

온몸의 연속절단면영상 만들기 (첫째 보고: 포매하고 연속절단하는 방법)

박진서, 정민석*, 김진용, 박형선¹

아주대학교 의과대학 해부학교실, ¹한국과학기술정보연구원 정보사업부

〈 초 록 〉

온몸의 연속절단면영상(자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상)이 있으면 3차원영상을 만들어서 잘라 보거나 돌려 볼 수 있기 때문에 해부학을 공부하는 데 도움이 된다. 연속절단면영상 중에서 가장 중요한 해부영상을 만들기 위해서는 시신의 온몸을 포매한 다음에 연속절단해서 절단면을 만들어야 한다. 이 연구에서는 미국에서 만든 것(Visible Human Project dataset)보다 더 좋은 절단면을 만들기 위해서 다음과 같은 장비와 기술을 마련하였다. 첫째, 시신의 온몸을 포매하기 위한 장비(포매상자, 냉동고)를 만들었고, 필요한 기술을 개발하였다. 둘째, 포매상자를 0.2mm 간격으로 연속절단하기 위한 장비(연속절단기)를 만들었고, 필요한 기술을 개발하였다. 이 장비와 기술을 쓰면 시신의 온몸을 대상으로 0.2mm 간격의 깨끗한 절단면을 만들 수 있다. 이 절단면을 컴퓨터에 입력해서 해부영상을 만들면 좋은 3차원영상을 만드는 밑바탕이 되고, 나아가 해부학을 공부하는 데 도움이 될 것이다.

찾아보기 낱말 : 온몸, 연속절단면영상, 해부영상, 3차원영상, 포매

서 론

미국의 국립의학도서관(National Library of Medicine)에서는 1994년(남성)과 1995년(여성)에 온몸의 연속절단면영상(Visible Human Project dataset)을 만들어서 발표하였다(Spitzer 등, 1996; Spitzer와 Whitlock, 1998). 연속절단면영상이 있으면 3차원영상으로 재구성한 다음에 3차원영상을 잘라 보거나 돌려 볼 수 있기 때문에 의과대학 학생과 의사가 해부학을 공부하는 데 도움이 된다(Ackerman, 1999; Chung과 Kim, 2000). 미국에서는 연속절단면영상(자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상) 중에서 가장 중요한 해부영상을 만들기 위해서 고정액을 주입한 백인 시신의 온몸을 네 토막 낸 다음에 포매하고, 1mm(남성)와 0.33mm(여성) 간격으로 연속절단해서 절단면을 만들었다. 그런데 미국에서 만든 해부영상은 다음과 같은 문제가 있다. 첫째, 시신을 톱으로 네 토막 낸 다음에 포매하였기 때문에 네 토막 사이의 해부영상을 볼 수 없다. 둘째, 남성은 1mm 간격, 여성은 0.33mm 간격으로 연속절단하였기 때문에 이 간격보다 작은 해부 구조를 볼 수 없다(Spitzer 등, 1996). 따라서 이 연구에서는 미국에서 만든 것보다 더 좋은 해부영상을 만들기로 하였으며, 그

내용은 다음과 같다. 한국사람 시신의 온몸을 토막내지 않은 채로 포매하고, 0.2mm 간격으로 연속절단해서 절단면을 만들기로 하였다. 이를 위해서 다음과 같은 장비와 기술을 마련하였다. 첫째, 시신의 온몸을 포매하고 얼리기 위한 큰 포매상자와 냉동고를 만들었고, 필요한 기술을 개발하였다. 둘째, 포매상자를 0.2mm 간격으로 연속절단하기 위한 크고 정밀한 연속절단기를 만들었고, 필요한 기술을 개발하였다. 이 논문의 목적은 좋은 해부영상을 만들기 위해서 시신의 온몸을 포매하고 연속절단하는 방법을 자세히 알리는 것이다.

재료 및 방법

연구 기간은 5년(2000년 3월~2005년 8월)이고, 지난 2년 동안(2000년 3월~2002년 8월) 3구의 남성 시신을 기증받아서 연속절단하였으며, 앞으로 3년 동안(2002년 9월~2005년 8월) 남성 시신과 여성 시신을 기증받아서 연속절단할 계획이다(Table 1).

시신을 자세고정상자에 넣고, 시신의 자세와 방향을 조절하고 고정하였다. 기증받은 시신에 고정액을 주입하지 않은 채로 시신의 온몸에 있는 털을 깎았다. 시신의 양쪽 손바닥을 몸통의 옆에 붙여서, 즉 시신을 차렷 자세로 만들어서 자

* 교신저자: 정민석
Tel: 031-219-5032; dissect@ajou.ac.kr

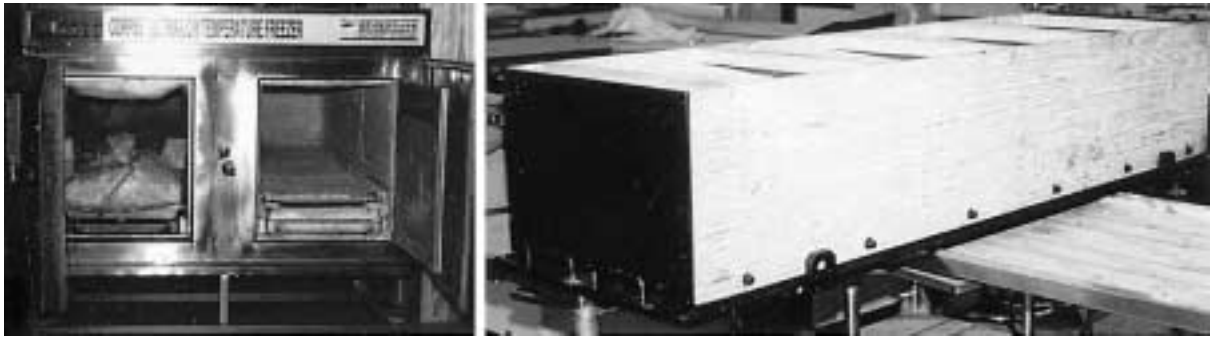


Fig. 1. Freezer involving two compartments (left) and embedding box (right).

