

特集：平常時・災害時の衛生対策

<総説>

医療における水供給の課題

—災害時の医療用水確保および人工透析用水の利用を例として—

島崎大<sup>1)</sup>，金見拓<sup>2)</sup>，岸田直裕<sup>1)</sup>，秋葉道宏<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 国立保健医療科学院水道工学部

<sup>2)</sup> 東京都水道局

**Key Issues on Water Supply for Medical Care: Securing Water  
for Medical Facilities in Disasters and Meeting the Needs of Water  
Quality for Hemodialysis Treatment**

Dai SIMAZAKI<sup>1)</sup>，Taku KANAMI<sup>2)</sup>，Naohiro KISHIDA<sup>1)</sup>，Michihiro AKIBA<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Water Supply Engineering, National Institute of Public Health

<sup>2)</sup> Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government

抄録

医療用水の供給は医療活動を支える上で必要不可欠であり，特に災害時には，負傷者の早期治療や手術等の緊急医療活動を速やかに行う上で，医療機関および水道事業者との協同により，確実な医療用水の供給体制を確立しておくことが求められる。特に，重要な医療機関については拠点給水体制を整備することや，国庫補助の活用などによる配水管路の重点的な耐震化を推進することが重要課題である。

医療用水の中でも，人工透析は大量の医療用水を安定して供給することが求められる。透析液は人体の血液中に直接かつ大量に導入されることより，飲用に供される水道水等と比較しても，より一段と厳格な水質要件が満たされる必要がある。ここでは，透析用水の処理方法，水質基準に関する国内外の動向，近年の事故事例を含めた水質要件や医療現場での水質情報に関するニーズについて取りまとめた。

災害時および平常時を問わず，安全な医療用水を常時安定して供給する上では，医療従事者および水道従事者との間でのさらなる情報交換や協働を推進する必要があると考えられる。

キーワード：災害対策，医療用水，透析，水供給，水処理

Abstract

Water supply for medical care is essential for the supporting of various medical practices. In preparation for disasters, it is strongly required to formulate a firm scheme for a water supply system for medical facilities through collaboration between medical agencies and water supply utilities for providing immediate treatment and emergency medical help to disaster victims. The establishment of an emergency water supply plan for times of disaster, including water supply stations at tertiary medical care centers, and the replacement of vulnerable water mains connected to medical facilities by earthquake-resistant ones with a governmental subsidy, is an important and emerging issue.

〒 351-0197 埼玉県和光市南 2-3-6

2-3-6 Minami Wako-shi, Saitama, 351-0197, Japan.

Fax: 048-458-6272 E-Mail: akiba@niph.go.jp

[平成22年6月16日受理]

Hemodialysis accounts for a large portion of water for medical practices and it requires a large and stable water supply. Quality requirements for hemodialysis water are much stricter than those for drinking water because it is directly injected into the patient's bloodstream. Issues related to hemodialysis water quality include water treatment technology, current international and domestic water quality standards, water quality requirements in the case of an accident, and the need for information on source water quality.

Further collaboration and information exchange between medical professionals and water supply professionals is necessary for the provision of safe and stable water for medical care at any time.

**Keywords:** disaster planning, water for medical care, hemodialysis, water supply, water treatment

## I. はじめに

病院では、平常時・災害時を問わず水の確保は必要不可欠であり、外傷患部の洗浄用水、透析用水、X線撮影装置の自動現像器の洗浄用水、器具の滅菌・洗浄用水等の医療行為の他、手洗い、清掃、洗濯、入浴、調理といった患者の入院生活全般にわたり水道水が使用される。それだけに、災害時において水道の供給制限停止になれば、直ちに緊急医療活動に深刻な影響を及ぼすところとなる。兵庫県南部地震後、兵庫県が実施した医療機関へのアンケート調査<sup>1)</sup>によると、医療行為を停止させた第1の原因として、7割以上が「水道水の供給不能」と回答している。内閣府の中央防災会議が平成17年に策定した「首都直下地震対策大綱」では、「電気、水道をはじめとするライフラインは、災害時の救助・救命、医療救護及び消火活動など応急対策活動を効果的に進めるうえで重要となる。このため、地震時にライフライン機能が寸断することがないように、ライフライン事業者は、特に3次医療機関等の人命に関わる重要施設への供給ラインの重点的な耐震化等を進める」としている。厚生労働省は、平成20年に更新を行った「水道の耐震化計画等策定指針」の中で、医療用水の確保についての対応策が盛り込まれることになった。

医療用水の中で、特に透析用水は多量の水が必要とされるため、水道の供給停止は深刻な事態を招くことになる。兵庫県南部地震直後、阪神・神戸地域の透析施設45箇所のうち、21施設が機能不能となり、県内全体で約三千人の患者に影響があったと報告されている<sup>2)</sup>。透析用水は、原水として主に水道水、地下水を使用し、ろ過、イオン交換、吸着、逆浸透などの方法で処理をして作成される。その用途は、粉末透析液の溶解や透析液原液の希釈水及び配管、装置等の洗浄水として使用される。従って、飲用に供される水道水等と比較しても、より一段と厳格な水質要件が満たされる必要がある。

ここでは、災害時における医療用水の確保について述べるとともに、透析用水の処理方法、水質基準に関する国内外の動向、近年の事故事例を含めた水質要件や医療現場での水質情報に関するニーズについて取りまとめた。

