

폐 침수시의 심장 박출량과 혈압의 변동

서울대학교 의과대학 생리학교실

趙 誠 斗 · 南 基 鏞

=Abstract=

Variation of Cardiac Output and Blood Pressure after Flooding Water into Lungs

Sung Doo Cho and Kee Yong Nam

*Department of Physiology, Seoul National University College of Medicine
Seoul, Korea*

Cold (0°C) or warm (25°C) fresh and sea water were flooded into the lungs of rabbits through tracheal canule. Respiratory arrest ensued in 19.5 minutes in the warm fresh water flooded rabbits and was the longest survival time among the experimental groups. The survival times in the other groups were: 2.32 minutes in cold fresh water group, 2.75 minutes in warm sea water group, and 4.57 minutes in cold sea water group. Cardiac output was measured by means of T-1824 dilution technique after 2 or 3 minutes of flooding in 27 rabbits. Blood pressure was observed by mercury manometer throughout the survival time in 40 rabbits.

The following results were obtained.

1. Cardiac output in the warm fresh water flooded and sea water flooded animal was smaller than that of control rabbits. In the cold fresh water flooded animal cardiac output was greater than that of the control animal.
2. Time constants of T-1824 dilution curve of experimental group were elongated than the normal curve.
3. Central blood volume showed an increase in the fresh water group, a decrease in cold sea water group and no change in warm sea water group.
4. In all of the experimental groups arterial blood pressure showed an abrupt and great variations after flooding of lungs and lasted about 30 seconds. Thereafter, arterial pressure remained at a plateau level until the sudden fall to zero and this was almost coincided with the time of respiratory arrest. The plateau level of arterial pressure in fresh water group was about 10 mmHg higher than the control value, and it was lower than the control value in warm sea water group. In cold sea water group the plateau was made up by fluctuations around the control value.
5. Osmosis of water through the lung alveolar membrane occurred in all animals. Fresh water caused hemodilution and sea water caused hemoconcentration.
6. In sea water flooded animal more volume of water was recovered through the tracheal canule than the volume injected into trachea. This was interpreted as the consequence of the shift of water from plasma to alveolar sac.
7. Relative weight of lung was greater in fresh water group than sea water group. In all animal lung edema ensued.
8. The mechanisms of cardiac output variations were discussed.

서 론

동물은 물 속에 잠기게 하거나 기도를 통하여 물을 흡입하게 하면 소위 익사를 발생시킬 수 있는데 동물은 처음에 몸부림치다가 호흡 정지 상태에 들어간다. 그리고 심장 박동은 더 계속되다가 혈액의 전해질 성분 변조로 심실 진전을 일으키면서 박동의 정지로서 사망한다(趙誠斗, 林永伸, 1964). 호흡기도로 물이 들어가면 의식이 있는 동물이나 사람의 10—15% 경우에 후두경련이 일어나서 호흡기도를 폐쇄하는 것이 사망의 원인이라 한다(Cot, 1931). 이 경우에는 익사라 할지라도 허파 속에는 물이 들어가지 않는 상태로 되어 있다. 마취하의 의식이 없는 동물에서도 마찬가지로 일이 일어나며 물이 실제로 허파로 들어가지 않는 현상이 일어난다. 그러나 동물을 물에 담그거나 호흡기도에 물을 주입하여서 익사를 모방한 실험에 있어서 허파의 부종을 대부분 증명하였고(趙誠斗, 林永伸, 1964; Halmagyi, 1961), 폐순환계의 혈압상승을 보고한 것(Colebatch and Halmagyi, 1963)이 있다. 이렇게 익사에 있어서 허파에 변화가 나타나는 것은 어느 경우에 있어서나 물이 적어도 조금은 허파 속으로 들어가야만 할 것이 예상되는데 실제로 개의 익사에서 모든 예에서 허파로 물이 들어간 것을 증명하는 것이 있다(Swann et al., 1947). 즉 허파에 물이 들어가는 결과로 죽은 후 허파의 무게가 대조 동물에 비하여 1.5 내지 2배로 증가하여 폐부종이 있음이 보고되었다(趙誠斗, 林永伸, 1964). 혈압 변동도 익사의 과정의 중요한 변화의 하나이다. 바닷물 익사에 있어서 동맥압의 저하와 정맥압의 가벼운 상승을 보고 한 것(Redding et al., 1960)이 있고, 개 실험에서 동맥압이 115 mmHg 이상으로 상승한 것을 소생시킬 수가 있었는데 50 mmHg 이하로 떨어진 것은 소생시킬 수 없었다 한다(Swann et al., 1947). 극단적으로는 혈압이 떨어지기 시작하는 20 초 전후의 짧은 시간이 동물의 소생 여부를 결정한다고 한다. 이리하여 익사에 있어서 폐의 환기 정지와 혈압의 하강등은 필연적으로 저산소혈증을 초래하며 동물의 의식 상실의 원인이 되고 있다(Craig, 1961).

허파로 들어간 물은 혈액으로 이동 운반되어서 혈액의 희석을 가져온다. 민물은 흡입 후 수분에 총혈액량의 60—150%에 해당하는 다량이 혈액으로 이동한다는 보고가 있는가 하면 총혈액량의 72%에 해당하는 물이 이동하였다는 보고(Swann et al., 1947)도 있다. 바닷물이 폐순환 혈액내로 이동하는 분량은 민물보다 적으며(趙誠斗, 林永伸, 1964) 혈액의 희석도 적다.

허파로 들어가는 물의 온도도 익사 과정에 영향을 미

친다. 익사를 제일 빨리 일으키는 것은 낮은 온도의 민물이 허파로 들어갈 경우이며 따스한 바닷물이 들어갈 경우가 생존 시간이 제일 길었다 한다(趙誠斗, 林永伸, 1964). 이렇게 생존 시간에 차이가 있음은 익사 과정에 대한 생체반응에 차이가 있음을 말한다.

익사 과정을 이렇게 개관하면 혈액의 희석으로 일어나는 혈액 점성의 감소가 예상되며 이것은 심장 박출량을 증가시키는 요인이 된다. 반면에 익사 과정에 있어서 보는 동맥혈압의 하강은 심장 박출량이 감소되었으리라고 추측케 한다. 한편 수분의 이동으로 일어나는 폐부종과 폐순환계의 혈압 상승도 심장 박출량에 영향을 미칠 것이다.