Table 1. Cadavers used for the preliminary experiment and main experiment

Sex	Age	Length	Weight	Cause of death	Period of experiment
Male	65	1,789 mm	53 kg	Brain tumor	Mar 2000 ~ Feb 2001
Male	60	1,720 mm	65 kg	Traffic accident	Mar 2001 ~ Aug 2001
Male	33	1,718 mm	55 kg	Leukemia	Sep 2001 ~ Aug 2002
Male		(To be donated)			Sep 2002 ~ Aug 2003
Female		(To be donated)			Sep 2003 ~ Aug 2005

세고정상자에 넣어서 놓았다. 자세고정상자에 길이 방향의 실을 붙여서 시신이 좌우 대칭인지 확인한 다음에 시신의 뒤통수에 순간고형제 (MeV-Green, ChunSung™)가 굳은 것을 베개처럼 놓아서 시신의 목이 뒤로 퍼지지 않게 하였다. 이어서 순간고형제를 자세고정상자에 넣고 굳혀서 시신의 자세와 방향을 고정하였다.

자기공명영상을 찍고 얼렸다. 자세고정상자에 넣은 시신의 온몸을 대상으로 자기공명영상을 1 mm 간격으로 찍고, 개인용 컴퓨터로 옮겨서 저장하였다. 자세고정상자를 -70°C 의 냉동고(삼원냉열엔지니어링™)에 넣어서 얼렸다 (Fig. 1). 돌아가신 시신을 얼리는 데까지 48시간이 걸렸다.

컴퓨터단층사진을 찍었다. 시신의 온몸을 대상으로 컴퓨터단층사진을 1 mm 간격으로 찍고, 개인용 컴퓨터로 옮겨서 저장하였다.

시신의 온몸을 포매할 포매상자를 만들었다. 포매상자의 속 크기를 2,000 mm (길이) × 570 mm (너비) × 410 mm (높이)로 만들어서 키가 2,000 mm 이하이고 어깨너비가 570 mm 이하인 시신을 포매상자에 넣게 하였다. 포매상자의 바깥 크기를 2,090 mm × 640 mm × 430 mm로 만들어서 포매상자를 한 칸의 크기가 2,100 mm × 645 mm × 650 mm인 냉동고에 넣게 하였다. 포매상자의 밑판, 머리판, 발판을 무거운 쇠(두께 10 mm)로 만들어서 연속절단할 때 포매상자가 흔들리지 않게 하였다. 포매상자의 옆판을 나무로 만들어서 옆판의 일부를 전기톱으로 쉽게 떼게 하였다. 포매상자의 밑판에 옆판보다 옆으로 튀어나온 여백을 만들었고, 그 여백에 여러 구멍을 뚫었다. 포매상자의 머리판과 발판에 서로 들어맞는 둥근 구

멍(지름 15 mm)을 여러 쌍 뚫었다. 포매상자의 밑판, 머리판, 발판, 옆판을 나사로 조립한 다음에 판이 만나는 곳에 실리콘을 칠했다. 실리콘이 마른 다음에 포매상자에 물을 채워서 물이 새지 않는지 확인하였다 (Fig. 1).

포매상자에 포매제를 100 mm 높이만큼 붓고 얼렸다. 증류수에 젤라틴 가루와 메틸렌 블루를 섞고(증류수 1,000 L, 젤라틴 30 kg, 메틸렌 블루 0.5 kg) 젤라틴 가루가 완전히 녹을 때까지 끓여서 포매제를 만들었다. 포매제를 포매상자에 100 mm 높이만큼 붓고 실온($+10^{\circ}\text{C}$)에서 굳힌 다음에 포매제의 표면이 편평해질 때까지 포매제를 아주 조금씩 붓고 굳히는 것을 되풀이 하였다. 포매상자를 -70°C 의 냉동고에 넣어서 포매제를 얼렸다.

포매상자에 시신을 넣고 정렬막대를 꼽았다. 자세고정상자에 들어 있는 시신의 피부에 길이 방향과 너비 방향의 선을 수성펜으로 그었다. 등과 엉덩이가 편평한 시신을 자세고정상자에서 꺼내 포매상자에 넣어서 놓았다. 포매상자에 길이 방향과 너비 방향의 실을 붙인 다음에 그 실이 시신의 피부에 그은 길이 방향과 너비 방향의 선과 들어맞는지 확인하였다. 포매상자의 양쪽 옆판을 나무로 이어서 포매할 때 양쪽 옆판이 벌어지지 않게 하였다. 포매상자의 머리판과 발판에 뚫은 여러 쌍의 구멍 중에서 적당한 4쌍의 구멍에 4개의 정렬막대(폴리아세틸, 길이 2,090 mm, 지름 15 mm)를 꼽았다. 옆판을 잇는 나무와 정렬막대를 실로 묶고, 정렬막대 밑에 얼린 포매제를 받쳐서 정렬막대가 아래로 휘지 않게 하였다 (Fig. 2).

