招くことが多い[15]。その場合、交感神経の緊張度の増大では代償しきれないほどに心拍出量が低下し、血圧が下降し始める。

一方、交感神経機能が良好である場合には、循環血液量の減少が高度であっても、交感神経緊張度の亢進により心拍出量の低下が代償され、血圧は透析終了まで維持される。しかし代わりに、筋肉、皮膚、喉頭など、末梢血管に位置する血流が著しく障害される。その場合、末梢筋肉血流の減少により、透析後半から透析後にかけて筋肉の痙攣や強い倦怠感、および喉頭血流の減少による嗄声が生じる [14][15]。

#### B) 血漿補充率（plasma refilling rate）が除水速度に追いつかない

透析中は除水を行なうが、一般的に除水速度よりも血管外から血管内への水分の移動速度の方が遅い（血管内から血管外への水分の補充率を plasma refilling rate という [16]）。その差は、除水速度が速いほど、また血清アルブミン濃度が低いほど大きい。したがって、透析間の体重増加率が高く除水速度を速く設定する場合や、著しい低アルブミン血症のある場合には、透析中に循環血液量が高度に減少する（図 2-4）。その際、心拍出量が交感神経の代償能を超える場合、血圧は下降する。交感神経による代償が不十分となる心拍出量（循環血液量）のレベルは、患者個々の自律神経機能の程度によって決まるが、一般的に、自律神経機能の変動は、特別なストレスなどがない限り少ない [17]。

### C) 心不全の存在

心筋梗塞により心筋の多くの部分が壊死した場合や、高血圧が長期間持続した場合、もしくは長期にわたって水分管理の極めて悪い状態が続いた場合やVAの血流量が著しく多い場合、心不全を合併することがある。高度の心不全は透析低血圧症の要因となり [14][15]、循環血液量の軽度な減少においても急激な血圧低下を来す可能性がある (図 2-4)。よって、心不全を合併した透析患者では、より慎重な透析計画の立案が必要となる。

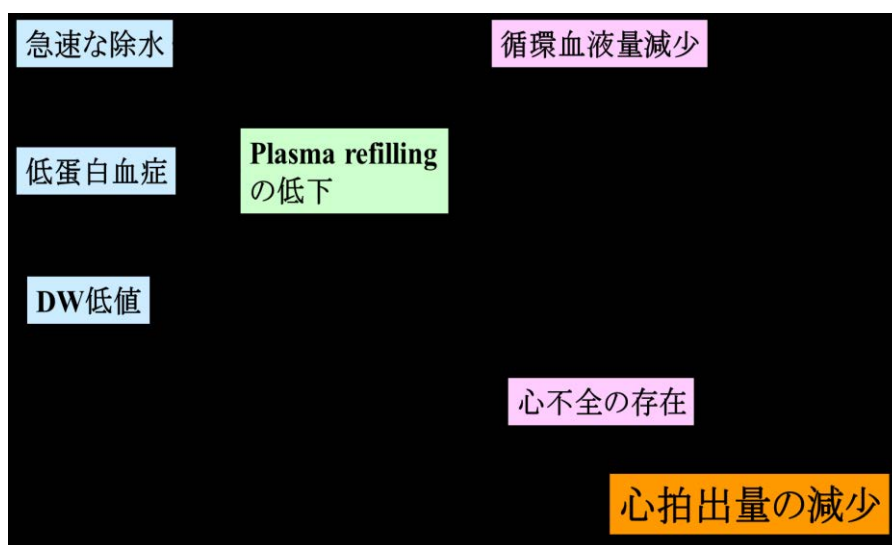


図 2-4 透析中の心拍出量減少に起因する因子

### 2.1.3 透析低血圧症の要因 (末梢血管抵抗)

#### A) 自律神経失調

自律神経失調がある場合、心拍出量の減少による血圧の低下を交感神経緊張度の増大により防ぐことができず、除水が進行するとともに、血圧が徐々に低下する [15]。自律神経が高度に失調している場合、血圧コントロールは極めて困難となる [14]。糖尿病の患者や高齢者には、中等度以上の自律神経失調の認められることが多い。

#### B) 降圧薬の使用

多くの降圧薬 (カルシウム拮抗薬、 $\alpha$ 遮断剤など) は、細動脈壁の緊張度を低下させることにより血圧を下降させる。透析前に降圧薬を服用すると、細動脈壁の緊張度の上昇が抑制されるため透析低血圧が生じやすくなる。

#### C) 動脈硬化

動脈硬化が存在すると、交感神経の緊張度の亢進に対する細動脈の反応が鈍くな

る。すなわち、交感神経緊張度の同程度の亢進に対して、末梢血管抵抗の増大の程度が少ない。そのため、動脈硬化の著しい患者では、そうでない患者と比較して透析低血圧の発生頻度は高く、より綿密な透析中の血圧コントロールを要する。

#### D) 酢酸透析液の使用

酢酸は細動脈壁の緊張を低下させることが知られている [8]。したがって、酢酸透析液の使用は透析低血圧症を誘発する可能性がある。現在は、ほとんどのが重曹（バイカーボネート）透析液のため、酢酸の関与は少ないが、重曹透析液に含まれるわずかの酢酸（8 mEq/L 程度）が問題となる症例もある。

#### E) 細静脈壁の緊張度の低下

血管内皮由来の一酸化窒素（nitric oxide: NO）は細静脈壁の緊張度を低下させることが知られており、透析低血圧の認められる患者では、透析後の血中 NO レベルが高いとされる [18]。この報告は、透析低血圧症の発生に NO が少なくとも一部は関与することを示唆している。しかし、この現象を透析低血圧の予防に生かす方法は未だ報告されていない。

#### F) 高い透析液温

体温が上昇すると、皮膚の細動脈壁の緊張度が低下し、皮膚の末梢血管抵抗が減少、皮膚血流量が増大する [15]。透析中に体温が上昇する要因の中に、高すぎる透析液温がある。高すぎる透析液温は、皮膚の末梢血管抵抗を減少させることにより、透析中の血圧を低下させる [15]。

血液濾過（hemofiltration: HF）や限外濾過（extracorporeal ultrafiltration method: ECUM）で血圧低下が少ない理由はまだ明らかではない。しかし、HF では体内に戻る血液の温度が透析におけるそれよりも低く、これがこの治療モードで血圧低下が少ない理由であるとの報告もある [19]。

### 2.1.4 急速に生じる透析低血圧症の原因と対策

透析低血圧症では、透析開始後から血圧が徐々に低下していき欠伸や倦怠感などの症状を呈する場合と、透析中に安定していた血圧が急速に下降して症状を呈する可能性がある [14]。透析中のある時点で血圧の下降速度が著しく加速する場合、いくつかの血圧低下要因の関与がその時点で急速に増大することや、あるいは新しい要因が強く加わった可能性が考えられる。

しかし、循環血液量の減少、NO の産生、心不全の増悪、自律神経失調のいずれの要

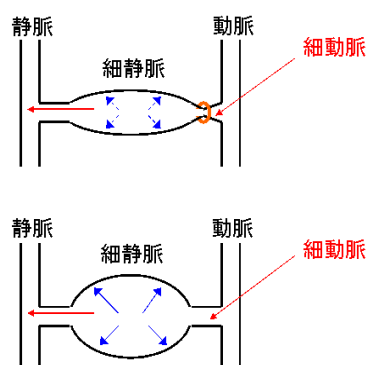
因の関与も、ある時点から急速に増大することは考えにくい。もし、既知の要因の関与の程度が急速に増大したのではないなら、ある時点で新しい要因が加わったことになる。このような要因として、虚血組織で産生されるアデノシン [20] [21]や NO [22]の関与があることが明らかとなっている。以下に解説を加える。

### A) 急速に生じる透析低血圧症の原因

透析中に除水が進行し、アデノシン 3 リン酸 (adenosine triphosphate: ATP) の産生の多い臓器が虚血に陥ると、それらの臓器では酸素供給量の減少により ATP の合成が障害され、ATP の加水分解に伴うアデノシンの大量産生が促される。アデノシンは細動脈を拡張させるため、細動脈の下流域の毛細血管と細静脈の血圧は上昇する。その場合、特に細静脈の拡張能が高い消化器系の臓器では、図 2-5 に示すように細静脈圧の上昇に伴う血管内容積の増大が起こる [23]。特に酸素供給量の減少に伴って NO の産生が増加すると、細静脈の拡張性はさらに増大し、さらなる血管容積の増大を伴う。これらの作用により、心臓への静脈還流量が急速に減少し、心拍出量の低下に伴う血圧低下が惹起される。この透析低血圧症の発生メカニズムはアデノシン仮説と呼ばれる[22]。

### B) 急速に生じる透析低血圧症への対応

急速な血圧低下に対しては急速な補液が最も有効である。急速に補液を行うことにより組織の虚血を軽減できれば、新たなアデノシンや NO の産生も抑制できる。アデノシンや NO の半減期は数秒から十数秒ときわめて短いため、補液に伴い細動脈壁の緊張度および細静脈の緊張度は再び増大する。その結果として心臓への静脈還流量と心拍出量は回復し、組織の虚血は解消され、殆どの場合で血圧は急速に回復する [14]。



細動脈の拡張に伴う細静脈圧の上昇  
(De Jager-Krogh 現象)

図 2-5 アデノシン仮説における De Jager-Krogh 現象 [23]改変

### 2.1.5 透析低血圧症の予防策

#### A) 高張液投与による透析低血圧症の予防策

以前より、透析低血圧の予防あるいは治療には、透析中の高張液の投与が有効であることは知られている。実際に透析低血圧の予防あるいは治療のために、透析中にはしばしば 10%NaCl 溶液などの高張食塩水が投与される。しかし、透析中に投与された Na は透析では除去されないため、透析間における口渇の原因となる。これに対し、透析中に投与されたブドウ糖は透析後に体内で消費されるので口渇の原因とはならないことが報告されている（図 2-6） [23]。この報告によると、50%ブドウ糖液を注入した透析でも、注入しなかった透析でも、透析 3 時間目まで収縮期血圧は同程度に低下し続けた。しかし、50%ブドウ糖液を注入しなかった透析では、透析 3 時間目から透析終了までの 1 時間にも収縮期血圧は低下したままであった。これに対し、透析の最後の 1 時間に 50%ブドウ糖液を注入した透析では、この 1 時間にかぎり収縮期血圧は上昇した。

しかし、高張ブドウ糖液持続注入療法を多数の患者に対して長期間実施した研究は存在しない。したがって、高張ブドウ糖液持続注入療法の安全性はまだ証明されていないのが現状である。

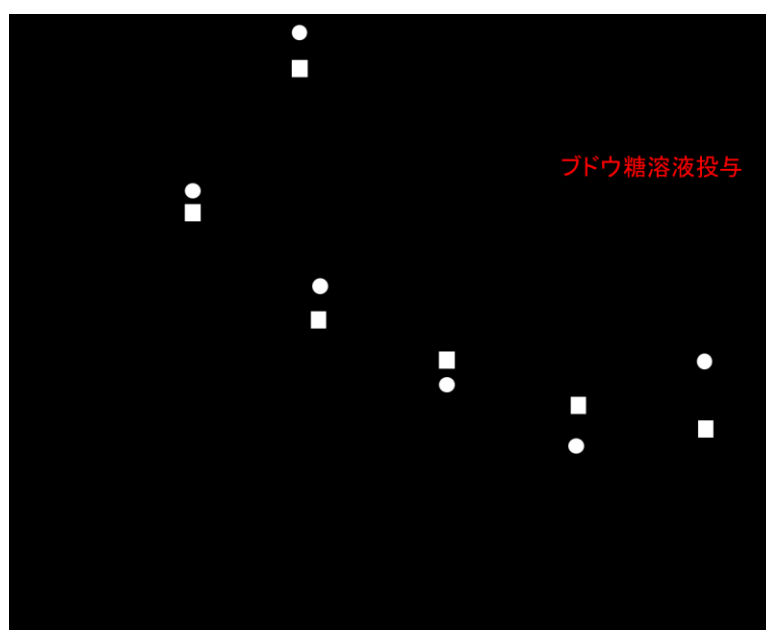


図 2-6 透析中における高張ブドウ糖液の投与効果 [24]改変

#### B) 薬剤投与による透析低血圧症の予防策

透析低血圧を防ぐためにしばしば投与される薬剤に、塩酸ミドドリン、メチル硫酸アメリニウム、ドロキシドパがある[15]。それぞれの薬剤は、服用後、効果が現

れるまでの時間、作用の持続時間がそれぞれ異なる。それぞれの薬剤は、これらの違いを考慮して使い分けるのが適当である。以下に各特徴を示す。

### (1) 塩酸ミドドリン

塩酸ミドドリンは、腸から速やかに吸収され、効果は2~3時間持続する。従って、塩酸ミドドリンは、透析開始30分~1時間前に服用し、必要に応じて透析中に追加投与する。

### (2) メチル硫酸アメリジウム

メチル硫酸アメリジウムでは、最大の効果がでるのは服用2~3時間後である。したがって、メチル硫酸アメリジウムは透析開始1時間前に服用させる。これにより、透析中、昇圧効果が持続する。

### (3) ドロキシドパ

ドロキシドパは、腸からの吸収が遅く、最大の効果がでるのには服用からおおよそ6時間が必要である。ドロキシドパの効果の持続は長く、服用してから24時間後であっても、まだ昇圧効果が認められる。そこで、ドロキシドパは、とくに非透析にも血圧が低い患者に適している。ドロキシドパは、透析を開始する2~3時間前に服用させる。なお、透析中に血圧が著しく低下する場合には、昇圧剤を投与する前に、DWは適切か、あるいは前夜に効果の持続が長い降圧剤を服用していないかなど、透析低血圧の原因を調べる必要がある。

## DWの設定と透析低血圧症の予防

透析を継続する上で、患者の体重は非常に重要な決定因子であり、その体重に合わせた食事管理、水分管理を行うことで、透析中の過剰な除水による生体への負担を和らげることが可能となる[15]。その基準体重のことを一般的にDWと呼ぶが、これには明確な設定基準が定められていない。一般的にDWは、透析後において浮腫がなく、非透析時の血圧が正常で、心胸郭比(cardiothoracic ratio: CTR)が50%以下であり、さらに体液量をそれ以下に下げると透析中に血圧が著しく低下してしまう限界の体重と定義される。さらに、これらの条件に「透析後に強い倦怠感が生じない」という条件を加えるべきであるという意見もある。

DWを設定するに当たって、透析後に浮腫がなく、非透析時に血圧が正常で、心胸郭比が50%以下であるように設定すると、透析中に著しく血圧が低下する患者がしばしば現れる。一方、透析中に血圧低下が生じないようにDWを設定すると、非透析時には高血圧や浮腫が生じ、時には肺水腫に陥るような患者が現れ

る。さらに、透析中に血圧が維持される限界の閾値まで除水によって体液量を減少させたり、心胸郭比が 50% 以下になるように体液量を調整したりすると、透析後に強い倦怠感を訴える患者がしばしば現れる。

よって、DW の設定は容易ではないが、それぞれの要因を患者の全身状態や精神状態から汲み取って、適切な値を設定すべきである。また、頻回に DW 値を設定しなおすことで、患者の体重増減をより細やかに反映した DW 管理が可能である。適正な DW を定めて、その体重に見合った水分や食事等の体重・栄養管理を指導することは、透析低血圧症の発症を抑制するためにも重要なポイントとなる。

図 2-7 に一般的な DW の指標となる CTR の計測法を記す。CTR は式 2-3 によって定義される。

$$\text{CTR} = \frac{(\text{MR} - \text{ML})}{\text{TD}} \times 100\% \quad (2-3)$$

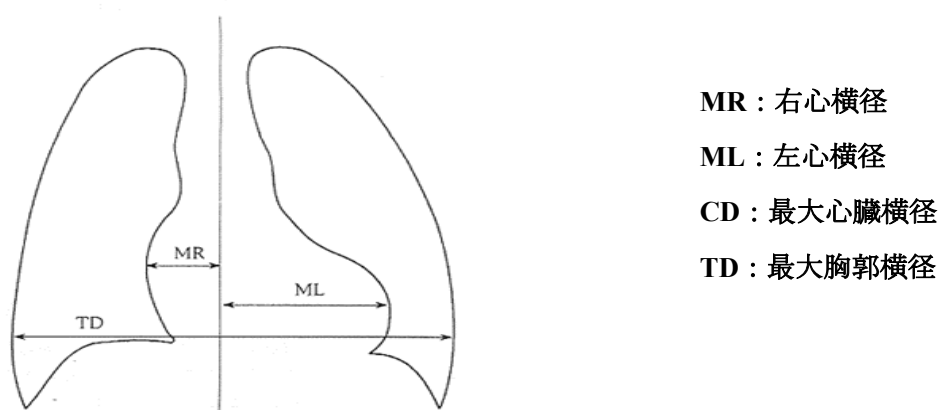


図 2-7 CTR の計測法

## 2.2 背景

透析中、血圧が急激に低下する透析低血圧症は、透析を安全に行う上での障害因子となるばかりではなく、患者が質の高い社会生活を送る上での主要な制限因子となる [25]。透析低血圧症の定義は一般的に、透析中の収縮期血圧が 30mmHg 以上低下すること、あるいは透析中の平均血圧が 70mmHg 以下に低下することで [3]、頻発する場合は生命予後が不良である [2]。また、透析後の起立性低血圧症は日常生活動作 (Activities of Daily Living: ADL) を低下させ、透析の通院に介助を要するなど、患者の自立した生

活を阻害する [26]。

1999 年に実施された多施設前向き共同研究では、透析中の透析低血圧症と透析後の起立性低血圧症は、それぞれ透析患者の2年生存率に対する独立した危険因子であった [27]。このように透析患者の血圧低下は、患者のADL低下を惹起するばかりではなく、生命予後にも大きく影響を及ぼすことから、積極的にその予防と治療に努める必要がある。

透析低血圧症の対処法は、従来から高張液や生理食塩液の補液および治療中の投薬による調整が主体であり、未然に予防するための方策においても、患者の体重管理や透析前後の投薬による管理が主体である。しかし、高張液の投与は高い頻度で口渇の原因となることから、透析間の体重増加の要因となる。また、生理食塩液の投与も同様に直接的な体重増加の要因となる。投薬における対策では、一定の効果が得られやすいが、身体的には薬物による代謝的負担や種々の副作用がその代償となる。加えて、近年進展が著しい透析の自動化 [4][5]という観点から見ても、透析中の生体異変出現は自動運転工程の複雑化や煩雑化を惹起する障害因子のひとつとなる。今後は、患者への生体負担がなく、できる限り簡便で快適な予防策が考案されることが望ましく、実現すればより良い透析環境の構築が期待できる。

今回、それらの条件を満たす上で、透析中の下肢静脈還流に着目した。浮腫の程度が強い透析患者に対して、透析中継続して下腿型間欠的空気圧迫法（下腿空気圧迫法）を加えて静脈還流を促進させることで、下肢挙上による循環動態の保持 [28][29][30]と類似した効果、および透析中の plasma refilling rate や自律神経機能等に対する何らかの効果が期待できると推測した。もし、下肢静脈還流の促進が透析中の血圧をコントロールする上で有利に働くならば、透析に対する静脈還流の利用価値は高いといえる。

## 2.3 目的

目的は、下腿への機械的な加圧圧迫による静脈還流の促進が、透析中の血圧と快適さに与える影響を検討することとし、静脈還流の促進が簡便で快適な透析低血圧症の予防方法となり得るかどうかを検証することとした。

## 2.4 対象

安定して週3回の透析を施行中の腎不全患者の中から、無作為に選出し同意の得られた19例（男性10例、女性9例）を対象とした。対象の平均年齢は69.7±4.5歳、平均透析歴は9.5±4.8年であった。原疾患は慢性糸球体腎炎6例、糖尿病性腎症6例、腎硬化症3例、多発性嚢胞腎2例、自己免疫性腎炎1例、妊娠腎1例であった。

なお、倫理的配慮として、患者から説明と同意を得た上で、綾部市立病院倫理委員会



の承認を得た。

## 2.5 方法

### 2.5.1 静脈還流の促進方法、観察期間、実験条件

全例に対して、逐次型空気圧式マッサージ器による下腿空気圧迫法を透析開始時から終了時まで継続して行い、下肢静脈還流を促進させ、血圧や感覚変化に関わる項目を測定した。

逐次型空気圧式マッサージ器は、足底（末梢）から中枢方向に向かって順番に空気圧迫による揉み上げを加える。この装置による揉み上げを下腿型間欠的空気圧迫法という。この手法は、長期臥床時の筋肉の収縮・弛緩を行い、静脈還流とリンパ還流を促進する [31] [32]。膝下を覆うタイプの逐次型空気圧式マッサージ器は、その他の各種理学療法（下肢挙上、弾カストッキング、神経筋電気刺激法、足型間歇式空気圧圧迫法）と比較して、有意に静脈還流の促進効果が高い [31]。

本研究で使用した逐次型空気圧式マッサージ器は、日本シグマックス社の CARTHROM<sup>®</sup> と COVIDIEN 社の SCD エクスプレス<sup>®</sup>の二機種である。CARTHROM<sup>®</sup> は、マッサージの圧力と揉み上げ間隔を任意に設定可能で、圧力は 20～60mmHg、圧迫間隔は 5～60 秒を調節でき、圧迫時間は一回当たり約 17 秒である。SCD エクスプレス<sup>®</sup>は、患者の血液還流を空気式プレチスモグラフィが感知し、圧力を 40～45mmHg、圧迫間隔を 20～60 秒、圧迫時間を 5～11 秒で自動調節する装置である。図 2-8 に、逐次型空気圧式マッサージ器とその特徴を示し、図 2-9 に動作模式図を示す。

本研究では、下腿空気圧迫法の種類と強度の適正を調べるため、以下の 4 種類の実験条件を設け、各条件を全例に実施した。実験条件①は静脈還流促進を行わない対照条件とした。実験条件②は CARTHROM<sup>®</sup>で 40mmHg、30 秒間隔の下腿空気圧迫法を透析開始時から終了時まで 4 時間継続した。実験条件③は、同一装置で 60mmHg、5 秒間隔の下腿空気圧迫法を透析開始時から終了時まで 4 時間継続した。実験条件④は、SCD エクスプレス<sup>®</sup>で自動調節式の下腿空気圧迫法を透析開始から終了まで 4 時間継続した。なお、条件②③のブーツは、つま先から<sup>ふくらはぎ</sup>脛までの全てを覆うタイプのものを選択し、条件④のブーツは<sup>ふくらはぎ</sup>脛のみのタイプを使用した。

その他、検討時の条件として、静脈還流以外の血圧に関連する因子を出来る限り排除するため、観察期間中に透析膜、血流量、DW、内服薬等の透析条件の変更を行わないこと、および透析間の体重増加率が透析前体重測定時に 3～5%内の治療日に限定して測定データを採取することにした。

研究期間は、対象患者の体重の増減や内服薬の変更、および体調変化等を考慮し、各条件で最長 4 週間とした。

**CARETHROM®〈NIPPON SIGMAX製〉**



**特徴**

- ・圧迫サイクルを手動調整(20~60mmHg、(間隔5~60秒、1サイクル22~77秒))
- ・脛脛からつま先まで覆う脚用ブーツの採用により、膝下全体から還流を促進
- ・3気室に分けた漸減圧迫を加え、確実に深部静脈の血流を促進し、血栓を予防する。

**SCDエクスプレス®〈COVIDIEN製〉**



**特徴**

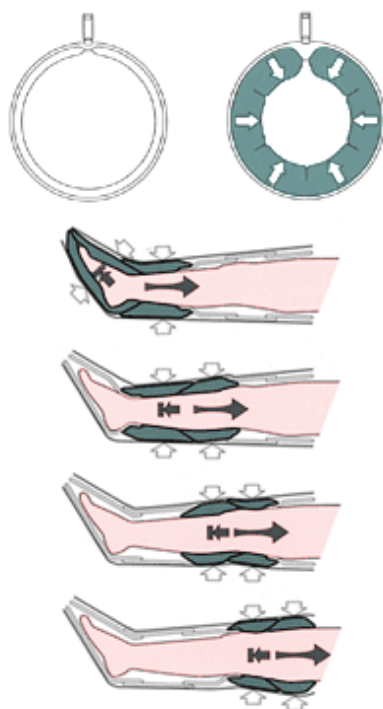
- ・患者の血液還流を空気式プレステチモグラフィが感知し圧迫サイクルを自動調整(40~45mmHg、(間隔9~55秒、1サイクル20~60秒))

**加圧間隔の測定**

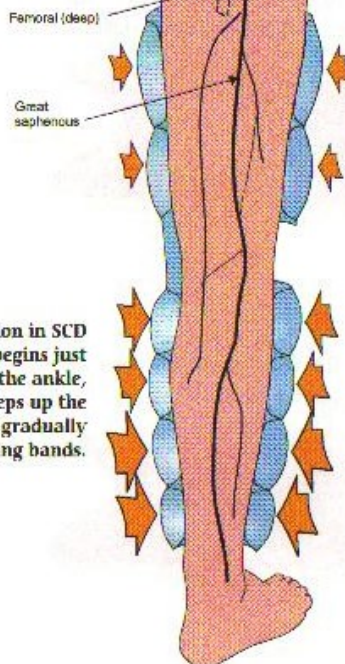
透析中に1時間毎の加圧間隔を手動で測定。計50回のデータ平均値を時系列変化として比較。

図 2-8 実験に使用した逐次型空気圧式マッサージ器とその特徴

空気を入れない状態      空気を入れた状態



**Compression**



Compression in SCD Sleeves begins just above the ankle, and sweeps up the leg in gradually decreasing bands.

図 2-9 逐次型空気圧式マッサージ器の動作模式図

## 2.5.2 検討事項（1）～（7）、測定方法、測定回数

本研究で測定して検討した項目は以下の通りである。検討事項（1）～（7）の、測定間隔と測定回数および測定総数を表 2-1 に示し、その詳細について A) ～G) に解説する。

### 検討事項

- (1) 条件④（SCD エクスプレス®）の下腿加圧間隔
- (2) 条件別の透析中の血圧変化率
- (3) 条件別の透析中の循環血液量変化率（blood volume changes:  $\Delta BV$ ）
- (4) 条件別の透析開始と透析後、帰宅後における感覚変化
- (5) 条件別の透析中の経皮酸素分圧（transcutaneous oxygen tension:  $tcPO_2$ ）
- (6) 条件別の尿素窒素（urea nitrogen: UN）とクレアチニン（creatinine: Cr）の除去率・クリアスペース
- (7) 条件別の気分評価尺度（profile of mood states: POMS）

表 2-1 測定間隔と回数および総数

#### A) 検討事項（1）

SCD エクスプレス®の下腿加圧間隔は、透析開始時から 1 時間毎に手動で加圧の間隔（秒）を測定した。下腿加圧間隔は、加圧の終了時点から次の加圧の開始時点

までとし、秒単位で計測した。測定回数は延べ 50 回であった。

### B) 検討事項 (2)

血圧変化率は、透析コンソールに付属のオシロメトリック非観血式血圧計で、1 時間毎の収縮期血圧と拡張期血圧を測定し、透析開始直前の血圧を 100% として算出した。血圧変化率は、対象全例に対してそれぞれの条件を 8~17 回の透析時に施行し、データを測定した。測定した総数は延べ 276 回であった。

### C) 検討事項 (3)

$\Delta BV$  は、JMS 社製のクリットラインモニタ TQAIII<sup>®</sup>で 40 秒毎に測定した。 $\Delta BV$  は、透析開始より 10 分後を測定開始点とした。 $\Delta BV$  も血圧変化率と同様に、対象全例に対してそれぞれの条件を 8~17 回の透析時に施行し、データを測定した。測定した総数は延べ 276 回であった。 $\Delta BV$  装置であるクリットラインモニタ TQAIII<sup>®</sup>の測定原理を図 2-10 に示す。

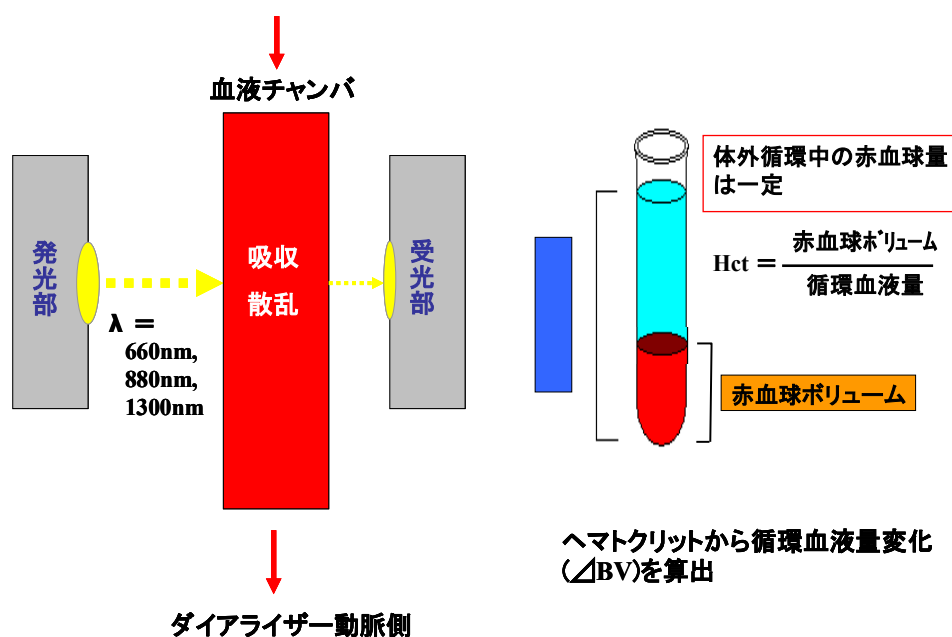


図 2-10 クリットラインモニタ TQAIII<sup>®</sup>の測定原理

この装置は、人工腎臓の動脈側入り口手前に専用血液チャンバを取り付け、そこを通過する患者血液に、センサ部から 660、880、1300nm の 3 種類の波長の異なる近赤外線を発光する。近赤外光は、血液中の赤血球に吸収・散乱されセンサ受光部へ到達し、到達した近赤外線量は、発光部よりも減少するため、その差からヘマトクリット値と酸素飽和度が測定される。光学的に連続してヘマトクリット値が測定できるので、その変化を監視して  $\Delta BV$  を算出する。

$\Delta BV$  は血圧との間に有意な正相関を示すことが明らかとなっているため [17] [33] [34]、血管内水分量の増減を監視することができる [35]。図 2-11 には、 $\Delta BV$  の測定風景、及び換算値がリアルタイムにグラフ表示された際の拡大図を示す。クリットラインモニタ TQAIII<sup>®</sup>では、それ以外にもシャント再循環量を測定することができる。血液回路内に生理食塩水を一定量注入することで算定できるが、再循環率を求めに当たっては、この生理食塩水の注入位置により誤差が生じる可能性があり、施設内で計測手順に関する整備を行い統一化する必要がある [36] [37]。いずれにしても、従来の BUN3 点法などに比べて簡便で精度も高い。

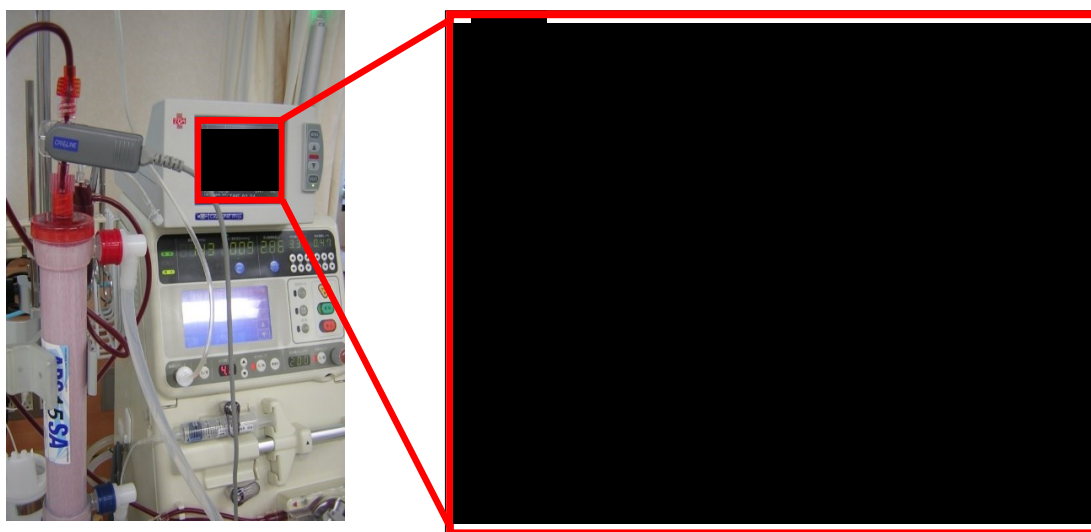


図 2-11 クリットラインモニタ TQAIII<sup>®</sup>の  $\Delta BV$  測定風景と出力結果の拡大図

#### D) 検討事項 (4)

感覚変化は、温感と軽快感の変化を視覚評価尺度 (visual analog scale: VAS [38]) (図 2-12) を用いて、透析前、透析後、帰宅時の三時点で測定した。VAS の尺度は 100mm とし、感覚的に良好なほど高値となるように定めた。測定のタイミングは、対象全例に対してそれぞれの条件の最終透析時とその前の回の透析時に其々1~2 回測定することとした。測定した総数は各々につき延べ 110 回であった。

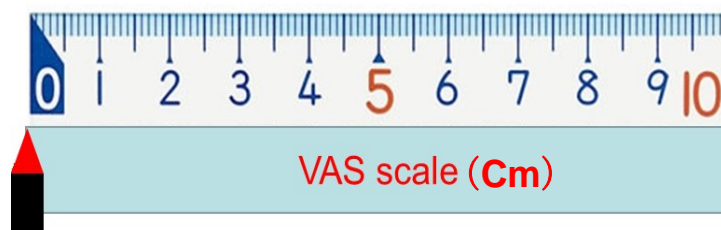


図 2-12 visual analog scale (VAS) 用紙

## E) 検討事項 (5)

tcPO<sub>2</sub>は、コーケンメディカル社製の Cutaneous PO<sub>2</sub>/PCO<sub>2</sub> monitor 9100®を用いて、透析前、透析2時間後、透析終了時に測定した。tcPO<sub>2</sub>の測定部位は、足背部の第一趾、第二趾間の動脈拍動を触知しない部位とし、電極装着から20分後、安定した値を測定値とした。研究を行った期間内は、メンブレン貼り付け部位周囲を油性マジックでマーキングし、測定誤差の低減に努めた。測定のタイミングは、感覚変化と同様に対象19例全例に対してそれぞれの条件の最終透析時とその前の回の透析時に其々1~2回測定することとした。測定した総数は延べ98回であった。

tcPO<sub>2</sub>モニタは、動脈血酸素分圧 (partial pressure of arterial oxygen: PaO<sub>2</sub>) を、体表面にセンサを装着することで連続的に測定できる特徴を持つ。tcPO<sub>2</sub>はセンサ装着部の酸素分圧を測定できるため、tcPO<sub>2</sub>の経時変化がないということはその場所の皮下末梢血流が保たれていることを意味する [39]。

図2-13にtcPO<sub>2</sub>の測定原理図を示す [40]。センサは、酸素ガス測定電極、炭酸ガス測定電極、皮膚加温部、温度測定部により構成されており、酸素ガス測定電極部は、白金電極 (陰極)、銀/塩化銀電極 (陽極)、電解液からなる。陰電極は、陽電極に対して-600mVにバイアスされている。この条件下で酸素透過性膜を通じて拡散する酸素が陰極で還元され、酸素に比例した電流が流れ、この電流を測定することで皮下組織の酸素分圧を測定できる [40]。

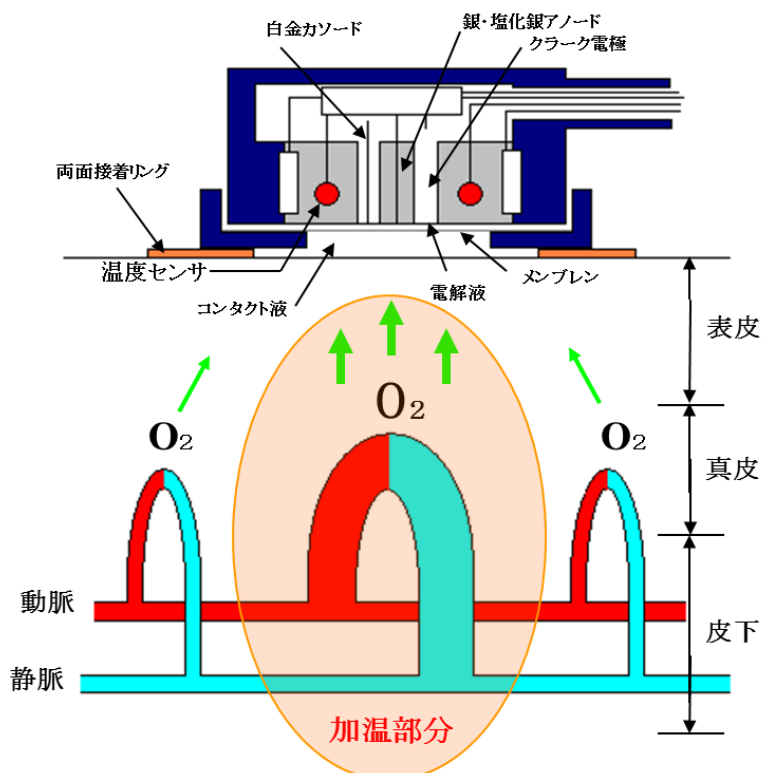


図2-13 Cutaneous PO<sub>2</sub>/PCO<sub>2</sub> monitor 9100®の測定原理 [40]

**F) 検討事項 (6)**

UN と Cr の除去率・クリアスペース値は、透析前・後および排液から採取した検体の検査値を用いて、式 2-4、式 2-5 から値を導いた。

$$\text{除去率} = 1 + \frac{(\text{透析前値} - \text{透析後値})}{\text{透析前値}} \times 100 \quad (2-4)$$

$$\text{クリアスペース} = \frac{\text{総除去量}}{\text{透析前値}} \quad (2-5)$$

血液検体は、透析回路脱血側の採血ポートから透析を 30 秒間停止した後に採取した。排液検体は、透析コンソール排液ラインに取り付けたコネクタ式の採取ポートから、毎時 500ml の速度で清潔バッグ内に吸引貯留したものを十分に攪拌した後に採取した。

測定タイミングは、UN と Cr の除去率・クリアスペース値も、対象 19 例全例に対して 4 条件の最終透析時とその前の回の透析時に其々 1~2 回測定することとした。測定した総数は各々につき延べ 76 回であった。

測定項目としてクリアスペースを選択した理由は以下の通りである。クリアスペースは、患者から実際に除去した溶質の分布スペースに相当するもので、その絶対値が大きいほど、1-compartment model に近い挙動を示す [41]。compartment model とは、人間の体液をプールされたひとつの入れ物と考え、この入れ物の中で物質の産生や移動などの濃度変化動態を解析するためのものである。これは Kinetics (動力学、速度論) の中核をなすもので、透析による各種老廃物の物質除去能も、この kinetics model として考えることができる [42]。

通常、体内の物質移動では細胞内液と細胞外液を隔てる細胞膜の影響を無視することができない。よって、細胞内外の 2 つのプールが存在すると仮定して体内の物質移動を考える必要があり、これを 2-compartment model と呼ぶ。しかし UN などの小分子は分子量が小さく、細胞膜の透過性が極めて高いために、直ぐ拡散移動してしまう。よって、UN の動態を調べる場合は、細胞膜による細胞内外の濃度差をほぼ無視することができ、細胞内外を区別せずに 1 つの体液として考えることができる。特に UN は細胞膜移動速度が極めて速いため、1-compartment model として解析できる物質ということで、Urea-kinetics として広く用いられている。

本研究においては、静脈還流促進の有無と程度による細胞内外の浄化効率の差を比較するため、1-compartment model に近い挙動を示す UN と、UN に比較的近い挙動を示す Cr を用いてクリアスペースを算出した。

### G) 検討事項 (7)

POMS は、専用の質問紙試験を、各条件の最終透析時の透析終了後に実施した。条件③の施行時においては患者から同意が得られず POMS 試験を実施できなかった。その他の条件では、同意の得られた 9 名につき、各条件 1 回の試験を実施した。試験の総回数は延べ 27 回であった。

POMS とは、気分や感情という主観的な側面を評価するための心理検査である [43] [44] [45]。最初は米国の McNair により作られたもので、その時点における気分や感情を数値として測定できるという特徴がある本邦では、横山らによる日本語版 [43]が使用されており、POMS の質問表は 65 項目の質問で構成されている。質問に答える時には、最近 1 週間における気分や感情を尋ねる。「まったくない」(0 点) から「非常に多くある」(4 点) の 5 段階 (0~4 点) のいずれかの 1 つを選択する。全体を集計して、感情について分析する。POMS では、「緊張-不安 (Tension-Anxiety: T-A)」、「抑うつ-落ち込み (Depression-Dejection: D)」、「怒り-敵意 (Anger-Hostility: A-H)」、「活気 (Vigor: V)」、「疲労 (Fatigue: F)」、「混乱 (Confusion: C)」と、人の感情を 6 つに分類して評価する。POMS による評価を行うことで、各条件間での精神状態の違いが把握できる。精神状態の把握には deviation score (T 値) を用いる。T 値は一般的には知能検査や学力検査などの得点表示などに使われる標準得点の 1 つで、偏差値と呼ばれることもある。具体的には平均が 50、標準偏差が 10 の正規分布に近似するように、テストの素点分布を変換することによって求められた得点のことである。したがって、T 値を知れば、その値がある集団の中でどのような相対的位置にあるのかがわかる。POMS 試験表の中には 6 つに分類した感情値の T 値換算表が付属している。T 値が高いほど該当する感情は強いことを意味する。図 2-14 に POMS 検査用紙と結果表を記し、図 2-15 に POMS 回答例を記す。

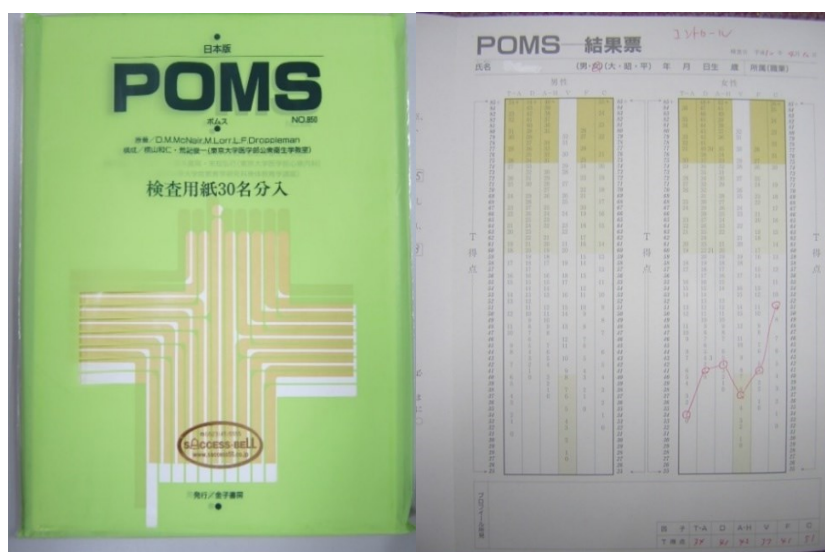


図 2-14 POMS 検査用紙と結果表



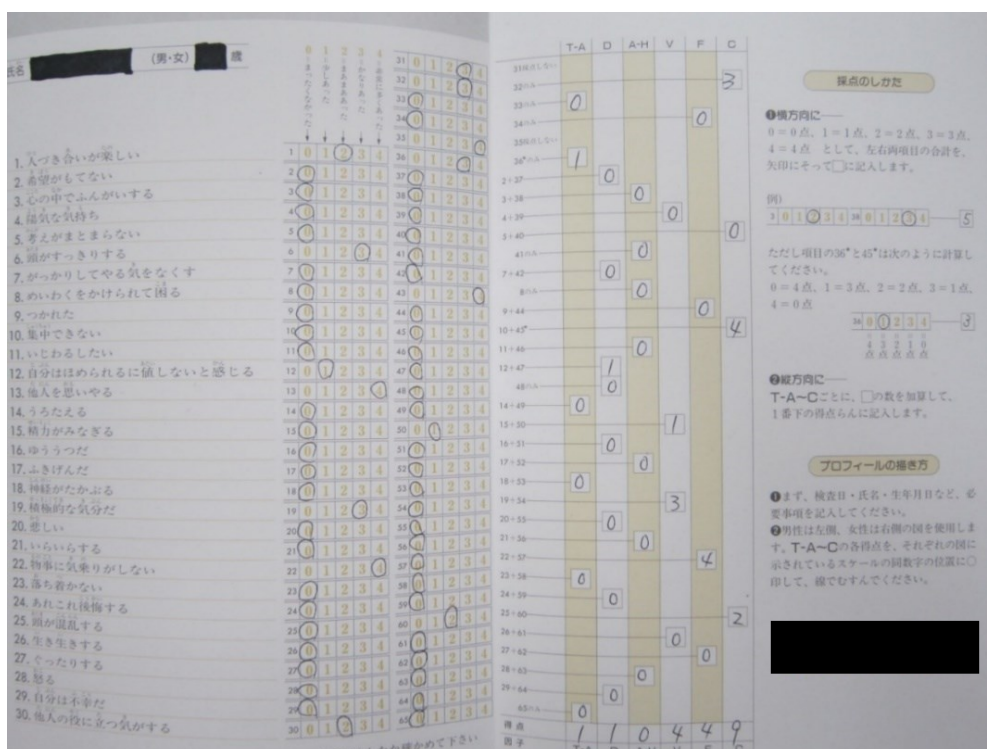


図 2-15 POMS 回答例

尚、本研究を通して、条件③の施行時に 19 名中 3 名の被検者が静脈還流の促進に対して痛みを訴えた。その内の 2 名は其々 2 回と 1 回の計 3 回、透析中の静脈還流促進に耐えられず離脱したため、その分の血圧変化率と  $\Delta BV$  のデータ測定は行えなかった。

