

수액 요법: 수액의 종류와 특성

배 선준 · 이종화 · 이기영* | 연세대학교 의과대학 마취통증의학교실

Fluid therapy: classification and characteristics of intravenous fluids

Sun Joon Bai, MD · Jong Wha Lee, MD · Ki-Young Lee, MD*

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

* Corresponding author: Ki-Young Lee, E-mail: kylee504@yuhs.ac

Received October 18, 2010 Accepted November 3, 2010

Abstract

Fluid and electrolyte therapies including nutritional support are markedly developing in medicine and many kinds of commercial fluids are being introduced to clinical practice. Understanding the characteristics and usefulness of intravenous fluids is necessary to manage patients properly. Disputes about the usefulness of crystalloid or colloid solutions for specific clinical conditions still continue. To make ideal fluid therapy possible, many kinds of fluids will be developed and applied to clinical practice in the near future by mimicking the composition and functions of human body fluids. The selection of crystalloid and colloid solutions for fluid therapy should be performed by considering patients' clinical and pathophysiological conditions and the characteristics and usefulness of each intravenous fluid.

Keywords: Fluid therapy; Intravenous fluid; Crystalloid solution; Colloid solution

서 론

정맥투여용 수액은 제2의 혈액이라고도 할 수 있을 정도로 환자에게 중요한 물질이며, 약물투여 시 약물의 운송수단이 되기도 한다. 따라서 의사는 각 수액의 종류와 특성 그리고 투여 방법을 정확히 인식해서 임상에 활용해야 한다. 또한 수액백과 수액세트의 line은 환자의 신체 밖에 나와 있는 혈관에 배치될 수 있을 정도로 중요하다. 따라서 수액 자체와 수액세트 그리고 혈관삽입 카테터 등의 철저한

관리를 통해 이로 인해 발생할 수 있는 감염 및 부적절한 투여로 인한 합병증을 예방하는데 만전을 기해야 한다.

현재 우리나라의 의료는 여러 면에서 비약적으로 발전하고 있는 상태이지만, 수액에 있어서는 보험급여의 제한을 크게 받아 일부 품목의 보편적 적용에 있어서는 미국 등 의료선진국에 비해 10년 이상 뒤늦게 임상에 도입되는 현상이 벌어지고 있다. 부당한 제한을 받지 않고 의사의 판단 하에 환자에게 가장 적절한 수액제제를 소신껏 투여할 수 있는 보험 여건이 하루라도 빨리 확립되기를 기대한다.

**Table 1.** Calculations of fluid requirements by 4-2-1 rule^{a)}

Body weight (kg)	Fluid rate (mL/kg)	Weight category (kg)	Fluid (mL/hr)
0-10	4	10	40
11-20	2	10	20
>21	1	5	5
Total		25	
		65	

^{a)} Assumes a patient weighing 25 kg, resulting in an estimated fluid requirement of 65 mL/hr.

정맥투여용 수액 발전의 기본 방향은 용적 치료(volume therapy)의 효율성, 전해질 및 pH에서 혈액과의 유사성 추구, 그리고 적절한 에너지 및 효과적인 완충 물질의 공급 등으로 요약된다. 또한, 최근의 수액제제 동향을 보면 혈장과 유사한 전해질을 포함하는 이른바 제4세대 교질용액의 발전이 눈에 띈다.

수분, 전해질 및 에너지 소요량

일반적으로 신생아 및 소아는 성인에 비하여 전해질 조절 능력이 미숙하므로 전해질 보충에 주의를 요하며, 수액 100 mL당 약 나트륨(Na^+) 2.5 mEq, 칼륨(K^+) 2-2.5 mEq, 염소(Cl^-) 5.0 mEq, glucose 25 g을 투여한다. 여기서는 주로 70 kg의 성인을 기준으로 한 1일 소요량을 설명하고자 한다.

1. 수분 소요량

1일 수분 소요량은 약 30 mL/kg 체중으로서 70 kg의 성인에서는 하루에 약 2,000 mL가 필요하다(Table 1). 체온이 오르면 발한으로 수분소요량이 증가하여 체온이 1°C 오를 때마다 수분 소요량이 15% 정도 증가한다.

2. 전해질 소요량

나트륨 요구량은 나이에 따라 다양한데 신생아의 나트륨 요구량은 2-3 mEq/kg/day이지만, 성인의 나트륨 요구량은 1-2 mEq/kg/day로 감소한다. 발열과 발한이 있으면 나트륨은 수분과 함께 더욱 많은 양이 필요하다. 발한량은 대략 0-100 mL/hr인데, 환자 체온이 38.3°C 이상이거나 실내 온도가 32°C 이상일 때는 상당량의 발한이 있으므로 이를 고려하여 투여량을 증가시켜야 한다.

칼륨 요구량도 나이와 성장에 따라 다양해서 보통 만삭으로 태어난 신생아는 하루 2-3 mEq/kg, 어른은 하루 1-1.5 mEq/kg이 필요하다. 또한, 칼륨 요구량은 대사율과 관련이 있어서(2 mEq/100 kcal) 금식 후 영양섭취 시 세포 성장과 함께 급격히 상승한다. 마그네슘(Mg^{++})은 70 kg의 성인에서 하루에 8-20 mEq (1-3 g MgSO_4)가 필요하다.

3. 에너지 소요량

70 kg 성인 남자는 금식 상태에서 대략 하루에 80 g의 신체 단백질을 소모한다. 이 사람의 단백질 소모를 막기 위해서는 비경구적으로 열량 공급원을 주입해주어야 하는데, 하루에 투여해주어야 하는 열량이 약 500 kcal 정도이다. 1 g의 포도당은 3.4 kcal의 열량을 발생시키므로 이것은 1,500 mL의 10% 포도당 용액 혹은 5% 포도당 용액 3,000 mL 투여에 해당한다.

