血液透析装置にオゾンを用いた消毒方法の試み

廣瀬 伸彦^{*1} 高橋 雅彦^{*1} 吉 本 裕^{*1} 利 光 由紀^{*1}
田 中 愛^{*1} 尾崎 泰史^{*1} 戸浦 じゅん^{*1} 御園 陽一^{*1}
菅野 有造^{*2} 芝 本 隆^{*2} 桑原 道雄^{*2} 小笠原 陽^{*1}
聖水会小笠原クリニック^{*1} 東京医科歯科大学医学部附属病院血液浄化療法部^{*2}

key words : 血液透析装置, オゾン, 洗浄消毒, 透析液清浄化, 環境汚染

〈要旨〉

【目的】血液透析装置の消毒は主に次亜塩素酸ナトリウムが使用されるが、消毒排水の環境汚染に対する影響が問題となっている。そこで残留性がなく、環境汚染に対する影響の少ないオゾンが血液透析装置の消毒剤として期待される。われわれはオゾンが血液透析装置の消毒剤として有用か否かを基礎、臨床の両面から評価した。【方法】基礎：オゾンの安定性を電解質と有機物の添加試験から評価した。また、血液透析装置内でのオゾン濃度の安定性を観察し、装置プライミングボリュームとオゾン濃度減衰の関係を実験的に評価した。さらに、透析液清浄化目的で使用される精密濾過膜へのオゾン水暴露試験を行った。臨床：個人用透析装置にオゾン水消毒を6週間施行し透析液エンドトキシン濃度、細菌数を測定した。また、あわせて装置内の水経路各部位を肉眼的に観察した。消毒行程は、前水洗30分、オゾン水消毒30分、後水洗30分とした。対象に週1回次亜塩素酸ナトリウム消毒と酢酸洗浄を組み合わせた併用消毒を行った。【結果】基礎：NaCl、アルブミンの添加でオゾン濃度は減衰した。透析装置内でオゾン濃度は減衰し、密閉系出口部で最も濃度減衰が大きかった。精密濾過膜 PEPA、PS はオゾン水で破壊された。臨床：オゾン水消毒6週目に装置内にタンパク付着を認め、それに伴い装置内のオゾン濃度減衰は高値となった。併用消毒では装置内の各部位に付着物は全く認めず、装置内でのオゾン濃度減衰はなかった。透析液中のエンドトキシン濃度、細菌数は通常の次亜塩素酸ナトリウム消毒時と同程度であった。【結語】基礎および臨床評価から考えると現状ではオゾン水単体での血液透析装置消毒に限界を感じる。しかし、他の洗浄剤・消毒剤との組み合わせや洗浄消毒工程の変更、また装置内液流路構造の設計変更などの再検討により解決可能と思われた。したがって、血液透析装置の消毒剤としてオゾンを用いる有用性は高いと考える。

Evaluation of a disinfection method by using ozone for a single patient dialysis machine

Nobuhiko Hirose^{*1}, Masahiko Takahashi^{*1}, Yutaka Yoshimoto^{*1}, Yuki Toshimitsu^{*1}, Ai Tanaka^{*1}, Yasushi Ozaki^{*1}, Jun Toura^{*1}, Yoichi Misono^{*1}, Yuzo Kan-no^{*2}, Takashi Shibamoto^{*2}, Michio Kuwahara^{*2}, Minami Ogasawara^{*1}

The Seisuiikai Foundation, Ogasawara Clinic^{*1}; Department of Blood Purification, Tokyo Medical and Dental University^{*2}

Purpose : Dialysis machines are mainly disinfected using sodium hypo-chloride chemical solution, but the polluting effects of this discarded sodium on the environment are a problem. There is hope that ozone, which leaves no residue and has few harmful effects on the environment, may be useful as a disinfectant for dialysis machines. We evaluated whether ozone can be used as a dialysis machine disinfectant by both *in vitro* and clinical studies.

