

# 透析における医療機器によるモニタリング

川崎忠行

前田記念腎研究所 茂原クリニック

key words : バイタルサイン, フィジカルサイン, 除水モニタ, コンピュータ中央管理システム

## 要 旨

透析治療の安全性および信頼性の確保は最優先されるべきであることは言うまでもない。しかし、重大な事故が依然と絶えない現状がある。また、透析の質の追求として、高齢あるいは合併症を抱えた患者に、いかに安定した透析を行うことができるかが大きな課題である。この「安全性と質の向上」という観点から、透析中の患者のバイタルおよびフィジカルサインのモニタリングは、透析装置のモニタリングと安全機構とあわせて必要不可欠である。また近年になって連続的循環血液量のモニタリングが可能となり、循環動態データを透析装置の除水制御へフィードバックさせるシステムも開発された。そしてさらにコンピュータによる中央監視システムの導入は、人為ミスの監視にあわせて過去データの活用を容易にした。今後、透析室から発生する医療情報のデータベース構築が可能となることから、それらを統合したネットワークシステムの構築が望まれる。

## はじめに

透析装置は人の腎機能の一部を代替し、延命そして社会復帰をも可能とした人工臓器であり、いわゆる生命維持管理装置に分類される。従前の医療においては義肢等の身体の一部を代替することは行われていたが、人の生命に直結した主要臓器の機能を機器・装置を用いて行う代替治療としては、人工腎臓が最も普及した

治療法といっても過言ではない。

これを可能とした背景には、臨床医学と工学技術の融和がある。なかでも透析膜の研究・開発は世界的にみても目を見張るものがある。また透析技術においては、透析装置の操作およびその管理を担当する技術員を新たなチームメンバーに加えたチーム医療の原型を構築した。その後、この技術員は新しい医療職として1987年の臨床工学技士法制定への礎を築いた。これらの工学技術の臨床への応用は、ダイアライザーを中心に、それを適正に使用するための透析装置や、さらに清浄化した透析液の供給システムの開発や改良を加速した。

一方、患者の高齢化により透析方法の多様化が進み、特に糖尿病性腎症の増加により、透析中の血圧維持が著しく不安定ないわゆる透析困難症患者がさらに増加する傾向にある。これらの患者に対して、より安定した透析を実施するための機器による生体計測工学からのアプローチが行われている。

また、近年社会問題化している医療事故に対して、その対策をさらに強化しなければならない。この安全性と信頼性の向上のため、透析スタッフや透析関連機器群を一つの透析システムにとらえ、個々の装置毎の安全機構に加え、透析室全体の患者のバイタルサインや装置情報を一括してコンピュータにより中央監視するシステムも市販に至っている。

### 1 生体計測工学の応用

生体計測は生体から発生するエネルギーやエネルギーを外部から与えたときの反応を観血的、非観血的に機器により計測するが、そのエネルギーは光、音、温度、電気など様々である。また計測の基本は生体物性とよばれる生体（個体、臓器、組織、細胞、器管、分子、原子）の物理・化学的特性理論によっている。たとえば血圧は周波数帯域は1~50 Hzであることから、この周波数に対応できる圧力計でなければ計測はできない。これらの応用で最も一般的なものは、体温計、心電計、X線関連装置、超音波装置などである。

透析における生体計測には心循環器系の動態や体液分布動態をモニタするものがある。前者は音の計測による血圧、脈が一般的であり、後者の体液分布動態のモニターは後述するが、生体の電気特性としてβ分散領域（数キロ~数百 Hz）でのインピーダンスは脂肪組織、細胞組織、水分量などの因子の影響を受けることから、細胞外液抵抗、細胞内液抵抗、細胞膜容量をコンピュータでシュミレートでき<sup>1)</sup>、組織内の除水モニターとして注目されてはいるものの、絶対値の計測ではないことから一般化していない。これに比し、血液検査学的に身近な Ht 等のパラメータを連続モニタし、体内での水分移動をシュミレートする方法が一般化してきている。

### 2 バイタルおよびフィジカルサインの監視

#### 1) 血圧および脈拍の測定

透析治療では、血液透析中の生体内での水・電解質、あるいは生化学データなどの挙動が、3時間から5時間という短時間できわめてダイナミックな変化を、中1日あるいは2日間隔で継続的に反復して行われる。

