온몸의 연속절단면영상 만들기 (넷째 보고: 시신을 골라서 처리하고, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍는 방법)

박 진 서, 정 민 석*

아주대학교 의과대학 해부학교실

〈조 록〉

미국에서 만든 연속절단면영상은 시신을 골라서 처리하고, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍는 방법에 몇 가지 문제가 있었다. 이 연구에서는 이 문제를 보완해서 더 좋은 연속절단면영상을 만들고자 하였고, 나아가 이 연속절단면영상을 바탕으로 더 좋은 3차원영상으로 만들어서 의학 교육에 이바지하고자 하였다.

이 연구에 알맞은 한국사람 남성 시신을 골랐고, 시신에 고정액을 주입하지 않았고, 자세고정상자에서 시신의 자세와 방향을 바로잡아서 고정하였다. 시신의 온몸을 대상으로 1 mm 간격의 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍었다. 아울러 관상, 시상 자기공명영상과 관상, 시상 컴퓨터단층사진을 만들었고, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 동영상을 만들었다.

이 연구에서 고른 시신은 젊었고(32세), 표준 체형이었고(키 1,640 mm, 몸무게 55 kg), 병리소견이 적었다. 시신의 온몸을 대상으로 수평이고, 서로 들어맞고, 해부구조물이 잘 나타난 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 1,718쌍을 마련하였다(화소크기 1 mm). 관상 자기공명영상과 관상 컴퓨터단층사진 276쌍을 마련하였고, 시상 자기공명영상과 시상 컴퓨터단층사진 505쌍을 마련하였고, 모든 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 동영상을 마련하였다.

이 연구에서 마련한 연속절단면영상을 널리 퍼뜨리면 해부영상을 참고해서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 익히는 데 도움이 될 것이다. 또한 자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상을 바탕으로 3차원영상을 만들면 해부학과 의학을 익히는 데 도움이 될 것이다.

찾아보기 낱말 : 시신, 자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상, 3차원영상

서 론

미국에서는 남성 시신과 여성 시신을 대상으로 연속절단면영상을 만들었다. 연속절단면영상으로 해부영상뿐 아니라 해부영상에 들어맞는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진도 만들었는데, 이것은 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 익히는 데 도움을 주기 위한 것이었다. 그런데 미국에서는 백인 시신을 골랐기 때문에 연속절단면영상을 한국사람한테 적용하기 어려웠고, 나이가 많은(59세) 여성 시신을 골랐기 때문에 연속절단면영상에서 퇴화한 기관이 나타났고, 질병이 있는 시신을 골랐기 때문에 연속절단면영상에서 병리소견이 나타났고, 시신에 고정액을 주입하였기 때문에 해부영상의 빛깔이 생체와 많이 달랐고, 시신의 손을 몸통의 앞에 놓았기 때문에 연속절단면영상에서 아래팔과 손을 판독하기 어려웠고, 머리의 자기공명영상만 찍었기 때문에 몸통과 팔다리의 자기공명영상을 볼 수 없었고, 컴퓨터단층사진에서 팔의 가쪽 부분이 잘렸기 때문에 온몸의 컴퓨터단층사진을 볼 수 없었다(Spitzer *et al*., 1996, 1998; Ackerman, 1999). 이처럼 미국에서 만든 연속절단면영상은 시신을 골라서 처리하고, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍는 방법에 몇 가지 문제가 있었다. 이 연구에서는 이 문제를 보완해서 더 좋은 연속절단면영상을 만들고자 하였고, 나아가 이 연속절단면영상을 바탕으로 더 좋은 3차원영상을 만들어서 의학 교육에 이바지하고자 하였다. 이를 위해서 젊고, 표준 체형이고, 병리소견이 적은 한국사람 남성 시신을 골랐고, 시신에 고정액을 주입하지 않았고, 시신의 자세와 방향을 바로잡아서 고정하였다. 시신의 온몸을 대상으로 수평이고, 서로 들어맞고, 해부구조물이 잘 나타나는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 1 mm 간격으로 찍었다. 아울러 관상, 시

* 교신저자: 정민석
Tel: 031-219-5032, Fax: 031-219-5039, E-mail: dissect@ajou.ac.kr

상 자기공명영상과 관상, 시상 컴퓨터단층사진을 만들었고, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 동영상을 만들었다.