うにあたって深刻な影響を及ぼすところとなる。水道の給水停止（断水）による医療活動への影響についてまとめたものを図1に示した<sup>3)</sup>。断水は、直接医療用水の不足を招く他、冷却用水等の設備運転用水にも水道水が使用されているため、間接的にも医療行為に影響を及ぼすところとなる。兵庫県南部地震時には、A病院では水冷式モータに水が供給されないことにより、圧縮空気の供給が停止したため、サーボレンチレータと呼ばれる人工呼吸器が故障し、16人の患者の生命を脅かしたとの報告がある。また、ポートアイランド全体へ水を供給する水道水供給用幹線水道管が破損し、水供給が停止した。そのため、ポートアイランド内のB病院では、真冬に手術室の空調保温を行えず、気温と室温が連動し、日中でも5～6℃しか上昇せず、全身裸にした患者の保温ができないことになり、医療行為に支障を来したとの報告もある<sup>2)</sup>。

水道においては、医療行為に対する水供給の重要性に鑑み、病院の内外を通じた水供給のルートを確認しなくてはならない。医療用水の整備方針としては、各医療機関自ら確保することを原則としているが、厚生労働省では、平成17年度予算で、「重要給水施設配水管」への補助を新設し、一定の要件はあるが、地域防災計画等に明記されている拠点病院への耐震管路を補助対象としている。地方自治体の医療用水の確保への取り組みとして、京都市、大阪市、横浜市の事例を述べる。なお、東京都水道局については後述する。

京都市では、兵庫県南部地震の教訓として、平成13年

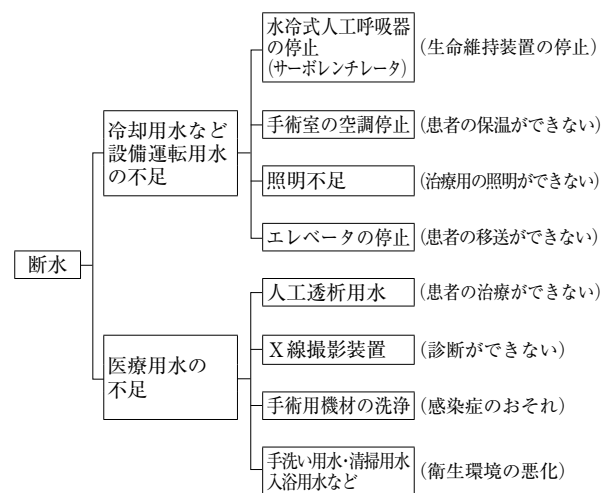


図1 断水による医療活動への影響<sup>3)</sup>

災害発生に伴う水道の給水制限・停止は医療活動を行

度に策定した「京都市防災水利構想」の中で、医療用水を「透析・注射及び医療器具などの医療行為に必要となる水と入院患者等の感染防止などに必要となる水」と定義し、それぞれ確保水量と手段を以下のとおり定めている。

- ・透析治療を実施していない医療機関：20 ℓ／床／日
- ・透析治療を実施している医療機関：150 ℓ／透析治療患者数／日

医療用水の整備方針としては、各医療機関自ら確保することを原則としているが、緊急を要する医療機関への優先的な給水体制の確立など、関係機関の協力体制を確立することとしている。

大阪市水道局では、平成18年策定の「大阪市水道・グランドデザイン」の中で、病院並びに消火水利に関する望ましい水道システムのあり方を定め、震災・水害等災害時の応急医療活動、消火活動を支援する水道システムの整備に向けた「救命ライフライン構想」を推進するとしている。応急医療活動に対しては病院内外の水供給ルートが抱える震災リスクを明らかにし、震災リスクマネジメント手法を導入している。

横浜市水道局では、平成18年策定の「災害医療拠点病院等への水道管耐震化10ヶ年計画」の中で、災害医療拠点病院等67か所の応急給水について、従来は給水車による運搬により対応することとしていたが、今後は水道管の耐震化を実施し、災害時にも水道管からの給水を継続することにより、医療行為の停止を防止することとしている。

このように水道事業者側でも、医療用水の確保に対して整備が進んでいるが、原則としては、医療機関自ら確保することが求められる。病院内の貯水槽は、震災後の水のストックとしての役割を期待できる他、応急給水の受け皿ともなる。しかし、地震により転倒・破損し、それ自体の被害により給水できなくなる事例も報告されている。水道事業者は、平常時より、医療関係者に対して、その耐震化を指導・助言し、確実な医療用水の供給体制を確立しておくことが求められる。

### Ⅲ．人工透析用水の利用と課題

#### 1. 透析患者数の推移と医療用水の需要

近年、わが国における慢性透析患者数は大幅な増加傾向にあり、1998年末の時点で185,322名であったのが、10年後の2008年末には282,622名と約1.5倍に達した<sup>4)</sup>。ここ数年では年間7,000～10,000名程度の患者数が増加しており、これに対応する形で、わが国では透析療法施設数の増加や大型化が進展している。特に、原疾患の割合として第一位を占める糖尿病性腎症(43.2%:2008年末)の患者数が増加の一途にあることから<sup>4)</sup>、当座、この傾向は継続するものと思われる。