포매상자에 포매제를 나누어 붓고 얼려서 시신을 포매하였다. $+30^{\circ}\text{C}$ 에서 식힌 포매제를 포매상자에 100 mm 높이만큼 붓고 실온($+10^{\circ}\text{C}$)에서 굳힌 다음에 -70°C 의 냉동고에 넣어서 얼렸다. 포매제가 포매상자에 가득 찰 때까지 포매제를 나누어 붓고, 굳히고, 얼리는 것을 되풀이 하였다 (Fig. 2).

무거운 포매상자를 연속절단기로 옮기고 올려 놓을 수레와 기중기를 만들었다. 포매제를 가득 채운 포매상자의 무게는 약 1톤이었다. 이처럼 무거운 포매상자를 냉동고에서 연속절단기로 옮길 수레를 만들었다. 냉동고 각 칸의 바닥과

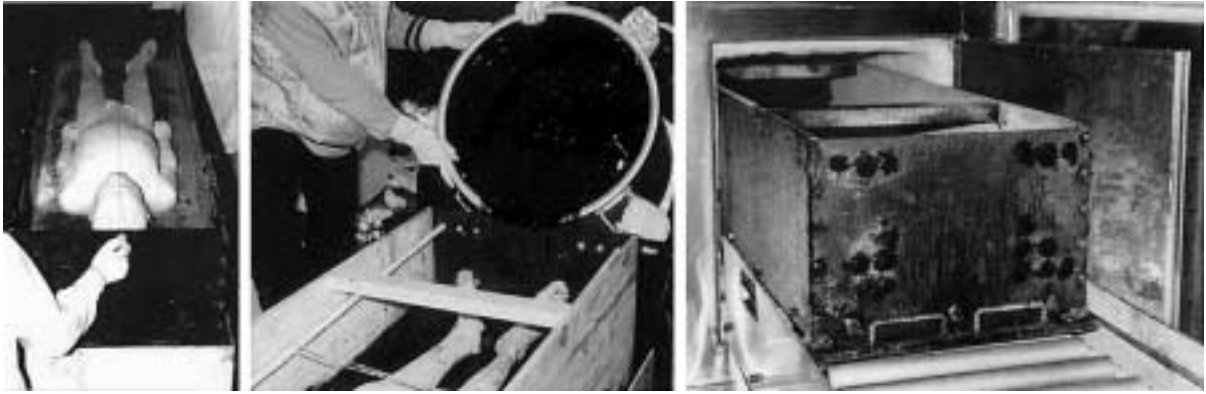


Fig. 2. Cadaver and embedding agent which are put into the embedding box (left and middle) and embedding box which is put into the freezer (right).

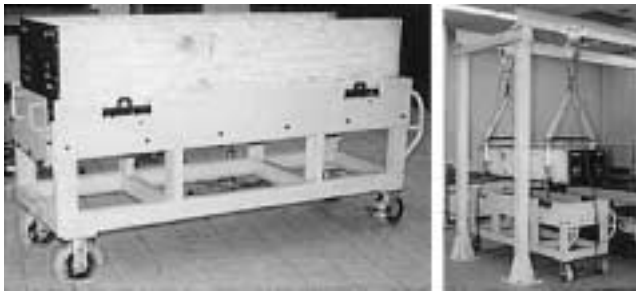


Fig. 3. Cart (left) and crane (right) for transporting the embedding box.

수레의 위에 굴림대를 붙여서 포매상자를 냉동고에서 수레로 쉽게 신게 하였다. 또한 무거운 포매상자를 연속절단기의 포매상자받침에 올려 놓을 기중기를 만들었다. 기중기에 움직 도르레를 달아서 포매상자를 쉽게 들게 하였다. 물론 포매상자를 연속절단기에서 냉동고로 옮길 때에도 기중기와 수레를 썼다(Fig. 3).

포매상자를 연속절단할 연속절단기를 만들어서 실험실에 설치하였다. 연속절단기(한원정기™)는 시신의 온몸을 연속절단할 수 있도록 크게 (5,240 mm × 4,250 mm × 3,240 mm) 만들었고, 연속절단할 때 흔들리지 않도록 무겁게 (15톤) 만들었다(Fig. 4).

연속절단기는 포매상자를 고정하고 옮기는 포매상자받침, 포매상자를 깎는 절단원반, 포매상자와 절단원반을 움직이는 명령판으로 이루어졌다(Fig. 5).

포매상자를 고정해서 옮기는 포매상자받침을 만들었다. 포매상자의 밑판 여백에 있는 여러 구멍에 들어맞는 구멍을 포매상자받침에 뚫었다. 포매상자의 밑판 여백을 조일 수 있는 지지대와 나사를 포매상자받침에 만들었다. 포매상자받침에 고정된 포매상자를 길이 방향(X축)으로 최대 2,000 mm 만큼 옮길 수 있고, 너비 방향(Y축)으로도 최대 1,000 mm 만큼 옮길 수 있게 만들었다(Fig. 5).

