

통제된 익사조건에서의 해수/담수에 따른 법의학적 소견의 차이

홍정원¹ · 임성철² · 김윤신¹

¹조선대학교 의학전문대학원
법의학교실

²조선대학교 의학전문대학원
병리학교실

접 수 : 2013년 7월 23일
수 정 : 2013년 8월 6일
게재승인 : 2013년 8월 23일

* 이 논문은 2012학년도 한국연구재단 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

책임저자 : 김윤신
(501-759) 광주광역시 동구 필문대로
309, 조선대학교 의학전문대학원 법의학
교실
전화 : +82-62-230-6998
FAX : +82-62-234-4584
E-mail : ysk007@hotmail.com

Comparison of Pathologic Findings by Seawater or Fresh Water Drowning on the Experimental Animals

Jeong-Won Hong¹, Sung Chul Lim², Youn Shin Kim¹

¹Department of Forensic Medicine, Chosun University School of Medicine, Gwang-ju, Korea

²Department of Pathology, Chosun University School of Medicine, Gwang-ju, Korea

Death by drowning is a major cause of unnatural death worldwide. It is therefore important to conduct forensic examination of immersed bodies following drowning, in order to determine the diagnosis of drowning, because no specific methods have been established thus far. Therefore, we performed a series of rat experiments to compare autopsy findings between seawater and fresh water drowning cases, which included the presence of pleural effusion and histologic findings of the lung. The results showed that the volume of pleural effusion increased in the seawater drowning group compared to the fresh water drowning group, and the total weight of lung was affected by the type of drowning medium and postmortem interval. However, histologic findings of the lung showed no significant difference between the 2 types of drowning mediums.

Key Words : Drowning, Seawater, Fresh water, Pleural effusion, Lung weight

서 론

매년 익사로 인한 사망은 전 세계적으로 약 15만 내지 80만 명에 달할 것으로 추산되고 있고,¹⁾ 비의도적 사고로 인한 사망 원인으로서 교통사고에 이어 두 번째 순위를 차지한다.²⁾ 이처럼 익사는 사고성 사망의 주요한 사인의 하나이지만 그 사인 판단은 법의학적으로 매우 어려운 과제가 되고 있다. 그러한 까닭은 익사의 과정에 영향을 미치는 인자가 매우 다양하여 익사의 확인을 위한 객관적인 진단적 소견이 확립되어 있지 못하고, 더욱이 수중 시체의 상당수가 부패를 동반하고 있는 경우가 많기 때문이다.

익사의 과정에서 사고자는 호흡참기(breath holding)와 인두수축(laryngospasm)으로 인해 공기 흡입이 중단되고 이 때문에 혈중의 이산화탄소 증가 및 산소 농도 저하가 초래된다.

이러한 상황이 이내 없어지지 않으면 동맥 내 산소분압이 더욱 떨어지면서 인두수축은 악화되고 이어 다량의 물을 흡입하게 되면서 폐와 체액 등에 일정한 변화를 초래하게 된다. 그러한 변화의 정도는 당연히 들이마신 물의 양과 성상(해수, 담수 등)에 영향을 받게 될 것으로 추정할 수 있다. 이렇듯 익사라고 하더라도 물의 성상, 수온, 들이마신 양 등 그 상황에 따라 법의학적 소견은 상당한 차이를 보일 수 있게 되고,³⁾ 그러한 사망의 정황에 대한 고려 없이 시체에 대한 부검 소견만으로 익사의 여부를 판단해야 하는 상황에서는 다양한 어려움이 야기될 수 있다. 익사의 부검 소견 중의 하나로 알려진 가슴막 삼출액의 발생은 수중 체류 시간과 사후 경과시간에 의해 영향을 받고, 담수에서보다는 해수에서 그 양이 많다는 보고가 있지만, 실제 가슴막 삼출액의 양을 결정하는 인자는 아직 제대로 규명되어 있지 못하다.⁴⁾ 따라서 가슴막 삼출액의 발생 기전 등 익사의 법의학적 진단을 위한 형태학적 기준의 확립은 매우 시급한 과제

가 되고 있다.

익사란 정의상 익수 매질의 기도 내 흡입으로 인한 호흡장애에 기인한 사망이기 때문에 당연히 액체의 기도 내 흡입에 따른 기능적, 형태학적 변화가 초래될 것으로 예상할 수 있다. 이때 흡입된 액체 매질의 성상에 따라, 즉 해수와 담수의 물리적 성상의 차이에 따른 부검소견의 차이가 있는지를 살펴보는 것은 수증시체의 사인 진단을 위해 매우 가치 있는 소견이 될 수 있을 것으로 기대된다.

실험재료 및 방법

1. 시료채수

2012년 7월 조선대학교 해양생물교육연구센터가 위치한 전남 완도군 신지면 명사십리 해역에서 익수매질(drowning medium)로 사용할 해수를 채수하였다. 담수 익사를 위한 매질로는 수돗물을 사용하였다. 채수한 시료는 염분측정기

(TM30D, TAKWEMURA, Japan)를 이용하여 각각 염도를 측정하였고, 측정된 값은 해수 30.02 ‰, 담수 0.02 ‰이었다.

2. 실험동물과 익사 조건

9주령의 수컷 Sprague-Dawley 쥐(체중 280 ± 10 g)를 각 군별로 5마리씩 사용하였고, 세부적으로는 해수 익사군 10마리, 담수 익사군 10마리, 대조군 5마리로 배당하였다. 다시 각각의 익사군은 익사 후 2시간 방치군(5마리)과 20시간 방치군(5마리)으로 나누었고, 대조군에 대하여는 음성 대조군(n=1)과 사후 대조군(n=4)으로 나누었으며, 사후 대조군은 각각 해수 익사 후 2시간 방치조건(n=1)과 20시간 방치조건(n=1), 그리고 담수 익사 후 2시간 방치조건(n=1)과 담수 익사 후 20시간 방치조건(n=1)으로 세분하여 실험하였다.

실험동물의 통증을 차단하기 위해 체중 300 g 당 졸레틸 0.2 ml (conc. 10 mg)를 복강 내 주사하여 마취를 유도하였다. 마취제의 복강 내 주입 후 일정 시간을 기다려 통증에 대한 반응이

Table 1. Summary of Experimental Condition and the Results Including Correlation with Pleural Effusion and Lung Weight

