수술중 각종수액이 혈중의 포도당, 인슐린, 삼투압 및 전해질에 미치는 영향

안동 성소병원 마취과

장 채 운

제명대학교 의과대학 마취과학교실

정 정 길

= Abstract =

Changes in Blood Sugar, Insulin, Osmolarity and Electrolytes with Intraoperative Infusion of Various Solutions

Chae Woon Chang, M.D.

Department of Anesthesiology, Sung So Hospital, Andong, Korea

Jung Kil Chung, M.D.

Department of Anesthesiology, Keimyung University, School of Medicine, Taegu, Korea

Rapid administration of solution containing dextrose results in marked hyperglycemia and osmotic diuresis but a balanced electrolyte solution containing maltose does not increase blood sugar. 30 patients were chosen at random and divided into 3 groups i.e. one group received 5% dextrose in water, the second group received Hartmann solution and the third group, 5% maltose in a balanced electrolyte solution. The Patient's blood was collected in the operating room prior to the start I.V. infusion, for the measurement of blood sugar, insulin, osmolarity and electrolytes in various conditions of N.P.O. Intravenous fluid was administered at a rate of 10 ml/kg/hour while anesthesia was induced and maintained with an endotracheal tube in place. Blood samples were taken one hour, 2 hours and 3 hours from the time I.V. infusion started.

In the of 5% dextrose in water groups, the value of blood sugar and insulin was 88.5 ± 12.1 mg% and $14.60 \pm 7.67 \mu\text{u/ml}$ at NPO, 257.7 ± 60.8 mg% and $70.75 \pm 37.55 \mu\text{u/ml}$ at 1 hour, 298.8 ± 84.4 mg% and $143.19 \pm 50.32 \mu\text{u/ml}$ at 2 hours and 228.6 ± 75.8 and $127.71 \pm 56.98 \mu\text{u/ml}$ at 3 hours. Although the blood sugar and insulin values increased markedly, but potassium and chloride were 4.74 ± 0.55 mEq/l and 101.1 ± 2.9 mEq/l and 4.11 ± 0.31 mEq/l, 107.4 ± 2.3 mEq/l and 3.95 ± 0.41 mEq/l, 106.4 ± 2.7 mEq/l and 3.89 ± 0.50 mEq/l, 106.3 ± 2.2 mEq/l and showed mild decrease, by the way, osmolarity and serum sodium did not changed.

In contrast to the 5% dextrose in water groups, there are no changes in the blood glucose, insulin levels, osmolarity or and electrolytes in the either Hartmann or Elitol (Elitol^R=5% maltose contained in a balanced electrolyte solution) groups. There was a slight increase in

osmolality with maltose but it was not significant. Accordingly it is concluded that rapid infusion of Hartmann or 5% maltose contained in a balanced electrolyte solution affects the blood sugar and insulin levels insignificantly compared to the dextrose containing solution which increase the blood sugar and insulin levels markedly.

서 론

수술중의 수액요법은 수술전의 체액손실, 유지요구량의 보충과 금식으로 인한 기본영양을 공급하며¹⁾ 수술중 비기능적 간질조직으로 이동되는 체액²⁾과 출혈로 인한 혈액손실을 보충하는데 그 목적이 있다. 수술중 수액의 종류를 대별하면 1일 필요요구량을 보충하는 유지수액과 갑작스러운 체액 및 혈액손실을 보충하는 보충수액으로 나눌 수 있다. 일반적으로 수술과 더불어 시작하는 출혈수액은 전해질이 적은 유지수액으로 시작하고 혈액의 항상성(homeostasis)을 유지하기 위한 보충수액은 혈장과 유사한 균형전해질용액을 사용한다³⁾.

수술환자의 유지수액은 보통 포도당을 함유한 저전해질용액을 사용하는데⁴⁻⁶⁾ 그 이유는 장시간의 금식으로 혈당이 감소되어 있고 혈당은 뇌대사에 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 그러나 포도당이 함유된 용액을 지속적으로 공급하거나 빠른 속도로 주입하면 혈당을 상승시키고⁷⁾ insulin의 분비를 촉진하여⁸⁾ 혈당을 정상으로 유지하려는 대사성 노력과 부작용이 예견된다.

최근에 이당류(disaccharide)인 maltose를 함유한 균형전해질용액(Elitol®)을 수술중 유지수액 혹은 보충수액으로 사용하여 혈당에 영향을 미치지 않는다는 보고⁹⁻¹³⁾가 있으며 포도당용액의 주입은 혈당을 현저히 상승시킨다는 많은 논문들이^{7,10-12)} 발표되었다. 그러나 수술중 각종수액을 주입하면서 시간에 따른 혈당치 insulin 및 전해질 함량등의 양적 변동을 관찰한 보고는 드물다.

이 연구는 수술중 흔히 사용하는 5%포도당용액, 포도당을 함유하지 않은 균형전해질용액인 Hartmann액과 Elitol®을 수술중 수액으로 주입하면서 1시간, 2시간, 3시간 경과하였을때 혈중중의 glucose, insulin 및 전해질의 함량을 각각 측정하여 이들의 양적 변동을 관찰하는 한편 혈액의 삼투압도 함께 측정한 것으로서 흥미있는 결과를 얻었기에 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

성별 및 연령의 구별없이 계획수술이 예정된 환자

30명을 대상으로 하였으며 수술부위의 병소의 다른 이상이 없는 미국마취과학분류 1,2급에 해당하였다. 수술명, 성별 및 연령등은 Table 1,2와 같고 최소한 8~16시간을 금식시킨 상태였으며 수술을 필요로 하는 수술은 제외시켰다. 마취전투약은 수술시작 1시간전에 tridol(2 mg/kg), glycopyrrolate(0.04 mg/kg) 및 vistaril(1 mg/kg)을 근육주하였고 마취유지는 halothane-N₂O-O₂를 사용하여 임상적 판단으로 마취심도를 대체로 균일하게 유지하였으며 pancuronium을 정주하여 조절호흡을 계속하였다.