### 2.5.3 統計手法

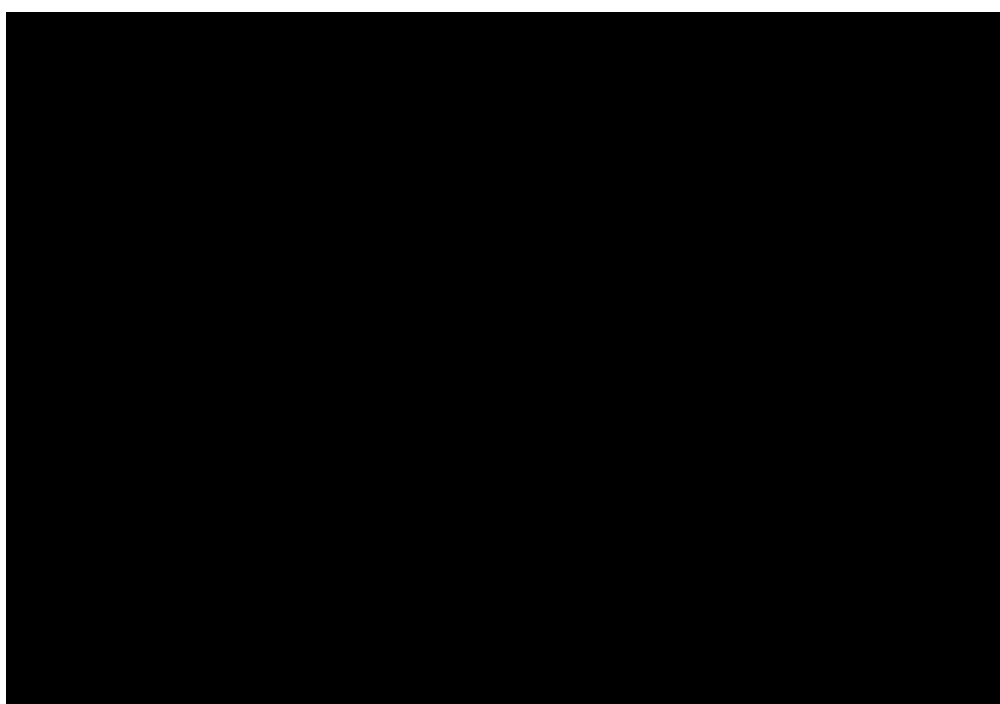
条件④ (SCD エクスプレス®) における透析時間別の平均圧迫間隔は、1~4 時間の時系列比較を反復測定分散分析法で行い、多重比較には Bonferroni 法を用いた。透析中の収縮期血圧と拡張期血圧、 $\Delta BV$ 、温感と軽快感の VAS、 $tcPO_2$  は、条件①~④の条件間比較を要因分散分析法で行い、1~4 時間の時系列比較を反復測定分散分析法で行った。各々の多重比較には Bonferroni 法を用いた。なお、 $\Delta BV$  においては直線回帰分析法で条件①~④の時間変化を解析し、回帰直線の傾きについても条件別に要因分散分析法で比較した。その際の多重比較も Bonferroni 法を用いた。直線回帰の傾きは、各条件の透析 4 時間値における  $\Delta BV$  値から、各々の y 切片を差し引き、その値を透析時間 (16000 秒) で割って算出し、得られた値を平均した。Cr と UN の除去率とクリアスペースは、条件①~④の条件間比較を要因分散分析法で行い、各々の多重比較には Bonferroni 法を用いた。POMS は、条件①②④の条件間比較を要因分散分析法で行い、各々の多重比較には Bonferroni 法を用いた。

## 2.6 結果

### 2.6.1 SCD エクスプレス®の下腿加圧間隔

下腿加圧間隔が自動調節の条件④は、透析開始値から4時間値までの各時間平均値において、条件②③よりも加圧から次の加圧までの間隔が長かった。また、透析開始値と比較して1から4時間値の全てで加圧間隔が有意に短縮した。その他の多重比較では、有意差を認めなかった。結果を表2-2に示す。

表 2-2 条件④ (SCD エクスプレス) における透析時間別の平均圧迫間隔



### 2.6.2 血圧変化率

図 2-16 に透析中の収縮期血圧の推移を示す。条件①と条件②③④を比較した結果、透析3時間値で、条件③が条件①よりも有意に高値を示した ( $p<0.001$ )。また、透析4時間値では条件②③が条件①よりも有意に高値を示した ( $p<0.01$ ,  $p<0.001$ )。条件①と④の間には差を認めなかった。経時変化の比較では、条件①のみが透析3、4時間値で開始時よりも有意な低下を示した ( $p<0.001$ )。

図 2-17 に透析中の拡張期血圧の推移を示す。条件①と条件②③④を比較した結果、透析2、3、4時間値で、条件③が条件①よりも有意に高値を示した (2時間値 ( $p<0.001$ )、3時間値 ( $p<0.01$ )、4時間値 ( $p<0.001$ ))。経時変化の比較では、条件①のみが透析4時間値で開始時よりも有意な低下を示した ( $p<0.01$ )。

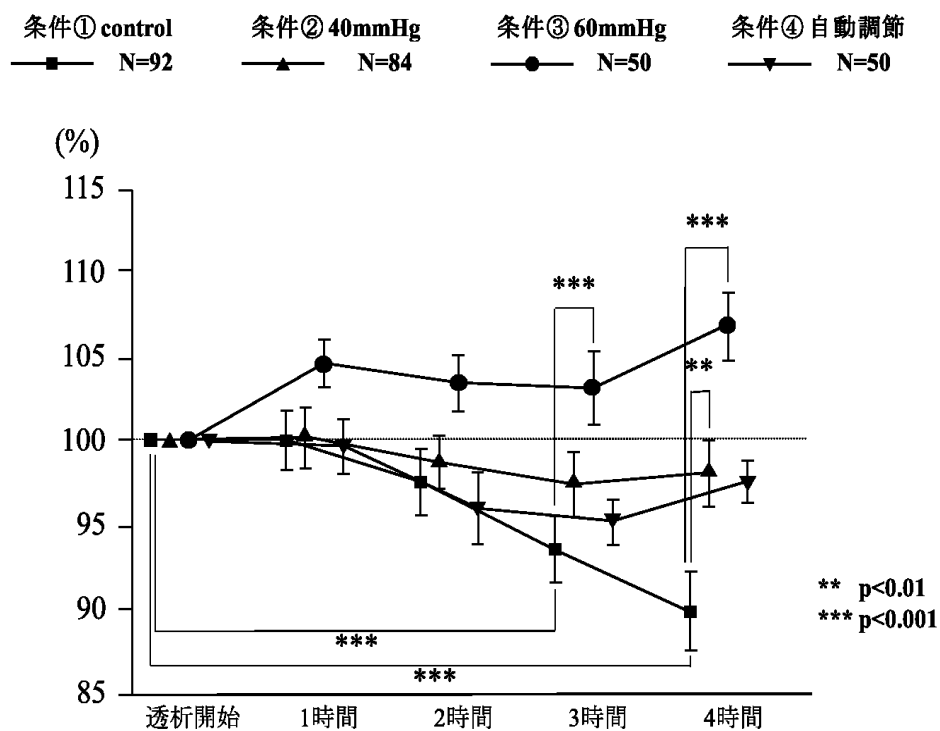


図 2-16 平均収縮期血圧変化率の推移

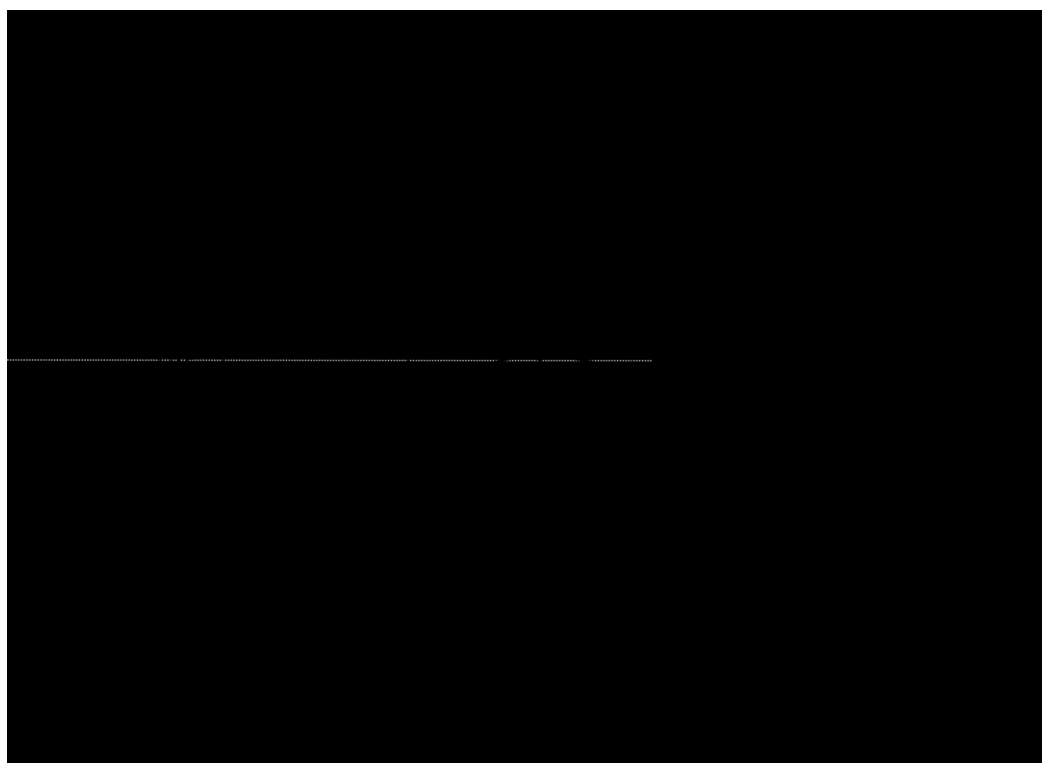


図 2-17 平均拡張期血圧変化率の推移

2.6.3  $\Delta BV$ 

図 2-18~2-21 に、条件①~④における透析中の  $\Delta BV$  値の推移を示す。 $\Delta BV$  値は、全ての条件において、透析中有意に低下した ( $p < 0.0001$ )。相関係数は、条件①が 0.651、条件②が 0.578、条件③が 0.630、条件④が 0.561 であった。

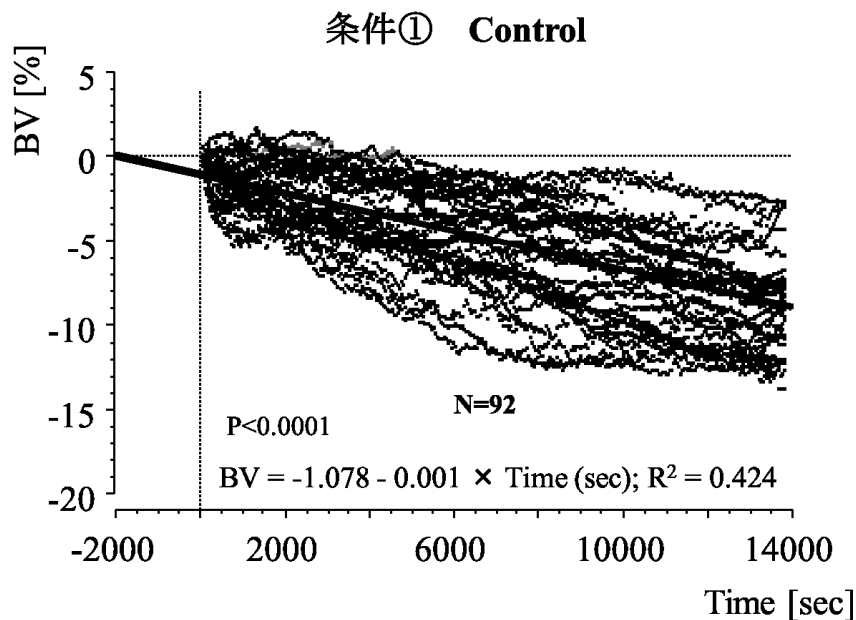


図 2-18 条件①の透析中  $\Delta BV$  の推移と解析結果

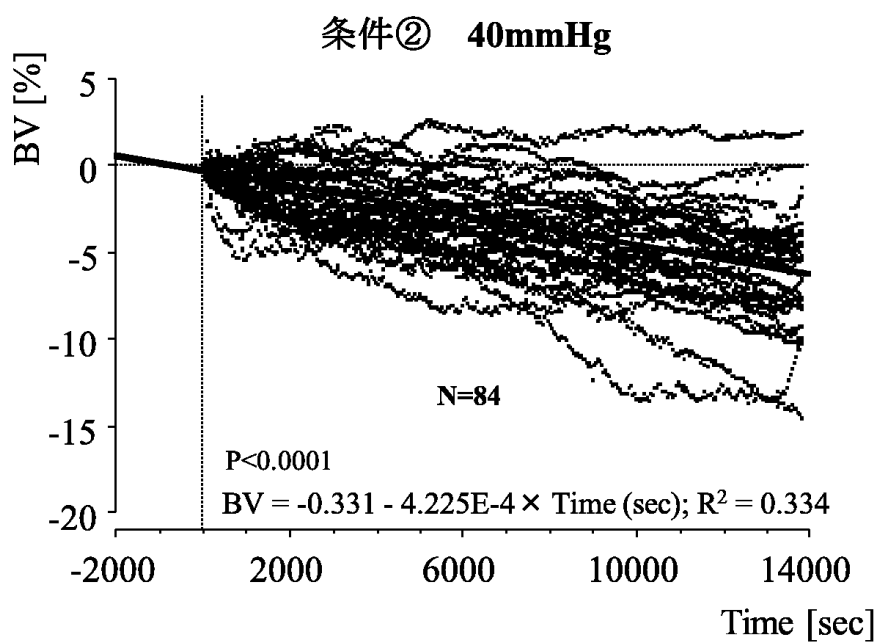


図 2-19 条件②の透析中  $\Delta BV$  の推移と解析結果

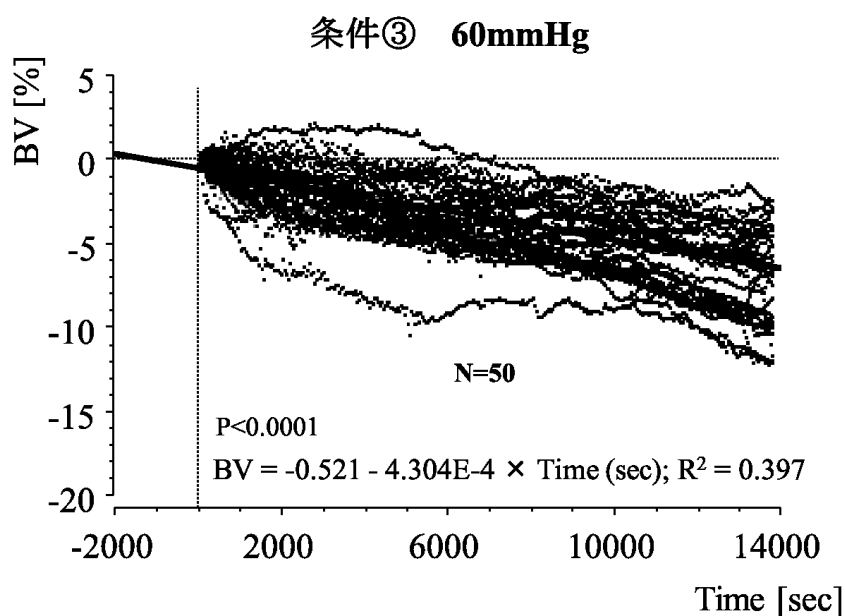
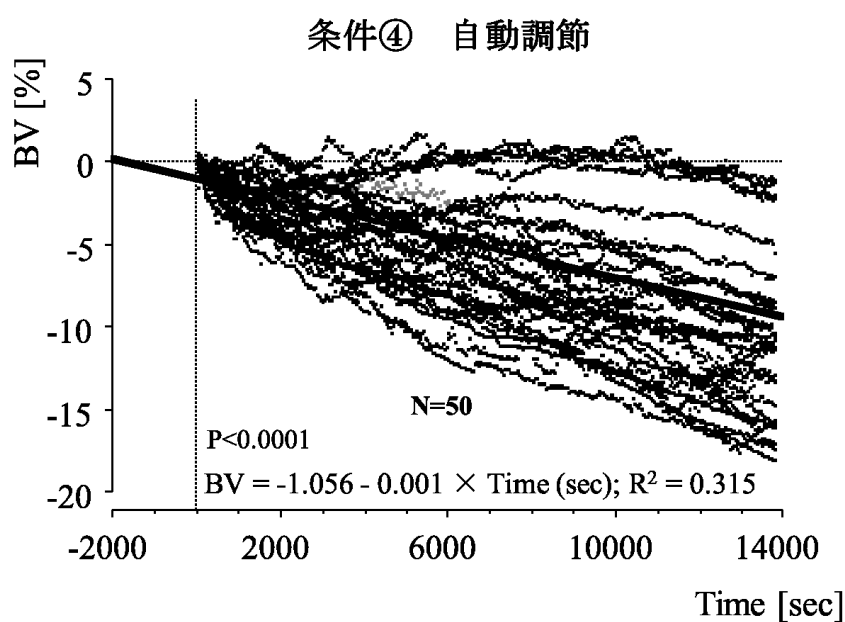
図 2-20 条件③の透析中  $\Delta BV$  の推移と解析結果図 2-21 条件④の透析中  $\Delta BV$  の推移と解析結果

図 2-22 には、条件別における  $\Delta BV$  回帰直線の傾きの比較を示す。条件②③における回帰直線の傾きは、条件①と比較して有意に小さかった ( $p < 0.01$ )。また、条件②は条件④と比較して回帰直線の傾きが有意に小さく、条件②と③、条件③と④の間には有意差を認めなかった。

図 2-23 には、各条件における  $\Delta BV$  値の経時変化を示す。条件間の比較では、1 時間

値で条件①が条件②と比較して有意に大きな変化を示し ( $p<0.01$ )、条件④が条件②③と比較して有意に大きな変化を示した ( $p<0.001$ 、 $p<0.01$ )。条件①と④、条件②と③、および条件①と③の間には差がなかった。透析 2、3、4 時間値では、条件①④が条件②③と比較して有意に大きな変化を示した ( $p<0.01$ 、 $p<0.001$ )。経時変化の比較では、全ての条件において経時的に有意な低下を示した ( $p<0.001$ )。

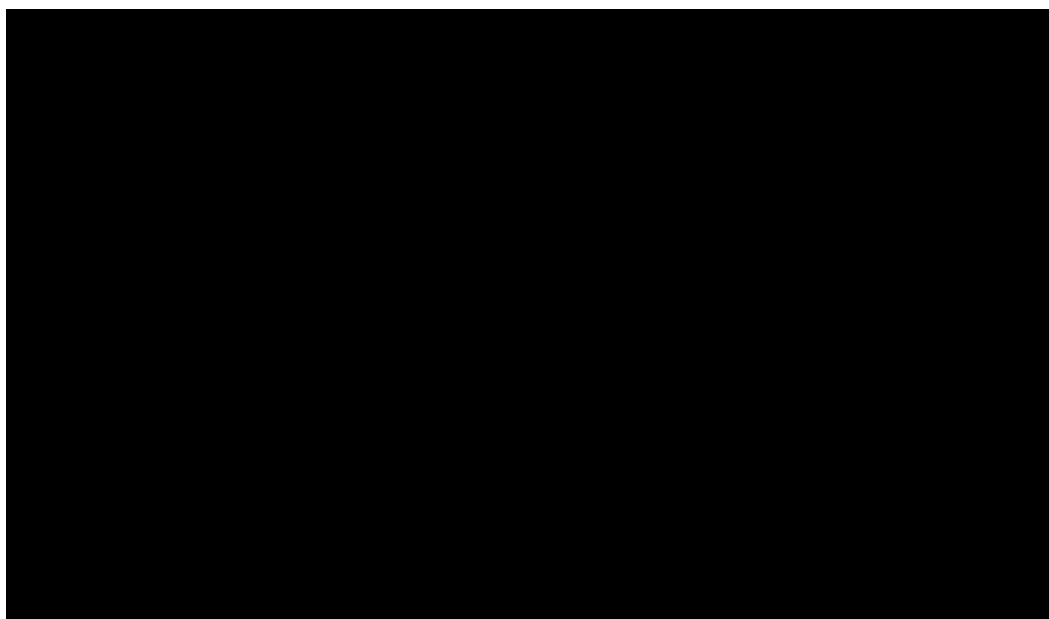


図 2-22 ΔBV 回帰直線における傾き (平均値) の条件間比較

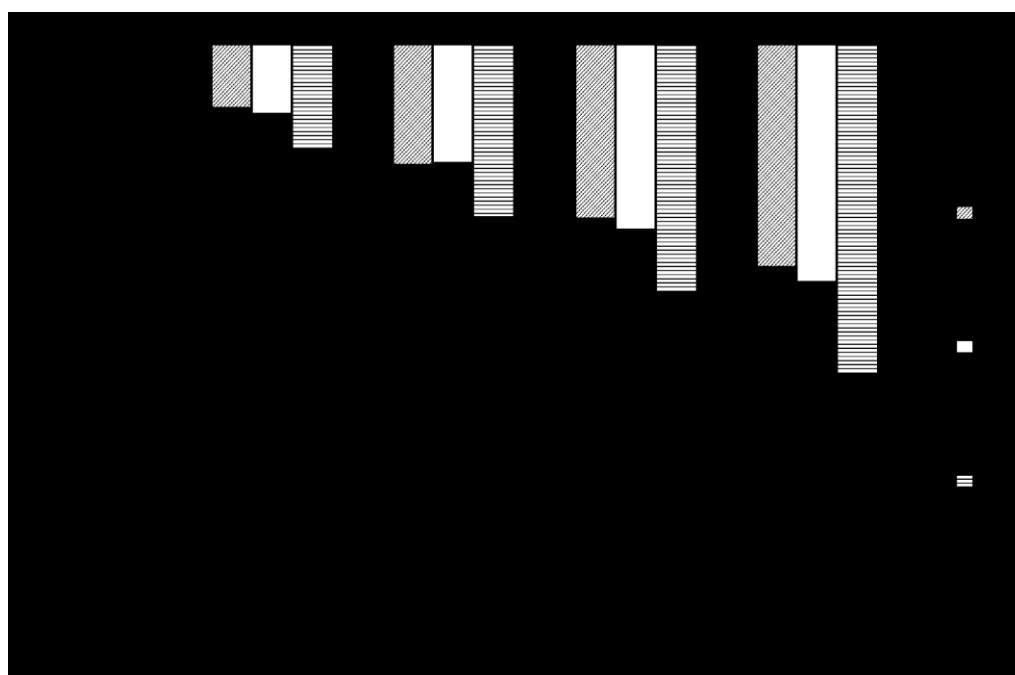


図 2-23 平均 ΔBV 値の経時変化

### 2.6.4 感覚変化

図 2-24 に下肢温感変化の推移を示す。条件間での比較では、透析前には差を認めなかったが、透析後と帰宅後では条件②が条件①よりも有意に高値を示した ( $p<0.01$ 、 $p<0.05$ )。経時変化の比較では、条件②が透析後と帰宅時で透析前よりも有意に高値を示した ( $p<0.001$ )。条件④は帰宅時で透析前よりも有意に高値を示した ( $p<0.05$ )。

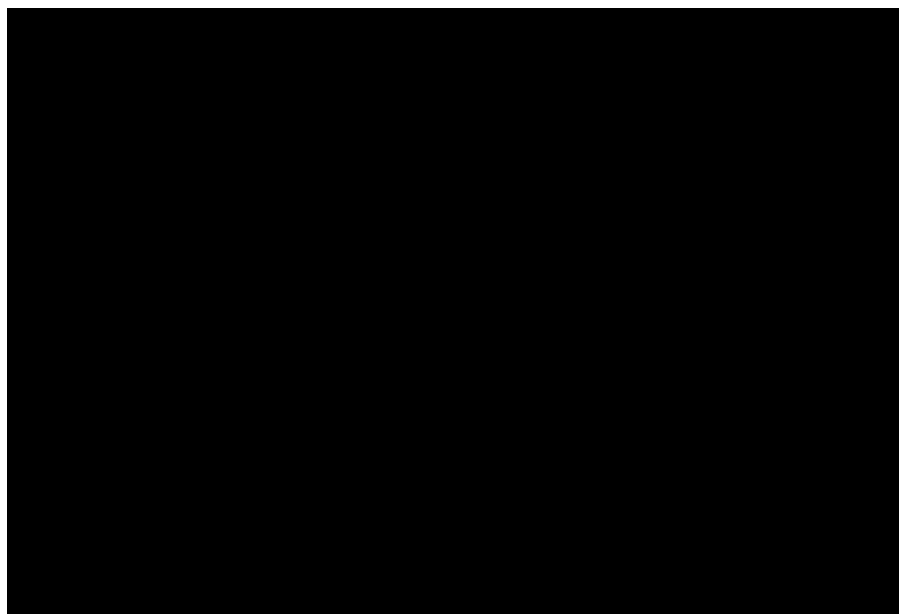


図 2-24 下肢温感の推移 (平均 VAS 値)

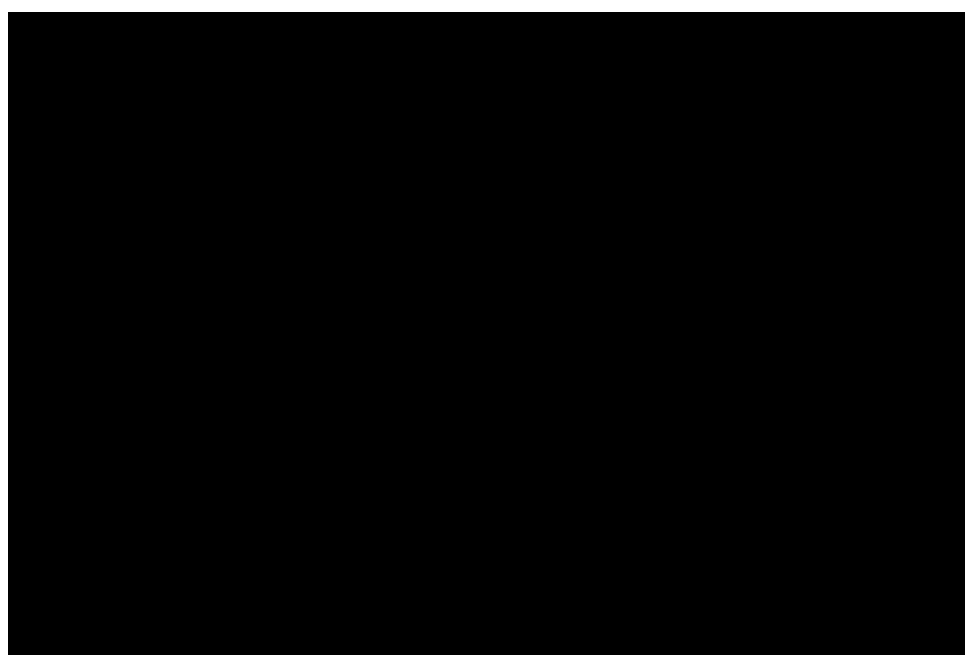


図 2-25 下肢軽快感の推移 (平均 VAS 値)

図 2-25 には、下肢軽快感の感覚変化推移を示す。条件間での比較では、透析前は各条件間に差を認めなかったが、透析後では条件②が条件①よりも有意に高値を示した ( $p<0.01$ )。

経時変化の比較では、条件②が透析後と帰宅時で透析前よりも有意に高値を示した ( $p<0.001$ 、 $p<0.01$ )。条件④では、透析後で透析前よりも有意に高値を示した ( $p<0.05$ )。

### 2.6.5 tcPO<sub>2</sub>

図 2-26 に透析中の tcPO<sub>2</sub> 値の推移を示す。条件間の比較では各時間において差を認めなかったが、経時変化の比較では、条件①②が 4 時間後で透析前と比較して有意に低値を示した ( $p<0.05$ )。

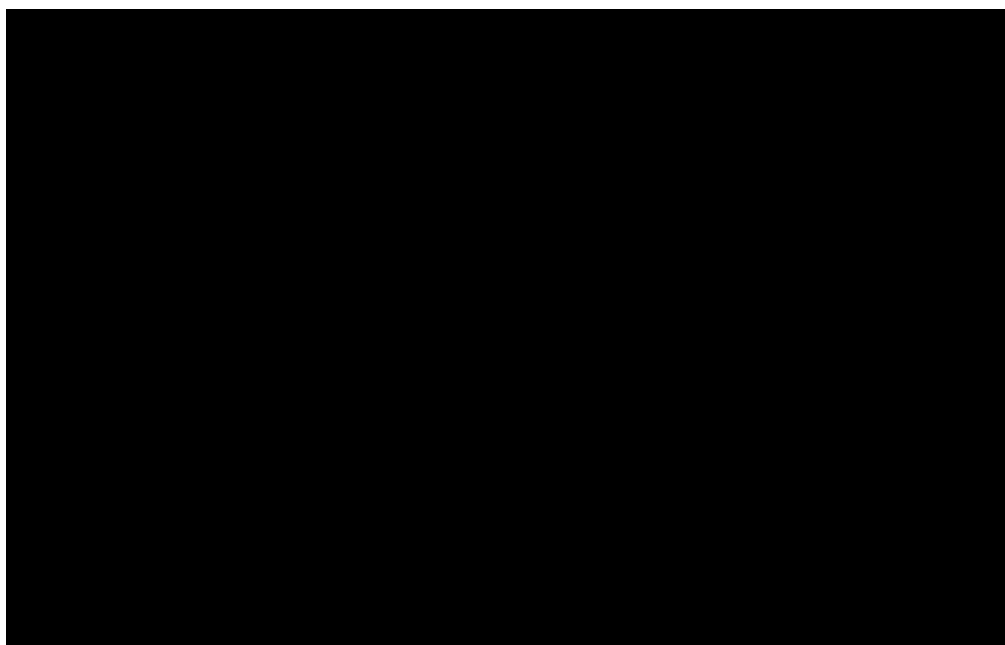


図 2-26 平均 tcPO<sub>2</sub> 値の推移

### 2.6.6 UN と Cr の除去率・クリアスペース

図 2-27 に条件別に見た UN と Cr の除去率を示す。除去率は、UN、Cr 共に全ての条件間で差を示さなかった。

図 2-28 には条件別に見た UN と Cr のクリアスペースを示す。クリアスペースは、条件間の比較で Cr において条件③が条件①と比較して有意に高値を示した ( $p<0.05$ )。UN は全ての条件間で差を認めなかった。



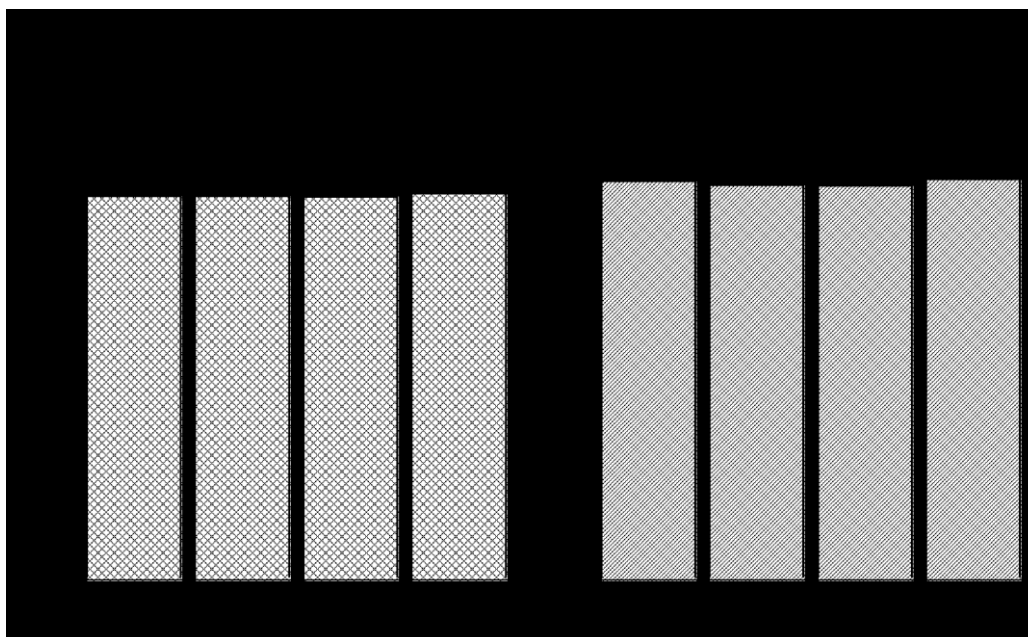


図 2-27 UN・Cr の除去率平均値の条件間比較 N=76

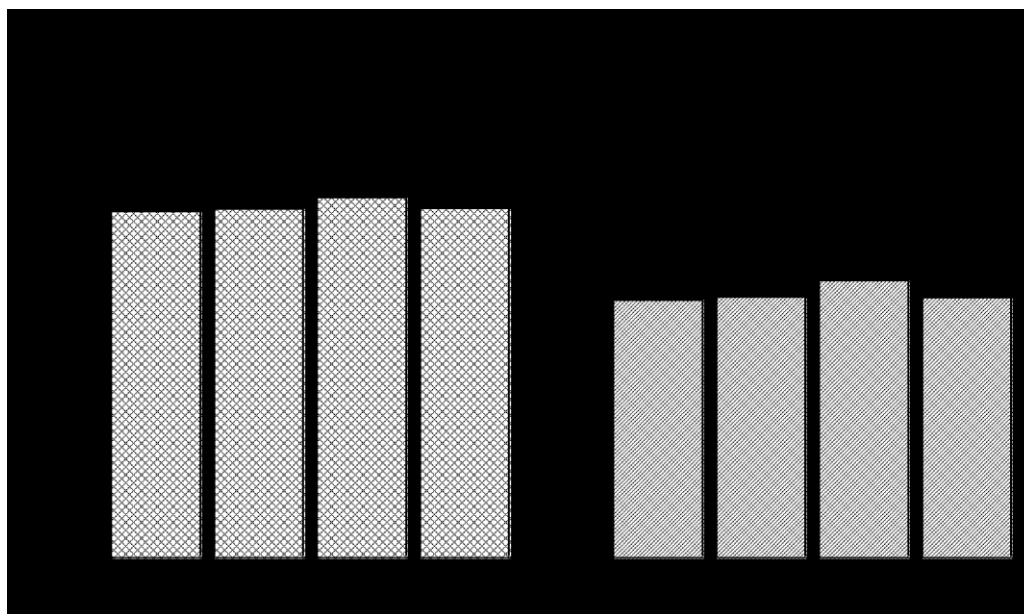


図 2-28 UN・Cr のクリアスペース平均値の条件間比較 N=76

### 2.6.7 POMS

図 2-29 に条件別に見た POMS の T 値を示す。条件間の比較では、「抑うつ-落ち込み (D)」と「怒り-敵意 (A-H)」の尺度で、条件②が条件①と比較して有意に低値を示した ( $p<0.05$ )。その他の条件間には差を認めなかったが、条件②は他条件と比較して全てのスコアで低値を示す傾向が見られた。

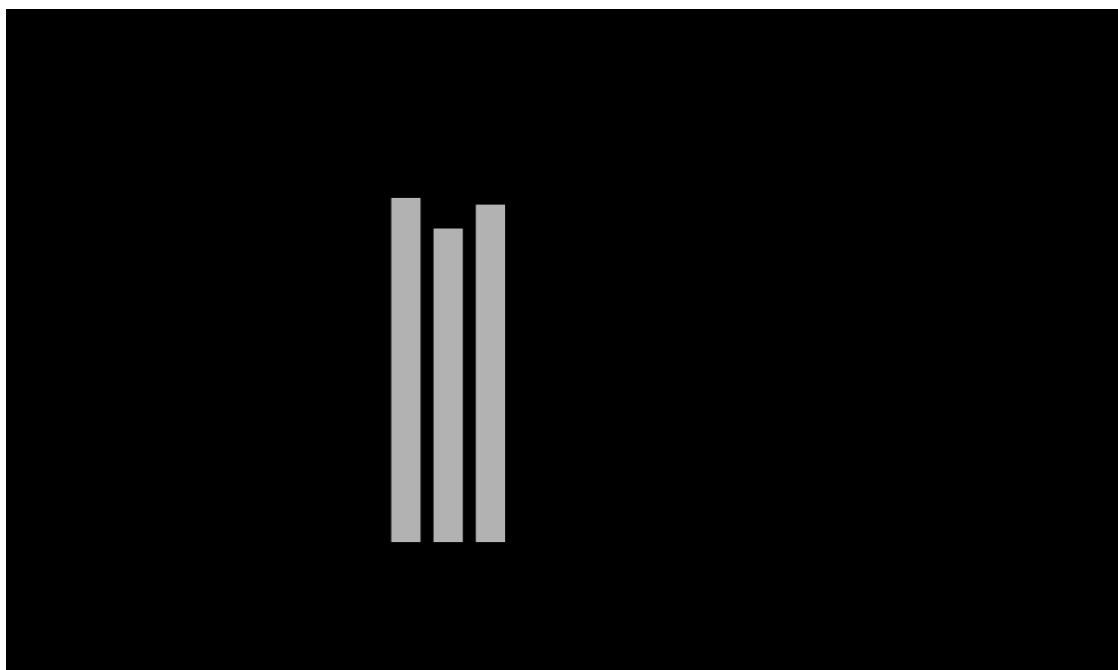


図 2-29 平均 POMS T 値の条件間比較 N=27

## 2.7 考察

血圧決定のための二大因子は心拍出量と末梢血管抵抗である。その内、心拍出量の決定因子には中心静脈圧が関与しており [46][47]、中心静脈圧は全身からの静脈還流により決定される。すなわち、下肢静脈還流の量および速度も血圧決定因子のひとつと考えられる。また、透析中の血圧変化は除水の影響を強く受けるため、plasma refilling rate に依存する傾向が強い [17][33]。江口らは、透析中の末梢循環保持が plasma refilling rate を増大させる可能性を報告している [48]。また、Chen, A. H. らは、下腿空気圧迫法の施行が静脈還流の促進と共に末梢動脈血流を増大させることを報告している [49]。これらの報告は、本研究で行った静脈還流の促進が、透析中の血圧低下を予防する上で有利に働く可能性が高いことを示唆している。

血圧変化率の結果で、静脈還流を促進させた各条件は、対照とした条件①（下腿加圧圧迫なし）と比較して、その推移が透析後半において安定した。また  $\Delta BV$  の変化は、条件②（40mmHg、30 秒間隔）、条件③（60mmHg、5 秒間隔）が条件①よりも有意に緩やかな推移を示した。これらの結果は、静脈還流の促進による中心静脈圧の上昇と plasma refilling rate の増大によるものと考えられ、透析中の血圧低下を予防する上での有用性を示唆するものであった。しかし、本法で認めた効果は、持続的な下腿への加圧圧迫によって得られる緩やかな血圧低下抑制効果であり、突発的な血圧低下に対する改

善効果が証明できた訳ではない。また、条件④では条件②③と比較して血圧低下予防効果の程度が低かった。これは、条件④のブーツが脛脛ふくらはぎに限定したタイプであったこと、および条件④の加圧間隔が条件②③と比較して長かったことが原因と考えられた。透析中の血圧に関連するこれらの検討から、血圧安定化に対する下腿空気圧迫法は、条件③で行ったような比較的強い加圧圧迫で、膝下全体を覆うブーツを使用することが、より高い効果を得るための要因と考えられた。

感覚変化は、条件②が条件①と比較して下肢の温感と軽快感の VAS 値、および POMS の各スコアで良好な結果を示した。また、条件④も VAS 値において条件①より良好な結果を示した。これらは、本法が透析中の快適さを向上する手段として有用であることを示唆するものであった。しかしながら、血圧安定効果が最も優れていた条件③では、これらの感覚変化において一定の効果が得られなかった。その理由は、条件③の下腿圧迫の強度が他条件よりも強かったことが原因と考えられた。被検者の中には施行中に痛みを訴えたり、検討中で離脱したりする例も散見された。このことから、下腿空気圧迫法の圧力と間隔は、その設定値が適正でなければ一定の効果を得ることは難しいと考えられた。今回の検討では、条件②の設定値が対象患者に対して最も適した設定値である可能性が高いと考えられた。

tcPO<sub>2</sub> は、各条件共に透析開始から終了にかけて緩やかな低下傾向を示したものの、条件①と条件②③④の間には時間別の条件間比較で差を認めず、時系列変化においても条件③④では有意な低下を認めなかった。この結果から、本法における下腿空気圧迫法の程度では、下肢末梢循環を阻害する可能性は低く、条件によっては透析中の末梢循環を維持し得ると考えられた。

老廃物除去能の比較では、対象物質を UN と Cr として、除去率とクリアスペースを比較検討した。クリアスペースを算出した理由は、静脈還流促進の有無と程度による細胞内外の浄化効率の差を比較するためである。結果は、UN と Cr は除去率では UN も Cr も各条件間に差を認めなかったが、クリアスペースでは Cr において条件③が条件①よりも有意に高値を示した。Cr で除去率に差が生じずクリアスペースに差が生じた理由は、条件③での Cr の細胞内外の物質移動が、条件①よりもスムーズであったことが要因と考えられた。この結果から、条件③の下腿空気圧迫法の程度は、細胞内外の物質移動を促進する可能性があると考えられた。

## 2.8 結論

本研究において、透析中に下腿の静脈還流を促進することで、中心静脈圧の上昇に伴うと考えられる血圧の安定化および  $\Delta BV$  の安定化が見られた。また、plasma refilling rate の増大によると考えられる老廃物除去の促進が確認され、透析中に末梢循環が阻害され

ることもなかった。

本法は、体重増加の要因となる補液製剤や薬剤を使用せずに、簡便かつ快適に透析低血圧症を予防できる手法である。これらの利点は、現存する予防策にはない特徴的なものであった。

**謝辞** 本研究は、財団法人日本腎臓財団の若手研究者に対する研究助成の交付を受けた (JFK 11-4)。

## 第3章 透析中のシヤント血流量の変動とその関連因子の抽出

### 3.1 バスキュラーアクセス (vascular access: VA)

第3章では、はじめに VA の歴史と分類、合併症の種類と病態、および現状の VA 管理手法と治療の種類および適応について解説する。

慢性腎不全患者が腎代替療法として透析を選択した場合、患者血管から一定の血流量で血液を導き出し、人工腎臓を通過させ浄化された血液を再び患者血管へと戻す必要がある。VA は、そのために工夫され誕生した人工産物である。透析は、継続的に反復治療する必要があるため、VA は、①穿刺性に優れ、②一定以上の血流量が得られ、③抗血栓性および抗感染性に優れ、④長期的に開存性を維持でき、⑤体循環に可及的に影響を及ぼさないものが求められる。これらの機能と形態に優れた VA がなければ透析は継続しえない [50]。

#### 3.1.1 VA の歴史と分類

##### A) VA の歴史

表 3-1 に透析用 VA に関わる歴史の変遷を示す。

1960 年に Quinton & Scribner によって考案された外シヤントは、透析を可能にし得るものであったが、種々の合併症を伴う欠点が存在した。1961 年に Shaldon が考案した大腿動脈・静脈における緊急用カテーテル留置法は、長期使用に耐え得るものではなかった。その後、1966 年に Brescia & Cimino らによって、外シヤントの欠点を画期的に補い現在の VA の目的に適合した AVF が考案された [36]。その後の長い歴史の中で、動脈血管の表在化や人工血管の植え込み等の幾つもの手法が考案され実用されたが、現在でも AVF に勝るものはない。

VA 治療の領域における VA-intervention Radiology の進歩としては、1964 年に Dotter が、閉塞性動脈硬化症に二重カテーテルを使用し、vascular access intervention therapy (VAIVT) の道を拓いたことがはじまりである。1978 年には、Heidler & Zeitler が AVF への VAIVT を考案し、これが今日の VA 機能不全の主な治療法となった。1983 年には、Rodkin が VA 血栓溶解法を考案し、1993 年に Turmel-Rodrigues が VA 血管

内ステント留置を狭窄反復例に使用して成果を上げた。

表 3-1 透析用 VA に関わる歴史的変遷 [36]改変

1) 外シヤント	1960年 Quinton & Scribner 透析の反復施行を可能に
2) カテーテル留置法	1961年 Shaldon 大腿動静脈の緊急用 VA を開発
3) 血管内留置カテーテル	1963年 Forgaty 簡便な血栓除去療法を開発
4) AVF	1966年 Brescia & Cimino 外シヤント合併症を激減し現在の主流となる VA を開発
5) AVG	1973年 Volder 人工血管使用シヤント 1977年 太田(和) 人工血管使用シヤント
6) 動脈表在化	1970年 Brittenger 大腿動脈 1971年 Capodicasa 橈骨動脈
7) 材料の改良	1980年代 血管内留置カテーテル(再登場)
8) VA-intervention Radiology の進歩	1964年 Dotter 閉塞性動脈硬化症に二重カテーテルを使用し、vascular access intervention therapy (VAIVT) の道を拓く 1978年 Heidler & Zeitler AVF への VAIVT VA 機能不全の主治療法 1983年 Rodkin VA 血栓溶解法 1993年 Turmel-Rodrigues VA 血管内ステント留置狭窄反復例に使用

## B) VA の分類

一般的な VA の分類を図 3-1 に示す。VA は、シヤント法と非シヤント法とに分類することができる。透析におけるシヤント法は、外科的な処置(動脈と静脈との吻合)によって動脈血を本来の経路以外の分路へ流すことである [50]。シヤント法は大きく内シヤントと外シヤントに分類され、VA の大部分を占める内シヤントには単純吻合(arteriovenous fistula: AVF)と血管移植がある [50]。さらに血管移植の中に、自家静脈によるもの、同種・異種血管によるもの、および人工血管(arteriovenous graft: AVG)が含まれる [50]。

また VA は、一時的 VA と永続的 VA に二分される [50]。前者は動脈または静脈の直接穿刺法とカテーテル血管内留置法を指し、後者は内シヤントの大部分を占める AVF と AVG を指す。本論文では、AVF と AVG をまとめて「シヤント」と称す。

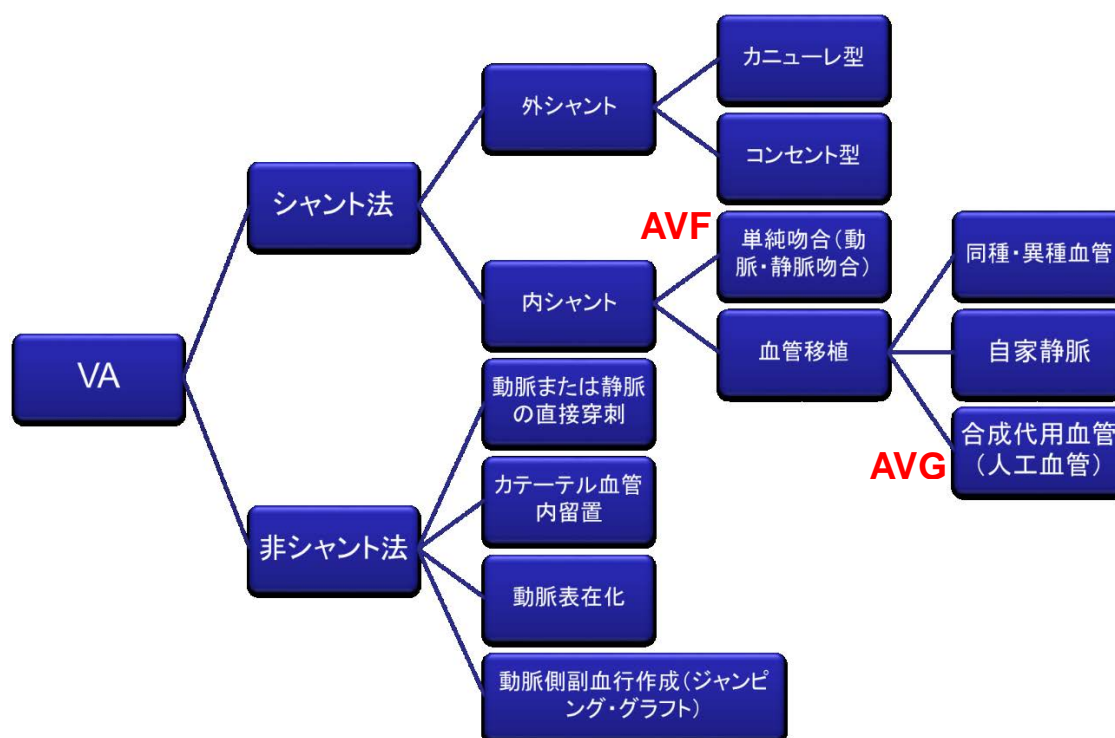


図 3-1 VA の分類 [50]改変

### C) VA の形態についての現状

日本透析医学会の VA 実態調査 (2008) によると、最も多い VA は AVF で全体の 89.7%を占める [50]。次いで多いのは AVG で全体の 7.1%である [51]。この結果から、現状における VA の主流は AVF といえる。