No.	Condition	Weight (g)	Total pleural effusion (ml) (A)	Total lung weight (g) (B)	Total lung weight / NC* lung weight (C)	A+B	A+C
1	seawater 2 ml/2 hr	279	0.10	5.65	2.93	5.75	3.03
2	seawater 2 ml/2 hr	270	trace	6.13	3.18	6.13	3.18
3	seawater 2 ml/2 hr	275	trace	5.00	2.59	5.00	2.59
4	seawater 2 ml/2 hr	270	0.10	5.66	2.93	5.76	3.03
5	seawater 2 ml/2 hr	272	trace	6.32	3.27	6.32	3.27
	Average	273	UC [†]	5.75	2.98	5.79	3.02
6	seawater 2 ml/20 hr	290	1.40	3.60	1.87	5.00	3.27
7	seawater 2 ml/20 hr	272	2.00	3.19	1.65	5.19	3.65
8	seawater 2 ml/20 hr	270	1.97	3.21	1.66	5.18	3.63
9	seawater 2 ml/20 hr	280	1.80	3.40	1.76	5.20	3.56
10	seawater 2 ml/20 hr	283	1.50	3.23	1.67	4.73	3.17
	Average	279	1.73	3.33	1.72	5.06	3.46
11	freshwater 2 ml/2 hr	290	0.01	2.27	1.18	2.28	1.19
12	freshwater 2 ml/2 hr	290	trace	1.84	0.95	1.84	0.95
13	freshwater 2 ml/2 hr	292	trace	2.05	1.06	2.05	1.06
14	freshwater 2 ml/2 hr	285	trace	2.33	1.21	2.33	1.21
15	freshwater 2 ml/2 hr	279	0.02	2.04	1.06	2.06	1.08
	Average	287	UC	2.11	1.09	2.11	1.10
16	freshwater 2 ml/20 hr	281	trace	1.82	0.94	1.82	0.94
17	freshwater 2 ml/20 hr	270	trace	1.71	0.89	1.71	0.89
18	freshwater 2 ml/20 hr	297	trace	1.96	1.02	1.96	1.02
19	freshwater 2 ml/20 hr	274	0.03	1.73	0.90	1.76	0.93
20	freshwater 2 ml/20 hr	278	trace	1.90	0.98	1.90	0.98
	Average	280	UC	1.82	0.95	1.83	0.95
21	PM [‡] seawater 2 ml/2 hr	273	trace	5.86	3.04	5.86	3.04
22	PM seawater 2 ml/20 hr	270	0.86	2.46	1.27	3.32	2.13
23	PM freshwater 2 ml/2 hr	287	trace	2.00	1.04	2.00	1.04
24	PM freshwater 2 ml/20 hr	287	trace	1.96	1.02	1.96	1.02
25	Negative control	282	trace	1.93	1.00	1.93	1.00

*NC: Negative control ; [†]UC: Uncalculated ; [‡]PM: Postmortem

저하된 것을 확인한 후, 경부의 피부를 세로로 절개하여 기관(氣管)을 노출시킨 다음 메스를 이용하여 기관(氣管)을 가로로 절개하고 기관 내 카테타를 삽입하였다. 카테타를 통해 기도를 확보한 후 삽입된 카테타의 아래쪽 기관(氣管)에 주사바늘을 찔러 넣고 주사기로 각각의 익수매질 2 ml를 기도 내로 주입하였다. 이후 1회 환기량이 약 2.3 ml가 되도록 조작된 기계호흡기(ventilator, SAR-830, CWE, INC. USA)를 카테타에 연결

하여 호흡을 15분간 유지시키면서 심장박동이 유지되고 있음을 확인하였다. 15분 동안 심장박동과 호흡을 유지시킨 후, 경추탈구법을 통해 실험동물을 희생시키고 실험조건에 맞춰 각각 2시간과 20시간 동안 대기 중에 방치하였다. 음성 대조군은 동일한 마취 유도 후에 기도 내 익수매질의 주입 없이 기관절개 후 카테타를 삽입, 기계호흡기만을 적용하여 15분간 호흡 및 심장박동을 유지시켰다가 경추탈구를 통해 희생시켰다. 사후

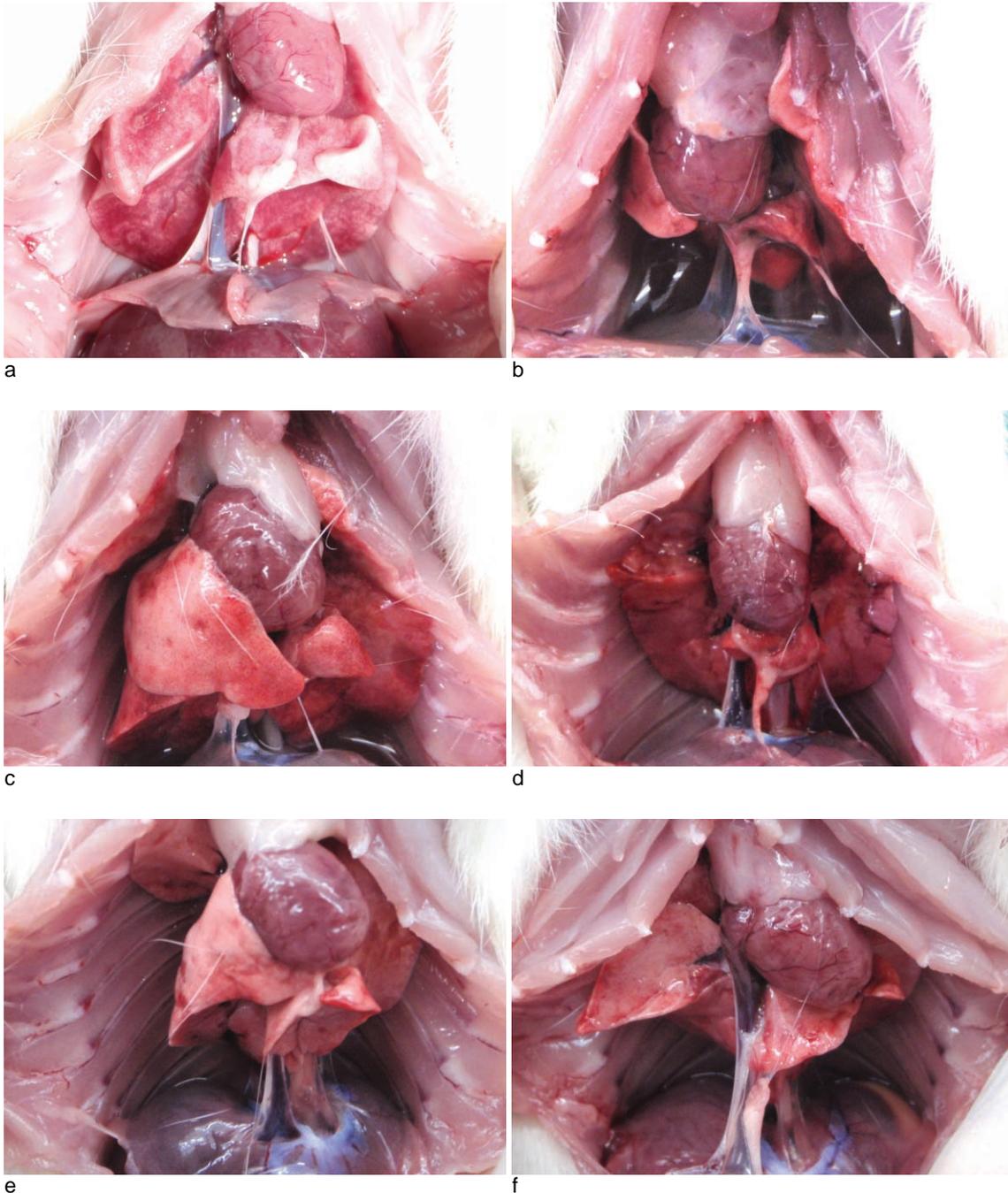


Fig. 1. Thoracic cage was opened to examine the volume of pleural effusion (a: seawater, 2 hr ; b: seawater, 20 hr ; c: postmortem, seawater, 20 hr ; d: freshwater, 2 hr ; e: freshwater, 20 hr ; f: postmortem, freshwater, 20 hr).