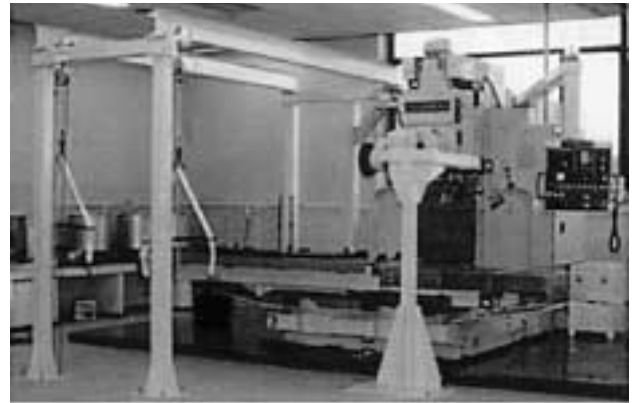


Fig. 4. Cryomicrotome for serial sectioning the embedding box.

포매상자를 연속절단기의 포매상자받침에 올려 놓고 고정하였다. 기중기를 써서 포매상자를 포매상자받침에 올려 놓았으며, 이 때 포매상자의 밑판이 절단원반을 향하게 하였다. 포매상자의 밑판 여백과 포매상자받침에 있는 여러 구멍에 딱 맞는 막대를 꼽아서 구멍이 들어맞는지, 즉 포매상자를 포매상자받침의 제자리에 놓았는지 확인하였다. 포매상자받침에 있는 지지대와 나사로 포매상자의 밑판 여백을 단단히 조여서 포매상자를 포매상자받침에 고정하였다. 포매상자의 밑판을 떼고 옆판의 일부를 전기톱으로 떼어서 절단원반이 포매상자의 밑판과 옆판에 닿지 않게 하였다.

포매상자를 깎는 절단원반을 만들었다. 절단원반(지름 360 mm)의 가장자리에 알루미늄을 깎는 칼날(SEKN S25M, SECO™) 20개를 꼽았다. 칼날을 꼽은 다음에는 절단원반에서 튀어나온 칼날의 높이가 각도가 한결같은지 다이얼 게이지로 확인하였다. 연속절단하면, 특히 뼈와 정렬막대를 연속절단하면, 칼날의 모서리가 무더지기 때문에 칼날을 1주일에 1번씩 새 것으로 바꾸어 꼽았다. 1개의 칼날에 4개의 모서리가 있기 때문에 1개의 칼날을 4번 쓸 수 있었다. 연속절단할

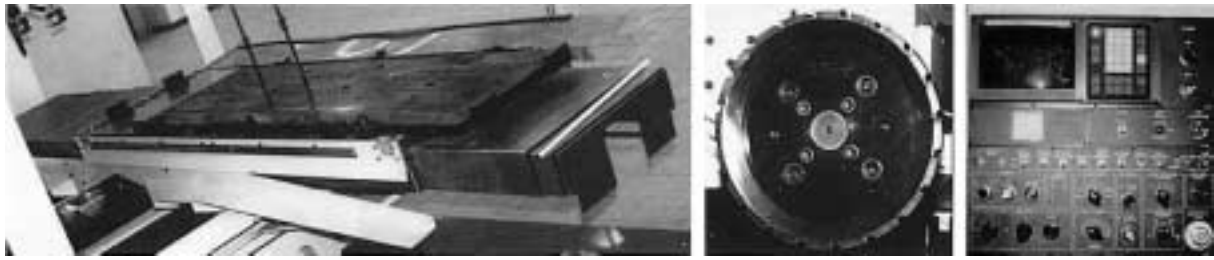


Fig. 5. Embedding box supporter (left), sectioning disc (middle), and control box of the cryomicrotome (right).

때마다 칼날에 낀 시신과 포매제의 가루를 털어냈으며, 연속 절단할 때 생기는 가루는 모두 모아서 나중에 화장하였다. 절단원반을 높이 방향(Z축)으로 최대 900 mm만큼 옮길 수 있고, 제자리에서 돌릴 (24 rpm~1,315 rpm) 수 있게 만들었다 (Fig. 5).

명령판에서 포매상자와 절단원반을 움직이는 프로그램을 짰다. 명령판에서 수치제어언어 (numerical control language)로 다음과 같은 주프로그램 (O0001)과 보조프로그램 (O0002)을 짰다. 주프로그램은 연속절단기를 꺾다가 켜올 때 포매상자와 절단원반을 제자리로 옮기기 위한 것이었다. 주프로그램의 내용은 다음과 같았다. 첫째, 포매상자(X0 Y0)와 절단원반(Z0)을 +끝으로(G28) 빨리(G00) 옮긴다(G91). 이것은 포매상자를 절단원반에서 가장 먼 곳으로 옮기고, 절단원반을 가장 높은 곳으로 옮기는 명령이었다. 둘째, 포매상자를 X축(X0)의 원점으로(G54) 빨리(G00) 옮긴다(G90). 연속절단을 시작할 때마다 포매상자와 절단원반을 원점으로 옮기기 위해서 G54 좌표를 썼다. G54의 X축 좌표는 연속절단을 하면서 바뀌기 때문에 연속절단기를 꺾다가 켜면 새로 입력할 필요가 있었고, G54의 Y축, Z축 좌표는 바뀌지 않기 때문에 새로 입력할 필요가 없었다. 셋째, 보조프로그램(O0002)을 150번 되풀이해서(P150) 실행한다(M98). 보조프로그램은 연속절단할 때마다 포매상자와 절단원반을 되풀이해서 움직이기 위한 것이었다. 보조프로그램의 내용은 다음과 같았다. 첫째, 포매상자와 절단원반을 Y축(Y0)과 Z축(Z0) 원점으로(G54) 빨리(G00) 옮긴다(G90). 둘째, 절단원반을 4초 동안(P4000) 옮기지 않는 채로(G04) 돌린다(M04). 이것은 절단원반이 제속도(628 rpm)로 돌 때까지 제자리에 머물게 하는 명령이었다. 셋째, 포매상자를 X축으로 -0.2 mm만큼(X-0.2) 빨리(G00) 옮긴다(G91). 이것은 포매상자를 절단원반 쪽으로 연속절단 간격(0.2 mm)만큼 옮기는 명령이었다. 넷째, 포매상자를 Y축 원점에서 +960 mm만큼 떨어진 곳으로(Y960.000) 옮기며(G90), 이 때 900 mm/min(F900)의 속도로 옮긴다(G01). 이것은 포매상자를 절단원반과 나란히 옮겨서 연속절단하게 하는 명령이었다. 다섯째, 절단원반을 Z축(Z0)의 +끝으로(G28) 빨리(G00) 옮기고(G91) 돌지 않게 한다(M05). 이것은 절단원반을 가장 높은 곳으로 옮기고 돌지 않게 하