ただし、1998 年末の日本透析医学会統計調査委員会の報告 [52]では、AVF が 91.4%、AVG が 4.8%であり、近年では AVG の比率が上がっている (表 3-2)。AVG の比率が上がった理由は、長期透析患者や高齢透析患者の増加で、自己血管の荒廃した症例が増えたことが原因と考えられる。

透析の国際比較研究「DOPPS (Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study)」 [53] から国別の透析患者の VA 形態比率を表 3-3 に示す。この調査結果は、日本透析医学会の調査と比較して対象症例数が著しく少ないが、AVF と AVG の形態比率に大きな違いはない。これによると、アメリカでは AVG の使用率が高い。これは、アメリカにおける慢性腎不全治療の主体が腎移植であり、日本のように VA を長期使用する必要がないことや、高血流量・短時間透析が主流であるなどの背景によると考えられる。しかし近年では、アメリカでも AVG やカテーテルによる透析の死亡リスクが高いことが判明し、AVF が推奨されている [53]。世界的にも、AVF を上回る VA は現状では存在しないのである。

表 3-2 国内における VA 形態の変遷 [53]改変

	AVF	AVG	動脈表在化	カテーテル	外シヤント	その他	計
1998 年	91.4%	4.8%	2.5%	—	0.2%	1.1%	100%
2008 年	89.7%	7.1%	1.8%	1.0%	—	0.4%	100%

表 3-3 国別透析患者の VA 形態比率 [53]改変

国名	AVF (%)		AVG (%)		Catheter (%)	
	DOPPS-I	DOPPS-II	DOPPS-I	DOPPS-II	DOPPS-I	DOPPS-II
フランス	79.6	79.4	12.3	9.0	6.9	11.3
ドイツ	89.2	85.1	11.0	9.4	2.8	5.4
イタリア	90.3	85.8	4.2	3.7	4.6	10.1
日本	91.3	90.3	3.6	6.5	2.3	1.3
スペイン	82.5	79.5	11.1	10.5	6.0	9.9
イギリス	68.3	68.6	6.6	6.2	23.4	24.9
アメリカ	20.7	26.5	62.8	44.6	15.2	28.2

(1) DOPPS-I (1997~1999)、DOPPS-II (2002~2003)

(2) DOPPS-II における対象患者数:

フランス (484)、ドイツ (537)、イタリア (541)、日本 (1,723)、  
スペイン (575)、イギリス (502)、アメリカ (2,159)

### 3.1.2 自己血管使用皮下動静脈瘻 (arteriovenous fistula: AVF)

#### A) AVF の変遷

1966 年から数年は外シヤントがほぼ全例の透析患者に使用されたが、1998 年末には 0.2%と激減し、事実上外シヤントの時代は終わった [50]。その移行期に登場したのが AVF である。

Brescia と Cimino は、外傷性動静脈瘻の患者で採血が容易であること、および明確な心機能障害がないことなどから、外シヤントの内部化を考案し [36]、13 年 3 カ月の観察で 14 例のうち 12 例の開存に成功した (開存率 86%) [55]。彼らの AVF は、前腕末梢の橈骨動脈と橈側皮静脈の側々吻合であった [54]。

さらにその後、末梢手関節部の解剖学的タバコ窩 (anatomical snuff box) に作製されるタバチエール AVF も報告された [56]。タバチエール AVF は中枢側にずらして再建が可能のため、長期的使用の観点から有利と考えられた。しかし、実際に標準的 AVF と二次開存率を比較すると有意差は見られず、開存率だけの観点では優劣



は付け難い [57]。

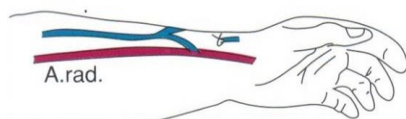
AVF は血栓性、抗感染性、長期開存の三点で他法よりも優れており、現在でも VA の主流として使用されている。

## B) AVF の動静脈吻合方法

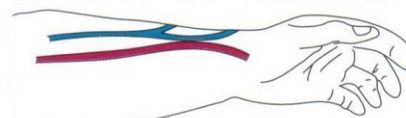
動静脈吻合方法には側端、側々、端々吻合の3つの方法がある (図 3-2) [50]。現在、わが国で広く用いられているのは動脈の側、静脈の端の側端吻合である。いずれの吻合方法においても合併症は皆無ではないが、側端吻合では静脈末梢への血流がないため、シヤント静脈に狭窄が生じた場合でも、手指の鬱血による合併症であるソアサム症候群 (3.2.E) が起こりにくい。ソアサム症候群は、進行すると手指の虚血から壊死に至ることもあるシヤント合併症のひとつである。また、側端吻合は、血流の確保が安定的であり、過大血流やシヤント不全に至るリスクも少ない。

一方、側々吻合ではソアサム症候群が起こる可能性が高く、過大シヤントになりやすい。端々吻合は、ソアサム症候群に陥るリスクは低いが、末梢動脈を結紮することによる血流不全のリスクが高い。また、シヤントの発達も未成熟となる可能性が高く、現在はあまり用いられていない。

側端吻合 (側: 動脈、端: 静脈)



側々吻合 (側: 動脈・静脈)



端々吻合 (端: 動脈・静脈)

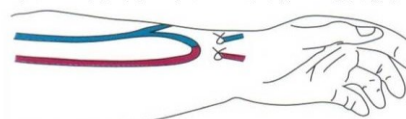


図 3-2 動静脈吻合方法と AVF 症例 [50]

## C) AVF の問題点

AVF は、静脈血管の動脈化といえる [36]。動脈化した静脈には高圧高流量の渦巻き血流が流入するため、それが過度のストレスとなり、必然的に内膜肥厚が生じる。これが狭窄の原因である [50]。さらに狭窄は、渦血流以外にも毎回の透析時における穿刺や血管の形態の影響で増大する可能性があり、進行すると機能不全 (血流量低下、血栓形成、閉塞) を呈する可能性がある。狭窄の詳細については 3.2.A に後

述する。

AVF は透析治療での生命線であり、機能不全を予防するための適切な評価・管理手法が必要である。しかし、現状では AVF を簡便に定量化できる有効な手段はなく、基準値についても明確ではないという問題点がある。

近年では、長期透析患者や高齢での新規導入患者が増加していることもあり、シヤントの評価・管理手法に関しては早期の問題解決が望まれている。

### 3.1.3 人工血管使用皮下動静脈瘻 (arteriovenous graft: AVG)

AVF の荒廃を解決するべく登場したのが人工血管である [36]。人工血管は皮下で AVF を造設することが困難な患者に対して、動静脈を短絡するための人工材料である。ここでは、その種類と適応患者および問題点について解説する。

#### A) 代用または人工血管の種類

代用または人工血管には、A) 生体材料、B) ハイブリッド型、C) 合成材料（人工血管）の3種がある。その一覧を表 3-4 に示す。狭義の人工血管とは、合成材料を用いた人工材料を指し、現在、生体材料やハイブリッド型が使用されることは殆どない。

表 3-4 代用または人工血管の種類 [36]改変

<b>A) 生体材料</b> ① 自己静脈（大伏在静脈） ② 固定同種静脈 ③ 仔ウシ頸動脈（bovine graft: Artegraft®） ④ ブタ頸動脈（swine graft: Arteriografit®） ⑤ ヒト臍帯静脈（umbilical cord graft: Bioflow®, Biografit®）
<b>B) ハイブリッド型</b> Sparks の mandril graft
<b>C) 合成材料（人工血管）</b> ① polyester（Dacron graft） ②PU: polyurethane（Thoratec®） ③ E-PTFE: expanded-Polytetrafluoroethylene（Gore-Tex®, Impra®） ④ PEP: polyester elastomer polyolefin（Grasil®）

#### B) 合成材料（狭義の人工血管）

AVG は基本的に合成材料によるものばかりで、表 3-4 に示した通り、①E-PTFE（expanded-Polytetrafluoroethylene）、②PU（polyurethane）、③PEP（polyester elastomer

polyolefin) が主流である。日本では、E-PTFE が 1976 年に臨床使用可能となり、次いで、PU が 1997 年に臨床使用可能となった。PEP は 2003 年に臨床例が報告され [58]、2006 年から発売された。これら 3 種の人工血管の特徴を久木田らは表 3-5 のように要約した [59]。

表 3-5 頻用されている人工血管の種類と特性 [59]改変

	<b>E-PTFE</b>	<b>PU</b>	<b>PEP</b>
臨床使用の開始	1976 年	1997 年	2006 年
表面	滑らか	ゴム状	粗い
皮下トンネル	通しやすい	やや通しにくい	通しやすい
縫合時出血	やや多い	少ない	ほとんどない
屈曲	ほとんどない	しやすい	ほとんどない
浮腫	術後数日から出現	軽い	ない
穿刺開始	術後 2～3 週間	早期に可能	早期に可能
穿刺部止血	不良	良好	良好
血清種	約 5%に合併	ない	ない

### C) AVG の問題点

AVG では、静脈とグラフトの吻合部近傍に狭窄が好発する [59]。経皮経管的血管形成術 (VAIVT) で再開通が期待できるが、狭窄の再発で次第に治療回数が増加するのが一般的である。また、VAIVT 用器材が高価なため、保険診療上の問題もある。感染率が高く、一旦感染すると重篤な状態に陥りやすい点も問題である。

### D) AVG の適応

VA の長期開存率は AVF が最も高い [6][60]。また、感染症など合併症の対策でも AVF は AVG よりも優れている。このため、AVF が造設可能な症例は、AVF を第一選択とすることが推奨される [59]。しかし近年、糖尿病の増加や患者の高齢化、さらには長期化などにより、血管が荒廃する症例が増加し、AVF 作製困難な症例がある。そのような場合は AVG が適応となる。ただし、AVG では AVF よりも心拍出量を増加させる傾向が強いため、AVG でも心負荷を伴わないことが適応の前提条件である [61]。

## 3.2 シヤント合併症

シヤントは、透析ごとに穿刺と止血を反復する。2 日に 1 度という高頻度で穿刺が行

われるため、穿刺部位の変性は免れない。また、シヤント静脈および吻合部には、非生理的な血流による、内圧上昇やずり応力の慢性的ストレスが生じるため、血管は継時的に変性していく。医療スタッフは、シヤント合併症の種類と対策に精通し、その兆候に迅速に対処しなければならない [36]。

以下に、シヤントに合併する主な病態を解説する。シヤント合併症には、狭窄・閉塞、感染、Steal 症候群（虚血障害）、静脈高血圧症（sore thumb or hand syndrome）、瘤形成、ゼローマー・皮下血腫、ラージシヤント（血流過剰）などがあるが、その大半は狭窄に起因するものである [36]。

### A) 狭窄

狭窄は、シヤント造設に伴い動脈からの速い流れが静脈に流入することで発生する。静脈壁は動脈壁と異なり薄いため、乱流・渦流のストレスに対抗するため厚みを増して肥厚し、その結果狭窄が生じる。狭窄はシヤント不全の最大の原因である。また、狭窄は極めて高頻度に認められ、進行速度にも個人差があるため、日常における管理が重要となる。

（社）日本透析医学会の、「慢性血液透析用 VA の作製および修復に関するガイドライン（VA ガイドライン）」 [6]では、シヤント狭窄について以下のように解説している。シヤント狭窄の部位や形態は多彩であるが、①動静脈吻合部の近傍静脈部位、②肘関節屈曲部の周辺静脈や静脈分岐部位、③AVG ではグラフトと静脈吻合部およびその近傍静脈、④上腕橈側皮静脈が鎖骨下静脈に合流するアーチ部位、⑤頻回穿刺部位、などが好発部位であり、それぞれ浮腫、腫脹などの静脈の鬱滞を伴うこともある。また、狭窄の上に、低血圧、脱水、過凝固能、外傷、穿刺部圧迫、感染などの二次性要因が加わった時にはシヤントの閉塞が生じやすい [62]。

### B) 閉塞

閉塞は、血栓形成などの原因でシヤント血流が途絶え、透析の実施が困難になる状態である。閉塞には、血栓性閉塞と非血栓性閉塞があり、前者は血栓による閉塞であり、シヤント肢の長時間圧迫による血流遮断や穿刺時の血腫形成による血管圧迫や感染、および血圧下降による血管収縮などの原因により起こることが多い。後者は、シヤント血管の狭窄が進行することにより血管が閉じてしまう現象で、血管の癒痕化が原因のことが多く、それに伴い側副血行路が発達している場合が多い。その場合、シヤント本管は拍動化し、側副路の手背には怒張が見られることが多い。

### C) 感染

透析は、繰り返す穿刺と針の留置が行われ、感染に暴露されるリスクが高い。ま

た、透析患者は低蛋白や免疫反応減弱など感染症に対する抵抗力が低下しているという悪条件が存在する。更に近年では、透析患者の高齢化や糖尿病性腎症の増加、および AVG 使用率上昇や低栄養患者の増加といった背景から、VA 感染は増加傾向にある。VA 感染は、重篤な場合死に至る合併症であることから、その予防に対する日常管理が重要である [36]。

#### D) 動・静脈瘤

同一部位への反復穿刺は血管壁破壊をもたらし、脆弱となった部位が瘤を形成する。瘤には仮性瘤と真性瘤が存在し、前者は血管壁を有さず後者は血管壁を有する。瘤は小さいうちは治療を要さないが、急激に大きくなる場合や感染を伴う場合、および変色が激しい場合は切迫破裂の危険があるため切除術が必要となる [36]。

#### E) 静脈高血圧症（ソアサム症候群）

静脈高血圧症とは、シヤントが流入する静脈の中枢側に狭窄や閉塞があり、血流がうっ滞し末梢の静脈圧が慢性的に亢進した状態をさす。側副血行路の発達が悪化した場合やシヤント血流量が多い場合には軽度狭窄でも静脈高血圧症をきたしやすい。重症化すると血流のうっ滞による手指の壊死が起こる場合があり、経過観察が重要である [36]。

治療としては責任病変に対して、経皮的にインターベンション治療を行い、狭窄を解除、もしくはシヤント血流量が過剰な場合には静脈の結紮等を行う血流量の制御を行う。鬱滞が手首より末梢の場合をソアサム症候群、手首より中枢側まで至る場合を静脈高血圧症という。

#### F) スチール症候群

末梢組織への血流量がシヤント静脈側へ盗血されることによって、末梢循環不全が起こり、虚血を呈した状態をいう。虚血した組織は、疼痛、しびれ、冷感の症状を有し、場合によっては急速に進行して壊死を起こす。

経過が重篤でない場合は、原因を精査し待機的に観察加療する。シヤントの過剰血流が原因で盗血現象が進行しているのであれば、手術的にシヤント血流量を制御する。動脈硬化が進行してスチールを呈している場合には、軽症の場合は保存的に経過観察するが、重症の場合はシヤント閉鎖術を選択する [36]。

#### G) 過剰血流（過大シヤント）

シヤント静脈への過血流により、シヤント血管が増大して発症する状態である。シヤント血流量が過剰な場合は、心負荷がかかり心不全を呈する可能性があるため、

手術的に血流量を制御する必要がある。どの程度の血流で心不全が生じるかは、患者の心機能に依存する場合が多く、患者によって異なる。

血流量が 1000-1500ml/min 以上、または血流量/心拍出量が 20%以上で生じることがあるとされている。なお、上腕の AVF では作製後早期から起こる可能性があることもわかっている [36]。

## H) 再循環

血液の再循環とは、透析中に返血された血液が脱血側から吸い込まれ、透析回路内のみで血液が循環してしまう現象で、この現象が生じると、局所のみでの血液浄化となり生体内の老廃物を除去することができなくなる。原因は返血側上流の血管狭窄である [36]。

## 3.3 シヤントの評価・管理法の種類

### A) 理学所見

シヤントの管理手法は、「視診、触診、聴診」などの簡易的な診断法（理学所見）が基本である [63]。以下に理学所見の概要を解説する。

- ① **視診**：駆血すると狭窄部が明白に観察できるが、ほかに皮膚の色や浮腫の有無などを観察する。
- ② **触診**：触診では狭窄部を硬く触れることが多い。駆血により周囲の静脈が拡張すると、狭窄部の部位と程度を触知しやすくなる。狭窄部より中枢側では、スリルを比較的良好に感じるが、狭窄部の末梢側ではスリル（血流による振動）が触れず、パルス（拍動）状になることがある。
- ③ **聴診**：聴診によってシヤント音を聴取する。狭窄部では高調音、狭窄部より末梢側では断続音、狭窄部より中枢側では連続音を聴取できる。

### B) 画像診断

シヤントの画像診断には、造影剤や炭酸ガスによる血管造影法、および超音波検査法がある [36]。それぞれの長所・短所を以下に記す。

- ① **超音波検査法**：侵襲の少ない方法であり、簡便にシヤントの血流機能と形態を評価することができる。副作用もないことから広く普及しつつある。近年、画像の鮮明度も向上し、透析用のシヤント向けに画像の質を上げた超音波画像診断装置も開発されている [64]。ただ、3D での観察はできない。詳細は 3.3. および 3.4. に後述する。
- ② **血管造影法**：狭窄の程度や部位の診断およびシヤントの全体像の把握にもっと

も適した方法である [64]。診断後、ただちに VAIVT に移行できることも利点であるが、静脈造影はあくまで投影図であること、およびヨード造影剤アレルギーを有する患者には禁忌となることを認識しておく必要がある。

- ③ **狭窄病変の計測**：正常血管径については、対象となる狭窄のなるべく近傍の狭窄を有していない部分の径を計測する。狭窄病変の上流と下流で径が異なる場合は、その平均値を採用する。

### C) 超音波血流計 (HD02®)

超音波血流計 HD02®は、超音波の伝達時間を利用し、血液回路上の血流量を測定し、透析ポンプの流量設定値どおりの流量で透析されていることを確認するための機器である。図 3-3 に測定時の血液回路内血流量測定時のイメージ図を示し、図 3-4 に HD02®本体の画像を示す。

HD02 の原理には、超音波トランジットタイム法が使用されている。血液回路に装着した H4E 型流量センサ (アダプタ) から超音波信号を上流と下流に向け、血流を横切るように発信することで、順方向と逆方向での超音波伝達時間の差から血管内血液の流速または血液回路内血流量を算出する (図 3-5)。

以下に測定手順を記す。血液回路とアダプタ間の超音波の伝達を良くするため、アダプタの血液回路装着部にワセリンを薄く塗布する。次いで、動脈側の流量センサの濃灰色の蝶番を上押し、動脈側回路の透析針接続部から 5~10cm (2~4 インチ) の位置に動脈側センサを装着する。同様に、静脈側の流量センサの濃灰色の蝶番を上押し、静脈側回路の透析針接続部から 5~10cm (2~4 インチ) の位置に静脈側の流量センサを装着する。この時、血液回路は断面全体が検出部窓の内側前面に接触し嵌合させる。本体背面パネルの電源スイッチを入れ、血液流量の計測を開始し、ディスプレイ上の血液流量を読みとる。

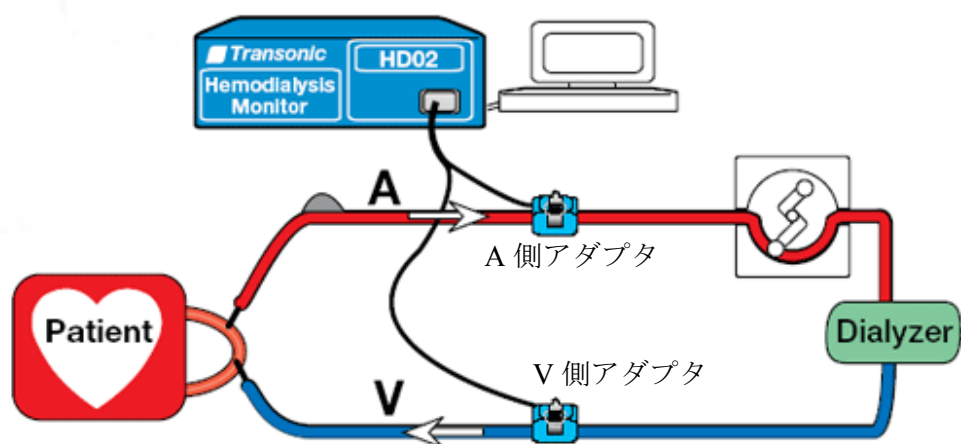


図 3-3 血液回路内血流量測定時のイメージ



図 3-4 超音波血流計 HD02®

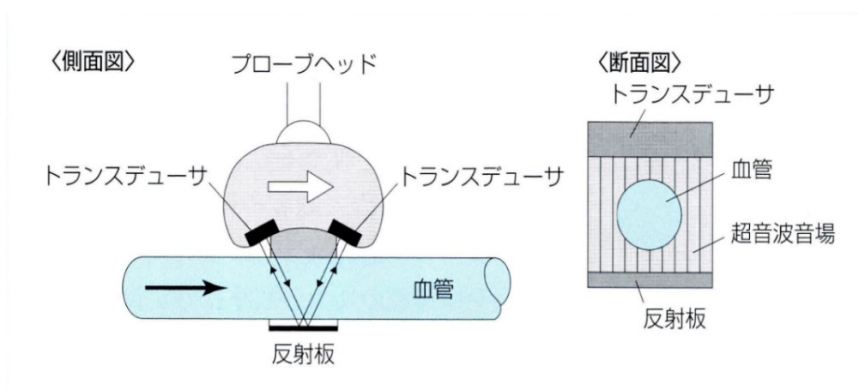


図 3-5 超音波トランジットタイム法の原理 [36]

#### D) クリアランスギャップ法 (CL-Gap 法)

小野らは、CL-Gap 法を用いてシヤント機能の低下やシヤント部再循環を早期に発見できるとしている [36]。元来、透析量の指標である  $Kt/V$  の質的管理法であるが、いくつかの文献によると、CL-Gap 法が早期にシヤント機能低下を定量的に把握でき、PTA 後の CL-Gap 値を基準値とした継続的測定が有意義である可能性があるとしている [36]。自動計算されるプログラムへのいくつかの値を入力することで得られるように準備されている。CL-Gap の計算式を以下に示す (式 3-1)。CL-Gap を算出するには透析前後の採血データが必要となるため、リアルタイムにシヤント状態を把握することはできない。また、シヤントの生体情報を直接評価できるわけではない。

$$\text{CL Gap} = \frac{t\text{CL} - e\text{CL}}{t\text{CL}} \quad (3-1)$$

tCL : クリアランス理論値 (血流量、透析液流量、人工腎臓の総括物質移動係数から算出した人工腎臓におけるクリアランス)

eCL : 有効クリアランス値 (採血により得られた  $Kt/V$  実測値に透析時間を掛け、体液量に総除水量を加えて割った値)



### E) シヤントトラブルスコアリング (S.T.S)

本邦には、4,000 を超える透析施設が存在するが、上記 A) ~D) の医療機器を備えていない施設が大半を占める。以下の表 3-6 に示した S.T.S は、シヤントを機能的かつ簡易的に管理できる方法である。現在では全国でこの改良版や項目を追加した形や医療機器との組み合わせでシヤント管理として活用されているケースが多い。特別な道具や機械を必要とせず、理学所見である「視診、触診、聴診」を主体とした観察項目で点数化し、シヤントの検査・治療を考慮する点では安価で有用な手法といえる。

表 1-9 の中身は、透析室であれば存在するかもしくは、聴診器などを通して体感できるものである。アクセスを見ずに、触らずに、聞かずに論ずることはできないということはシヤント管理の第一原則である[29] [55] [56]。

表 3-6 シヤントトラブルスコアリング (S.T.S) [36]

Co-medical staff のために (改定版)	
1) 異常なし	0
2) 狭窄音を聴取	1
3) 狭窄部位を触知	2
4) 静脈圧が VA 作製時に比べて (前回 PTA 後と比較して) +40 mmHg 以上上昇	(グラフト: 3)
5) 止血時間の延長	2
6) 脱血不良 (開始時に逆行性に穿刺)	5
7) 透析後半 1 時間での血流不全	1
8) シヤント音の低下	(自家: 2, グラフト: 3)
9) ピロー部の圧の低下	2
10) 不整脈	1
※3 点以上で DSA or PTA を検討	
第 II 版 (実地臨床医家向け案)	
〈大項目〉 【絶対早期 PTA 実施項目】	
1) 血流不全 (血流 200 ml/min 以下)	
2) 再循環による透析効率の低下 (10% 以上)	
〈小項目〉 【2 項目以上で DSA の実施, 3 項目以上で早朝 (7 日以内) DSA 実施】	
① 狭窄部位の触知 (駆血にて触知)	
② 狭窄音の聴取 (高調音の聴取)	
③ 静脈圧の上昇 (Graft 留置時と比較して 50 mmHg の上昇)	
④ 止血時間の延長	
⑤ シヤント音の低下 (Graft 吻合部, AVF run off vein)	
⑥ 不整脈	
⑦ ピロー部の圧の低下	

[池田 潔: 臨牀透析 2005; 21: 1607-1614<sup>15)</sup> より引用]

### 3.4 超音波画像診断装置の概要

超音波画像診断装置は近年、シヤント管理に頻繁に用いられており、本博士論文の第3章、第4章の研究でもシヤント超音波検査を用いた。ここでは、その概要について解説する。

超音波とは、人の可聴域（20～20kHz）を超える 20kHz 以上の周波数を持つ音波である [65]。医療の分野における超音波診断では、超音波を利用して生体内を画像化し、疾病の発見や程度の把握、治療効果の判定などに用いる。超音波診断は、装置が小型で繰り返し検査が可能なことや放射線を使わないこと等のメリットを有する。

超音波は媒質中を伝搬し、媒質の性質が異なる部位を通過する際に、反射、減衰、屈折などの現象が生じる。超音波プローブの振動子から送信された超音波が密度や性状（音速）が異なる媒質（生体組織）の境界面で反射し、その反射波を受信し電気信号に変換する。多くの振動子を用いてこれらの操作を行い、何度も順に走査することで1枚の超音波断層像が得られる。超音波断層像における反射の強さは、白黒のグレー階調で表現される。反射が強いと白く、反射が弱いと黒く描出される。反射の強弱は生体内の媒質固有の密度や音速によって決定される [65]。

次に、超音波画像診断装置のシステム構成と探触子（プローブ）について解説する。

#### 3.4.1 超音波画像診断装置のシステム構成

超音波画像診断装置システムの構成例を図 3-6 に示す。超音波画像診断検査装置は、超音波を発生・送信するとともに、生体内から反射した超音波（エコー）を受信する役割を持つプローブと、受信した信号やデータにさまざまな処理をする部分、そして画像を表示するディスプレイ部、外部機器との接続部に大分される [65]。以下にそれぞれの概要を記す。

- ① 制御回路：各回路やモニタをコントロールするための回路。近年デジタル化が進み、機能の拡張性や操作性の点からパーソナルコンピュータベースのものが多い。
- ② 送受信回路：送信回路では超音波パルスをつくるための電圧を発生させ、送信フォーカスやオブリークスキャン、電子セクタスキャンを行うための遅延回路がある。受信回路には受信遅延回路、フィルタの他、GAIN や STC (sensitivity time control) や TGC (time-gain control) の機能を備える。
- ③ ドプラ回路：ドプラ信号を処理するための回路である。カラードプラ (color wave doppler: CWD)、パルスドプラ (pulse wave doppler: PWD)、連続波ドプラ (continuous wave doppler: CWD) で必要な FFT (fast Fourier transform) 解析の回路がある。
- ④ DSC (デジタルスキャンコンバータ)：画像のメモリや処理 (リジェクション、ガンマ補正、グレースケール等)、またフリーズや信号の変換 (A/D⇒D/A) などを

行う部分である。

- ⑤ ディスプレイ (モニタ) : 液晶が多く用いられる。検査時にはブライトネスやコントラストの調整が必要である。
- ⑥ 記録装置 : サーマルプリンタやビデオカセットレコーダが多く使われている。近年ではハードディスクによる記録が主流である。

DICOM (digital imaging and communication in medicine) とは、医療におけるデジタル画像機器を共通で接続するための規格を指す。医用画像のフォーマットと、それらの画像を扱う医用画像機器間の通信プロトコルを定義した標準規格のことである。

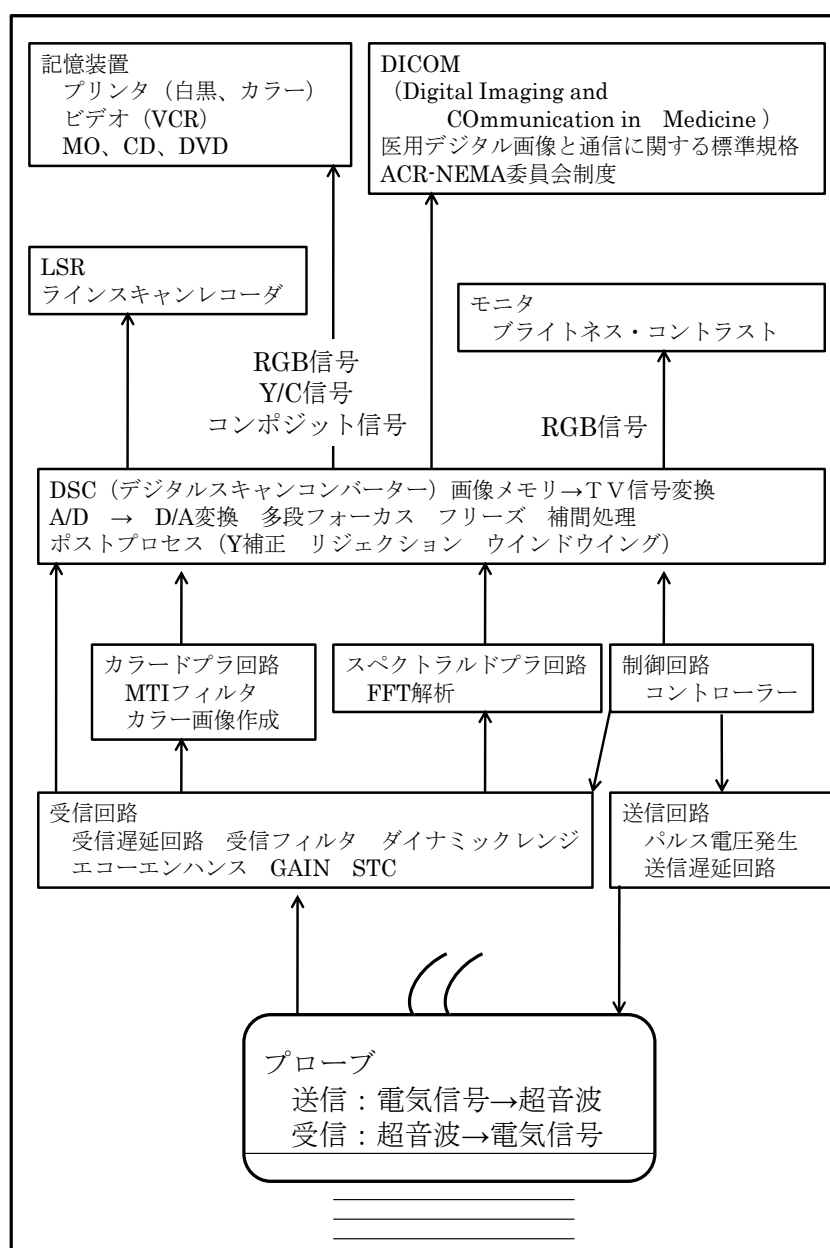


図 3-6 超音波画像診断装置のシステム構成 [65]

### 3.4.2 超音波プローブ

プローブは、超音波を発生するとともに、超音波ビームを送受信する上で非常に大切な媒体である [65]。超音波画像を走査するためのツールであり、超音波診断装置の主要構成部品である。プローブの持つ周波数帯域や特性が装置全体の性能や画質に大きく影響する。

血管の超音波検査に使用するプローブは、リニア型プローブである。プローブの選択には、検査の対象となる血管の深さを考慮する必要がある。

血管の深さが体表から 5~6Cm の場合は、頸動脈エコーに用いる高周波型リニア型プローブ、中心周波数 7~8MHz 程度のものが適当である。さらに高周波の 10MHz 以上のリニア型プローブは、上腕や前腕の動脈、足背動脈や後脛骨動脈のように体表から 3Cm くらいまでの浅在部血管の描出に用いる [7]。

プローブの内部構成は、先端（生体に接する面）部分から順に「音響レンズ」、「音響整合層（マッチング層）」、「振動子（素子）」、「バッキング（ダンパー）」という順に並んでいる。それぞれについて以下に解説する。

- ① **音響レンズ**：検査時に生体表面との摩擦を少なくするという目的もあるが、屈折を利用して超音波ビームを集束し分解能を向上するために配置されている。一般的には凸型で生体内音速よりも遅い素材（1000 m/sec 程度：シリコンゴム）を使用している。
- ② **マッチング層**： $\lambda/4$  層とも呼ばれ、振動子と生体間の音響インピーダンス差を少なくし、超音波を効率よく送受信するために多層配置される。
- ③ **素子**：振動子は超音波を送受信する部分。電圧を加えると振動して超音波を発生し、逆に振動すると電圧を発生するいわゆるトランスデューサーである。圧電素子とも呼ばれ、ピエゾ効果（圧電効果）を備える素材で作られている。圧電効果は水晶に代表される特性であるが、超音波診断装置では一般的にジルコン酸チタン酸鉛が使用されている。他にもポリフッ化ビニリデンなども用いられる。
- ④ **ダンパー**：振動子の背面に配置され、後方への超音波の伝搬を抑制する部分。パルス幅を短くするのに寄与している。

プローブは、検査対象となる臓器の大きさや深さ、動きの有無によって使い分ける必要がある。上述の通り、血管用にはリニア型が一般的に使用されるが、それ以外にも腹部用のコンベックス型、心臓用のセクタ型などがある。

また、穿刺や体腔等で使用する特殊プローブもある。図 3-7 に、一般使用される、コンベックス型、リニア型、セクタ型の形態と特徴を示す。

	コンベックス型	リニア型	セクタ型
			
主な周波数帯域	3.5-6.0MHz	7-12MHz	3.5-6.0MHz
分解能	リニア型より劣る	良い	コンベックス型より劣る
視野幅	広い	近距離の視野幅は広いが広域は狭い	近距離の視野幅は狭いが広域は広い
減衰	しにくい	強い	しにくい
パルスドプラ	使用可	使用可	使用可
連続波ドプラ	使用不可	使用不可	使用可
ドプラ入射角	ビームステアリング機能なし	ビームステアリング機能あり	ビームステアリング機能なし。ただしプローブの自由度が大きい
操作性	プローブ接地面が大きく観察部位が限られる	プローブの幅方向への傾けがしにくい	プローブが小さく操作しやすい

図 3-7 プローブの種類と特徴 [7]改変

### 3.5 超音波検査によるシヤント評価

超音波検査を用いたシヤント評価には大きくふたつの方法がある。ひとつは、血管走行や太さ、狭窄の程度などを中心に評価する形態評価である。もうひとつはシヤントに流れている血流量や血液の流れにくさなど、シヤント能力を機能的に評価する血流機能評価である。シヤント超音波検査では、まず血流機能評価によりシヤント血流状態を把握し、次いで形態評価で病変の検索を行い、臨床症状の原因を特定する。血流機能評価では一般的に、上腕動脈でシヤント血流量 (Flow Volume: FV) とシヤント血管抵抗指数 (resistance index: RI) を評価する。しかし、この手法に関しては未だ統一された手技が確立しておらず、各医療機関が独自の方法で行っている現状がある [7]。

以下に、シヤント超音波検査に用いる、超音波ドプラ法の概要と特徴、および形態評価と血流機能評価の特徴について解説する。

### 3.5.1 超音波ドプラ法

超音波ドプラ法は、送信した周波数がドプラ効果を利用し、生体内を移動する散乱体（血液中の赤血球）の方向と速度をドプラ偏位周波数として捉えるもので、散乱体の動く速度は次式（式3-2）で表される [7]。

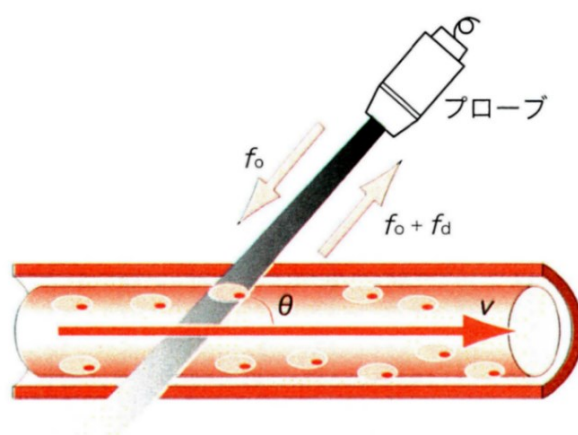
$$v = \frac{2c}{\cos\theta} \times \frac{f_d}{f_0} \quad (3-2)$$

$v$ : 散乱体の速度（血流速度）、 $c$ : 生体内の媒質固有の音速、

$\cos\theta$ : 血流に対する超音波ビームの入射角（ドプラ入射角）

$f_0$ : ドプラ偏位周波数、 $f_d$ : ドプラ参照周波数（リファレンス周波数）

生体内の媒質固有の音速（ $c$ ）は、1530 m/sec で  $c$  が一定である前提で設定されている。ドプラ送信周波数（ $f_0$ ）はプローブから送信される超音波の周波数であり、分子のドプラ参照周波数が増加するほど血流速度（ $v$ ）が増加する。また、血流速度（ $v$ ）は、角度依存性でドプラ入射角（ $\theta$ ）に依存し、 $\cos\theta$  が小さい（ドプラ入射角が大きい）ほど大きくなる。ドプラ法の原理を図4-3、ドプラ入射角  $c$  の角度補正誤差を図4-4に示す。超音波装置ではドプラ入射角による血流速度の誤差を補うため、血流方向に対してドプラ入射角度が平行（ $0^\circ$ ）になるよう角度補正できる機能を有する。ただし、ドプラ入射角（ $\theta$ ）が大きくなるほど角度補正誤差が大きくなり、特に  $60^\circ$ 以上では角度補正誤差が急速に大きくなる。検査者が適時変更可能な超音波装置の角度補正は  $0^\circ$ に近いほうが好ましい。



$v$ : 物体の速度（血流速度）、 $\cos\theta$ : 血流に対する超音波ビームの入射角（ドプラ入射角）、 $f_d$ : ドプラ偏位周波数、 $f_0$ : ドプラ参照周波数（リファレンス周波数）

図3-8 ドプラ法の原理 [7]

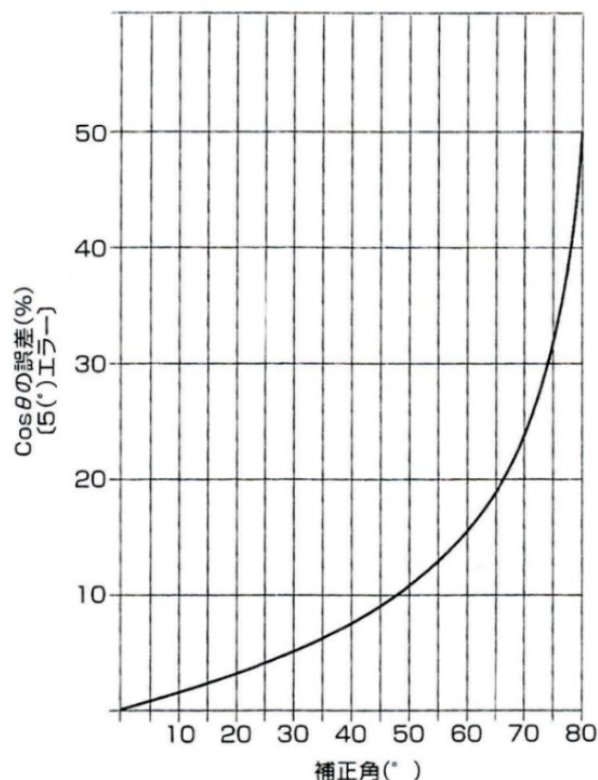


図 3-9 ドプラ入射角 ( $\theta$ ) の角度補正誤差 [7]

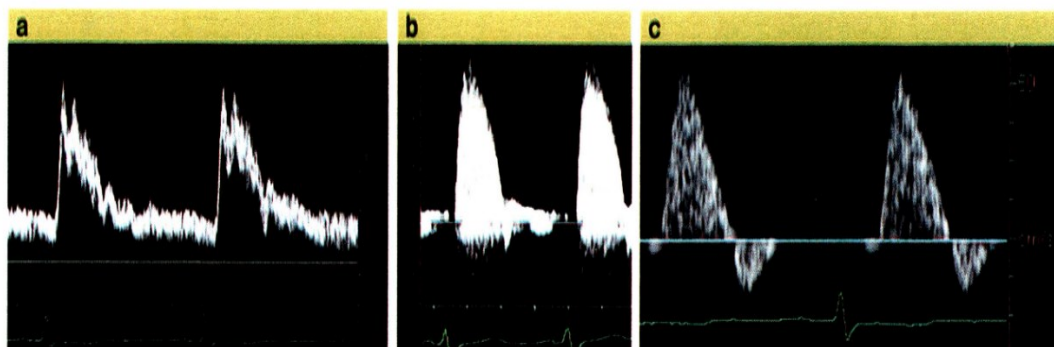
#### A) パルスドプラ法、連続波ドプラ法

パルスドプラ法は、中心周波数で決まる波長と波数の積からなるパルス幅をもつバースト波を、一定間隔で同一振動子から繰り返し送受信することで目的部位との距離の認識を可能とした手法である。

パルスドプラ法の周波数分析には、FFT を用い、血流速度（ドプラ偏位周波数）を時間で掃引するスペクトル表示が一般的である。スペクトラムの明るさは速度成分の強さを意味し、スペクトラムの幅は血流速度分布を示す。

連続波ドプラ法は、周波数（周期）と振幅（強さ）が一定な中心周波数のみからなる連続波を、送信と受信を別々の専用の振動子を用いて連続的に超音波ビームを送信、受信する方法である。連続波ドプラ法は、深度方向の分解能はないものの高速血流を計測できる利点を有する。連続波ドプラ法の周波数分析にはパルスドプラ法と同様に FFT 法を用い、スペクトラム表示する [7]。

パルスドプラ法はカラードプラ法に比べて、血流の方向や血流の時間変化と流速の分布を定量的に評価でき時間分解能に優れている。各ドプラ法における FFT 波形のスペクトラム表示を図 4-5 に示す。



- a:**パルスドプラ法、均一な血流速度分布であることから、血流分布の幅は狭いスペクトラム表示となる（層流・サンプルボリュームサイズ小）
- b:**連続波ドプラ法、送受信ビーム上の低流速から高流速までのすべての血流速度分布を表示することから幅広いスペクトラム表示となる
- c:**パルスドプラ法（乱流）、血流速度分布が低流速から高流速まで広く存在するため、連続波ドプラ法のような幅広いスペクトラム表示となる

図 3-10 FFT 波形のスペクトラム表示 [7]

連続波ドプラ法は、深度方向の分解能がなく、送受信ビーム上の低流速から高流速までのすべての血流速度分布を表示するため、幅広いスペクトラム表示となる。一方、特定部位におけるサンプルボリューム内の血流情報を得ることができるパルスドプラ法では、血流速度分布が均一な場合、スペクトラム表示幅は狭くなる。

しかし、サンプルゲート内の血流速度分布が不均一な場合、血流速度分布が低流速から高流速まで広く存在するため、連続波ドプラ法のような幅広いスペクトラム表示となる。血流が層流の場合、サンプルボリュームサイズを小さくすると血流速度分布が均一になり、サンプルボリュームサイズを大きくすると血流速度分布が不均一になる。一方で乱流の場合には血流速度分布は常に不均一である [7]。

## B) カラードプラ断層法

カラードプラ法は、同一振動子で送受信を行い、多方向に超音波ビームをパルス状に送信する。基本原理は前述のパルスドプラ法と同様で、受信ビームを多数の点で表示するため一度に多くの送受信を行う必要がある [7]。

物体（血球）の動く方向で反射波の位相が変化することを利用し、自己相関法によりドプラ偏移周波数の平均値を時間算出し、平均流速と血流方向をリアルタイムにカラー表示する。

また、速度表示におけるカラー表示の明暗は、ドプラ周波数分布を速度に換算したもので、高速血流の場合は高周波であるため明るいカラー表示となる [7]。



### 3.5.2 パルスドプラ法およびカラードプラ法の特徴

#### A) 折り返し現象 (aliasing)

送信されるパルス間隔 (T) と、その繰り返し周波数 (pulse repetition frequency: PRF) は式3-2で表される [7]。パルスドプラ法は、反射体の動きをパルス間隔で観測しているため、パルス繰り返し周波数 (Pulse Repetition Frequency: PRF) ごとの受信信号を得るには、送信周波数に応じて最大検出速度が制限される。この最大検出速度における周波数をナイキスト周波数と呼び、ドプラ偏位周波数がナイキスト周波数を超えると折り返し現象 (aliasing) が生じる。aliasingは式3-3で表される [7]。パルスドプラ法では、PRFの1/2までの周波数しか計測することができない。そのため、最大計測可能周波数を上げるにはPRFを上げる必要がある。

$$\text{PRF} = \frac{1}{T} \quad (3-2)$$

PRF: パルス繰り返し周波数、T: パルス間隔

$$F_{\text{dmax}} = \frac{\text{PRF}}{2} \quad (3-3)$$

$F_{\text{dmax}}$ : 最大検出周波数 (ナイキスト周波数)

#### B) 最大計測可能速度と最低検出可能速度

最大計測可能速度 (Velocity Maximum:  $V_{\text{max}}$ ) は式 3-4 で表される [7]。最大計測可能速度 ( $V_{\text{max}}$ ) を上げるには、PRF を上げるか、プローブの送信周波数を低くするか、ドプラ入射角 ( $\theta$ ) を大きくするか、ドプラ入射角 ( $\theta$ ) を大きくするかの何れかが必要である。しかし、ドプラ入射角が大きくなれば  $\cos\theta$  が小さくなるので、血流速度 ( $v$ ) は大きく表示され角度補正誤差が大きくなる。最低計測可能速度 (Velocity Minimum:  $V_{\text{min}}$ ) は式 3-5 で表される [7]。

$$V_{\text{max}} = \frac{c \cdot \text{PRF}}{4\cos\theta} \cdot f_d \quad (3-4)$$

$V_{\text{max}}$ : 最大計測可能速度、 $c$ : 媒質固有の音速、PRF: パルス繰り返し周波数、 $\cos\theta$ : 血流に対する超音波の入射角 (ドプラ入射角)、 $f_d$ : ドプラ参照周波数

$$V_{\min} = \frac{c \cdot \text{PRF}}{2n \cos\theta} \cdot f_d \tag{3-5}$$

V<sub>min</sub>: 最低計測可能速度、c: 媒質固有の音速、PRF: パルス繰り返し周波数、  
 n: 同一方向への受信回数、cosθ: 血流に対する超音波の入射角（ドプラ入射角）、  
 f<sub>d</sub>: ドプラ参照周波数

最低検出可能速度（V<sub>min</sub>）を下げるには最大計測可能速度（V<sub>max</sub>）を上げる場合と反対の操作を行い、同一方向への受信回数を多くする。しかし、このような操作はフレームレートを低下させるのでリアルタイム性が低下し、超音波減衰を大きくする。表 3-7 に、パルスドプラ法とカラードプラ法それぞれの特徴とそれぞれの一般的な改善策を記す。