수액의 종류 및 특성

정맥투여용 수액은 크게 정질(crystalloid)용액과 교질(colloid)용액으로 구분된다. 정질과 교질의 구분은 1861년 Thomas Graham에 의하여 막으로 구분되는 두 구획간의 투과 여부에 따라 최초로 구별되었다. 정질은 혈관과 같은 생체막을 쉽게 투과하는 반면, 교질은 투과하지 못한다. 정맥주사용 수액도 혈관 내 체액구획에서 혈관 외(간질) 체액구획으로 이동하는 성질에 따라 이와 비슷하게 분류된다. 다만, 교질용액 성분 중 일부만의 혈관 투과성에 대하여는 논란이 있다. 여기서는 일반적인 정질용액 및 교질용액의 특성을 비교하고 각각의 분류에 속하는 수액들의 특성을 비교하고자 한다. 순수 포도당 용액은 염화나트륨(NaCl)을 포함하지 않기 때문에 정질용액으로 분류하지 않는 경우도 있으나 여기서는 포도당의 혈관 투과성 관점에서 정질용액에 포함시켜서 기술하고자 한다.

1. 정질용액

정질용액은 혈관 외 공간으로 자유로이 확산될 수 있는

Table 2. Comparison of plasma and crystalloid infusion fluids

Fluid	mEq/L						Osmolality (mOsm/L)	
	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Buffers		
Plasma	140	103	4	5	2	Bicarbonate (25)	7.4	290
0.9% NaCl	154	154	-	-	-	-	5.7	308
Lactated Ringer's	130	109	4	3	-	Lactate (28)	6.4	273
Normosol Plasma-Lyte } Isolyte ^{a)}	140	98	5	-	3	Acetate (27) Gluconate (23)	7.4	295

^{a)} Isolyte also contains phosphate (1 mEq/L).

작은 분자들로 이루어진 전해질 용액이다. 정질용액은 대개 기본적으로 염화나트륨을 포함한다. 나트륨은 세포외액에 주로 함유되어 있는 용질로서 세포외액 전체에 고루 분포하며 부위에 관계없이 유사한 농도로 존재한다. 세포외액 중 75~80%가 혈관외액 즉, 조직간액으로 구성되어 있으므로 정질용액의 투여시 75~80% 정도는 혈관을 빠져나와 조직간액으로 분포하게 된다. 정맥 내로 투여된 나트륨도 같은 비율로 분포되므로, 투여된 염화나트륨 용액(생리식염수)의 75~80%는 조직간액으로 이동하여 분포하게 된다. 결국 정질용액의 투여 시 주요한 효과는 혈장량의 증가보다는 조직간액의 증가이다. 따라서 경한 출혈 시에는 조직간액이 혈관내로 들어오게 되므로 정질용액의 투여는 부족한 조직간액을 보충하며 동시에 혈관내 용적의 증가 효과를 거둘 수 있다.

0.9% 염화나트륨 용액(등장성 식염수)의 경우 1 L 투여 후 혈장량은 275 mL, 조직간액은 875 mL가 증가하며, 전체적으로 1,100 mL의 용적효과를 나타낸다[1]. 여기서 초과된 100 mL의 용적은 세포 내에서 세포 외 공간으로 체액의 이동이 발생한 것이며, 이것은 0.9% 염화나트륨 용액이 세포외액에 비해 약간 삼투압이 높기(고장성) 때문에 생기는 현상이다. Table 2에 혈장과 여러 정질용액의 성분 및 특성이 비교되어 있다.

(1) 등장성 식염수

0.9% 염화나트륨 용액을 등장성 식염수(isotonic saline) 또는 생리식염수(normal saline)라고 하는데, 0.9% 염화나트륨 용액에는 염화나트륨이 리터당 9 g밖에 들어있지

않기 때문에 엄격한 의미에서 생리식염수라는 말은 부적절하다. 1 노르말(N) 농도의 염화나트륨 용액 1 L은 염화나트륨 58 g을 포함하기 때문이다.

Table 2에 기술된 바와 같이 등장성 식염수에서 나트륨의 함량은 혈장보다 높고(154 대 140 mEq/mL), 염소의 함량도 혈장보다 더 높다(154 대 103 mEq/mL). 또한, pH는 혈장보다 더 낮고(5.7 대 7.4), 몰랄 삼투압 농도(osmolality)는 약간 높다(308 대 290 mOsm/L).

많은 양의 등장성 식염수를 투여할 경우 대사성 산증을 일으킬 수 있는데, 수술 중에 30 mL/kg/min의 속도로 정주하면 2시간 내에 혈액의 pH가 7.41에서 7.28까지 떨어지게 된다[2]. 이를 고염소혈증성 산증(hyperchloremic acidosis)이라고 하며 등장성 식염수의 염소 농도(154 mEq/mL)가 혈장의 염소 농도(103 mEq/mL)보다 높기 때문에 일어난다. 보통 긴 수술이나 대량 출혈의 경우와 같이 아주 많은 양의 등장성 식염수를 투여하는 경우에 나타나며, 대부분 후유증은 나타나지 않는다[3]. 임상에서 고염소혈증성 산증은 조직 허혈의 대표적인 지표인 젖산성 산증(lactic acidosis)과 감별하는 것이 필요하다.

(2) 젖산화 링거 용액(Lactated Ringer's solution)

심장의 수축을 연구하던 영국 의사인 시드니 링거는 분리된 개구리 심장의 수축을 촉진시키기 위해 1880년에 염화나트륨 용액에 칼슘과 칼륨을 포함하는 용액을 최초로 만들었는데, 이것을 링거 용액 또는 균형 전해질 용액(balanced electrolyte solution)이라고 한다[4]. 이 링거 용액은 점차 정맥주사용 수액으로서 널리 사용되었는데, 1930년대에 미국의 소아과 의사인 알렉시스 하트만은 이 용액에 완충제인 젖산(lactate) 28 mEq/L를 첨가해서 대사성 산증의 예방과 치료를 위한 수액으로 사용할 것을 제안하였다. 그래서 링거 용액에 젖산을 첨가한 용액 즉, 젖산화 링거 용액은 하트만 용액으로 불리게 되었고, 이전의 링거 용액의 자리를 대신하여 일상적인 정맥주사용 수액으로서 널리 쓰이게 되었다. 젖산화 링거 용액의 구성은 Table 2와 같다.