Table 2. Program in the control box for serial sectioning

Main program	O0001; G91 G28 G00 X0 Y0 Z0 G90 G00 G54 X0; M98 P1500002; %;
Subprogram	O0002; G90 G00 G54 Y0 Z0; M04 G04 P4000; G91 G00 X-0.2; G90 G01 Y960.000 F900; G91 G28 G00 Z0 M05; G90 G00 Y928.000; M01; M99;

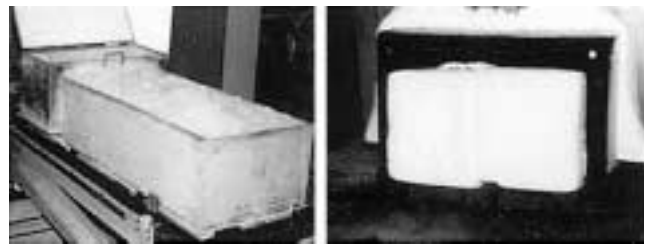


Fig. 6. Dry ice which is put on the superior, lateral surfaces (left) and sectioned surface (right) of the embedding box.

는 명령이었다. 여섯째, 포매상자를 Y축 원점에서 +928 mm만큼 떨어진 곳으로(Y928.000) 빨리(G00) 옮긴다(G90). 이것은 절단면을 찍기 위해서 포매상자를 옮기는 명령이었다. 일곱째, 프로그램을 다시 실행할 때까지 포매상자와 절단원반을 옮기지 않는다(M01). 이것은 절단면을 다듬고 찍는 동안에 포매상자와 절단원반이 움직이지 않게 하는 명령이었다. 여덟째, 보조프로그램을 처음부터 다시 실행하게 한다(M99) (Table 2).

명령판에서 짠 프로그램을 실행하여 포매상자를 연속절단하였다. 연속절단기를 꺾다가 켜면 주프로그램을 실행하여 포매상자와 절단원반을 제자리로 옮겼고, 보조프로그램을 되풀이해서 실행하여 포매상자와 절단원반을 되풀이해서 움직

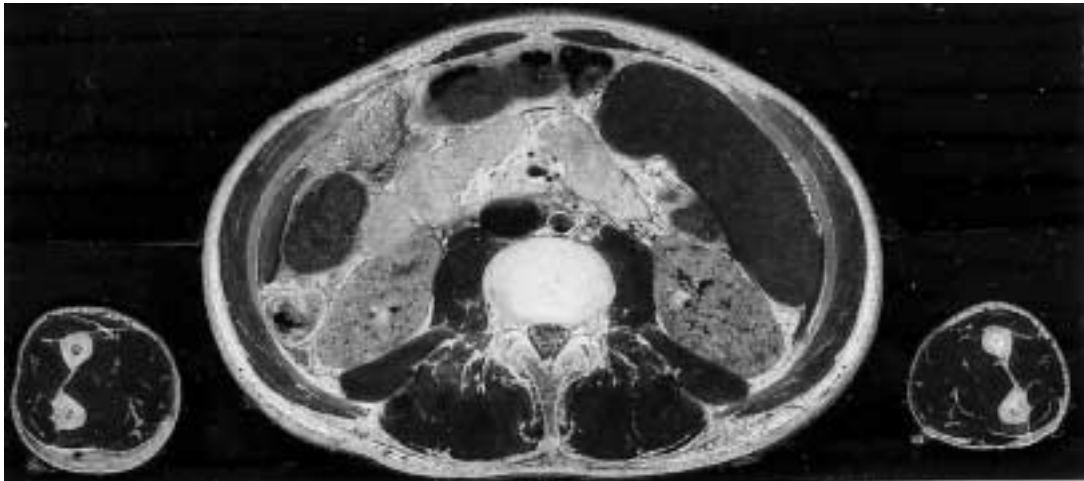


Fig. 7. Anatomical image involving cadaver and embedding agent.

였으며, 따라서 포매상자를 0.2 mm 간격으로 연속절단하였다 (Table 2).

연속절단할 때 포매상자가 녹지 않게 하였다. -70°C 의 냉동고에서 얼린 포매상자를 꺼내서 $+5^{\circ}\text{C}$ 이하의 실험실에서 연속절단하였다. 연속절단할 때 냉각제(드라이 아이스)로 포매상자의 윗면과 옆면을 차갑게 하였고, 절단면을 컴퓨터에 입력한 다음에 냉각제로 절단면을 차갑게 하였다(Fig. 6).