대조군은 마취 유도 후 경추탈구법을 통해 실험동물을 희생시켜 심장박동과 호흡이 정지된 것을 확인한 후, 즉 사후에 쥐의 경부를 절개하여 같은 방법으로 카테타를 통해 실험군과 같은 익수 매질인 해수와 담수 각 2 ml을 기도 내로 주입하고 실험조건에 따라 각각 2시간, 20시간 동안 대기 중에 방치하였다.

이후 각 실험동물의 흉복부 피부 및 흉곽을 열어 가슴막 삼출액을 확인하고 그 양을 측정하였다. 삼출액의 측정은 1 ml 주사기로 삼출액을 흡인하여 그 양을 기록하였고, 육안적으로 삼출액이 거의 없어 보이거나 주사기로 흡인했을 때 주사기로 빨려 들어오는 양이 미미할 때는 흔적(trace)으로 처리하였다. 또한, 각 군별 실험동물의 폐를 절제하여 좌우 폐의 무게를 측정하고, 조직학적 검사의 일관성을 확보하기 위하여 단엽으로 이루어진 왼쪽 폐의 가운데 부위를 세로방향으로 절단하여 가장 긴 조직 절편을 취할 수 있는 단면을 가상하여 조직편을 절취하였다. 절제된 조직편은 헤마톡실린-에오신(hematoxylin & eosin, H&E) 염색을 위하여 10% 중성 포르말린 용액에 24시간 고정하였다. 모든 동물실험의 과정은 조선대학교 동물실험윤리 규정에 따라 진행하였고, 동물실험윤리위원회의 심의를 거쳐 승인(CIACUC2012-A0002)을 얻었다.

3. 조직학적 검사

각 검체는 폐의 조직학적 변화를 검사하고 그 정도를 측정하기 위해 폐포 내 부종, 혈관주위 부종, 폐포 내 출혈, 기관지 내 출혈, 가슴막하 울혈 또는 출혈, 무기폐, 폐기종 등 7가지 소견을 광학현미경으로 관찰하면서 소견의 경중도를 측정하였다. 경중도에 따라 0, 1+, 2+, 3+로 분류하였다.

결 과

1. 가슴막 삼출액과 폐 무게

해수 주입 후 대기 중 20시간 방치군(그룹-2)에서는 5마리 모두에서 가슴막 삼출액이 확인되었고, 측정된 양은 최소 1.4 ml에서 최대 2.0 ml, 평균 1.73 ml였다(Table 1). 이에 비해 사후 해수 주입 후 20시간 방치군에서 가슴막 삼출액은 0.8 ml로 측정되었고, 이는 해수 익사 실험군(그룹-2)의 가슴막 삼출액 평균량의 약 절반으로 익사군에 비해 사후 대조군에서 상대적으로 적은 양의 삼출액이 발생하였다. 반면 해수 주입 후 대기 중 2시간 방치군(그룹-1)과 담수 익사군(그룹-3, 4), 담수 익사 사후대조군 등 실험군 및 대조군에서는 가슴막 삼출액이 거의 없거나 최대 0.03 ml(담수 주입 후 20시간 방치군)에 그쳤다(Fig. 1).

폐의 무게는 주입된 익수 매질과 대기 중에 방치한 시간에 따라 차이를 보였다. 즉 해수 익사군에서의 폐 무게가 담수 익사군에서 보다 더 무거웠고, 같은 익사군내에서는 사후경과시간이 짧을 때 폐의 무게가 더 무거웠다. 이를 전체적인 순서로 나열해 보면, 해수 익사 후 2시간 방치군(그룹-1)에서 가장 무겁고, 해수 익사 후 20시간 방치군(그룹-2), 담수 익사 후 2시간 방치군(그룹-3)의 순으로 낮아지다가, 담수 익사 후 20시간 방치군(그룹-4)에서 폐 무게가 가장 낮았다(Fig. 2). 이러한 결과는 사후 대조군에서도 유사하게 나타나서 해수 주입 후 2시간 방치군에서 폐의 무게가 가장 무거웠고, 해수 주입 후 20시간 방치군, 담수 주입 후 2시간 방치군, 담수 주입 후 20시간 방치군의 순으로 폐 무게가 작아졌다.

실측된 폐 무게를 음성대조군 쥐의 폐 무게(1.93)로 나누어 표준화(C)한 뒤 이 수치를 가슴막 삼출액(A)과 더한 값

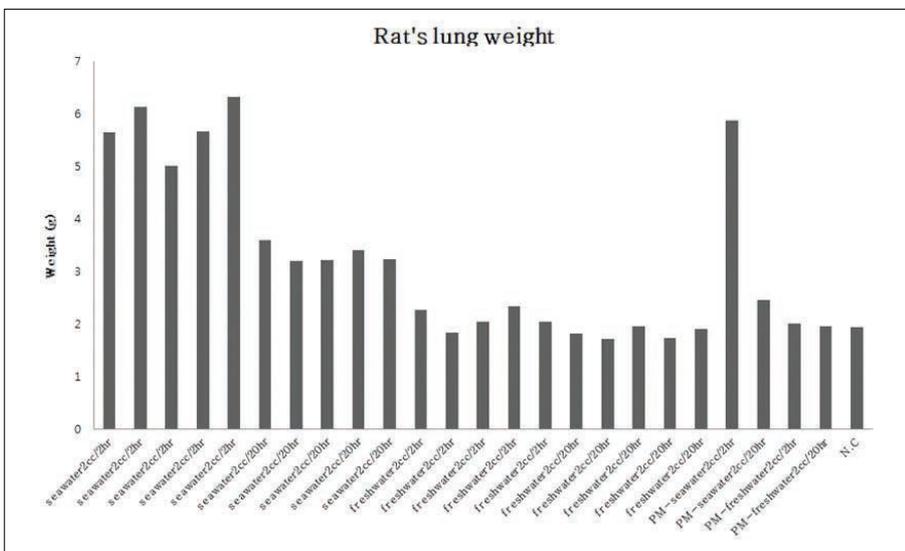


Fig. 2. Histogram shows rat's lung weight depending on the experimental condition.