젖산화 링거 용액의 칼륨 및 칼슘이온 농도는 혈장의 칼륨 및 칼슘이온 농도와 비슷하다. 양이온(칼륨 및 칼슘이온)이 첨가된 만큼 전기적 중성을 유지하기 위해 필요한 같은 양이온 인 나트륨이온의 요구량이 감소되어 젖산화 링거 용액은 등장 성 식염수나 혈장보다 나트륨이온의 농도가 낮다(Table 2). 마찬가지로 젖산(28 mEq/L)을 첨가함으로써 음이온인 염소 이온의 농도를 감소시켜 결과적으로 젖산화 링거 용액의 염소 이온 농도(109 mEq/L)는 혈장(103 mEq/L)과 비슷하게 되었으며, 이로 인해 대량으로 투여할 때에도 고염소혈증성 산증의 발생이 감소하게 되었다.

용액 내에 함유된 칼슘이온은 몇몇 약물들과 결합해서 그 효과를 감소시킬 수 있는데, 이러한 약물들로는 아미노카프로산(aminocaproic acid), 암포테리신(amphotericin), 앰피실린(ampicillin), 티오펜탈(thiopental) 등이 있다[4]. 또한, 링거 용액에 포함된 칼슘은 혈액 제제에 들어있는 항응고 성분인 구연산과 결합함으로써 항응고 작용이 비활성화되어 수혈 중에 혈전이 생길 수 있다. 이러한 이유로 인해 적혈구 놓축액을 희석하는데 젖산화 링거 용액을 사용해서는 안된다[5].

(3) 정상 pH를 가지는 정질용액

아세트산염(acetate) 및 글루콘산염(gluconate) 완충제를 함유하여 완충능력이 향상된 제제들로서 pH가 7.4로 혈장과 가장 유사하다. 이러한 용액은 제조사를 기준으로 세 가지의 용액이 있는데, Normosol (Abbott Labs, Chicago, IL, USA), Isolyte (B. Braun Medical, Melsungen, Germany) 그리고 Plasma-Lyte (Baxter Healthcare, Deerfield, IL, USA)가 이에 해당된다(Table 2). 국내에서는 Plasmasolution A (CJ Pharma., Seoul, Korea)가 출시되어 있다. 이들은 모두 칼륨(5 mEq/L), 마그네슘이온(3 mEq/L)을 함유하고 있으며, Isolyte만 인산염(1 mEq/L)을 함유하고 있다.

특징적으로 칼슘이온 대신에 마그네슘이온이 함유되어 있어 칼슘이온에 의한 혈관 수축의 예방 및 “no-reflow” 현상을 방지할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 마그네슘이온의 함유는 이것이 부족한 환자에게는 유용하나 신기능이 감소된 환자에서는 고마그네슘이온증(hypermagnesemia)을

유발할 수 있다는 단점을 가진다. 또한 마그네슘이온의 혈관 이완 효과로 인하여 저혈량증 환자에서 보상적인 혈압 증가 효과가 감소하게 된다.

국내에서 이들 용액들은 비용적인 문제로 인해 용적 치료나 소생술에 일상적으로 흔히 쓰이지는 않으나, 적혈구 놓축액을 희석하여 투여하거나 세척할 때 식염수보다 선호된다[6].

(4) 포도당 용액

포도당은 중요한 에너지원이며, 인슐린은 세포 내로 포도당을 이동시키는데, 이 과정에서 칼륨과 인이 필요하다. 적혈구 세포, 상처의 회복, 뇌와 부신수질은 약 2 mg/kg/min의 포도당을 에너지원으로서 필요로 한다.

고혈당증(180-200 mg/dL 이상)은 대부분 인슐린 결핍증, 인슐린 수용체 저항, 과도한 포도당 주입 등으로 인해 유발된다. 고혈당증은 삼투성이뇨, 경색으로 인한 뇌와 척수 그리고 신장 손상의 악화, 위배출시간의 연장, 저인산혈증, 상처회복의 지연, 그리고 백혈구 기능의 손상을 유발한다. 산모의 고혈당증은 신생아 황달, 신생아 뇌손상의 위험을 증가시키며, 태아가 저산소증일 경우 신생아 산증에 빠지게 된다. 저혈당증(50 mg/dL 이하)은 포도당이 뇌에서 사용하는 유일한 에너지원이기 때문에 매우 위험하다. 저혈당증의 신호로는 과민성(irritability), 발작(seizure), 서맥, 저혈압 그리고 호흡부전 등이 있다. 저혈당증의 역치는 나이에 따라 차이가 나며, 중상은 성인의 경우 혈당이 57 mg/dL 이하일 때, 유아는 30-50 mg/dL 이하일 때 나타난다. 이러한 증상은 당뇨 환자의 경우 당뇨 환자가 아닌 경우 보다 높은 혈당에서 나타난다. 따라서 포도당을 투여하거나 혈중 포도당을 조절하기 위해서는 철저한 혈당 모니터링이 필요하다.