재료 및 방법

1. 시신을 고르고 처리하기

젊고, 표준 체형을 갖고 있는 한국사람 남성 시신을 골랐다. 이 연구를 위해서 고른 남성 시신은 1969년 3월 17일에 태어났고, 2001년 3월 26일, 늦은 3시에 돌아가셨고(32세), 2001년 3월 27일, 늦은 5시에 실험실로 옮겼다. 키가 1,640 mm였고, 발이 발바닥쪽으로 굽었기 때문에 머리끝부터 발끝까지의 길이가 1,718 mm였으며, 몸무게가 55 kg였다. 병원기록을 살핀 결과로 백혈병을 앓았고, 이학검사한 결과로 외상이 없었다(Fig. 1).

시신에 고정액을 주입하지 않았고, 온몸의 털을 가위와 면도기로 깎은 다음에 온몸을 물로 씻었다. 입안에 금니가 없는지 확인하였다.

시신을 눕힐 자세고정상자(속 크기 505 mm × 2,060 mm × 90 mm, 겉 크기 525 mm × 2,080 mm × 100 mm)를 나무판으로 조립해서 만들었고(Fig. 2), 자세고정상자의 옆판에 수평선과 수직선을 그었다.

자세고정상자에서 시신의 자세와 방향을 바로잡았다. 시신을 비닐로 싸았고, 자세고정상자의 속을 비닐로 덮었다. 시신의 양쪽 손바닥을 몸통의 옆에 놓아서, 즉 시신을 차려 자세로 만들어서, 자세고정상자에 눕혔다. 시신의 뒤통수에 나무를 베개처럼 괴어서 머리가 뒤로 펴지지 않게 하였다. 자세고정상자에 세로 방향으로 실을 붙인 다음에 실을 기준으로 시신의 온몸이 좌우대칭인지 확인하였다(Fig. 2).

자세고정상자에서 시신의 자세와 방향을 고정하였다. 순간고형제(MeV-Green, ChunSung^{TM})의 두 용액을 섞고 알맞게 흔든 다음에 자세고정상자와 시신의 사이에 부었으며, 이 결과로 순간고형제가 부풀면서 자세고정상자와 시신의 사이를 채웠다. 이 때 순간고형제를 조금씩 부어서 순간고형제가 시신의 피부를 누르지 않게 하였다. 시신을 싼 비닐 덕분에 순간고형제가 시신의 피부에 직접 닿지 않았다(Fig. 2).

2. 자기공명영상을 찍기

2001년 3월 27일, 늦은 10시에 시신을 눕힌 자세고정상자를 자기공명영상 촬영기(GE Signa Horizon 1.5 Tesla MRI System, Milwaukee, WI)의 침대에 똑바로 놓았다(Fig. 3). 침대를 움직일 때 자기공명영상 촬영기에서 비추는 수평, 수직 방향의 레이저 빛이 자세고정상자의 모서리와 자세고정상자의 옆판에 그은 수평선, 수직선에 들어맞는지 확인하였다. 들어맞지 않으면 자세고정상자의 방향과 기울기를 조절해서 들어맞게 하였다. 자기공명영상 몇 개를 찍은 다음에 자기공명영상에서 팔다리 등이 좌우대칭이고(Fig. 4), 어느 자기공명영상에서 시각신경이 모두 나타나고(Fig. 5), 정중 자기공명영상에서 뇌, 척주 등이 올바르게 나타나는지(Fig. 6) 확인하였다. 침대를 움직일 때 자세고정상자가 흔들리지 않았는데, 이것은 시신을 눕힌 자세고정상자가 무거웠기 때문이다.

온몸의 자기공명영상을 찍는 조건을 한결같게 정했으며, 이

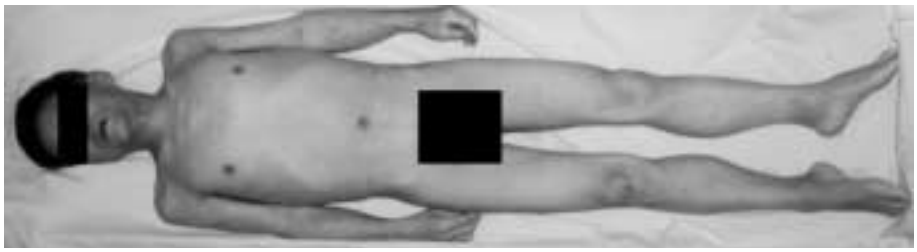

Fig. 1. Donated Korean male cadaver (32 years old), whose body size is Korean average, and pathological findings are few.