(A+C)은 대기 중의 방치 시간과 상관없이 해수 익사군과 담수 익사군 내에서 각각 비슷한 수준을 보였다(Table 1). 또한, 해수 익사 후 대기 중 2시간 방치군(그룹-1)은 평균 3.02의 수치를 나타냈고, 사후 해수 주입 후 대기 중 2시간 방치한 사후대조군은 3.04의 수치를 보여 익사군과 사후 대조군 간에도

근사한 결과를 보였다. 담수 익사군인 그룹-3과 그룹-4의 경우에는 각각 평균 1.10, 평균 0.95로 유사한 수치를 보였고, 담수 사후 대조군의 경우도 1.04, 1.02로 유사한 경향을 보였다. 다만, 사후에 해수를 주입하고 대기 중에 20시간 방치한 사후 대조군의 경우에 있어 표준화된 폐 무게와 가슴막 삼출액을 더

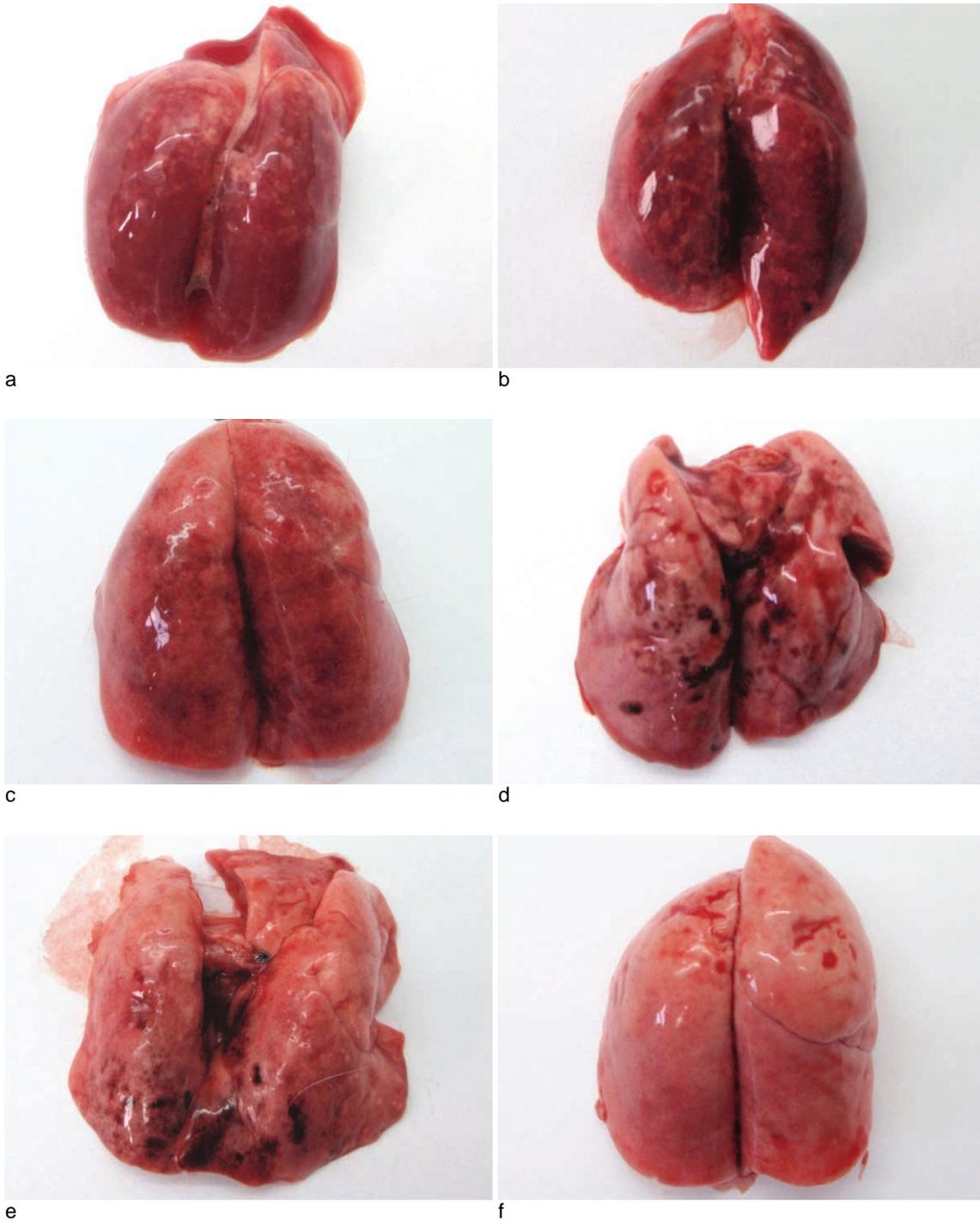


Fig. 3. Photograph shows ventral surface of the lung (a: seawater, 2 hr ; b: seawater, 20 hr ; c: postmortem, seawater, 20 hr ; d: freshwater, 2 hr ; e: freshwater, 20 hr ; f: postmortem, freshwater, 20 hr).

한 수치(2.13)는 해수 익사 후 대기 중 20시간 방치군(그룹-2)의 수치(3.46)와 상당한 차이가 있었다.

그러나 음성대조군 쥐의 폐 무게로 표준화하지 않고 전체 폐 무게와 가슴막 삼출액을 합한 수치(A+B)로 비교해 보면, 해수 익사군에서 담수 익사군에 비해 훨씬 더 높았고, 같은 익사군 내에서는 시간 경과가 길수록 더 낮아졌으며, 이러한 결과는 사후 대조군에서도 익사군과 유사한 결과를 보였다. 다만 해수 익사 후 20시간 방치군(그룹-2)과 사후 해수 주입 후 20시간 방치군에서만 각각 5.06과 3.32로 큰 차이를 보였다.

2. 폐의 육안적, 조직학적 소견

육안 소견상 폐의 형태학적 소견으로는 모든 폐가 약간의 팽창을 보였고, 육안적으로 인지될 만한 폐 허탈(무기폐)의 소견은 보이지 않았으며, 모든 익사군의 기관지에서 포말형성이 관찰되었다. 가슴막은 현저한 울혈상을 띠기도 하고 일부에서는 창백상을 보이기도 하였으며, 또한 가슴막하 출혈이 관찰되기도 하였다(Fig. 3).

조직학적 검사상, 폐포 내 부종은 담수 익사군에서 상대적으로 가장 저명하였고(Fig. 4a), 해수 익사군의 경우는 2시간 방

치군 보다 20시간 방치군에서 그 빈도와 정도가 더 현저하였으며, 사후대조군과 음성 대조군에서는 폐포 내 부종이 관찰되지 않았다. 반면 혈관주위 부종은 담수 익사군보다는 해수 익사군에서 그 정도와 빈도가 다소 더 높았고, 해수 익사 후 2시간 방치군(Fig. 4b)에서 20시간 방치군보다 더 뚜렷하였으나, 사후 대조군 및 정상 대조군과 담수 대조군의 차이를 비교하였을 때 주목할 만한 차이는 나타나지 않았다. 폐포 내 부종과 혈관주위 부종을 함께 묶어 해석해 보면, 해수 익사의 경우 대기 중 방치 시간과 관계가 있었다. 즉, 대기 중 방치 시간이 짧을 경우 폐포 내 부종은 낮게 나타났고 혈관주위 부종은 높은 출혈을 보였으며, 방치 시간이 길어짐에 따라 폐포 내 부종은 늘어나고 혈관주위 부종은 감소하는 경향을 보였다. 그러나 담수 익사의 경우에는 대기 중 방치 시간에 따른 폐포 내 부종과 혈관주위 부종의 상관관계를 찾아보기 어려웠다.