이 논문은 민물과 바닷물을 토끼의 호흡기도에 주입하여서 익사를 모방하고 심장 박출량의 변동을 관찰한 것이며 아울러 혈압의 태도 기타 호흡 등의 변화를 보고하는 것이다.

실험방법

익사 과정을 모방하는 방법으로 넴뷰탈(30 mg/kg) 마취한 토끼의 기관을 열고 기관 카날을 통하여 민물 또는 바닷물을 다량 주입하여 흡입(aspiration)토록 하였다. 토끼 67마리를 5무리로 나누었던 바 대조군 7마리와 4개의 실험군이였다. 제 1군은 5마리의 토끼이며 섭씨 25도의 민물을 20 ml/kg body weight의 비율로 주입하였고(더운 민물군), 제 2군은 5마리의 토끼이며 찬 민물군으로서 0°C의 민물을 10 ml/kg의 비율로 주입한 것이며, 제 3군은 5마리의 토끼로서 따스한 바닷물군으로 25°C의 바닷물 10 ml/kg의 비율로 주입한 것이고, 제 4군은 5마리의 토끼이며 찬 바닷물군으로서 바닷물을 5 ml/kg의 비율로 기관 카날을 통하여 허파에 주입한 것이였다. 물을 기관에 주입하는 기간은 30 초 이내의 비교적 짧은 시간이었으며 그림 1과 같은 장치틀 사용하였다. 물을 주입하는 동안 Y자형 관의

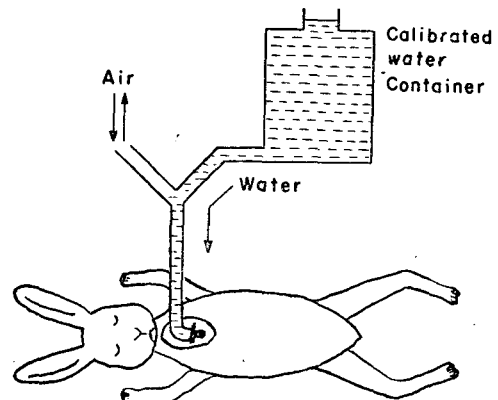


Fig. 1. Preparation of animal.

공기 구멍을 막았으며 주수가 끝난 30 초 후에 물구멍은 막고 공기 구멍을 열면서 이것의 높이를 기관의 높이와 같게 하였다. 그러면 주입되었던 물의 일부가 공기 구멍으로 나오는데 이것을 측정하여 주입량으로부터 제하면 실제로 허파로 들어간 물의 분량이 계산되도록 하였다.

심장 박출량 측정은 T-1824 회석법 (Stewart, 1921; Kinsman et al., 1929)을 사용하였다. T-1824의 0.5% 용액 1.0 ml를 경정맥에 주입하고 경동맥에서 얻은 혈액의 연속 표본으로부터 심장 박출량 계산을 하였으며 T-1824 정량에는 Bausch and Lomb "20" spectrophotometer를 사용하여 파장 620 mμ에서 광학적 농도를 측정하였다. 심장 박출량 계산은 혈장 유통량에 혈장의 trapping factor(Gregersen and Rawson, 1959)를 고려하여 다음의 식과 같이 셈하였다.

$$\text{심장 박출량} = \frac{\text{혈장 유통량}}{1 - (0.96 \times \text{혈구용적})}$$

심장 박출량 측정의 시간적 관계는 물을 기관에 주입하기 시작한 시점을 영 시간으로 잡고 2분 내지 3분에 T-1824를 주입하여 측정하였다. 즉 동물에서 익사 과정이 상당히 진행하였으나 아직 종말기에 이르는 시기는 아니었다.

중심부 혈액량 계산은 Wood 등(Keys et al., 1957)에 따라서

$$V = \left\{ \frac{Q}{60} \times (t_a - t_o) \right\} + \frac{I}{C_p} \text{로 셈하였다.}$$

여기에 V: 중심부 혈액량, $t_a - t_o$: 출현 시간, Q: 일분 동안의 박출량, C_p : 최고 농도, I: 주입한 색소량을 표시한다.

동맥 혈압 측정은 경동맥에 꿰은 동맥 카늘을 통하여 수은 압력계에 연결하고 혈압 변동을 카이모그래프 위

에 기록하였다. 기관에 물을 주입하기 전에 기록한 대조값과 물을 주입한 후의 변동을 대조 비교하였다. 이 실험은 심장 박출량 측정과는 따로이 매 실험군에 10마리의 토끼를 사용하였다.

물을 기관에 주입한 후의 생존 시간 판단은 물 주입을 시작한 후 호흡정지가 일어나기까지의 시간을 잡았다.

혈장 수분 측정은 건조법, 즉 105°C에서 24시간 이상 건조시키고 전후의 무게의 차이로부터 수분량을 계산하였다.

실험성적

심장 박출량: 정상 토끼 7마리의 심장 박출량의 여러 측정치를 제 1 표에 보인다. 1분 동안의 혈장 유통량이 평균 107 ml이었으며 헤마토크릴 비율로부터 계산한 심장 박출량은 179 ml/min이었으며 몸무게 기준으로는 89 ml/min/kg이었다. 중심부 혈액량 (central blood volume)은 평균 20 ml이었으며 체중 기준으로는 10 ml/kg이었다. 색소 회석곡선의 특징으로는 출현시간(apperance time)이 3.0 초, 통과시간 (passage time)이 14.6 초, 재순환시간 (recirculation time)이 10.8 초, 최고농도시간(peak concentration time)이 2.9 초이었다.

호흡기도를 통하여 물을 흡입한 토끼의 심장 박출량 변동을 제 2 표와 제 2 도에 보인다.

각 실험군은 5마리의 토끼에서 얻은 값을 보이는 것인데 찬 민물군에서 심장 박출량이 증가하였으며 기타의 실험군에서는 모두 대조값 보다 감소를 보였다. 실험군의 회석곡선의 출현시간이 대조값보다 모두 연장되었고 그 밖의 통과시간, 재순환시간 및 최고농도시간도 모두 연장을 보였다. 중심부 혈액량은 찬 바닷물군에서만 감소를 보였고 다른 실험군에서는 대조값보다 모두 증가를 보였다.