연속절단한 다음에 절단면을 다듬었다. 절단면에 소화관, 호흡관의 공기 구멍이 나타나면 공기 구멍에 반고체 상태의 포매제를 채우고 냉각제로 얼렸다. 절단면에 깎이지 않은 질긴 결합조직이 튀어나와 있으면 질긴 결합조직을 칼로 잘라냈다. 절단면에 생긴 성에를 에틸 알코올을 묻힌 수건으로 닦아냈다. 즉 에틸 알코올을 많이 묻힌 헝겊 수건으로 절단면을 닦은 다음에 종이 수건으로 절단면을 닦아서 성에와 에틸 알코올을 모두 없앴다.

절단면을 개인용컴퓨터에 입력해서 해부영상을 만들었다. 절단면을 디지털사진기(해상도 $3,040 \times 2,008$)로 찍어서 해부영상을 만든 다음에 개인용컴퓨터로 옮겨서 저장하였다. 개인용컴퓨터로 옮긴 해부영상의 범위, 밝기, 초점이 맞는지 모니터로 확인한 다음에 다음 연속절단을 진행하였다.

결 과

이 연구에서는 시신의 온몸을 포매하고 연속절단하는 방법을 개발하였으며, 그 방법에 따라서 만든 셋째 시신의 해부영상은 다음과 같았다.

8,590개의 해부영상을 만들었다. 시신의 길이가 1,718 mm였고, 연속절단 간격이 0.2 mm였기 때문에 해부영상의 개수가 8,590개였다. 시신을 토막내지 않았기 때문에 온몸의 해

부영상을 만들 수 있었다. 명령판에 입력한 프로그램으로 연속절단기를 되풀이해서 움직였고(Table 2), 5명의 연구원이 함께 애썼기 때문에 8,590개의 해부영상을 5달 동안에(2001년 10월~2002년 2월) 만들 수 있었다.

좋은 해부영상을 만들었다. 포매할 때 포매제를 조금씩 붓고 얼리는 것을 되풀이하였기 때문에 포매제가 시신을 누르지 않았다. 해부영상의 해상도가 $3,040 \times 2,008$ 이었고, 빛깔이 24 bit color였다. 시신에 고정액을 주입하지 않았기 때문에 해부영상의 빛깔이 생체와 비슷하였다. 뽕뽕 얼린 포매상자를 포매상자받침에 고정해서 좋은 칼날로 정밀하게 연속절단하고 절단면을 다듬었기 때문에 해부영상이 깨끗하였다(Fig. 7).

고 찰

이 연구에서는 좋은 절단면과 해부영상을 만들기 위해서 많은 실험을 하여 시신의 온몸을 포매하고 연속절단하는 방법을 마련하였으며, 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

포매제로 젤라틴 용액을 써야 한다. 포매제로 아가(agar) 용액을 쓰면 얼릴 때 많이 팽창하지 않는다는 장점이 있으나 연속절단할 때 유리처럼 깨지고 절단면에 잘 붙는다는 단점이 있다. 따라서 포매제로 젤라틴 용액을 썼으며, 그 대신에 포매제가 많이 팽창하는 것을 막기 위해서 식힌 포매제를 나누어서 붓고 얼리는 것을 되풀이하였다.

포매제에 파란 색소(메틸렌 블루)를 섞어야 한다. 포매제에 파란 색소를 섞지 않으면 절단면을 찍을 때 광원의 빛이 포매제에서 난반사되어서 절단면이 반짝이고, 구역화할 때 포매제와 피부의 빛깔 차이가 뚜렷하지 않아서 피부를 구역화하기 어렵다. 따라서 포매제에 파란 색소를 섞었다. 포매제

에 파란 식용색소를 섞으면 식용색소가 피부로 스며들고, 연속절단할 때 튀어서 절단면으로 스며든다. 따라서 포매제에 메틸렌 블루를 섞었다(Figs. 2, 7).

식힌 포매제를 나누어 붓고 얼리는 것을 되풀이 해야 한다. 젤라틴을 녹이기 위해서 끓인 포매제를 포매상자에 부으면 얼린 시신의 피부가 갑자기 녹으면서 손상된다. 따라서 끓인 포매제를 식힌 다음에 부었다. 포매제를 포매상자에 많이 붓고 갑자기 얼리면 포매제가 많이 팽창해서 시신을 누른다. 따라서 포매제를 100mm 높이만큼 붓고 실온에서 굳힌 다음에 냉동고로 얼렸다. 포매제가 포매상자에 가득 찰 때까지 이것을 되풀이하였다(Fig. 2).

시신을 토막내지 않아야 한다. 시신을 톱으로 토막낸 다음에 연속절단하면 톱질한 부분의 해부영상을 볼 수 없다. 미국에서는 남성 시신을 네 토막 냈기 때문에 해부영상 중에서 19개를 볼 수 없고, 여성 시신도 마찬가지이다(Fig. 8)(Spitzer 등, 1996). 따라서 시신을 토막내지 않았으며, 그 대신에 시신(키 2,000mm 이하, 어깨너비 570mm 이하)의 온몸을 포매할 수 있는 큰 포매상자를 만들었고, 큰 포매상자를

기고 올려 놓을 수 있는 수레와 기중기, 큰 포매상자를 열릴 수 있는 큰 냉동고, 큰 포매상자를 연속절단할 수 있는 큰 연속절단기를 만들었다(Figs. 1, 2, 3, 4).