表 3-7 パルスドプラ法およびカラードプラ法の特徴 [7]改変

	改善策	考慮と理解
折り返し現象	PW ではベースラインを変える	順行性の血流が有意になる
	PRF を上げる	視野深度が浅くなる
	低周波プローブに変える	分解能が低下する
最大計測可能速度	PRF を上げる	視野深度が浅くなる
	低周波プローブに変える	分解能が低下する
	ドプラ入射角を大きくする	60°以上で誤差が大きくなる
最低検出可能速度	PRF を下げる	リアルタイム性が低下する
	高周波プローブに変える	視野深度が浅くなる
	同一方向へ受信回数を増やす	分解能が低下する
	ドプラ入射角度を小さくする	
最大計測可能距離	PRF を下げる	リアルタイム性が低下する
	高周波プローブに変える	視野深度が浅くなる

PW : パルスドプラ法      PRF : パルス繰り返し周波数

### 3.5.3 シヤント血流機能評価（FV、RI）

超音波検査におけるシヤント血流機能評価は、上腕動脈 FV と RI の測定に集約されるが、それに加えて、パルスドプラ法による血流速波形のパターンからもシヤント評価が可能である。図 3-11 に、血流速波形パターンによる評価の分類を示す。血流速波形

パターンによる評価では、波形を計測する必要がなく、視覚的に半定量的な評価が可能である。その他に、拍動係数 (pulsatility index: PI) や収縮期最高血流速度、拡張末期血流速度などの指標も有用であるとの報告もあるが、FV と RI 以上の有用性は、これまでに見出されていない [7]。

AVG の血流機能評価は、人工血管内の FV を指標とするのが一般的である。AVG は、狭窄病変により FV が低下しても RI はほとんど変化しない(血流速波形が変化しない)ため、AVG では RI を指標とすることができない [7]。

以下に、FV と RI の算出式と、測定部位として上腕動脈が適切な理由、および基準値の解釈について解説する。

	I型	II型	III型	IV型	V型
波形					
収縮期	急峻な立ち上がりから拡張期へ連続	急峻な立ち上がりから、一時、急速に低下	急速に低下し、切痕を認める	切痕に一致して逆流成分を認める	IV型同様に、逆流成分を認める
拡張期	なだらかに低下	なだらかに低下	減弱	減弱	消失
病変の有無	大部分は狭窄・閉塞を認めず	狭窄率50%未満	狭窄率50%以上または50%未満	狭窄率50%以上	本幹完全閉塞
補足	側副血行路が発達している症例では、狭窄の存在は完全には否定できない				

図 3-11 血流速波形パターンによる評価の分類 [7]

### A) シヤント血流量 (FV) 算出式

FV は動脈から吻合部を介してシヤント静脈に流入する血流量を表す指標である。FV は、パルスドプラにて血流速度を求め、血管短軸断面を正円と仮定したときの断面積を掛け合わせるにより算出する。以下の図 3-12 に、シヤント血流機能の一般的な測定手順を示す。

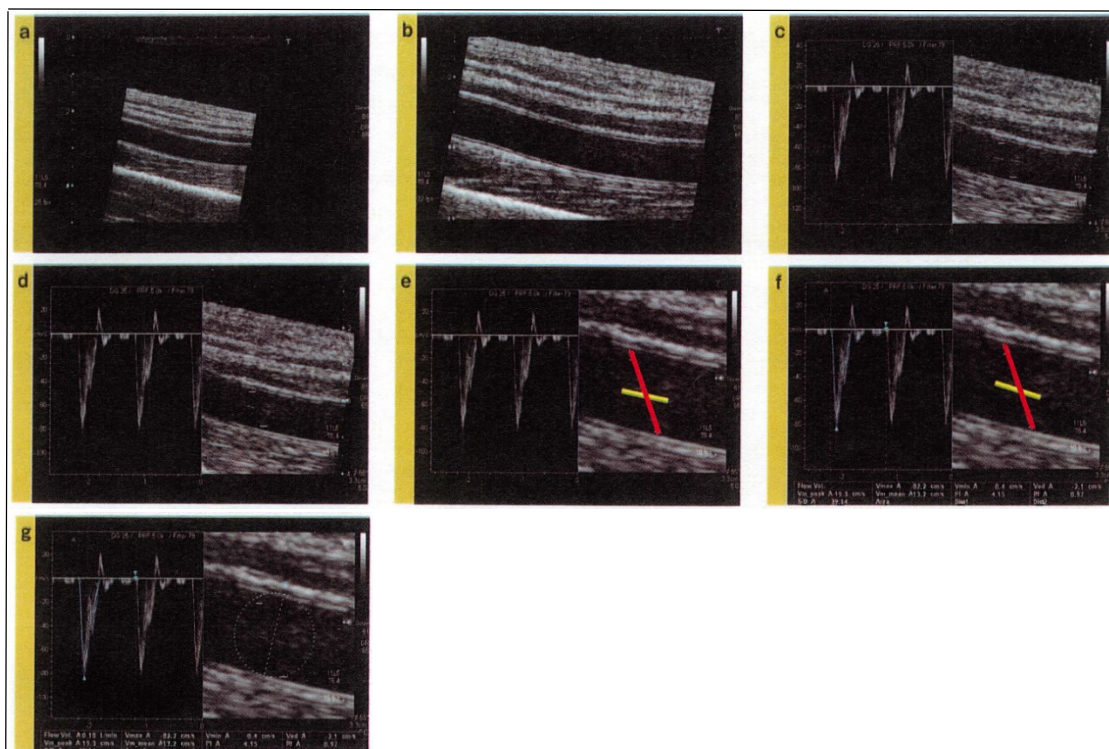
FV は、上腕動脈で測定することで、橈骨動脈側のシヤントなら尺骨動脈からの迂回血流を、尺骨動脈側のシヤントなら橈骨動脈からの迂回血流を加味することができるため、測定部位として最も実際のシヤント流入血流を反映される。シヤント静脈に狭窄等の通り難い個所が発生すると、上腕動脈の血流も滞るため、FV は低

下する。FVの算出式を式3-6に示す [7]。

$$FV(\text{ml}/\text{min}) = Vm - \text{mean}(\text{cm}/\text{s}) \times \text{血管面積}(\text{cm}^2) \times \frac{60(\text{s})}{100} \quad (3-6)$$

Vm-mean: 時間積分値の平均血流速度

血管面積: 血管断面を正円としたときの血管径より求められた断面積



- a) 測定部の上腕動脈や人工血管を長軸断面で描出する
- b) 画面をやや拡大する
- c) 血管壁をクリアに描出する
- d) パルスドプラを入射する
- e) サンプルボリュームの幅、位置を設定する
- f) 血流とパルス波の入射角度を **60** 度以内にする
- g) 断層像を拡大する
- h) 一心拍分の血流速度波形をトレースする (平均血流速度の自動トレースが良い)
- i) 血管径を計測する (血管内膜間距離を計測する)

(使用する超音波診断装置により手順は異なる。また、事前に FV と RI を算出する装置設定が必要となる場合がある。)

図 3-12 FV、RI の測定手順 [7] 改変

## B) シヤント血管抵抗指数 (RI) 算出式

RI は、末梢への血流の流れにくさを反映する指標である[7]。AVF 作製前の上腕動脈における RI は、ほぼ 1.0 に近いが、AVF 作製後は低くなり、静脈の発達とともにさらに低下する。しかし静脈などに狭窄が発生すると末梢血管抵抗が上がるために RI は高くなり、狭窄の進行とともに AVF 作製前の状態に近づいていく。RI の算出式を式 3-7 に示す [7]。

$$RI = \frac{V_{peak} - V_{ed}}{V_{peak}} \quad (3-7)$$

$V_{peak}$  (peak systolic flow velocity) : 収縮期最高血流速度 (cm/sec)

$V_{ed}$  (end diastolic flow velocity) : 拡張末期血流速度 (cm/sec)

RI は、パルス波の入射角度に左右されず、血管径の計測も必要がないため、FV と比べて測定値に影響する因子が少ないというメリットがある。また測定自体が容易なため、狭窄病変発生の予測やスクリーニングに良い指標である。

ただし、測定部より中枢の動脈(腋窩動脈、鎖骨下動脈)に狭窄や閉塞病変が存在する場合は、末梢に高度な狭窄が存在しても血管抵抗が繁栄されず、評価として用いることはできない。

また AVG 症例や上腕動脈の高位分枝症例も対象外である。以下に、FV と RI 測定時の超音波検査画像を記す。

## C) シヤント血流機能評価の測定部位

AVF の血流機能評価の指標を測定する部位は 3.5.3. A) に記した通り、上腕動脈を選択することが、安定性・再現性の観点から最良であるというコンセンサスが得られている [7]。ただし、上腕動脈血流量は、AVF 機能を鋭敏に反映するものの、シヤントそのものの血流量ではないことを認識しておかなければならない。

血流機能評価を橈骨動脈やシヤント静脈で測定するという選択肢もあるが、それらの部位では、正確度、精密度、シヤントの血行動態を考慮すると、標準的検査法として用いるには問題点が多い。特に静脈における血流量測定は、血流プロファイルが複雑で安定していないことや血管短軸断面が正円となりにくいいため、精度よく測定することは容易ではない。血流機能評価を上腕動脈で測定する理由と他の測定部位における問題点を表 3-8 に示す。

なお、AVG は人工血管内の血流量を測定することにより血流機能評価を行う。AVG は AVF と異なり、シヤントそのものの血流量を測定することが可能である [7]。

表 3-8 血流機能評価の測定部位 [7]改変

上腕動脈での評価	橈骨動脈での評価	シヤント静脈での評価
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 末梢の動脈に比べて太く、血管径の計測誤差が血流量に与える影響が少ない</li> <li>● 末梢の動脈に比べて石灰化が少ない</li> <li>● 手掌動脈弓から迂回してシヤントに供給される血流も加味できる</li> <li>● 尺骨動脈吻合のシヤントにおいても評価が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 手掌動脈弓から迂回してシヤントに供給される血流が加味できない</li> <li>● 石灰化が強い症例の割合が高く、その場合は測定が困難</li> <li>● 上腕動脈に比べて細く、血管径の計測誤差がFVに与える影響が大きい</li> <li>● RIの評価が困難 (RIは反映されにくい)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 吻合部近傍の静脈は乱流、ジェット流が発生し血流が安定していない</li> <li>● 静脈は圧迫されやすく血管断面が正円とならない場合が多い</li> <li>● 分枝血管がある場合は正確な評価が困難</li> <li>● 吻合部直上の静脈は狭窄が発生しやすく血流量測定は困難</li> <li>● RIの評価ができない</li> </ul>

#### D) FV・RIの基準値

FVは、一般的に検査者間による差や再現性が問題視されることが多い [7]。しかし、誤差発生の変因を理解し、トレーニングを積むことにより信頼性の高いデータを得ることが出来る。また高血流量の症例 (FV: 1500 mL/min 以上) では多少誤差は大きくなるが临床上は問題とならず、境界領域の症例 (FV: 300~500 mL/min) において正確に測定することが重要である。

VAガイドラインでは、AVFにおいてFVが500 mL/min未滿、またはベースの血流量より20%以上減少している場合は、狭窄病変が発現している可能性が高いとしている [6] [66]。また村上らは、RIのカットオフ値を0.6とすると、透析施行時の血流不良例の感度を100%にできると報告している [67]。

山本らの報告でも同様に、FV 500 mL/min と RI 0.6 がおおむね相関するとしており、スクリーニングのカットオフ値としては、これらの値が最良であると考えられている (図 3-13) [7]。

しかし、これらの値より不良であっても透析施行時の脱血不良などのトラブルを認めない症例も比較的多く、ただちに治療対象となるわけではない。透析施行時の脱血不良が発生するカットオフ値は、FVがおおよそ350 mL/min 付近 (感度: 87.7%、特異度: 91.4%)、RI 0.68 付近 (感度: 75.4%、特異度: 82.4%) であり (図 3-14、図 3-15)、FVは300~380 mL/min 程度、RI 0.7~0.8 程度が脱血不良発生やVAIVTなどの治療を考慮する目安になると考えられるが、これらにおいては明確化されている

わけではなく、今後さらなる検討が必要である。

AVGにおいては、VA ガイドライン [6]において、FV が 650ml/min 未満、またはベースの血流量より 20%以上の減少は狭窄病変が発現している可能性があるとしている [67]。しかし、AVG の FV は、移植するグラフト径、動脈や静脈の性状、心機能、血圧、全身状態などによっても左右される。また、FV が良好で透析時のトラブルを認めないにもかかわらず、突如として閉塞することもめずらしくなく、一律にカットオフ値を設定することが困難である。よって、個々の FV の経時的変化も重要な情報となるため定期的なモニタリングが推奨される。

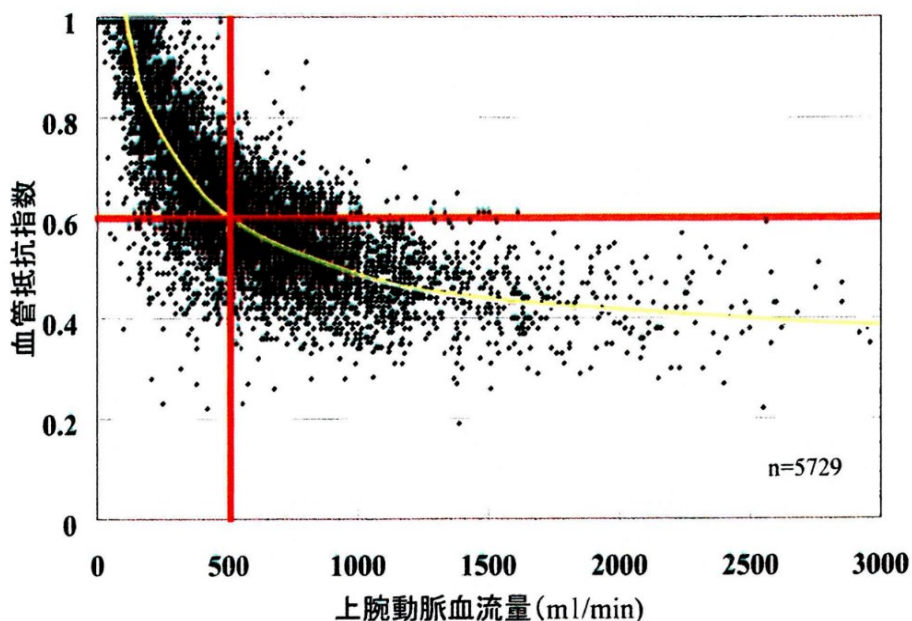


図 3-13 FV と RI の相関 [7]

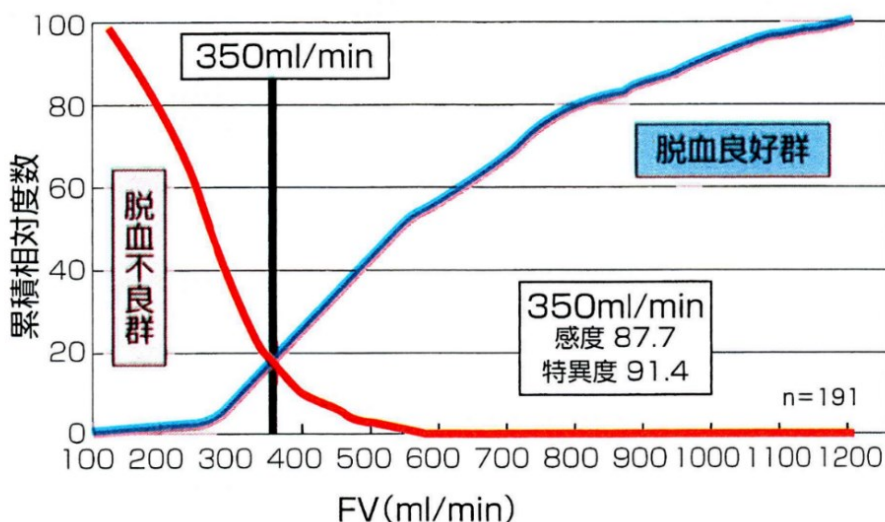


図 3-14 脱血不良症例と良好な症例における FV の累積相対度数 [7]

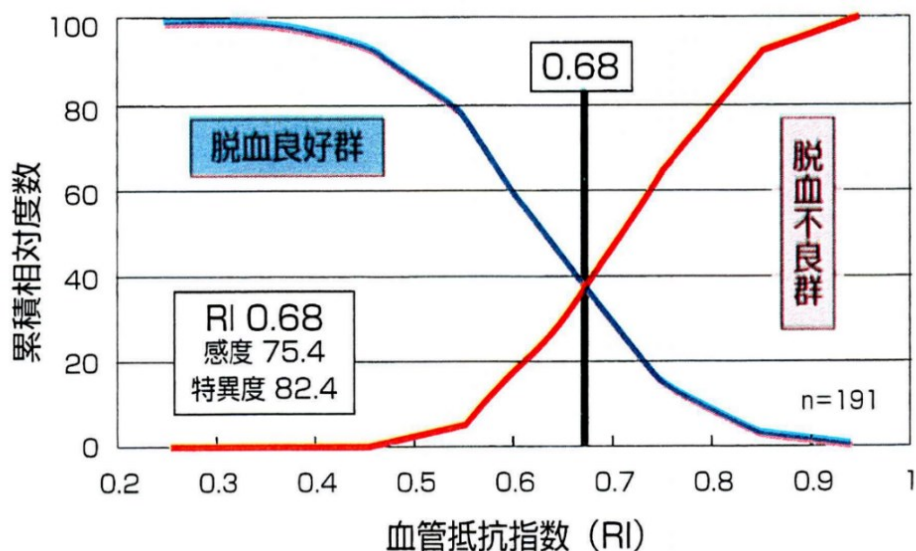


図 3-15 脱血不良症例と良好な症例における RI の累積相対度数 [7]

シヤント血流機能評価ではシヤント血流動態を数値化できるため客観性があり、経時的な変化を観察することができるという大きなメリットがある。よって、検者は信頼性の高いデータを出すように努めなければならない。さもなければ、数値で評価できるということがかえって大きなデメリットとなる。今後、他施設とのデータ共有や比較を厳密に行うためには、統一した検査法の確立が急務であるといえる。

### 3.5.4 シヤント形態評価

シヤント超音波検査における形態評価の意義は、シヤントトラブルや血流機能低下の原因となっている病変の検索とその診断を行うことと、血管走行全体の把握にある。AVF、AVG ともに血管走行は長軸断面・短軸断面の両断面にて観察を行う。また、解像度が高くカラーのブルーミングが少ない Advanced Dynamic Flow (東芝メディカルシステムズ社)、Directional-eFlow (アロカ社)、B-Flow color (GE ヘルスケア・ジャパン社)、Fine Flow (日立メディコ社) などの機能を用いると、血管走行の把握や狭窄病変の検索が容易になる [7]。

AVF の形態評価は、動脈～吻合部～静脈の順でプローブ走査を行う [7]。動脈系は、上腕動脈から末梢側へ向かって走査し、吻合動脈 (多くは橈骨動脈) を観察する。観察事項は、血管径、石灰化や内膜肥厚の有無、狭窄の検索と評価である。また、上腕動脈が橈骨動脈と尺骨動脈に肘関節部付近で分岐することを確認する。まれに、上腕動脈の分岐が中枢側に位置する高位分岐症例が存在するので注意する [7]。



吻合部の観察は、動脈・吻合部・静脈を1画面に描出すると、吻合形態（端側吻合や側々吻合など）や吻合部の狭窄病変を観察しやすい。

静脈系は、吻合部から中枢側へ向かって観察する。静脈は、吻合部から5cm以内が狭窄の好発部位である。橈骨動脈-橈側皮静脈吻合のAVFにおいては、橈側皮静脈を中枢側へ向かって走査する。肘関節部の手前で深部静脈交通枝が合流し、肘正中皮静脈と肘部の橈側皮静脈に分岐するが、肘関節部付近の血管走行は多岐にわたる。静脈高血圧症や静脈圧上昇を呈する症例などは、腋窩静脈より中枢の中心静脈領域や上腕橈側皮静脈が鎖骨下静脈に合流する部位（cephalic arch）も観察する。特に、吻合部が肘窩部のAVFなど、橈側皮静脈のみのルートで流れているシヤントにおいて、cephalic archは狭窄の好発部位であるため観察が必要となることが多い [7]。

AVGの形態評価は、動脈側吻合部～人工血管～静脈側吻合部～流出路静脈の順でプローブ走査を行う。AVGは、AVFとは異なり血管走行が単純であり、狭窄の好発部位は流出路静脈が圧倒的に多い。その他の狭窄発生部位は、人工血管の穿刺部や動脈側の人工血管流入部などである。超音波検査が有用と考えられる形態評価の項目は、①狭窄の局在診断と狭窄の程度、②瘤の局在診断と大きさ、③シヤント血管走行、血管径、血管の深さ、④Collateral血管の局在診断と血管径、⑤穿刺部における血管径と血管壁の性状、⑥非血栓性閉塞の局在診断とその範囲、⑦血管の石灰化、内膜肥厚の程度、⑧血栓の局在診断とその性状、⑨弁様構造物の描出などである。図3-16には、シヤント肢における狭窄の発生部位とその頻度を示す。

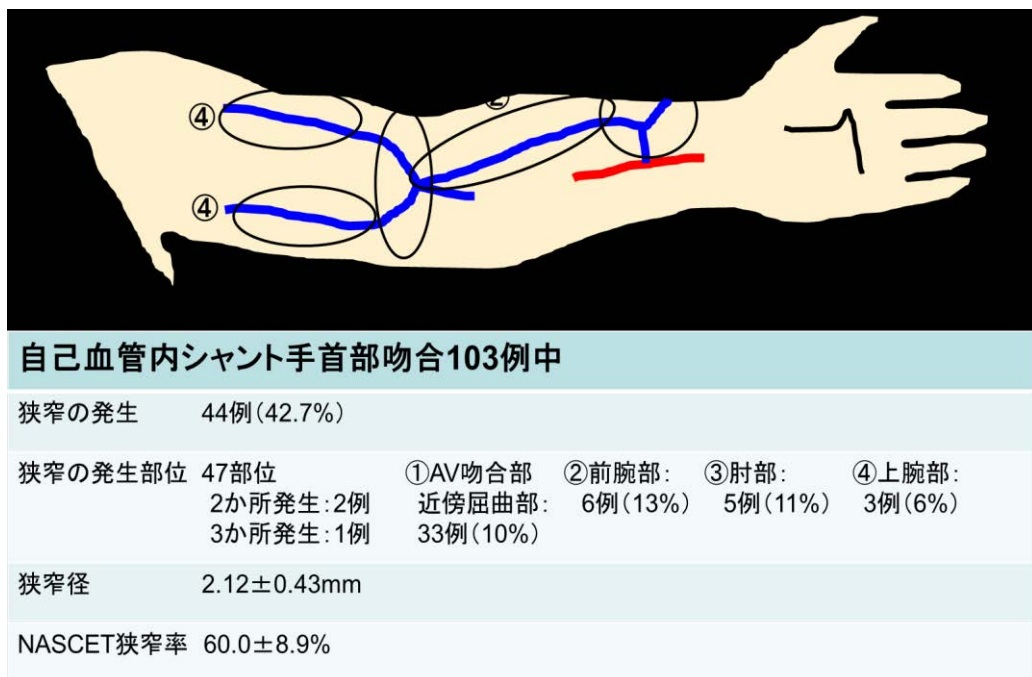


図3-16 シヤント肢における狭窄の発生部位と頻度 [7]

## 3.6 シヤントの治療

### A) VAIVT (vascular access intervention therapy)

シヤント閉塞時の治療法として、血栓の量が少ない場合は、バルーンによる経皮的血管形成術 (percutaneous transluminal angioplasty: PTA) 治療を行う。PTA は、静脈および動脈から血管閉塞部位へバルーンカテーテルをアクセスし、血管形成を行う術式である。これのみで再開通が可能な場合もあるが、血栓量がある程度以上あれば、バルーン PTA の前に経皮的な血栓溶解療法、血栓除去術、血栓吸引法などで血栓を処理する必要がある [36]。

血栓溶解療法では、ウロキナーゼやヘパリン加生理食塩水の薬剤にて血栓の溶解を試みる方法である。血栓除去療法と血栓吸引療法は、専用のカテーテルを用いて血栓を除去する方法で、迅速な処置が可能であるが、排液量 (出血量) のモニタリングが必要な治療法である。

### B) 外科的治療

外科的治療とは、一般的にシヤントの外科的再建術のことである。血栓性閉塞であっても閉塞後、長時間経過していれば VAIVT の成功率が低下することから、外科的治療の適応となる [68]。手術は血栓除去カテーテルを用いて血栓除去術を施行する。血栓除去術が不十分な場合は、動静脈再吻合術、あるいは人工血管を用いたバイパス術を施行する。非血栓性閉塞に対しては、ガイドワイヤーが通過すれば VAIVT が可能である。閉塞部をガイドワイヤーが通過すればほとんどの場合、バルーン PTA などの拡張のみで再開通が可能である。ガイドワイヤーが非通過の場合は、外科的再建術が必要となる。

### C) 治療条件

シヤントの狭窄率が 50%以上であり、下記の臨床的・医学的異常が一つ以上認められる場合、治療を行うことを検討する必要がある [36] [69]。

- ① 血流不全: 吻合部方向に向かって穿刺し、脱血が 180 mL/min 以下の状況が複数回生じれば血流不全を疑う。
- ② 静脈圧の上昇: 静脈圧が上昇傾向を示し、50mmHg 以上の上昇値がみられた場合や常時 150mmHg 以上の圧が持続した場合。これらの場合は、同時に止血時間の延長もみられることが多い。
- ③ 血中尿素窒素の異常高値、再循環による透析効率の低下: 透析効率 10%以上の低下がみられた場合。
- ④ 異常な身体所見

### 3.7 背景

近年、シヤントの維持管理において、非侵襲的で比較的簡便にその機能を定量可能な超音波検査が頻要されている [70][71]。超音波検査はシヤントの血流機能と形態における生体情報を直接診断できる点で他法よりも優れている [72]。

ところが、シヤント血流機能の指標であるシヤント血流量 (Flow Volume: FV) とシヤント血管抵抗指数 (resistance index: RI) は、測定条件の中に透析に伴う血圧変化やその他の生体パラメータの変化が全く加味されていない。現在、シヤント超音波検査を患者に施行するタイミングは、透析前や透析後など、施設の独自基準に委ねられている [73]。よって、もし透析中に FV や RI が随時変動していれば、透析前後でも相応の差が生じている可能性がある。

実際、透析を施行した際、血圧等の各種生体パラメータの変動に対して、FV、RI が全く影響を受けないはずはない。透析中においてその要因が関与していると疑われる事象は数多く見受けられる。例えば、透析中には何の前触れもなく突如シヤント血流不全に陥ることがあるが、その主たる原因は血圧低下に伴う FV の低下である可能性が高いと考えられる。また、一般的な透析効率の指標で、明確な理由がないにもかかわらず十分な効率を得られない事例を経験することがあるが、この例も透析中における FV の変動により、一時的および継続的に生じた脱血不良が、透析効率 [74]の低下に関与している可能性がある。

ただ、それら予想される透析中の FV 変動が、血圧のみに依存しているかという点、そうとも限らない。筆者らは過去に、透析前・後で超音波検査による FV を比較検討してその要因を考察した [73]が、その中で、血圧と FV に有意な相関は見られなかった。一般的には FV と血圧は相関関係にあるといわれるが、血圧は心拍出量や抹消血管抵抗、および自律神経機能等の様々な因子によって支配されている [46][47]ため、必ずしもその変動に比例してのみ FV が変動するとは限らない。

また、FV の変動による透析効率の変化については、透析効率の指標自体が透析中の経時変化を測る機能を有していないため [75][76][77]、これまでから見過ごされていた可能性もある。もしそうであるならば、透析中における FV の変動とその要因を特定することは、今後のシヤント血流機能評価の測定条件を統一化する上で意義が高い。また、更に高いレベルでの至適透析を目指す上でも必要なことである。

今回、透析中における FV の変動傾向を調べ、FV の変動に寄与する要因を、血圧やシヤント狭窄、および血管石灰化や年齢、透析歴などの計 17 項目の生体パラメータの中から抽出できるか試みた。

本研究において、超音波検査によるシヤント血流機能評価の測定条件や予期せぬ脱血不良、および透析効率の低下に対する知見が得られることを期待する。

### 3.8 目的

本研究の目的は、透析中における経時的な上腕動脈 FV と透析膜内へ流入している血流量（実血流量）、および血圧の変動傾向と関連性を明らかにし、透析中の FV と実血流量の変動に影響を与える諸因子を抽出することとした。

### 3.9 対象

対象は、透析患者 64 例（男性 30 例、女性 34 例）であり、シヤントを保持し、4 時間透析を施行している者とした。対象のシヤントの内訳は、前腕シヤント 49 例、肘部シヤント 13 例、上腕シヤント 3 例であった。

原疾患は、糖尿病性腎症 33 例、慢性糸球体腎炎 15 例、腎硬化症 6 例、IgA 腎症 4 例、急速進行性糸球体腎炎 3 例、多発性のう胞腎 2 例、不明 1 例であり、平均年齢は  $67.8 \pm 4.5$  歳、平均透析歴は  $7.1 \pm 5.2$  年、平均シヤント歴〔開存期間〕は  $4.5 \pm 2.3$  年であった（mean $\pm$ SD）。

なお、倫理的配慮として、患者から説明と同意を得た上で、綾部市立病院倫理委員会の承認を得た。

### 3.10 方法

#### 3.10.1 観察期間・測定方法

観察期間を 2 ヶ月とし、対象全例に対して、透析開始時（0h）、1.5 時間時（1.5h）、2.5 時間時（2.5h）、終了時（4.0h）の時間帯に、FV、実血流量、収縮期血圧（systolic blood pressure : SBP）、拡張期血圧（diastolic blood pressure : DBP）を測定し、以下の（1）～（5）の項目について検討した。

#### 検討事項

- （1）透析中の FV、実血流量、血圧の推移
- （2）FV、実血流量、血圧の相関解析
- （3）FV 低下群/不変群の分類
- （4）FV 低下群/不変群における血圧推移の比較
- （5）FV 低下に寄与する因子の抽出（17 項目）（表 3-9）

FV の測定は、無侵襲で定量評価が可能な超音波パルスドップラー法を用い、過去の報告でもコンセンサスが得られている上腕動脈で測定した [7]。測定時には、血液ポンプと透析液供給を 30 秒間停止させ、安定した血流波形を得た後に測定した。その他の

測定条件は、過去の報告 [7] [78]を基に表 3-10 の通りとした。なお、FV 算出式は、式 3-6 の通りとした。

表 3-10 シャント血流機能の測定条件

測定法	超音波パルスドプラ法
測定部位	上腕動脈肘関節部正中断面（測定箇所が毎回ずれないように、観察期間中はマーキングペンにて印を付け、測定部位を固定した）
超音波入射角度	40 度以内
サンプルボリューム幅	血管径最大値
血管計測部位	血管壁近位側の内膜前縁間距離（前縁-前縁法）
血流波形トレース	Vmean（3～5 拍の平均的な波形）
超音波診断装置	LOGIQ-e®（GE 横河社）7.5～12MHz リニアプローブ
計測回数	3 回計測で±10%以内の中間値を採用

図 3-17 に FV 測定に用いた超音波検査装置 LOGIQ-e® と上腕動脈 FV 測定風景を示し、図 3-18 に上腕動脈での FV 測定時血流波形画像を示す。

FV は、対象全例における計 262 回の透析から採取し、262 回×各透析（0、1.5、2.5、4.0）時間値=1048 回を採用値とした。尚、これらの採用値は全て 3 回の測定値の平均値をもって一つのデータと定めたため、総測定回数は 1048×3 回の 3144 回であった。

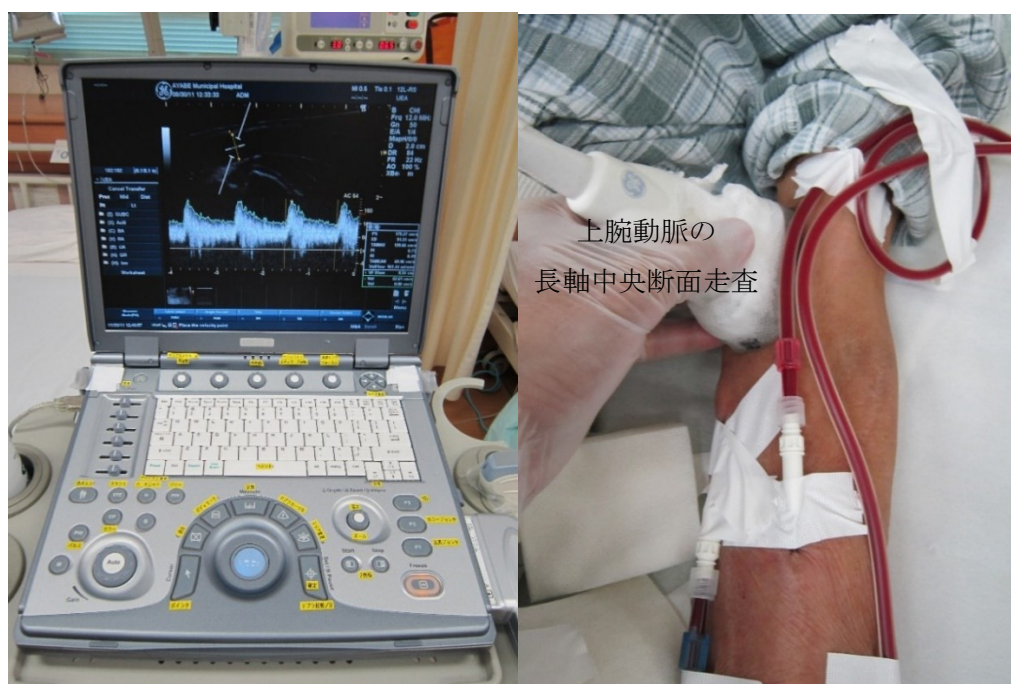


図 3-17 超音波検査装置「LOGIQ-e®」と上腕動脈 FV 測定風景

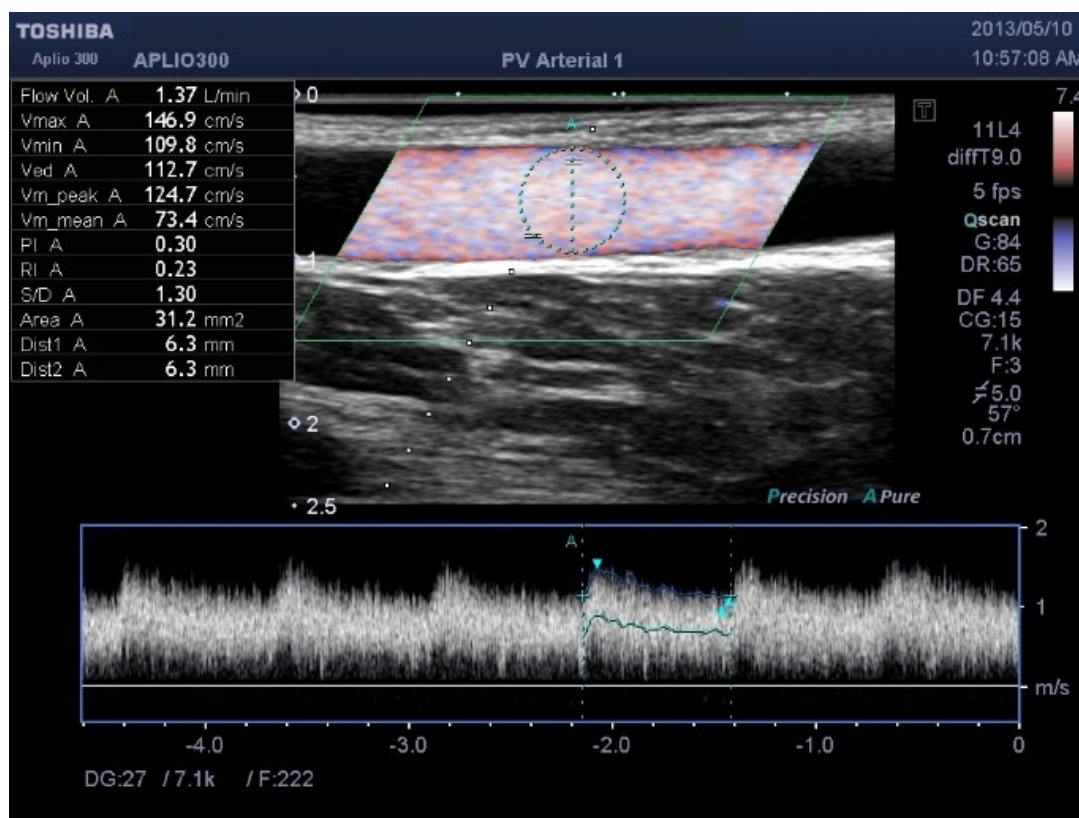


図 3-18 上腕動脈 FV 測定時の画像

実血流量の測定は、3.3.C に示した通り、血流測定装置 HD02<sup>®</sup> (ニプロ社製) を用い、メーカー推奨の手技で測定した [79] [80]。実血流量の測定に用いた HD02<sup>®</sup> の測定風景を図 3-19 に示す。HD02 による血流量は、A 側回路、V 側回路に専用のアダプタを装着することでモニタ本体の血流量表示部に血液回路内血流量が表示される。

SBP と DBP の測定は、透析監視装置に付属するオシロメトリック法を用いた非観血式血圧計を用いて行った。測定はメーカーの推奨する測定手順に則って実施した。また、測定回数は、実血流量、SBP、DBP の何れも FV と同様で、計 262 回の透析から採取し、262 回×各透析 (0、1.5、2.5、4.0) 時間値=1048 回であった。

図 3-20 には、測定値を記載するために使用したデータ記入表を示す。

なお、対象全てにおいて、穿刺針はメディカットカニューラ 16G 針 (側孔あり) を使用し、透析膜と血液回路の凝血がないこと、シャント不全がないことをデータの採用条件とした。

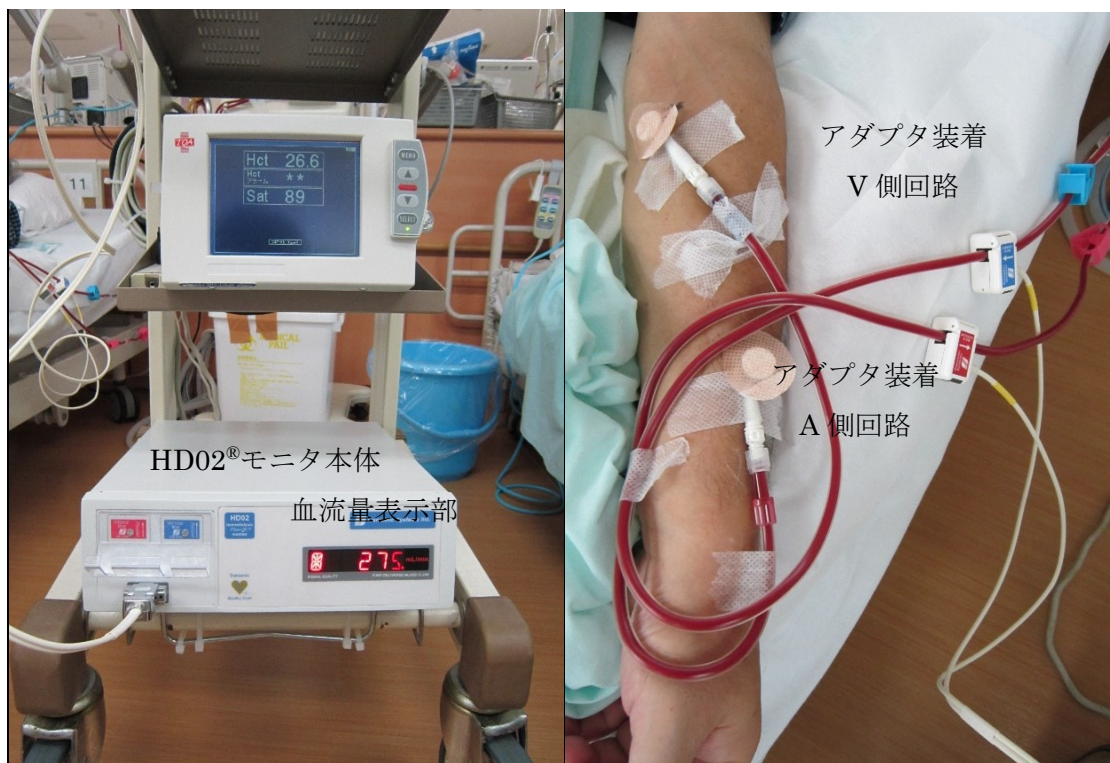


図 3-19 HD02®による実血流量測定風景

日付( 9/2 ) 曜日( 木 )				
氏名( )	透析開始時	1.5時間	2.5時間	終了時
超音波血流量(ポンプ停止)	217	185	145	
RI(ポンプ停止)	0.63	0.33	0.67	
超音波血流量(透析中)	198	189	134	
RI(透析中)	0.70	0.44	0.68	
HD-02(血流量)	218	223	228	212
最高血圧	112	112	103	100
最低血圧	61	62	61	73
時間除水積算値	0	1.31	2.87	3.34
ΔBV(Ht)	34.5	44.7	40.9	44.5
静脈圧	116	226	208	221

氏名( )	透析開始時	1.5時間	2.5時間	終了時
超音波血流量(ポンプ停止)	1286	1187	1231	
RI(ポンプ停止)	0.87	0.34	0.45	
超音波血流量(透析中)	1212	1066	963	
RI(透析中)	0.50	0.39	0.41	
HD-02(血流量)	255	244	250	242
最高血圧	143	141	153	135
最低血圧	75	71	68	74
時間除水積算値	0	0.86	1.49	2.13
ΔBV(Ht)	29.6	31.2	32.2	33.1
静脈圧	112	111	107	127

氏名( )	透析開始時	1.5時間	2.5時間	終了時
超音波血流量(ポンプ停止)	297	226	234	
RI(ポンプ停止)	0.43	0.48	0.52	
超音波血流量(透析中)	218	214	265	
RI(透析中)	0.57	0.47	0.45	
HD-02(血流量)	230	236	234	236
最高血圧	190	160	146	157
最低血圧	94	78	74	71
時間除水積算値	0	0.54	0.94	1.27
ΔBV(Ht)	28.8	28.9	30.5	31.7
静脈圧	135	111	114	119

氏名( )	透析開始時	1.5時間	2.5時間	終了時
超音波血流量(ポンプ停止)	269	205	265	
RI(ポンプ停止)	0.57	0.51	0.44	
超音波血流量(透析中)	218	239	266	
RI(透析中)	0.57	0.45	0.44	
HD-02(血流量)	265	260	280	265
最高血圧	128	128	140	142
最低血圧	66	58	70	73
時間除水積算値	0	0.44	0.76	1.08
ΔBV(Ht)	29.9	30.1	30.7	31.1
静脈圧	135	129	126	140

氏名( )	透析開始時	1.5時間	2.5時間	終了時
超音波血流量(ポンプ停止)	1206	1293	1059	
RI(ポンプ停止)	0.51	0.54	0.46	
超音波血流量(透析中)	1114	983	1159	
RI(透析中)	0.54	0.52	0.52	
HD-02(血流量)	257	250	241	244
最高血圧	139	136	135	147
最低血圧	67	66	62	70
時間除水積算値	0	0.31	0.72	0.95
ΔBV(Ht)	31.8	31.3	32.0	32.6
静脈圧	120	152	110	111

図 3-20 研究データ記入表

### 3.10.2 検討事項（1）～（5）

- (1) FV、実血流量、血圧の各項目における透析中の推移を正確に判別するため、測定値を式 3-8 において変化率に換算し、各時間値（1.5、2.5、4.0h）における時系列変化を比較検討した。

$$\text{FV 変化率 (\%)} = \frac{\text{各経過時間値}}{\text{透析開始値}} \times 100 \quad (3-8)$$

- (2) (1) と同様に、FV、実血流量、血圧変化率の推移を算出したうえで、そのデータを散布図に置き、FV と実血流量の相関、FV と血圧の相関、経過時間別の FV と実血流量の相関、経過時間別の FV と収縮期血圧の相関、経過時間別の FV と拡張期血圧の相関について解析した。
- (3) FV 低下群/不変群の分別は、一回の透析における「透析開始時と終了時」の二点で比較し、終了時の FV 値が開始時よりも 20%以上低下した場合を「FV 低下群」に、20%未満であった場合を「FV 不変群」に分別した。次いで、FV 低下群/不変群の各群における時系列比較と各時間値別の群間比較を行った。20%という境界値の設定については、Vascular Access Society において推奨されている CNS ガイドラインの基準に則って定めた。CNS ガイドラインでは、FV が 500ml/min 未満の場合、もしくは基準の FV より 20%以上の減少した場合、シャントトラブルのハイリスク群に属すると報告されている [6]。
- (4) FV 値の変化に対する血圧の追従性を評価するため、FV 低下群/不変群における血圧変化率の時系列比較と各時間値別の群間比較を行った。
- (5) 透析中の FV 低下に寄与する因子を抽出することを目的に、FV 低下群/不変群の表 3-9 に示す各項目に対する寄与率の差を、分割表分析にて比較検討した。各項目の境界値は、一般的に知られる基準値を基にして定めたが、A) シャント歴、C) 年齢、E) シャント蛇行、L) 平均除水量、O) シャント血管石灰化に関しては筆者が任意に設定した。Q) のシャント血管拡張率の測定には、血流依存性血管拡張反応 (flow-mediated dilation: FMD) の手法 [81][82]を応用した。測定方法は、まず透析前に安静仰臥位にてシャント血管内径を超音波 B モード法にて計測し (シャント吻合部より 5cm 中枢側の狭窄がない部位)、これを安静時血管径 (前縁-前縁法) とした。次いで上腕にマンシエットを巻き、SBP と同等の圧力



で駆血した 20 秒後に安静時血管径の計測部位と同じ場所で血管内径を計測し、これを駆血時シャント血管径とした。各々の計測値を、以下、式 3-9 に当てはめてシャント血管拡張率を算出した。

表 3-9 FV 低下に寄与すると考えられる因子 (17 項目)

A) シャント歴 (5 年以上/未満)	J) 左室駆出率 (50%以上/未満)
B) 性別 (男性/女性)	K) $\Delta$ BV 低下率 (15%以上/未満)
C) 年齢 (70 歳以上/未満年)	L) 平均除水量 (DW の 7%以上/未満)
D) シャント狭窄 (50%以上/未満)	M) PWV (1400m/sec 以上/未満)
E) シャント蛇行 (3 曲以上/未満)	N) ABI (0.9 以上/未満)
F) 透析開始時 FV (500ml/min 以上/未満)	O) シャント血管石灰化 (プローブ長軸径 6cm 中に音響陰影 3 本以上/未満)
G) SBP 低下率 (30%以上/未満)	P) 糖尿病 (有/無)
H) DBP 低下率 (30%以上/未満)	Q) シャント血管拡張率低下 (110%以上/未満)
I) 心胸郭比 (55%以上/未満)	

$$\text{シャント血管拡張率 (\%)} = \frac{\text{駆血時シャント血管径}}{\text{安静時血管径}} \times 100 \quad (3-9)$$

### 3.10.3 統計手法

対象の年齢、透析歴、シャント歴は標準偏差 (mean  $\pm$  SD) で表記し、検討 (1)、(3)、(4) については、透析中の 4 時間の時間変化を、反復測定分散分析法にて解析した。多重比較には Bonferroni 法を用いた。