Methods : 1) *In vitro* study : The stability of ozone was evaluated in an experiment in which electrolytes and proteins were added. We observed the stability of ozone concentrations within the dialysis machines and experimentally evaluated the relationship between dialysis machine priming volume and ozone concentration

廣瀬 伸彦 聖水会小笠原クリニック 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町2-6 坂下ビル7F

Nobuhiko Hirose Tel : 03-3254-1199 Fax : 03-3254-1189 E-mail : m6876.tj262.t@asahi-net.or.jp

〔受付：平成15年8月21日、受理：平成15年11月17日〕

attenuation. We also evaluated the effect of ozone exposure on the micro filter membranes that are used for dialysate purification. 2) Clinical study : We disinfected individual dialysis machines with ozone solution disinfectant for six weeks, and measured dialysate endotoxin concentrations and colonies count. Also, we macroscopically observed each water pathway site within the dialysis machine. The disinfecting procedure involved pre-rinsing for 30 minutes, ozone solution disinfecting for 30 minutes, and post-rinsing for 30 minutes. Combination disinfecting with sodium hypo-chloride and acetic acid rinsing was also performed once a week.

Results : 1) The ozone concentration decreased when NaCl and albumin were added. The ozone concentration decreased within the dialysis machine, with the greatest attenuation of concentration at the closed outlet. The ozone solution destroyed the micro filter membranes PEPA and PS. 2) After six weeks of ozone solution disinfecting, protein was seen to have adhered to the inside of the dialysis machine and the decreased ozone concentration inside the dialysis machine had become marked. After combination disinfecting, nothing was found adhering to the inside of the dialysis machine at any site, and the ozone concentration within the dialysis machine had not decreased. The endotoxin concentration and colonies count in dialysate were the same as those after hypo-chloride disinfecting was performed.

Summary : On fundamental *in vitro* as well as clinical evaluations, it was shown that there are limits to dialysis machine disinfecting with ozone solution alone. However, it was thought that these limits could be resolved by combining with other detergents/disinfectants, by re-examining modifications to the rinsing and disinfecting process, or by modifications to the design of the structure of the liquid pathway within the dialysis machine. The utility of ozone as a disinfectant for dialysis machine is therefore considered high.

緒 言

血液透析装置（透析装置）の消毒、洗浄の目的は血液側から透析膜を介して透析液側に排液された物質による細菌やウィルス感染（装置内汚染）、透析液に由来する炭酸カルシウム付着等装置内のトラブルを未然に防ぐことにある¹⁾。最近では透析膜の大孔径化や性能の向上で従来の透析膜に比較し、透析液側へのタンパク漏出量増加や、透析液中に微粒子などが存在した場合、逆濾過現象²⁾により血液側に移行することが懸念されはじめた³⁾。したがって、透析装置の消毒は今後ますます重要視されなければならない。一方、透析装置消毒時に排液される消毒剤の環境汚染も社会的問題である^{4,5)}。

現状の消毒剤は、細菌、ウィルスに対し広いスペクトルを有し、コストの面でも優れる次亜塩素酸ナトリウムが主に使用される。しかし、次亜塩素酸ナトリウムを含んだ排水は浄化槽内の微生物を死滅させる原因となることや、取り扱いの誤りによる毒性の強い塩素ガスの発生、微量の残留による人体や環境汚染などの問題が残る。最近、透析装置の消毒剤として、消毒排液が短時間で酸素や水などの無害な物質に分解され、環境に対する悪影響が少ない過酢酸系消毒剤や電解酸性水等の利用が検討されはじめた^{6,7)}。

今回検討したオゾンは自然界に存在する物質であり消毒効果を発現した後、速やかに酸素に分解される。

したがって排液中や大気中に長時間残留しないため環境汚染が少ない⁸⁾。われわれはこのように環境に優しいオゾンを用い透析装置の消毒が可能か否か基礎および臨床の両面から検討し有用性を評価した。