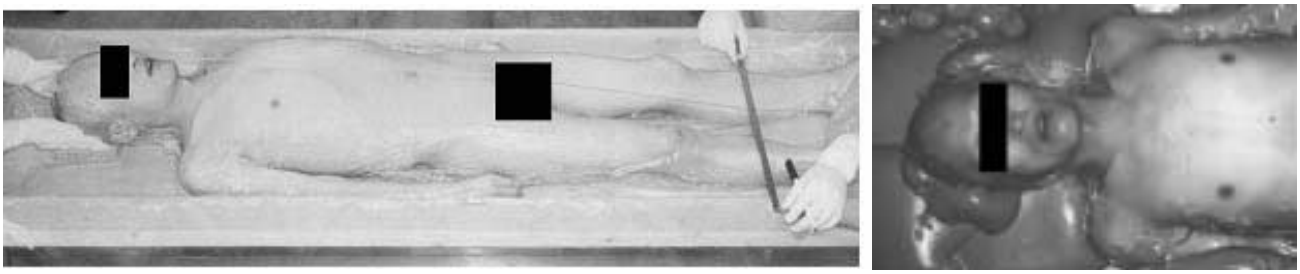

Fig. 2. Cadaver in an immobilizing box, whose posture and direction are adjusted (left) and then fixed with immobilizing agent (right).

Fig. 3. Features of MRI scanning (left) and CT scanning (right) of the cadaver's whole body in the immobilizing box.

조건은 다음과 같았다. Body coil을 썼다. 자기공명영상의 절편두께를 1 mm로, 절편사이간격을 0 mm로 해서 간격을 1 mm로 정했다. 표시범위를 480 mm × 480 mm로, 해상도를 512 × 512로 정했다. TR (repetition time)을 800 msec로, TE (echo time)를 8 msec로 정해서 T1을 강조하였다. NEX(number of excitation)를 2번으로 정했고, interleave 방법을 썼다.

온몸의 자기공명영상을 두 번에 나누어 찍었다. 머리끝에서 무릎까지의 자기공명영상 1,200개를 찍었다(Fig. 3). 자기공명영상 촬영기의 침대에서 자세고정상자를 시신의 머리쪽으로 똑바로 밀었다. 자기공명영상 촬영기에서 비추는 레이저 빛이 자세고정상자의 모서리와 자세고정상자에 그은 수평선, 수직선에 들어맞는지 확인하였고, 들어맞지 않으면 자세고정상자의 방향과 기울기를 조절하였다. 무릎의 자기공명영상을 다시 찍어서 먼저 찍은 무릎의 자기공명영상에 들어맞는지 확인하였다. 무릎에서 발 끝까지의 자기공명영상 550개를 찍었다. 모든 자기공명영상 1,750개를 자기공명영상 촬영기의 컴퓨터에 DICOM (digital imaging and communication in medicine) 파일(빛깔 16 bits gray)로 저장하였다. 진단방사선과 의사가 자기공명영상을 살펴서 병리소견이 많지 않은지 확인하였다.

자기공명영상을 개인용컴퓨터로 옮기고 TIF (tag image file format) 파일로 바꾸었다. 자기공명영상 촬영기의 컴퓨터에 저장한 자기공명영상을 PACS (picture archiving and communication system)를 거쳐서 개인용컴퓨터로 옮겼다. Piview 소프트웨어(4.0판, PiviewSTAR™)를 써서 DICOM 파일인 자기공명영상을 TIF 파일(빛깔 8 bits gray)로 바꾸었다. DICOM 파일을 TIF 파일과 함께 보관하였다.