検討 (2) の相関解析には直線回帰分析法を用い、検討 (3)、検討 (4) の FV 低下群/不変群の群間比較には要因分散分析法を用い、多重比較には Bonferroni 法を用いた。

検討 (5) の FV 低下に対する寄与率の差には、表 3-9 に示した項目全てにおいて分割表分析法を行い、 $\chi^2$  検定、Fisher の直接法、セル  $\chi^2$  統計量、セル post hoc 寄与率を解析した。

なお、これら全ての統計解析は Stat view ver. 5.0 にて行い、各検討は危険率 (P 値) 5%未満をもって有意とした。

最後に、Stat view ver. 5.0 の分割表分析における補足を追記する。 $\chi^2$  検定、Fisher の直接法における有意差検定においては、FV 低下群/不変群の群間に対する  $\chi^2$  の期待値 ( $\chi^2$  値) が 5.0 以上を有する必要がある。 $\chi^2$  値が 5.0 以下の場合は群間の有意差が  $p < 0.05$  未

満であっても、その関連性は無効となる。また、post hoc 寄与率とセル  $\chi^2$  統計量は、どちらも標準化残差の形を取るものであり、表の各セルの値が  $\chi^2$  統計にどれくらい寄与するかを示すものである。よって、数値が大きい程そのセルに対する寄与率が高いことを意味し、本解析の場合では、FV 低下群のどのセルの値が高いかで、表 3-7 のどの項目が透析中の FV 低下に関与しているかが分かる。post hoc 寄与率とセル  $\chi^2$  統計量で得られる情報は同じであるが、セル  $\chi^2$  統計量は  $\chi^2$  値と比較されるのに対し、post hoc 寄与率は正規分布と比較される。

### 3.11 結果

#### 3.11.1 FV、実血流量、血圧の推移

図 3-21 に、透析中における FV と実血流量の変化率の推移を示す。FV の平均値は、0h と比較して 2.5h と 4.0h で有意な低下を示し、1.5h と比較して 2.5h と 4.0h で有意な低下を示した。また、2.5h と比較して 4.0h で有意な低下を示した。実血流量は、0h と比較してその他全ての時間値で有意な低下を示し、1.5h と比較して 4.0h で有意な低下を示した。また、2.5h と比較して 4.0h で有意な低下を示した。

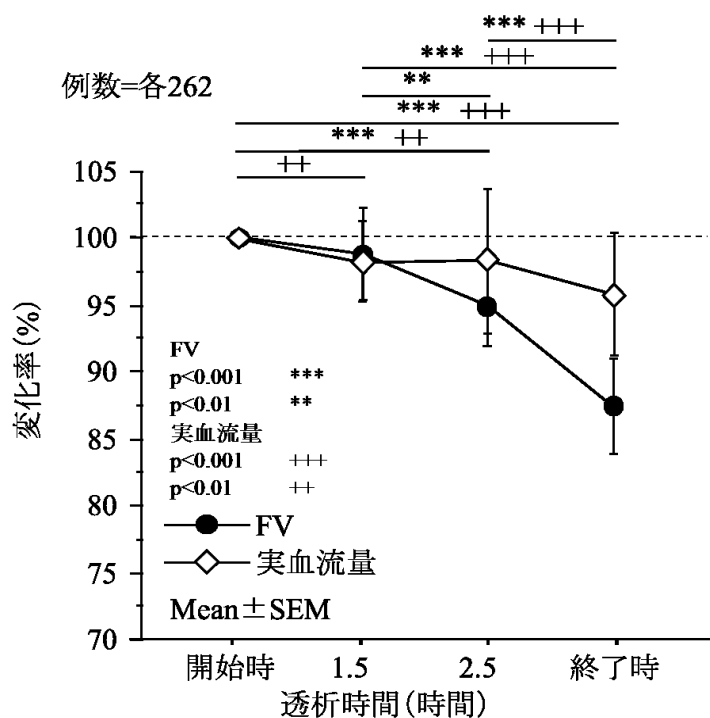


図 3-21 透析中における FV と実血流量の推移

図 3-22 には、透析中における SBP と DBP の変化率の推移を示す。SBP の平均値は、0h と比較してその他全ての時間値で有意な低下を示した。また、2.5h と比較して

4.0h で有意な低下を示した。DBP の平均値は、0h と比較してその他全ての時間値で有意な低下を示した。

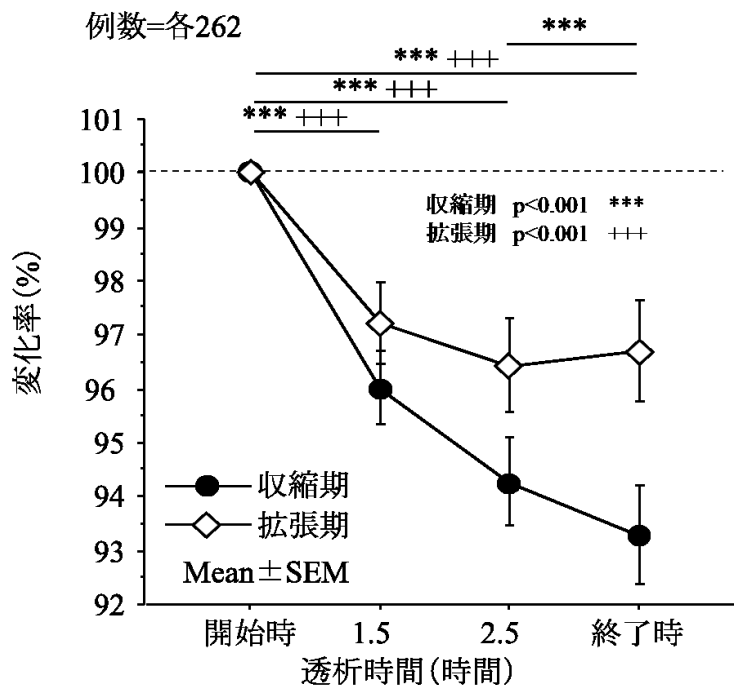


図 3-22 透析中における血圧の推移

3.11.2 FV、実血流量、血圧の相関解析

図 3-23 には、FV と実血流量の直線回帰分析の結果を示す。回帰の傾きは p<0.0001 と有意であり、両者の相関係数は R=0.763 と高値を示した。

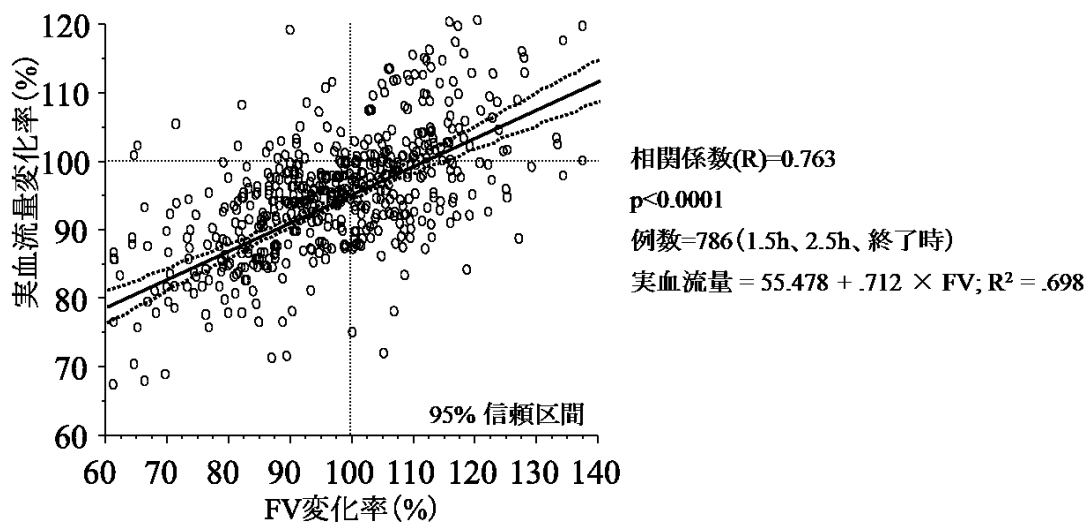


図 3-23 FV と実血流量の直線回帰分析の結果

図 3-24 には、FV と SBP、FV と DBP の直線回帰分析の結果を示す。FV と SBP、FV と DBP は何れも、回帰の傾きは  $p < 0.0001$  と有意であったが、相関係数は FV と SBP 間が 0.192、FV と DBP 間が 0.169 と低値を示した。

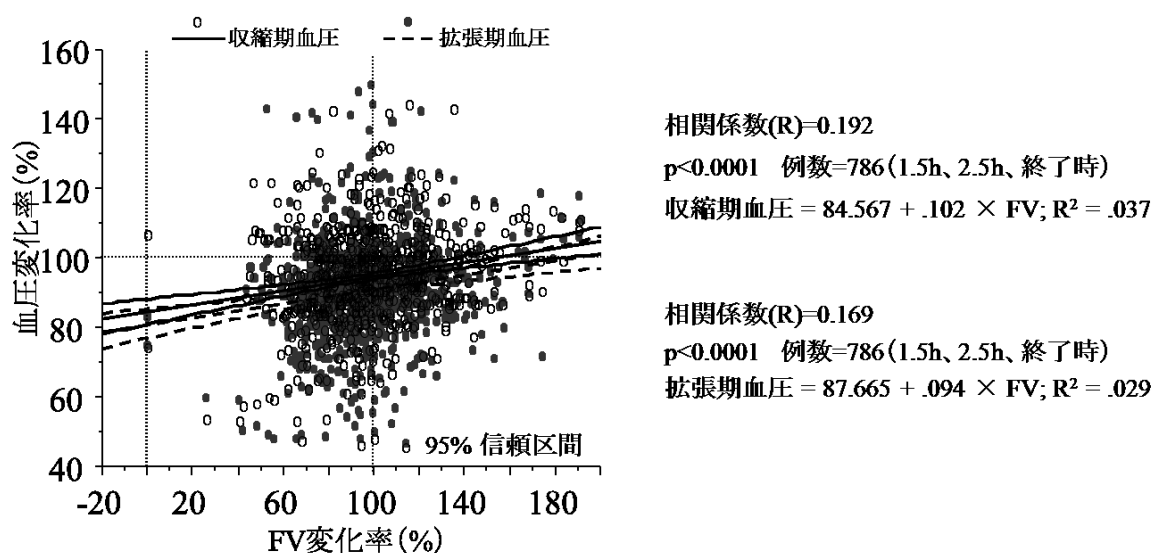


図 3-24 FV と血圧の直線回帰分析の結果

図 3-25 には、経過時間別における FV と実血流量の直線回帰分析の結果を示す。相関係数は、1.5h で  $R=0.711$ 、2.5h で  $R=0.712$ 、4.0h で  $R=0.770$  であり、何れも有意な回帰の傾きを示した。

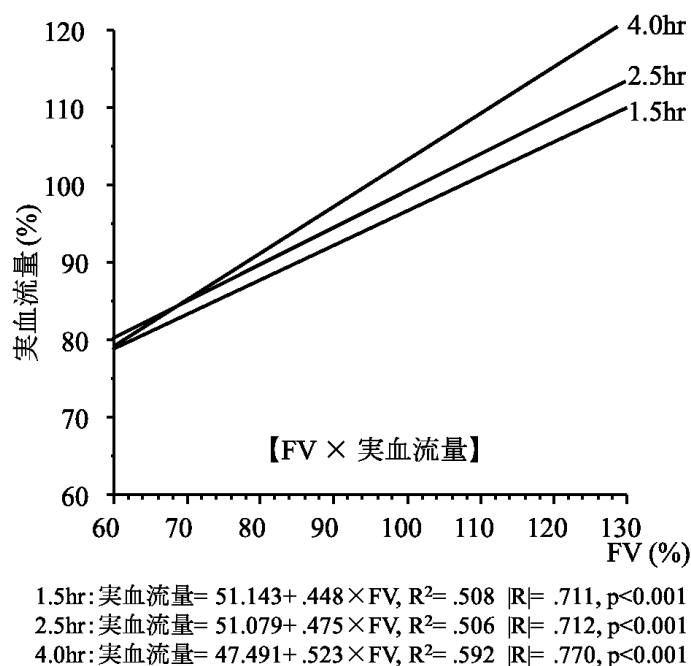
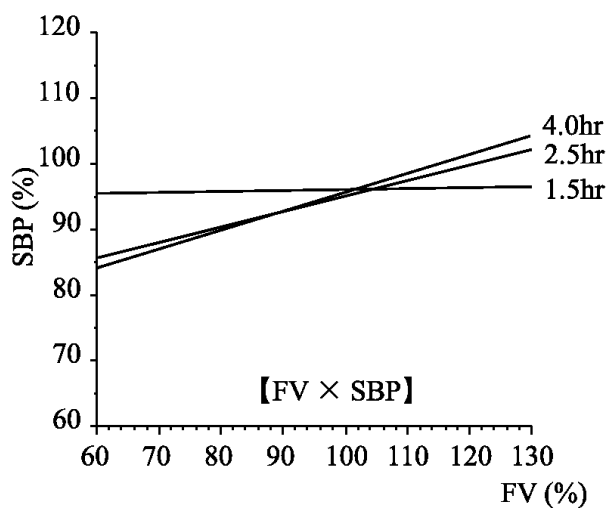


図 3-25 経過時間別の FV と実血流量の相関

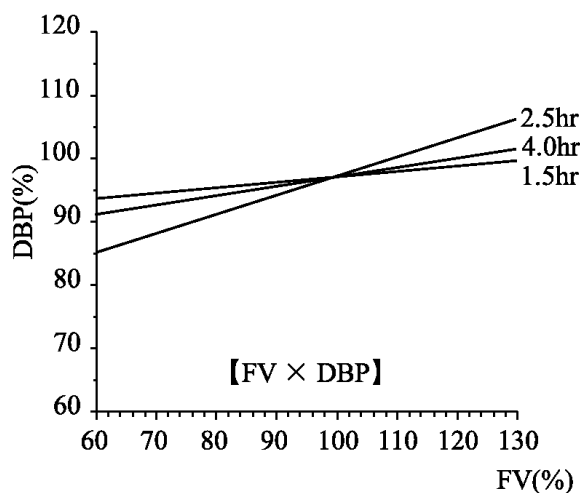
図 3-26 には、経過時間別における FV と SBP の直線回帰分析の結果を示す。相関係数は、1.5h で  $R=0.019$ 、2.5h で  $R=0.244$ 、4.0h で  $R=0.340$  であり、何れにおいても高い相関は示さなかった。



1.5hr:  $SBP = 94.755 + 0.013 \times FV$ ,  $R^2 = .001$ ,  $|R| = 0.019$ ,  $p: N.S.$   
 2.5hr:  $SBP = 71.758 + 0.233 \times FV$ ,  $R^2 = .059$ ,  $|R| = 0.244$ ,  $p < 0.05$   
 4.0hr:  $SBP = 69.071 + 0.251 \times FV$ ,  $R^2 = .115$ ,  $|R| = 0.340$ ,  $p: N.S.$

図 3-26 経過時間別の FV と収縮期血圧の相関

図 3-27 には、経過時間別における FV と DBP の直線回帰分析の結果を示す。相関係数は、1.5h で  $R=0.154$ 、2.5h で  $R=0.347$ 、4.0h で  $R=0.178$  であり、何れにおいても高い相関は示さなかった。



1.5hr:  $DBP = 88.408 + 0.087 \times FV$ ,  $R^2 = .024$ ,  $|R| = 0.154$ ,  $p: N.S.$   
 2.5hr:  $DBP = 67.524 + 0.298 \times FV$ ,  $R^2 = .120$ ,  $|R| = 0.347$ ,  $p < 0.01$   
 4.0hr:  $DBP = 83.309 + 0.131 \times FV$ ,  $R^2 = .032$ ,  $|R| = 0.178$ ,  $p: N.S.$

図 3-27 経過時間別の FV と拡張期血圧の相関

### 3.11.3 FV 低下群/不変群の分類

図 3-28 に FV 低下群と FV 不変群への分類図を示す。

FV 低下群は 64 例中 15 例であり、FV 平均値は、0h と比較してその他全ての時間値で有意な低下を示し、1.5h と比較して 2.5h と 4.0h で、2.5h と比較して 4.0h で有意な低下を示した。FV 不変群は 64 例中 49 例であり、FV 平均値は全ての時系列比較で変化を示さなかった。なお、時間別の群間比較では、1.5h、2.5h、4.0h で、FV 低下群が FV 不変群より有意に低値を示した。

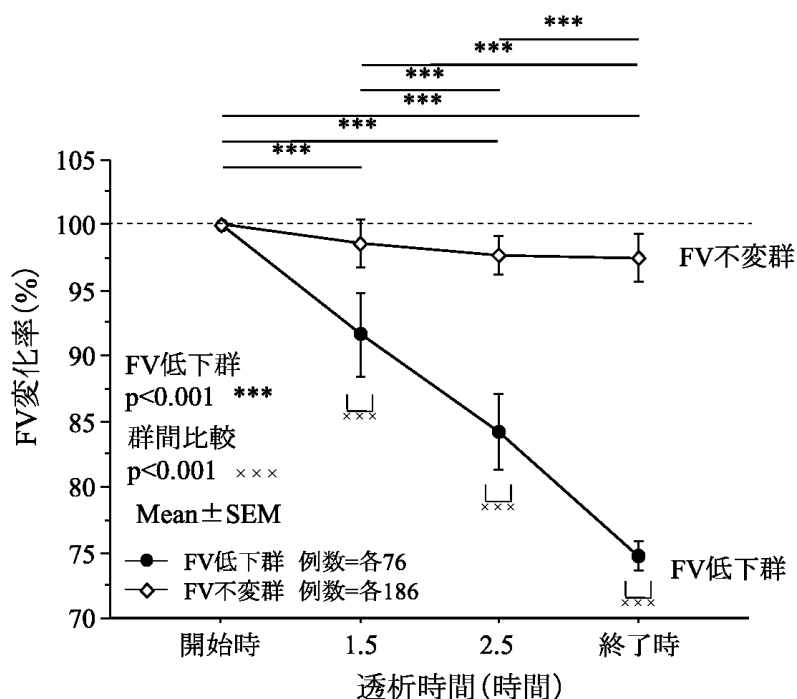


図 3-28 FV 低下群と FV 不変群への分類

### 3.11.4 FV 低下群/不変群における血圧推移の比較

図 3-29 には、FV 低下群と FV 不変群における透析中の収縮期血圧変化率の経時変化を示す。SBP は、FV 低下群において、0h と比較してその他全ての時間値で有意な低下を示し、1.5h と比較して 4.0h で有意な低下を示した。FV 不変群においては、0h と比較して 1.5h と 4.0h で有意な低下を示し、1.5h と比較して 4.0h で有意な低下を示した。時間別の群間比較では、何れも有意差を示さなかった。

図 3-30 には、FV 低下群と FV 不変群における透析中の拡張期血圧変化率の経時変化を示す。DBP は、FV 低下群において、0h と比較してその他全ての時間値で有意な低下を示した。FV 不変群において、0h と比較して 2.5h で有意な低下を示した。時間別の群間比較では、1.5h と 4.0h で FV 低下群が FV 不変群より有意に低値を示した。

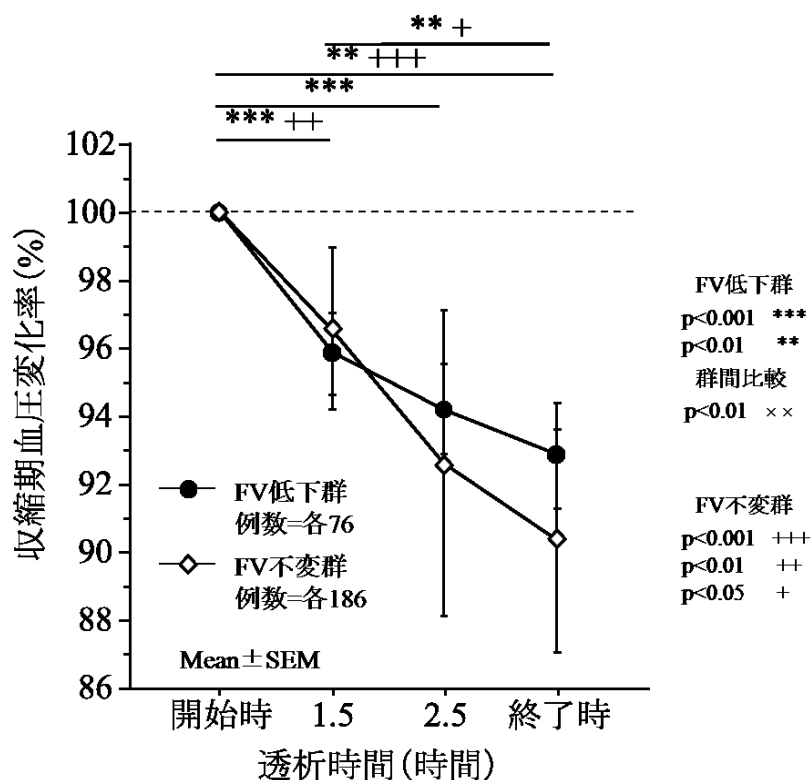


図 3-29 FV 低下群と FV 不変群における透析中の収縮期血圧変化率の経時変化

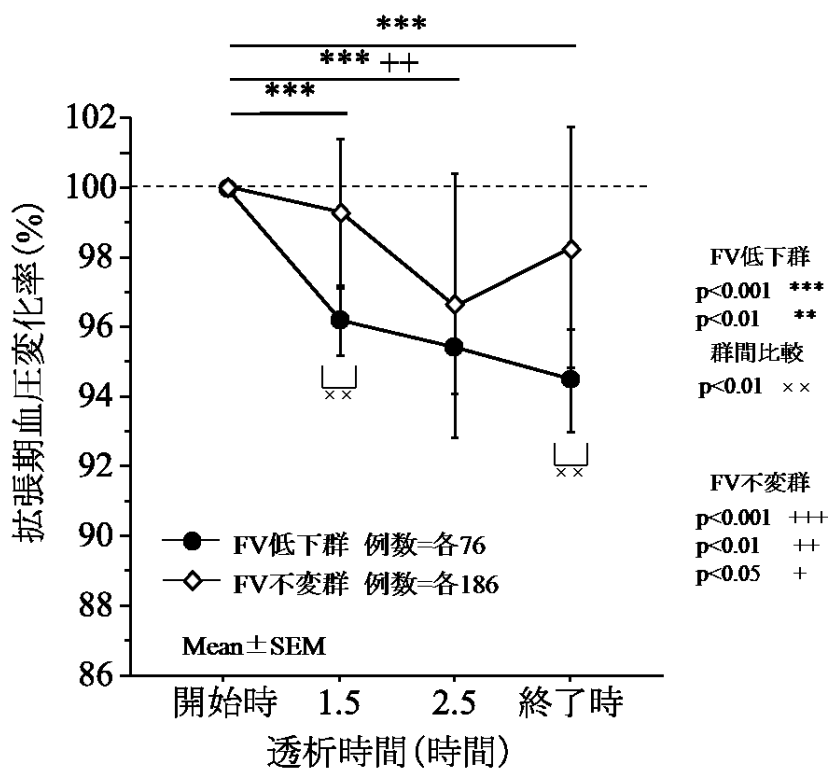


図 3-30 FV 低下群と FV 不変群における透析中の拡張期血圧変化率の経時変化

## 3.11.5 FV 低下に寄与する因子の抽出

透析中のFV低下に寄与する因子の抽出結果を表3-11に示す。

FV低下群/不変群の間に有意差を認めたのは、シヤント血管石灰化あり群、糖尿病あり群、ABI異常群、シヤント拡張能低下群であり、それぞれの群がFV低下群に属する確率は、 $\chi^2$ 統計量でシヤント血管石灰化あり群 15.2、糖尿病あり群 1.6、ABI異常群 3.2、シヤント拡張能低下群 10.2であった。post hoc 寄与率は、シヤント血管石灰化あり群 5.5、糖尿病あり群 2.1、ABI異常群 2.5、シヤント拡張能低下群 4.8であった。また、FV低下群とFV不変群との間における危険率は、シヤント血管石灰化あり群で  $p<0.0001$ 、糖尿病あり群  $p<0.05$ 、ABI異常群で  $p<0.03$ 、シヤント拡張能低下群で  $p<0.0001$  であり、 $\chi^2$ 値はそれぞれ、シヤント血管石灰化あり群 30.2、糖尿病あり群 4.3、ABI異常群 6.3、シヤント拡張能低下群 22.6であった。

シヤント狭窄有り群では、FV低下群/不変群の間に  $p=0.04$  の有意差を認めたが、分割表分析における  $\chi^2$ セル期待値が 5.0 以下であったため、無効と判断した。

それ以外の各項目に有意差は見られなかった。

表3-11 透析中のFV低下に寄与する因子の検討

	FV低下群: 15[人]	FV不変群: 49[人]	有意差(p値)
シヤント狭窄率(50%以上)	3	1	0.04(無効[期待値5以下])
FV(500ml/min以下)	4	14	N.S.
収縮期血圧低下(30%以上)	5	12	N.S.
拡張期血圧低下(30%以上)	4	12	N.S.
シヤント蛇行(3曲以上)	6	8	N.S.
糖尿病	11 ( $\chi^2$ 統計量:1.6) (post hoc寄与率:2.1)	21 ( $\chi^2$ 統計量:0.5) (post hoc寄与率: - 2.1)	0.05( $\chi^2$ 値:4.3)
性別(男)	9	21	N.S.
70歳以上	6	24	N.S.
シヤント歴(5年以上)	5	15	N.S.
CTR異常(55%以上)	3	8	N.S.
$\Delta$ BV低下率(15%以上)	3	12	N.S.
除水量平均(7%以上)	4	12	N.S.
EF異常(50%以下)	3	7	N.S.
ABI異常(0.9以下)	9 ( $\chi^2$ 統計量:3.2) (post hoc寄与率:2.5)	12 ( $\chi^2$ 統計量:1.0) (post hoc寄与率: - 2.5)	0.03( $\chi^2$ 値:6.3)
PWV異常(1400m/sec以上)	12	38	N.S.
シヤント血管石灰化 (音響陰影3本以上/10Cm)	14 ( $\chi^2$ 統計量:15.2) (post hoc寄与率:5.5)	8 ( $\chi^2$ 統計量:4.6) (post hoc寄与率: - 5.5)	<0.0001( $\chi^2$ 値:30.2)
シヤント血管拡張率低下 (110%以下)	14 ( $\chi^2$ 統計量:10.2) (post hoc寄与率:4.8)	12( $\chi^2$ 統計量:3.1) (post hoc寄与率: - 4.8)	<0.0001( $\chi^2$ 値:22.6)



### 3.12 考察

透析医療の現場では、治療中に突如血流不全に陥ることや、適切な条件で透析を行っているにも関わらず十分な透析効率が得られないことがある。今回われわれは、それらの事例に対する背景因子として、透析中のFV変動に着目した。透析中のFVおよび実血流量の変動は、直接的に血液の脱血とそれに伴う血液浄化効率に影響を与えるものである。それらの傾向と影響因子を明らかにすることで、トータルの血液浄化効率を予測する指標として活用できる可能性がある。また超音波検査におけるシヤント血流機能評価基準のひとつとしても有用な知見が得られる可能性がある。

本研究では、次の三つの知見を得た。

第一の知見は、透析中にFVと実血流量が共に有意な経時低下を示したこと、および透析中の経時変化において両者間に有意な正の相関が見られたことである。この結果から、FVと実血流量は透析中共に低下する傾向にあることが示唆された。実血流量はFVよりも経時的低下の程度が低かったが、その要因は、血液ポンプによる機械的な脱血が実血流量の低下を防ぐための補助的な役割をしているものと推測した。

第二の知見は、透析中のFVと血圧の変化に一定の関連性が見られなかったことである。両者は透析中の経時変化に相関を示さず、血圧の低下はFV不変群においても見られた。この結果は、透析中のFVおよび実血流量の変化が、血圧以外の別の因子によって支配されている可能性を強く疑わせるものであった。血圧とFVに全く関連性がないとはいえないが、血圧以外のFV変動要因が存在することは、この結果から強く推測された。また、透析中にFVが低下する群とそうでない群を分類した結果、両群間に明確な差が見られ、この結果からも、FV低下に寄与する何らかの因子が関与している可能性が高いと考えられた。

第三の知見は、FVの低下要因として抽出された、「シヤント血管石灰化」、「シヤント拡張能低下」、「ABI低下」、「糖尿病を有する」という4項目が、透析患者の中でもより「血管荒廃」が進行した状態を示すという点で共通していたことである。中でも、「シヤント血管石灰化」と「シヤント拡張能低下」は、顕著に透析中のFV低下に寄与していた。この結果から、FVの低下要因には、シヤント血管のコンプライアンス低下という器質的因子が強く関与している可能性が示唆された。

この知見については、過去の報告を基に以下のようにも考察できる。吉岡等は下肢挙上時の心拍出量について検討し、下肢挙上により下肢静脈還流の増大は得られるが、その返流は下大静脈腹部近郊において滞留し、心拍出量増大に関与するには至らないと報告している [83]。また、Onodera等は、立位浸水時には下大静脈横断面積が増大し、それらは水位に依存すると報告している [84]。これらの知見は、下大静脈の容量機能の寛容さについて記されたものでもあり、静脈血管が重力や水圧等の物理的特性を、その

高いコンプライアンスによって繊細に調節できることを推測し得るものである。この理論に基づけば、シヤント血管においても血管コンプライアンスが高い程、高い血流の保持能力を有すると捉えることもできる。

以上、透析中の FV や実血流量の変動は、血圧のみによって左右されるのではなく、シヤント血管の器質的変化にも依存するという新たな知見が得られた。もちろん、低血圧性ショックを呈した場合のように、急激な血圧低下が見られた場合は、万人においてそれに伴う FV の低下が生じるはずである。しかし、その程度には個人差があり、その個人差の要因として、今回抽出されたシヤント血管の荒廃が挙げられる可能性が高いと考えられる。

FV および実血流量は、透析中の血圧低下に伴い低下するものであるとの考えが一般化して広まっているのが現状である。しかし、その詳細については先述のとおり過去の報告例がない。本研究により得られた一連の知見から、シヤント血管に石灰化等の器質的病変を有し、全身性の血管荒廃が見られる症例は、透析中に FV が低下しやすい状態であることが考えられた。またそれらの症例では、透析中の脱血不良や予期せぬ透析効率の低下に注意が必要である。

### 3.13 結論

本研究において新たに抽出された知見として、シヤント血管に器質的コンプライアンス低下を有し全身性の血管荒廃が見られる症例は、透析中の FV および実血流量の低下が起こりやすく、透析中の患者管理に注意が必要であることがわかった。また、超音波検査を用いたシヤント血流量の評価においても、この血管荒廃という因子を加味する必要性が高いと考えられた。

**謝辞**：本研究は、平成 23 年度日本透析医会公募助成事業の助成を受けた。

## 第4章 脱血の有無と超音波検査を用いたシャント血流機能評価との関連性

### 4.1 背景

シャントは、VAの中で最も優れた機能性と安全性を有しており、日本透析医学会の実態調査では、今や全体の97%を占めるに至っている [51]。しかし、透析患者の高齢化や長期透析患者の増加に伴い、シャントトラブルは年々増加しており、近年ではその維持管理における評価法の重要性が問われている [6]。シャントは元々人工的な産物であり、作者の技術、作られる者の状態によって同一人物であっても様とはならない。そのことは、長期的に管理する上での適正な評価基準や管理手法の確立を困難にさせてきた。良いシャントとは、動静脈の吻合部を介して静脈内に流入する血流量が 500-1500ml/min 程度であり、上腕部を経て上大静脈へ戻る経路の抵抗値が心収縮期の血流速度に対し心拡張期で4割以上低下しないシャントである [7]。

一般的に、シャントの評価法には、その血流動態と形態の生体情報を直接可視化して数値化できる直接的評価法と、血液検査データや透析中の圧変化などからそれを間接的に数値化する間接的評価法がある。直接的評価法には、超音波検査、血管造影、3D-CT等の方法があり [6] [85]、間接的評価法には、理学所見、シャントトラブルスコアリング (shunt trouble scoring: STS)、クリットライン、クリアランスギャップ等の方法がある。双方の間には施行できる場所の違いがあり、間接的評価は簡易的に計測が可能であるため透析現場で日常的に施行されるが、直接的評価は一定の技量と広い場所を要することから他部門へ移動して施行される。

そのような中、近年では小型で多機能な超音波検査装置が普及しはじめ [86]、透析現場でもシャントの生体情報を直接的に評価することが可能となった [87][88]。超音波検査の利点は、血管内部を断層像として簡便に可視化し、それらを計測できる形態評価機能があることと、シャントに流入する血流量 (flow volume: FV) と中枢側への返流の抵抗値 (resistance index: RI) を数値化するシャント血流動態の評価機能を兼ね備えていることである。ただ、透析現場で施行されるのは形態評価が主体で、シャント血流機能評価については、殆ど行われることはない。その理由は、透析によるシャント血管からの血液の引き抜き (脱血) が測定値に影響を与える可能性があるからである。

そこで今回、FV と RI の測定を、日常的に透析現場で、しかも透析している最中（脱血時）に行うことができないかを検討した。もし脱血時でも一定の測定精度を保ち FV と RI を測定することができるなら、患者にとっても透析スタッフにとっても以下の理由で効率的かつ有用である。まず、シャント管理は今まで間接的評価と直接的評価を別々の場所で行ってきたが、それが透析現場でまとめて施行できる。また、シャントを日々穿刺しながらその状態を観察している、いわゆる最も透析患者のシャントを熟知している透析スタッフの手で FV と RI を測定して評価できるため、シャントトラブルの早期発見や早期治療に繋がる。更に、検査に要する時間や患者の移動時間の削減、および透析部門と検査部門に分かれることで生じる情報の入れ違いリスクの低減などの利点が挙げられる。

## 4.2 目的

本研究の目的は、透析現場において脱血時に簡便かつ正確にシャント血流機能評価（FV、RI の測定）を施行できるかを調べることとし、脱血の有無に対する、FV と RI それぞれの比較と透析施行時間内の経時変化について検討した。

## 4.3 対象

対象は、自己血管および人工血管シャントを有する透析患者 62 例（男性 28 例、女性 34 例）とした。シャントの分類は、自己血管前腕シャントが 46 例、自己血管肘部シャントが 10 例、自己血管上腕シャントが 3 例、人工血管上腕シャントが 3 例であった。原疾患は、糖尿病性腎症 28 例、慢性糸球体腎炎 18 例、腎硬化症 5 例、IgA 腎症 5 例、急速進行性糸球体腎炎 3 例、多発性のう胞腎 2 例、不明 1 例であった。平均年齢は 66.1±5.2 歳、平均透析歴は 6.9±4.8 年、平均シャント歴 [開存期間] は 4.9±3.5 年であった。

なお、倫理的配慮として、患者から説明と同意を得た上で、綾部市立病院倫理委員会の承認を得た。

## 4.4 方法

### 4.4.1 観察期間・測定方法

観察期間を 2 ヶ月とし、対象全例に対して、透析開始直前(0h)、透析 1.5 時間時(1.5h)、透析 2.5 時間時 (2.5h)、終了時 (4.0h) の時間帯に、上腕動脈の FV と RI を測定した。FV と RI の測定は、血液ポンプが稼働している時（脱血時）と、血液ポンプを一時停止させた時（非脱血時）の双方で行った。脱血時は、血液ポンプを 250ml/min、透析液が

ンプを 500ml/min にて稼動させた状態と定め、非脱血時は、血液ポンプと透析液ポンプを 20 秒間停止させた状態と定めた。非脱血時の FV と RI の測定は、20 秒間のポンプ停止直後に行うこととした。なお、測定者のシャントエコー経験年数は、3 年以上とした。

超音波検査装置の設定およびシャント血流機能の測定条件は第 3 章の表 3-10 の通りとした。FV の算出式は、式 3-6、RI の算出式は式 3-7 の通りとした。なお、超音波検査用ゲルは滅菌品を使用することで感染防止に努めた。

FV と RI のデータは、対象 1 例につき 3~4 回の透析時において、各透析時間値 (0、1.5、2.5、4.0 [h]) に、同条件につき各 3 回測定して採取した。測定に用いた全例の延べ透析回数は、62 (対象数) × 3~4 (対象 1 例における透析回数) = 248 となった。総測定回数は、248 (全例の延べ透析回数) × 4 (1 回の透析の全時間における測定回数) × 3 (測定回数) = 2976 回であった。また、統計解析には、対象 1 例ごとの各透析時間値の平均値を用いた。

本章の研究では、シャント血流機能評価値をより正確に測定するため、図 4-1 に示す超音波音響媒体を用いた。超音波音響媒体を加工することで、超音波入射角度を容易に 40° 付近へ調整することが可能となった。

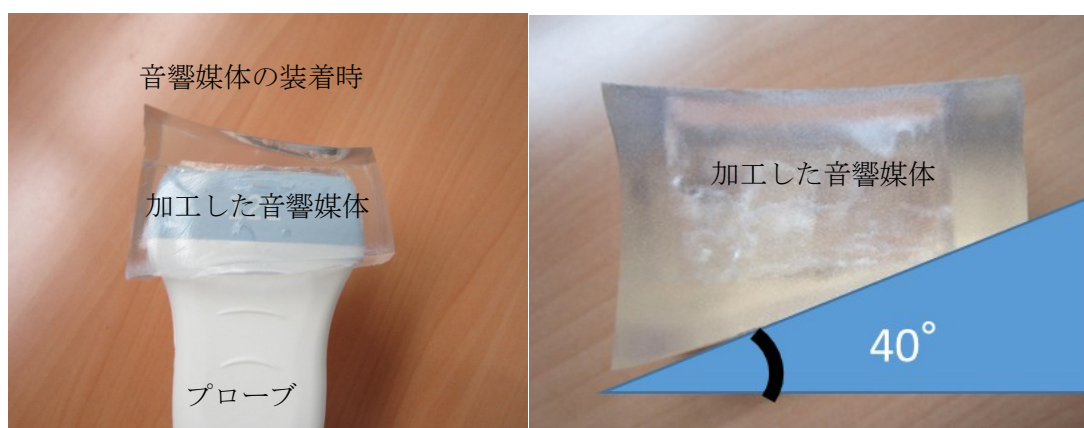


図 4-1 超音波音響媒体の加工図

#### 4.4.2 検討事項 (1) ~ (6)

##### (1) 「脱血時」と「非脱血時」間の相関 (FV と RI (全データ))

全測定データの患者ごとの平均値を基に、「脱血時」FV と「非脱血時」FV の相関関係、および「脱血時」RI と「非脱血時」RI の相関関係を解析した。

##### (2) 「脱血時」と「非脱血時」間の相関 (FV350ml/min 以下の FV と RI)

FV が 350ml/min 以下の患者ごとの平均値データを全データの中から抽出し、「脱血時」FV と「非脱血時」FV の相関関係を解析した。RI も同様の解析を行った。

- (3) 「脱血時」と「非脱血時」間の相関 (RI 0.6 以上の FV と RI)  
RI が 0.6 以上の患者ごとの平均値データを全データの中から抽出し、「脱血時」FV と「非脱血時」FV の相関関係を解析した。RI も同様の解析を行った。
- (4) 「脱血時」と「非脱血時」の平均値比較 (RI 0.6 以上の FV と RI)  
RI が 0.6 以上の患者ごとの平均値データを全データの中から抽出し、「脱血時」FV と「非脱血時」FV の平均値の差を比較検討した。RI についても同様の解析を行った。
- (5) FV と RI の経時変化 (脱血時、非脱血時)  
脱血時および非脱血時における、FV と RI の経時変化を調べた。各時間 (0, 1.5, 2.5, 4.0h) 値における脱血時、非脱血時の FV と RI の平均値を経時的に各々比較した。また、「脱血時」FV と「非脱血時」FV の平均値を、各時間 (0, 1.5, 2.5, 4.0h) 別に比較した。RI についても同様の比較を行った。
- (6) シヤント部位別における FV の標準偏差値比較と上腕動脈描出率  
同条件につき各 3 回測定した FV 値の標準偏差値 (Standard deviation: SD) を  $SD_{FV}$  とした。測定回数は、シヤント部位別に、前腕部シヤントを持つ 46 例から得た 181 回、肘部シヤントを持つ 10 例から得た 45 回、上腕部シヤントを持つ 6 例から得た 22 回であった。1 症例の測定回数は 3~5 回であり、その平均値を  $SD_{FV}$  の平均値とした。また、上腕動脈の描出率については、穿刺針の位置がプローブ走査の邪魔になることなく、10 秒以内に上腕動脈長軸断層像を描出できた場合を「描出可」と定め、0h にデータを採取し、シヤント部位別に描出率を算出した。

#### 4.4.3 統計手法

検討事項の (1) (2) (3) においては、それぞれの相関解析を直線回帰分析法にて行った。直線の傾きには 95%信頼区間を記載した。検討事項 (4) の「脱血時」と「非脱血時」の平均値比較には paired t-test を用いた。検討事項 (5) の、FV と RI の経時変化は、脱血時、非脱血時共に、反復測定分散分析法を用い、多重比較に Bonferroni 法を用いた。また、時間ごとの「脱血時・非脱血時」間の比較には paired t-test を用いた。

検討事項 (6) のシヤント部位別における FV の標準偏差値比較には、要因分散分析法を用い、多重比較に Bonferroni 法を用いた。なお、各統計解析は全て危険率 5%未満をもって有意とした。

## 4.5 結果

## 4.5.1 脱血の有無による FV および RI の相関

図 4-2 に、「脱血時」FV と「非脱血時」FV における、全てのデータでの直線回帰分析の結果を示す。両者は  $p < 0.0001$  の有意な正の相関を示し、相関係数は 0.99 であった。回帰式、データ数等は図に示した通りである。

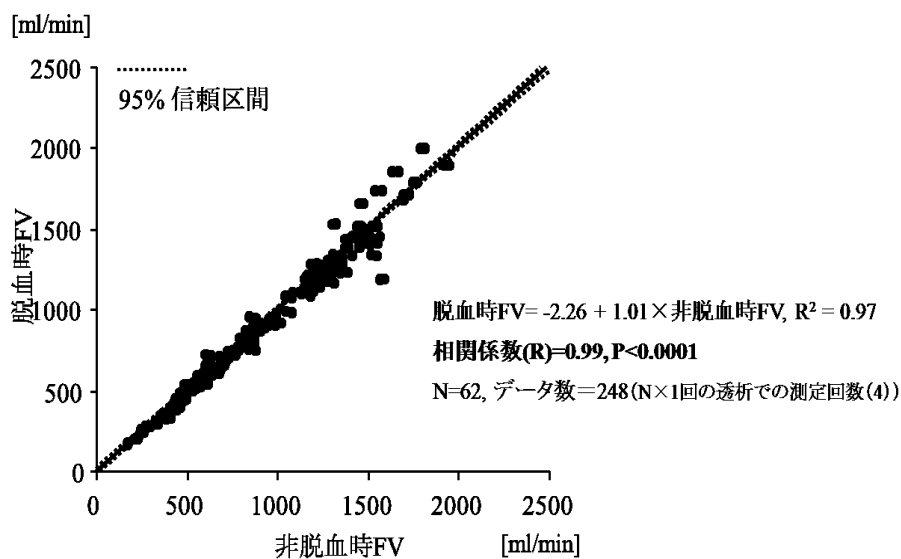


図 4-2 「脱血時」FV と「非脱血時」FV における相関（全データ）

図 4-3 に、「脱血時」RI と「非脱血時」RI における直線回帰分析の結果を示す。両者は  $p < 0.0001$  の有意な正の相関を示し、相関係数は 0.91 であった。回帰式、データ数等は図に示した通りである。

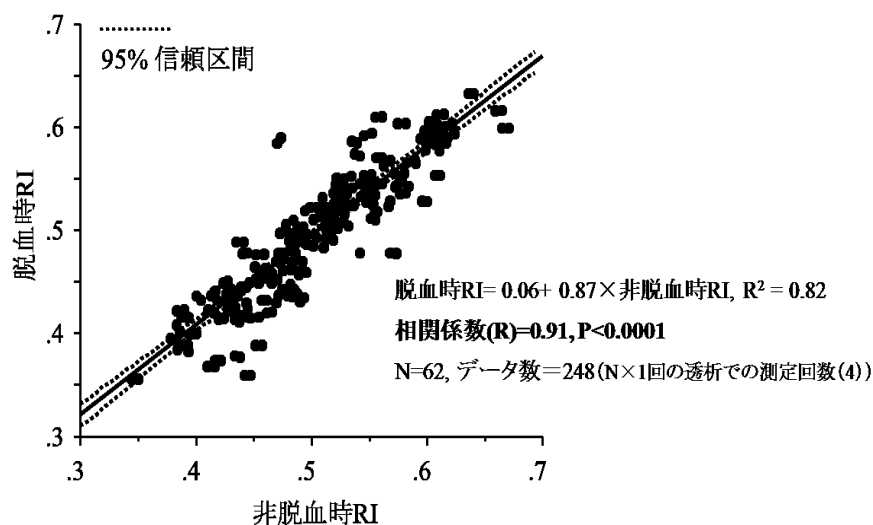


図 4-3 「脱血時」RI と「非脱血時」RI における相関（全データ）

### 4.5.2 FV 低値の場合の脱血の有無による FV および RI の相関

図 4-4 に、FV が 350ml/min 以下の場合における「脱血時」FV と「非脱血時」FV の直線回帰分析の結果を示す。両者は有意な正の相関を示し、相関係数は 0.95 であった。回帰式、データ数等は図に示した通りである。

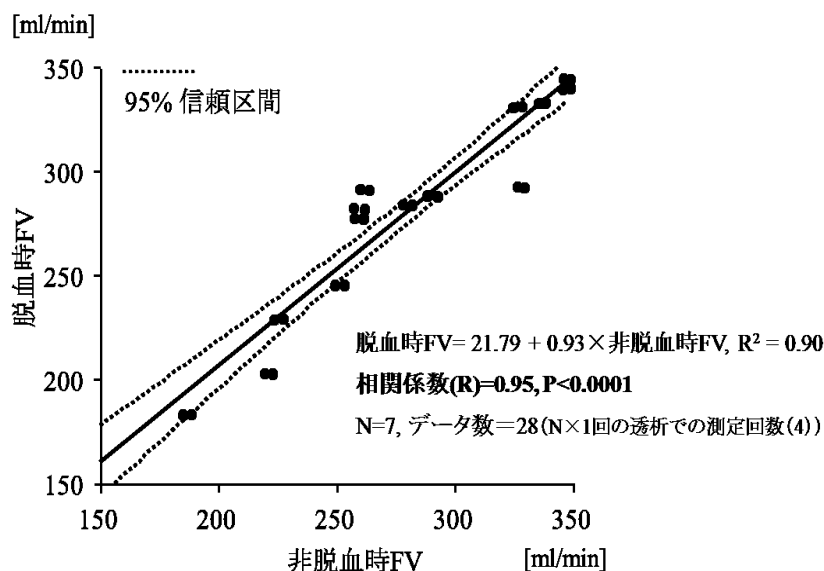


図 4-4 「脱血時」と「非脱血時」間の相関 (FV350ml/min 以下の FV)

図 4-5 に、FV が 350ml/min 以下の場合における「脱血時」RI と「非脱血時」RI の直線回帰分析の結果を示す。両者は有意な正の相関を示し、相関係数は 0.93 であった。回帰式、データ数等は図に示した通りである。