환자는 3군으로 나누어 수액직전 10 ml의 혈액을 채취하여 혈당, insulin, 삼투압 및 전해질의 기준치로 삼고 각각의 용액을 10 ml/kg/hour의 속도로 정주하여 매 1시간마다 채혈, 검사하여 3시간까지의 성적을 5%포도당용액군(n=10), Hartmann액군(n=10) 및

Table 1. Name of Operation and Sex Distribution

Name of operation	Sex		Total
	Male	Female	
Laminectomy	5	5	10
Total hysterectomy	—	6	6
Tympanomastoidectomy	5	6	11
Ligament repair	1	1	2
Inguinal hernia	1	—	1
Total	12	18	30

Table 2. Sex and Age Distribution

Age	Sex		Total
	Male	Female	
10~20	3	1	4
21~30	5	6	11
31~40	2	5	7
41~50	2	2	4
51~60	—	3	3
61~70	—	1	1
Total	12	18	30

Fig. 1. Changes of blood sugar with intraoperative infusion of various solutions (Mean $\pm$ SD).

Fig. 3. Changes of osmolarity with intraoperative infusion of various solutions (Mean $\pm$ SD).

Fig. 2. Changes of insulin with intraoperative infusion of various solutions (Mean $\pm$ SD).

Fig. 4. Changes of serum sodium with intraoperative infusion of various solutions (Mean $\pm$ SD).

Elitol®군(n=10)으로 구분하여 시간경과에 따른 변동을 비교 관찰하였으며 혈당은 glucose oxidase법으로 insulin은 방사면역측정법, 삼투압은 FISKE OSTTM osmometer로 전해질은 ASTRA-8 analyzer로 측정하였다.

성적

Table 3은 5%포도당용액을 10 ml/kg/hour의 속도로 정주하여 혈당, insulin, 삼투압 및 전해질의 변동을 나타낸 것이다. 혈당은 기준치(0 hour)가 88.5 ± 12.1 (mg%), 1시간후 257.6 ± 60.8 , 2시간후 298.8 ± 84.4 , 3시간후 228.6 ± 75.8 로 유의있는 현저한 상승을 나타내었다(Fig. 1). 그리고 insulin은 14.60 ± 7.67 (μ U/mL), 70.75 ± 37.55 , 143.19 ± 50.32 , 127.71 ± 56.98 로 현저한 분비증가가 있었다(Fig. 2). 혈청 pot-

Fig. 5. Changes of serum potassium with intraoperative infusion of various solutions (Mean $\pm$ SD).

Table 3. Changes of Blood Sugar, Insulin, Osmolarity and Electrolytes with Intraoperative Infusion of 5% Dextrose

No.	Name	Sex	Age	Time (hours)	glucose (mg%)	Insulin (μ u/ml)	osmolarity (mOsm/l)	Serum electrolytes(mEq/l)		
								Na	K	Cl
1	Hwang J.C	M	31	0	80.9	14.63	286	141	4.6	108
				1	290.2	85.13	282	133	4.1	105
				2	381.4	178.34	282	129	3.8	102
				3	360.8	140.92	292	128	3.9	103
2	Oh J.H.	F	25	0	113.6	18.78	283	140	5.0	107
				1	267.3	76.47	287	135	3.9	105
				2	390.8	161.96	291	136	3.6	105
				3	214.5	139.85	288	141	3.4	106
3	Lee M.J.	F	30	0	86.9	13.56	283	121	4.0	109
				1	245.8	91.23	282	131	3.8	107
				2	249.5	222.40	284	131	3.3	106
				3	112.4	93.73	279	134	3.3	108
4	Suh. J.J.	F	26	0	80.9	8.08	295	144	4.9	115
				1	271.6	34.66	292	136	4.2	111
				2	280.8	182.49	291	135	4.1	110
				3	219.5	199.77	286	134	3.8	109
5	Kim S.J.	M	44	0	99.0	16.18	292	141	4.0	111
				1	137.5	33.47	299	142	3.8	108
				2	249.9	127.23	301	142	3.9	107
				3	194.8	89.38	303	137	3.6	104
6	Kim W.H.	F	37	0	80.8	8.99	282	139	4.4	108
				1	280.8	139.20	284	132	3.7	106
				2	239.9	137.02	286	134	3.8	107
				3	213.3	147.83	284	135	3.6	106
7	Choi M.S.	F	48	0	86.8	9.69	282	193	5.0	112
				1	261.1	33.29	283	133	4.5	107
				2	431.4	96.62	285	128	3.8	104
				3	350.7	132.37	282	131	3.7	105
8	Choo Y.B.	F	14	0	97.6	34.09	294	136	5.8	106
				1	254.9	112.98	289	135	4.4	105
				2	300.5	176.40	292	134	4.5	104
				3	239.9	220.60	295	136	4.5	105
9	Park K.L.	M	25	0	88.1	9.42	292	141	4.5	112
				2	371.6	32.97	291	139	4.1	111
				2	314.7	60.01	290	136	4.0	110
				3	213.9	26.05	290	138	4.2	110
10	Kim J.T.	M	24	0	70.7	12.62	286	137	5.7	113
				1	196.2	65.30	280	135	4.6	109
				2	149.1	89.38	283	135	4.7	109
				3	166.3	86.55	277	134	4.9	107
Mean $\pm$ SD				0	88.5 $\pm$ 12.1	14.60 $\pm$ 7.67	287.5 $\pm$ 5.2	138.1 $\pm$ 6.5	4.74 $\pm$ 0.55	110.1 $\pm$ 2.9
				1	257.7 $\pm$ 60.8***	70.45 $\pm$ 37.55***	286.9 $\pm$ 6.0	135.1 $\pm$ 3.3	1.11 $\pm$ 0.31***	107.4 $\pm$ 2.3***
				3	298.8 $\pm$ 84.4***	143.19 $\pm$ 50.32***	288.5 $\pm$ 5.7	134.0 $\pm$ 4.6	3.95 $\pm$ 0.41***	106.4 $\pm$ 2.7***
				3	228.6 $\pm$ 75.8***	127.71 $\pm$ 56.98***	287.6 $\pm$ 7.8	134.8 $\pm$ 3.6	3.89 $\pm$ 0.50***	106.3 $\pm$ 2.2**

The data are expressed as mean $\pm$ SD with 10 humans in each group. Significant difference from control. (** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$)

assium 은 4.74 ± 0.55 (mEq/l), 4.11 ± 0.31 , 3.95 ± 0.41 , 3.89 ± 0.50 으로 의의있는 감소를 보였으며 chloride 는 110.1 ± 2.9 (mEq/l), 107.4 ± 2.3 , 106.4 ± 2.7 , 106.3 ± 2.2 로 의의있는 감소를 보였다. 그러나 혈액의