폐포 내 출혈에서는 해수 익사군에 비해 담수 익사군(Fig. 4c)에서 출혈 빈도가 다소 높기는 하였으나 주목할 만한 차이를 보이지는 않았고, 방치 시간에 따른 차이도 크지 않았다. 폐포 내 출혈은 또한 해수 익사 사후대조군 및 담수 익사 사후대조군에서도 관찰되었다. 기관지내 출혈의 경우도 폐포 내 출혈과 마찬가지로 해수 익사군에 비해 담수 익사군(Fig. 4d)에서

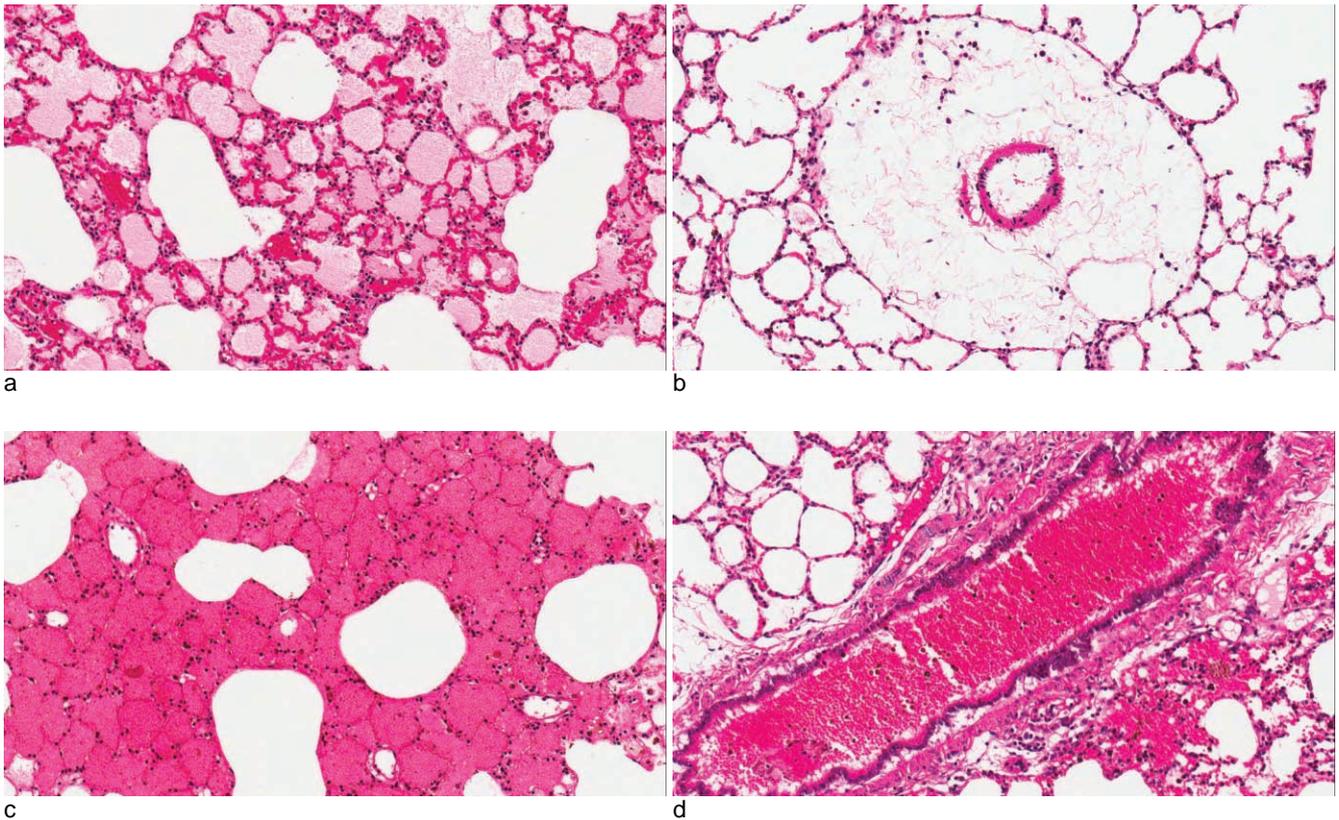


Fig. 4. Histologic section of rat's lung tissues shows alveolar edema, perivascular edema, alveolar hemorrhage and bronchiolar hemorrhage (a: 3+ of alveolar edema in #18, H&E, × 200 ; b: 3+ of perivascular edema in #4, H & E, × 200 ; c: 3+of alveolar hemorrhage in #20, H & E, × 200 ; d: 3+ of bronchiolar hemorrhage in #14, H & E, × 200).

그 정도가 더 현저하였고, 해수 익사와 담수 익사 양 실험군내에서 방치 시간에 따른 차이는 보이지 않았으며, 사후 대조군과 음성 대조군에서는 기관지내 출혈이 전혀 관찰되지 않았다. 그러나 가슴막하 출혈 또는 출혈은 육안 검사상 확인된 것과 달리 현미경 검사상에서는 뚜렷이 관찰되지 않았다. 즉, 담수 익사 후 20시간 방치군 1예에서만 조직학적 가슴막하 출혈이 관찰되었을 뿐 나머지 실험군과 대조군에서는 이러한 소견이 관찰되지 않았다.

무기폐의 경우, 담수 익사 후 20시간 방치군에서 상대적으로 그 빈도와 정도가 높았을 뿐, 담수 익사 후 2시간 방치군에서 (1+) 2예, 해수 익사 후 20시간 방치군에서 (1+) 1예가 관찰되었을 따름이고, 해수 익사 후 2시간 방치군과 대조군에서는 무기폐 소견이 관찰되지 않았다. 폐기종은 해수 익사 후 2시간 방치군에서 상대적으로 그 정도가 현저하기는 하였지만, 담수 익사군에서도 모든 예에서 비슷한 정도로 출혈하였으며, 사후 대조군과 심지어는 음성 대조군에서도 폐기종 소견이 관찰되었다.

사후 대조군과 음성 대조군의 조직학적 소견을 정리해 보면,

폐포 내 부종, 기관지내 출혈, 무기폐 소견이 전혀 관찰되지 않았고, 혈관주위 부종의 경우는 사후 대조군에서 (1+)~(2+)의 부종이 관찰되었으며, 또한 아무런 처치 없이 기계 호흡만 유지한 음성 대조군의 경우에서도 (1+)의 혈관주위 부종이 관찰되었다. 폐기종 소견에서도 혈관주위 부종의 경우와 마찬가지로 익사 실험군과의 차이를 확인할 수 없는 정도로 관찰되었다. 조직학적 소견의 해석 결과는 Table 2에 요약하였다.

고찰 및 결론

익사란 액체 매질에 가라앉거나 잠김으로써 겪게 되는 호흡장애의 과정이라고 정의된다.⁵⁾ 그 정의상 익사는 액체 매질 내에서 발생하는 것이므로, 모든 익사는 원칙적으로 전형적 익사(wet drowning)이어야 하고, 따라서 만약 익수 흡인의 증거가 없는 수중시체라면 익사의 진단은 의심되어야 한다고 주장되기도 한다.⁵⁾ 이러한 주장에 근거한다면 대부분의 익사에서는 일정량 이상의 익수 흡인이 동반될 것이고, 이런 흡인에 의해 일정한 정도의 변화를 예상할 수 있게 된다. 그러한 변화에는

Table 2. Summary of Histologic Changes of Lung according to Experimental Condition