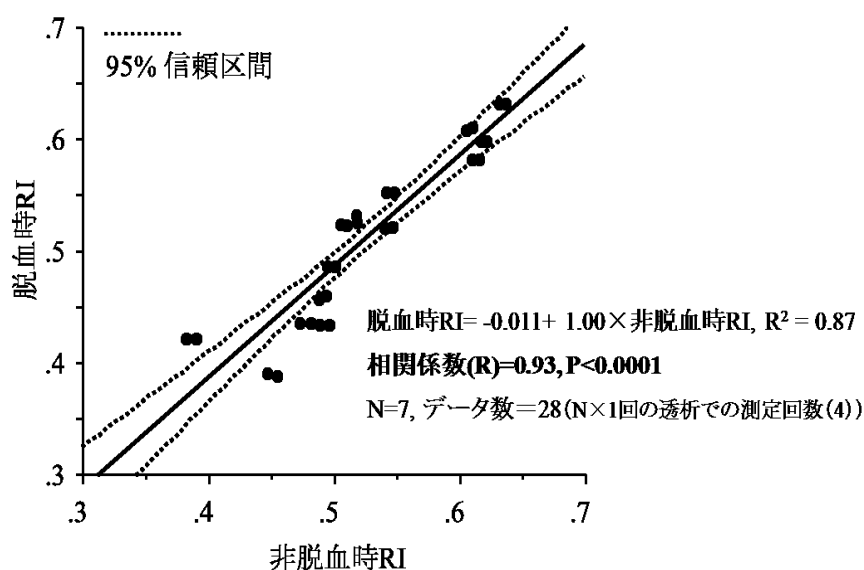


図 4-5 「脱血時」と「非脱血時」間の相関 (FV350ml/min 以下の RI)



## 4.5.3 RI 高値の場合の脱血の有無による FV および RI の相関

図 4-6 に、RI が 0.6 以上の場合における「脱血時」FV と「非脱血時」FV の直線回帰分析の結果を示す。両者は有意な正の相関を示し、相関係数は 0.95 であった。回帰式、データ数等は図に示した通りである。

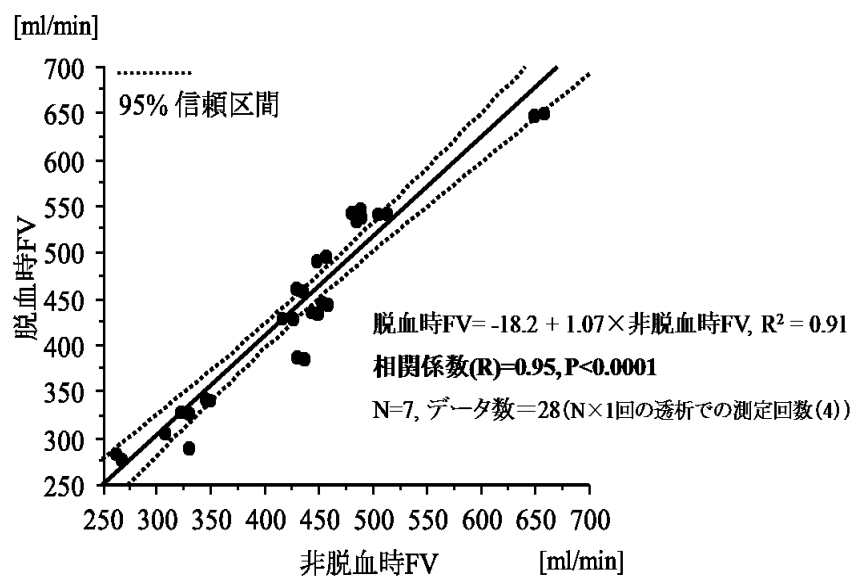


図 4-6 「脱血時」と「非脱血時」間の相関 (RI 0.6 以上の FV)

図 4-7 に、RI が 0.6 以上の場合における「脱血時」RI と「非脱血時」RI の直線回帰分析の結果を示す。両者は  $p < 0.048$  の有意な傾きを示したが、相関係数は 0.20 と低値を示した。回帰式、データ数等は図に示した通りである。

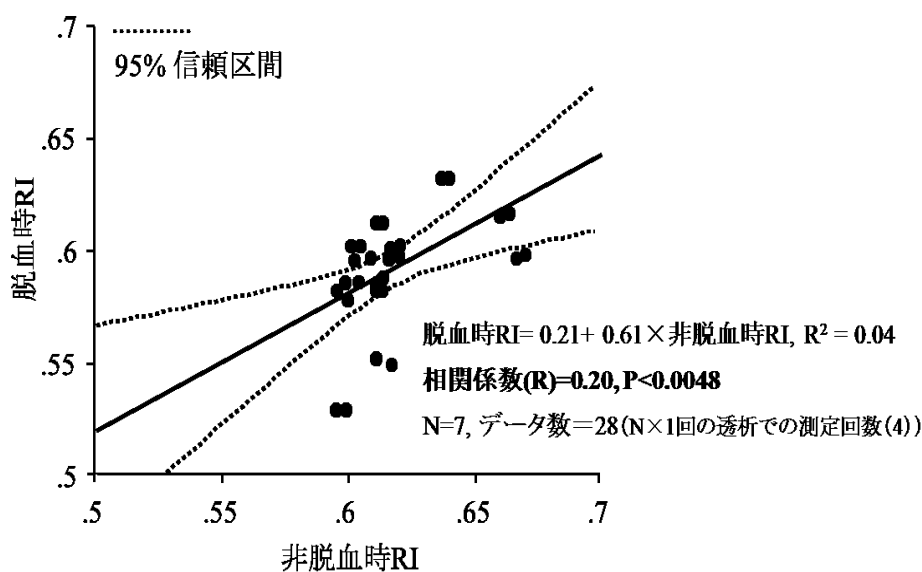


図 4-7 「脱血時」と「非脱血時」間の相関 (RI 0.6 以上の RI)

図4-8に、RIが0.6以上の場合における「脱血時」FVと「非脱血時」FVの平均値を比較した結果を示す。両者間に有意差を示さなかった。

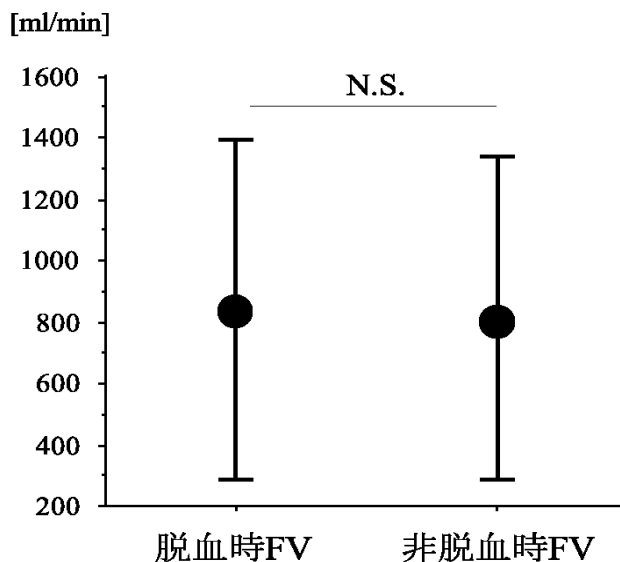


図4-8 RIが0.6以上の場合における「脱血時」FVと「非脱血時」FVの平均値比較

図4-9に、RIが0.6以上の場合における「脱血時」RIと「非脱血時」RIの平均値を比較した結果を示す。「脱血時」RIが「非脱血時」RIと比較して有意に低値を示した ( $p < 0.0001$ )。

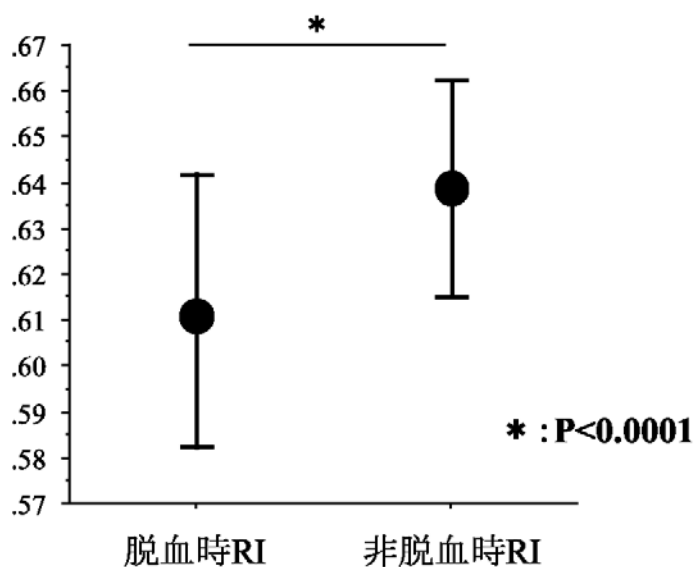


図4-9 RIが0.6以上の場合における「脱血時」RIと「非脱血時」RIの平均値比較

#### 4.5.4 脱血時および非脱血時における FV と RI の経時変化

図 4-10 に、脱血時および非脱血時における FV 平均値の経時変化を示す。横軸に透析時間 (0, 1.5, 2.5, 4.0h) を示し、縦軸に FV を示した。FV は、脱血時および非脱血時共に、0h と比較して 1.5h、2.5h、4.0h で有意に低値を示し、1.5h と比較して 4.0h で有意に低値を示した。また、各時間における「脱血時」FV と「非脱血時」FV の平均値比較では、全ての時間値において有意差を示さなかった。

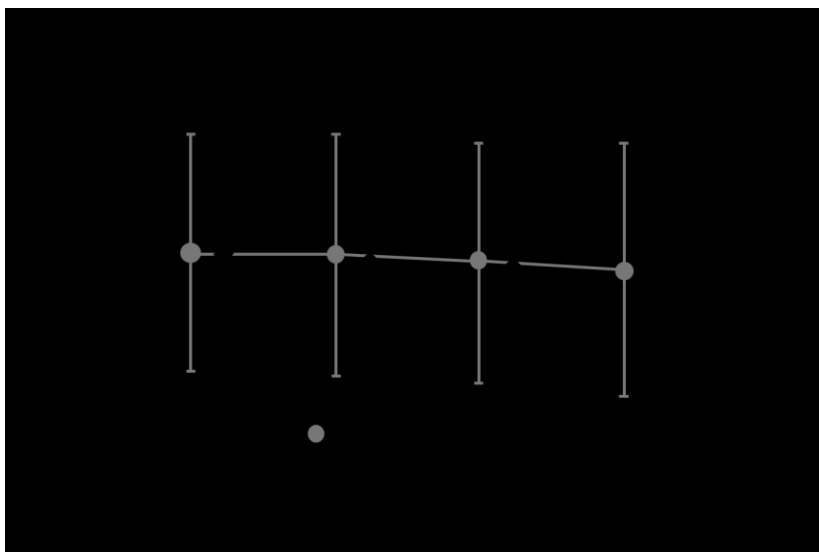


図 4-10 脱血時および非脱血時における FV 平均値の経時変化

図 4-11 に、脱血時および非脱血時における RI 平均値の経時変化を示す。RI は、「脱血時」および非脱血時共に、0h と比較して 1.5h、2.5h、4.0h で有意に低値を示し、1.5h と比較して 2.5h、4.0h で有意に低値を示した。また、各時間における「脱血時」RI と「非脱血時」RI の平均値比較では、全ての時間値において有意差を示さなかった。

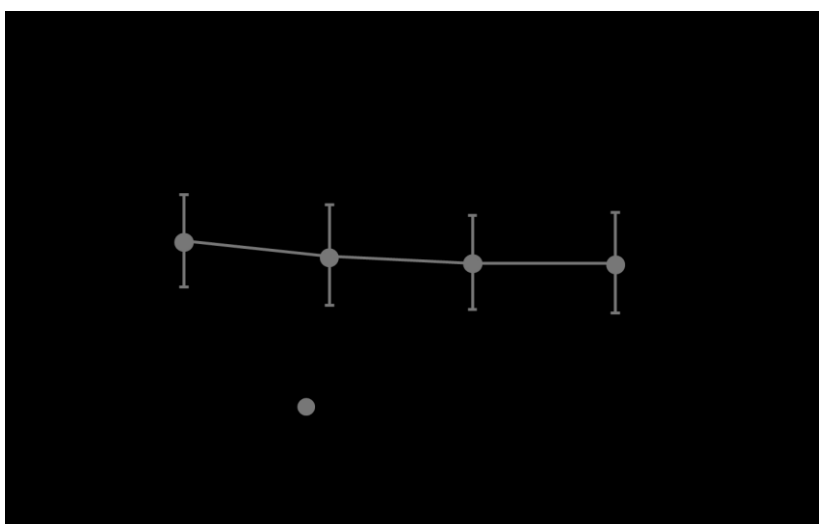


図 4-11 脱血時および非脱血時における RI 平均値の経時変化

#### 4.5.5 シヤント部位別の FV 標準偏差値比較と上腕動脈描出率

図 4-12 には、シヤント部位別の  $SD_{FV}$  の平均値比較と各部位における上腕動脈の描出率の結果を示す。 $SD_{FV}$  の平均値は、前腕部が  $22.2 \pm 12.3$ 、肘部が  $18.7 \pm 10.5$ 、上腕部が  $49.1 \pm 38.9$  であり、上腕部が、前腕部、肘部と比較して、有意に高値を示した。また、上腕動脈描出率は、前腕部と肘部が 100%、上腕部が 67%であった。

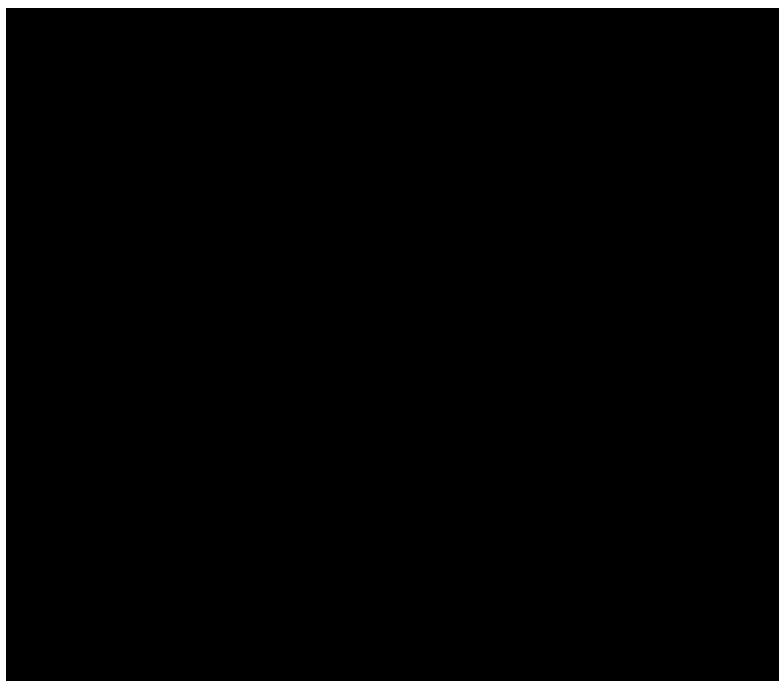


図 4-12 シヤント部位別の FV 標準偏差比較と上腕動脈描出率

## 4.6 考察

慢性腎不全患者に対してシヤントを良好に維持管理することは、透析の成否を分けるうえで重要である [7]。超音波検査法は、シヤントの形態と血流機能の双方を手軽に定量化できる点で優れており [6] [7]、特に血流機能に関しては、VA ガイドライン [6]を含め、数多くの先行研究で測定することが望ましい項目とされている [70] [72] [89] [90]。

現在、超音波検査によるシヤント血流機能評価は、パルスドップラー法による上腕動脈の FV と RI の測定に集約されている [7]。その中で一般的な血流機能良好群・不良群の境界値は、FV が  $500 \sim 650 \text{ mL/min}$  [7] [91] [92]、RI のカットオフ値が 0.6 といわれている [45] [70] [93] [67]。シヤントを評価管理するに当たって、これらの基準を満たし、形態的に異常がないことを確認すれば、シヤント状態は概ね良好であり、安定した透析の施行が可能であることを直接的に診断できる。

本研究において、FV と RI は共に、「脱血時・非脱血時」間で有意な正相関を示した。特に FV は、脱血不良を起こしやすいとされる FV が  $350 \text{ mL/min}$  以下の低流量 [7] の場

合でも、狭窄病変の疑われるとされる RI が 0.6 以上の場合 [93]でも、「脱血時・非脱血時」間で有意な正相関 ( $R=0.9$  以上) を示した。また、FV と RI は共に、「脱血時・非脱血時」間の時間別平均値比較で、何れの時間帯においても差を認めなかった。これらの結果は、脱血時に超音波検査によるシャント血流機能評価を行っても、非脱血時と変わらぬ測定値が得られることを示唆しており、脱血の有無および透析の時間帯に関わらず測定精度を担保できる可能性があると考えられた。

ただ、RI が 0.6 以上の場合においては、「脱血時・非脱血時」間に高い相関が見られなかった。また、その際の「脱血時」RI は「非脱血時」RI よりも有意に低値を示した。この原因については、脱血による血液の引き込みが、上腕動脈血流速度（特に拡張末期血流速度）を上昇させ、「脱血時」RI が見かけ上低値を示したものと推測したが、詳細は不明である。本来、拡張末期血流速度が上昇すれば同時に FV も変化するはずである。しかし本検討では、RI が 0.6 以上の場合の FV は、「脱血時・非脱血時」間で有意差を示さなかった。これらの詳細については今後、脱血の有無に対する上腕動脈血流速度波形を主体とした追加検討が必要である。

本検討からいえることは、シャント形態に明らかな有意病変を持つ症例においては、脱血時の RI 値の解釈に注意が必要ということである。

次に、FV と RI の経時変化について比較検討した結果で、両者はいずれも有意な経時的低下を示した。我々はこれまでに、透析中の FV の経時変化については複数回検討しており [73][94]、その中で、シャント血管石灰化などの血管荒廃の強い症例は、透析中の FV 低下率が有意に高いことを報告している [94]。しかし RI については、過去に透析中における経時的変化に対する報告例がなく、その動態については明らかでない。ただ、RI は情動ストレスの負荷によって経時的な低下を示すという、健常人を対象にした別の報告例があり [95]、本検討結果における RI の低下も、透析の施行による情動ストレスを基点に生じた可能性がある。

その他、シャント測定部位における血流機能評価の精度については、前腕部と肘部に關して非常に高い精度を有していることがわかった。上腕部シャントにおいては、FV の SD が大きく上腕動脈の描出率も低かったが、これは、上腕シャントの穿刺部位が血流機能測定箇所の上腕動脈付近に存在するためである。

また、測定手技、操作の簡便さについては、超音波検査装置の設定および測定条件を可能な限り統一したことで、容易に測定を行うことができた。感染面においても、超音波ゲルを滅菌品とし、超音波音響媒体を患者ごとに交換・洗浄して使用したことで、問題は生じなかった。

これまで、超音波検査によるシャント評価は非透析日に行うことが常識化しており、透析現場において脱血時に実施するという試み自体に焦点が当てられることはなかった。本研究において、一部排除しきれぬ技術的な問題はあっても、血液ポンプによる

脱血は、FV、RI の測定値に大きな影響を与えることはないという新たな知見を得ることができた。本研究により得られた一連の知見は、超音波検査によるシャントの直接的評価を、今後、透析現場で透析スタッフにより実践することができる可能性を示唆するものと考えられた。

#### 4.7 結論

本研究を通して、超音波検査による FV と RI の測定は、脱血時に施行したとしても大きな測定誤差を生じることはないと考えられた。また、この手法が、透析スタッフの手によって普及することで、誰よりもシャントのことを理解した医療従事者が、シャント血流の定量化された情報を基に治療や透析継続の可否を判断できる。よって、脱血時の FV、RI の測定は、今までよりも総合的で質の高い管理をより効率的に施行できる有用な手段と考えられた。

**謝辞**：本報告は平成 24 年度日本透析医学会コメディカル研究助成の助成を受けた。

## 第5章 透析支援システムを用いたシャント血流機能評価値の管理

### 5.1 透析支援システムの概要と研究の目的

透析は、医療機器を多用し、同一患者への反復治療による情報の蓄積が継続的に行われるため、情報技術を導入する利点が多い医療といえる [96]。

近年では、透析装置、自動血圧計、体重計、および電子カルテなどを情報通信技術でネットワーク化し、透析条件や透析中の患者状態を集中管理する、いわゆるシステムを用いた透析療法の運用が一般化し始めた。このようなコンピュータシステムは透析支援システムと呼ばれており、現在では全国で約半数の透析施設に導入されている。透析支援システムは透析全体を一元管理し、患者の病状や過去情報などをすばやく確認できる [97]。また、各医療機関の患者情報、検査情報、物品管理情報等の一括管理や在宅透析の遠隔診断治療への応用など、高い将来性をも秘めており、今後さらなる進展が期待される [98]。

一般的な透析支援システムの構成図を図 5-1 に示す。透析支援システムでは、透析に使用する各種医療機器をイントラネットで繋ぎ、クローズドの部門システムとして運用されるケースが多い。図 5-1 に示したように、大元のサーバーに患者情報・患者スケジュールを登録しておき、来院時に各患者の透析条件を記憶した integrated circuit card (IC カード) を基に当日の体重から DW までの除水量と透析条件を出力する。出力されたデータは自動的に、患者情報が登録されているベッドサイドの透析監視装置内へと送信され、手動で設定を行わなくとも自動的にその日の透析条件全般が入力される。透析スタッフは、入力された条件に間違いがないか確認した後、透析をスタートさせればよい。透析のスタート後も、血圧測定や、抗凝固剤のワンショット投与、および持続投与が、サーバー内で設定した条件通りに作動し、治療をサポートしてくれる。また、透析中に発生した生体イベントをベッドサイドのクライアント PC から入力することで、治療当日の透析記録用紙に、その内容が出力される。さらに、透析後の投与薬剤についても、スケジュール登録することで、治療の当日にどの薬剤を準備して投与すべきかが、コンソールおよび帳票に表示される。その他にも、検査データを連動してコンソールから時系列データを表示させたり、必要な帳票を作成したり、また循環血液量変化率をモニタ

することで、透析中の血圧低下を事前に予防するなど、多様な用途がある。

第5章では、第3章と第4章で研究した、シャント血流機能評価値について、「①リアルタイムに透析コンソールから閲覧できる機能」と「②転院/入院サマリ（患者連絡表）へ自動転記する機能」を透析支援システムで作製し、その運用がVA管理として有用かどうかを「③アンケート調査」にて調べた。

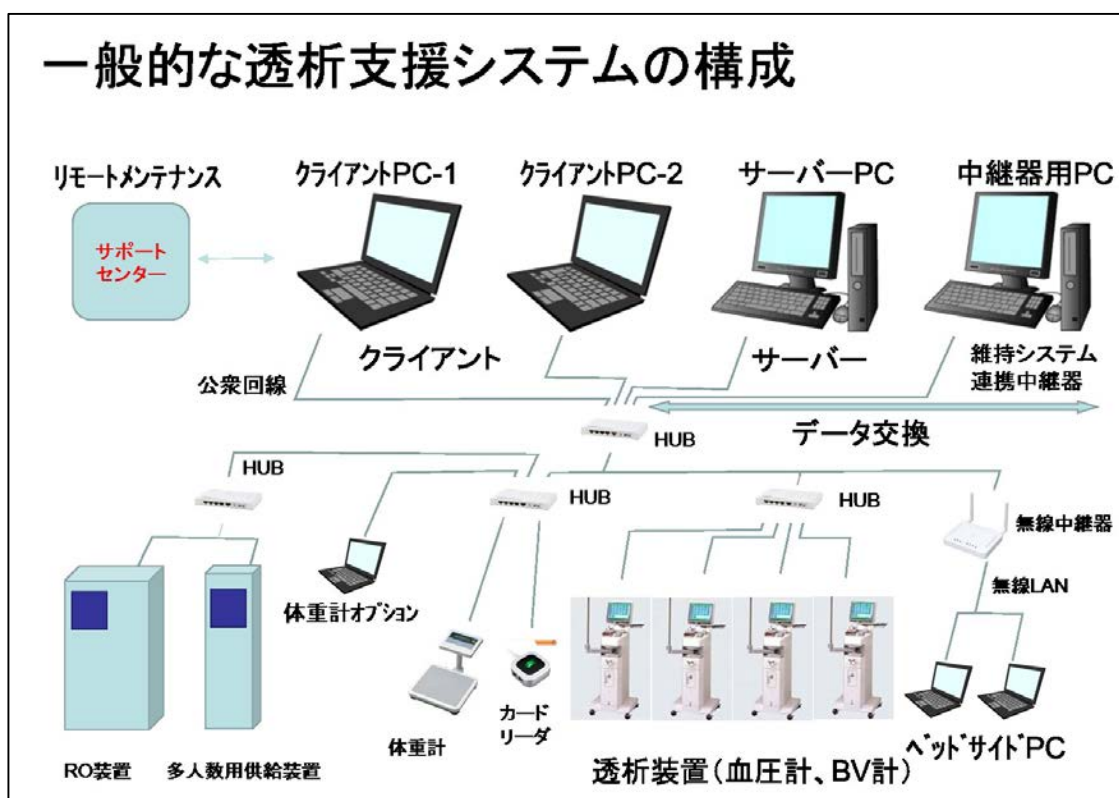


図 5-1 透析支援システムの概略図

## 5.2 ①透析コンソールへの FV・RI 自動掲載機能の活用

綾部市立病院では現在、日機装社製の透析支援システムである Futurenet web+<sup>®</sup> (FNweb) [99]を導入し、透析の運用に当たっている。FNwebでは、任意の情報を透析コンソールに出力する機能を有している。そこで、FV、RIの測定データを、FNweb内に登録し、ベッドサイドで常時閲覧可能とした。

FNwebは、クライアントPCの患者情報入力画面の中に、図5-2に示した「患者メモ」という情報入力欄があり、そこに文字列を入れることで、透析コンソールに書き込んだ情報を反映させることができる。図5-2(A)の患者メモ編集タブをクリックすると、図5-2(B)の編集ウィンドウが開く。ここに、FVとRIを測定した日付と測定値を入力すると、図5-3のように透析コンソールにFVとRIの情報が出力される。



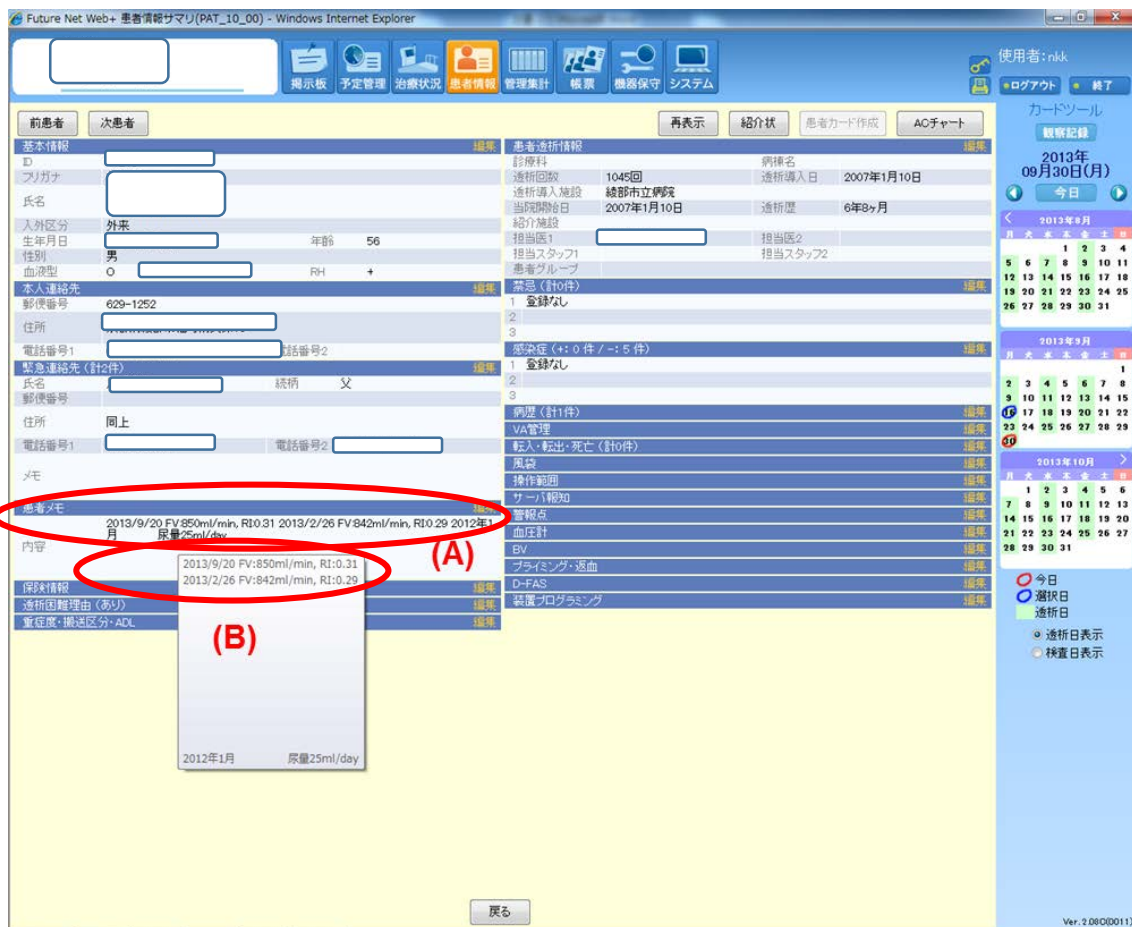


図 5-2 FNweb のクライアントでのメモ情報入力画面

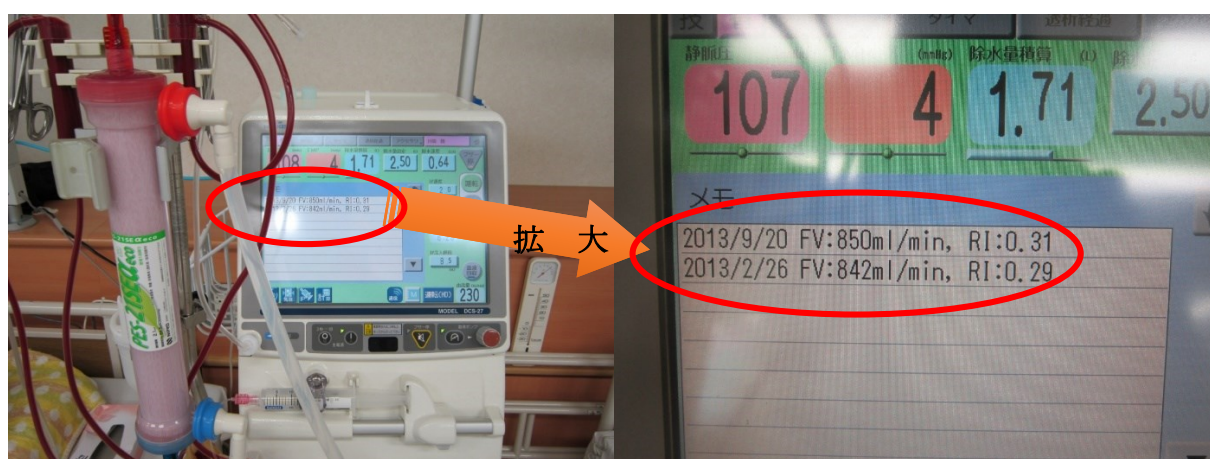


図 5-3 透析コンソールへシャント血流機能情報 (FV・RI) が出力されている様子

### 5.3 ②患者連絡表へ FV・RI を自動転記する機能

FNweb では、クライアント PC に FV と RI を入力しても、その情報を帳票として自動転記する機能は持ち合わせていない。よって今回、日機装社と協力してそのシステムを作製した。FV と RI を入力する場所は、この場合も FNweb クライアント PC の「患者情報のメモ」欄を用いた。

患者連絡表の帳票作成に当たっては、図 5-4 に示した流れで設定した。まず、透析支援システム内の web サーバーから、実績、マスタ、属性の各データを抽出して、データウェアハウス (Data Ware House: DWH) としてそれぞれの項目ごとに分類してデータを格納した。次に、それらのデータへのアクセスをオープンデータベースコネクティビティ (Open Database Connectivity: ODBC) にて接続し統一化した。その後、データソース化した情報を Access ランタイム版で集計するという流れである。

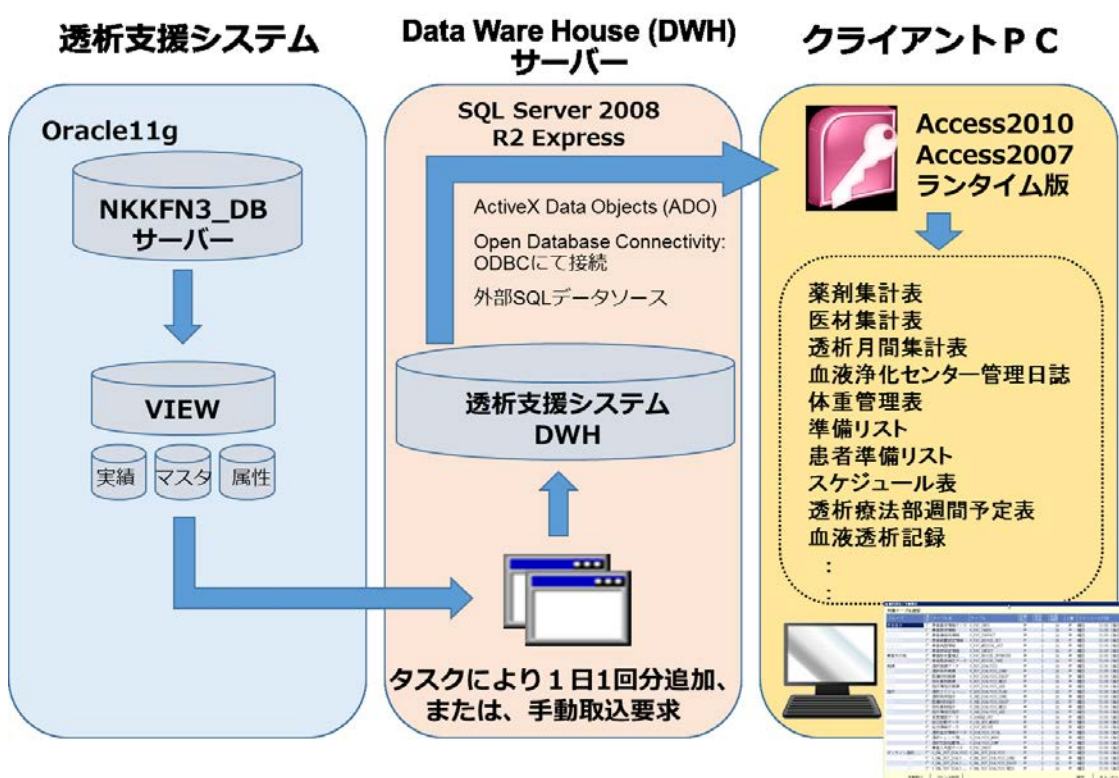


図 5-4 患者連絡表の帳票作成の流れ

#### 5.3.1 動作環境と操作法

患者連絡表とは、FV と RI のデータのみでなく、指定患者の患者基本情報、透析条件、投与薬剤や経過等の最新情報を一枚の帳票にまとめた患者サマリのことである。ここでは、FV と RI を含めた情報の取り込み環境と DWH を用いた本システムの操作法を記

す。表 5-1 には、Access2010 ランタイム版を用いて作成した透析関連情報のデータベーステーブル一覧を記す。

表 5-1 透析関連情報のデータベーステーブル一覧

情報	テーブル名
透析実施患者の一覧	V_RST_DIALYSIS
氏名、ID、性別、生年月日、透析導入日、導入施設、原疾患、血液型	V_PAT_INFO
住所、電話番号、緊急連絡者、連絡者電話番号、連絡者住所	V_PAT_CONTACT
禁忌情報	V_PAT_TABOO
感染症情報	V_PAT_INFECT
透析条件	V_RST_DIALYSIS_COND
穿刺針の種類	V_RST_DIALYSIS_EQUIP
透析日と透析スケジュール	V_SCH_DIALYSIS_PLAN
透析パターン	V_SCH_DIALYSIS_PLAN
CTR と撮影時体重	V_PAT_CTR
VA 画像	V_PAT_VA
VA 情報	V_RST_DIALYSIS_COND
投与薬剤	V_IND_DIALYSIS_MEDI
特記事項 (FV・RI)	V_PAT_INFO
既往歴／経過欄	DWH Input Category
観察記録	V_PAT_LIFE_LIST

患者連絡表のアプリケーションソフトを立ち上げると最初に図 5-4 の画面が表示される。そこで、図 5-5①に示す実施日を入力する。実施日は直近の透析施行日を選択する。なお、初期値はシステムの日付となる。

次に、図 5-5②に、図 5-5①で指定した日に透析された患者一覧が抽出される。患者一覧は、実施日に該当する透析実施患者の一覧を FNweb 内の、V\_RST\_DIALYSIS テーブルより取得される。その後、目的の患者をダブルクリックして選択すると、患者情報、透析条件、既往歴/経過が図 5-5③に表示される。

患者情報表示部左側の患者基本情報は、氏名、ID、性別、生年月日、透析導入日、導入施設、原疾患、血液型を FNweb 内の V\_PAT\_INFO テーブルから取得する。住所、電話番号、緊急連絡者、連絡者電話番号、連絡者住所は、FNweb 内の V\_PAT\_CONTACT

テーブルから取得する。禁忌情報は、FNweb 内の V\_PAT\_TABOO テーブルから、感染症情報は、FNweb 内の V\_PAT\_INFECT テーブルから取得する。

患者連絡表印刷

### 患者連絡表

条件入力 ①

実施日 2013年05月27日

入外 すべて

クール すべて

検索

フリガナ チョウコウテスト ID 000000000400

氏名 帳票テスト 生年月日 1990/05/24 年齢 23 性別 男 職業

住所 福井県福井市問屋町3-111 電話番号 0776-25-8488

緊急連絡者 帳票 父親 電話番号 0776-12-3456

原疾患 透析歴 0年2ヵ月 透析導入日 2013/03/23

感染症 禁忌 造影剤20mg  
造影剤10mg  
造影剤12mg 血液型 A RH+

一括印刷

保存 プレビュー 印刷 終了

②

③

図 5-5 患者連絡票の情報抽出画面（患者情報）

次に、患者情報表示部中央の透析条件表示画面を図 5-6 に示す。各透析条件の出力先は、図 5-6④に示すように、FNweb 内の V\_RST\_DIALYSIS\_COND テーブルから取得する。この中で、各透析条件は、実施日から見て、実施日を含めた直近の未来指示が取得され、抗凝固剤の合計量に関しては、初回量+持続総量となる。穿刺針の種類は、FNweb 内の V\_RST\_DIALYSIS\_EQUIP テーブルから取得し、透析日と透析スケジュールは、FNweb 内の V\_SCH\_DIALYSIS\_PLAN テーブルから取得する。透析パターンは、V\_SCH\_DIALYSIS\_PLAN のうち、予定区分「定期」のレコードを 1 週間分集めて作製する。

CTR と撮影時体重に関しては、FNweb 内の V\_PAT\_CTR テーブルから取得し、VA 増設日と VA 画像に関しては、FNweb 内の V\_PAT\_VA テーブルから取得する。V\_PAT\_CTR 及び V\_PAT\_VA は、実施日を含めた直近の過去データを取得し、VA 項目のみ、V\_RST\_DIALYSIS\_COND から取得する。なお、VA 画像は設定により FNweb の画像保存先を参照することにした。

図 5-6⑤に示す投与薬剤に関しては、FNweb 内の V\_IND\_DIALYSIS\_MEDI を参照し情報を取り込んだ。薬剤情報は、第 2 木曜、第 4 木曜の翌週の月曜～土曜までの薬剤を重複のないように収集し表示した。実施例として、例えば実施日が 7/11（木）の場合、

7/15 (月) から 1 週間分の指示薬剤を表示し、実施日が 7/12 (金) の場合、7/29 (月) から 1 週間分の指示薬剤を表示する。

次に、図 5-6④の特記事項であるが、ここには FNweb 内の、V\_PAT\_INFO よりメモ情報を取得して表示させた。FV と RI の情報掲載は、この箇所に行った。患者連絡表に FV と RI が出力されている様子を図 5-7 に示し、患者連絡表の全体図を図 5-8 に示す。

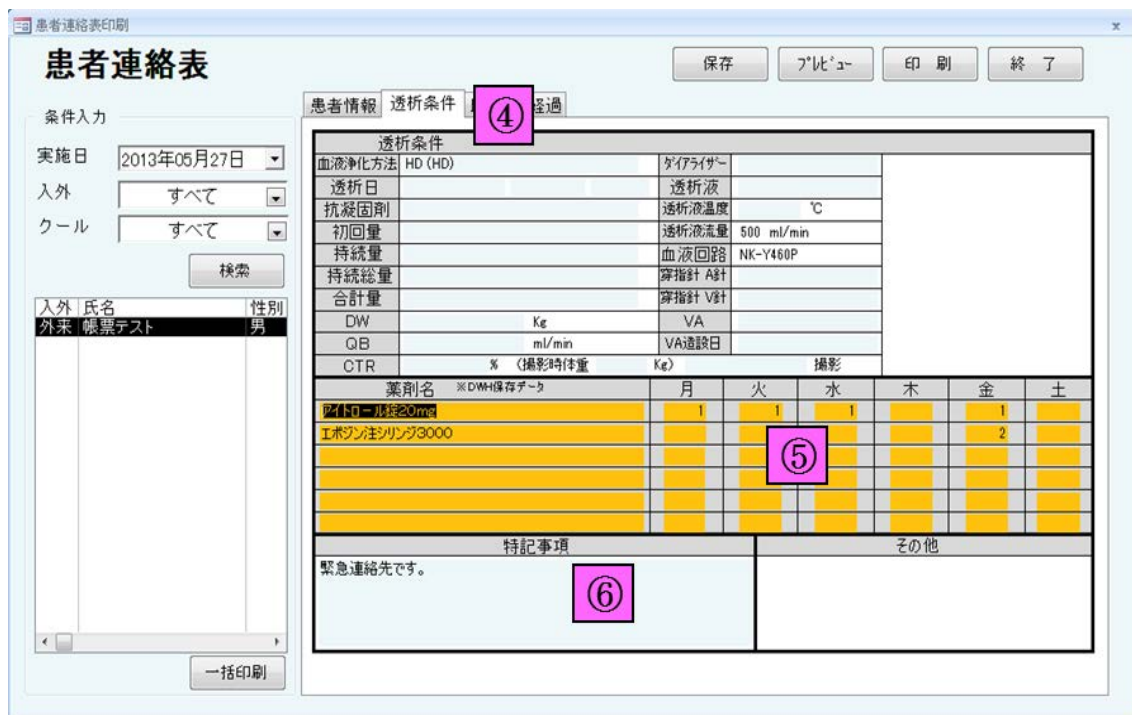


図 5-6 患者連絡票の情報抽出画面 (透析条件)

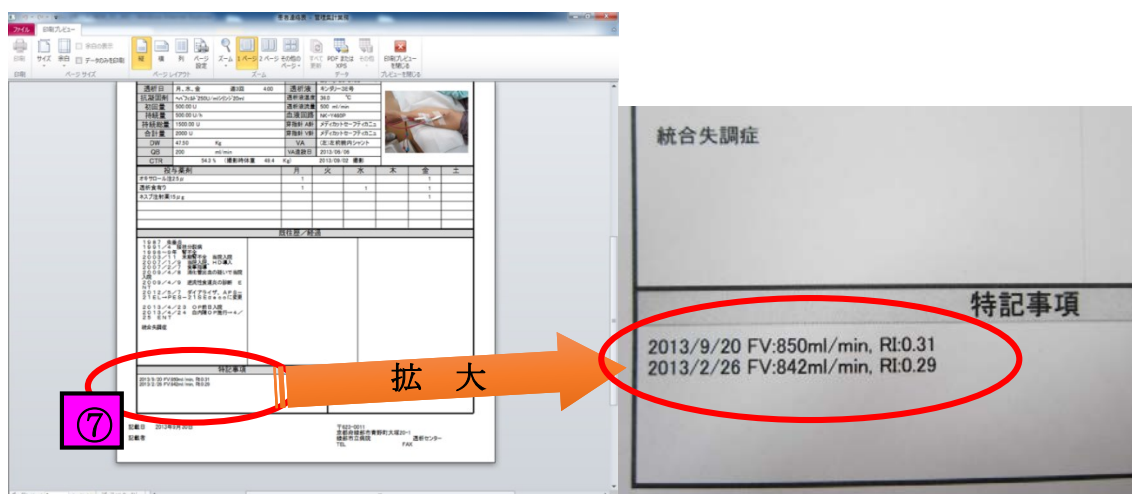


図 5-7 患者連絡表へ FV と RI が出力されている様子

### 患者連絡表

フリガナ	フヨヒヨウ 410	ID	00000000410	年齢	43	性別	男	職業	
氏名	福葉 410	生年月日	1970/07/03						
住所	福井県福井市1-1-1福井アパート101						電話番号	0776-12-3456	
緊急連絡者	福葉 父						電話番号	0776-98-7654	
連絡者住所	福井県福井市3-3-3								
原疾患	21ハイドロキナーゼ欠損症	透析歴	13年0ヵ月	透析導入日	2000/07/05				
				導入施設	KKR札幌医療センター				
感染症	HBs抗原 定性(-) HBs抗体 定性(+) HBe抗原 定性(-)	禁忌	ブラスチックに含有50mlの塩素に3-基準			血液型	B Rh-		
<b>透析条件</b>									
血液浄化方法	HD (OHF)	ダイヤライザー	[APS-215A]						
透析日	月、水	透析回	0.60	透析液	○透析液				
抗凝固剤	注射用ヘパリン50	透析液温度	34.0 °C						
初回量	5.00 A	透析液流量	600 ml/min						
持続量	2.00 A/h	血液回路	NK-Y400P						
持続総量	10.00 A	穿刺針 A針							
合計量	15 A	穿刺針 V針							
DW	67.00 Kg	VA							
QB	123 ml/min	VA施設日	2013/07/01						
GTR	% (撮影時体重 Kg)	撮影							
<b>投与薬剤</b>									
アス/ワK散		月	3	火	3	水	3	木	3
インジメスクラブ		月	4	火	4	水	4	木	4
ウロカルシ		月	1	火	1	水	1	木	1
		月		火		水		木	
		月		火		水		木	
		月		火		水		木	
<b>既往歴／経過</b>									
慢性腎不全と透析導入【編集】腎臓には糸球体濾過、尿管の再吸収といった尿の生成、電解質の排泄、内分泌、代謝といった機能が、急性は細菌性感染への反応が示唆されており、腎不全の発症では細菌性感染の疑いが認められる。また内分泌は尿中尿糖によるレニンの分泌やエリスロポエチンの分泌、ビタミンDの活性化、キニン、カリクレイン、プロスタグランジンの分泌などが、腎臓の障害、慢性腎臓病（CKD：Chronic Kidney Disease）ではこれらの機能が障害されている。腎臓を標準に保つ指標として、尿検査による蛋白尿、血尿といった所見や、クレアチニンクリアランスを用いられる。尿中電解質（Na、K）、クレアチニン（Cr）値がある。クレアチニンは腎臓疾患の代謝産物であり、尿量や運動量の影響を受ける。尿量減少は蛋白尿の代謝産物であり、尿毒症、ステロイド、消化管出血や食事内容などに影響を及ぼすため、尿量を測ながら腎臓機能を測っていく必要がある。一般にクレアチニンは2mg/dl以上になるとネフロンの数は正常の半分以下になると考えら			れる。クレアチニンが5-7mg/dl以上になると透析療法を導入を検討するという流れになる。慢性に進行した場合はクレアチニンクリアランスが1.0ml/min未満の状態で通常の生活を送る上で自覚症状が乏しい場合も多い。人工透析はクレアチンクリアランスが1.0ml/min未満（非透析時も含めた時間平均値）の血液浄化能力がないため、かなりの強制的補助があるにも関わらず活動、食事などに制しては慢性腎不全と同様に制約を加えなければならぬ患者である。そのため、透析導入をできるだけ遅らせる治療がなされている。それが腎臓による血圧コントロールや食事療法である。慢性腎不全の透析導入基準（案）に之れば、臨床症状、腎機能（検査値）、日常生活障害、年齢によって腎臓機能のスコア化を行い、6.0点以上となったら透析導入を行う、と定めている。ただし、基礎疾患が糖尿病である場合は6.0点に達してなくても透析導入に踏み切る場合がある。透析治療の手段は動脈硬化による心疾患が多い。糖尿病がある場合は早期導入した方が脳梗塞などの進行を食い止められる可能性が示唆されているが、ま			だ転記は行われていない。透析導入の場合は血液浄化療法の選択として装置の分類にあげられるものが知られている。随に有名なものが腹膜透析と血液透析である。近年の考え方はPD（Peritoneal Dialysis）という考え方が主流であり、患者の血液浄化が慢性的なままでは腹膜透析を行い（腹膜透析が優れているなら）、4-5年したら血液透析に移行するのが最も良いとされている。あくまで慢性腎臓病が強いている事が前提であるため、血液透析を目的で腹膜透析を継続する事は避けるべきである。また、PD（Peritoneal Dialysis）という考え方もあり、これは血液透析に替えられない腎臓病治療において、腹膜透析を利用した透析小窩の腎臓動脈を行い、血清レベルの改善を目指すものである。なお、慢性腎不全は病気が全く異なるため、上述とは全く異なる。慢性腎不全における透析導入【編集】Cr 7.0mg/dl、BUN 80mg/dlといった慢性腎不全では透析導入となることが多い。多くの慢性腎不全は急性性腎臓病であるため、透析導入にて急性性腎臓病を治し、その時から定期的に透析すれば数日で透析から離脱することができる。しかし、多臓器不全の場			
<b>特記事項</b>					<b>その他</b>				
毎週月曜早帰り									