포매상자를 눕혀서 연속절단해야 한다. 길이가 2,090mm인 포매상자를 세워서, 즉 시신을 세워서 연속절단하려면 천장이 높은 실험실에서 사다리에 올라가서 일해야 할 뿐 아니라 포매상자를 연속절단기에 고정하기도 매우 어렵다. 따라서 포매상자를 눕혀서, 즉 시신을 눕혀서 연속절단하였고, 이에 맞게 연속절단기를 만들었다(Figs. 3, 4). 미국에서는 시신을 네 토막 냈기(Fig. 8) 때문에 포매상자를 세워서 연속절단할 수 있었다(Spitzer 등, 1996).

시신의 아래(발)부터 연속절단해야 한다. 위(머리)부터 연속절단하면 절단원반을 돌려서 생기는 음압 때문에 손가락과 발가락의 먼쪽 부분이 빠져 나가기 쉽다. 또한 위부터 연속절단하면 해부영상의 좌우를 뒤집어서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에 맞추어야 한다. 따라서 아래부터 연속절단하였으며, 이를 위해서 포매상자를 포매상자받침에 올려 놓을 때 포매상자의 발판이 절단원반을 향하게 하였다. 미국에서는 위부터 연속절단하였으며, 따라서 해부영상의 좌우를 뒤집어야 했다(Spitzer 등, 1996).

수평 방향으로 연속절단해야 한다. 시신을 수평 방향으로 연속절단하지 않으면 비스듬한 방향의 해부영상이 만들어지고, 이 해부영상은 의사한테 익숙하지 않기 때문에 보기가 어렵다. 따라서 수평 방향으로 연속절단하였으며, 이를 위해서 다음처럼 시신을 자세고정상자와 포매상자에 똑바로 넣었다. 자세고정상자에서 시신이 좌우 대칭인지 확인하였고, 시신의 목이 뒤로 꺾이지 않게 하였다. 포매상자에 붓고 얼린 포매제의 표면을 편평하게 만든 다음에 시신을 포매상자에 넣어서 등과 엉덩이가 편평한 시신이 머리쪽, 발쪽, 오른쪽, 왼쪽으로 기울지 않게 하였다. 포매상자에 길이 방향과 너비 방향의 실을 붙인 다음에 그 실이 시신의 피부에 그늘 길이 방향과 너비 방향의 선과 들어맞는지 확인하여서 시신이 오른쪽 또는 왼쪽으로 돌아가지 않게 하였다(Fig. 2).

절단면이 편평하고 서로 평행하며, 연속절단 간격이 한결 같게 연속절단 해야 한다. 절단면이 편평하지 않거나, 절단면이 서로 평행하지 않거나, 연속절단 간격이 한결같지 않으면 해부영상으로 만든 3차원영상에서 기관의 생김새가 실제와 달라지며, 보기를 들면 다음과 같다. 절단면이 편평하지 않으면 3차원영상에서 간의 매끄러운 표면이 울퉁불퉁해질 수 있고, 절단면이 서로 평행하지 않으면 3차원영상에서 오른쪽 바퀴가 왼쪽바퀴보다 커질 수 있고, 연속절단 간격이 한결같지 않으면 3차원영상에서 팔이 다리보다 길어질 수 있다. 따라서 절단면이 편평하고 서로 평행하며, 연속절단 간격이 한결같게 연속절단하였으며, 이를 위해서 다음처럼 하였다. 포매상자와 연속절단기를 무겁게 만들고, 포매상자를 포매상자받침에 고정해서 연속절단할 때 포매상자가 흔들리지 않게



Fig. 8. Visible Human Project dataset showing missing anatomical images between the four blocks.

하였다. 또한 정밀한(오차 1 μm) 연속절단기를 만들어서 연속절단할 때 포매상자를 정확히 옮기게 하였다. 개의 해부영상을 만들기 위해서 연속절단한 연구에서는 이러한 조건을 갖추지 못했다. 즉 나무를 깎는 절단기에 포매상자를 고정한다음에 자를 보면서 연속절단 간격만큼 손으로 밀었다(Böttcher와 Maierl, 1999).

포매상자를 뽕뽕 얼려야 한다. 연속절단할 때 포매상자가 녹으면 칼날이 절단면을 깎지 못하고 뭉개며, 그 결과로 깨끗한 절단면을 만들 수 없다. 따라서 -70°C 의 냉동고에서 얼린 포매상자를 꺼내서 $+5^{\circ}\text{C}$ 이하의 실험실에서 연속절단하였고, 이 때 냉각제로 포매상자를 차갑게 하였다(Figs. 2, 6).

적당한 칼날을 써서 연속절단해야 한다. 칼날이 너무 딱딱하거나 너무 무르면 연속절단할 때 다음과 같은 문제가 있다. 강철을 깎는 딱딱한 칼날을 쓰면 절단면을 뭉개고, 주철을 깎는 무른 칼날을 쓰면 절단면을 제대로 깎지 못한다. 따라서 알루미늄을 깎는 칼날, 즉 적당히 딱딱한 칼날을 써서 시신의 딱딱한 조직(치아, 뼈) 뿐 아니라 무른 조직도 깨끗하게 깎았다. 칼날의 높이와 각도가 한결같지 않거나, 칼날이 무디거나, 칼날에 시신과 포매제의 가루가 끼면 절단면을 깨끗하게 만들지 못한다. 따라서 절단원반에서 튀어나온 칼날의 높이와 각도가 한결같은지 다이얼 게이지로 확인하였고, 딱딱한 조직과 정렬막대를 연속절단하면서 무디어진 칼날을 1주일에 1번씩 새 것으로 바꾸어 썬았고, 연속절단할 때마다 칼날에 낀 시신과 포매제의 가루를 털어냈다.