I. オゾンとは

オゾンは酸素の同素体で一般には地球を覆うオゾン層の構成物質として知られている。酸素原子3個で構成され、語源はギリシャ語で「におい」という意味を持ち、その名の通り特有な臭気を持っている。基本的には無色だが、高濃度になると微青色を示す。

オゾンは不安定物質のため速やかに分解し最終的には酸素に戻る。その分解時に発生する酸素原子は自然界ではフッ素に次いで強い酸化力を持ち、その酸化力によって殺菌・脱臭・漂白などの効果を示す⁹⁾。

1. オゾン製造方法

オゾン発生原理は酸素分子にエネルギーを与えて酸素原子へ分解し、この酸素原子が酸素分子に結合することでオゾンとなる。利用されるエネルギーは電気や紫外線などがある。製造方法は空気や酸素から作る放電法や紫外線法、また水道水や電解液から作る電解法などがある。

オゾン水とはオゾンそのものが液化したものではなく、放電法や電解法により作られたオゾンガスを微細な泡にして水に混入し溶解させたものである。オゾンガスの水中への溶解方法は、気泡溶解法、隔膜溶解法、

表 1 材料の耐オゾン性

オゾンに強い	オゾンに弱い
ガラス, セラミック ステンレス, チタン テフロン, 塩化ビニル フッ素ゴム, バイトン ハイパロン	鉄, ニッケル ポリエチレン, ポリプロピレン ナイロン, ポリスルホン 天然ゴム, プチルゴム

充填層溶解法などがある。

2. オゾンの特徴

1) 殺菌効果

オゾンの殺菌作用やウィルス不活化作用は、微生物の細胞や粒子の構成成分を直接オゾンが酸化分解し、その結果細菌やウィルスは著しい変性・障害を受けて、増殖や生存が不能になる。抗生物質などのように細胞内の代謝を阻害するものとは異なり細胞壁や、細胞質に存在する核酸も酸化分解されるため、薬剤耐性菌を作りにくい。さらに、殺菌力は芽胞に対しても比較的短時間で効果がみられサルモネラ、MRSA、大腸菌では濃度 4 ppm のオゾン水で 30 秒以内にほぼ死滅すると報告されている¹⁰⁾。

2) 残留性

オゾンの半減期は安定状態の場合、空気中で約 12 時間、水中で約 40 分といわれ極めて短時間に分解される。一方、当該気体中や液体中で、オゾンに対する反応物が存在する場合では数秒でそれらの物質と反応し酸素に戻る。オゾン水の場合その安定性は水温と pH に左右され、一般に水温、pH ともに低値で安定する。

3) 材料への影響

多くの材料はオゾンの影響を受けにくい天然ゴム、鉄、ポリエチレンなどの酸化しやすい材料では材質の劣化が起こる¹¹⁾(表 1)。

4) 環境への影響

オゾンは分解が速いため他の薬剤と比較しても、その消毒排水が処理槽や下水道に与える悪影響すなわち環境汚染は皆無に等しい。さらに排液中の BOD、COD の低減効果が期待できる。

5) 人体への影響

人は 0.01 ppm～0.02 ppm というごくわずかなオゾンで臭気を感じ、0.1 ppm で鼻や咽喉に刺激をおぼえる。1 ppm～2 ppm では頭痛、上気道の渇きを訴え、5 ppm～10 ppm では肺水腫に陥る恐れがある。50 ppm の 1 時間暴露では生命の危険がある。このように、高濃度のオゾンは人体に対し毒であるが、低濃度でオゾンの臭気を感じるため危険回避は容易であり、現在までオゾンによる大事故の報告は少ない。我が国では産