特に透析の重要な治療目標の一つである体液量の是正として、一般的に一透析当たり3l以上（体重の5~6%）の除水が行われている。この除水により心・循環器系に著しい負荷を与え、急激な血圧低下などのショック状態に陥ることもしばしば認められる。この発生機序の多くは図1に示す除水時の水分移動のスキームの如く、ダイアライザーで除水と尿素やクレアチニンなどの溶質除去が同時に行われ、血漿浸透圧の低下により、浮腫として間質に貯留している体液が血中に移行する速度（plasma refilling rate）と、除水速度

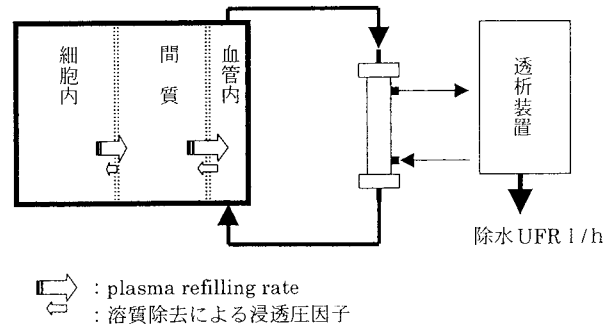


図1 透析における除水時の水分移動

(UFR) との均衡が崩れ、低循環血漿状態となり急激な血圧低下を惹起することによる。したがって、食事療法により塩分および水分摂取を控える自己管理指導を強化しつつ、透析での過度な除水は避けることが基本である。そして、透析中の患者の状態監視として、血圧および脈拍数の推移を把握することは必須である。

#### 2) 体温測定

透析患者は免疫能の低下などの易感染性要因に加えて、シャントからの感染など血液を体外循環させることに起因する発熱などがあり、透析前後の体温測定も重要である。また、循環動態の把握に非侵襲的な深部体温も有用であると考えられる。特にコアテンプ（テルモ社製）は、体表面を断熱材で覆って外気温の影響を防ぐと体表面は深部と同じ温度になるという原理を利用しているため、患者への負担が軽減し、操作も容易である。

#### 3) 呼吸数等の測定

安定患者ではルーチンで計測はしないが、溢水状態に陥った患者の透析では呼吸状態の計測と動脈血液ガス分圧などのモニタが必要である。

### 3 除水モニタ

透析中の体液量あるいは変化量をモニタする方法として、電気インピーダンス法を用いた全身体液モニターや、血液回路に電極を装着した連続的 Ht 計測法などが試みられてきた。

昨今、図2に示す如く、血液回路に透明チャンバーを付け、光学センサーで Ht を連続モニタする「CRIT-LINE™」が用いられてきている<sup>2)</sup>。この Ht のモニタは、除水による血液濃縮度合いにより plasma refilling rate を反映し、過度の除水による

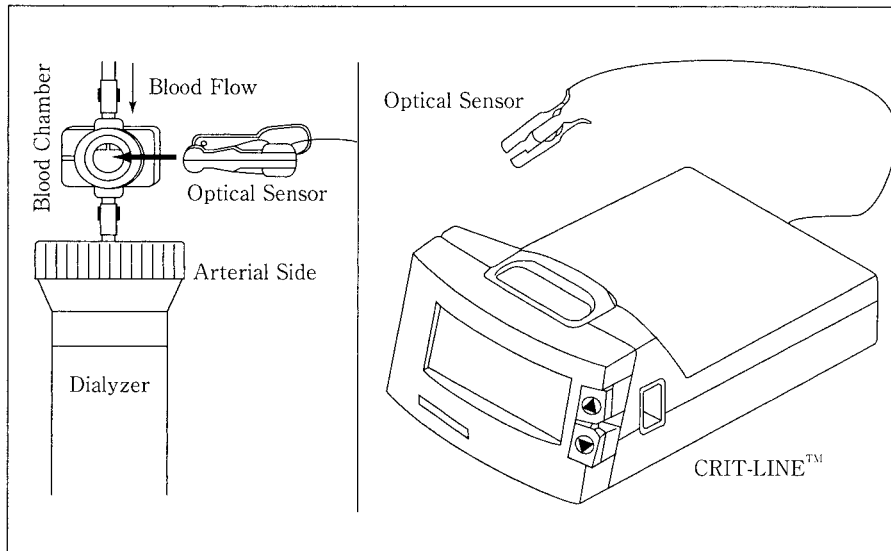


図2 CRIT-LINE™装置とそのセンサー部

低血圧・ショックを防止することができる。そして、このモニタデータを透析装置の除水制御部へフィードバックさせる自動制御も可能となっている。また、同様に血液中のたんぱく濃度を超音波によりモニタし、除水制御する透析装置と一体化した4008S (Fresenius社)も開発されている<sup>3)</sup>。