Table 1. Cardiac output in normal rabbits N=7

No.	Body weight (kg)	Hct. (%)	Plasma flow (ml/min)	Cardiac output		Dilution curve				Central blood volume (ml)	C.B.V./B.W. (ml/kg)
				(ml/min)	(ml/kg/min)	Appearance time (sec.)	Passage time	Re-cir-time (sec.)	Peak Co-ncent time(sec.)		
1	1.74	45	110.2	195.8	112.5	2.6	10.1	9.0	2.6	20.2	11.6
2	2.05	35	106.5	160.3	78.2	3.4	17.0	14.0	2.5	19.	9.2
3	2.17	49	93.2	176.1	80.9	2.8	16.3	11.2	3.6	19.4	8.9
4	2.30	39	108.4	173.2	75.3	2.8	14.5	11.8	3.7	21.3	9.2
5	2.00	38	128.5	202.3	101.2	3.4	15.5	11.2	2.3	22.6	11.3
6	2.00	40	109.5	177.8	88.9	3.3	15.1	10.5	2.7	17.8	8.9
7	1.90	45	97.5	172.0	90.5	2.8	13.9	8.5	2.6	24.4	12.8
Mean	2.020	49.0	107.7	179.6	89.6	3.0	14.6	10.8	2.9	20.6	10.2
S.D.	0.185		11.1	14.5	13.0	0.3	2.2	1.8	0.6	2.25	1.5
S.E.	0.070		4.2	5.5	4.8	0.1	0.8	0.7	0.2	0.8	0.6

Table 2. Cardiac outputs, time constants of dilution curve and central blood volumes in normal and water aspirated rabbits

Group	Hct (%)	Dye injection time (min)	Cardiac output		Time constants				Central blood vol.	
			ml/min	ml/min/kg	Ap time	Pa time	Recicl time	Peak time	ml	ml/kg
Control (N=7)	42.0		179±14.5	89±13.0	3.0±0.3	146±2.2	10.8±1.8	2.9±0.6	20.5±2.25	10.2±1.5
Warm fresh water group (N=5)P	33.2	3.02	134±23.3 <.01	66±11.2 <.01	6.2±1.9	20.0±7.9	10.5±2.8	2.9±1.4	29.3±7.0 <.05	12.4±4.0 <.30
Cold fresh water group (N=5) P	39.0	1.79	240±66.9 <.05	119±32.4 <.05	4.5±1.3	15.8±3.8	11.1±1.8	4.4±1.2	30.6±6.0 <.01	15.2±2.5 <.01
Warm sea water group (N=5)P	35.8	1.99	156±15.9 <.05	68±14.4 <.05	4.5±2.1	24.3±5.2	15.5±2.7	3.9±1.5	25.9±5.4 <.05	10.9±1.7 insig
Clod Sea water group (N=5)P	39.6	1.85	84±10.6 <.01	43±4.2 <.01	5.6±0.5	21.4±10.5	18.7±9.1	2.5±0.5	16.4±4.8 <.10	7.3±2.3 <.05

Values are Mean±S.D.

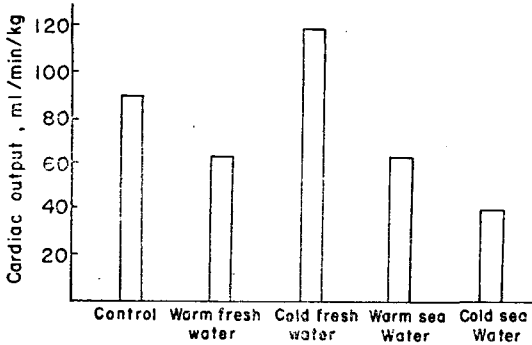


Fig. 2. Variations of cardiac output in rabbits flooded with water into lungs through tracheal canule. Figures are in ml/min/kg.

더운 민물군의 심장 박출량은 134 ml/min 또는 66 ml/min/kg로서 대조값보다 작았고(각각 P<.01, P<.01), 회색곡선의 출현시간이 6.2초, 통과시간이 20.0초, 재순환시간이 10.5초, 최고농도시간이 2.9초이었다. 중심부 혈액량은 29.3 ml 또는 12.4 ml/kg로서 대조값보다 증가되었다(각각 P<.05 및 P<.30).

찬 민물군에서는 심장 박출량이 240 ml/min 또는 119 ml/min/kg로서 대조값보다 증가되었으며(각각 P<.05 및 P<.05), 다른 실험군과는 달리 증가를 보인 유일한 것이다. 그러나 색소 회색곡선의 시간적 지연을 보이는 태도는 다른 실험군과 같았으며 다만 지연의 정도는 적었다. 즉 출현시간이 4.5초, 통과시간이 15.8초, 재순환시간이 11.1초, 최고농도시간이 4.4초이었다. 중심부 혈액량은 30.6 ml 또는 15.2 ml/kg로서 증가를 보이었다(각각 P<.01 및 P<.01).

더운 바닷물군에서 심장 박출량이 156 ml/min 또는 68 ml/min/kg로서 감소를 보이었고(P<.05 및 P<.05),

회색곡선의 출현시간이 5.2초, 통과시간이 24.3초, 재순환시간이 15.5초, 최고농도시간이 3.9초로서 모두 지연을 보였다. 중심부 혈액량은 25.9 ml 또는 10.9 ml/kg로서 증가 되었다(각각 P<.05 및 P: insignificant).

찬 바닷물군에서 심장 박출량이 84 ml/min 또는 43 ml/min/kg로서 감소가 제일 심하였으며(각각 P<.01 및 P<.01), 색소 회색곡선의 출현시간이 5.6초, 통과시간이 21.4초, 재순환시간이 18.7초, 최고농도시간이 5.6초로 모두 지연을 보였다. 중심부 혈액량은 16.4 ml 또는 7.3 ml/kg로서 감소를 보인(각각 P<.10 및 P<.05) 유일한 것이었다.

