

浸透圧計を用いた透析液関連液測定について

五仁会 元町HDクリニック 臨床検査部¹⁾、同 臨床工学部²⁾、同 内科³⁾
○清水 康(しみず やすし)¹⁾、田中和弘¹⁾、小松祐子¹⁾、森上辰哉²⁾、
阪口剛至²⁾、大槻英展²⁾、吉本秀之²⁾、田淵篤嗣²⁾、申 曾洙³⁾

【目的】

浸透圧計は、従来から測定原理として多くの機器が氷点降下法を用いているため、原理差による測定値のずれが少なく、ほとんどのメーカーが塩化ナトリウム水溶液を標準物質としていることよりメーカー間差、機種間差も少ない。また測定可能な範囲が広いため、透析液関連液すべての測定が可能であり、測定値の再現性も高いという特徴を有している。しかし透析液に溶解している個々の溶質濃度を知ることはできない。

現在、多くの透析施設では透析液浸透圧測定がおこなわれている。しかし、浸透圧はその溶液に溶解している物質の総モル濃度（量）ではなく、浸透圧活性で表されている（溶液中の総モル濃度＝理論浸透圧値≠浸透圧実測値）。この浸透圧活性は、溶質の解離度と浸透活量係数に比例する。さらに、希薄溶液では 100%の電離を想定できる強電解質の塩化ナトリウムを標準物質としているが、その濃度により電離度が変化することとイオンの会合などの影響を受けることをあらかじめ考慮して、測定値が表示されるよう校正が行われている。これは、生理的な濃度に近い塩化ナトリウム 0.9w/v%の生理食塩液（理論値 308mOsm/kg）実測値がおよそ 286mOsm/kg となることでも理解できる。

今回われわれは、透析液関連液の濃度を管理するにあたり、各種の透析液関連液のナトリウム（Na）濃度と浸透圧を測定し、浸透圧計の精度と有用性について検討したので報告する。

【方法】

浸透圧計はアークレイ社製 OM-6060（以下 6060）、Na 測定は A&T 社製 PVA-EXII（以下 PVA）を用いた。

測定原理は、浸透圧計 6060 は氷点降下法、電解質測定装置 PVA はイオン選択電極を用いた希釈電位差法である。

1) 浸透圧計の精度確認として、理論値に調整した AF-2 号、AF-3 号と生理食塩液の測定による正確性、精密度として AF-2 号、AF-3 号、カーボスター(CS)、生理食塩液、希釈 B 液を使用した同時再現性（n=10）を実施した。

2) 透析液の原材料成分である各種化合物（塩化ナトリウム、炭酸水素ナトリウム、塩化カルシウム、酢酸ナトリウム）を用い、それらの水溶液ならびに希釈系列液を作製し、Na と浸透圧を測定し、各化合物における溶液中の総モル濃度と浸透圧活性の関係を調べた。

3) 50.0mmol/L 炭酸水素ナトリウム水溶液の希釈系列液（20.0～50.0mmol/L）の Na 濃度と浸透圧を測定し、希釈 B 液濃度付近の浸透圧値と Na 濃度の関係、さらにその結果より予測される完成透析液に占める B 液由来の Na 濃度と重炭酸濃度を求めた

4) A原液および B 原液の希釈誤差による測定値の変動、またそれら単一製剤の溶解液の浸透圧値と Na 濃度の関係検討のために AF-3 号の A 液、CS の A 液、バイフィル S および B 液の実濃度付近の希釈系列液を作製し、Na と浸透圧を測定した。

5) さらに、浸透圧計のみで完成透析液の A・B 液混合バランスの確認を試みた。

【結果および考察】

1-1) 6060 の正確性の確認

理論値に調整した AF-2 号、AF-3 号と生理食塩液の浸透圧値は、ほぼ期待値どおりの値が得られ、正確性が確認された (表 1)。

1-2) 6060 の精密性の確認

10 回連続の同時再現性において、全ての試料で浸透圧値は CV0.2%以内となり、非常に安定していた (表 1)。

表 1. 浸透圧計の透析液関連液測定における精度

	AF-3	CS	希釈B液	生食	扶桑薬品基準液	
					期待値	期待値
					275±1	277±1
1	281	278	66	285	275	277
2	281	278	66	286	276	277
3	282	278	66	286	276	278
4	282	278	66	286	275	277
5	281	278	66	286	276	278
6	282	279	66	286	276	278
7	282	279	66	286	275	277
8	282	279	66	287	276	277
9	281	279	66	286	275	277
10	282	279	66	287	275	278
平均	281.6	278.5	66	286.1	275.5	277.4
SD	0.5	0.5	0.0	0.6	0.5	0.5
CV(%)	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2