業衛生学会がオゾンに関する安全基準として、8 時間労働における許容濃度を 0.1 ppm と規定をもうけている¹²⁾。

3. 利用分野

オゾンは食品の殺菌、脱臭、鮮度保持(水産、畜産、農産)や衛生環境浄化(上下水道、住宅、プール、浴場、クリーニング、理容)、さらに半導体製造分野での有機物分解と幅広い分野で利用されている。また、医療分野では環境浄化、器具の消毒、排水浄化への応用が試みられている¹³⁾。

II. 方 法

1. 基礎評価

1) 電解質・タンパク質添加試験：オゾン水に対する透析液排液の影響を観察する目的で電解質とタンパクの添加試験を行った。オゾン水 100 mL に対し NaCl、アルブミンの各溶液を 10 mL 添加し、添加前後のオゾン濃度を比較した。NaCl は 0.1% から 10%、アルブミンは 0.05% から 10% の濃度とした。コントロールとして滅菌精製水を用い同様の試験を行った。

2) オゾン水消毒施行時の透析装置内オゾン濃度動態：オゾン水消毒中の透析装置供液側および排液側オゾン濃度を測定しオゾン濃度動態を観察した。オゾン水消毒工程は前水洗 30 分、オゾン水消毒 30 分、後水洗 30 分とした。使用した透析装置は TR-322 (東レ) である。

3) 各社透析装置内各部位におけるオゾン濃度動態およびオゾン水暴露試験：各社透析装置に対しオゾン水消毒開始後 15 分の供液側、脱気部、密閉系入口、密閉系内部、密閉系出口、排液側(図 1)でのオゾン濃度動態を観察した。また、8 時間のオゾン水暴露試験を各装置およびタンパク付着を認める透析装置に対して行った。検体は 30 分ごとに採取し供液側と排液側のオゾン濃度から評価した。使用した透析装置は TR-322、NCU-11 (ニプロ)、DBB-26 (日機装) の 3 機種である。また、評価した透析装置の中で最もプライミングボリュームが大きい TR-322 と等量のオゾン水をタンクおよびホース内に貯留しオゾン濃度減衰を観察した。

4) 精密濾過膜オゾン水暴露試験：透析液清浄化目的に使用される精密濾過膜に対しオゾン水暴露試験を行った。1 日 1 回 22 日間、精密濾過膜に 8 ppm のオゾン水を通過後、水道水の全濾過を行い濾液中のエンドトキシン濃度を測定した。

使用した精密濾過膜は PEPA 膜 (EF-01)、PS 膜

図1 装置内サンプリングポイント

図2 オゾン水消毒概要

(CF-609), PAN 膜 (PNF-1700) である。

2. 臨床評価

1) 長期臨床評価：長期臨床使用における検討として、オゾン水消毒と次亜塩素酸ナトリウム＋酢酸併用洗浄消毒（併用消毒）との比較を行った。評価期間は6週間で検討項目はオゾン水消毒施行前と1週目、6週目での透析装置内のタンパク付着、透析液エンドトキシン濃度、透析液細菌数、消毒時のオゾン濃度で評価した。消毒時に装置へ供液したオゾン濃度は11.6 ppm、透析装置はTR-322を使用した。オゾン水消毒とはオゾン水消毒のみを行い、併用消毒とは、月曜日に次亜塩素酸ナトリウム消毒と酢酸洗浄を、火曜日から土曜日までをオゾン水消毒とした方法である。オゾン水消毒工程は前水洗、オゾン水消毒、後水洗ともに30分。併用消毒における次亜塩素酸ナトリウム消毒酢酸洗浄工程は前水洗、酸洗浄、中水洗、次亜塩素酸ナトリウム消毒、後水洗ともに30分で行った。サンプリングポイントは供液側、脱気部、密閉系入口、密閉系内部、密閉系出口、排液側の6箇所である。