Table 4. Changes of Blood Sugar, Insulin, Osmolarity and Electrolytes with Intraoperative Infusion of Hartmann

No.	Mame	Sex	Age	Time (hours)	Glucose (mg%)	Insulin (μ u/ml)	Osmolarity (mOsm/l)	Serum electrolytes(mEq/l)		
								Na	K	Cl
1	Chung S.M	M	22	0	82.2	8.98	292	142	5.0	110
				1	100.3	6.49	295	141	4.8	111
				2	103.6	8.97	292	142	4.6	112
				3	105.1	7.39	293	142	4.3	110
2	Hwang Y.H.	M	31	0	91.8	11.97	284	138	5.8	106
				1	122.9	6.68	284	139	4.6	108
				2	133.8	12.27	283	140	4.4	109
				3	114.5	7.90	284	139	4.3	109
3	Chung H.C.	M	23	0	122.9	21.47	291	145	5.0	112
				1	153.1	26.74	298	144	5.2	112
				2	149.1	36.96	301	146	5.1	112
				3	133.8	33.83	295	146	5.0	113
4	Dae W.S.	M	22	0	91.8	12.04	285	137	4.6	109
				1	100.5	10.08	284	138	4.7	108
				2	109.8	8.37	271	140	4.6	108
				3	106.6	7.37	291	142	4.55	109
5	Kim M.S.	F	37	0	98.4	11.62	290	141	4.5	111
				1	111.3	10.98	296	140	4.0	111
				2	116.8	9.99	301	142	4.0	112
				3	106.9	8.78	302	140	4.4	113
6	Moon C.S.	M	16	0	83.1	8.20	285	142	4.4	109
				1	102.9	12.11	284	136	4.3	105
				2	110.3	7.91	286	138	4.6	105
				3	108.8	12.40	280	134	4.0	104
7	Chung H.S.	F	21	0	96.4	12.29	283	140	4.7	109
				1	102.2	14.30	288	139	4.9	106
				2	110.6	10.21	281	142	4.8	107
				3	118.7	9.81	288	144	4.7	110
8	Cim K.J.	F	58	0	102.2	14.09	291	144	5.1	109
				1	111.6	8.90	289	139	5.3	111
				2	128.3	12.42	293	142	5.2	111
				3	124.7	11.81	279	142	5.1	109
9	Kang P.S.	F	58	0	96.8	15.41	298	141	4.5	110
				1	124.2	20.80	301	140	3.9	110
				2	112.8	22.31	292	139	3.6	112
				3	129.4	27.42	294	138	3.9	104
10	Sohn J.I.	F	64	0	108.4	18.20	301	143	5.2	104
				1	113.3	16.71	298	139	3.9	110
				2	119.2	14.70	297	141	4.8	112
				3	127.9	20.39	294	142	4.2	112
Mean $\pm$ SD				0	97.4 $\pm$ 12.0	13.43 $\pm$ 4.04	290.0 $\pm$ 6.0	141.3 $\pm$ 2.5	4.88 $\pm$ 0.43	108.9 $\pm$ 2.3
				1	114.3 $\pm$ 16.2***	13.38 $\pm$ 6.47	291.7 $\pm$ 6.6	139.6 $\pm$ 2.2	4.54 $\pm$ 0.51	109.2 $\pm$ 2.3
				2	119.4 $\pm$ 13.8***	14.41 $\pm$ 8.98	289.7 $\pm$ 9.5	141.2 $\pm$ 2.2	4.57 $\pm$ 0.48	110.0 $\pm$ 2.6
				3	117.6 $\pm$ 10.7***	14.71 $\pm$ 9.35	290.0 $\pm$ 7.2	141.0 $\pm$ 3.4	4.44 $\pm$ 0.40	109.8 $\pm$ 2.6

The data are expressed as mean $\pm$ SD with 10 humans in each group. Significant difference from control. (* : $p < 0.05$, *** : $p < 0.001$)

삼투압과 혈청 sodium 치는 변화를 관찰할 수 없었다
(Fig. 3~6).

Table 4는 Hartmann 용액을 10 ml/kg/hour 의 속도로 주입한 결과를 나타낸 것으로서 혈당의 변동은 97.4

Table 5. Changes of Blood Sugar, Insulin, Osmolarity and Electrolytes with Intraoperative infusion of Elitol

No.	Mane	Sex	Age	Time (hours)	Glucose (mg%)	Insulin (μ u/ml)	Osmolarity (mOsm/l)	Serum electrolytes(mEq/l)		
								Na	K	Cl
1	Lee C.H.	F	29	0	86.3	16.09	284	141	4.9	107
				1	122.9	10.86	293	140	4.3	109
				2	139.3	8.76	294	138	4.7	109
				3	105.1	11.09	293	139	4.8	108
2	Kwon H.S.	F	53	0	97.6	13.51	281	142	5.2	104
				1	133.8	13.76	295	139	3.5	110
				2	130.2	12.30	305	141	3.8	112
				3	116.3	17.52	302	142	4.2	112
3	Bae K.S.	F	40	0	94.7	8.95	290	141	4.5	110
				1	116.3	17.28	291	140	3.3	110
				2	126.5	7.52	293	139	3.6	109
				3	120.8	7.81	292	140	4.1	111
4	Kim K.S.	M	25	0	93.2	8.96	285	144	4.6	106
				1	119.6	8.28	288	140	4.6	107
				2	116.3	11.69	294	141	4.7	106
				3	111.2	9.88	296	140	4.8	106
5	Cheun Y.J.	F	26	0	93.2	24.78	285	144	4.6	106
				1	135.6	28.46	288	140	4.6	107
				2	126.5	30.85	294	141	4.7	106
				3	120.8	27.98	296	140	4.8	106
6	Choi C.H.	F	33	0	89.0	16.18	280	138	3.4	111
				1	128.4	7.18	290	139	3.6	111
				2	114.5	9.33	289	138	3.6	112
				3	122.9	9.22	293	139	4.0	110
7	Shim M.N.	M	45	0	100.5	8.58	283	139	4.3	108
				1	137.5	10.47	289	137	5.4	115
				2	133.8	9.15	293	137	5.6	116
				3	126.5	16.88	295	138	5.3	110
8	Choi C.S.	F	46	0	88.9	13.30	280	137	3.5	112
				1	128.5	10.56	290	138	3.6	111
				2	113.9	11.80	290	138	3.7	112
				3	121.8	12.02	292	139	3.9	111
9	Choi J.H.	F	33	0	96.5	15.44	286	141	4.7	106
				1	119.7	11.46	292	140	4.5	107
				2	123.3	19.90	294	139	4.3	106
				3	126.4	19.20	296	132	4.1	103
10	Na T.S.	M	19	0	97.6	9.32	287	142	4.2	109
				1	113.0	7.13	292	138	3.7	111
				2	117.8	6.64	299	140	3.9	111
				3	119.6	8.36	297	140	4.0	107
Mean $\pm$ SD				0	93.8 ± 4.5	13.51 ± 5.03	284.1 ± 3.2	141.0 ± 2.2	4.38 ± 0.59	107.8 ± 2.4
				1	124.5 $\pm 9.4^{***}$	12.54 ± 6.37	290.8 $\pm 2.3^{***}$	139.2 ± 1.0	4.11 ± 0.67	109.3 ± 1.7
				2	124.3 $\pm 8.6^{***}$	12.79 ± 7.35	294.4 $\pm 4.7^{***}$	139.2 ± 1.5	4.26 ± 0.67	109.0 ± 3.3
				3	119.3 $\pm 6.7^{***}$	14.00 ± 6.37	295.3 $\pm 3.2^{***}$	138.9 ± 2.6	4.41 ± 0.47	108.3 ± 28