No.	Condition	Histologic findings						
		Alveolar edema	Perivascular edema	Alveolar hemorrhage	Bronchiolar hemorrhage	Subpleural congestion or hemorrhage	Atelectasis	Emphysema
1	seawater 2 ml/2 hr	0	2+	1+	0	0	0	1+
2	seawater 2 ml/2 hr	0	2+	1+	1+	0	0	2+
3	seawater 2 ml/2 hr	1+	2+	2+	1+	0	0	2+
4	seawater 2 ml/2 hr	1+	3+	3+	1+	0	0	2+
5	seawater 2 ml/2 hr	1+	3+	3+	1+	0	0	2+
6	seawater 2 ml/20 hr	0	3+	0	2+	0	1+	1+
7	seawater 2 ml/20 hr	2+	2+	2+	1+	0	0	1+
8	seawater 2 ml/20 hr	2+	1+	2+	1+	0	0	1+
9	seawater 2 ml/20 hr	1+	1+	1+	0	0	0	1+
10	seawater 2 ml/20 hr	1+	1+	1+	0	0	0	1+
11	freshwater 2 ml/2 hr	2+	1+	2+	1+	0	0	1+
12	freshwater 2 ml/2 hr	1+	1+	3+	2+	0	0	1+
13	freshwater 2 ml/2 hr	1+	1+	1+	1+	0	0	1+
14	freshwater 2 ml/2 hr	3+	3+	3+	3+	0	1+	2+
15	freshwater 2 ml/2 hr	2+	1+	2+	1+	0	1+	2+
16	freshwater 2 ml/20 hr	2+	1+	2+	2+	0	0	1+
17	freshwater 2 ml/20 hr	1+	1+	1+	1+	0	0	1+
18	freshwater 2 ml/20 hr	3+	2+	3+	3+	2+	2+	1+
19	freshwater 2 ml/20 hr	1+	0	2+	2+	0	2+	2+
20	freshwater 2 ml/20 hr	1+	2+	3+	1+	0	1+	1+
21	PM* seawater 2 ml/2 hr	0	2+	0	0	0	0	2+
22	PM seawater 2 ml/20 hr	0	1+	1+	0	0	0	2+
23	PM freshwater 2 ml/2 hr	0	1+	0	0	0	0	1+
24	PM freshwater 2 ml/20 hr	0	2+	2+	0	0	0	1+
25	Negative control	0	1+	0	0	0	0	1+

*PM: Postmortem

폐의 팽창, 가슴막 삼출액의 증가, 폐부종과 출혈 등의 조직학적 변화가 포함된다.

가슴막 삼출액은 수중 체류 시간과 사후 경과시간이 영향을 미치고 담수에서보다는 해수에서 그 양이 많으며, 성별, 신장, 체중, 연령, 심장 및 폐 무게, 수온, 수압 등에 의해서 의미 있는 차이를 보이지 않았다는 보고가 있다.⁴⁾ 또한 수중 체류시간의 증가에 따라 폐 무게는 감소했지만, 가슴막 삼출액의 양은 증가하였다는 보고가 있다.⁶⁾ 그러나 가슴막 삼출액의 발생 기전은 아직 규명되어 있지 못하여, 이의 기전을 실험적으로 탐구 해보는 것은 의사의 진단을 위한 법의학적 접근을 위해 의미 있는 노력으로 평가될 수 있을 것이다.

본 실험의 결과, 해수 주입 후 20시간 방치군에서만 전체 5마리 실험군 모두에서 가슴막 삼출액이 확인되었고, 또한 사후 해수 주입 후 20시간 방치군에서 0.8 ml의 가슴막 삼출액이 확인되었다. 이를 통해 담수 익사군에서 보다는 해수 익사군에서 더 많은 가슴막 삼출액이 발생함을 확인하였고, 아울러 사후 시간의 경과가 가슴막 삼출액의 발생에 일정한 영향을 미치고 있다는 점도 확인할 수 있었다.

Halmagyi⁷⁾는 해수를 주입했을 때 담수를 주입한 경우보다 실험쥐의 폐 무게가 3배 더 증가했고, 반대로 담수 흡인에서는 실험쥐의 폐 무게가 증가하지 않았다고 보고하였다. 이러한 폐 무게의 증가는 폐부종(lung fluid)에 따른 것으로 해수의 삼투압 때문에 폐 혈관으로부터 체액을 폐포로 끌어당겨 발생하는 것이고, 따라서 폐 부종액이 가슴막을 빠져나와 흉강 안에 고임으로써 가슴막 삼출액이 발생하게 되는 것으로 생각된다.

본 실험에서도 폐의 무게는 주입된 익수 매질과 대기 중에 방치한 시간에 따라 차이를 보였다. 즉 해수 익사군에서의 폐 무게가 담수 익사군에서 보다 더 무거웠고, 같은 익사군내에서는 사후경과시간이 짧을 때 폐의 무게가 더 무거웠다. 해수 익사 후 2시간 방치군에서 가장 무겁고, 담수 익사 후 20시간 방치군에서 폐 무게가 가장 낮았다. 이러한 폐 무게의 변화는 사후 대조군에서도 유사하게 나타났다.

익수의 흡인 후에는 폐 조직에서의 다양한 현미경적 변화가 보고되어 있지만, 그 결과가 상반되는 경우도 있어 부검소견을 통한 의사의 진단을 어렵게 하는 이유 중의 하나가 되고 있다. 소량의 담수의 기도 내 주입 후 실험쥐의 폐는 현저한 변화를 보이지 않았으나, 같은 양의 해수를 흡인한 후에는 폐 무게 증가와 폐포 내 출혈이 관찰되었다는 보고⁷⁾가 있지만, 담수를 실험쥐의 기도 내로 주입하면 폐포 벽의 확장, 모세혈관의 허탈, 혈관 내 적혈구 감소, 혈관 내피세포 핵 및 폐포 간질 세포핵의 종창 등의 소견을 보였다는 보고도 있다.⁸⁾ 이러한 소견들은 아마도 다량의 담수가 혈관 내로 빠르게 흡수되기 때문으로 보이며, 따라서 해수를 기도 내로 주입했을 때는 그 변화가 덜 뚜렷해지는 것이라고 해석하였다.⁸⁾

본 실험의 결과, 폐포 내 부종은 담수 익사군에서 상대적으로

로 가장 저명하였다. 해수 익사군의 경우는 2시간 방치군 보다 20시간 방치군에서 그 빈도와 정도가 다소 현저하였으며, 사후 대조군과 음성 대조군에서는 폐포 내 부종이 관찰되지 않았다. 이는 폐부종이 단지 흡인된 익수의 저류에만 의하는 것이 아니라 흡인된 익수와 조직 간의 상호작용으로 발생하는 것임을 유추할 수 있게 한다. 반면 혈관주위 부종은 담수 익사군보다는 해수 익사군에서 그 정도와 빈도가 다소 더 높았고, 해수 익사 후 2시간 방치군에서 20시간 방치군보다 더 뚜렷하였으나, 사후 대조군 및 정상 대조군과 담수대조군의 차이를 비교하였을 때 주목할 만한 차이는 나타나지 않았다. 폐포 내 부종과 혈관주위 부종을 함께 묶어 해석해 보면, 해수 익사의 경우 대기 중 방치 시간과 관계가 있었다. 즉, 대기 중 방치 시간이 짧을 때 폐포 내 부종은 낮게 나타났고 혈관주위 부종은 높은 출혈을 보였으며, 방치 시간이 길어짐에 따라 폐포 내 부종은 늘어나고 혈관주위 부종은 감소하는 경향을 보였다. 그러나 담수 익사의 경우에는 대기 중 방치 시간에 따른 폐포 내 부종과 혈관주위 부종의 상관관계를 찾아보기 어려웠다.