과거 경구적 및 비경구적 영양법이 도입되기 전에는 장기간 금식 환자의 칼로리 공급을 위해 정맥주사용 수액에 포도당을 첨가하였다. 포도당 1 g은 최대로 대사될 경우 3.4 kcal를 제공할 수 있으므로, 5% 포도당 용액(1 L에 포도당 50 g 함유)은 1 L에 170 kcal를 제공할 수 있다. 에너지 소요량에서 이미 언급하였듯이 70 kg 성인남자에서 하루에 5% 포도당 용액 3 L를 투여하면 하루에 약 500 kcal를 제공할 수 있고, 이것은 하루 칼로리 요구량을 맞추기 위해 체내

단백질이 분해되는 것을 막을 수 있는 적절한 비단백질성 칼로리 공급량이다. 이러한 단백질 보존효과는 초기에 포도당 용액이 널리 쓰인 이유이지만, 경구적 및 비경구적 고영양 요법이 보편화되면서 장기간 금식 환자에서 칼로리 보충을 위한 포도당 용액의 사용은 감소되는 추세이다.

5% 포도당 용액의 투여로 인한 혈장 용적 증가효과는 상대적으로 비효율적이다. 세포 외 용적(혈장 용적+간질 용적)의 전체 증가량은 투여된 5% 포도당 용액의 양보다 훨씬 적은데 이것은 투여된 5% 포도당 용액의 용량 중 혈관 내에 남는 것은 10% 미만이며, 투여된 용량의 2/3는 세포 내부로 들어가게 되기 때문이다. 그러므로 투여된 5% 포도당 용액의 주된 효과는 세포 종창(swelling)일 뿐이다. 이와는 반대로, 포도당을 등장성 식염수에 첨가하는 경우(D5/S)에는 혈장에 비해 고장액이 되어(560 mOsm/L) 중환자에서와 같이 포도당 이용에 장애가 있는 경우에는 조직간액 내에 포도당이 축적되어 세포의 탈수 현상이 발생될 수 있다.

한편, 5% 포도당 용액은 정상인에서 약 5% 정도 젖산의 생성을 증가시키며 그 정도는 렇게 용액보다 더 현저하다. 이러한 젖산의 생성 증가는 특히 중추신경계에 저장됨으로써 허혈성 뇌손상 환자의 증상을 악화시키므로 뇌혈류가 불충분한 환자에서는 포도당을 투여하지 않는 것이 좋다. 건강한 사람에서는 전체 포도당 투여량의 5%만이 젖산 생산에 쓰이게 되는데 반해, 조직 관류가 저하된 중환자에서는 포도당 대사의 85%까지 젖산 생산에 이용된다[7]. 또한, 순환혈류가 제한될 경우에 5% 포도당 용액의 투여는 대사에너지 공급보다는 오히려 대사성 산증을 유발할 수 있다.

포도당 용액의 투여 여부와 상관없이 고혈당증은 중환자에서 면역억제[8], 감염 위험의 증가[9], 허혈성 뇌손상의 악화[10] 및 사망률의 증가[9,11] 등의 여러 가지 부작용을 초래한다.

2. 교질 용액

혈장은 모세혈관벽을 통해 쉽게 확산되지 않는 일부민과 같은 분자량이 큰 단백질들을 함유하여 교질삼투압(colloid osmotic pressure 또는 oncotic pressure)을 형성하는데, 건강한 사람에서 혈장의 교질삼투압은 기립자세에서는 25

mmHg, 앙와위에서는 20 mmHg 정도이다. 이렇게 자세에 따라 교질삼투압이 변화하는 것은 혈장 용적의 변화 때문이다. 즉, 누워있다가 일어서면 중력에 의한 모세혈관 내 정수압의 증가로 인해 하지의 모세혈관 내 혈액에서 수분 소실이 일어나서 결과적으로 전체 혈장 용적이 5~25% 정도 감소하기 때문이다. 이러한 수분 소실에 의한 혈장 용적의 감소는 혈장 단백질의 농도 증가를 가져와서 결국 교질삼투압을 증가시키게 된다.

한편, 교질용액도 정질용액에 비해 더 크고 확산이 안 되는 용질을 가지고 있어서 정질용액과 달리 혈관벽을 통해 자유롭게 이동하지 못하므로 혈관 내에 남아 교질삼투압을 형성하여 수분을 잡아둠으로써 혈장량을 증가시킨다. 정질용액의 반감기가 20~30분 정도인데 비하여 대부분의 교질용액은 반감기가 3~6시간에 이른다. 따라서 교질용액은 정질용액에 비해 더욱 빠르고 장시간 유지되는 혈관내액(혈장량) 보충에 유용하다. 그러나 교질용액 투여 후 혈액응고 장애가 발생할 수 있으며 텍스트란의 경우 알러지 반응이 일어날 수 있다.

5% 일부민 용액 1 L를 투여하면 혈장 용적은 700 mL 증가하고 간질액 용적은 300 mL 증가하는 것을 알 수 있다. 그러므로, 투여된 교질액의 70%는 혈관 내에 남아서 혈장 용적을 증가시키는 것이다. 반면 결정질액인 0.9% 생리식 염수 1 L를 투여하면 250 mL만이 혈관 내에 남아서 혈장 용적을 증가시키게 되고 나머지 750 mL는 간질액 용적을 증가시키게 된다. 이와 같이 교질액과 결정질액의 혈장 용적 증량 효과를 비교해 보면, 교질용액이 정질용액보다 약 3배 정도 더 효과적임을 알 수 있다[12~14].

Table 3에서 볼 수 있듯이 각각의 교질액은 혈장 용적을 증가시키는 정도에 차이가 있는데, 이것은 각각의 교질액이 가지는 교질삼투압의 차이에 의해 나타난다. 더 높은 교질삼투압을 보이는 교질용액이 혈장 용적을 더 많이 증가시키는 것을 알 수 있으며, 혈장보다 높은 교질 삼투압(>25 mmHg)을 가지는 수액을 투여하는 경우에는 투여량보다 혈장 용적이 더 많이 증가한다. 이러한 효과는 25% 일부민에서 가장 두드러지는데, 25% 일부민의 교질 삼투압은 70 mmHg로서 혈장의 3~4배에 달하며 투여된 용량의 3~4배에 이르는 혈장 증량 효과를 나타낸다.