The data are expressed as mean $\pm$ SD with 10 humans in each group. Significant difference from control. (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$)

± 12.0 (mg%), 114.3 ± 16.2 , 119.4 ± 13.8 , 117.6 ± 10.7 로 의의있게 증가는 되었으나 정상범위에 속하였 으며 insulin 치는 13.43 ± 4.04 (μ u/ml), 13.38 ± 6.47 , 14.41 ± 8.98 , 14.71 ± 9.35 로 변화가 없었다(Fig. 1, 2).

Fig. 6. Changes of serum chloride with intraoperative infusion of various solutions (Mean $\pm$ SD).

혈액삼투압은 290.0 ± 6.0 (mOsm/l), 291.7 ± 6.6 , 289.7 ± 9.5 , 290.0 ± 7.2 로 거의 일정하였으며 혈청 sodium은 141.3 ± 2.5 (mEq/l), 139.6 ± 2.2 , 141.2 ± 2.2 , 141.0 ± 4.0 , potassium은 4.88 ± 0.43 (mEq/l), 4.54 ± 0.51 , 4.57 ± 0.48 , 4.44 ± 0.40 , chloride는 108.9 ± 2.3 (mEq/l), 109.2 ± 2.3 , 110.0 ± 2.6 , 109.8 ± 2.6 으로 아무런 변동을 관찰할 수 없었다 (Fig. 3~6).

Table 5는 Elitol®을 10 ml/kg/hour의 속도로 정주한 혈청의 변동이며 혈당의 증가는 93.8 ± 4.5 (mg%), 124.5 ± 9.4 , 124.3 ± 8.6 , 119.3 ± 6.7 , 삼투압은 284.1 ± 3.2 (mOsm/l), 290.8 ± 2.3 , 294.4 ± 4.7 , 295.3 ± 2.9 로 의의있는 상승을 보였으나 정상범위에 속하였다. 그러나 insulin치와 혈청전해질 함량은 아무런 변동이 없었다 (Fig. 1~6).

고 찰

수술환자의 유지수액으로는 금식동안의 energy공급과 단순성탈수에는 5% 포도당용액으로 충분하지만 전해질 이상을 동반한 탈수증, 영양실조, 심한 외상, 화상 shock 등의 경우에는 수액의 선택이 중요시되며 어떤 수액이 이상적인가는 아직도 논란이 되는수가 많다.

Evans¹⁴⁾, Trout¹⁵⁾, Matus¹⁶⁾ 등은 수술환자에서 염류의 공급제한을 주장하였으며, Haden 및 Orr¹⁷⁾, Collier 등¹⁸⁾은 술중 혹은 술후 염류 공급으로 생리적식염수를 추천하기도 하였다. 그러나 Ariel 및 Dremen¹⁹⁾은 다량의 생리적식염수를 투여하여 세포간질액, 혈장량 및 순환혈액량의 증가를 보였으며 수술시에 항상 증가되는 antidiuretic hormone, aldosterone의 영향에 의

하여 세포간질액의 수분 및 sodium의 축적을 초래하여 수술후의 폐수종, 심부전증 및 부종등의 위험한 합병증을 유발하기 쉬우며 술후 sodium 축적과 뇨량 감소의 원인이 되며 염류 결핍환자가 아닌 경우에는 1일 평균 500m/로 제한하는 것이 좋다고 하였다.

수술이나 마취시 수분과 calory의 공급과 지방이나 단백질의 체내분해방지(sparing action), sodium 축적과 수분저류의 방지에 생리적식염수 보다 탁월한 효과를 가진 5% 포도당용액이 유지수액으로 사용되기 시작하였으며 현재까지도 주로 사용되고 있는 실정이다. 장시간의 금식이나 부적합한 수액등으로 인한 저혈당은 의식이 있는 경우에는 창백, 발한, 저체온, 두통 및 실신등을 나타내며 심한 경우 경련과 뇌손상을 동반한 의식소실이 뒤따르며 생화학적 이상조건 특히 고칼륨혈증으로 인한 심장정지와 저혈당증과 고칼륨혈증은 저산소증과 과탄산증을 더욱 악화시키며 마취회복을 극도로 지연시킨다. 정상인의 혈당치는 연령에 비례하여 다소 증가되지만 대체로 공복시 상한치는 전혈에서 110 mg%(혈장 125mg%)이고 식후 2시간치는 120 mg%이며 저혈당의 기준으로 Bowie 등²⁰⁾은 60mg%, Ehrlich²¹⁾은 50 mg%, Cornblath과 Schwartz²²⁾은 40 mg%로 정의하고 있으며 실제 혼란 일은 아니지만 종종 보고되고 있는 실정이다. Thomas²³⁾는 특히 4세 이하의 소아환자에서 오랜 금식으로 인한 저혈당의 위험성을 강조하였으며 Padfield²⁴⁾, Ekström-Jodal 등²⁵⁾은 glycogen이나 지방의 저장에 충분하지 못한 신생아나 미숙아를 제외하고는 6~12시간 정도의 금식으로 성별, 연령 및 금식기간에 따른 혈당의 감소나 차이를 발견할 수 없다고 하였다. 성인 체내에는 300~500 gm의 glycogen이 저장되어 있어서 12시간 정도의 금식으로는 혈당농도를 유지할 수가 있으나 수술이나 마취 및 외상등의 stress가 있을때는 더 많은 energy가 소모되므로 포도당의 주입은 뇌세포나 정상세포의 유지에 꼭 필요하다. 그러나 수술적 stress나 각종 마취제가 혈당 농도를 증가시키는데 많은 영향을 미치고 있는 것^{26~43)}은 잘 알려진 사실이다. George 등²⁶⁾, Stanley 등²⁷⁾, Sebel 등²⁸⁾은 수술로 인한 endocrine-metabolic response로 cortisol의 증가와 고혈당증을 관찰하였으며 high dose opiate anesthesia 즉 "stress-free" anesthesia로 차단할 수가 있다고 보고하였으며 Oyama 및 Takizawa²⁹⁾, Oyama 및 Takiguchi³⁰⁾, Yoshimura 등³¹⁾, MacDonald 등³²⁾은 뇌하수체에서 분비되는 성장 hormone이 성장뿐만 아니라 포도당 및 지방의 이화작용과 단백질 합성대사에 관여하고 있으며