様々な医療行為のなかでも、人工透析は大量の医療用水を安定して供給することが求められる。人工透析を実施している医療施設では、50～100床規模の例として、1時間あたり2～5トンの医療用水を必要とする。極めて大量の水を使用するため、透析に用いる希釈水の元となるのは、公共水道水あるいは自前の井戸水(専用水道)が前提である。上記の人工透析患者数の増加傾向に鑑みて、以降では、人工透析液の調整における原水や水処理の状況、近年の事象事例を含めた水質要件の動向と、透析用水に関する医療現場のニーズについて紹介する。

#### 2. 透析用水に求められる水質要件

##### (1) 透析用水の作成方法

透析液の調整にあたっては、水道水や地下水等の「原水」に対して、さらに医療現場での透析用水処理装置による水処理を施した「透析用水」を作成する。この透析用水は、粉末透析液の溶解や透析液原液の希釈、および、配管や装置の洗浄消毒に使用する水等を作成する水となる。透析用水処理装置に用いられる水処理技術として、フィルター過・イオン交換・活性炭吸着・逆浸透膜ろ過・紫外線照射などの方法を組み合わせて行う。透析用水を生成するための最小限の処理フローを図2に示す<sup>5,6)</sup>。

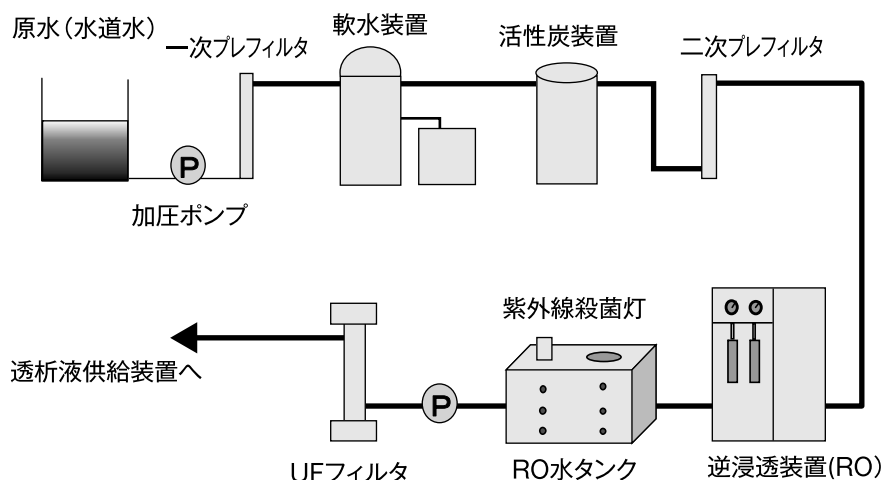


図2 透析用水処理装置の処理フロー<sup>6)</sup>

プレフィルターは、原水中の鉄さびや砂粒子を除去する。フィルターの孔径は1～25 μmであり、通常、一次フィルターは軟水装置および活性炭装置の前、二次フィルターは後に設置する。軟水装置は、陽イオン交換樹脂により原水中の硬度成分であるカルシウム、マグネシウム、ナトリウム、アルミニウム等のイオンを除去する。濃厚食塩水による定期的なイオン交換樹脂の再生を必要とする。活性炭装置は、原水中の遊離塩素やクロラミン、有機物を吸着除去する。直列2段に設置し運用することが推奨されている。

逆浸透装置は、逆浸透 (RO: Reverse Osmosis) 膜により各種溶解イオン、有機物、細菌、パイロジェン等を除去する能力を持ち、透析用水を作製するうえで必要不可欠である。透析用に用いられる RO 膜は、通常、孔径5～10Å、分子分画量200ダルトン以下であり、水道の浄水処理で用いられるナノろ過(NF)膜(または低圧RO膜)に相当する。紫外線殺菌灯は、RO水タンク内での微生物繁殖を防止するために備える。UF(限外ろ過)フィルターは、RO処理された水の清浄度を保証するために設置し、前段のROで阻止しきれなかったエンドトキシンの除去等、最終的な透析用水の安全性を確保するために設置される。

この後、透析用水にナトリウム、カリウム、カルシウム等の塩類およびブドウ糖から成る透析液原液を混和し、透析液を調整する。透析液は透析装置に供給され、最終的に患者への人工透析に用いられる。

(2) 透析液の微生物学的「清浄化」に係る基準制定の動向  
透析液中に含まれるエンドトキシン (ET) が患者の発熱など炎症反応を引き起こす可能性の面から、わが国で

は主に ET 活性値を指標として透析用水や装置などの「清浄化」の取組みが行われてきた。一方、欧米諸国では従来から生菌数を指標とした管理が行われており、2005年より国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) において検討されている国際基準案 (ISO/DIS 23500 - Guidance for the preparation and quality management of fluids for haemodialysis and related therapies) においても細菌数が重視されている<sup>7,8)</sup>。

このような動向を踏まえ、わが国では(社)日本透析医学会が新たに細菌数を加えた「透析液水質基準」<sup>8)</sup>を2008年に提案した。また(社)日本臨床工学技士会は臨床現場の保守管理に携わる立場より「透析液清浄化ガイドライン」を提案し、随時改定を行っている<sup>5,6)</sup>。各々における、生菌数(細菌数)およびET活性値に関する最新の水質基準値(基準値案)は表1のようである。特に、透析液清浄化ガイドラインにおいては、2006年8月改正のVer.1.05<sup>5)</sup>では、透析用水の生菌数が100CFU/mL未満(目標値10CFU/mL未満)、ET活性値が50EU/L未満(目標値1EU/L未満)であったものの、2010年4月改正のVer.1.07<sup>6)</sup>では、生菌数が10CFU/mL未満(目標値1CFU/mL未満)、ET活性値が0.01EU/L未満(目標値0.001EU/L未満)と大幅に強化された。