**Table 3.** Comparative features of colloid

Fluid	Average molecular weight (kilodaltons)	Oncotic pressure (mm Hg)	△Plasma volume/Infusate volume	Duration of effect (hr)
25% Albumin	69	70	4.0-5.0	16
10% Dextran-40	26	40	1.0-1.5	6
6% Hetastarch	450	30	1.0-1.3	10
5% Albumin	69	20	0.7-1.3	16

Data from References 1, 12-14, and 17.

(1) 알부민 용액

알부민은 성인의 간에서 하루에 약 10 g씩 만들어지며, 평균 체격의 성인은 혈장에 120 g, 간질액에 160 g 정도의 알부민을 가지고 있다[15]. 알부민은 혈장이 가지는 교질삼투압의 75%를 차지하며, 완충액으로서 작용하고, 뚜렷한 항산화작용을 가지고, 혈소판 응집을 방해해서 체내의 혈류를 유지하도록 돋는 역할을 하며, 또한 혈액 내에서 물질을 운반하는 주요 단백질로서의 기능을 가진다[1,12,15,16].

알부민 용액은 사람 혈청 알부민을 열처리해서 등장성 식염수에 희석해서 만든 것이며, 5%(50 g/L) 및 25%(250 g/L)의 두 가지 제품이 나와 있다. 5% 알부민 용액은 알부민 농도(5 g/dL) 및 교질삼투압(20 mmHg)이 혈장과 같다. 5% 알부민 용액의 투여는 250 mL 단위로 이루어지는데, 투여된 용적의 약 70%가 혈장 내에 남아 있게 된다. 그러나, 이러한 혈장 중량 효과는 빠르게 소실되어서 약 12시간 뒤에는 완전히 없어진다[1,12].

25% 알부민 용액은 비생리적인 고장액으로서 50 mL나 100 mL 단위로 투여한다. 투여 직후에는 투여량의 3-4배에 이르는 혈장 중량 효과를 보이는데, 간질 공간으로부터 체액을 이동시킴으로써 혈장을 증가시킨다. 소량의 5% 알부민 용액 투여 시에는 신체에 미치는 나트륨 부하가 적기 때문에 “저염 알부민(salt-poor albumin)”이라고도 불린다. 25% 알부민을 투여하는 것은 잊어버린 용적을 보충하는 것 이 아니라 단지 어느 한 체액 구획에서 다른 구획으로 체액을 이동시키는 것일 뿐이라는 점을 염두에 두어야 한다. 그리므로, 25% 알부민은 급성 실혈이나 탈수에 대한 용적 보충 요법으로 쓰여서는 안 된다. 25% 알부민은 심한 저알부

민혈증으로 인해 간질 공간으로의 체액 이동이 일어나서 혈량저하증이 일어났을 경우에만 사용해야 한다.

(2) Hetastarch

Hydroxyethyl starch (hetastarch)는 전분 중합체를 화학적으로 변형시킨 것으로서 등장성 식염수에 용해시킨 6% 용액이 제품으로 나와 있다. 전분 분자의 평균 분자량에 따라 고분자

량(450,000 daltons), 중분자량(200,000 daltons) 그리고, 저분자량(70,000 daltons)의 세 가지로 나눌 수 있다[17]. 고분자량 hetastarch는 가장 강한 삼투압을 가져 혈장 중량 효과가 크나 출혈을 비롯한 부작용 발생의 위험이 가장 높다.

Hetastarch의 제거는 두 단계로 이루어진다. 우선 혈액 내의 전분 분자들이 아밀라아제 효소에 의해 가수분해되어 분자량 50,000 dalton 미만의 작은 조각들로 분해되고, 분해된 작은 조각들은 신장을 통해 제거된다. 전분의 청소율은 몇 주까지 연장될 수도 있지만, 교질삼투압 효과는 하루면 소실된다.

6% hetastarch의 혈장 중량 효과는 5% 알부민과 유사하다. 삼투압은 30 mmHg로 5% 알부민(20 mmHg)보다 높으며, 이로 인해 혈장 중량 효과도 약간 높다(Table 3). 혈장 용적에 미치는 영향은 24시간 내에 소실된다[18,19]. 주요한 차이점은 hetastarch가 비용이 적게 들지만, 신체의 항상성을 깨뜨릴 위험이 더 크다는 것이다.

Hetastarch의 주요 부작용의 하나는 출혈 경향을 야기하는 것인데 이것은 혈액 응고 인자 VII 및 폰 월레브란트 인자의 기능을 저해하고 혈소판의 부착성(adhesiveness)을 손상시켜서 나타난다. 주로 고분자량 hetastarch에서 볼 수 있으며, 중분자량 hetastarch에서는 좀 덜 나타나고, 저분자량 hetastarch에서는 거의 없다[20]. 24시간 내에 1,500 mL 이상의 hetastarch를 투여한 경우에 잘 나타나는데[17], 항상 출혈 경향이 뚜렷하게 나타나는 것은 아니지만 심폐우회로술을 시행하는 수술에서 hetastarch를 투여하는 경우에는 보다 자주 나타날 수 있다. Hetastarch로 인한 출혈은 24시간 내에 투여되는 hetastarch의 양을 1,500 mL 이하로

Table 4. Electrolyte concentration of balanced HES-preparations

Electrolyte (mmol/L)	Plasma	Hextend® HES ^{a)} 670/0.75	Volulyte® HES 130/0.4
Na ⁺	140	143	137
K ⁺	4.2	3	4
Ca ⁺⁺	2.5	2.5	-
Mg ⁺⁺	3	0.5	1.5
Phosphate	1.25	-	-
Cl ⁻	103	124	110
Lactate	1	28	-
Acetate	-	-	34
Na ⁺ /Cl ⁻ -ratio	1.36	1.15	1.24

^{a)} HES: hetastarch

줄이거나 기존의 혈액 응고 이상(특히, 폰 월레브란트병)이 있는 환자들에서는 hetastarch의 사용을 피하는 등의 방법으로 위험을 최소화할 수 있다.