폐포 내 출혈에서는 해수 익사군에 비해 담수 익사군에서 출혈의 빈도가 다소 높기는 하였으나 주목할 만한 차이를 보이지는 않았고, 방치 시간에 따른 차이도 크지 않았다. 폐포 내 출혈은 또한 해수 익사 사후대조군 및 담수 익사 사후대조군에서도 관찰되었다. 기관지내 출혈의 경우도 폐포 내 출혈과 마찬가지로 해수 익사군에 비해 담수 익사군에서 그 정도가 더 현저하였고, 해수 익사와 담수 익사 양 실험군내에서 방치 시간에 따른 차이는 보이지 않았으며, 사후 대조군과 음성 대조군에서는 기관지내 출혈이 전혀 관찰되지 않았다. 그러나 가슴막하 출혈 또는 출혈은 육안 검사상 확인된 것과 달리 현미경 검사상에서는 뚜렷이 관찰되지 않았다. 즉, 담수 익사 후 20시간 방치군 1예에서만 조직학적 가슴막하 출혈이 관찰되었을 뿐 나머지 실험군과 대조군에서는 이러한 소견이 관찰되지 않았다. 이는 아마도 실험동물 조직의 고정 후 육안소견의 변화로 인해 정확한 병소를 표본으로 삼지 못해서 발생한 실험상의 한계에 기인한 결과일 가능성이 높다고 생각된다.

익사의 또 다른 주요 부검소견 중의 하나는 폐 팽창이다.⁹⁾ 이러한 폐 팽창은 성문(glottis)이 폐쇄된 상태에서의 강력한 호흡운동으로 인해 기도내압의 과도한 상승(wide fluctuation)이 발생하면서 폐포가 파열되어 발생하는 것으로 해석되고 있다.¹⁰⁾

이 연구의 결과, 폐기종은 해수 익사 후 2시간 방치군에서 상대적으로 그 정도가 현저하기는 하였지만, 담수 익사군에서도 모든 예에서 비슷한 정도로 출혈하였으며, 사후 대조군과 심지어는 정상 대조군에서도 폐기종 소견이 관찰되었다. 이는 아마도 사용된 기계호흡기의 영향에 의한 결과일 것으로 추정되지만, 궁극적으로는 살아서 물에 빠진 채 강력한 호흡의 과정을 거치는 경우라면 당연히 일정한 정도 이상의 폐기종 소견이 발

생활 수밖에 없을 것으로 생각되는바, 익사의 진단에서 폐기중의 소견은 대단히 가치 있는 소견으로 적용되어야 할 것으로 생각된다.

무기폐 소견의 경우, 담수 익사 후 20시간 방치군에서 상대적으로 그 빈도와 정도가 높기는 하였으나, 담수 익사 후 2시간 방치군에서 (1+) 2예, 해수 익사 후 20시간 방치군에서 (1+) 1예가 관찰되었을 따름이고, 해수 익사 후 2시간 방치군과 대조군에서는 무기폐 소견이 관찰되지 않았다. 이러한 소견 또한 실험 중에 계속 적용되었던 기계호흡기에 의한 양압 호흡의 영향에 의해 간섭을 받은 결과일 것으로 추정된다.

익사의 부검소견을 해석함에서는 여러 환경적, 상황적 인자도 고려되어야 한다. 그중에서도 수심에 따른 압력의 영향이 반드시 고려되어야 한다. Toklu 등¹¹⁾은 익사에 관한 동물실험에서 수표면에서 익사한 실험쥐의 경우 의미 있는 변화를 보지 못하였지만, 수표면 익사 후 15미터(50 feet) 수심에 가라앉았을 때 가슴막의 일혈점을 동반한 폐 확장을 보았다 하였고, 15미터(50 feet) 수심에서 익사시킨 실험쥐에서는 앞의 다른 실험군과는 구별되는 정도의 현저한 폐 확장을 보았다고 보고하였다. 이처럼 익사 상황의 수심은 압력에 따른 영향으로 폐 확장은 물론 폐포 내 부종, 가슴막 삼출액의 발생 등에도 상당한 차이를 일으키게 될 것으로 생각되며, 따라서 앞으로 수심의 영향을 반영한 후속 연구가 추가될 필요가 있다 하겠다.

수온의 영향 또한 검토될 필요가 있다. 수온과 폐 무게 및 가슴막 삼출액의 양 사이에 약하지만, 상관관계가 있고, 이는 수온이 익수 흡입에 어떤 영향을 미치고 있을 가능성을 시사한다는 보고가 있다.¹²⁾ 즉, 수온이 너무 낮은 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 익수 흡입의 양에 제한이 따를 수 있다는 것이고, 이렇게 하여 흡인된 익수의 양이 적다면 그로 인한 가슴막 삼출액의 발생이나 폐의 조직학적 변화에 일정한 영향을 미치게 될 가능성에 대한 고려가 필요하다는 것이다.

또 다른 한 가지는 부패의 영향이다. 사후경과시간(Postmortem interval, PMI)이 길어짐에 따라 폐 무게는 감소하는 경향을 보였고, 반면에 가슴막 삼출액은 증가하는 경향을 보였다는 것이다. 특히 사후 경과 시간이 2주 이상이면 폐 무게와 가슴막 삼출액의 무게가 큰 영향을 받는다는 연구보고에 근거할 때 폐 무게와 가슴막 삼출액의 무게를 익사의 근거로 삼는 데에는 2주라는 시간제한이 따르게 된다.¹³⁾ 이어 부패가 더욱 진행하는 단계에 이르면 가슴막 삼출액이 감소한다고 알려져 있다.^{14, 15)}

익사의 조직학적 소견을 해석함에서는 어느 정도의 익수 흡인이 있어야 익사가 성립될 수 있는지, 그리고 익수의 흡인이 전혀 없이도 익사가 가능한 것인지에 대한 검토도 필요해진다. 실제로 어느 정도의 익수 흡인을 동반하지 않는 채 익사에 이르는 것은 어려울 것으로 보인다.¹⁶⁾ 1960년대 Modell 등^{17, 18)}은 마취된 개에 대한 실험에서 다양한 양의 물을 흡인시키고 그에

대한 실험을 한 바 있다. 흡인된 물의 부피는 체중 kg 당 2.2 ml ~ 66 ml이었고 이를 체중 70 kg의 성인으로 환산하면 154 ml ~ 4,620 ml였으며, 이중 가장 소량의 흡인에서조차도 폐의 가스교환과 폐 탄성(lung compliance)을 의미 있게 저하시킬 수 있다고 보고하였다. 이렇듯 적은 양의 익수 흡인만으로도 폐의 가스교환에 장애를 초래할 수 있으나, 흡인된 익수의 성상에 따라 폐부종 등 폐의 조직학적 소견에는 상당한 차이를 가져올 수 있어서 익사의 사후 진단에 커다란 장애가 초래되고 있다.