혈압: 물을 기관에 주입하여 일어나는 혈압의 변동을 제 3도에 보인다. 대체로 물 주입 직후에 상하 변동이 잦게 일어나며 30초 내지 40초를 지나면 잦은 변동이 없어지고 마지막으로 혈압이 영으로 떨어졌다.

더운 민물군에 있어서 물을 주입하기 전에 100 mmHg 내외의 경동맥 혈압을 유지하였으나 물을 주입하면 즉시 혈압이 약간 하강하다가 약 5초 후 부터는 급격한 상승과 하강이 30~60초에 이르는 사이에 몇번 되풀이되다가 그 후는 대조값보다 10 mmHg 가량 높은 값을 유지하여 13-33분에 갑자기 혈압이 영으로 떨어졌다. 찬 민물군의 변동도 초기 몇십초 동안의 급격한 상승진동 후에 대조값 보다 높은 값을 유지하다가 2분 이내에 갑자기 영으로 떨어졌다. 더운 바닷물군에서는 물 주입 후에 혈압이 대조값보다 높아지는 일은 없었으며, 초기의 급격한 상승진동후 대조값보다 낮은 수준으로 있다가 2분 이후에 갑자기 영으로 떨어졌다. 찬 바닷

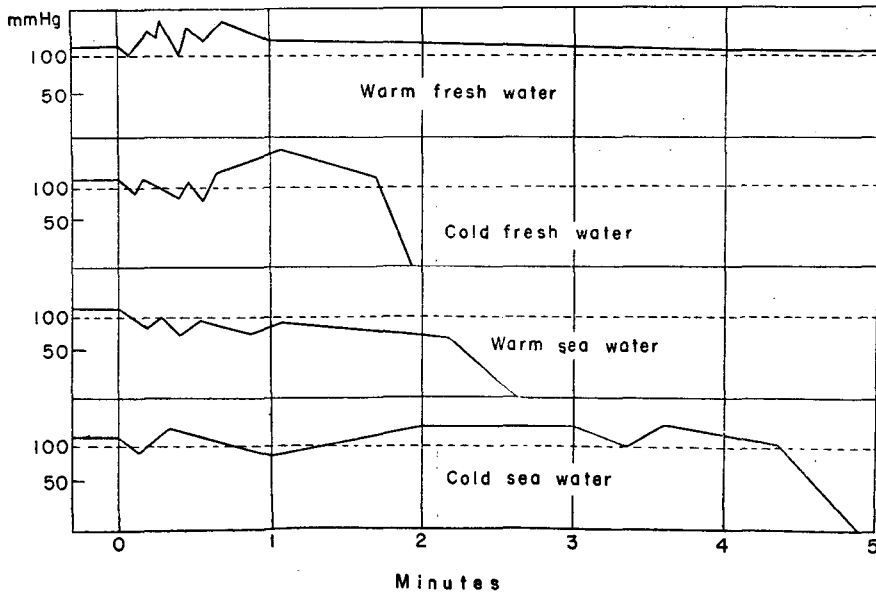


Fig. 3. Blood pressure during flooding in rabbits.

물군에서는 물 주입 후 대조값을 중심으로 비교적 서서한 상하 변동이 있었으며 3 내지 7분 사이에 혈압이 영으로 떨어졌다. 모든 실험군에 있어서 영으로 떨어졌던 혈압이 다시 조금이라도 상승하는 일은 없었다.

물의 흡입량과 허파의 무게 및 혈장 수분량: 물을 기관 카늘을 통하여 허파로 주입한 분량이 체중 매 킬로그램 당 20 ml(더운 민물), 10 ml(찬 민물, 더운 바닷물), 5 ml(찬 민물) 등과 같이 토끼의 허파 용량에 비하여 엄청나게 커서 넘쳐흐르는 것이었는데 민물의 경우에는

되풀리 나온 분량이 주입량보다 적어서 허파에는 밖에서 주입한 물이 들어갔다고 생각되며, 바닷물을 주입한 경우에는 주입 후에 기관 카늘로부터 되풀리 나온 분량이 주입량보다 커서 허파를 경유하여 체내의 수분을 뺀 결과로 보였다. 이러한 수분 이동의 결과로 허파의 부피와 무게의 변화 내지는 부종의 발생을 볼 수 있었고 혈장 수분량의 변화환이 관찰되었다.

더운 민물을 주입한 경우의 수분 이동의 모양을 제 3 표에 보인다. 토끼 10 마리의 실험에 있어서 주입량이

Table 3. Amount of water flooded into and recovered from trachea, lung weight and plasma water content in the warm fresh water aspirated rabbits

No.	Body weight (kg)	Lung weight		Water amount, ml			Plasma water (%)	
		(gm)	(% b.wt.)	Flooded	Recovered	Net aspiration	Control	After flood
31	2.0	12.24	0.61	44	2	42	93.60	94.73
32	2.4	22.08	0.92	81	31	50	92.58	93.70
33	2.0	16.05	0.80	60	9	58	93.40	94.30
34	2.3	15.79	0.67	50	0	50	91.71	92.96
35	2.1	17.40	0.87	48	7	33	92.45	92.97
36	2.0	20.55	1.02	100	43	57	92.81	93.53
37	2.0	13.00	0.65	40	0	40	92.92	93.88
38	2.0	15.10	0.71	45	2	43	92.70	93.72
39	2.2	12.3	0.57	40	0	40	92.59	93.26
40	2.0	16.1	0.80	55	9	46	92.47	93.64
Mean	2.1	17.0	0.76	55.5	10.3	45.2	92.72	93.67
S.C.			0.10	6.3	14.3	7.9	0.52	0.53
S.E.M.			0.03	2.0	4.5	2.4	0.18	0.16
P								<.01

Table 4. Amount of water flooded into and recovered from trachea, lung weight, plasma water content and survival time of water aspirated rabbits. Each group is consisted of 10 rabbits

Group	Lung Weight		Water amount, ml			Plasma water, %		Survival time (min)
	gm	% b.wt.	Flooded	Reco- vered	Net aspir- iration	Control	After flood	
Warm fresh water P		17.0	0.76 (±0.10)	55.5 (±6.3)	10.3 (±14.3)	45.2 (±7.9)	92.72 (±0.53)	19.5 (±6.33)
Cold fresh water P	14.6	0.72 (±1.35) insig	44.4 (±20.4)	6.9 (±5.28)	37.5 (±13.8)	92.69 (±0.51)	93.93 (±0.80)	2.32 (±831)
Warm Sea water P	13.0	0.62 (±1.08)	35.4 (±8.7)	49.6 (±9.4)	-14.2 (±5.1)	92.92 (±1.10)	91.48 (±1.92)	2.75 (±0.866)
Cold Sea water P	11.2	0.56 (±0.490) insig	18.1 (±6.1)	27.4 (±8.0)	-9.3 (±4.2)	93.12 (±0.60)	92.29 (±0.69)	4.57 (±1.58)

Values are Mean±S.D.