2) 透析液の原材料成分である各種化合物の水溶液の希釈系列液測定結果を表 2 に示す。

塩化ナトリウム、炭酸水素ナトリウム、塩化カルシウム、酢酸ナトリウムは溶液中の総モル濃度が同じでも異なる浸透圧活性値を示した。このことは、化合物により解離度が異なることを意味している。また溶液が希薄になるに伴い、解離度の上昇が見られ、これは希釈 B 液など完成透析液より濃度が低い (薄い) 溶液の浸透圧測定には問題になる可能性が示唆された。

表2. 各種化合物の浸透圧活性値(解離度)

150mmol/L塩化ナトリウムの希釈系列				100.0mmol/L塩化カルシウムの希釈系列			
ナトリウム濃度	PVA	浸透圧	計算した解離度	理論値	6060	推定値	計算した解離度
15	14.0	29.0	0.967	30	27	27.9	0.900
30	29.1	57.0	0.950	60	54	55.7	0.900
45	44.2	85.0	0.944	90	79	83.6	0.878
60	59.3	113.0	0.942	120	104	111.4	0.867
75	73.6	140.5	0.937	150	129	139.3	0.860
90	88.3	168.0	0.933	180	155	167.1	0.861
105	102.9	195.0	0.929	210	181	195.0	0.862
120	118.1	224.0	0.933	240	206	222.9	0.858
135	133.5	252.0	0.933	270	231	250.7	0.856
150	148.4	279.0	0.930	300	259	278.6	0.863

150mmol/L炭酸水素ナトリウムの希釈系列				100.0mmol/L酢酸ナトリウムの希釈系列			
ナトリウム濃度	PVA	浸透圧	計算した解離度	理論値	6060	推定値	計算した解離度
15	14.6	29.0	0.967	20	20	18.6	1.000
30	29.5	57.0	0.950	40	39	37.1	0.975
45	44.5	84.5	0.939	60	58	55.7	0.967
60	59.0	111.0	0.925	80	77	74.3	0.963
75	73.6	138.0	0.920	100	96	92.9	0.960
90	88.1	163.0	0.906	120	115	111.4	0.958
105	102.3	189.0	0.900	140	133	130.0	0.950
120	116.5	215.0	0.896	160	153	148.6	0.956
135	131.6	240.5	0.891	180	171	167.1	0.950
150	146.3	267.0	0.890	200	192	185.7	0.960

3) 50.0mmol/L 炭酸水素ナトリウム水溶液の希釈系列液の Na と浸透圧測定結果を表 3 に示す。

希釈 B 液は完成透析液よりも Na 濃度および総モル濃度が低く、2) の結果より解離度が完成透析液と比較し高値となることが予想される。

炭酸水素ナトリウム水溶液は、希釈系列の理論値より解離度を求めるか、PVA での実測 Na 値より解離度を求めるかにより若干差が生じているが、20~50mmol/L では 0.93~0.95 程度であり、25~35 mmol/L では生理食塩液の解離度 0.929 より高く、0.94 位が妥当であると考えられた。

この解離度を基に、浸透圧値より希釈 B 液中の Na 濃度および重炭酸濃度、さらにはその希釈 B 液が完成透析液となった際に占める B 液由来の Na 濃度および重炭酸濃度を予測することが可能であり、作製した換算表を表 4 に示す。

表3. 炭酸水素Na水溶液(20-50mmol/L)のNaと浸透圧

理論Na	PVA	6060	0.9286		
	Na	osm	理論osm	推定osm	解離度
20.0	19.8	38.0	40.0	37.1	0.950
25.0	24.7	47.0	50.0	46.4	0.940
30.0	29.8	56.0	60.0	55.7	0.933
35.0	34.9	66.0	70.0	65.0	0.943
40.0	39.8	75.0	80.0	74.3	0.938
45.0	44.8	84.0	90.0	83.6	0.933
50.0	50.1	93.0	100.0	92.9	0.930
生食	154.0	154.7	286.0	286.0	0.929