전술한 바와 같이 hetastarch 분자는 혈액 내 아밀라아제에 의해 분해되어서 신장에서 체외로 배출된다. 이 과정에서 아밀라아제는 hetastarch 분자에 결합하게 되는데 이로 인해 신장에서 아밀라아제 제거가 저해되어서 혈액 내 아밀라아제 농도가 정상의 2~3배까지 증가할 수 있다. 이를 거대아밀라아제혈증(macroamylasemia)이라고 하며[17], hetastarch 투여를 중지하면 1주 안에 아밀라아제 농도는 정상화된다[20]. 고아밀라아제혈증 자체는 별다른 해가 없지만 이를 급성 췌장염의 소견으로 잘못 알아서 진단 및 치료를 위해 불필요한 시술을 시행할 위험이 있다. Hetastarch에 의해서는 리파아제 농도는 올라가지 않으므로 급성 췌장염으로 오진할 수 있는 위험을 피할 수 있는 중요한 단서가 될 수 있다. Hetastarch에 대한 과민성 반응은 0.006% 정도로 매우 드물게 나타난다[17]. 만성적인 투여로 인해 소양증이 나타날 수 있는데, 이것은 알레르기 반응에 의한 것이 아니라 전분이 혈관 밖으로 유출되어 축적되기 때문에 생기는 것이다[19].

Hetastarch 제제의 발전 단계에서 이른바 균형전해질용액을 바탕으로 하는 4세대 hetastarch의 대표적인 2가지 제품은 다음과 같다(Table 4).

1) Hextend®

Hextend®는 등장성 식염수 대신 여러 가지 전해질을 포함하는 완충용액에 용해되어 있는 평균분자량 670,000 dal-

ton의 6% hetastarch 용액으로서, 나트륨(143 mEq/L), 염소(124 mEq/L), 칼륨(3 mEq/L), 칼슘(5 mEq/L), 마그네슘(0.9mEq/L), 젖산(28 mEq/L) 그리고 포도당(0.99 g/L) 등을 함유하고 있다. 평균분자량이 크기 때문에 Hextend®의 혈장 증량 효과는 투여량 대비 160% 정도로 매우 큰 편이다. 대수술을 받는 환자에게 평균 1.6 L의 Hextend를 투여하였을 때 혈액 응고에 미치는 영향이 발견되지 않았다는 보고가 있다[20].

2) Volulyte®

Volulyte®는 역시 등장성 식염수 대신 여러 가지 전해질을 포함하는 완충용액에 용해되어 있는 평균분자량 130,000 dalton의 hetastarch 제제로서, 나트륨(137 mEq/L), 염소(110 mEq/L), 칼륨(4 mEq/L), 마그네슘(1.5mEq/L), 아세트산(34 mEq/L) 등을 함유하고 있다. 젖산은 간과 신장의 대사기능에 의존하여 완충작용을 나타내지만 아세트산은 이러한 장기의 대사기능에 크게 영향을 받지 않아 쇼크 상태의 환자에서도 양호한 완충효과를 나타내는 장점이 있다. 또한, 평균분자량이 작아 혈액 응고에 미치는 영향이 적은 장점도 있다.

(3) 텍스트란 제제

텍스트란은 세균(Leuconostoc)을 설탕 배지에서 배양하였을 때 만들어지는 포도당 중합체로서 가장 많이 쓰이는 텍스트란 제재는 10% 텍스트란-40과 6% 텍스트란-70인데, 평균 분자량이 각기 다르며(Table 3), 둘 다 등장성 식염수에 용해되어 있다. 두 텍스트란 제재는 모두 40 mmHg의 교질삼투압을 가지며 5% 알부민이나 6% hetastarch보다 혈장 증량 효과가 크다(Table 3). 작용시간이 더 긴 텍스트란-70(12시간)이 텍스트란-40(6시간)에 비해 더 선호된다[12].

텍스트란은 용량에 비례해서 출혈경향을 일으키는데, 이것은 혈소판 응집력 저하, 혈액 응고 인자 VII 및 폰 월레브란트 인자의 감소 그리고 섬유소 용해 증진 등의 기전에 의해 일어난다[20,21]. 혈액 응고 장애는 일일 텍스트란 투여량을 체중 kg당 20 mL이하로 제한함으로써 최소화시킬 수 있다.

텍스트란은 적혈구 표면을 덮어서 교차시험을 방해할 수 있으므로 교차시험 시 반드시 세척을 시행해야 한다. 또한,

**Table 5.** Crystalloids vs. colloids

	Crystalloid	Colloid
Intravascular persistence	Poor	Good
Hemodynamic stabilization	Transient	Prolonged
Required infusion volume	Large	Moderate
Risk of tissue edema	Obvious	Insignificant
Enhancement of capillary	Poor	Good
Risk of anaphylaxis	-	Low to moderate
Colloid oncotic pressure	Reduced	Maintained
Cost	Inexpensive	More expensive

적혈구와의 결합을 통해서 적혈구 침강 속도를 증가시킬 수 있다[21]. 텍스트란은 급성 신기능 장애를 일으키는 것으로 알려져 있는데, 교질삼투압이 높아지면서 여과압이 감소되는 것이 발생 기전으로 제시되어 왔으나 증명된 바는 없고, 신기능 장애의 발생빈도는 드문 편이다. 과민성 반응은 과거에는 많이 보고되었으나 현재는 0.032% 정도만 보고되고 있다.

정질용액과 교질용액의 선택

수액요법 시 정질용액과 교질용액 중 어느 것을 선택하느냐에 관해서는 논란이 많으나 다음의 사항들을 기준으로 판단하는 것이 일반적이다(Table 5).