#### 4 透析機器のモニタリング

透析中の機器のモニタリングの意義は、患者個々の透析条件が正しく設定されているかを監視することと、また透析中の異常な変化を早期に検知して安全を確保することである。透析装置の基本構成について、個人用透析装置の一般的な構成を図3に示す<sup>4)</sup>。

図3左の透析液系には、透析液流量を規定する定流量弁、効率的な熱利用とヒーターの低容量化のための熱交換器、加温ヒーター、脱気ポンプおよび脱気槽、BおよびA原液を各々の濃度電極により注入希釈する透析液混合部、流量計、温度モニタがあり、除水制御部を経てダイアライザーへ送液する。またダイアライザーから出てきた廃液は再び除水制御部を通過し、ダイアライザー内での血液漏れをモニタする漏血検知器、最後に熱交換器で熱量を受渡して排液される流れである。

図3右の血液体外循環系には、動脈側留置針から導かれる血液流量が十分であることをモニタする血流不足モニタ、体外循環中の血液凝固を防ぐヘパリンを連続注入するヘパリン注入器、一定の流量で血液を導き

ダイアライザーへ送り込む血液ポンプがあり、透析された血液は静脈側チャンバーで気泡がトラップされ、静脈圧計で血液が体内へ戻る回路と静脈側留置針の状態をモニタしている。また、体内への気泡の誤入防止のため気泡検知器と異常時に回路を遮断するクランプが装着されている。

これらで透析装置は構成されており、各々の機能に異常警報機能があるが、警報時には表1に示す如く連動動作により安全を確保している。

以上の他にも、停電警報、漏電警報、原液不足警報など種々の安全装置が組み込まれている。

#### 5 透析中のモニタの実際

患者のバイタルサインなどの基本的なチェック時点は透析前、開始直後、1時間毎、終了直後であるが、血圧・脈は状態により適宜測定している。なお、昨今透析装置に自動血圧計を内蔵している装置もあるが、脈の緊張度や不整脈は触診で確認しなければならないことに留意しなければならない。

患者監視のポイントは、顔色、表情、体動、声掛け時の反応などを注意深く観察することで、異常の早期発見が可能である。また、過去のバイタルサインの経時パターンから概ねの予測が可能であり、予め対策を講じることができる。