記載日 2013年7月24日

記載者

〒623-0011  
京都府綾部市青野町大塚20-1  
綾部市立病院 透析センター  
TEL FAX

図 5-8 患者連絡表の出カイメージ

最後に、患者情報表示部右側の既往歴／経過欄表示画面を図 5-9 に示す。既往歴／経過欄は、図 5-9⑧に示した通り、自由入力エリアとなり、DWH Input Category テーブル内に格納され、最大 3072 バイトの情報が格納可能となるように設定した。なお、当該患者を初回開いた際は、V\_PAT\_LIFE\_LIST（観察記録）より、データ取得し表示することとした（IND\_ID='1'の最新 UP\_DATE レコード）。これらは、一度保存されると、当該

患者を次回以降開いた場合にも、DWH Input Category テーブルより情報を取得して表示される。

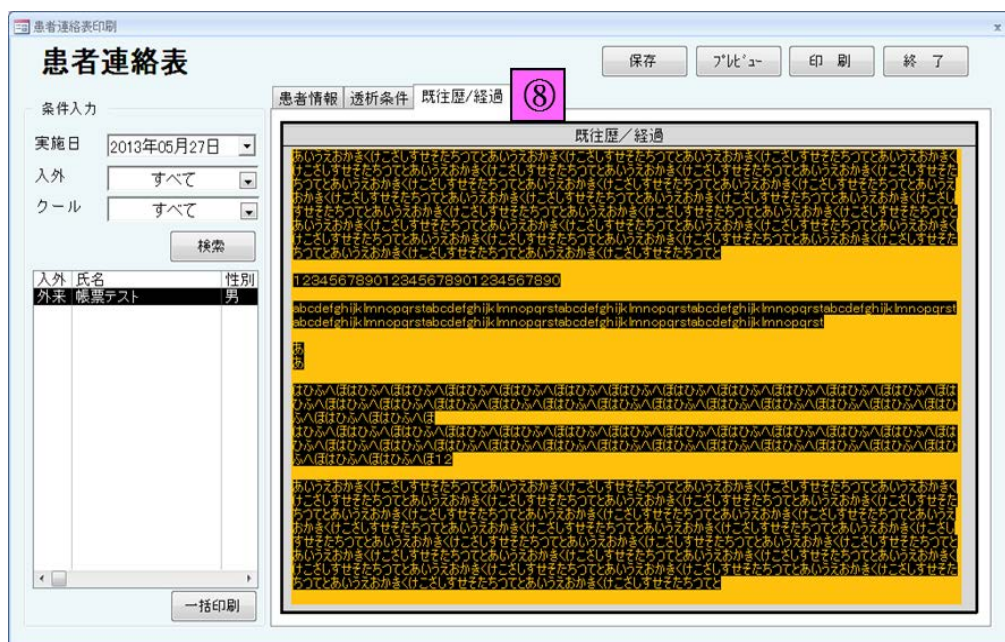


図 5-9 患者連絡票の情報抽出画面（既往歴／経過欄）

## 5.4 ③作製したアプリケーションツールの評価

### 5.4.1 アンケート調査

入院/転院サマリと透析コンソールへの FV・RI 自動掲載ツールの開発により、実際の透析業務においてどのような利便性や変化が見られたかを、質問紙法にて調査した。

対象は、綾部市立病院透析センターに従事する医療従事者 19 名（医師 3 名、臨床工学技士 6 名、看護師 10 名）とした。

### 5.4.2 方法

調査はアンケート方式にて行った。アンケートは以下の 6 つの質問で評価し、それぞれの結果をグラフ化して達成度を五段階で評価した。結果のグラフは円グラフとし、それぞれにおいて百分率で表示した。アンケートに用いた質問 1～6 について以下に解説する。

質問 1 は、「VA 管理全体の質が向上したと思うか？」として、本ツールの総合的な評価が対象から得られているかどうかを検討した。質問 2 は、「VA 異常の早期発見が可能となったか？」として、透析コンソールへの自動表示機能で VA 異常を早期に発見できるだけの利便性が得られているかを検討した。質問 3 は、「VA 異常の発見から治療までの流れが迅速化したか？」として、これも VA 異常を早期に発見できるかを検討するとともに、時系列的

な掲載が治療の有無についての判断を行いやすくなったかどうかを検討した。質問 4 は、「FV と RI の数値化情報を活用しやすくなったか？」として、数値情報の活用に抵抗を抱きやすかったスタッフからの評価が得られているかどうかと、それらのスタッフを含めて、FV と RI という数値に馴染みが持っているかを検討した。質問 5 と質問 6 は、「治療部門（他部門）で活用できると思うか?」、「他院や他病棟で活用できると思うか?」として、患者連絡表でのシャント血流機能情報の提示が有用かどうかを検討した。表 5-2 には、実際に使用したアンケート用紙を示す。

表 5-2 アンケート用紙

入院/転院サマリと透析コンソールへの FV・RI 自動掲載ツール についてのアンケート調査	
1. VA 管理全体の質が向上したと思うか? ① とても良くなった ② 良くなった ③ 変化はない ④ 悪くなった ⑤ とても悪くなった	回答 _____
2. VA 異常の早期発見が可能となったか? ① とても良くなった ② 良くなった ③ 変化はない ④ 悪くなった ⑤ とても悪くなった	回答: _____
3. VA 異常の発見から治療までの流れが迅速化したか? ① とても良くなった ② 良くなった ③ 変化はない ④ 悪くなった ⑤ とても悪くなった	回答: _____
4. FV と RI の数値情報を活用しやすくなったか? ① とても良くなった ② 良くなった ③ 変化はない ④ 悪くなった ⑤ とても悪くなった	回答: _____
5. 治療部門（他部門）で活用できると思うか? ① 十分活用できる ② 活用できる ③ 変化はない ④ 活用できない ⑤ 全く活用できない	回答: _____
6. 他院や他病棟で活用できると思うか? ① 十分活用できる ② 活用できる ③ 変化はない ④ 活用できない ⑤ 全く活用できない	回答: _____



## 5.5 結果

質問1の結果を図5-10に示す。回答の結果、「①とても良くなった」が63.2%、「②良くなった」が36.8%、その他は0%であった。

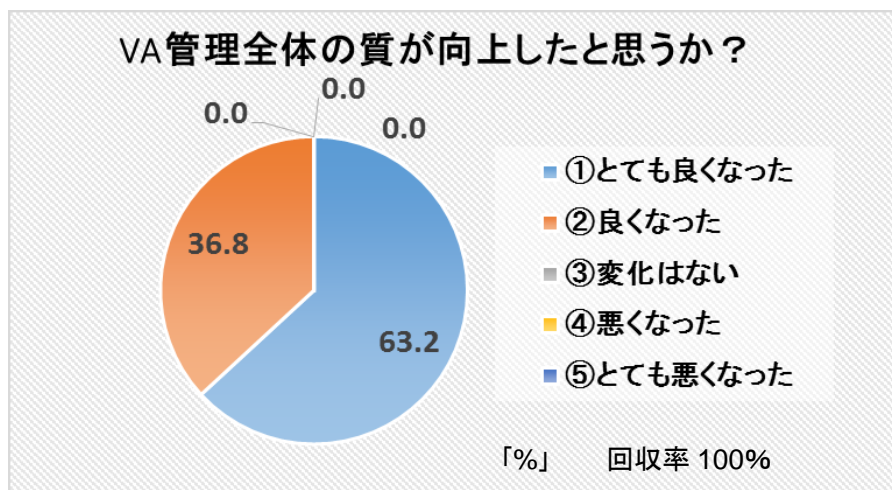


図 5-10 質問1の結果

質問2の結果を図5-11に示す。回答の結果、「①とても良くなった」が36.8%、「②良くなった」が36.8%、「③変化はない」が26.3%、その他は0%であった。

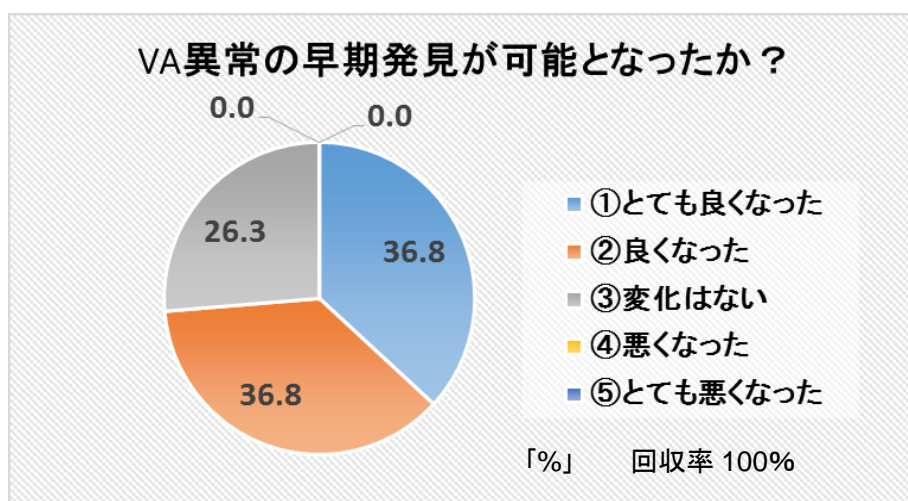


図 5-11 質問2の結果

質問3の結果を図5-12に示す。回答の結果、「①とても良くなった」が57.9%、「②良くなった」が21.1%、「③変化はない」が21.1%、その他は0%であった。

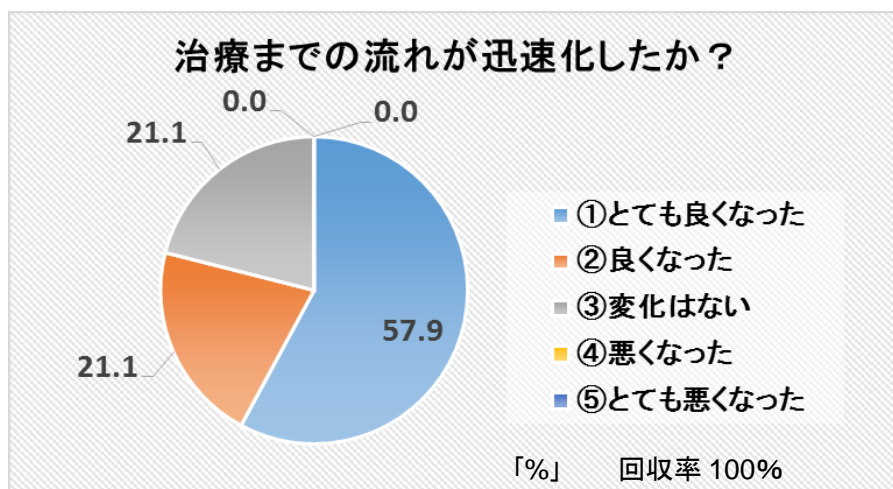


図 5-12 質問 3 の結果

質問 4 の結果を図 5-13 に示す。回答の結果、「①とても良くなった」が 68.4%、「②良くなった」が 21.1%、「③変化はない」が 10.5%、その他は 0%であった。

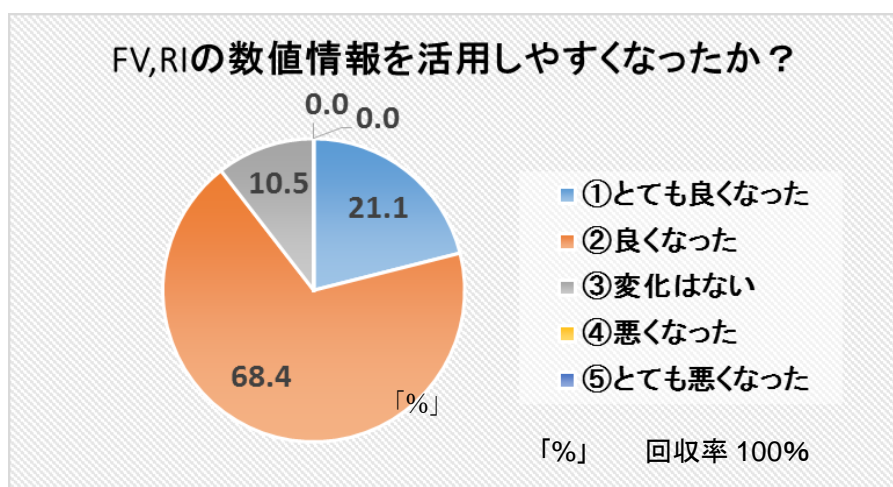


図 5-13 質問 4 の結果

質問 5 の結果を図 5-14 に示す。回答の結果、「①十分活用できる」が 10.5%、「②活用できる」が 57.9%、「③変化はない」が 21.1%、「④活用できない」が 10.5%、その他は 0%であった。

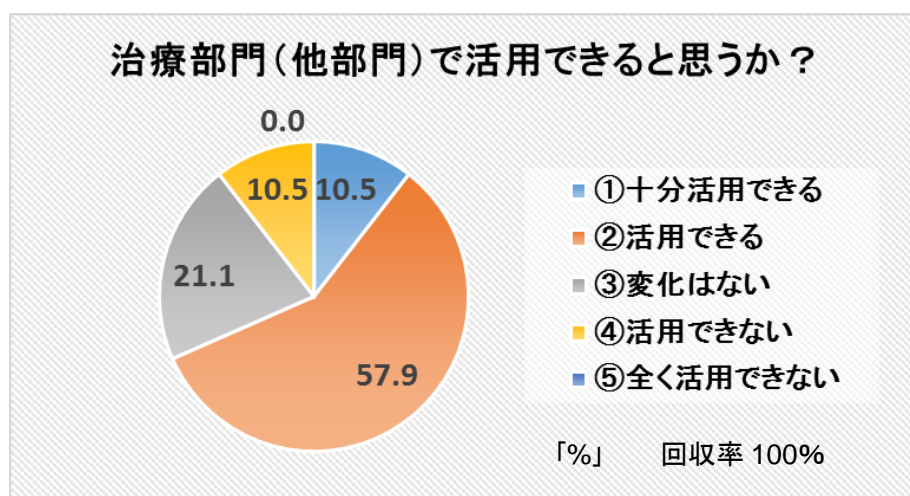


図 5-14 質問 5 の結果

質問 6 の結果を図 5-15 に示す。回答の結果、「①十分活用できる」が 21.1%、「②活用できる」が 42.1%、「③変化はない」が 26.3%、「④活用できない」が 10.5%、その他は 0% であった。

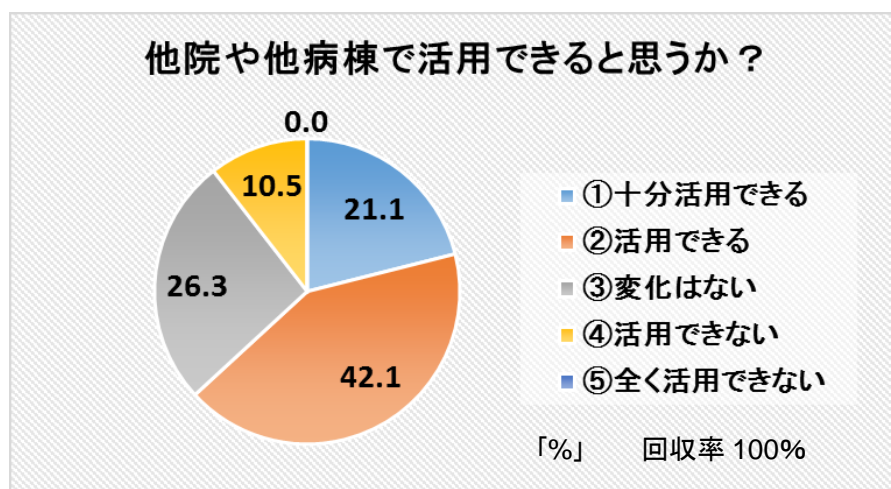


図 5-15 質問 6 の結果

## 5.6 考察

本ツールを開発して実際に活用したことで、透析センター内でのシャント評価から治療までの流れが効率化した。また、FV と RI の数値情報を評価しながら次の治療ステップに進むか否かを、透析に関わる多くの医療従事者が考えるようになったので、VA 管理そのものの質が向上した。

VA 管理の質向上が得られた背景として以下の点が挙げられる。まず、コンソールにおいて過去に測定した FV と RI の変動を確認することが可能となった。このことで、

穿刺前の理学所見で異常を疑えば、従来のようにカルテを開かずに FV と RI を確認できるようになった。またその際、以前と比較して FV と RI が悪化しているか否かで、即座にシャント状態の変化が把握できる。これらが、アンケート調査にて、「シャント異常の早期発見につながる」、および「治療までの流れが迅速化する」との回答が得られた理由と考えられる。

また、造影検査やバルーン拡張術、およびシャント再建に至った際にも、FV と RI の過去情報を透析スタッフから施術者の医師や放射線技師へ速やかに情報伝達できるようになった。透析スタッフがシャント血流機能情報の発信源となることで、どの穿刺部位においてどの箇所が異常であるという正確な情報を直接的に伝達することができる。今までであれば、透析室から検査室を介して治療現場に伝達されていた情報が短絡化されたことも VA 管理の質向上に關与したと考えられる。

加えて、患者連絡表で他院に情報を伝える際にも、常時過去データを貯めていくことで伝えられる情報量が増えた。今回作製したツールでは、過去の FV と RI の数値データを時系列的に並べ、患者連絡表へ既往や経過情報と共に掲載しているので、シャント再建等のイベントとシャント血流機能情報との整合性を確認してシャントの現状を把握することができる。また、透析室という特定の部門だけでなく、幅広い部門で使用可能である面からも、今後のシャント管理の質向上に寄与するものと考えられた。

## 5.7 結論

DWH を利用して、microsoft 社の Access にて患者連絡表と透析コンソールへのシャント血流機能情報自動掲載ツールを作製した。本ツールを作製したことで、現状のシャント管理が効率的かつ総合的に行えるようになった。

## 第6章 総括

### 6.1 結語

透析低血圧症は、全国約31万人の慢性腎不全患者に対する透析中の主要合併症であり、治療中の患者に苦痛をもたらす最大の要因ともいえる。現存する予防策は多肢にわたるが十分なものは存在しない。今後、簡便でありながら効果が高く、生体への負担が少ない予防策を考案することが、より良い透析環境の構築に繋がる。また、血液透析を施行する上で必須のシャントは、長らく理学所見による主観評価が最重要とされてきたが、今後はより簡便かつ高質な定量性を持った評価法を確率する必要がある。

本研究「第2章」の静脈還流の促進を利用した透析低血圧症の予防では、患者に身体的および精神的な負担を与えることなく、簡便に透析低血圧症を予防する方策を立案して成果を得た。前述の通りであるが、補液製剤や薬剤といった患者の身体に負担となるものを使用せずに、快適に血圧低下を予防できた点は、現存する透析低血圧症の予防策にない特徴的な利点であった。今後、より自然な状態を担保しながら血圧低下を防ぎたい場合に有効的な手法になると考えられた。

また、「第3章」の透析中のFV低下要因の追跡研究においては、シャント血管に器質的コンプライアンス低下を有し、全身性の血管荒廃が見られる症例で、透析中のFV低下が起こりやすいことを示した。このことから、FVは血圧のみと比例関係にある訳ではないことが示唆され、シャントを適切に管理するためには、シャント状態と透析中のFV変化を加味して評価する必要があることが示された。今後、より高質なシャント管理を目指す上でも、また透析効率の適正化を見直す意味でも、有用な知見であったと考えられる。

「第4章」の超音波検査でのFVとRIの測定が脱血時でも正確に行えるかを調べた研究では、脱血時でも非脱血時と同等の測定精度が得られるという可能性を示すことができた。FV・RIの測定値は、シャントの異常が発生した場合に直ぐ変化する鋭敏な指標である。また、シャント異常は徐々に進行するよりもむしろ突如発生するケースが多い。よって、それらを判定するためにも、透析現場で常日頃からシャント血流機能を定量管理できる体制を築くことが理想である。現在はまだ透析現場でこれらを評価ができる施設は限られているが、この研究を更に掘り下げて今後広く普及させることで、透析医療

スタッフによるより効率的で無駄のないシャント管理が実現すると思われる。今後より適切なシャント管理とより綿密な透析計画を提示できる可能性があるうえで、本研究は意義が高かったと考えられる。

「第5章」では、第3から第4章で得られた知見を、実際の現場でいかに見やすく管理できるかを追求するために、透析支援システムを利用し、透析中でも簡便にFVとRIの過去データを閲覧できる体制と、入院や転院のサマリにも自動で落とし込めるシステムツールを作製した。当初はできなかった機能を付加したことで、より簡便かつ効率的にシャント血流機能を臨床活用することができ、アンケート調査でも良好な結果を得た。

これら本研究から得られた一連の知見は、現在の透析医療における血圧管理やシャント管理の盲点となっている部分である。透析中の血圧とシャント血流動態との関連性と、それらの新たな管理手法を臨床研究で見出すことができたことが、本博士論文の成果である。

## 6.2 将来の展望

本研究は臨床研究が主体であった。臨床研究は、実際の治療における生体異変を、現場の課題から直視することができ、未知なる生体を評価する上で意義の高いものである。しかし、本研究では擬似モデル等を使用した基礎研究での知見が得られていない。今後は、本研究で得られた結果のメカニズムを基礎研究で検証し、臨床研究で得られた結果と併せて、より高い信憑性を得るべきである。透析療法は、数多くの医療職種が関与し、高度医療機器を駆使することで成し得る先端医療である。今後は、血圧とシャントのみならず、一回一回の治療に対する各種モニタリングの操作法や管理運用法、および数多くの周辺機器の臨床的な安全性などについても、根本から追求し、様々な角度から研究を行いたい。

また、それらに対して本研究科で学んだ応用情報科学を存分に駆使し、より効率的で安全性の高い医療に貢献すべく、今後も努力を重ねたい。

## 謝辞

本論文は筆者が兵庫県立大学大学院 応用情報科学研究科 応用情報科学専攻 ヘルスケア情報科学コース 医療福祉情報学領域 博士後期課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。同専攻教授 水野（松本）由子 先生には指導教員として本研究を実施する機会を与えていただき、その遂行にあたって終始ご指導をいただいた。また、同専攻教授 堀尾裕幸 先生、並びに同専攻准教授 竹村匡正 先生には、副査としてご助言をいただくと共に報告会や勉強会においても有意義なご指導をいただいた。ここに深謝の意を表す。綾部市立病院 前院長 白方秀二 先生、同病院 前泌尿器科部長 佐藤暢 先生、並びに同病院 前医療技術部長 今井秀一 先生には、本研究科へ進学するに当たり、職務と学業との両立を快く承諾していただき、激励と共に随所で有益なご指導をいただいた。ここに深謝の意を表す。国立循環器病センター研究所 臨床工学部の西垣孝行氏、ならびに同専攻 応用情報科学研究科所属の藤堂敦氏には研究遂行にあたり日頃より有益なご討論とご助言をいただいた。ここに感謝の意を表す。本研究の第2～4章の臨床研究では、綾部市立病院臨床工学科の各位に実験操作およびデータ整理等の手助けをいただいた。ここに謝意を表す。

なお、本研究は平成23年財団法人日本腎臓財団度若手研究者に対する助成（JFK 11-4）、平成23年度日本透析医会公募助成事業の助成、および平成24年度日本透析医学会コメディカル研究助成の交付を受けて実施した。

## 参考文献

- [1] WL, Heinrich, “Hemodynamic instability during hemodialysis,” *Kidney Int.*, 第 30 卷, pp. 605-612, 1986.
- [2] A, Tisler, “The effect of frequent or occasional dialysis-associated hypotension on survival of patients on maintenance hemodialysis,” *Nephrol Dial Transplant.*, 第 18 卷, pp. 2601-2605, 2003.
- [3] 根木茂雄, 坂口俊文, 秋澤忠男, “透析低血圧の管理 -第 47 回日本透析医学会ワークショップより-,” *日本透析医学会雑誌*, 第 36 卷 6 号, pp. 1172-1173, 2003.
- [4] 鈴木卓, 川崎忠行, 石川恒夫, 前田貞亮, “透析医療における電子化環境,” *日本透析医学会雑誌*, 第 37 卷 9 号, pp. 1769-1770, 2004.
- [5] 林弘美, 青木智史, 宮崎浩明, “透析装置の自動化の現状と今後の課題 (1),” *日本透析医学会雑誌*, 第 33 卷 4 号, pp. 251-252, 2000.
- [6] (社)日本透析医学会バスキュラーアクセス・ワーキンググループ委員会, “慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作成および修復に関するガイドライン,” *日本透析医学会雑誌*, 第 44 卷 9 号, pp. 855-937, 2011.
- [7] 春口洋昭, *バスキュラーアクセス超音波テキスト*, 東京: 医歯薬出版, 2011.
- [8] 飯田喜俊, 白井大祿, 今田聡雄, *臨床透析ハンドブック-第 2 版-*, 株式会社メディカル・サイエンス・インターナショナル, 1999.
- [9] Levey AS, Eckardt KU, Tsukamoto Y, Levin A, Coresh J, Rossert J, De Zeeuw D, Hostetter TH, Lameire N, Eknoyan G, “Definition and classification of chronic kidney disease: a position statement from Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO),” *Kidney Int.*, 第 67 卷 6 号, pp. 2089-100, 2005.
- [10] 統計調査委員会, (社)日本透析医学会統計調査委員会: わが国の慢性透析療法の現況 (2012 年 12 月 31 日現在), 東京: 一般社団法人日本透析医学会, 2013.
- [11] 原茂子, “透析導入と主要合併症,” *日腎会誌*, 第 45 卷 2 号, pp. 65-75, 2003.
- [12] 役に立つ薬の情報, <http://kusuri-jouhou.com/physics/fukugou.html>, (2014. 2. 22 参照)



- [13] 臓器移植 119, <http://www.zoukiishoku119.com/category/dialysis-compl/>, (2014. 2. 22 参照)
- [14] 有限会社ネクスティア 透析百貨 第 115 版, <http://202.216.128.227/>, (2014. 2. 22 参照)
- [15] 飯田喜俊, 秋澤忠男, 椿原美治, 臨床透析ハンドブック-第 4 版-, 株式会社メディカル・サイエンス・インターナショナル, 2009.
- [16] 柳瀬正憲, 島津祥彦, 中西義彦, 泉和雄, “循環血液量モニタリングと血圧調節システム,” 臨床透析, 第 14 巻, pp. 953-961, 1998.
- [17] 安藤勝信, 大河原晋, 田部井薫, “シリーズ臨床工学技士 血液透析におけるモニタ,” 医工学治療, 第 20 巻 3 号, pp. 201-205, 2008.
- [18] Yokokawa K, Mankus R, Saklayen MG, et al., “Increased nitric oxide production in patients with hypotension during hemodialysis.,” *Ann Intern Med*, 第 123 巻, pp. 35-37, 1995.
- [19] Maggiore Q, Pizzarelli F, Sisca S, et al., “Blood temperature and vascular stability during hemodialysis and hemofiltration.,” *Trans Am Soc Artif Intern Organs*, 第 28 巻, pp. 523-527, 1982.
- [20] 新里高弘, 前田憲志, “Dialysis-induced hypotension とその対策,” 臨床透析, 第 8 巻, pp. 55-61, 1992.
- [21] Shinzato T, Miwa M, Nakai S, Morita H, et al., “Role of adenosine in dialysis-induced hypotension,” *J Am Soc Nephrol*, 第 4 巻, pp. 1987-1994, 1994.
- [22] 小畑俊男, “心筋障害の調節因子とアデノシン産生,” 日薬理誌 (*Folia Pharmacol. Jpn.*), 第 119 巻, pp. 273-279, 2002.
- [23] JT, Daugirdas, “Dialysis hypotension -A hemodynamic analysis-,” *Kidney Int*, pp. 233-246, 1991.
- [24] 新里高弘, “透析低血圧の予防に対する高張ブドウ糖溶液の持続注入の有効性,” 臨床透析, 第 22 巻, pp. 1425-1427, 2006.
- [25] Manns BJ, Johnson JA, Taub K, Mortis G, Ghali WA, Donaldson C, “Dialysis adequacy and health related quality of life in hemodialysis patients.,” *ASAIO J*, 第 48 巻, pp. 565-569, 2002.
- [26] 椿原美治, “慢性腎不全患者の血圧管理,” 自律神経, 第 37 巻, pp. 49-54, 2002.
- [27] 勝二達也, 椿原美治, 藤井正満, 今井圓裕, “透析時低血圧と生命予後,” 透析会誌, 第 36 巻, pp. 1181-1182, 2003.

- [28] Wong DH, O'Connor D, Tremper KK, Zaccari J, Thompson P and Hill D, "Changes in cardiac output after acute blood loss and position change in man," *Critical Care Medicine*, 第 17 卷, pp. 979-983, 1989.
- [29] Wong DH, Tremper KK, Zaccari J, Hajduczek J, Konchigeri HN and Hufstedler SM, "Acute cardiovascular response to passive leg raising," *Critical Care Medicin*, 第 16 卷, pp. 123-125, 1988.
- [30] 吉岡哲, "受動的な下肢挙上が下大静脈横断面積および一回拍出量に及ぼす影響," *川崎医療福祉学会誌*, 第 19 卷 2 号, pp. 285-290, 2010.
- [31] 太田覚史, 山田典一, 辻明宏, 石倉健, 他, "静脈血栓塞栓症に対する各理学的予防法の静脈血流増加効果についての検討," *静脈学*, 第 15 卷 2 号, pp. 89-95, 2004.
- [32] 窪孝充, 近藤俊一, 高橋満, 井村有希子, 他, "IPC 施行中の体位, カフの巻き方, 巻く部位の違いによる膝かおよび大腿静脈最大血流速度の変化," *医機学*, 第 79 卷 6 号, pp. 382-391, 2009.
- [33] 江口圭, "連続的ヘマトクリットモニタを用いた循環血液量の監視," *Clinical Engineering*, 第 8 卷 12 号, pp. 1008-1015, 1997.
- [34] 三上康郎, 青木幸夫, 他, "循環血液量の変化率 (% $\Delta$ BV) を指標とした除水自動制御システム (BV プロ) による安定した透析の試み," *日本臨床工学技士会誌*, 第 15 卷, pp. 73-74, 2001.
- [35] JMS, クリットラインモニタ TQAIII (JMS 社製) 取扱い説明書.
- [36] 臨床透析編集委員会, エキスパートの育成を目指して バスキュラーアクセス 作成・管理・修復の基本方針, 第 27 卷, 東京: 日本メディカルセンター, 2011.
- [37] 信楽園病院, <http://www.shinrakuen.com/everybody/item/zinkotouseki.html>, (2014. 2. 22 参照)
- [38] 竹内裕美, 間島雄一, 竹内万彦, "Visual analogue scale の手引き-鼻閉感の評価-, " *日本鼻科学会誌*, 第 42 卷 4 号, pp. 313-316, 2003.
- [39] 春田良雄, "特集 ケアにいかす呼吸モニタリング機器 Q&A 経皮酸素・二酸化炭素モニタ," *呼吸器ケア*, 第 6 卷 12 号, pp. 1198-1202, 2008.
- [40] コーケンメディカル社, "Cutaneous PO<sub>2</sub>/PCO<sub>2</sub> monitor 9100," 取扱い説明書.
- [41] Yamashita A, Hidai H, Kumano K, Sakai T, "Comparison of intermittent and continuous therapies by two urea kinetic models.," *ISAO*, 第 205 卷, pp. 271-274, 1986.
- [42] 三輪真幹, "特集 血液透析高率の評価法について再考する カイネティックモデル

- の基礎と考え方 (1) コンパートメントモデル,” 臨床透析, 第 26 卷 4 号, pp. 447-454, 2010.
- [43] 横山和仁, 他, “POMS,” 日本公衛誌, 第 37 卷, pp. 913-918, 1990.
- [44] 横山和仁, 日本版 POMS 手引き, 金子書房, 1997.
- [45] 赤林朗, 他, “POMS,” 心身医, 第 31 卷, pp. 557-582, 1991.
- [46] Ganong, William F., 医科生理学展望 第 17 版, 東京: 丸善, 1995.
- [47] McPhee, Stephen J., 病態で学ぶ 呼吸・循環・消化器学, 東京: 丸善, 1996.
- [48] 江口圭, 池辺宗三人, 金野好恵, 山田祐史, 金子岩和, 峰島三千男, 秋葉隆, “新しい HDF 療法 (間歇補液 HDF: intermittent infusion HDF) の考案とその臨床効果,” 日本透析医学会雑誌, 第 40 卷, pp. 769-774, 2007.
- [49] Chen, A. H., Frangos, S. G., Kilaru, S., “Intermittent pneumatic compression devices- Physiological mechanisms of action.,” Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg., 第 21 卷, pp. 382-392, 2001.
- [50] 大平整爾, バスキュラーアクセス実践ガイド, 東京: 診断と治療社, 2007.
- [51] (社) 日本透析医学会統計調査委員会, “わが国の慢性透析療法の現況 (2007 年 12 月 31 日現在),” 日本透析医学会雑誌, 第 42 卷, p. 376, 2009.
- [52] (社) 日本透析医学会統計調査委員会, “わが国の慢性透析療法の現況 (1998 年 12 月 31 日現在),” 日本透析医学会雑誌, 第 33 卷, p. 376, 1999.
- [53] Rayner H.C, Besarab A, Brown WW, et al., “Vascular access results from the Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study (DOPPS) performance against Kidney Disease Outcomes Quality Initiative (K/DOQI) Clinical practice Guidelines.,” Am J kidney Dis, 第 44 卷, pp. 22-26, 2004.
- [54] Cimino, J.E. and Brescia, M.J., “The early development of the arteriovenous fistula needle technique for hemodialysis.,” Trans.Am.Soc. Artif. Intern. Organs, 第 40 卷, pp. 923-927, 1994.
- [55] Brescia, M. J., Cimino, J.E., Appel, K, et al., “Chronic hemodialysis using venipuncture and a surgically created arteriovenous fistula,” N.Engl.J.Med, 第 275 卷, pp. 1089-1092, 1966.
- [56] Harder F.T., Haenel A.F., “Haemodialyse-die arterio-venose Fistel Distal des Hand-gelenkes.,” Chirurg, 第 48 卷, pp. 719-722, 1977.
- [57] 久木田和丘, 増子佳弘, 有倉潤, “タバチエール内シャントは内シャント寿命を延長するか,” 腎と透析 2001, 第 51 卷, pp. 87-89, 2001.

- [58] 太田和夫, 辻寧重, 久木田和丘, 他, “テルモ社製透析用人工血管 (TRE687) の特徴と臨床使用報告,” 日本透析医学会雑誌, 第 36 卷, pp. 1693-1699, 2003.
- [59] 久木田和丘, 川村明夫, 人工血管の選択と新素材. 透析患者の合併症とその対策: バスキュラーアクセスの管理, 東京: 日本透析医会, 2008.
- [60] 大平整爾, 阿部憲司, 今忠正, “ブラッドアクセスの長期開存性および関連する危険因子,” 臨床透析, 第 12 卷, pp. 931-941, 1996.
- [61] 神應裕, 有賀雅和, 小林信彦, 他, “過剰血流に対する血流調整術の検討,” 腎と透析, 第 69 卷, pp. 284-292, 2010.
- [62] 天野泉, “バスキュラーアクセスと IVR (総編),” 臨床画像, 第 21 卷, pp. 1186-1194, 2005.
- [63] 天野泉, “ブラッドアクセストラブルにおけるインターベンション治療の適応と限界,” 日透医誌, 第 15 卷, pp. 84-89, 2000.
- [64] 木全直樹, 徳本直彦, 山下優子, 他, “皮下動静脈瘻における 3 次元エコー画像の有用性,” 日本透析医学会雑誌, 第 35 卷, p. 254, 2002.
- [65] 超音波の基礎原理, <http://www1.jcn.m-net.ne.jp/us/index.html>, (2014. 2. 22 参照)
- [66] (社) 日本透析医学会バスキュラーアクセス・ワーキンググループ委員会, “慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作成および修復に関するガイドライン,” 日本透析医学会雑誌, 第 38 卷, pp. 1491-1551, 2005.
- [67] 村上康一, 他, “シャント管理における超音波パルスドップラー法の有用性について,” 腎と透析, 第 56 卷, pp. 39-43, 2003.
- [68] Trerotola, S.D. and Davidson, D.D., “Preclinical in vivo testing of a rotational mechanical thrombolytic device,” SCVIR, 第 7 卷, pp. 717-721, 1996.
- [69] 池田潔, “バスキュラーアクセス形態および機能に対するモニタリング,” 臨床透析, 第 25 卷, pp. 1111-1116, 2009.
- [70] 尾上篤志, “バスキュラーアクセス機能モニタリングとしての超音波パルスドプラ法の有用性,” 医工学治療, 第 19 卷, pp. 256-262, 2007.
- [71] 山本裕也, 日野紘子, 小林大樹, 中山祐治, 中村順一, “超音波パルスドプラ法による自己血管内シャント機能評価の有用性,” 超音波検査技術, 第 36 卷 3 号, pp. 219-223, 2011.
- [72] 南伸治, 小林大樹, “臨床症状から考えるバスキュラーアクセス(VA)エコー,” 超音波検査技術, 第 36 卷 3 号, pp. 259-260, 2011.

- [73] 人見泰正, 藤堂敦, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 今田聡雄, 尾上篤志, “超音波パルスドプラ法による内シヤント血流量測定 of 適正時間帯,” 大阪透析研究会会誌, 第 24 卷 1 号, pp. 33-37, 2006.
- [74] Gotch FA, Sargent JA, “A mechanistic analysis of the National Cooperative Dialysis Study (NCDS).,” *Kidney Int*, 第 28 卷, pp. 526-534, 1985.
- [75] Shinzato T, Nakai S, Fujita Y, Takai I, Morita H, Nakane K, Maeda K, “Determination of Kt/V and protein catabolic rate using pre- and postdialysis blood urea nitrogen concentrations.,” *Nephron*, 第 67 卷, pp. 280-290, 1994.
- [76] 小野淳一, 宮田誠治, 斎木豊徳, “常識 クリアランスから計算された標準化透析量、異論・論争 実測値をもとに得られる推定値と理論値の較差の検討,” *Clinical Engineering*, 第 18 卷, pp. 154-160, 2007.
- [77] 中尾司, 小野裕明, 宮本照彦, 松田政二, 谷川智彦, 森石みさき, 川西秀樹, 土谷晋一郎, “Vascular access(VA) 評価と透析効率の関係 CL-Gap を用いて,” 腎と透析 別冊アクセス 2008, pp. 155-159, 2008.
- [78] 前野七門, 中西正一郎, 太田なおみ, 大町和, 太田隆祐, 宮西智和, 東雲大輔, 坂口麻友美, 川上知映, 石川隆太, 橋本晃佳, 作田剛規, 松村欣也, 小柳知彦, “パルスドプラ法による血流量測定 of 誤差要因についての検討,” 日本透析医学会雑誌, 第 43 卷 8 号, pp. 641-647, 2010.
- [79] 横手卓也, 鈴木雄太, 加藤紀子, 宮尾眞輝, 坂上貴光, 村上淳, 金子岩和, 廣谷紗千子, 木全直樹, 峰島三千男, 秋葉隆, “実血液ポンプ流量測定 of 意義,” 腎と透析 別冊アクセス 2009, pp. 148-149, 2009.
- [80] 大久保祐希子, 時任義臣, 西木亜衣子, 中園和子, 岩本ひとみ, 大坪義彦, 福成健一, 古賀伸彦, “HD02 による実血流量を用いたクリアランス測定法 of 評価,” 日本血液浄化技術学会会誌, 第 17 卷 1 号, pp. 59-62, 2009.
- [81] Anderson TJ, Uehata A, Gerhard MD, “Close relation of endothelial function in the human coronary and peripheral circulations.,” *JACC*, 第 26 卷, pp. 1235-1241, 1995.
- [82] Kirma C, Akcakoyun M, Esen AM, et al, “Relationship between endothelial function and coronary risk factors in patients with stable coronary artery disease.,” *Circulation*, 第 71 卷, pp. 698-702, 2007.
- [83] 吉岡哲, 西村一樹, 関和俊, 小野寺昇, “受動的な下肢挙上が下大静脈横断面積および一回拍出量に及ぼす影響,” 川崎医療福祉学会誌, 第 19 卷 2 号, pp. 285-290, 2010.
- [84] Onodera S, Miyachi M, Nishimura M, et al, “Effects of water depth on

- abdominails aorta and inferior vena cava during standing in water. *Journal of Gravitational Physiology*, 第 8 卷, pp. 59-60, 2001.
- [85] 池田潔, “VA 作成後の管理 VA 機能・形態に関わる画像などの診断法, 血流量の測定,” *臨床透析* 6 月増刊号, 第 27 卷 7 号, pp. 126-135, 2011.
- [86] 西坂美沙枝, 武田美樹, 平塚広樹, 佐々木亘, 吉岡功, 宮形滋, 木暮輝明, 原田正, “iLook25 を使用したシャントマップ作成の試み,” *腎と透析 別冊アクセス* 2009, 第 66 卷, pp. 221-222, 2009.
- [87] 鎌田正, 落合美由希, 大崎啓介, 藤澤奈央, 門屋佑子, 八城正知, “新たな血液透析返血経路としての超音波ガイド下 brachial vein 穿刺法の検討,” *透析会誌*, 第 44 卷 3 号, pp. 237-243, 2011.
- [88] 中尾司, 川西秀樹, 平ひとみ, 小野裕明, 松田政二, 谷川智彦, 森石みさき, 土屋晋一郎, “VA 評価における定期的モニタリングの重要性 -US 結果のスコアリングによる VA レベル判定法を用いて-,” *腎と透析 別冊アクセス* 2010, pp. 117-120, 2010.
- [89] Tessitore N, et al., “Can blood flow surveillance and pre-emptive repair of subclinical stenosis prolong the useful life of arteriovenous fistulae? A randomized controlled study,” *Nephrol Dial Transplant*, 第 19 卷, pp. 2325-2333, 2004.
- [90] Tessitore N, Bedogna V, et al., “Adding access blood flow surveillance to clinical monitoring reduce thrombosis rates and costs, and improves fistula patency in the short term: a controlled cohort study,” *Nephrol Dial Transplant*, 第 23 卷, pp. 3578-3584, 2008.
- [91] 吉川和暁, 北川 紘彦, 菱本康之, 米山高広, 澤田善章, 鈴木唯司, “超音波パルスドップラー法によるシャント血流測定,” *臨泌*, 第 53 卷, pp. 993-998, 1999.
- [92] 尾上篤志, 大野卓志, 高橋計行, 吉本忍, 今田聰雄, “超音波検査における前腕内シャント機能不全の予測,” *大阪透析研究会会誌*, 第 20 卷, pp. 65-68, 2001.
- [93] 村上康一, 熊切こず恵, 武田稔男, 正井基之, 吉田豊彦, “新規造設バスキュラーアクセスの開存期間と血管抵抗指数 Resistive Index (R.I.) の関係についての検討,” *腎と透析別冊 アクセス* 2008, pp. 201-203, 2008.
- [94] 人見泰正, 林道代, 衣川由美, 中川隼斗, 笹原知里, 廣田英二, 鳥山清二郎, 高村俊哉, 佐藤暢, 藤堂敦, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子, “「透析中」における内シャント血流量と実血流量の変動要因に関する研究,” *透析会誌*, 第 45 卷 9 号, pp. 863-871, 2012.
- [95] 吉田直浩, 浅川徹也, 林拓世, 水野 (松本) 由子, “指尖容積脈波を用いた情動スト

- レス刺激時における自律神経機能評価,”生体医工学, 第 49 卷 1 号, pp. 91-99, 2011.
- [96] 秋葉隆, 芝本隆, 川崎忠行, 上野信一, 佐藤久光, 申曾洙, 竹沢真吾, 田部井薫, 那須野修一, 藤井穂波, 和田孝雄, 浅野泰, “我が国の透析医療におけるコンピュータ化の現状,” 日本透析医学会雑誌, 第 31 卷 3 号, pp. 237-242, 1998.
- [97] 前波輝彦, “透析支援システム導入効果の検討 一人・安全・患者ケアの観点より一,” 日本透析医学会雑誌, 第 40 卷 4 号, pp. 321-322, 2007.
- [98] 黒田泰二, 奥村宜士, 川本茉莉, 光山綾香, 松山友美, 末光聡子, 大植麻衣, 福永恵, 大瀬戸奨, “透析用監視装置および透析情報管理システムでの透析業務の省力化と効率化ならびに透析医療経済への効果,” 日本透析医学会雑誌, 第 42 卷 11 号, pp. 871-877, 2009.
- [99] NIKKISO, [http://webmedical.nikkiso.co.jp/product/dialysis/network/Future\\_Net.html](http://webmedical.nikkiso.co.jp/product/dialysis/network/Future_Net.html), (2014. 2. 22 参照)
- [100] 池田潔, “インターベンション治療—適応範囲と新しい器材・技術の発展—,” 臨床透析, 第 21 卷, pp. 1607-1611, 2005.
- [101] 村上康一, 猪又扶美, 奈良起代子, 武田稔男, 内野順司, 坂井健彦, 河野孝史, 重松隆, “シャント管理における超音波パルスドップラー法の有用性について,” 腎と透析別冊 アクセス 2003, pp. 39-43, 2003.