1. 임상 조건

수액 선택을 위한 이상적인 접근방법은 어떤 특정한 임상 조건에 있어서 어떤 수액의 사용이 더 적절한지를 결정하는 것이다. 예를 들어 탈수로 인해 저혈량증이 생긴 환자의 경우는 교질용액 보다는 정질용액을 공급하는 것이 보다 더 유리한데, 이는 탈수의 경우 세포외액이 구획마다 거의 동등한 비율로 부족하기 때문에 세포 외 공간을 균등하게 채워 줄 수 있는 정질용액이 더 유리하게 작용하기 때문이다. 하지만, 출혈의 경우에는 그 정도에 따라 수액의 종류를 선택하여 대처하는 것이 바람직하다.

15% 이하의 경한 출혈 시 부족한 혈관내의 용적을 채우기 위해 조직간액이 혈관 내로 이동하게 된다. 정질용액 투여 시 혈장량의 증가보다는 조직간액의 증가 효과가 더 크

기 때문에 이 정도의 경한 출혈의 경우에는 정질용액을 투여함으로써 부족한 조직간액을 보충시킬 수 있다.

그러나 15% 이상의 출혈 시에는 신체의 여러 가지 보상 기전에도 불구하고 심박출량이 감소되며 이 경우 수액요법의 일차적 목표는 혈관 내 용적을 증가시켜 심박출량을 적절히 유지하는 것이다. 따라서 동량을 투여하더라도 교질용액이 정질용액에 비하여 3~4배 정도 혈장 증량 효과를 가지고 이에 따른 심박출량의 증가를 가져올 수 있으므로 훨씬 더 효율적이다. 즉, 교질용액은 정질용액에 비해 혈장 증량 효과가 더 뛰어나다는 장점을 가진다. 이것은 심한 출혈이 있거나 저혈량증이 심각한 환자들과 같이 신속한 용적 소생술이 필요한 경우에 중요한 장점이라고 할 수 있다.

대부분의 임상에서 3~4 L 이상의 수액 투여가 필요한 경우에는 교질용액과 정질용액을 1:3의 비율로 함께 투여하는 것이 일반적이다.

2. 부종의 위험성

혈관 내로 투여된 정질용액은 많은 양이 조직간액으로 이동되므로 많은 양의 정주시 말초부종의 발생 가능성이 증가한다. 그러나 교질용액이라고 해서 반드시 말초부종의 위험이 없는 것은 아니다. 특히 일부민을 함유한 제제의 투여 시에 일부민은 혈관 내에 분포할 뿐만 아니라 조직간액으로도 유출되어 부종을 유발할 수 있다.

모세혈관 투과성의 증가로 간질조직으로 교질분자가 유출되면 삼투압 차이에 의해 조직의 팽창이 발생하며, 조직간액으로 유출된 교질분자들은 림프계에 의해 제거된다. 교질의 제거는 정질에 비해 더 오랜 시간이 걸리며, 이것은 큰 화상을 입거나 대수술을 받는 환자에서 특히 문제가 될 수 있다. Velanovich [22]의 메타분석에 의하면 외상 환자들에게는 정질용액이 그리고 비감염성, 비외상성, 그리고 예정된 수술을 받는 환자에서는 교질용액이 더 효과적인 것으로 나타났다.

폐모세혈관은 중등도의 투과성을 가지며, 폐부종 역시 정질용액 및 교질용액 투여 시 모두 발생 가능하다. 수술적 손상 등에 의해 폐모세혈관의 투과성이 증가되면 교질용액의 투여 시에 교질도 쉽게 조직간액(간질)으로 유출되어 간질부종을 일으킨다. 폐부종의 예방을 위해서는 투여하는 수액

의 종류보다는 적절한 감시 하에 수액을 투여하는 것이 더욱 중요하다.

3. 비용과 효율성

교질용액은 정질용액에 비하여 가격이 더 비싼 단점이 있다. 동일한 혈장 중량 효과를 얻기 위한 용량인 하트만용액 또는 등장성 식염수 1 L와 교질용액으로 hetastarch 250 mL를 사용하는 경우를 비교해보면, 현재의 우리나라 가격으로 교질용액의 비용은 정질용액을 사용했을 때보다 최소 7배 이상 높다. 하지만 Table 5에서 볼 수 있듯이 교질용액의 사용이 임상 조건에 적합한 경우 교질용액이 가지는 여러 장점을 고려한다면 비용 대비 효율성 면에서 교질용액의 선택이 유리할 수도 있다.

결론적으로 혈장량의 증가가 주요 목표일 경우에는 교질용액의 투여가 바람직하며 전체 세포외액량의 증가가 목표일 경우에는 정질용액을 선택하는 것이 좋다. 즉, 체액의 어느 구획을 보충시켜 줄 것인가를 결정하여 정질용액과 교질용액 중 한 가지를 선택하거나 또는 병용하되 각각의 장단점을 신중하게 고려하여 적절한 비율로 사용하여야 한다.

결 론

수액 요법의 핵심은 신체의 체액 불균형을 해결하기 위해서 어떤 유형의 수액이 가장 적합한지를 결정하여 치료하는 것이다. 정질용액은 세포 외 공간(간질 공간 및 혈관 내 공간)을 보충하는데 유용하므로 간질 체액과 혈관 내 체액의 소실을 동시에 가져오는 탈수 환자들에게 사용하는 것이 좋으며, 교질용액은 혈장을 중량하도록 만들어졌으므로 실혈로 인해 혈량저하증이 생긴 경우에 유용하다. 또한, 알부민을 함유하는 교질액은 저알부민혈증에 의해 혈량저하증이 생긴 경우에 적합하다. 즉, 신체의 체액 불균형을 유발한 특정한 임상적 조건에 대처하여 이러한 병태생리적 상황에 가장 적합한 수액을 선택하여 치료하는 것이 수액 요법에서 최선의 접근방법이 될 것이다.