osm:浸透圧値

表4. 希釈B液 (B:水=1:26) の浸透圧測定値よりNa(HCO₃) 濃度換算

さらに完成透析液中に占めるB液由来のNa(HCO₃) 濃度も換算

換 算 値 表					
解離度0.94として			解離度0.94として		
B液 Osm	希釈B液中 Na(HCO ₃)	完成透析液中 Na(HCO ₃)	B液 Osm	希釈B液中 Na(HCO ₃)	完成透析液中 Na(HCO ₃)
40	21.3	20.7	61	32.4	31.5
41	21.8	21.2	62	33.0	32.0
42	22.3	21.7	63	33.5	32.6
43	22.9	22.2	64	34.0	33.1
44	23.4	22.7	65	34.6	33.6
45	23.9	23.3	66	35.1	34.1
46	24.5	23.8	67	35.6	34.6
47	25.0	24.3	68	36.2	35.1
48	25.5	24.8	69	36.7	35.7
49	26.1	25.3	70	37.2	36.2
50	26.6	25.8	71	37.8	36.7
51	27.1	26.4	72	38.3	37.2
52	27.7	26.9	73	38.8	37.7
53	28.2	27.4	74	39.4	38.2
54	28.7	27.9	75	39.9	38.8
55	29.3	28.4	76	40.4	39.3
56	29.8	28.9	77	41.0	39.8
57	30.3	29.5	78	41.5	40.3
58	30.9	30.0	79	42.0	40.8
59	31.4	30.5	80	42.6	41.3
60	31.9	31.0	81	43.1	41.9

4) AF-3 号の A 液、CS の A 液、バイフィル S および B 液の実濃度付近の希釈系列液の Na と浸透圧測定結果を表 5 に示す。

4-1) 各原液の希釈誤差の検出感度

希釈 A 液とバイフィル S は溶媒の割合を 1 変化させる事で Na が 3~4mEq/L、浸透圧は 6~8mOsm、希釈 B 液は Na が 1~2 mEq/L、浸透圧は 2~3 mOsm 変化しており、希釈誤差の検出には Na の有効桁数を整数とした場合、浸透圧値の変化の方がより大きく、感度が高いと考えられた。

4-2) 単一製剤の溶解液の浸透圧値と Na 濃度の関係

Na 濃度については理論値と PVA の測定値はほぼ一致していた。このことは PVA の透析液関連液測定の正確性を裏付ける結果である。

次に、実測浸透圧値より Na 濃度を予測するにあたり、希釈 A 液は生理食塩液の解離度 0.929 を用いた演算式を使用し、希釈 B 液については先に求めた解離度 0.94 を用いてそれぞれ Na 濃度を求めたところ、実測 Na 濃度とほぼ一致しており、希釈 A 液の浸透圧値から Na 濃度を推定する際には、生理食塩液の解離度 0.929 を用いることが可能であった。

A 剤、B 剤はそれぞれ単一製剤なのでそれらの溶解液では、浸透圧値と Na 値は比例関係にあることは言うまでもなく、希釈 A 液においても浸透圧値より Na 濃度が求められることが理解できる。

これらのことより、各種透析液の浸透圧値より Na 濃度への換算表を作製した (表 6)。

表5. 透析液関連液の希釈系列液のNaと浸透圧値

浸透圧値から演算したNa値とその妥当性

カーポスターA液の希釈系列 0.929						バイフィリスの希釈系列 0.929					
		ナトリウム濃度			浸透圧			ナトリウム濃度			浸透圧
A	水	理論値	PVA実測	6060演算	6060実測	BFS	水	理論値	PVA実測	6060演算	6060実測
1	31	114.9	115.4	115.1	233	1	31	152.4	152.8	152.7	300
1	32	111.4	111.8	112.1	227	1	32	147.8	148.6	148.2	291
1	33	108.1	109.3	109.1	221	1	33	143.4	144.8	144.1	283
1	34	105.0	105.6	105.2	213	1	34	139.3	140.1	140.0	275
1	35	102.1	102.1	101.7	206	1	35	135.5	136.3	135.9	267
1	36	99.3	100.1	99.8	202	1	36	131.8	132.4	132.4	260
1	37	96.7	96.9	97.3	197	1	37	128.3	129.1	129.3	254