이러한 진단상의 장애 때문에 건성 익사 혹은 수중 쇼크사라고도 불리는 익사의 또 다른 형태에 대한 논란과 우려도 계속되고 있다. 실제 수중에서 발견된 시체에서 폐 소견이 정상을 보이거나 혹은 기도 내 물의 흡인이 없는 사례의 빈도는 현재까지의 추정보다는 훨씬 낮은 2% 이하(1.9%)일 것으로 생각된다는 보고가 있다.¹⁹⁾ 즉 모든 익사 사망의 1.9%만이 기도 내 포말 같은 익사의 소견이 동반되지 않은 채 폐 팽창을 보였다는 것이다. 따라서 건성 익사라는 진단은 사후 수중투기나 수중 병사를 잘못 판단한 결과일 가능성이 높다.¹⁹⁾ 따라서 수중에서의 병사는 한결같이 건성 폐(dry lung)를 보인다는 주장에 대하여는 비판적인 평가가 필요하다. 검시실무를 통해서 경험해 온 것처럼 수중 병사에서 기도 내 익수 흡인의 증거를 볼 수 있는 사례가 있는 등, 수중 병사의 부검 소견이 항상 건성 폐(dry lung)를 보이게 되는 것은 아니기 때문이다. 즉 폐동맥 혈전색전증이나 심근경색증, 지주막하출혈과 같은 치명적인 질병으로 인해 수중에서 사망이 촉발된 경우라 하더라도 때로는 익수 매질이 기도내로 흡인된 증거를 볼 수 있다는 것이다.²⁰⁾

익사의 법의학적 사인 판단은 여전히 쉽지 않은 과제로 남아 있다. 이러한 난제를 극복하기 위해서는 적극적인 동물실험을 포함한 다양한 사례의 분석이 필요하다. 본 연구의 결과 확인된 것처럼, 해수 익사군에서 담수 익사군에 비해 폐 무게가 현저히 높았다는 점은 해수는 체액을 폐포 내로 끌어당겨 폐부종을 조장하고, 담수는 반대로 혈관내로 흡수된다는 기존의 법의학 이론이 타당하다는 점을 확인해 주고 있다고 생각된다. 또한, 이렇게 폐포 내로 흡인된 익수가 시간이 지남에 따라 가슴막을 빠져나와 흉강 내에 고이게 됨으로써 가슴막 삼출액이 발생하게 되는 것이며, 이러한 가슴막 삼출액의 생성은 생존 중의 생리적 반응에 따른 변화가 아니라 사후에 진행되는 물리적 변화에 따른 것이라는 해석이 가능해진다고 판단된다. 다만, 조직학적 소견에 있어 해수와 담수의 물리적 성상의 차이에 따른 변화의 차이가 두드러지지 않고, 또한 실험군과 사후 대조군 사이에서도 명백한 구분 점을 확인하지 못한 점은 본 연구의 한계로 남는다. 이는 아마도 실험동물의 도살 후, 즉 개체사에는 이르렀으나 개개 세포의 생명력은 아직 유지되고 있는 상황에서 익수에 대한 세포 수준의 반응이 지속되고 있을 가능성을 시사하는 소견으로 해석되기는 하나, 앞으로 이러한 조건을 고려한 좀 더 세밀한 실험디자인을 통해 미진한 부분에

대한 후속 연구 또는 추가실험이 진행될 필요가 있을 것으로 생각된다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 가슴막 삼출액은 해수 익사군에서 가장 많이 발생하였고, 사후 시간 경과에 따라 그 양이 증가하는 경향을 보였다.
- 2) 익사 동물의 폐 무게는 익수 매질의 성상과 사후 경과시간에 영향을 받았고, 해수 익사군에서 더 무거웠으며, 사후경과시간이 길어지면 감소하였다.
- 3) 폐포 내 부종, 폐포 내 출혈, 무기폐 등 조직학적 소견은 익수 매질에 따라 약간의 차이를 보이기는 하였으나 해수 익사와 담수 익사를 정량적, 정성적으로 구별할 수 있을 만한 특징을 보여주지 못하였다.

참 고 문 헌

1. Krug EG, Sharma GK, Lozano R. The global burden of injuries. *Am J Public Health* 2000;90:523-6.
2. van Beeck EF, Branche CM, Szpilman D, et al. A new definition of drowning: towards documentation and prevention of a global public health problem. *Bull World Health Organ* 2005;83:853-6.
3. Davis JH. Autopsy findings in victims of drowning. In: Modell JH, ed. *The Pathology and Treatment of Drownings and Near-Drowning*. Illinois: Charles C Thomas Publisher; 1971, p. 74-82.
4. Morild I. Pleural effusion in Drowning. *Am J Forensic Med Pathol* 1995;16:253-6.
5. Idris AH, Berg RA, Bierens J, et al. Recommended guidelines for uniform reporting data from drowning: the "Utstein style". *Resuscitation* 2003;59:45-57.
6. Kringsholm B, Filskov A, Kock K. Autopsied cases of drowning in Denmark 1987-1989. *Forensic Sci Int* 1991;52:85-92.
7. Halmagyi DF. Lung changes and incidence of respiratory arrest in rats after aspiration of sea and fresh water. *J Appl Physiol* 1961;16:41-4.
8. Reidbord HE, Spitz WU. Ultrastructural alterations in rat lungs. Changes after intratracheal perfusion with fresh water and seawater. *Arch Pathol* 1966;81:103-11.
9. Fuller RH. The 1962 Wellcome prize essay. Drowning and the postimmersion syndrome. A clinicopathologic study. *Mil Med* 1963;128:22-36.
10. Miloslavich EI. Pathological anatomy of death by drowning. *Am J Clin Pathol* 1934;4:42-9.
11. Toklu AS, Alkan N, Gurel A, et al. Comparison of pulmonary autopsy findings of the rats drowned at surface and 50 ft depth. *Forensic Sci Int* 2006;164:122-5.
12. Nishitani Y, Fujii K, Okazaki S, et al. Weight ratio of the lungs and pleural effusion to the spleen in the diagnosis of drowning. *Leg Med* 2006;8:22-7.
13. Sugimura T, Kashiwagi M, Matsusue A, et al. Application of the drowning index to actual drowning cases. *Legal Med* 2010;12:68-72.
14. Yarulmaz C, Arican N, Afacan I, et al. Pleural effusion in bodies recovered from water. *Forensic Sci Int* 2003;136:16-21.
15. Terazawa K, Haga K. The role of pleural effusion in drowning. *Am J Forensic Med Pathol* 1996;17:173-4.
16. Modell JH, Bellefleur M, Davis JH. Drowning without aspiration: is this an appropriate diagnosis? *J Forensic Sci* 1999;44:1119-23.
17. Modell JH, Moya F. Effects of volume of aspirated fluid during chlorinated fresh water drowning. *Anesthesiology* 1966;27:662-72.
18. Modell JH, Moya F, Newby EJ, et al. The effects of fluid volume in sea water drowning. *Ann Intern Med* 1967;67:66-80.
19. Lunetta P, Modell JH, Sajantila A. What is the Incidence and Significance of "dry-lungs" in Bodies Found in Water? *Am J Forensic Med Pathol* 2004;25:291-301.
20. Orłowski JP, Szpilman D. Drowning. Rescue, resuscitation and reanimation. *Pediatr Clin North Am* 2001;48:627-46.