두 번에 나누어 찍은 자기공명영상을 모으고 정렬하였다. ACDSee 소프트웨어(5.0판, ACDSee Systems™)에서 무릎 위의 자기공명영상 1,200개와 무릎 아래의 자기공명영상 550개를 이어서 보았다. 무릎에서 겹친 자기공명영상 32개를 뺐고, 나머지 자기공명영상 1,718개를 모아서 온몸의 자기공명영상을 마련하였다. 자기공명영상의 파일이름을 머리끝에서 발끝까지 일련번호로 만들었다(hm0001.tif – hm1718.tif)(Table 1). Adobe Photoshop 소프트웨어(7.0판, Adobe™)에서 무릎 아래의 자기공명영상을 옮기고 돌려서 무릎 위의 자기공명영상에 정렬하였다. 이 때 되풀이하는 일을 Adobe Photoshop 소프트웨어의 액션(action)을 써서 일괄처리하였다.

칸(속 크기 645 mm × 650 mm × 2,100 mm)이 두 개라서 자세고정상자 두 개를 넣을 수 있고, 자세고정상자를 영하 70도로 얼릴 수 있는 냉동고(삼원냉열엔지니어링™)를 주문해서 만들었다(Fig. 7).

2001년 3월 28일, 이른 3시에 시신을 눕힌 자세고정상자를 냉동고에 넣어서 영하 70도로 얼렸다(Fig. 7).

3. 컴퓨터단층사진을 찍기

자세고정상자를 컴퓨터단층사진 촬영기(GE Highspeed Advantage, Milwaukee, WI)의 침대에 똑바로 놓았으며(Fig. 3), 이 방법은 자세고정상자를 자기공명영상 촬영기의 침대에 놓은 방법과 같았다.

온몸의 컴퓨터단층사진을 찍는 조건을 한결같게 정했으며, 이 조건은 다음과 같았다. 컴퓨터단층사진의 절편두께를 1 mm로, 절편사이간격을 0 mm로 해서 간격을 1 mm로 정했다. 표시범위를 480 mm × 480 mm로, 해상도를 512 × 512로 정했다. 전압을 120 kV로, 전류를 80 mAs로, 방사선 쬐는 시간을 3초로, 방사선 쬐지 않는 시간을 4초로 정했다. 알고리즘을 표준으로 정했다.

온몸의 컴퓨터단층사진을 두 번에 나누어 찍었으며(Fig. 3), 이 방법은 온몸의 자기공명영상을 두 번에 나누어 찍은 방법과 같았다. 진단방사선과 의사가 컴퓨터단층사진을 살펴서 병리소견이 많지 않은지 확인하였다.