평균 55.5 ml 이었는데 기관으로부터 10.3 ml 가 되풀러 나와서 정미 45.2 ml 가 토끼의 몸속에 머무는 결과가 되었는데 허파의 무게는 0.76 % 체중이었다. 혈장 수분량은 주입전 대조값 92.72%에 대하여 주입후에 93.67 %로 증가되었으며($P < .01$), 허파를 통하여 삼투질 농도가 영인 민물이 혈장으로 이동하였음을 반영한다고 하겠다.

여러 실험군의 주입된 물의 이동의 모양을 제 4 표에 일괄하여 보인다. 찬 민물군의 10 마리 토끼에 있어서 주입된 분량이 평균 44.4 ml 이었는데 되풀러 나온 물의 분량이 6.9 ml 로 정미 37.5 ml 의 물이 토끼 호흡기에 머물러 있는 결과가 되었다. 허파의 무게는 0.72 % 체중이었으며 혈장의 수분량은 대조값의 92.69 %에 비하여 93.93 %로 증가를 보이었다($P < .01$). 더운 바닷물군에서는 35.4 ml 의 물이 주입되었었는데 되풀러 나온 분량이 이보다 14.2 ml 이 더한 49.6 ml 이었다.

본시 호흡기도나 폐포에는 표면에 얇은 액체의 막만이 있으며 다량의 물은 있을 수 없는 것이므로 되풀러 나온 액체의 상당한 부분은 혈액으로부터 이동된 것이라 생각하는 도리 밖에 없다. 허파의 무게는 0.62 % 체중으로서 민물군의 값보다 큰 것이었다. 혈장 수분량은 수분의 폐포쪽에서의 이동을 반영하여서 도리어 감소를 보이었다. 즉 대조값의 92.92 %에 비하여 주입 후에는 91.48 %로 감소를 보이었다($P < .01$). 찬 바닷물군에서는 주입량 18.1 ml 에 대하여 27.4 ml 가 되풀러 나오므로써 토끼의 혈액으로부터 유래하는 액체의 분량이 9.3 ml 에 이르렀다. 허파의 무게는 제일 심한 감소를 보이어서 0.56 % 체중에 지나지 않았으며 혈장 수분량도 대조값

의 93.12 %로부터 92.29 %로 감소를 보이었다($P < .01$).

생존 시간: 호흡 정지를 목표로 한 생존시간을 제 4 표에 보인다. 호흡 정지가 일어나는 시간은 앞서 관찰한 혈압의 변동과 대략 같은 시간 경과를 보이었다. 더운 민물군의 생존시간이 제일 길었으며 평균 19.5 분이 었다(범위는 12 분 내지 33 분). 기타의 실험군의 생존 시간은 이것보다 모두 유의하게 짧은 것이었다. 즉 찬 민물군이 2.32 분(범위 0.83 분 내지 3.55 분)으로 단축 되었으며, 더운 바닷물군이 2.75 분(범위 1.33 분 내지 4.25 분)이었고 찬 바닷물군은 이보다 연장된 ($P < .01$) 4.57 분이였다. 그러나 찬 민물군과 찬 바닷물군 사이의 생존시간 차이는 유의하지 않았다. 즉 민물에서는 온도가 낮은 것이 생존시간의 단축을 가져오며 바닷물에서는 온도가 낮은 것이 도리어 생존시간의 연장을 가져오는 결과를 보였다.

고 찰

이 실험은 토끼의 기관을 통하여 호흡기에 민물 또는 바닷물을 넘쳐 흐르게 대량 주입하고 사망에 이르는 과도기의 심장 박출량과 혈장 수분량의 변동을 주로 관찰한 것인데 그 성적을 개관하면 다음과 같다. 기관에 물을 주입하여 호흡기도가 완전히 폐색되기 시작한 시간 부터 2 분 내지 3 분의 과도기에 있어서 찬 민물이 주입된 실험군의 심장 박출량이 대조군보다 컸으며 다른 실험군에서는 감소를 보이었다. 동물이 죽은 후에 관찰한 허파의 무게는 민물군이 바닷물군보다 컸으며 폐부 중이 민물군에서 일어났음을 가리킨다. 그러나 호흡 정

저를 목표로 한 생존시간은 심장 박출량의 변동이나 허파의 부종이 제일 심한 더운 민물군이 제일 길었다. 허파의 무게가 변화하였음은 폐포막을 통하여 밖에서 주입된 물과 혈장 사이에 수분 이동이 있었음을 말하는 것으로 혈장 수분량의 변동이 이것을 잘 나타내고 있다. 민물을 주입한 실험군에서는 물이 혈장쪽으로 이동하여서 혈장 수분량의 감소를 보이었다. 또한 혈장 수분량의 증가가 있었으며 바닷물을 주입한 실험군에서는 물은 혈장으로 부터 폐포쪽으로 삼투 이동하여서 혈장 수분량의 감소를 보이었다. 바닷물 주입의 경우에 보는 수분 이동의 모양은 기관으로 주입한 분량보다도 오히려 많은 분량의 수분이 되풀러 나온 것으로 잘 나타나 있다. 이렇게 허파에 물이 짝 차면 저산소혈증(hypoxemia)을 일으켜서 죽음에 이르나 그 도중의 과도기에 있어서는 허파에서의 수분의 이동 등이 일어나며 중심부 혈액량의 변화가 초래되는데 심장 박출량은 직선적으로 감소만이 계속되다가 사망하는 것이 아니고 찬 민물군에서는 도리어 일단 증가하는 시기가 있다 하겠다.