외과적 stress가 있을 때에는 혈장 성장 hormone의 농도가 급격히 상승함을 보고하였다.

수술자제 및 수술을 받아야 하는 질병등의 충격이 우리 체내의 내분비계에 미치는 영향으로는 epinephrine의 분비가 증가되어 간에서의 glycogenolysis의 증가와 과혈당증을 유발하고 근육에서의 포도당 이용도를 떨어트리며 췌장으로 부터 insulin 분비를 증가시킨다. 또 수술등의 충격은 우리몸의 이화작용을 증가시켜 정상인 보다 더 많은 energy를 요구하게 되는데 수술시에는 음식이 필요하므로 그 energy의 원천으로 체세포 단백질과 지방의 이용에 따른 glucose신합성의 항진과 순환 insulin에 길항적으로 작용하게 되어 insulin의 요구량을 더욱 더 증가시킨다. 혈당의 유지는 뇌세포 뿐만아니라 생체의 세포기능 유지와 energy의 기본요소로서 일정한 범위내에서 조절되어야 함은 중요한 일이다. 일반적으로 혈당농도 조절에 관여하는 중요 인자로는 상승된 혈당치를 정상으로 환원시키는 insulin의 분비를 증가시키는 작용과 저하된 혈당치를 상승시키는 glucagon의 분비증가를 들 수 있다. 즉 교감신경계의 작용으로 insulin-glucagon 조절계의 강력한 작용이 수분내에 활성화된다. 실제로 췌장은 혈당치가 상승되면 3분 이내에 문정맥제로 insulin을 유리시킨다. Insulin의 분비조절은 주된 것이 혈당치의 상승에 의한 것이고 amino acid 특히 arginine, lysine 등의 혈중농도 상승과 위장관에서 분비되는 gastrin, secretin, cholecystokinin 등이다. George 등²⁶⁾과 Oyama와 Takazawa 등²⁹⁾은 각종 마취제가 성장 hormone에 미치는 영향을 관찰하였으며 성장 hormone-cortisol계의 작용은 보통 3~4시간 후에 활성화 된다고 보고하였다. Clark³⁰⁾는 1시간의 수술 조작으로는 혈당 및 insulin치의 유의한 변동을 인지하지 못하였으나 Griffith³⁵⁾는 상복부 절제술은 교감신경 자극을 일으켜 혈당을 증가시키나 표면수술은 별 영향이 없다고 보고하였으며 Glick 등³⁶⁾은 급격한 stress에 대한 대사성 반응에 성장 hormone의 분비를 시사하였다. 그러나 외과적 치료에 대한 stress는 epinephrine과 glucocorticoid의 분비를 증가시켜서 과혈당증을 악화시키고 수술중 및 직후에 환자의 16~23%에서 당뇨병을 관찰할 수가 있다. 전신마취제인 chloroform이나 ether는 간에서 glycogen을 고갈시켜서 고혈당을 초래하며 halothane, N₂O, trichloroethylene, methoxyflurane, ethrane, thiopental sodium, muscle relaxant, diazepam 등은 탄수화물 대사나 혈청 insulin치에 영향이 적거나 거의 없으며 단순한 전신마취

그 자체로는 아무런 영향을 미치지 않는다^{34,38,39)}고 한다.

외상을 받으면 catecholamine의 분비는 증가되고 insulin의 분비는 감소되어 일과성인 과혈당이 초래되며 근육에서 amino acid의 유리가 일어나고 지방조직에서는 유리지방산이 대량 나온다. 외상성 shock에서는 수분내에 과혈당증이 발생하여 약 5시간 정도 계속된다. 또 과혈당치는 외상의 정도와 비례하며 혈당치의 감소와 생존율과는 연관성이 있다³⁵⁾고 보고하였다. Scurr와 Feldman 등⁴⁴⁾은 shock 없는 외상에는 과혈당증이 없으며 shock 있는 외상의 대부분에서 과혈당증이 있다고 하였으며 그 원인은 catecholamine 방출에 의한 insulin 감소, 혈류량 감소, 희석현상, 심박출량 감소, 말초혈관 수축 및 세포의 당대사저하등이 원인이 된다고 하였다. Kenep 등⁴⁵⁾과 Mendiola 등⁴⁶⁾은 산모에게 과량의 포도당 투여는 태아의 혈중 insulin의 증가로 신생아 저혈당증의 원인이 되며 포도당이 많이 포함되지 않은 전해질용액을 분만시에 사용하는 것이 태아의 과혈당증이나 저나트륨혈증 및 신생아 저혈당증의 발생을 줄이는 방법임을 강조하며 산모의 혈당은 80~120 mg%를 유지할 것이며 포도당용액의 주입은 6 g/hour 이상을 초과하지 않는 것이 좋다고 하였다. 중증도의 저체온하에서 흉골절개나 bypass시 관류액에 공급된 외인성 포도당이 일부 기인되나 bypass시 당질대사가 현저히 일어나며 혈장 성장 hormone, catecholamine 특히 noradrenaline치가 높으며 insulin 분비 감소 및 말초에서의 포도당 이용 감소등으로 과혈당증을 유발하며 결과적으로 bypass 후 회복기 환자에서 심근기능의 불량을 초래한다²⁷⁻⁴⁶⁾고 하였으며 Fishman⁴⁷⁾은 과혈당증이 뇌압을 상승시켜 국소빈혈 후 뇌손상과 뇌부종을 초래한다고 하였다.