컴퓨터단층사진을 개인용컴퓨터로 옮기고 TIF 파일로 바꾸

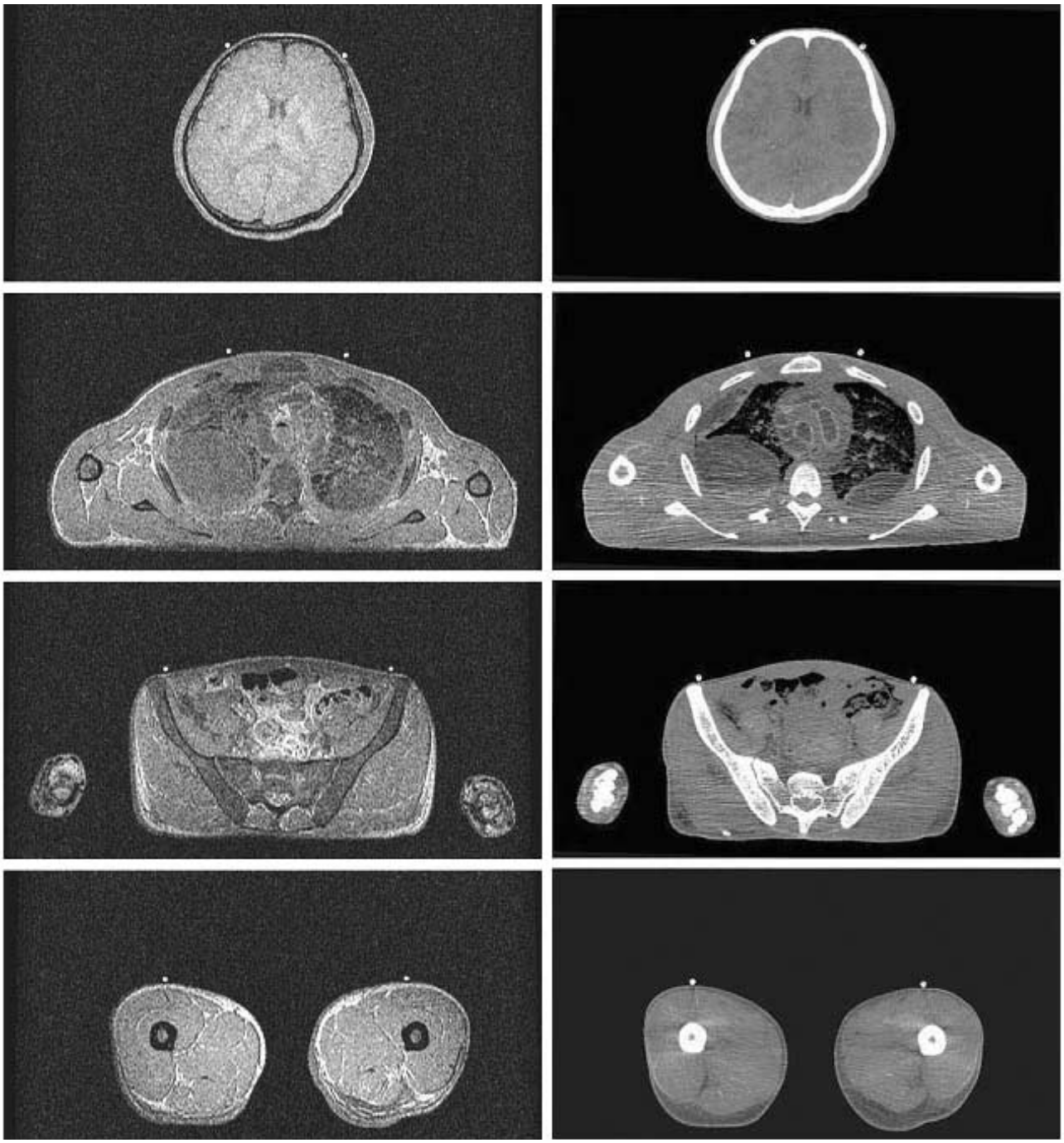

Fig. 4. Corresponding MRIs (left column) and CTs (right column) of head, thorax, pelvis, and thigh (from top to bottom).

었으며, 이 방법은 자기공명영상을 개인용컴퓨터에 옮기고 TIF 파일로 바꾼 방법과 같았다.

두 번에 나누어 찍은 컴퓨터단층사진을 모으고(hc0001.tif - hc1718.tif) (Table 1) 정렬하였으며, 이 방법은 두 번에 나누어 찍은 자기공명영상을 모으고 정렬한 방법과 같았다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 번호가 같으면 같은 해부구조물이 나타나는지 확인하였다(Fig. 4).

자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 여백을 줄였다. 시신의 가장 앞 부분을 담은 자기공명영상을 찾았다. 이 자기공명영상에서 시신 앞의 여백이 129화소의 행이었다. 모든 자기공명영상에서 시신 앞의 여백 중 최소 20화소의 행을 뺀 나머지 109화소의 행을 잘라냈다. 이 때 되풀이하는 일을 Adobe Photoshop 소프트웨어의 액션을 써서 일괄처리하였다. 같은 방법으로 모든 자기공명영상에서 시신 뒤의 여백 중 최소 20

Fig. 5. MRI showing the entire course of optic nerve.

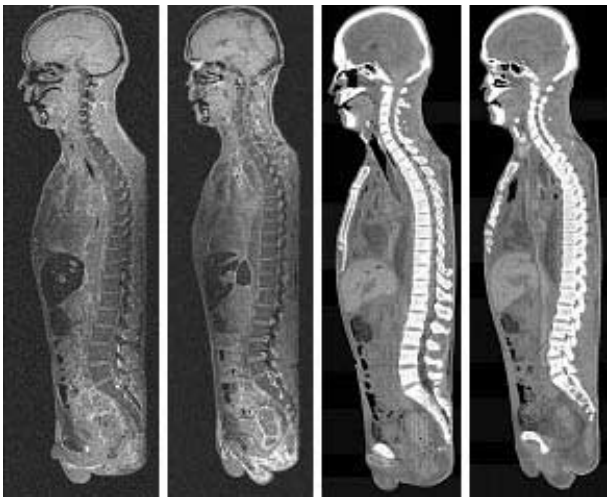

Fig. 6. Median MRI, sagittal MRI, median CT, and sagittal CT (from left to right).