## 学位論文の基礎となる学術論文目録

### 学術論文誌（査読あり）

1. 人見泰正, 衣川由美, 林道代, 稲葉光彦, 佐藤暢, 西垣孝行, 水野（松本）由子. 静脈還流の促進による透析低血圧症の予防効果. 日本透析医学会雑誌, Vol. 44, No. 11, pp. 1085-1093, 11月28日, 2011
2. 人見泰正, 林道代, 衣川由美, 中川隼斗, 笹原知里, 廣田英二, 鳥山清二郎, 高村俊哉, 佐藤暢, 藤堂敦, 西垣孝行, 水野（松本）由子. 「透析中」における内シャント血流量と実血流量の変動要因に関する研究. 日本透析医学会雑誌, Vol. 45, No. 9, pp. 863-871, 9月28日, 2012
3. 人見泰正, 林道代, 衣川由美, 中川隼斗, 笹原知里, 廣田英二, 鳥山清二郎, 高村俊哉, 佐藤暢, 藤堂敦, 水野（松本）由子. 超音波検査による内シャント血流機能評価は「透析中」でも実施可能か?. 日本透析医学会雑誌, Vol. 46, No. 4, pp. 427-434, 4月28日, 2013

### International Conference Papers

1. Hitomi Yasumasa, Sato Nodoka, Hayashi Michiyo, Eto Naohisa, Kinugawa Yumi, Nishigaki Takayuki, Mizuno-Matsumoto Yuko, Prevention of hemodialysis-induced hypotension by increasing the venous return, World Automation Congress (WAC) 2010: 7th International Forum on Multimedia and Image Processing (IFMIP), Sep. 19-23, Kobe, 2010 (CD-ROM)
2. Hitomi Yasumasa, Hayashi Michiyo, Kinugawa Yumi, Hirota Eiji, Sato Nodoka, Todo Atsu, Nishigaki Takayuki, Mizuno-Matsumoto Yuko. The effect on blood pressure and mood/sensation changes caused by fostering venous return during dialysis, World Automation Congress 2012 (WAC 2012), Jun. 24-28, Puerto Vallarta, Mexico, 2012 (CD-R)

### 学術論文誌（査読なし）

1. 人見泰正, 衣川由美, 林道代, 稲葉光彦, 佐藤暢, 西垣孝行, 水野（松本）由子. 透析中の下肢静脈還流を利用した透析低血圧症の予防策. 腎臓（日本腎臓財団）, Vol. 35, No. 2, pp. 127-133, 2012【平成23年度日本腎臓財団若手研究者に対する研究助成 報告論文】
2. 人見泰正, 藤堂敦, 西垣孝行, 水野（松本）由子. 内シャント血流量の変動とその



関連因子に対する研究. 日本透析医会会誌 Vol. 28, No. 1, pp. 173-180, 2013 【日本透析医会公募研究助成 2012 報告論文】

3. 人見泰正, 藤堂敦, 水野 (松本) 由子. 超音波検査による内シャント血流機能評価を透析中に実施するための条件の抽出. 日本透析医学会雑誌, Vol. 46, No. 7, pp. 687-688, 7月1日, 2013 【平成 24 年度日本透析医学会コメディカル研究助成 報告論文】

## 国内学会, 研究会発表論文

1. 人見泰正, 衣川由美, 衛藤直久, 林道代, 田尻伸弘, 山田浩史, 森田壮平, 佐藤暢. 透析施行中における空気圧式マッサージ器 (CARETHROM<sup>®</sup>) の使用効果について, 第 54 回日本透析医学会, 横浜, 6月5-7日, 2009, 日本透析医学会雑誌 42 巻 1 号, pp. 672, 2009
2. 人見泰正, 衣川由美, 衛藤直久, 林道代, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 静脈還流の促進による透析低血圧症の予防効果について. 第 16 回近畿臨床工学会. 京都, 12月12-13日, 2009, 第 16 回近畿臨床工学会プログラム集, pp. 49, 2009
3. 人見泰正, 衣川由美, 衛藤直久, 林道代, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 動静脈瘻 (AVF) における盗血現象の判別法. 第 20 回日本臨床工学会, 横浜, 5月22-23日, 2010, 日本臨床工学技士会会誌, No. 39, pp. 124, 2010
4. 人見泰正, 衣川由美, 林道代, 稲葉光彦, 佐藤暢, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 透析中の血圧低下予防に対する下腿静脈還流促進の効果. 第 56 回日本透析医学会学術集会, 横浜, 6月17-19日, 2011, 日本透析医学会雑誌 44 巻 1 号, pp. 384, 2011
5. 人見泰正, 林道代, 衣川由美, 中川隼斗, 笹原知里, 廣田英二, 藤堂敦, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. Vascular Access (VA) 血流評価時の測定条件に関する検討 - Arterio Venous Fistula (AVF) の適切な測定部位とタイミングについて -. 第 28 回日本医工学治療学会, 札幌, 3月24-25日, 2012, 医工学治療, Vol. 24, No. 79, pp. 101, 2012
6. 人見泰正, 林道代, 衣川由美, 中川隼斗, 笹原知里, 鳥山清二郎, 廣田英二, 藤堂敦, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 透析経過に伴う内シャント血流量と実血流量の変動傾向の解析とその変動に寄与する因子の同定に関する研究. 第 22 回日本臨床工学会, 富山, 5月12-13日, 2012, 日本臨床工学技士会会誌, Vol. 45, pp. 132, 2012
7. 人見泰正, 笹原知里, 中川隼斗, 衣川由美, 林道代, 藤堂敦, 水野 (松本) 由子. シャントエコーによる血流機能評価は「透析中」でも施行可能か?, 第 16 回日本アクセス研究会学術集会, 名古屋, 10月13-14日, 2012, 日本アクセス研究会学術

集会・総会プログラム・抄録集 16 巻, pp. 73, 2012

8. 人見泰正, 林道代, 衣川由美, 中川隼斗, 笹原知里, 藤堂敦, 水野 (松本) 由子. シヤントエコーによる血流機能評価は「透析中」でも施行可能か? -第2報-, 第6回 Vascular Access 超音波研究会, 東京, 11月18日, 2012
9. 人見泰正, 林道代, 衣川由美, 中川隼斗, 笹原知里, 藤堂敦, 水野 (松本) 由子. 脱血の有無と内シヤント血流機能評価値との関連性 -透析スタッフによるシヤントエコー管理の実現に向けて-, 第23回日本臨床工学会, 山形, 5月18-19日, 2013, 日本臨床工学技士会会誌, No. 48, pp. 133, 2013 [第23回日本臨床工学会優秀発表賞 血液浄化部門 (JACE Best Presentation Award 2013 受賞)]
10. 人見泰正, 林道代, 衣川由美, 中川隼斗, 笹原知里, 藤堂敦, 水野 (松本) 由子. 透析中の「血圧低下」と「シヤント血流量」の関連性. 第52回日本生体医工学会大会、IEEE EMBC2013, 大阪, 7月3-7日, 2013

## その他の学術論文目録

### 学術論文誌 (査読あり)

1. 人見泰正, 藤堂敦, 染矢法行, 斉藤務, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. ろ過型人工腎臓用補液の組成が放置時間により受ける影響, 大阪透析研究会会誌第22巻2号, pp. 159-163, 2004
2. 人見泰正, 岡山恭子, 藤堂敦, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄, 石川哲, 大野卓志, 高橋計行, 吉本忍. 絶対的副甲状腺機能低下症に対する sevelamer hydrochloride の効果, 大阪透析研究会会誌第23巻1号, pp. 25-29, 2005
3. 人見泰正, 藤堂敦, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 今田聰雄, 尾上篤志. 超音波パルスドプラ法による内シヤント血流量測定の適正時間帯, 大阪透析研究会会誌第24巻1号, pp. 33-37, 2006
4. 人見泰正, 衛藤直久, 林道代, 田尻伸弘, 山田浩史, 森田壮平, 佐藤暢, 白方秀二, 長時間使用における膜型血漿分離器「エバキュア」の性能安定性について. 日本アフレス学会雑誌, Vol. 28, No. 3, pp. 235-240, 10月31日, 2009
5. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. 抹消循環障害に対する人工炭酸泉と強酸性電解水による患部足浴の効果, 日本医工学治療学会機関誌 15巻4号, pp. 187-192, 2003
6. 染矢法行, 藤堂敦, 人見泰正, 斉藤務, 西村昌美, 玉井良尚, 今田聰雄. マキサ

- カルシトールの透析性について, 大阪透析研究会会誌第 21 巻 1 号, pp. 35-37, 2003
7. 尾上篤志, 大野卓志, 高橋計行, 吉本忍, 人見泰正, 玉井良尚, 今田聰雄. 二次性副甲状腺機能亢進症における maxacalcitriol 静注治療効果予測に対する超音波検査の有用性, 大阪透析研究会会誌第 21 巻 1 号, pp. 59-62, 2003
  8. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 斉藤務, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. 抹消循環障害に対する人工炭酸泉と強酸性電解水の単独および併用療法の効果, 大阪透析研究会会誌第 21 巻 2 号, pp. 137-141, 2003
  9. 藤堂敦, 門中友美, 川村英子, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 長谷川廣文, 人見泰正, 今田聰雄. 透析膜素材による末梢循環動態の変化, 大阪透析研究会会誌第 24 巻 2 号, pp. 167-170, 2006
  10. 藤堂敦, 門中友美, 川村英子, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 坂口美佳, 長谷川廣文, 人見泰正, 今田聰雄. 透析膜素材が血液透析患者の末梢循環動態におよぼす影響 (第 2 報), 日本医工学治療学会機関誌 19 巻 2 号, pp. 94-100, 2007
  11. 尾上篤志, 今田聰雄, 大野卓志, 高橋計行, 東野寧明, 人見泰正. 透析患者に発生する腎癌に対するアンケート調査による適正画像診断法の検討, 大阪透析研究会会誌第 27 巻 1 号, pp. 43-48, 2009
  12. 西垣孝行, 小川浩司, 四井田英樹, 高橋裕三, 吉田幸太郎, 西岡宏, 林輝行, 人見泰正, 水野 (松本) 由子. 小児用補助循環システムの温度特性に関する基礎的検討, 生体医工学 (日本生体医工学会誌) 48 巻 1 号, pp. 83-92, 2010
  13. 西垣孝行, 林輝行, 小川浩司, 四井田英樹, 高橋裕三, 吉田幸太郎, 西岡宏, 鍵崎康治, 市川肇, 八木原俊克, 人見泰正, 水野 (松本) 由子. 小児用補助循環システムの温度特性に影響を与える管理条件の検討, 体外循環技術 37 巻 3 号 (通巻 100 号), pp. 338-346, 2010
  14. 藤堂敦, 吉岡正訓, 桂尾仁士, 三谷雅美, 上野綾子, 門中友美, 染矢法行, 坂口美佳, 田中久夫, 長谷川廣文, 人見泰正, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 自己血管使用皮下動静脈瘻に対するシャント音の周波数解析 —聴診法を用いた客観的評価—, 大阪透析研究会会誌第 29 巻 2 号, pp. 149-152, 2011
  15. 藤堂敦, 吉岡正訓, 桂尾仁士, 三谷雅美, 上野綾子, 門中友美, 染矢法行, 坂口美佳, 田中久夫, 長谷川廣文, 人見泰正, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 自己血管使用皮下動静脈瘻の作製後の発育に関連する因子の検討, 日本臨床工学技士学会誌 46 巻, pp. 36-40, 2012
  16. 西垣孝行, 吉田幸太郎, 四井田英樹, 高橋裕三, 小川浩司, 西岡宏, 松本泰史, 帆足孝也, 鍵崎康治, 市川肇, 人見泰正, 藤堂敦, 水野 (松本) 由子. 補助循環

システムの血液温度測定方法の基礎的検討 – 深部温プローブと人工肺内蔵温度プローブの比較 –, 日本臨床工学技士会誌 46 巻, pp. 26-35, 2012

17. 穂満高志, 辻義弘, 吉岡正訓, 藤堂敦, 人見泰正, 浅川徹也, 水野 (松本) 由子. 人工換気中における超音波ネブライザの取り付け位置がエアロゾルの到達率に及ぼす影響の評価, 日本集中治療医学会雑誌 21 巻 1 号, pp. 24-28, 2014

### 学術論文誌 (査読なし)

1. 人見泰正, 衛藤直久, 林道代, 田尻伸弘, 山田浩史, 森田壮平, 佐藤暢, 白方秀二. Myonephropathic metabolic syndrome (MNMS) に伴う急性腎不全に対して, Kuraray Evacure Report No.6, (1 項)
2. 人見泰正. 東芝 Xario200 を用いた VA エコーの実践, RAD Fan 11 月号付録. 透析エコーの実践と評価 : pp. 6-8, 2013
3. 人見泰正. 特定積層型透析器 H12 (AN69 膜) の栄養状態に対する臨床評価, AN69 MEMBRANE REPORT 温故知新. Vol. 9: pp. 4
4. 人見泰正. 透析膜の見直しによる新たな展開 – 高齢者に対する AN69 膜の適応 –, 徳島県臨床工学技士会誌 2013, 印刷中
5. 人見泰正. 特定積層型透析器 H12 (AN69 膜) の栄養状態に対する臨床評価, 京都府臨床工学技士会誌 2013, 印刷中

### International Conference Papers

1. Nishigaki Takayuki, Hayashi Teruyuki, Takahashi Yuzo, Yoshida Kotaro, Hitomi Yasumasa, Mizuno-Matsumoto Yuko, In vitro evaluation of a new heating system of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) system for children, World Automation Congress (WAC) 2010: 7th International Forum on Multimedia and Image Processing (IFMIP), Sep. 19-23, Kobe, 2010 (CD-R)
2. Nishigaki Takayuki, Fujii Junya, Yoshida Kotaro, Ichikawa Hajime, Hitomi Yasumasa, Toudou Atsu, Mizuno-Matsumoto Yuko. Prevention of Dew Condensation occurring in the Oxygenator for Extracorporeal Life Support in vitro Model, World Automation Congress 2012 (WAC 2012), Jun. 24-28, Puerto Vallarta, Mexico, 2012 (CD-R)
3. Todo Atsu, Kadonaka Tomomi, Yoshioka Masanori, Ueno Ayako, Mitani Masami, Katsurao Hitoshi, Someya Noriyuki, Hasegawa Hirofumi, Hitomi Yasumasa, Nishigaki Takayuki, Mizuno-Matsumoto Yuko. Frequency analysis of shunt sounds in the arteriovenous fistula on hemodialysis patients, The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, The 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS ISIS 2012), pp. 1113-1118, Nov. 20-24, Kobe, 2012

## 国内学会，研究会発表論文

1. 人見泰正，藤堂敦，染矢法行，斉藤務，西村昌美，今田聰雄. 二次性副甲状腺機能亢進症に対する maxacalcitol の臨床効果の検討，第 14 透析骨関節症研究会，大阪，9 月，2001，大阪透析研究会会誌 20 巻 1 号, pp. 131, 2001
2. 人見泰正，坂口恵子，太田由美子，加藤富士子，中尾弘美，井手佐智子，藤堂敦，染矢法行，斉藤務，西村昌美，今田聰雄. 副甲状腺機能低下症に対する低 Ca 透析液使用の効果，第 58 回大阪透析研究会，大阪，3 月，2002，大阪透析研究会会誌 20 巻 2 号, pp. 274, 2002
3. 人見泰正，藤堂敦，染矢法行，斉藤務，西村昌美，今田聰雄. 二次性副甲状腺機能亢進症に対する maxacalcitol の有効性とその限界，第 47 回日本透析医学会学術集会，東京，7 月，2002，日本透析医学会雑誌 35 巻 1 号, pp. 762, 2002
4. 人見泰正，尾上篤志，玉井良尚，今田聰雄，秋山隆弘，大野卓志，高橋計行，吉本忍. 二次性副甲状腺機能亢進症 (2°HPT) に対する maxacalcitol (OCT) の治療効果，日本超音波医学会第 25 回関西地方会，大阪，2 月，2003，日本超音波医学会第 25 回関西地方会抄録集, pp. 25, 2003
5. 人見泰正，藤堂敦，染矢法行，斉藤務，西村昌美，玉井良尚，今田聰雄. 絶対的副甲状腺機能低下症に対する低カルシウム透析液の使用効果 (第 2 報)，第 60 回大阪透析研究会，大阪，3 月，2003，大阪透析研究会会誌 21 巻 2 号, pp. 234, 2003
6. 人見泰正，藤堂敦，染矢法行，斉藤務，西村昌美，片畑満美子，玉井良尚，今田聰雄. 絶対的副甲状腺機能低下症に対する低 Ca 透析液使用の効果，第 48 回日本透析医学会学術集会，大阪，6 月，2003，日本透析医学会雑誌 36 巻 1 号, pp. 734, 2003
7. 人見泰正，藤堂敦，染矢法行，斉藤務，西村昌美，片畑満美子，玉井良尚，今田聰雄. 副甲状腺機能低下症に対する低カルシウム透析液と塩酸セベラマー (Renagel®) の併用療法の効果，第 61 回大阪透析研究会，大阪，9 月，2003，大阪透析研究会会誌 22 巻 1 号, pp. 97, 2003
8. 人見泰正，藤堂敦，染矢法行，斉藤務，西村昌美，片畑満美子，玉井良尚，今田聰雄. ろ過型人工腎臓用補液の組成が放置時間により受ける影響，第 62 回大阪透析研究会，大阪，3 月，2004，大阪透析研究会会誌 22 巻 2 号, pp. 258, 2004
9. 人見泰正，藤堂敦，染矢法行，斉藤務，西村昌美，片畑満美子，玉井良尚，今田聰雄. ろ過型人工腎臓用補液の安定性について，第 49 回日本透析医学会学術集会，大阪，6 月，2004，日本透析医学会雑誌 37 巻 1 号, pp. 768, 2004
10. 人見泰正，尾上篤志，大野卓志，高橋計行，吉本忍，今田聰雄. 超音波ドプラ法を用いた内シャント盗血現象の診断，第 28 回日本超音波医学会関西地方会，大阪，8 月，2004，超音波医学 32 巻 1 号, pp. 51, 2004
11. 人見泰正，岡山恭子，藤堂敦，染矢法行，西村昌美，片畑満美子，玉井良尚，今田

- 聰雄, 石川哲, 大野卓志, 高橋計行, 吉本忍. 絶対的副甲状腺機能低下症に対する Sevelamer hydrochloride 使用の経験, 第 63 回大阪透析研究会, 大阪, 9 月, 2004, 大阪透析研究会会誌 23 巻 1 号, pp. 82-83, 2004
12. 人見泰正, 岡山恭子, 藤堂 敦, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 今田聰雄, 尾上篤志. パルスドプラ法による内シャント血流の最適測定時間帯, 第 64 回大阪透析研究会, 大阪, 3 月 2005, 大阪透析研究会会誌 23 巻 2 号, pp. 217, 2005
  13. 人見泰正, 岡山恭子, 藤堂敦, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 今田聰雄, 尾上篤志. 血液透析施行後の内シャント血流量の変動について, 第 50 回日本透析医学会学術集会, 横浜, 6 月, 2005, 日本透析医学会雑誌 38 巻 1 号, pp. 745, 2005
  14. 人見泰正, 川村英子, 藤堂敦, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 尾上篤志, 東野寧明, 大野卓志, 高橋計行, 今田聰雄. 超音波検査で描出される「多塊性副甲状腺腫大」の検討, 第 65 回大阪透析研究会, 大阪, 9 月, 2005, 大阪透析研究会会誌 24 巻 1 号, pp. 123-124, 2005
  15. 人見泰正, 林道代, 田尻伸弘, 稲垣哲典, 山本浩介, 高田仁, 藤堂敦. 維持血液透析者の閉塞性動脈硬化症 (ASO) に対する光線照射療法の効果 —人工炭酸泉療法との比較—, 第 52 回日本透析医学会学術集会, 大阪, 6 月, 2007, 日本透析医学会雑誌 40 巻 1 号, pp. 498, 2007
  16. 人見泰正, 林道代, 今井秀一, 白方秀二. 近赤外・近紫外光医学療法が維持血液透析者の下肢閉塞性動脈硬化症に及ぼす影響について, 第 46 回全国自治体病院学会, 札幌, 9 月, 2007, 第 46 回全国自治体病院学会プログラム・抄録集, pp. 139, 2007
  17. 人見泰正, 衛藤直久, 林道代, 田尻伸弘, 今井秀一, 山川晋司. 第 5 次医療改正法に対応した ME 機器管理システム「MEister」を導入して, 第 18 回日本臨床工学技士会, 秋田, 5 月, 2008, 日本臨床工学技士会会誌 33 号, pp. 121, 2008
  18. 人見泰正, 林道代, 田尻伸弘, 山田浩史, 森田壮平, 佐藤暢, 白方秀二. Evacure-2A (EC-2A) を用いた選択分離血漿交換の経験 —myonephropathic metabolic syndrome (MNMS) に伴う急性腎不全に対して—, 第 53 回日本透析医学会学術集会, 神戸, 6 月 20-22 日, 2008, 日本透析医学会雑誌 41 巻 1 号, pp. 477, 2008
  19. 人見泰正, 衛藤直久, 林道代, 田尻伸弘, 山田浩史, 森田壮平, 佐藤暢, 白方秀二. 当院における膜型血漿分離器「エバキュア」を用いた単純血漿交換の経験, 第 29 回日本アフレスス学会学術大会, 広島, 11 月 21-23 日, 2008, 日本アフレスス学会雑誌第 27 巻 supplement2008, pp. 188, 2008
  20. 人見泰正, 衛藤直久, 林道代, 田尻伸弘, 山田浩史, 森田壮平, 佐藤暢. 選択的膜型血漿分離器「Evacure」を用いた血液浄化の有用性について, 第 19 回日本臨床工

- 学会, 5月9-10日, 2009, 徳島, 日本臨床工学技士会誌 36号, pp. 179, 2009
21. 人見泰正, 中川隼斗, 今田聰雄. 特定積層型 AN69 膜の使用が栄養状態に与える影響, 第 58 回日本透析医学会学術集会, 福岡, 6月, 2013, 日本透析医学会雑誌 46 巻 1 号, pp. 475, 2013
  22. 太田由美子, 人見泰正, 今田聰雄. 糖尿病性腎不全症例に対する自己管理意欲の向上に向けての看護, 第 46 回日本透析医学会学術集会・総会, 大阪, 6月, 2001, 日本透析医学会雑誌 34 巻 1 号, pp. 886, 2001
  23. 中尾弘美, 人見泰正, 今田聰雄. 左腎摘出 23 年後に右腎癌を摘出し HD 導入となった高齢者の看護, 第 46 回日本透析医学会学術集会・総会, 大阪, 6月, 2001, 日本透析医学会雑誌 34 巻 1 号, pp. 912, 2001
  24. 染矢法行, 藤堂敦, 人見泰正, 西村昌美, 今田聰雄. 単純血漿交換施行時の臨床検査値の変化, 第 22 回日本アフェレンス学会学術大会, 東京, 6月, 2002, 日本アフェレンス学会雑誌第 21 巻 supplement 2002, pp. 126, 2002
  25. 染矢法行, 人見泰正, 藤堂敦, 西村昌美, 玉井良尚, 今田聰雄. マキサカルシトールの透析性について, 第 59 回大阪透析研究会, 大阪, 9月, 2002, 大阪透析研究会誌 21 巻 1 号, pp. 92, 2002
  26. 尾上篤志, 大野卓志, 高橋計行, 吉本忍, 人見泰正, 玉井良尚, 今田聰雄. 二次性副甲状腺機能亢進症 (2HPT) に対するマキサカルシトール (OCT) 投与例の超音波検査による腫大腺の評価, 第 59 回大阪透析研究会, 大阪, 9月, 2002, 大阪透析研究会誌 21 巻 1 号, pp. 93, 2002
  27. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 玉井良尚, 今田聰雄. 人工炭酸泉水と強酸性電解水により下肢の糖尿病性壊疽が改善した 1 症例, 第 7 回人工炭酸泉研究会, 大阪 (会誌なし), 9月, 2002
  28. 染矢法行, 藤堂敦, 人見泰正, 西村昌美, 玉井良尚, 今田聰雄. 過去 3 年間の死因の検証, 第 23 回南大阪透析スタッフ談話会, 大阪 (会誌なし), 12月, 2002
  29. 染矢法行, 藤堂敦, 人見泰正, 西村昌美, 玉井良尚, 今田聰雄. 維持透析患者の死因の検証 -大阪府南部地区でのアンケート調査結果より-, 第 60 回大阪透析研究会, 大阪, 3月, 2003, 大阪透析研究会誌 21 巻 2 号, pp. 236, 2003
  30. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 玉井良尚, 今田聰雄. 末梢循環障害に対する人工炭酸泉と強酸性電解水の単独および併用療法の効果, 第 60 回大阪透析研究会, 大阪, 3月, 2003, 大阪透析研究会誌 21 巻 2 号, pp. 243, 2003
  31. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. 下肢の末梢循環障害に対する人工炭酸泉および強酸性電解水の効果, 日本医工学治療学会第 19 回学術大会, 札幌, 5月, 2003, 日本医工学治療学会第 19 回学術大会抄録集 vol.15 (36), pp. 108, 2003

32. 染矢法行, 藤堂敦, 人見泰正, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. 維持透析患者の死因の検証 -大阪府南部地区でのアンケート調査結果より-, 第 48 回日本透析医学会学術集会・総会, 大阪, 6 月, 2003, 日本透析医学会雑誌 36 巻 1 号, pp. 840, 2003
33. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. ハイブリッド療法により下趾糖尿病性壊疽が著明に改善した 1 症例 -人工炭酸泉と強酸性電解水の併用-, 第 48 回日本透析医学会学術集会・総会, 大阪, 6 月, 2003, 日本透析医学会雑誌 36 巻 1 号, pp. 937, 2003
34. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. 糖尿病性足病変に対する人工炭酸泉と強酸性電解水の併用足浴療法による効果, 第 2 回日本機能水学会学術大会, 岐阜 (会誌なし), 6 月, 2003
35. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 斎藤務, 東澤知輝. 各種バクテリアフィルタの比較, 第 24 回日本手術医学会, 東京, 10 月, 2003, 日本手術医学会誌 23 巻, pp. 66, 2003
36. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. 血漿吸着療法施行中の足背部経皮酸素分圧の変化, 日本医工学治療学会第 20 回学術大会, 広島, 4 月, 2004, 日本医工学治療学会第 20 回学術大会抄録集 vol.16 (41), pp. 124, 2004
37. 染矢法行, 岡山恭子, 藤堂敦, 人見泰正, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 今田聰雄. セレソープシステムの治療効果を経皮酸素分圧で判定した SLE の 1 例, 第 24 回日本アフェレシス学会, 東京, 11 月, 2004, 日本アフェレシス学会雑誌第 23 巻 supplement2004, pp. 152, 2004
38. 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 今田聰雄. EVAL 膜による透析中の末梢循環の変化, 日本医工学治療学会第 21 回学術大会, 5 月, 2005, 日本医工学治療学会第 21 回学術大会抄録集 vol.17 (46), pp. 160, 2005
39. 藤堂敦, 川村英子, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 今田聰雄. 透析中の末梢循環におよぼす各種透析膜の影響 -EVAL 膜を主体として-, 大阪府臨床工学技士会第 10 回学術大会, 大阪 (会誌なし), 5 月, 2005
40. 藤堂敦, 川村英子, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 今田聰雄. 下肢壊疽に対する強酸性電解水と人工炭酸泉の併用足浴療法とその予後, 第 7 回関西ウォーター研究会, 大阪 (会誌なし), 7 月, 2005
41. 川村英子, 藤堂敦, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 今田聰雄. ニプロ社製 PES-DE シリーズの性能評価, 第 66 回大阪透析研究会, 大阪, 3 月, 2006, 大阪透析研究会会誌 24 巻 2 号, pp. 264, 2006
42. 藤堂敦, 川村英子, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山



- 洋二, 今田聰雄. 透析膜素材の違いによる末梢循環動態の変化, 第 66 回大阪透析研究会, 大阪, 3 月, 2006, 大阪透析研究会会誌 24 巻 2 号, pp. 257-258, 2006
43. 藤堂敦, 川村英子, 人見泰正, 染矢法行, 西村昌美, 片畑満美子, 玉井良尚, 有山洋二, 長谷川廣文, 今田聰雄. ニプロ社製ダイアライザ PES-210DE の性能評価, 第 51 回日本透析医学会学術集会・総会, 横浜, 6 月, 2006, 日本透析医学会雑誌 39 巻 1 号, pp. 1039, 2006
44. 林道代, 田尻伸弘, 人見泰正, 今田聰雄. 下肢閉塞性動脈硬化症に対する光線照射療法と炭酸泉足浴療法との比較, 第 69 回大阪透析研究会, 大阪, 9 月, 2007, 大阪透析研究会会誌 25 巻 2 号, pp. 269, 2007
45. 田尻伸弘, 林道代, 人見泰正, 白方秀二. Myonephropathic metabolic syndrome (MNMS) に対する Evacure-2A (EC2A) 使用の経験, 第 70 回大阪透析研究会, 大阪, 3 月, 2008, 大阪透析研究会会誌 26 巻 1 号, pp. 109, 2008
46. 林道代, 衛藤直久, 田尻伸弘, 人見泰正. 第 5 次改正医療法に対応した ME 機器管理システム「MEister」の検証 - 第 2 報 -, 第 15 回近畿地区臨床工学フォーラム, 滋賀, 11 月, 2008, 第 15 回近畿地区臨床工学フォーラム抄録集, pp. 25, 2008
47. 佐藤暢, 山田浩史, 森田壮平, 衛藤直久, 林道代, 田尻伸弘, 人見泰正. 当院における Grasil の使用経験, 第 54 回日本透析医学会学術集会, 大阪, 6 月, 2009, 日本透析医学会雑誌 42 巻 1 号, pp. 723, 2009
48. 山田浩史, 森田壮平, 佐藤暢, 衛藤直久, 林道代, 田尻伸弘, 人見泰正, 白方秀二. myonephropathic metabolic syndrome (MNMS) に伴う急性腎不全への Evacure 使用経験, 第 54 回日本透析医学会学術集会, 大阪, 6 月, 2009, 日本透析医学会雑誌 42 巻 1 号, pp. 668, 2009
49. 鳥山清二郎, 奥原紀子, 佐藤暢, 衣川由美, 衛藤直久, 林道代, 人見泰正. 維持血液透析を施行した血友病 A の 1 例, 第 42 回京都透析懇話会, 京都 (会誌なし), 8 月, 2009
50. 西垣孝行, 小川浩司, 四井田英樹, 高橋裕三, 吉田幸太郎, 西岡宏, 林輝行, 人見泰正, 水野 (松本) 由子. 臨床を模擬した基礎実験における小児補助循環回路の温度特性, 日本生体医工学会 生体医工学シンポジウム 2009, 千葉, 9 月 2009, CDR
51. 石川哲, 小猿雅美, 奥和朗, 前田清朗, 今田聰雄, 人見泰正. 維持血液透析患者に対する近赤外, 近紫外線照射療法による下肢血流改善効果の検討 - 人工炭酸泉足浴療法との比較 -, 第 74 回大阪透析研究会, 大阪, 3 月, 2010, 第 74 回大阪透析研究会プログラム・予稿集, pp. 34, 2010
52. 西垣孝行, 林輝行, 小川浩司, 四井田英樹, 高橋裕三, 吉田幸太郎, 西岡宏, 峠崎純一, 松本泰史, 石野直明, 立川洋輝, 染川将太, 人見泰正, 水野 (松本) 由子. 人工心肺自動記録システム (ORSYS) のハードウェア更新の経験 - ノート型から

- デスクトップ型ヘー, 第 20 回日本臨床工学会, 横浜, 5 月, 2010, 日本臨床工学技士会誌 39 号, pp. 155, 2010
53. 衣川由美, 人見泰正, 奥原紀子, 鳥山清二郎, 佐藤暢, 藤堂敦, 染矢法行, 西村昌美. 透析前・後における内シャント血流量 (VF) 値の分析, 第 54 回日本透析医学会・総会, 神戸, 6 月, 2010, 日本透析医学会雑誌 43 巻 1 号, pp. 546, 2010
54. 林道代, 人見泰正, 柳田正志, 伊藤和弘. 肺切除後の NIPPV の有用性について, 第 32 回日本呼吸療法医学会, 東京, 7 月, 2010, 日本呼吸療法医学会学術総会プログラム・抄録集 32 巻, pp. 136, 2010
55. 藤堂敦, 吉岡正訓, 上野綾子, 門中友美, 染矢法行, 坂口美佳, 田中久夫, 長谷川廣文, 人見泰正, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. コメディカル聴診法におけるシャント音教育支援ソフト作成の取り組みー自己血管内シャント音の標準化を目指してー, 第 75 回大阪透析研究会, 大阪, 9 月, 2010, 大阪透析研究会誌 29 巻 1 号, pp. 111, 2010
56. 衣川由美, 人見泰正, 稲葉光彦, 尾上篤志, 今田聰雄. 透析患者に発生する腎癌のスクリーニング検査に適した画像診断法と実施回数の検討, 第 24 回北京都透析懇話会, 京都 (会誌なし), 10 月, 2010
57. 西垣孝行, 林輝行, 吉田幸太郎, 四井田英樹, 高橋裕三, 鍵崎康治, 市川肇, 人見泰正, 水野 (松本) 由子. 臨床の補助循環管理における人工肺ガス相入口圧測定の有用性の検討, 第 36 回日本体外循環技術医学会大会, 仙台, 10 月, 2010, 体外循環技術 37 巻 3 号, pp. 273, 2010
58. 藤堂敦, 吉岡正訓, 上野綾子, 門中友美, 染矢法行, 坂口美佳, 田中久夫, 長谷川廣文, 人見泰正, 水野 (松本) 由子. バスキュラーアクセス管理における総頸動脈の内膜中膜複合体肥厚の評価, 第 17 回近畿臨床工学会, 大阪, 11 月, 2010, 第 17 回近畿臨床工学会抄録集, pp. 64, 2010
59. 西垣孝行, 吉田幸太郎, 四井田英樹, 高橋裕三, 小川浩司, 西岡宏, 松本泰史, 峠崎純一, 染川将太, 帆足孝也, 鍵崎康治, 市川肇, 人見泰正, 藤堂敦, 水野 (松本) 由子. 熱流補償法深部温プローブは補助循環システムの温度管理に使えるか?, 第 21 回日本臨床工学会 2010, 大分府, 5 月, 2011, 日本臨床工学技士会誌 42 号, pp. 108, 2011
60. 中川隼斗, 衣川由美, 林道代, 人見泰正, 柳田正志, 伊藤和弘. 肺切除後の NPPV 使用効果について, 第 21 回日本臨床工学会 2010, 大分府, 5 月, 2011, 日本臨床工学技士会誌 42 号, pp. 192, 2011
61. 藤堂敦, 吉岡正訓, 上野綾子, 門中友美, 染矢法行, 坂口美佳, 田中久夫, 長谷川廣文, 人見泰正, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 自己血管内シャント作製前後の超音波検査結果に関する検討, 第 21 回日本臨床工学会 2010, 大分府, 5 月, 2011,

- 日本臨床工学技士会誌 42 号, pp. 121, 2011
62. 衣川由美, 人見泰正, 宇野喜之, 河村知史, 小林大樹, 藤堂敦, 尾上篤志. アンケート調査からみた副甲状腺エコーの現状と問題点, 第 56 回日本透析医学会学術集会, 横浜, 6 月, 2011, 日本透析医学会雑誌 44 巻 1 号, pp. 432, 2011
  63. 藤堂敦, 吉岡正訓, 上野綾子, 門中友美, 染矢法行, 坂口美佳, 田中久夫, 長谷川廣文, 人見泰正, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 自己血管内シャント音の周波数特性による客観的診断法の検討, 第 56 回日本透析医学会学術集会, 横浜, 6 月, 2011, 日本透析医学会雑誌 44 巻 1 号, pp. 414
  64. 河村知史, 人見泰正, 藤堂敦, 宇野喜之, 小林大樹, 尾上篤志. バスキュラーアクセスに対するアンケート調査その 1 -超音波検査の現況-, 第 56 回日本透析医学会学術集会, 横浜, 6 月, 2011, 日本透析医学会雑誌 44 巻 1 号, pp. 538, 2011
  65. 宇野喜之, 河村知史, 人見泰正, 藤堂敦, 小林大樹, 尾上篤志. バスキュラーアクセスに対するアンケート調査その 2 -超音波検査における機能評価の現状-, 第 56 回日本透析医学会学術集会, 横浜, 6 月, 2011, 日本透析医学会雑誌 44 巻 1 号, pp. 415, 2011
  66. 田尻伸弘, 人見泰正, 藤堂敦, 宇野喜之, 河村知史, 小林大樹, 尾上篤志. Arterio Venous Fistula (AVF) に対する超音波検査を用いた血流機能評価の現状, 日本医工学治療学会第 28 回学術体会, 札幌, 3 月, 2012, 日本医工学治療学会 第 28 回学術大会抄録集 : vol.24 (79), pp. 103, 2012
  67. 西垣孝行, 藤井順也, 吉田幸太郎, 松本泰史, 小川浩司, 中崎宏則, 守田佳保里, 服部希衣子, 人見泰正, 藤堂敦, 水野 (松本) 由子. 人工肺結露防止システム使用時における深部温プローブの基礎的性能評価, 日本医工学治療学会第 28 回学術体会, 札幌, 3 月, 2012, 日本医工学治療学会 第 28 回学術大会抄録集 : vol. 24 (79), pp. 106, 2012
  68. 藤堂敦, 吉岡正訓, 門中友美, 上野綾子, 桂尾仁士, 三谷雅美, 染矢法行, 坂口美佳, 田中久夫, 長谷川廣文, 人見泰正, 西垣孝行, 水野 (松本) 由子. 自己血管使用皮下動静脈瘻 (AVF) 作製時の上腕動脈血流量 (FV), 血管抵抗指数 (RI) に関連する諸因子の検討, 日本医工学治療学会第 28 回学術体会, 札幌, 3 月, 2012, 日本医工学治療学会 第 28 回学術大会抄録集 : vol. 24 (79), pp. 100, 2012
  69. 笹原知里, 中川隼斗, 衣川由美, 林道代, 人見泰正. 腋窩検温不良患者に対するサーモファインダー Pro (T.F.) の使用経験, 第 79 回大阪透析研究会, 大阪, 9 月, 2012, 大阪透析研究会誌 31 巻 1 号, pp. 101, 2012
  70. 山崎康祥, 赤松伸朗, 人見泰正, 宮川幸恵, 酒井徳昭. 「臨床准教授制度」臨床工学技士養成大学における専門分野教育の新たな取り組み, 第 23 回日本臨床工学会, 山形, 5 月, 2013, 日本臨床工学技士会誌 48 号, pp. 167, 2013

71. 林道代, 岩崎公亜, 笹原知里, 中川隼斗, 衣川由美, 人見泰正. プログラム化した新人教育カリキュラムの導入と実践, 第 23 回日本臨床工学会, 山形, 5 月, 2013, 日本臨床工学技士会誌 48 号, pp. 230, 2013
72. 藤堂敦, 門中友美, 上野綾子, 吉岡正訓, 三谷雅美, 桂尾仁士, 染矢法行, 田村瑠衣, 野村佳世, 熊井紫乃, 坂口美佳, 田中久夫, 長谷川廣文, 西垣孝行, 人見泰正, 水野 (松本) 由子. 非カフ型カテーテル GamCathR Dolphin の臨床評価, 第 58 回日本透析医学会学術集会・総会, 福岡, 6 月, 2013, 日本透析医学会雑誌 46 巻 1 号, pp. 999, 2013
73. 辻義弘, 浅川徹也, 人見泰正, 藤堂敦, 穂満高志, 吉田俊子, 水野 (松本) 由子. 透析スタッフの攻撃性と業務終了後の自律神経活動との関連性, 第 58 回日本透析医学会学術集会・総会, 福岡, 6 月, 2013, 日本透析医学会雑誌 46 巻 1 号, pp. 973, 2013
74. 衣川由美, 岩崎公亜, 笹原知里, 中川隼斗, 林道代, 人見泰正, 廣田英二. シミュレータによる超音波ガイド下内シャント穿刺法の検討, 第 58 回日本透析医学会学術集会・総会, 福岡, 6 月, 2013, 日本透析医学会雑誌 46 巻 1 号, pp. 718, 2013
75. 笹原知里, 岩崎公亜, 中川隼斗, 衣川由美, 林道代, 人見泰正, 廣田英二. 透析室における非接触型赤外線体温測定器の有用性, 第 58 回日本透析医学会学術集会・総会, 福岡, 6 月, 2013, 日本透析医学会雑誌 46 巻 1 号, pp. 834, 2013
76. 鳥山清二郎, 太田翔一, 杉田直哉, 相根友美, 西野三千代, 松原めぐみ, 斎藤真希, 真下淳子, 人見泰正, 高村俊哉, 廣田英二. 血液透析患者に対するアジルサルタンの効果の検討, 第 58 回日本透析医学会学術集会・総会, 福岡, 6 月, 2013, 日本透析医学会雑誌 46 巻 1 号, pp. 458, 2013
77. 斎藤真希, 真下淳子, 松原めぐみ, 西野三千代, 相根友美, 瀬川七海, 木下奈緒子, 白波瀬理絵, 野崎麻里子, 津田有希, 太田翔一, 鳥山清二郎, 人見泰正. セベラマー塩酸塩, ビキサロマーが透析患者の排便状態に与える影響の比較検討, 第 58 回日本透析医学会学術集会・総会, 福岡, 6 月, 2013, 日本透析医学会雑誌 46 巻 1 号, pp. 656, 2013
78. 太田翔一, 鳥山清二郎, 人見泰正, 林田和久, 杉田直哉, 村上博之, 芦田智子, 津田有希, 野崎麻理子, 白波瀬理絵, 木下奈緒子, 瀬川七海, 高村俊哉, 廣田英二, 久馬行夫. 透析患者におけるセベラマー塩酸塩 (SEV) がアンジオテンシン II 受容体拮抗薬 (ARB) に及ぼす影響, 第 58 回日本透析医学会学術集会・総会, 福岡, 6 月, 2013, 日本透析医学会雑誌 46 巻 1 号, pp. 792, 2013

## 学術講演

1. 人見泰正. 二次性副甲状腺機能亢進症とその検査法について, 大阪府臨床工学技士会 第2回血液浄化セミナー, 大阪, 7月6日, 2008 (招待講演)
2. 人見泰正. Vascular Access: VAの基礎と合併症, 第1回関西透析超音波研究会, 大阪, 1月28日, 2010 (講師)
3. 人見泰正. Vascular Access 管理について -前半(基礎)-, 第74回大阪透析研究会 大阪府臨床工学技士会共催セミナー, 大阪, 3月14日, 2010 (招待講演)
4. 人見泰正. 心電図の基礎知識, 京都府看護協会 平成22年度新人看護研修 循環器系:フィジカルアセスメント:心電図. 京都, 6月28日, 2010 (招待講演)
5. 人見泰正. Vascular Access アンケート調査結果報告, 第2回関西透析超音波研究会, 大阪, 10月16日, 2010 (講師)
6. 人見泰正. 透析支援システムとは -Futurenet web+ を中心に-, 桃仁会病院定期学術集会, 京都, 3月18日, 2011 (招待講演)
7. 人見泰正. 輸液・シリンジポンプの安全な取り扱い, 京都府看護協会 平成23年度新人看護研修, 京都, 7月, 2011 (招待講演)
8. 人見泰正. これからの災害対策 透析時の緊急離脱について, Covidien 社主催セミナー 災害対策 now, 大阪, 9月25日, 2011 (招待講演)
9. 人見泰正. 1. 透析の基礎を知る、2. バスキュラーアクセスエコーに必要な理学所見, アスリード(株) ステップアップエコーセミナー (医師・技師必見! バスキュラーアクセスの画像診断-診断から治療まで-), 大阪, 11月13日, 2011 (招待講演)
10. 人見泰正. 高齢者 QOL 向上のための透析膜について -特定積層型ダイアライザ AN69 膜 (H-12 シリーズ) -. GAMBRO 血液浄化セミナーIN 北京都, 京都, 2月4日, 2012 (講師)
11. 人見泰正. 腎臓の働きと透析の役割. 平成24年度綾部市立病院腎友会総会, 京都, 4月8日, 2012 (講師)
12. 人見泰正. 透析中の血圧低下要因とその予防策の提案, 第5回関西透析超音波研究会, 大阪, 4月21日, 2012 (講師)
13. 人見泰正. 透析室の現場における超音波活用術 -副甲状腺・シャント-, 第6回関西透析超音波研究会 -透析スタッフのための日常管理と合併症対策-基礎講座1, 大阪, 11月11日, 2012 (講師)
14. 人見泰正. 透析膜を見直せば新しい透析が展開します -高齢者に対する AN69 膜の適応-, 第1回関西透析フォーラム, 大阪, 2月2日, 2013 (招待講演)

15. 人見泰正. 透析中低血圧の要因と対策, 大塚製薬主催 京都府北部透析セミナー, 綾部市, 3月10日, 2013 (招待講演)
16. 人見泰正. 高齢者に対するAN69膜の適応について. GAMBRO 大阪支店製品勉強会, 大阪, 3月15日, 2013 (招待講演)
17. 人見泰正. VA エコーの基礎と検査法. 京都府臨床検査技士会定期講演会, 京都, 3月22日, 2013 (招待講演)
18. 人見泰正. 理学所見だけではわからないVAの性状<始めようエコーガイド下シヤント穿刺, 東芝メディカルシステムズセミナー 透析エコーの実践と評価, 香川, 3月31日, 2013 (招待講演)
19. 人見泰正. 明日から実践、透析シヤントエコーの基礎知識, 日本超音波医学会第86回学術大会, 大阪, 5月25日, 2013 (招待講演)
20. 人見泰正. 高齢透析患者に対するAN69膜の適応について. 桃仁会病院定期学術集会, 京都, 6月25日, 2013 (招待講演)
21. 人見泰正. 透析シヤントエコーの手技と走査法. 京都府臨床検査技士会定期講演会, 京都, 7月12日, 2013 (招待講演)
22. 人見泰正. 東芝 Xario200 を用いたVAエコーの実践 –VAの基礎からガイド下穿刺まで(初級編)–. 東芝メディカルシステムズセミナー (透析エコーの実践と評価), 横浜, 9月1日, 2013 (招待講演)
23. 人見泰正. 透析膜の見直しによる新たな展開. 徳島県臨床工学技士会学術セミナー, 徳島, 9月7日, 2013 (招待講演)
24. 人見泰正. エコーを使用したVA管理. 第3回中四国臨床工学会 血液浄化セミナー「VA管理」, 岡山, 11月9日, 2013 (招待講演)
25. 人見泰正. エコーを用いたシヤント管理とエコーガイド下の穿刺. 第35回兵庫県臨床工学技士会定期学習会「透析治療に関連する機器の進歩を学ぶ」, 兵庫, 11月10日, 2013 (招待講演)
26. 人見泰正. 透析シヤントエコーの基礎と実践. 東芝メディカルシステムズセミナー (Made for Life seminar In fukuoka), 福岡, 11月16日, 2013 (招待講演)
27. 人見泰正. 症例検討「この症例をどう考えるか?」. 第7回 vascular access 超音波研究会, 東京, 12月7日, 2013 (招待講演)
28. 人見泰正. シヤント超音波検査の基礎知識. コニカミノルタ主催シヤント超音波検査勉強会, 大阪, 12月15日, 2013 (招待講演)
29. 人見泰正. AN69膜が高齢者に適応される理由. GAMBRO 社主催特定積層型ダイアライザH12セミナー, 神戸, 2月1日, 2014 (招待講演)