포도당은 삼투효과($mOsm = \text{혈당 } mg\% \div 18$)를 나타내며 세포외액의 sodium이온과 서로 경쟁할 수 있으므로 과혈당증은 세포의 액내의 sodiumion을 희석시키게 되어 혈당이 100 mg% 증가할 때마다 1.6 mEq/l의 sodium 농도 감소로 저나트륨혈증이 나타나게 되며 250 mg% 이상이 되어 당뇨를 일으키게 되면 삼투성이 노작용으로 sodium의 소실이 증가되어 저나트륨 혈증은 더욱 심화될 수가 있다. 그리고 혈당의 증가로 인한 삼투성 이노작용은 potassium 및 phosphorus ion의 과다 소실도 동반하게 되어 이로 인한 혈액량 감소는 renin-angiotensin-aldosterone계를 거쳐 sodium의 재흡수와 potassium, hydrogen ion의 배설을 유발하여 각종 전해질 장애와 세포외액이 과혈당으로 고장

성을 유지하게 되어 세포내탈수가 초래되어 최근에 hyperosmolar nonketotic diabetic coma의 위험성이 대두되고 있다. 또 insulin 분비를 과촉진하여 골격근, 심장근 및 간 등에서 potassium 흡수를 증가시키며 stress의 증가로 mineralocorticoid, antidiuretic hormone의 분비 증가로 인하여 요로 potassium의 배설이 더욱 많아진다⁴⁸⁾. 또한 혈장의 회석과 insulin의 과분비는 혈청 potassium을 더욱 감소시키며 생체에 심한 부작용을 가져올 수 있다⁴⁹⁾고 하였다. 체액이 고장성일 때는 골격근의 수축력은 감소시킨다^{48, 50)}. 심근은 탈수로 인한 세포내 $[Ca^{++}]$ 의 증가로 수축을 촉진시킨다^{51, 52)}. 그러나 등장액의 2~3배 정도의 고장액에서는 점성저항의 증가로 심근의 수축력도 감소된다^{53, 54)}. 일반적으로 수술시에는 과혈당증이 유발되며 유지수액이나 보충수액중의 포도당이 필요 이상 주입되면 혈당치를 더욱 상승시키는 결과를 초래하게 되므로 포도당의 농도를 줄이거나 주입량을 제한하는 것이 현명한 것이며 점차 사용 빈도가 감소되어 가고 있는 추세이다.

Epstein⁵⁵⁾은 수술로 인한 기능적 세포외액(functional extracellular fluid)의 감소와 내재분포(internal redistribution)에 의해서 수분 및 sodium 축적과 요량의 감소를 가져오며^{56~58)} lactated Ringer 용액 또는 Hartmann 용액의 투여로 sodium 축적방지와 요량의 증가를 보았으며 수술후에는 혈장량, 적혈구량 및 세포외액등이 모두 감소하며 당뇨병 이노작용이 있는 경우는 더욱 심하다고 하였다.

생리적 식염수액은 Na 154(mEq/l), Cl 154로서 혈중 sodium이나 chloride보다 높은 농도를 나타내며 energy원은 전혀 없다. 그리고 5% 포도당 용액은 전해질이 전혀 포함되지 않았으며 생체내에서 빨리 대사되어 free water로 변화되기 때문에 세포외액의 삼투압이나 전해질 보충에는 적합하지 못하며 혈장 증량효과도 약 8%에 불과하며 대량투여로 물중독(water intoxication)이 일어날 수 있다.

Lactated Ringer나 Hartmann 용액은 5% 포도당용액이나 생리식염수액 보다 체액 보충에 유리하며 Na, K, Cl, Ca, lactate 등이 포함되어 있으며 PH: 6.5, osmolarity: 273으로 혈중 sodium보다 약간 낮은 농도와 저장성용액이며 급식이나 술전, 술후의 체액 감소와 기능적 세포외액의 보충수액으로 사용되며 소요수혈량의 감소를 일으킨다⁵⁹⁾고 한다. 이러한 이점등으로 유지수액 및 보충수액으로의 사용이 점점 증가되어 가고 있으나 energy원이 전혀 없는것이 결점이라 할 수 있다. Elitol®은 maltose를 함유한 Hartmann 용액으

로서 이당류인 maltose는 insulin의 도움없이 세포내에 들어가서 해당대사 과정이 이루어지므로 수술시에 일어나는 과혈당증의 염려는 없으며 동일한 용량의 포도당액 보다 2배의 energy를 공급할 수 있는 이점과 세포외액이나 체액의 감소를 위한 보충수액으로 유용하며 10~20 ml/kg/hour의 정맥주입으로 혈당상승은 경미하고 당대사의 능력이 저하되어 있으며 insulin수용체가 부족한 상태의 당뇨병환자에게도 무리없이 사용 가능하다^{11~13)}고 한다.

수술중에 수혈이 필요한 경우 CPD-blood가 130~400 mg%(평균 340)의 혈당을 함유하고 있어 대량 수혈시에는 수혈 자체로서도 과혈당을 초래할 수 있으며 혈압상승제인 교감신경흥분성약물은 직접적으로 glycogen 분해와 glucose 신합성을 촉진시키고 간접적으로는 insulin 저항을 증가시켜서 혈당치를 상승시킨다³⁷⁾. Thomas와 Alberti 등⁵⁹⁾은 lactate가 수술을 받는 당뇨병환자에서 glucose 신합성 효과를 증명하였으나 비당뇨성 환자에서는 증가를 관찰하지 못하였으며 만일 증가하더라도 경미한 혈당 증가가 있다고 하였다. 이 실험의 결과를 보면 5% 포도당을 함유한 용액의 정맥주입은 혈당과 insulin치를 현저히 상승시키며 혈청 potassium과 chloride는 의의있는 감소를 보였으나 Elitol®의 정맥주입으로는 별다른 변동을 관찰할 수 없었다. 이상 문헌상의 지견과 이 연구성적으로 보아 수술시 energy공급을 목적으로 포도당수액이 필요한 환자들은 서서히 정주하거나 저농도 포도당 용액이 좋을 것이며 대량수액이 요구되는 환자들은 포도당을 포함하지 않은 균형전해질 용액이나 이당류인 maltose를 함유한 균형전해질 용액의 사용이 가능하다고 사료된다. 그러나 유지수액이나 보충수액은 energy와 수분 및 전해질과 정상범위의 혈당치를 유지하며 세포외액의 전해질 이상, 삼투압 및 insulin분비등에 변동을 초래하지 않는 수액이 이상적이라 사료된다.