심장 박출량의 정상 대조값으로 179 ml 또는 89 ml/kg 란 값을 얻었는데 같은 방법으로 T-1824 회색범으로 측정 한 값(申鉉卓, 1964)과 일치한다. 중심부 혈액량 20.6 ml 또는 10.2 ml/kg 의 값도 다른 보고(申鉉卓, 1964)와 일치한다. 이러한 토끼에 기관을 통하여 물을 허파에 주입함은 폐포내압을 올리는 결과와 같다고 하겠다. 공기가 자유로이 허파에 드나드는 경우에는 폐포내압이 일기압을 중심으로 양압과 음압의 시기를 되풀이 하는 것이 정상 호흡인데 이 실험같이 일정한 높이의 물기둥 압력이 작용함은 양압이 계속 작용하는 것과 같다. 申(1964)에 의하면 토끼 허파속에 20 mmHg 의 양성 압력을 유지하는 경우에 심장 박출량이 현저하게 감소함을 보았다. 저자의 실험에서 폐포막을 통과하는 수분의 이동을 제외한다면 앞서의 申의 실험과 같이 심장 박출량이 모두 감소하여야 할 것이다. 그러나 찬 민물군 토끼에서는 심장 박출량이 도리어 증가되었으므로 물을 허파에 주입하여 일어나는 심장 박출량 감소는 단지 폐포내압의 계속적 양성화만으로는 설명이 아니 된다. 더구나 申의 실험에서는 중심부 혈액량이 감소되었는데 저자의 실험에서는 찬 바닷물군에서만 감소가 있었다. De Bono 와 Caro (1963)에 의하면 폐포내압의 상승에 따라서 폐동맥압의 상승이 있다고 하며 Halmagyi 와 Colebatch (1961)에 의하면 물을 흡입한 동물의 폐동맥압이 상승함이 보고되었다. 폐포내압의 상승은 폐순환계 혈관을 압박하여 혈류저항의 증가를 초래할 것이며 여기에 맞서서 일어난 폐동맥압의 증가가 작용하면 심장 박출량은 증가되거나 먼저와 같은 값을 유지할 수도 있을 것이다.

물을 주입한 후에 심장 박출량 증가를 나타낸 것은 찬 민물군만이었는데 이 실험군의 혈압 변동이 다른 실험군과는 달리 30 초 후부터 1 분 30 초에 이르는 사이에 경동맥 혈압이 대조값보다 높은 값을 유지했는데 폐동맥혈압이 계통순환인 경동맥압과 같이 변동이 있었고 폐순환계의 혈류저항에 큰 증가가 없었다고 하면 심장 박출량의 증가가 어느 정도 설명이 가능하기도 하다. 즉 찬 민물군의 중심부 혈액량이 15.2 ml/kg 로서 대조군의 10.2 ml/kg 에 비하여 월등하게 또한 여러 실험군 가운데서 제일 많이 증가하였는데 이 실험군의 심장 박출량 증가를 뒷받침하는 자료(鄭永錫, 1959a)의 하나이다.

색소 회색곡선의 여러 시간 정수가 대조군에 비하여 상당한 지연을 보인 것이 모든 실험군의 특징인데 심장 박출량 증가를 보인 찬 민물군에서는 시간 정수의 연장 지연이 거의 나타나지 않았다. 이 실험군에서는 색소의 출현시간만이 약간 연장되었으나 통과시간은 대조값과 거의 같았고 최고농도시간의 연장이 있었으므로 곡선은 조금 서서히 상승하였다가 급격히 하강하는 경과를 취하였다. 이러한 회색곡선의 시간 경과와 중심부 혈액량의 증가 및 폐포내압 상승으로 나타나는 폐동맥압의 상승 등이 겹쳐서 찬 민물군의 심장 박출량증가가 있었다고 보겠다.

심장 박출량에 대한 헤마토크릴 비율의 영향도 고려하여야 한다. 이 실험의 대조군 토끼의 헤마토크릴 비율이 42.0 %인데 비하여 실험군에서는 모두 이보다 낮았는데 이것은 심장 박출량의 증가를 가져와야만 한다. 鄭에 의하면 사람(1959a)이나 토끼(1959b)에 있어서 헤마토크릴 비율이 낮을수록 심장 박출량이 증가함이 보고되었는데 그 기전이 가장 중요한 것은 헤마토크릴 비율이 낮은 혈액의 점성(viscosity)이 적으므로 혈액 유통의 저항이 적어지는 것이라 한다.

그렇다면 저자 실험군 토끼의 헤마토크릴 비율이 낮은 것은 심장 박출량을 증가시키는 요인이 되었어야 할 것이다. 찬 민물군에서는 이것이 심장 박출량 증가의 요인으로 첨가되었고 다른 실험군에서는 감소의 요인들이 컸었다고 보겠다.

물을 허파속에 주입하여 양성 허파속 압력을 유지한 결과는 정맥환류를 방해하여 심장 박출량 감소를 가져온다. 폐내압의 상승은 정맥압을 높여서 혈관계안의 여과압의 증가를 결과하여 수분이 혈관밖으로 이동하고 (Pappenheimer and Soto-Rivera, 1948) 정맥혈의 환류 장애가 야기되고 가로막이 뱃쪽으로 밀리어 내려가서 뱃속 압력의 상승도 함께 초래하게 되어 더욱더 정맥혈의 환류장애가 와서 정맥혈의 침체와 혈장 수분의 상실을 초래하게 된다고 한다(Sobel et al., 1959). 혈장 수

분의 감소는 혈액 점성의 증가를 가져오므로 이것과 환류량 감소가 합하여 심장 박출량 감소를 초래하게 될 것이다. 이렇게 보면 혈장의 수분량 변동도 심장 박출량에 영향을 준다.