AF3-A液の希釈系列 0.929						B液の希釈系列 0.940					
		ナトリウム濃度			浸透圧			ナトリウム濃度			浸透圧
A	水	理論値	PVA実測	6060演算	6060実測	B	水	理論値	PVA実測	6060演算	6060実測
1	31	125.8	125.5	126.0	254	1	23	40.5	40.2	39.9	75.0
1	32	122.0	121.7	122.5	247	1	24	38.9	38.8	38.3	72.0
1	33	118.4	118.7	119.1	240	1	25	37.4	37.1	36.7	69.0
1	34	115.0	115.6	116.1	234	1	26	36.0	35.8	35.6	67.0
1	35	111.8	112.1	112.6	227	1	27	34.7	34.3	34.0	64.0
1	36	108.8	109.5	109.6	221	1	28	33.5	33.2	33.2	62.5
1	37	106.0	106.0	106.7	215	1	29	32.4	32.1	31.9	60.0

表6. 希釈A液 (A:水=1:34) の浸透圧測定値よりNa濃度換算

AF-2		AF-3		カーポスター	
測定された osm	予測される希釈AのNa	測定された osm	予測される希釈AのNa	測定された osm	予測される希釈AのNa
210	104.7	220	109.1	205	101.3
211	105.2	221	109.6	206	101.7
212	105.7	222	110.1	207	102.2
213	106.2	223	110.6	208	102.7
214	106.7	224	111.1	209	103.2
215	107.2	225	111.6	210	103.7
216	107.7	226	112.1	211	104.2
217	108.2	227	112.6	212	104.7
218	108.7	228	113.1	213	105.2
219	109.2	229	113.6	214	105.7
220	109.7	230	114.1	215	106.2
221	110.2	231	114.6	216	106.7
222	110.7	232	115.1	217	107.2
223	111.2	233	115.6	218	107.7
224	111.7	234	116.1	219	108.2
225	112.2	235	116.6	220	108.7
226	112.7	236	117.1	221	109.2
227	113.2	237	117.6	222	109.6
228	113.7	238	118.1	223	110.1
229	114.2	239	118.6	224	110.6
230	114.7	240	119.1	225	111.1

5) 浸透圧計のみでの完成透析液の A・B 液混合バランスの確認

3) および 4) の結果より、透析液供給装置における採取部位による混合バランス評価として、完成透析液と希釈 A 液もしくは希釈 B 液の 2ヶ所の浸透圧値より、希釈 A 液と完成透析液の Na 濃度、希釈 B 液と完成透析液中の B 液由来の Na および重炭酸濃度を求めることが可能であり、表 7 に CS をモデルとしたシミュレーションを示す。

表7. 透析液供給装置における採取部位による混合評価

カーボスター の場合		浸透圧計のみでNa濃度を予測する			
		希釈A液 既知		B液濃度 未知	完成透析液 既知
Na		105	+	$(140-105)=35$	= 140
浸透圧		213 (105.2)	+	$278-213=65$ $(65/0.94)/2=34.6$	= 278 (139.8)
		希釈B液と完成透析液が採取可能			
		希釈A液 未知		希釈B液 既知	完成透析液 既知
Na		$140-35=105$	+	36 $36 \times (34/35)=35.0$	= 140
浸透圧		$278-66=212$ (104.7)	+	68 $68 \times (34/35)=66$ 35.1	= 278 (139.8)

【まとめ】

浸透圧計 OM-6060 を用いた透析液関連液の浸透圧測定は、液種を選ばず精度よく測定でき、透析液管理には十分威力を発揮すると考えられる。

しかし、電解質測定とは異なり、個々の溶質濃度については不明である点を十分理解しておく必要がある。

但し、単一製剤の希釈液（希釈A液・希釈B液）であれば、浸透圧値より Na 値および重炭酸濃度を予測する事は可能である。

さらに希釈A液・希釈B液・完成透析液のうち、完成透析液ともう1ヶ所で採液可能であれば、すべてのNa濃度を知ることができ、混合バランスの精度が確認できる。

【文献】

- 1) 野本昭三：浸透圧測定. 臨床検査法提要改訂第 31 版（金井正光 編），6-8，金原出版，東京，1998
- 2) アークレイマーケティング株式会社学術センター：自動浸透圧測定装置 Q&A 第 3 版. アークレイ株式会社，京都，2007
- 3) Keith J. Laidler：電解質溶液. レイドラー化学の基本（渡辺啓 訳），225-258，廣川書店，東京，1971