なお、日本透析医学会の調査によれば、透析液中の細菌数について、国内の透析療法施設1,798施設のうち同学会の水質管理基準値である100CFU/mL未満の施設は97.6%にのぼった<sup>4)</sup>。さらに、日本臨床工学技士会の水質管理基準である1CFU/mL未満の施設は70.2%、日本透析医学会お

表1 日本臨床工学技士会・ISO基準案・日本透析医学会の比較<sup>6)</sup>

	透析液清浄化 Ver1.07		ISO 基準案 2009		JSDT 基準 2008	
	生菌数 (CFU/mL) 未満	ET 活性値 (EU/mL) 未満	生菌数 (CFU/mL) 未満	ET 活性値 (EU/mL) 未満	生菌数 (CFU/mL) 未満	ET 活性値 (EU/mL) 未満
透析用水 Dialysis water	10 目標 1	0.01 目標 0.001	100 アクションレベル 50	0.25	100	0.05
透析液 Dialysis fluid	1	0.001	100 アクションレベル 50	0.5	100	0.05
超純粋透析液 Ultrapure Dialysis fluid	1	0.001	0.1	0.03	0.1	0.001
置換用透析液 Substitution	注射用水の水質レベルを推奨する。但し、専用の装置を用いる場合は、装置製造販売メーカーの定める管理基準に準じ、各施設の透析液安全管理委員会で適切に管理し臨床運用する。		適切な局方の要求事項に準じ、生存する微生物がないこと		10 <sup>-6</sup>	0.001 検出限界未満
生菌数測定 検体量	・透析用水 1～100mL ・透析液 1～100mL ・逆ろ過透析液を用いたマシン 10～100mL		・透析液 10～25mL 以上 1000mL		・Ultrapure Dialysis fluid 10mL 以上	
測定頻度	・透析用水：1回/月以上 ・透析液：月1回以上、1年で全台		・サンプリングスケジュールは、各装置が少なくとも年1回サンプリングされるようにし、頻度は月1回モニタリングすることが多い		・透析用水：1回/3カ月 ・透析液：2台/月以上、1年で全台	

よび ISO 基準案の超純粋透析液に相当する 0.1CFU/mL 未満の施設は 50.7%であった。しかしながら、各水質指標の検査を日常的に行っている透析療法施設は限られているのが現状であり、同学会の推奨する月 1 回以上の頻度での実施は ET 活性値が 33.2%, 細菌数が 20.8%にとどまっている<sup>4)</sup>。

(3) 透析用水および原水の化学物質に係る水質基準

前出の透析液清浄化ガイドラインでは、透析用水の水質等要件に係る ISO 基準 (ISO 13959:2009 - Water for hemodialysis and related therapies) に準ずる形で透析用水管理基準値を 22 項目設定し (表 2)、透析用水処理装置による水処理を行った後に基準値未満に管理すること、水質の確認は年 1 回以上行うこととしている<sup>6)</sup>。さらに、透析用水に用いる原水として、水道水・地下水を問わず水道法が定める水質基準 (表 3)<sup>9,10)</sup> を満たすことを求めている。

ここで、原水に水道水のみを使用する透析療法施設は、原水に係る基準値が当該水道事業者により担保されているとみなし、水質確認を免除するとしている。一方、水道水以外の原水 (地下水等) を単独または併用する施設では、水道法に定める水質検査計画<sup>11)</sup> を策定した上で、その計画に則り適切に水質検査を行い、原水に係る水質基準を担保することとしている<sup>6)</sup>。透析用水に用いる原水の水質について責任を負うべき主体が、両者の場合で明確に異なることに留意されたい。

表 2 透析用水管理基準項目および基準値<sup>6)</sup>

No.	混入物質	最大濃度 (mg/L)
1	カルシウム	2 (0.1mEq/L)
2	マグネシウム	4 (0.3mEq/L)
3	カリウム	8 (0.2mEq/L)
4	ナトリウム	70 (3.0mEq/L)
5	アンチモン	0.006
6	ヒ素	0.005
7	バリウム	0.10
8	ベリリウム	0.0004
9	カドミウム	0.001
10	クロム	0.014
11	鉛	0.005
12	水銀	0.0002
13	セレン	0.09
14	銀	0.005
15	アルミニウム	0.01
16	総塩素	0.10
17	銅	0.10
18	フッ化物	0.20
19	硝酸塩 (窒素として)	2.0
20	硫酸塩	100
21	タリウム	0.002
22	亜鉛	0.10