혈장 수분량은 민물군에서는 증가하여서 혈액의 희석을 초래하였고 바닷물군에서는 감소하여서 혈액의 농축을 초래하였는데 기관을 통하여 허파로 주입된 물의 삼투질 농도가 이러한 태도를 결정짓는 것이다. 폐포막을 경유하여 수분의 삼투 이동이 일어난 것으로서 삼투질 농도가 영인 민물을 주입하면 수분은 삼투질 농도가 높은 혈장쪽으로 삼투 이동하는 고로 혈장 수분량의 증가가 초래된 것이며 바닷물은 삼투질 농도가 혈장의 3배 이상으로 높은 것이므로 수분이 혈장으로부터 폐포로 이동해 나온 것이다. 바닷물 주입으로는 몸에서 수분을 뱉고 혈액의 농축을 초래한 것이다. 그러므로 바닷물을 기관을 통하여 허파에 주입하였을 경우에는 기관으로 되흘러 나온 수분량이 주입량보다도 큰 결과가 되었던 것이다. 민물을 주입한 동물에서는 이런 일은 없었으며 물의 삼투가 일어난 것을 표현하고 있다.

혈액의 농축은 심장 박출량의 감소를 초래하며 혈액의 희석은 박출량의 증가를 초래하는 것인데(鄭永錫, 1959a), 바닷물 주입군에서는 이러한 원리에 맞게 심장 박출량의 감소가 나타났다. 그러나 민물 주입군 가운데 더운물군에서 감소하였는데 이것은 위의 원리와 맞지 않는 일이다. 찬 민물군에서 심장 박출량이 증가한 것은 혈액 희석의 한가지 반영이라 할 수 있겠다.

이상의 고찰을 통하여 심장 박출량의 변동 설명을 시도하였으나 만족하게 설명이 아니된다. 그것은 폐포내압의 증가, 중심부 혈액량의 변동, 혈액의 농축 또는 희석, 헤마토크릴 비율의 차이 등만으로는 설명이 불가능하다는 것이다.

여기에 폐부종을 고려하여야 사례를 좀더 잘 고찰하는 것이 될 것이다. 앞서 저자가 보고한 실험(趙誠斗, 林永伸, 1964)에 의하면 허파의 무게가 증가한 것은 이 실험의 성격과 같은 것이며 정상 토끼의 허파 무게보다 훨씬 증가한 것이었다. 허파에 물을 들이 빨아서 죽은 토끼의 허파를 육안적으로 보면 기관지 내에 거품 혹은 장막하의 폐기종 같은 기포 등이 있으며 허파의 부피가 현저하게 증가되었고 현미경으로 검색하면 바닷물이나 민물의 어느 경우에도 반드시 부종이 증명되었다. 폐 출혈은 바닷물군에서만 볼 수 있었고 민물군의 폐 출혈은 경미하였으며 폐포벽의 파열이 민물이나 바닷물의 구별없이 나타났었다. 그러나 허파의 변화에 관하여는 이론도 있는 것으로 Halmagyi (1961)는 민물을 주입한 쥐의 허파에서는 변화가 없었고 바닷물 주입의 경우에만 폐 출혈과 폐 부종이 나타났다고 한다. Redding

(1961)은 바닷물이 혈장보다 삼투질 농도가 훨씬 높으므로 혈장 수분이 허파쪽으로 많이 이동하여 폐부종이 심하게 일어난다고 한다. 이밖에 사람 15명의 민물 및 바닷물 익사자에서 Swann (1960)은 폐 부종을 예의없이 관찰하였다.

동물이나 사람에서 폐 부종은 울혈성 심장부전의 경우에 발생하는 것은 다 아는 바와 같다. 동물에서 실험적으로 울혈성 심장부전을 발생하여 폐 부종이 일어났을 경우에 심장 박출량이 감소되는 것이 보고되었고 사람의 임상에서도 폐 부종을 가지는 환자의 심장 박출량이 감소됨이 보고되어 있다 (Stead et al., 1948; 李聖浩 등, 1962). 이와 같은 경우는 비교적 만성적인 시간 경과를 가지는 일로서 저자의 실험의 폐 부종이 단지 몇분이라는 짧은 시간에 나타난 것과는 시간적 차이가 크다. 그러나 폐 순환계에 울혈을 일으키고 마지막 현상으로서 부종을 일으킨 일은 같다고 할 수 있다. 그렇다면 저자의 실험에 있어서 허파에 물을 대량으로 주입하여 폐 부종을 일으킨 동물의 심장 박출량이 감소함은 사리에 맞는 일이라 하겠다. 그러나 찬 민물을 주입한 토끼의 심장 박출량은 도리어 증가되었던 일을 폐부종의 발생으로는 설명할 도리가 없다. 이 실험군에서는 앞서도 고찰한 혈액의 희석이 심장 박출량 증가의 주요한 요인이라 생각된다.

이리하여 각 실험군에서 일어난 일을 요약하면 다음과 같다. 더운 민물군은 생존 기간이 길었으며 물이 혈장으로 이동하여 혈장 수분량의 증가를 초래하면서 폐 부종을 발생하였다. 혈압은 19.5분의 생존 기간 중 대조 값보다 10 mmHg 가량 높은 값을 계속 유지하였고 심장 박출량은 대조군보다 적었다. 중심부 혈액량은 증가되었으며 색소 희석곡선의 시간 정수가 일반적으로 지연되었다. 찬 민물군의 심장 박출량은 대조군보다 도리어 증가된 것이어서 이 실험의 4개 실험군 가운데서 특이한 것이었으나 그 해석은 잘 할 수가 없었다. 혈장 수분량의 증가가 원인의 하나로도 생각되었으며 폐 부종이 발생한 일과는 상치되는 현상이다. 호흡 정지를 목표로 한 생존 기간은 2.32 초로서 짧았으며 동맥 혈압도 이와 대략 병행하여 영으로 되었다. 중심부 혈액량의 증가, 색소 희석곡선 시간 정수의 연장 등은 민물을 주입한 실험에 공통된 일이었다.

바닷물을 허파에 주입하면 수분이 혈장으로부터 폐포로 이동하여 혈장 수분량의 감소를 가져왔고 호흡 정지도 2.75 분(더운 바닷물) 또는 4.57 분(찬 바닷물)에 일어났다. 허파의 무게 증가가 민물군보다 적었으며 중심부 혈액량은 대체로 감소를 보이었다. 심장 박출량은 감소를 보이었으며 동맥 혈압은 호흡 정지가 일어나는 시기에 갑자기 영으로 떨어졌다. 온도가 낮은 바닷물이

심장 박출량 감소를 더 크게 일으켰으나 생존 기간은 오히려 길었다.