透析装置のモニタリングは、患者のバイタルサインのチェック時に同時に行うが、患者の状態に合わせた透析条件の設定変更を適宜行うため、変更箇所、変更

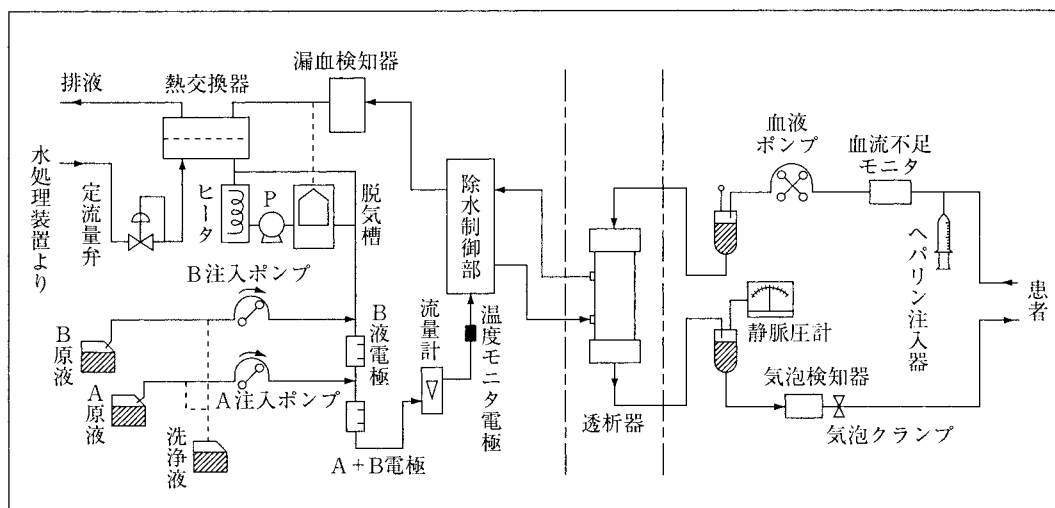


図3 個人用透析装置のフローチャート

表1 警報時連動動作表（透析状態）

	血液ポンプ	ヘパリン注入器	気泡クランプ	透析液混合部	ヒータ	透析液	除水制御
血流不足モニタ異常	停止	停止	—	—	—	—	停止
静脈圧モニタ異常	停止	停止	—	—	—	—	停止
気泡異常	停止	停止	閉塞	—	—	—	停止
ヘパリンポンプ異常	—	停止	—	—	—	—	—
透析液圧異常	—	—	—	—	—	バイパス	停止
給水圧異常	—	—	—	停止	通電停止	バイパス	停止
透析液高温異常	—	—	—	—	通電停止	バイパス	停止
透析液低温異常	—	—	—	—	—	バイパス	停止
透析液濃度異常	—	—	—	—	—	バイパス	停止

理由，変更結果を透析記録として記載する。

## 6 コンピュータ中央監視システム

このシステムはコンピュータを用いて透析装置や自動血圧計，体重計など透析関連機器装置と通信により情報のやり取りを行い，各透析装置が適切に作動しているか，また血圧なども集中監視するシステムである。図4にシステム構成例を示す。また透析関連材料管理，患者情報管理，処方管理，検査管理，看護支援，臨床支援など多数の機能を有している。

透析中では，患者の血圧・脈拍などのバイタルサインと，透析装置から発生し時々刻々と変化する，静脈圧，透析液圧，透析液温度，血液ポンプ流量などのデータを監視し，基準値から逸脱すれば警報を発し，トラブルを未然に防ぐことが可能となる。さらにそれらはデータベースとして蓄積され活用が可能であり，図5に示す如く，透析チャートを任意の形式で作成することも可能である<sup>5)</sup>。

データの活用例として，図6は過去10回の透析データを重ね合わせたものであり，透析後半に明らかな血圧低下が認められている。このことから予め除水速度パターン設定により除水を前半に多くしたり，経口昇圧薬を用いるなど，きめ細かな計画的透析治療が可能である。

## おわりに

透析の安全・信頼性および質の確保をさらに向上させるためには，患者の身体的情報の把握にあわせて透析機器のモニタおよびその制御が重要であり，またコンピュータ化は人の欠点である定型業務の単純ミスを軽減させ，透析室から発生する膨大で様々なデータの解析に大いに役立つものとする。そして今後さらにコンピュータ中央監視システムの導入施設が増加し，透析のIT化も加速度的に進むものと考えられる。