결 론

수술을 받는 30명의 환자를 대상으로 하여 수술중 수액으로 혈당을 상승시킬 수 있는 5% 포도당용액(n=10), 포도당을 전혀 포함하지 않는 Hartmann액(n=10)과 2당류인 maltose를 함유한 균형전해질용액(n=10)을 10 ml/kg/hour의 속도로 정주하여 투여전과 투여하면서 1시간, 2시간, 3시간 후의 혈액을 채취하여 혈당치, insulin농도, 삼투압 및 전해질 농도의 변동을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 계획된 수술을 받는 환자들은 8~16시간의 금식으로 저혈당을 초래하지 않았다.

2) 혈당의 상승은 5% 포도당 용액을 투여한 군에서 $88.5 \pm 12.1(\text{mg}\%)$, 257.7 ± 60.8 , 298.8 ± 84.4 , 228.6 ± 75.8 로 유의있는 현저한 증가를 보이는 반면 Hartmann 및 Elitol*군에서는 약간의 증가는 있으나 정상 범위였다.

3) Insulin 농도는 5% 포도당용액 군에서 $14.60 \pm 7.67(\mu\text{u/ml})$, 70.45 ± 37.55 , 143.19 ± 50.32 , 127.71 ± 56.98 로 현저한 증가가 있었으나 다른 두 군에서는 변동이 없었다.

4) Osmolarity 는 Elitol*군이 $284.1 \pm 3.2(\text{mOsm/l})$, 290.8 ± 2.3 , 294.4 ± 4.7 , 295.3 ± 2.9 로 경미한 증가가 있었으나 정상범위였다.

5) 혈청 전해질의 변동은 5% 포도당용액군에서 sodium 은 거의 없었으나 potassium 은 $4.74 \pm 0.55(\text{mEq/l})$, 4.11 ± 0.31 , 3.95 ± 0.41 , 3.89 ± 0.50 , chloride 는 $110.1 \pm 2.9(\text{mEq/l})$, 107.4 ± 2.3 , 106.4 ± 2.7 , 106.3 ± 2.2 로 유의있는 감소를 보였으며 다른 두 군에서는 변화가 없었다.

수술환자에게 energy 의 공급을 목적으로 포도당수액이 필요할 때에는 서서히 정주하거나 저농도의 포도당용액이 좋을 것이며 대량수액이 요구되는 환자들은 포도당이 함유되지 않은 균형전해질용액이나 혈당에 큰 변동을 미치지 않는 이당류인 maltose 를 함유한 균형전해질 용액의 사용이 가능하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- Shapiro BA, Harrison RA, Walton JR: *Clinical application of blood gas*. 2nd ed, Chicago Year Book Medical Publishers, 1977, p95
- Roth E, Lax IC, Maloney JV: *Lactated Ringer's solution and extracellular fluid volume in the surgical patients*. Ann Surg 169:149, 1969
- 藤田達士: Hartmann 療法の實際. 臨床と研究 45:142, 1968
- Moore FD: *Metabolic care of the surgical patients*. Philadelphia, WB Saunders Co, 1957, p126
- Mason EE: *Fluid electrolyte and nutrient therapy in surgery*. Philadelphia Lea & Febiger 1974, p187
- Shires TC, Canizaro PC: *Fluid, electrolyte and nutritional management of the surgical patient*. In principles of surgery. 3rd ed., New York, McGraw-Hill Book Co, 1979, p612
- Fieber WW, Jones JR: *Operative fluid therapy II*. Anesth Analg 46:401, 1967
- Hiatt N, Sheinkopf JA: *Treatment of experimental hyperkalemia with large dosages of insulin*. Surg Gynecol Obstet 133:833, 1971
- Weser E, Sleisenger M: *Metabolism of circulating disaccharides in man and rat*. J Clin Invest 46:499, 1967
- Sprandel U, Bekenkamp PP, Zollinner N: *Utilization of intravenous maltose*. Nutr Meta 19:96, 1971
- Young EA, Weser E: *The metabolism of maltose after intravenous injection in normal and diabetic subjects*. J Clin endocrinol Meta 38:181, 1974
- Yoshikawa K, Oda T: *Metabolism of maltose during surgery in patients with diabetes mellitus under general anesthesia*. Res Exp Med 169:127, 1976
- 河野克彰: 糖質加乳酸リンゲル液の急速性に關する臨牀的検討. 新藥と臨牀 24:1417, 1975
- Evans GH: *The abuse of normal salt solution*. JAMA 57:2126, 1911
- Matus R: *Continuous intravenous drip*. Ann Surg 4:441, 1938
- Trout HH: *Proctoclysis in experimental study*. Surg Gynecol Obstet 16:560, 1913
- Haden RM, Orr TC: *The use of sodium chloride in the treatment of intestinal obstruction*. JAMA 82:1515, 1924
- Coller FA, Dick VS, Maddock WF: *The maintenance of normal water exchange intravenous fluids*. JAMA 107:1522, 1936
- Ariel IM, Dremen AJ: *Compartmental distribution of sodium chloride in patients pre and postoperatively*. Ann Surg 132:1009, 1950
- Bowie MD, Mulligan PB, Schwartz R: *Intravenous glucose tolerance in the normal newborn infant: the effects of a double dose of glucose and insulin*. Pediatrics 31:590, 1963