2) 経済効果：オゾンを用いた消毒法で年間のランニングコストの算出を行った。対象薬剤は、次亜塩素酸ナトリウムとした。

使用機器はオゾン水供給装置としてOZROK-1（ワールドメディカル）、測定装置はOZM-01D（東京科研）を用いた。

オゾン水消毒システムの概要を図2に示す。OZROK-1は酸素からオゾンガスを発生させてRO処理水へ放出し、オゾン水として透析装置に供液する。

オゾン濃度測定方法は容器に100 mLのオゾン水を採取し電解液を0.2 mL程度添加してからOZM-01Dの電極を入れて測定する（図3）。

細菌数の測定は標準寒天培地を用いた混釈培養法を行った。

図3 測定方法

III. 結 果

1-1) オゾン水中へのNaCl、アルブミン添加におけるオゾン濃度変化を図4に示す。NaCl添加ではNaCl 10%の濃度でコントロールに比しオゾン濃度の低下を認めた。アルブミン添加ではすべての濃度でコントロールに比しオゾン濃度の低下を認め、アルブミン濃度0.1%以上の溶液添加でオゾンは検出されなかった。

1-2) 透析装置に対しオゾン水を供液した際の装置内オゾン濃度動態を図5に示す。排液側ではオゾン水供液開始4分後からオゾンは検出され10分以降 5.1 ± 1.2 ppmで推移した。オゾン水消毒後の後水洗工程では水洗開始後、10分以降から排液側でのオゾン濃度は検出限界以下となった。なお、透析装置に供液されたオゾン濃度は30分間、 11 ± 1.1 ppmと安定していた。

1-3) 各透析装置における装置内オゾン濃度動態を図6に示す。オゾン濃度減衰は密閉系出口で最も強く現れた。透析装置間ではTR-322は60%、NCU-11は60%、DBB-26は80%であった。DBB-26の減衰率はTR-322、NCU-11に比し高値を認めた。

8時間のオゾン水暴露試験結果を図7に示す。各装置上記の結果と同様の減衰率で評価時間内推移した。

図4 NaClおよびAlbumin 負荷とオゾン濃度変化

図5 オゾン水消毒中の供給水側および排液側オゾン濃度

同様にタンパク付着の有無による8時間オゾン水暴露試験での、オゾン濃度減衰率はタンパク付着のない透析装置で60%,タンパク付着のある装置で80%を示し時間経過によるオゾン濃度上昇はみられなかった。

TR-322のプライミングボリュームと等量のオゾン水貯留時のオゾン濃度動態を図8に示す。4Lのオゾン水開放,4Lのオゾン水密閉,4Lのオゾン水ホース内流水,いずれの条件下でも,オゾン濃度減衰率は,TR-322通過時の60%に比し18~23%と低値を認めた。

1-4) 精密濾過膜のオゾン水暴露試験の結果を図9に示す。PEPA膜のEF-01とPS膜のCF-609両者ではオゾン水暴露試験後の水道水全濾過実験において膜通過濾液中にエンドトキシン濃度の上昇を認めた。EF-01ではオゾン水暴露試験により実験配管内に中空糸様の物質の流出を認めた。そこでEF-01を直接肉眼的に観察したところ明らかな膜破壊が確認できた。PAN膜のPNF-1700では膜通過後の溶液中エンドトキシン濃度上昇は認めなかった。

図6 各装置内オゾン濃度変化

図7 長時間オゾン暴露試験

図8 TR-322プライミングボリュームと等量のオゾン水濃度変化

2-1) タンパク付着を認めた透析装置の漏血計の写真を図10に示す。下段の併用消毒時の漏血計に比べ上段のオゾン水消毒6週目の漏血計ではタンパク付着が確認された。この同一時期での透析液清浄化に関する細菌数やエンドトキシン濃度はオゾン水消毒と併用消毒時に差はなかった。オゾン水消毒のみを長期間施行した透析装置および併用消毒を施行した装置の装置内水経路のオゾン濃度減衰を図11に示す。オゾン水消毒6週目のタンパク付着を認めたバイパスコネクタ後の密閉系出口部位より下流でオゾン濃度減衰は1週目に比し高値を認めた。併用消毒では1週目と6週目のオ