결 론

토끼의 기관을 통하여 대량의 물을 허파에 주입하여 익사를 모방하고 호흡 정지가 일어나기까지의 몇분 동안에 심장 박출량, 동맥 혈압등을 측정하였다. 모두 67 마리의 토끼를 사용하였으며 심장 박출량 측정에는 T-1824 회석곡선 기록을 27(대조군과 4 실험군) 마리에서 하였고, 경동맥 혈압 관찰은 수은 압력계를 사용하여 카이모그라프에 기록하였는데 40(4 실험군)마리를 사용하였다.

찬물(0°C)과 더운물(25°C) 및 민물과 바닷물의 4개 실험군으로 나누어 실험하였으며 다음과 같은 성적을 얻었다.

1. 심장 박출량은 더운 민물, 찬 바닷물 및 더운 바닷물을 주입한 동물에서 감소를 보이었는데 찬 민물을 주입한 토끼에서는 도리어 증가를 보였다.
2. T-1824 회석곡선의 시간 정수는 어느 실험군에서나 연장을 보였다.
3. 중심부 혈액량은 민물군에서는 증가를 보이고 찬 바닷물군에서는 감소를 보이었으며 더운 바닷물군에서는 변화가 없었다.
4. 호흡 정지를 목표로 한 생존 기간은 더운 민물군이 19.5분으로 제일 길었고 다른 실험군은 2.32 내지 4.57분 사이에 있었다.
5. 경동맥 혈압의 변동은 초기에 심한 변동이 약 30초 계속되고 그 후에는 대체로 같은 값을 유지하다가 호흡 정지의 시기와 대략 일치하여 갑자기 영으로 떨어졌다. 초기 변동후의 혈압의 태도는 민물군에서는 대조값보다 낮은 값을 유지하였으며 찬 바닷물군은 대조값을 중심으로 상하 변동이 있었다.
6. 폐포막을 통하여 수분의 삼투 이등이 있었다. 민물은 혈액으로 이동하여 혈액회색을 일으켰고, 바닷물 주입에서는 수분이 혈장으로부터 나와서 혈액농축을 일으켰다.
7. 위의 결과로 바닷물을 주입하면 기관을 통하여 되 흘러 나온 수분량이 주입량보다 많았다.
8. 허파의 무게가 민물군이 바닷물군보다 컸으며 모든 실험군에서 폐 부종을 일으킨 것이라 생각되었다.
9. 심장 박출량 변동의 기전을 고찰하였다.

REFERENCES

趙誠斗, 林英伸: 익사 상태에 있어서의 순환 및 호흡기능에 관한 실험적 연구, 해군 군의단지, 9:45, 1964.

鄭永銖: *Cardiac output in chronic post-hemorrhagic anemic men.* 綜合醫學 4:1171, 1959.

鄭永銖: *Cardiac output in chronic post-hemorrhagic anemic rabbits.* 綜合醫學 4:1178, 1959.

Colebatch, H.J.H., and F.J. Halmagyi: *Reflex pulmonary hypertension of fresh-water aspiration.* *J. Appl. Physiol.* 18:179, 1963.

Cot, C.: *Les Asphyxies accidentelles.* Paris, Norbert, Malione, 1931,

Craig, A.B. Jr.: *Causes of loss of consciousness during underwater swimming.* *J. Appl. Physiol.* 16:583, 1961.

De Bono, E.F., and C. G. Caro: *Effect of lung inflating pressure on pulmonary blood pressure and flow.* *Am. J. Physiol.* 205:1178, 1963.

Gregersen, M.I., and R.A. Rawson: *Blood volume.* *Physiol. Rev.* 39:307, 1959.

Halmagyi, D.F.J., and J. H. Colebatch. *Ventilation and circulation after fluid aspiration.* *J. Appl. Physiol.* 16:35, 1961.

Halmagyi, D.F.J.: *Lung changes and incidence of respiratory arrest in rats after aspiration of sea and fresh water.* *J. Appl. Physiol.* 16:41, 1961.

Keys, J.R., P.S. Hetzel, and E.H. Wood: *The equations for calculation of blood flow and central blood volume from indicator-dilution curves.* *J. Appl. Physiol.* 11:385, 1957.

Kinsman, J. M., J. W. Moore, and W.F. Hamilton: *Studies on the circulation. I. Injection method: Physiological and mathematical considerations.* *Am. J. Physiol.* 89:322, 1929.

李聖浩, 李鼎柱, 高昌舜, 全龜淵: 방사성 동위원소를 사용한 심박출량 측정에 관한 연구. 대한 내과 학회잡지 5:803, 1962,

Pappenheimer, J. R., and A. Soto-Rivera: *Effective osmotic pressure of the plasma proteins and other quantities associated with the capillary circulation in the hindlimbs of cats and dogs.* *Am. J. Physiol.* 152:471, 1948.

Redding, J., G.C. Voigt, and P. Safar: *Resuscitation from drowning: A laboratory evaluation.* *Anesthesiology* 21:113, 1960.

Redding, J.S.: *Resuscitation from drowning.* *J.A.M.A.* 178:1136, 1961.

申鉉卓: 팻속 및 허파속 양성 압력이 토끼의 심장 박출

- 량에 미치는 영향. 대한 산부인과 학회잡지 7: 109, 1964,
- Sobel, S., S.F. Marrotta, and J.P. Margarger: *Circulating plasma volume changes in anesthetized dogs during positive pressure breathing. J. Appl. Physiol.* 14:937, 1959.
- Stead, E. A. Jr., N.C. Durham, J.V. Warren, and E.S. Brannon: *Cardiac output in congestive heart failure. Am. Heart J.* 35:529, 1948.
- Stewart, G.T.: *The pulmonary circulation time, the quantity of blood in the lungs, and the output in the heart. Am. J. Physiol.* 58:20, 1921.
- Swann, H.E. Jr.: *Occurrence of pulmonary edema in sudden asphyxial deaths. Arch. Pathol.* 69: 557, 1960.
- Swann, H.C., M. Brucer, A Moor, and B.L. Veijen: *Fresh and sea water drowning: A study of the terminal cardiac and biochemical events. Texas Rep. Biol. Med.* 5:423, 1947.