- 21) Ehrlich RM: *Hypoglycemia in infancy and childhood*. Arch Dis Child 46:716, 1971
- 22) Cornblath M, Schwartz R: *Disorders of carbohydrate metabolism in infancy*. 2nd ed Philadelphia Saunders, 1965, p345
- 23) Thomas DK: *Hypoglycemia in children before operation: its incidence and prevention*. Br J Anesth 46:66, 1974
- 24) Padfield A: *Blood glucose concentrations in children undergoing outpatient dental anesthesia*. Br J Anesth 56:1225, 1984
- 25) Ekstrom-Jordal B, Andreasson S., Larson LE, Nilssen K: *Blood glucose concentrations during anesthesia in children (Effects of starvation and perioperative fluid therapy)*. Br J Anesth 56:375, 1984
- 26) George JM, Reier CE, Lanese RR, Rower JM: *Morphine anesthesia blocks cortisol and growth hormone respons in surgical stress in humans*. J Clin Endocrinol Metab 38:736, 1974
- 27) Stanley TH, Berman L, Green O, Robertson DM, Roizen M: *Fentanyl-oxygen anesthesia for coronary artery surgery: Plasma catecholamine and cortisol responses*. Anesthesiology 51:139, 1979
- 28) Sebel PS, Bovill JG, Schellekens APM, Hawker DC: *Hormonal responses to high-dose fentanyl anesthesia*. Br J Anesth 53:941, 1981
- 29) Oyama T, Takazawa T: *Effects of halothane anesthesia and surgery on GHG and insulin levels in plasma*. Brit J Anesth 43:537, 1971
- 30) Oyama T, Takiguchi M: *Effects of neuroleptanesthesia on plasma levels of growth hormone and insulin*. Brit J Anaesth 42:1105, 1970
- 31) Yoshimura M, Kodana K, Yoshitake J: *Carbohydrate metabolism and insulin release during ether and halothane anesthesia*. Brit J Anaesth 43:1022, 1972
- 32) McDonald RG, Buckner JMM, Deverall PB, Watson DD, Ballint M: *Growth hormone and blood glucose concentrations during cardiopulmonary bypass*. Br J Anaesth 47:713, 1975
- 33) Glick SM, Roth J, Yalow RS, Person SA: *The regulation of growth hormone secretion*. Recent Prog Horm Res 21:246, 1963
- 34) Clarke RSJ: *The hyperglycemic response to different types of surgery and anesthesia*. Br J Anaesth 42:45, 1970
- 35) Griffith MA: *Blood and fluid replacement in major trauma*. III Asian Australasian Congress of Anesthesiologists 1974
- 36) Knobil E, Hotchkiss J: *Growth hormone*. Ann Rev Physiol 47:26, 1964
- 37) Henneman DM, Vandam ID: *The metabolic consequence of epinephrine and insulin during ether anesthesia in man*. Anesth 19:104, 1958
- 38) Greene NM: *Inhalation anesthetics and carbohydrate metabolism*. Baltimore Williams, 1963, p110
- 39) Allison SP, Tomlin PJ, Chamberlain MJ: *Some effects of anesthesia and surgery on carbohydrate and fat metabolism*. Br J Anaesth 41:588, 1969
- 40) Sidker ES, Lipschitz E, Klein R: *Effect of preanesthetic medications on blood level of 17-hydroxy corticosteroids*. Ann Surg 148:88, 1956
- 41) Carter RD, Ball MR, Moore FD: *Stimuli to changes in corticosteroids and metabolism*. Ann Surg 148:199, 1958
- 42) Oyama T, Shibata S, Matsumoto F, Kudo T: *Effect of halothane anesthesia and surgery on adrenocortical function in man*. Canad Anaesth Soc J 15:258, 1968
- 43) Nerin RG, Samuelson PN, Schalch DS: *Major anesthetics and carbohydrate metabolism*. Anesth Analg 50:632, 1971
- 44) Scurr C, Feldman S: *Scientific foundation of anesthesia*. Will Heineman Med Book, 1974, p336
- 45) Kenep NB, Shelly WC, Gabbe SG, Kumar S, Stanley CA, Gutsche BB: *Fetal and neonatal hazards of maternal hydration with 5% dextrose before caesarean section*. Lancet 1:1150, 1982
- 46) Mendiola J, Grykack LJ, Scanlon JW: *Effects*

- of intrapartum maternal glucose infusion on the normal fetus and newborn. *Analg* 61:32, 1982
- 47) Fishman RA: Effects of isotonic intravenous solutions on normal and increased intracranial pressure. *Arch Neurol Psych* 70:350, 1953
- 48) Goldberger E: A primer of water, electrolyte and acidbase syndromas. 7th ed, Lea & Febiger Philadelphia 1986, p73
- 49) Hodgkin AL, Horowicz P: The differential action of hypertonic solution on the twitch action potential of muscle fiber. *J Physiol* 136:17, 1957
- 50) Howarth JV: The behavior of frog muscle in frog muscle in hypertonic solution. *J Physiol* 144:167, 1958
- 51) Koch-Weser J: Influence of osmolarity of perfusate on contractility of mammalian myocardium. *Am J Physiol* 204:957, 1963
- 52) Atkins JM, Wildenthal K, Horowicz LD: Cardiovascular response to hyperosmotic mannitol in the anesthetized and conscious dogs. *Am J Physiol* 225:132, 1973
- 53) Langer GA: The intrinsic control of myocardial contraction ionic factors. *N Eng J Med* 285:1065, 1971
- 54) Nayler WG: Influences of hypertonic solutions on ventricular contractile activity. *Am J Physiol* 201:682, 1961
- 55) Epstein FH, Goodyer AVN, Larson FD, Relman A: Studies of antidiuresis of quiet standing: The importance of changes in plasma volume and glomerular filtration rate. *J Clinical Invest* 30:63, 1951
- 56) Hays MA, Williamson RJ, Heinrich WF: Endocrine mechanism in water and sodium metabolism during operation and convalescence. *Ann Surg* 41:353, 1957
- 57) Decosse JJ, Randall HT, Habits DV, Robers E: The mechanism of hyponatremia and hypotonicity after surgery. *Surgery* 40:27, 1962
- 58) Randall RE J, Papper S: Mechanism of operative limitation in sodium excretion: The role of extracellular fluid volume and adrenal cortical activity. *J Clin Invest* 37:1628, 1957
- 59) Thomas DJ, Aberti KG: Effects of Hartmann solution during surgery in patients with maturity onset diabetes. *Br J Anaesth* 50:185, 1963
- 60) 정정길, 전재규: 5%포도당 수액중 혈당농도 측정과 인체에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. 대한마취과학회지 12:165, 1973