オゾン消毒6週間後

併用消毒6週間後

図 10 オゾン消毒長期臨床使用における装置内状況, エンドトキシン, 細菌数

図 11 消毒洗浄方法の違いと装置内オゾン濃度

表 2 経済効果

	オゾン水	次亜塩素酸ナトリウム
薬品代	無し	210,000
酢酸	40,000	134,000
酸素	20,000	
上水道	70,000	258,000
下水道	25,000	70,000
装置代	45,000	
計	200,000	672,000

(円/年/台)

次亜塩素酸ナトリウム:

25,000 円/20 L×7 缶 (140 L/月)×12 か月

酢酸: 8,000 円/20 L×1.4 缶 (27 L/月)×12 か月

装置代 (5 年リース): {15,000 円/月×12 か月}÷4 台 (※)

※: GZROK-1 オゾン水供給能力は透析装置 4 台分

ゾン濃度減衰に差は認めなかった。

2-2) 年間ランニングコストの試算結果を表2に示す。次亜塩素酸ナトリウム使用時と比べ薬品代で83%，上下水道代で71%のコストダウン，あわせて年間70%のコストが節約できることが試算された。

IV. 考 察

血液透析施設は，他の医療施設と異なり大量の透析液，消毒・洗浄剤を排出し地球環境にダメージを与えている可能性は否定できない。これは，日々血液透析療法に携わっているわれわれスタッフにとって無視できない問題である。それゆえ，環境汚染を考慮した消毒剤や消毒法の開発が試みられている。そこでわれわれは，消毒効果発現後速やかに分解し環境への影響が少ないとされるオゾンを用い血液透析装置の消毒を施行し，オゾンの有用性を評価した。反応性の速いオゾンを用いて透析装置の消毒を行う場合，消毒効果発現部位でのオゾン濃度をいかに維持できるかを考慮しなければならない。また，装置内で消毒効果を発揮するためには，使用するオゾン濃度をいかに設定するかが重要となる。そのためにも装置内でのオゾン濃度動態の推移，すなわち装置配管内のブライミングボリュームや材料，装置配管内に残留されうる電解質や有機物を観察する必要がある。そこでわれわれはオゾン濃度の減衰動態に対する基礎的検討を行った。

添加試験の結果より電解質やタンパク質の存在でオゾンは減衰することが確認できた。そのため，オゾンの効果を十分に発揮させるためには透析装置の前水洗を十分に行う必要がある。透析装置配管内に有機物等の反応促進物質がない場合においてオゾン濃度は50～60%の減衰を認めた。その減衰率は透析装置間で異なり，特にDBB-26で減衰が大きいのは複式ポンプ等による圧力損失が他の2機種に比べ大きいと推測される。透析装置と等量の各減衰実験結果を合わせて考えると，透析装置内の減衰はバッチ式の基礎実験と異なり単に自然崩壊のみに起因せず透析装置内に残留する有機物の存在や圧力変化，空気に接触する構造体，などが影響していると考えられる。オゾン水消毒を効率的に行うには透析装置の機構，設計変更を行う必要がある。

一方，タンパク付着を認めた装置に対して8時間という長時間のオゾン暴露において，排液側のオゾン濃度の上昇もなく，透析装置内のタンパクも除去できなかった。添加試験やタンパク付着時の減衰試験から考えると，オゾンは有機物に対し極めて激しい減衰を示

すことがわかる。タンパク付着を想定した供液オゾン濃度および消毒時間を思案しなければならない。

透析液清浄化を目的として使用される精密濾過膜に対する暴露試験で大幅なオゾン濃度減衰と膜破壊を認めた。このことからオゾン水消毒を用いる場合，今回膜破壊を認めた精密濾過膜の使用は禁忌となる。今後はさまざまな膜種に対して同様の評価を行い使用可能な膜を明確にしなければならない。