신체의 체액 구성 성분과 그 기능을 모방하여 개선된 수액 제제의 발전이 이루어지고 있으며, 정질용액뿐만 아니라

교질용액 분야에서도 우수한 제4세대 제품들이 출시되고 있다. 전술한 바와 같이 혈관 주사용 수액제제들은 인간의 생명과 직결되는 소생 또는 치료와 관련된 물질이기 때문에 최선의 진료를 위해 구애 받지 않고 사용할 수 있는 보험 환경이 조성되기를 바라는 마음이다.

핵심용어: 수액요법; 정맥용수액; 정질용액; 교질용액

REFERENCES

1. Imm A, Carlson RW. Fluid resuscitation in circulatory shock. Crit Care Clin 1993; 9: 313-333.
2. Scheingraber S, Rehm M, Sehmisch C, Finsterer U. Rapid saline infusion produces hyperchloremic acidosis in patients undergoing gynecologic surgery. Anesthesiology 1999; 90: 1265-1270.
3. Prough DS, Bidani A. Hyperchloremic metabolic acidosis is a predictable consequence of intraoperative infusion of 0.9% saline. Anesthesiology 1999; 90: 1247-1249.
4. Griffith CA. The family of Ringer's solutions. NITA 1986; 9: 480-483.
5. Walker RH. Technical manual. 10th ed. Arlington (VA): American Association of Blood Banks; 1990.
6. Halpern NA, Alicea M, Seabrook B, Spungen A, Greenstein R. Isolyte S, a physiologic multielectrolyte solution, is preferable to normal saline to wash cell saver salvaged blood: conclusions from a prospective, randomized study in a canine model. Crit Care Med 1997; 25: 2031-2038.
7. Günther B, Jauch KW, Hartl W, Wicklmayr M, Dietze G, Heberer G. Low-dose glucose infusion in patients who have undergone surgery: possible cause of a muscular energy deficit. Arch Surg 1987; 122: 765-771.
8. Turina M, Fry DE, Polk HC Jr. Acute hyperglycemia and the innate immune system: clinical, cellular, and molecular aspects. Crit Care Med 2005; 33: 1624-1633.
9. van den Berghe G, Wouters P, Weekers F, Verwaest C, Bruyninckx F, Schetz M, Vlasselaers D, Ferdinand P, Lauwers P, Bouillon R. Intensive insulin therapy in the critically ill patients. N Engl J Med 2001; 345: 1359-1367.
10. Sieber FE, Traystman RJ. Special issues: glucose and the brain. Crit Care Med 1992; 20: 104-114.
11. Finney SJ, Zekveld C, Elia A, Evans TW. Glucose control and mortality in critically ill patients. JAMA 2003; 290: 2041-2047.
12. Griffel MI, Kaufman BS. Pharmacology of colloids and crystalloids. Crit Care Clin 1992; 8: 235-253.
13. Kaminski MV Jr, Haase TJ. Albumin and colloid osmotic pre-



- ssure implications for fluid resuscitation. Crit Care Clin 1992; 8: 311-321.
14. Sutin KM, Ruskin KJ, Kaufman BS. Intravenous fluid therapy in neurologic injury. Crit Care Clin 1992; 8: 367-408.
15. Soni N, Margarson M. Albumin, where are we now? Curr Anaesth Crit Care 2004; 15: 61-68.
16. Halliwell B. Albumin: an important extracellular antioxidant? Biochem Pharmacol 1988; 37: 569-571.
17. Treib J, Baron JF, Grauer MT, Strauss RG. An international view of hydroxyethyl starches. Intensive Care Med 1999; 25: 258-268.
18. Jacob G, Raj SR, Ketch T, Pavlin B, Biaggioni I, Ertl AC, Rober-
tson D. Postural pseudoanemia: posture-dependent change in hematocrit. Mayo Clin Proc 2005; 80: 611-614.
19. Vincent JL, Navickis RJ, Wilkes MM. Morbidity in hospitalized patients receiving human albumin: a meta-analysis of randomized, controlled trials. Crit Care Med 2004; 32: 2029-2038.
20. de Jonge E, Levi M. Effects of different plasma substitutes on blood coagulation: a comparative review. Crit Care Med 2001; 29: 1261-1267.
21. Nearman HS, Herman ML. Toxic effects of colloids in the intensive care unit. Crit Care Clin 1991; 7: 713-723.
22. Velanovich V. Crystalloid versus colloid fluid resuscitation: a meta-analysis of mortality. Surgery 1989; 105: 65-71.



Peer Reviewers' Commentary

수액 요법은 신체 체액불균형을 해결하기 위해서 어떤 유형의 수액이 가장 적합한지를 결정하여 치료하는 것이다. 정질용액은 세포외 공간(간질 공간 및 혈관내 공간)을 보충하는데 유용하므로 간질 체액과 혈관내 체액의 소실을 동시에 가져오는 탈수 환자들에게 사용하는 것이 좋으며, 교질용액은 혈장을 증량하도록 만들어졌으므로 실혈로 인해 혈량저하증이 생긴 경우에 유용하다. 일부만을 함유하는 교질액은 저알부민혈증에 의해 혈량저하증이 생긴 경우에 적합하다. 즉, 신체의 체액 불균형을 유발한 특정한 임상적 조건에 대처하여 이러한 병태생리적 상황에 가장 적합한 수액을 선택하여 치료하는 것이 수액 요법에서 최선의 접근 방법이 될 것이다. 신체의 체액 구성 성분과 그 기능을 모방하여 개선된 수액 제제의 발전이 이루어지고 있으며, 정질용액뿐만 아니라 교질용액 분야에서도 우수한 제4세대 제품들이 출시되고 있다. 혈관 주사용 수액제제들은 인간의 생명과 직결되는 소생 또는 치료와 관련된 물질이기 때문에 최선의 진료를 위해서 부당한 제한 없이 사용할 수 있는 보험 환경의 조성이 필요하다.

[정리: 편집위원회]