表 3 水道水質基準項目および基準値<sup>10)</sup>

項目	基準	項目	基準
一般細菌	1 ml の検水で形成される集落数が 100 以下	総トリハロメタン	0.1mg/L 以下
大腸菌	検出されないこと	トリクロロ酢酸	0.2mg/L 以下
カドミウム及びその化合物	カドミウムの量に関して、0.003mg/L 以下	ブロモジクロロメタン	0.03mg/L 以下
水銀及びその化合物	水銀の量に関して、0.0005mg/L 以下	ブロモホルム	0.09mg/L 以下
セレン及びその化合物	セレンの量に関して、0.01mg/L 以下	ホルムアルデヒド	0.08mg/L 以下
鉛及びその化合物	鉛の量に関して、0.01mg/L 以下	亜鉛及びその化合物	亜鉛の量に関して、1.0mg/L 以下
ヒ素及びその化合物	ヒ素の量に関して、0.01mg/L 以下	アルミニウム及びその化合物	アルミニウムの量に関して、0.2mg/L 以下
六価クロム化合物	六価クロムの量に関して、0.05mg/L 以下	鉄及びその化合物	鉄の量に関して、0.3mg/L 以下
シアン化物イオン及び塩化シアン	シアンの量に関して、0.01mg/L 以下	銅及びその化合物	銅の量に関して、1.0mg/L 以下
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10mg/L 以下	ナトリウム及びその化合物	ナトリウムの量に関して、200mg/L 以下
フッ素及びその化合物	フッ素の量に関して、0.8mg/L 以下	マンガン及びその化合物	マンガンの量に関して、0.05mg/L 以下
ホウ素及びその化合物	ホウ素の量に関して、1.0mg/L 以下	塩化物イオン	200mg/L 以下
四塩化炭素	0.002mg/L 以下	カルシウム、マグネシウム等 (硬度)	300mg/L 以下
1,4 -ジオキサン	0.05mg/L 以下	蒸発残留物	500mg/L 以下
シス-1, 2-ジクロロエチレン及びトランス-1, 2-ジクロロエチレン	0.04mg/L 以下	陰イオン界面活性剤	0.2mg/L 以下
ジクロロメタン	0.02mg/L 以下	ジェオスミン	0.00001mg/L 以下
テトラクロロエチレン	0.01mg/L 以下	2-メチルイソボルネオール	0.00001mg/L 以下
トリクロロエチレン	0.03mg/L 以下	非イオン界面活性剤	0.02mg/L 以下
ベンゼン	0.01mg/L 以下	フェノール類	フェノールの量に換算して、0.05mg/L 以下
塩素酸	0.6mg/L 以下	有機物 (全有機炭素 (TOC) の量)	3mg/L 以下
クロロ酢酸	0.02mg/L 以下	pH 値	5.8 以上 8.6 以下
クロロホルム	0.06mg/L 以下	味	異常でないこと
ジクロロ酢酸	0.04mg/L 以下	臭気	異常でないこと
ジブロモクロロメタン	0.1mg/L 以下	色度	5 度以下
臭素酸	0.01mg/L 以下	濁度	2 度以下

なお、透析用水管理基準 22 項目のうち、原水の水質基準項目と重複する化学物質については、原水中の濃度が透析用水の水質管理基準値以下のものに限り、測定を免除するとしている。重複する項目のうち、セレン（セレン及びその化合物）を除くすべての化学物質について、透析用水の水質管理基準の方が厳しい基準値を設定している。一部の化学物質は表 4 に示す臨床症状の発生に関与することが知られているため、各基準値の遵守が求められる。

表 4 透析液中の溶存物質と臨床症状<sup>12)</sup>

溶存物質	臨床症状
アルミニウム, クロラミン, 銅, 亜鉛	貧血
アルミニウム, フッ素	骨病変
クロラミン, 銅, 硝酸塩	溶血
カルシウム, ナトリウム	高血圧
バクテリア, エンドトキシン, 硫酸塩	低血圧
低pH, 硫酸塩	代謝性アシドーシス
カルシウム, マグネシウム	筋肉障害
細菌, カルシウム, 銅, 亜鉛	嘔気, 嘔吐
エンドトキシン, 低pH, マグネシウム	
硝酸塩, 硫酸塩	
アルミニウム	神経障害

#### (4) 透析用水等において注目すべき水質項目

透析液は人体の血液中に直接かつ大量に導入されることより、飲用に供される水道水等と比較しても、より一段と厳格な水質要件が満たされる必要がある。透析患者への健康リスク低減の面から特に注目すべき水質項目について以下にまとめた。

##### ① クロラミン

クロラミンが透析液から血液中に混入すると、赤血球が溶血し貧血状態となることが知られている。これまでに国内においても、透析用水中の残留クロラミンに由来する集団的な貧血亢進の発生が報じられている<sup>13,14)</sup>。平成 18 年 1 月に発生した事例では、医療機関において院内の飲料水や透析用水原水として用いていた地下水のアンモニア態窒素濃度が高濃度となり、前段の塩素消毒において塩素とアンモニア態窒素との反応によりクロラミン 0.7mg/L が発生した。その後の透析用水の水処理過程では完全には除去されず、透析液に 0.2mg/L 程度混入した結果、46 名の患者に対して急激な貧血症状を生じた<sup>14)</sup>。当該医療機関の報告によれば、地下水供給施設の設置にあたって水道水質基準への適合は確認したものの、残留塩素については遊離塩素のみを確認しており、クロラミンの事前測定が欠落していたとしている。以上のことより、地下水および透析用水について適切な水質検査が行われていたならば、回避可能であった事例であると考えられる。

##### ② エンドトキシン (ET)

ET はグラム陰性菌やシアノバクテリア等の細胞外膜構成物質であるリポ多糖 (LPS: lipopolysaccharide) に起因する生理活性物質であり、幅広い微生物種で普遍的