포매상자를 옮기는 속도와 절단원반을 돌리는 속도를 적당하게 조절해야 한다. 연속절단할 때 포매상자를 너무 방향으로 옮기는 속도와 절단원반을 돌리는 속도가 적당하지 않으면 깨끗한 절단면을 만들 수 없다. 따라서 예비실험을 하여 포매상자를 옮기는 속도(900 mm/min)와 절단원반을 돌리는 속도(628 rpm)를 적당하게 조절하였다.

절단면에 나타난 공기 구멍을 채워야 한다. 절단면에 나타난 소화관, 호흡관의 공기 구멍을 채우지 않으면 연속절단할 때 공기 구멍의 벽이 무너질 수 있다. 또한 나중에 나타나야 할 절단면이 미리 나타나므로 잘못된 해부영상과 3차원영상을 만들게 된다. 즉 3차원영상에서 공기 구멍의 벽이 두꺼워져서 공기 구멍을 채우게 된다. 따라서 공기 구멍에 불투명한 포매제를 채우고 얼렸다.

절단면에 튀어나온 조직을 자르고 성에를 깨끗이 닦아야

한다. 절단면에 질긴결합조직과 성에가 있으면 깨끗한 해부영상을 만들 수 없다. 따라서 질긴결합조직을 칼로 잘라냈고, 성에를 에틸 알코올로 닦아냈다. 에틸 알코올(어는점 -114°C)은 뽕뽕 얼린 절단면에서 얼지 않기 때문에 성에를 닦을 수 있었다.

이 연구에서 마련한 포매상자, 냉동고, 연속절단기 등의 장비와 관련된 기술은 작은 실험 재료를 연속절단할 때에도 쓸 수 있다. 보기를 들어서 하나의 정상 또는 비정상 기관을 연속절단할 때에도 쓸 수 있고, 어린이, 태아, 개, 토끼 등을 연속절단할 때에도 쓸 수 있다. 이처럼 이 연구에서 마련한 장비와 기술을 써서 다양한 실험 재료를 연속절단하면 다양한 해부영상과 3차원영상을 만들 수 있고, 나아가 의학과 생명과학을 연구하는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

이 연구에서는 미국보다 더 좋은 절단면을 만들기 위해서 시신의 온몸을 포매하고 얼리는 장비(포매상자, 냉동고)와 기술, 그리고 0.2 mm 간격으로 연속절단하는 장비(연속절단기)와 기술을 개발하였다. 이 장비와 기술을 쓰면 미국에서 만든 절단면과 달리 한국사람 시신의 온몸을 대상으로 0.2 mm 간격의 깨끗한 절단면을 만들 수 있다. 이 절단면을 컴퓨터에 입력해서 해부영상을 만들면 좋은 3차원영상을 만드는 밑바탕이 되고, 나아가 해부학을 공부하는 데 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

- Ackerman MJ : The Visible Human Project. A resource for education, *Acad Med* 74: 667-670, 1999.
- Böttcher P, Maierl J : Macroscopic cryosectioning : A simple new method for producing digital, three dimensional databases in veterinary anatomy. *Anat Histol Embryol* 28: 97-102, 1999.
- Chung MS, Kim SY : Three-dimensional image and virtual dissection program of the brain made of Korean cadaver, *Yonsei Med J* 41 : 299-303, 2000.
- Spitzer VM, Ackerman MJ, Scherzinger AL, Whitlock DG : The Visible Human male. Technical report, *J Am Med Inform Assoc* 3: 118-130, 1996.
- Spitzer VM, Whitlock DG : The Visible Human dataset. The anatomical platform for human simulation, *Anat Rec* 253: 49-57, 1998.

— Abstract —

Manufacture of the Serially Sectioned Images of the Whole Body (First Report: Methods for Embedding and Serial Sectioning)

Jin Seo Park, Min Suk Chung*, Jin Yong Kim, Hyung-Seon Park¹

Department of Anatomy, Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea,

¹Korean Institute of Science Technology Information, Daejeon, Korea

Serially sectioned images (MR, CT, and anatomical images) of the whole body are helpful in anatomy education because three dimensional images can be reconstructed with the serially sectioned images, and then the three dimensional images can be sectioned and rotated. To make the most important anatomical images of the serially sectioned images, the cadaver's whole body should be embedded, frozen, and serially sectioned to make sectioned surfaces. In this study, to make the sectioned surfaces better than the Visible Human Project dataset, the equipments and techniques have been developed as follows. First, the equipments (embedding box, freezer) and techniques for embedding and freezing of the cadaver's whole body have been developed. Second, the equipments (cryomacrotome) and techniques for serial sectioning of the embedding box at 0.2 mm intervals have been developed. By using these equipments and techniques, the sectioned surfaces with good quality could be made at 0.2 mm intervals. The anatomical images made of the sectioned surfaces will be the basis for making better three dimensional images which are more helpful in anatomy education.

Key words : Whole body, Serially sectioned images, Anatomical images, Three dimensional images, Embedding