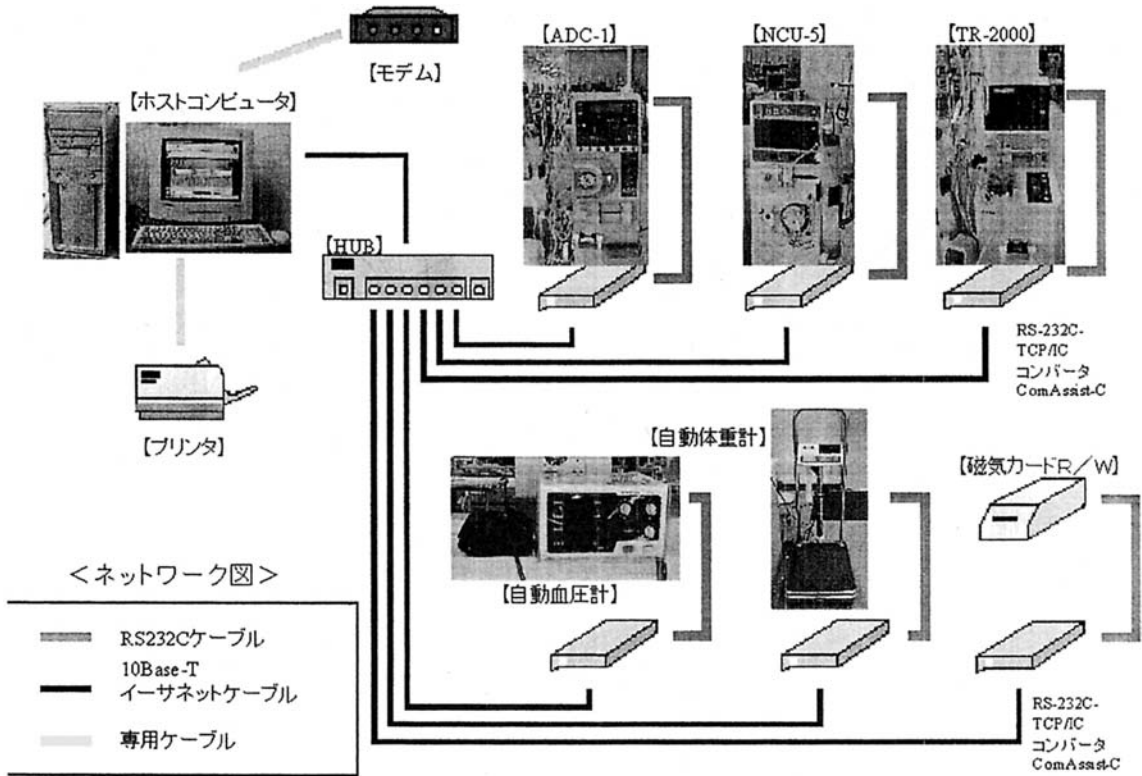


図4 コンピュータ中央管理システム図 (STEP 透析システム)