に存在することが知られている。細胞外膜構成物質であるため、細菌の生死に関わりなく生理活性を有しており、ヒトの細胞に対しても Toll-like レセプターを介して強い免疫反応を惹起する<sup>15)</sup>。

国内の環境水や水道水における ET の存在状況や挙動についての情報は限られている。大河内らが淀川水系を対象に行った調査<sup>16)</sup>によれば、琵琶湖および淀川河川水中の ET 濃度は  $3.11 \times 10^2 \sim 2.43 \times 10^3$  EU/mL であるのに対して、下水処理施設放流水中の ET 濃度は  $1.08 \times 10^4$  EU/mL であり、環境水中の ET 濃度は下水処理水の放流による影響を大きく受けること、水道の高度浄水処理の過程では、凝集沈澱処理およびオゾン処理により ET 濃度は 65 ~ 95% 程度除去されるものの、生物活性炭処理後には増加すること、また、浄水処理後の水道水に含まれる ET 濃度は 10 EU/mL 前後であり、海外の調査事例<sup>17)</sup>と同程度であることを示している。

従って、浄水処理により水道水中の ET 濃度は 1/10 ~ 1/100 程度にまで低減されるものの、前出の透析液中 ET 濃度の基準値と比較して大幅に高い状況であるため、透析用水処理装置等による適切な除去が必須となる。ところで、一般にリポ多糖の分子量は 10 ~ 20kDa の範囲<sup>18)</sup>であるため、理論的には、透析用水処理装置の RO 膜処理においてほぼ完全な阻止が可能である。しかしながら、実際には RO 膜処理以降においても ET が検出されていることから、RO 膜処理過程での細菌や ET の漏洩、あるいは、RO 膜処理以降における微生物の混入や装置内での再増殖による ET 濃度の増加が推定される。

##### ③ 従属栄養細菌

前出の透析液清浄化ガイドライン等に示されている生菌数の検査法として、R2A 培地を用いた平板培養法を用い、培養温度を 20 ~ 25℃ (または 30 ~ 35℃)、培養期間は 4 ~ 7 日以上としていることより、これは水道水質において水質管理上留意すべき項目である「水質管理目標設定項目」<sup>9)</sup>の中の従属栄養細菌と同等とみなせる。従属栄養細菌の目標値は「1ml の検水で形成される集落数が 2,000 以下 (暫定)」<sup>10)</sup>であるものの、東京都 23 区部の給水栓における平成 19 年度の従属栄養細菌の測定結果 (図 3) では、透析液清浄化ガイドライン<sup>6)</sup>における透析用水中の生菌数の基準値である 10CFU/mL を 90.7% が満たし、また、52.6% は目標値である 1CFU/mL を下回るレベルにあった。ただし、従属栄養細菌の一部には塩素消毒に対する耐性を有する細菌種が存在することや、微量の炭素やリンなどの栄養源の存在下において容易に再増殖する細菌種が含まれるため、透析用水処理装置における定期的な細菌数の測定およびライン等の消毒が必須であると考えられる。

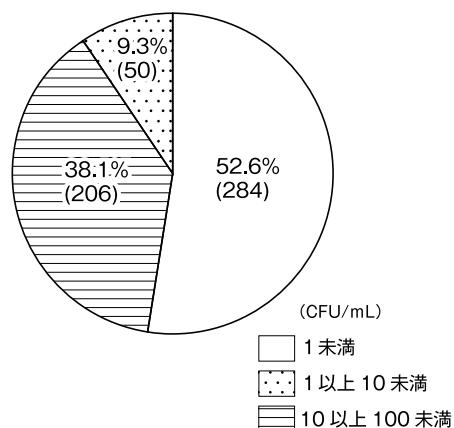


図3 東京部23区部給水栓の従属栄養細菌測定結果 (平成20年度)

④アルミニウム

浄水処理の基本的な処理の一つである凝集沈殿処理において、日本国内の浄水場ではアルミ系凝集剤（ポリ塩化アルミニウムあるいは硫酸ばん土）が用いられている。そのため、大抵の水道水中には凝集剤由来の残留アルミニウムが存在する。水道水質基準におけるアルミニウムの基準値は0.2mg/L（表3）、水質管理目標設定項目の目標値としては0.1mg/L<sup>10）</sup>が示されているが、いずれも、透析用水管理基準値（表2）の0.01mg/Lより一桁高い濃度であるため、透析用水処理過程の軟水装置において適切に除去される必要がある。

⑤鉛・亜鉛・銅

これらの金属類は、いずれも給水管や蛇口などの給水装置に由来して、水道水中に新たに付加される場合がある。各金属類ともに「給水管及び給水用具の性能基準に関する省令」<sup>19）</sup>の中で浸出性能基準（給水装置から金属等が浸出し水の汚染を防止する基準）が定められており、いずれも水質基準値の10%に設定されている（鉛:0.001mg/L、亜鉛:0.1mg/L、銅:0.1mg/L）。特に鉛製給水管については、厚生労働省により策定された「水道ビジョン」<sup>20）</sup>において「鉛製給水管総延長をできるだけ早期にゼロにする」との目標が掲げられているものの、全国の鉛製給水管の距離延長は把握できているだけで9,129km、給水件数は5,211,352件と、依然として広汎に残存している状況である（H18年度調査時<sup>21）</sup>）。医療施設等において鉛製給水管が残存している場合には、早急な布設替えが求められる。