臨床使用においてオゾン水単体の消毒でも通常の消毒方法と比較してエンドトキシン濃度，細菌数に差がみられなかった。しかし，オゾン水単体の消毒法では使用6週目でタンパク付着を確認したが週1回の次亜塩素酸ナトリウムと酢酸洗浄消毒を併用することで装置内にタンパク付着を認めず良好な結果が得られた。

ランニングコストの試算においてオゾン消毒は年間約7割の費用が削減でき，従来の次亜塩素酸ナトリウム消毒より経済的に優れていることを確認した。

今回，われわれの行ったオゾン水消毒のモデルにおいて，オゾン水単体の消毒では除タンパクの面で限界を感じる結果となった。しかし，オゾンの問題点，減衰傾向の認知，さらに次亜塩素酸ナトリウムの使用量削減，低コスト化の可能性を示唆できたことは十分な収穫といえる。今後もオゾン水流入時間の延長，装置内の圧力変化を少なくするなどの構造変更によるオゾン減衰防止，除タンパク剤や他の薬剤との併用などを検討する必要がある。オゾンを経験分野に応用することは透析排水による環境破壊を防止する一手段となり得る方法であると考えられる。

結 語

血液透析装置の消毒剤としてオゾンを用いる場合，いくつかの条件下でオゾン濃度の減衰，すなわち消毒効果が低下することが確認できた。しかし，透析装置の機構，設計の変更や他の消毒剤との組み合わせ，洗浄・消毒工程時間の変更などにより解決可能と考えられる。

地球環境汚染や，経済性などをふまえて考慮するとオゾンを用いた血液透析装置の消毒は有用と考えられた。

文献

- 1) 星野敏久：3. 透析装置の消毒方法. 透析療法, p 24-25, 中外医学社, 東京, 1997
- 2) 峰島三千男：ダイアライザにおける内部濾過発生のメカニズム. 臨床透析 18：7-12, 2002

- 3) 阿部 薫, 椎名 充, 星野正信, 山本明広, 芝本 隆, 秋葉 隆：水道水に含まれるエンドトキシン, ペータグルカンのハイフラックス膜通過の評価. 透析会誌 31：1273-1278, 1998
- 4) 大貫順一：滅菌・消毒・洗浄剤の使用後廃棄における問題. クリニカルエンジニアリング 9：1105-1115, 1998
- 5) 中澤了一：医療廃棄物としての滅菌・消毒・洗浄剤. クリニカルエンジニアリング 13：1128-1133, 2002
- 6) 三浦 明, 新井浩之, 鈴木利昭：透析ラインの洗浄化と問題点. 透析会誌 33：255-258, 2000
- 7) 星野敏久, 海老沢秀夫, 金子岩和, 峰島三千男, 佐中孜, 阿岸鉄三, 太田和夫：透析装置の消毒方法と透析液の清浄化対策. クリニカルエンジニアリング 8：420-426, 1997
- 8) 出口富雄：オゾンで水がよみがえる. ① クリーンな気体オゾンとは, 1993, 東洋経済新報社
- 9) 都田昌之：第2章機能水の分類, オゾン溶解水. p 41-44, 工業調査会, 東京, 2002
- 10) 赤堀幸男, 村上篤司, 星 昭二：オゾンの殺菌効果と院内感染予防への応用. 日集中医誌 7：3-11, 2000
- 11) 伊藤泰郎：耐オゾン性材料, オゾンの不思議. p 57, 講談社, 東京, 1999
- 12) 杉光英俊：7. 3. 1 作業環境許容濃度, オゾンの基礎と応用. p 177-179, 光琳, 東京, 1996
- 13) 杉光英俊：第9章オゾンの応用例, オゾンの基礎と応用. p 213-238, 光琳, 東京, 1996