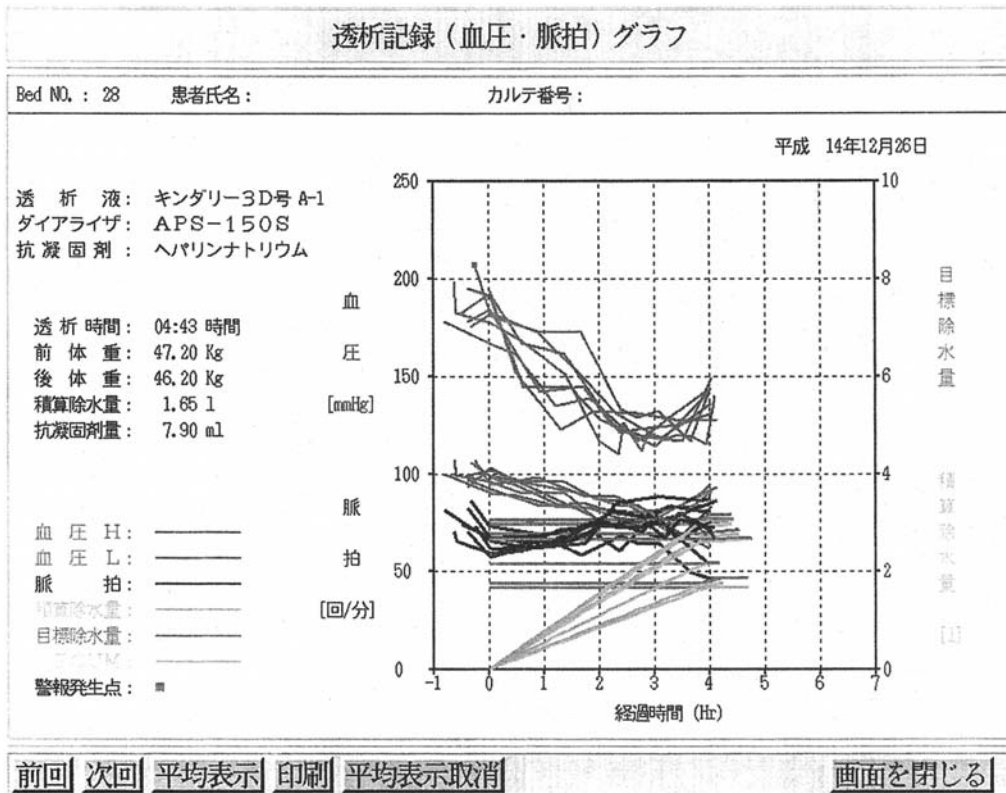


図5 透析記録 (血圧・脈拍) グラフ

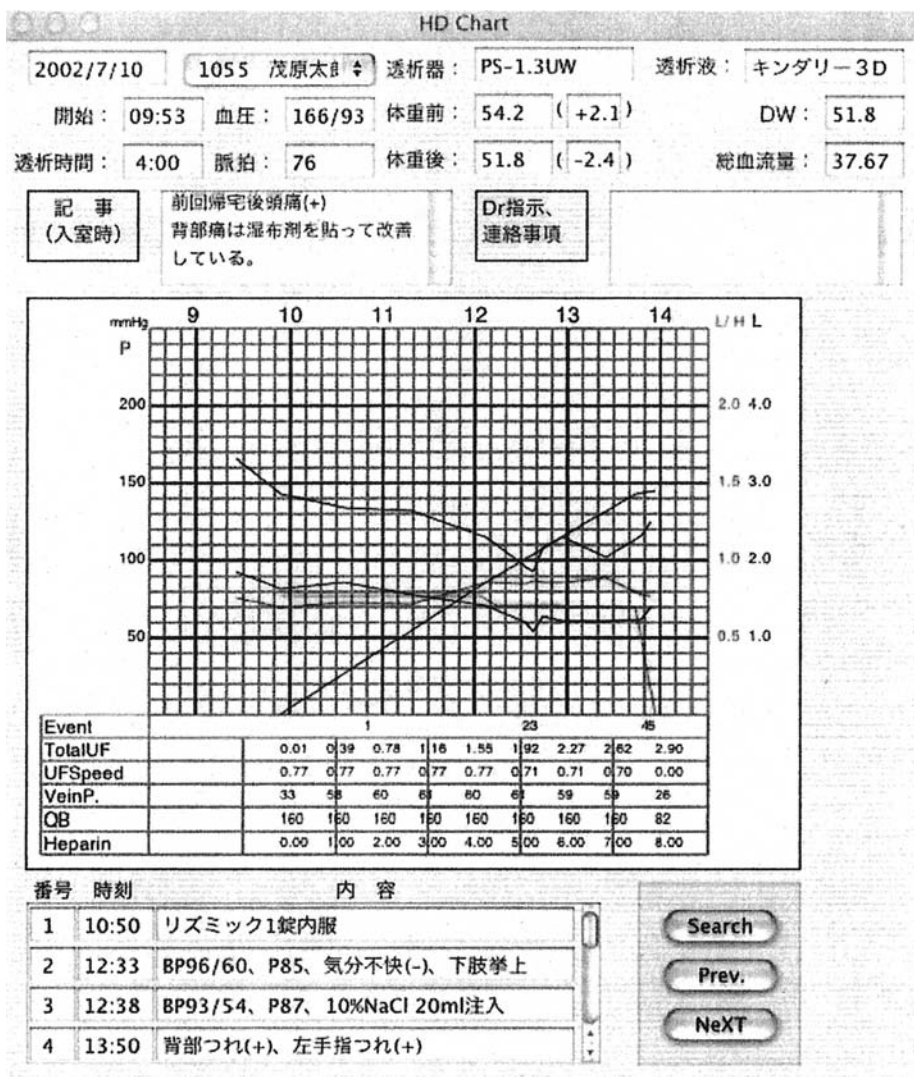


図6 HD Chart

文 献

- 1) 金井 寛: 生体の計測と計測システム. 医用工学 ME の基礎と応用; 共立出版, P 227, 1980.
- 2) 川西秀樹, 山中健司, 土屋太郎: 血液透析中の循環血液量の連続測定—非観血式連続的 Hematocrit 測定装置 CRIT-LINE<sup>MT</sup> の有用性. 人工臓器, 24; 732, 1995.
- 3) 芝田正道, 天野雄介, 坂上貴光: Fresenius 社製個人用透

- 析装置 4008S の除水コントロール機能の有用性. 医工学治療, 14; 203, 2002.
- 4) 川崎忠行: ME 機器の保守管理マニュアル—臨床工学技士の業務を中心として—. 患者監視装置; 厚生省健康政策局総務課医療技術情報推進室監修, 南江堂, 東京, P 55, 1996.
- 5) 鈴木 卓, 川崎忠行: 中央監視システム. クリニカルエンジニアリング, 1; 29, 2003.