⑥その他

現時点では透析用水管理基準への記載はないものの、透析用水処理装置の処理工程において十分に除去されない可能性のある化学物質に留意する必要がある。一例として、水道水質基準項目である1,4-ジオキサンは、親水性が非常に高いため活性炭処理での除去が困難であり、かつ、分子量が88.1であるため透析用に用いられるRO膜での除去性も低いと想定される。国内の一部の水道原水において、過去に基準値0.05mg/Lを超える濃度で検出された事例があることから、今後、透析用水においても注目すべき物質の一つであると考えられる。

3. 透析用水供給の安全性確保における課題

(1) 災害時における透析用水の確保

1995年の阪神・淡路大震災発生に際して兵庫県が医療機関に対して行った前出のアンケートでは、病院の医療機能を低下させた原因として「上水道の供給不能」が最も多く、全回答の73.6%を占めた<sup>22）</sup>。また、震災の影響によって使用できなかった設備のうち、水供給に関わる施設として人工透析装置(37.0%)、高架水槽(36.5%)、受水槽(30.9%)、給水管(56.7%)が挙げられており<sup>22）</sup>、透析治療を含めた治療活動全般に甚大な影響を及ぼした。

現在では、このような大震災を契機として、透析医療における水供給の重要性についての認識が高まり、その確保に当たり体制の整備が図られてきている。例として東京都においては、東京区部災害時透析医療ネットワークや三多摩地区透析施設災害ネットワークが設立されており、震災時には東京都災害対策本部等との相互連絡等により、透析治療の実施が可能な施設の把握や水の供給等について調整を行う体制が組まれている。また、東京都水道局においては、平成18年度策定の「東京水道長期構想」において、三次救急医療機関等への供給ルートとなる水道施設の耐震化を早期に実施することを掲げ、現在取り組みを進めているところである<sup>23）</sup>。さらに、「東京都水道局震災応急対策計画」<sup>24）</sup>では、発災後の応急給水体制を整えるだけでなく、三次救急医療機関及び災害拠点病院の水道水供給にかかわる管路の被害については、発災後3日以内の復旧を目指している。

一方で、災害時等の水質変化への対応に関しても透析治療従事者からの懸念が示されている。一例として、地震時に水道管の振動などにより堆積していた濁質が巻き上げられ、原水中の濁度が急上昇することで、透析用水処理装置のプレフィルターが目詰まりを起こす事例が発生している。給水車により供給された水を透析に使用した際に透析用RO膜が目詰まりをした事例もあった。この原因として、給水車内部に残留した汚れや、水を供給した浄水場における浄水処理が不十分であったことが考えられている。

また、大規模な震災の発生時には、水道における衛生上の措置として残留塩素濃度を高めることがある。具体的には水道法施行規則第17条第1項第3号において、「供給する水が病原生物に著しく汚染されるおそれがある場合又は病原生物に汚染されたことを疑わせるような生物若しくは物質を多量に含むおそれがある場合の給水栓における水の遊離残留塩素は、0.2mg/L（結合残留塩素（クロラミン）の場合は、1.5mg/L）以上とする」ことが規定されている。このような情報が医療従事者に伝達されない場合には、透析用水処理装置の活性炭処理で遊離塩素やクロラミンが完全には除去されず、透析用水に残留する場合が起こり得る。上記の災害時における透析医療ネットワーク等において、透析医療従事者および水道事業者の間で、供給水の水量のみならず水質の面でも情報交換を行う必要があると考えられる。

## (2) 透析用水処理装置等の運転管理

日常の透析医療においては、安全な透析用水を常時かつ安定して供給することが求められることより、透析用水処理装置等の日常的な運転管理および衛生管理を適切に行う必要がある。前出の透析液清浄化ガイドライン<sup>6)</sup>においても「各工程の適切な構造・管理が重要であり、要求される品質の透析用水が供給されることを適切なバリデーションによって検証する必要がある。さらに、日常の水質管理によってその品質を保証し続けなければならない。そのためには、(中略)、各工程でのモニタリングを行い、管理基準を逸脱する場合は原因を究明し改善措置をとる。」との記述がある。

ここで、国内外の水道事業等において導入が進んでいる水安全計画 (Water Safety Plan<sup>25)</sup>) について紹介したい。これは WHO が 2004 年に提唱した水道版の HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point: 危害分析・重要管理点) 手法であり、水源から給水栓に至る全ての段階で危害評価と危害管理を行い、危害の原因を排除するための重要管理点 (工程) を重点的かつ継続的に監視することで衛生管理を行うものである。わが国の水道でも水安全計画の策定が推奨されており、水安全計画策定のためのガイドラインやケーススタディが公開されている<sup>26)</sup>。当手法は、透析用水処理の日常的な衛生管理においても参考になるとと思われる。

## IV. おわりに

水供給は平常時および災害時の医療活動を支える必要不可欠な基盤要素の一つであることは論を待たない。以上見てきたように、安全な医療用水を常時安定して供給する上では、医療の現場におけるニーズ等に関する医療従事者 (医師、臨床工学技士等) および水道従事者 (土木・分析技術者等) との間でのさらなる情報交換や協働を推進する必要があると考えられる。

## 謝辞

本報の作成にあたり、医療関係者、防災関係者および水道事業者の方々から情報提供をいただいた。ここに謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 災害時の水利用. 空気調和・衛生学会, 編. 2002.
- 2) 阪神・淡路大震災教訓情報資料集. 内閣府.  
[http://www.bousai.go.jp/linfo/kyoukun/hanshin\\_awaji/data/index.html](http://www.bousai.go.jp/linfo/kyoukun/hanshin_awaji/data/index.html)  
(accessed 2010-06-09)
- 3) 厚生労働省. 水道の耐震化計画策定指針 (案) 更新委員会資料. 2005.
- 4) 社) 日本透析医学会 統計調査委員会編. 図説 わが

国の慢性透析療法の現況 2008 年 12 月 31 日現在.  
東京: (社) 日本透析医学会; 2009.

<http://docs.jsdt.or.jp/overview/>  
(accessed 2010-06-09)

- 5) 日本臨床工学技士会事業部透析液等 WG. 透析液清浄化ガイドライン Ver.1.05. 東京: (社) 日本臨床工学技士会; 2006.
- 6) 日本臨床工学技士会事業部透析液等 WG. 透析液清浄化ガイドライン Ver.1.07. 東京: (社) 日本臨床工学技士会; 2010.  
[http://www.jacet.or.jp/cms/10topics/guideline\\_Ver107.pdf](http://www.jacet.or.jp/cms/10topics/guideline_Ver107.pdf)  
(accessed 2010-06-09)
- 7) 内野順司. 透析液清浄化の歴史と今後の課題. LAL TOPICS 2008.12;(No.14).  
生化学バイオビジネス株式会社.  
<http://www.seikagakubb.co.jp/lalweb/topics/topics14.html>  
(accessed 2010-06-09)
- 8) 秋葉隆, 川西秀樹, 峰島三千男, 政金生人, 友雅司, 川崎忠行, 西沢良記. 透析液水質基準と血液浄化器性能評価基準 2008. 透析会誌 2008;41(3):159-67.  
<http://www.jsdt.or.jp/jsdt/19.html>  
(accessed 2010-06-09)
- 9) 厚生労働省健康局水道課. 水道水質基準について.  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/index.html>  
(accessed 2010-06-09)
- 10) 厚生労働省健康局水道課. 水質基準項目と基準値 (50 項目).  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html>  
(accessed 2010-06-09)
- 11) 厚生労働省健康局水道課. 水質検査計画の策定について.  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/topics/suisitu04/index.html> (accessed 2010-06-09)
- 12) 芝本隆. 透析液希釈水製造装置 (水処理装置). 飯田喜俊, 秋沢忠男, 椿原 美治, 編著. 透析療法のリスクマネジメント. 東京: 中外医学社; 2002. p.217.
- 13) 芝本隆, 雨宮時夫, 佐藤卓, 吉田えり子, 谷津知子, 加藤正人, 他. 血液透析における水処理. 人工透析研究会会誌 1978;11(1):313-4.
- 14) 千葉日報. 平成 18 年 3 月 10 日.
- 15) Chow JC, Young DW, Golenbock DT, Christ WJ, Gusovsky F. Toll-like receptor-4 mediates lipopolysaccharide-induced signal transduction. J Biol Chem 1999;274(6):10689-92.
- 16) 大河内由美子, 石川卓, 高橋恭介, 伊藤慎彦. 水環境におけるエンドトキシンの変動要因と浄水処理過程におけるエンドトキシン除去特性. 環境工学研究論文集 2007;44:247-53.



- 17) Rapala J, Lahti K, Rasanen LA, Esala AL, Niemela SI, Sivonen K. Endotoxins associated with cyanobacteria and their removal during drinking water treatment. *Water Research* 2002;36:2627-35.
- 18) Petsch D, Anspach FB. Endotoxin removal from protein solutions. *J Biotechnology* 2000;70:97-119.
- 19) 厚生労働省健康局水道課. 給水装置の構造及び材質の基準に関する省令.  
<http://kyuusuidb.mhlw.go.jp/tec/kyusuidb/kyusui/SHOREI001.HTML>  
(accessed 2010-06-09)
- 20) 厚生労働省健康局水道課. 水道ビジョンの推進について.  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/vision2/index.html>  
(accessed 2010-06-09)
- 21) 厚生労働省健康局水道課. 鉛製給水管の適切な対策について 別添アンケート調査結果. 健水発第 1221001 号 平成 19 年 12 月 21 日.  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kyusui/01a.html>  
(accessed 2010-06-09)
- 22) 兵庫県阪神・淡路大震災復興本部, 保険環境部医務課. 災害医療実態アンケート調査 (平成 7 年 6 月).  
[http://web.pref.hyogo.jp/wd33/wd33\\_000000321.html](http://web.pref.hyogo.jp/wd33/wd33_000000321.html)  
(accessed 2010-06-09)
- 23) 東京都水道局. 東京水道長期構想 STEP II ~世界に誇る安心水道~ (平成 18 年 11 月).  
<http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/water/torikumi/step2/index.html>  
(accessed 2010-06-09)
- 24) 東京都水道局. 東京都水道局震災応急対策計画 (平成 21 年 3 月改定)  
<http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/press/h18/press060825.html>  
(accessed 2010-06-09)
- 25) World Health Organization. Water safety plan.  
[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/wsp0506/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp0506/en/index.html)  
(accessed 2010-06-09)
- 26) 厚生労働省健康局水道課. 水安全計画について.  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/suishitsu/07.html>  
(accessed 2010-06-09)