화소의 행을 뺀 나머지 행을 잘라냈고, 시신 오른쪽의 여백 중 최소 25화소의 열을 뺀 나머지 열을 잘라냈고, 시신 왼쪽의 여백 중 최소 25화소의 열을 뺀 나머지 열을 잘라냈다. 이 결과로 자기공명영상의 해상도(512×512)가 505×276으로 줄었다. 같은 방법으로 모든 컴퓨터단층사진에서 여백을 줄였으며, 이 결과로 컴퓨터단층사진의 해상도(512×512)도 505×276으로 줄었다(Fig. 8, Table 1). 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 번호가 같으면 두 영상의 해부구조물이 서로 들어맞는지 확인하였다(Fig. 4).

4. 관상, 시상 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 만들기

관상, 시상 자기공명영상과 관상, 시상 컴퓨터단층사진을 Adobe Photoshop 소프트웨어에서 만들었다. 모든 자기공명영상에서 어느 한 행의 영상(해상도 505×1) 1,718개를 추린 다음에 쌓아서 관상 자기공명영상(해상도 505×1,718)을 만들었다. 이것을 되풀이해서 관상 자기공명영상 276개(cm001.tif - cm276.tif)를 만들었다. 또한 모든 자기공명영상에서 어느 한 열의 영상(해상도 1×276) 1,718개를 추린 다음에 90도 돌리고 쌓아서 시상 자기공명영상(해상도 276×1,718)을 만들었고, 이것을 되풀이해서 시상 자기공명영상 505개(sm001.tif - sm505.tif)를 만들었다. 같은 방법으로 관상 컴퓨터단층사진 276개(cc001.tif - cc276.tif)와 시상 컴퓨터단층사진 505개(sc001.tif - sc505.tif)를 만들었다(Figs. 6, 9, Table 1) (황성배 등, 2003).

관상, 시상 자기공명영상과 관상, 시상 컴퓨터단층사진을 살펴서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진이 정렬되었는지 확인하였다. 알맞은 관상 자기공명영상에서 무릎 위의 자기공명영상과 무릎 아래의 자기공명영상의 경계(hm1200.tif, hm1201.tif)를 살펴서 두 번에 나누어 찍은 자기공명영상이 정렬되었는지 확인하였다. 정렬되지 않았으면 무릎 아래의 자기공명영상을 옮기고 돌려서 정렬하였고, 관상 자기공명영상을 새로 만들어서 다시 살폈다. 같은 방법으로 시상 자기공명영상, 관상 컴퓨터단층사진, 시상 컴퓨터단층사진을 살펴서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진이 정렬되었는지 확인하였다(Fig. 9).

5. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 동영상을 만들기

자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 이어서 볼 수 있는 동영상을 만들었다. 자기공명영상의 동영상을 Adobe Premiere 소프트웨어(6.0판, Adobe™)에서 다음처럼 만들었다. 자기공명영상의 임시동영상(hm.ppj)을 만들었다. 가져오기(import)의

Table 1. Horizontal, coronal, and sagittal MRIs and CTs

Images	Number	Resolution	1 file size (Kbytes)	Total file size (Mbytes)
Horizontal MRIs (hm0001.tif - hm1718.tif)	1,718	505×276	136	228
Horizontal CTs (hc0001.tif - hc1718.tif)	1,718	505×276	136	228
Coronal MRIs (cm001.tif - cm276.tif)	276	505×1,718	847	228
Coronal CTs (cc001.tif - cc276.tif)	276	505×1,718	847	228
Sagittal MRIs (sm001.tif - sm505.tif)	505	276×1,718	463	228
Sagittal CTs (sc001.tif - sc505.tif)	505	276×1,718	463	228
Total	4,998			1,368

Intervals: 1.0 mm, Bits depth: 8 bits gray

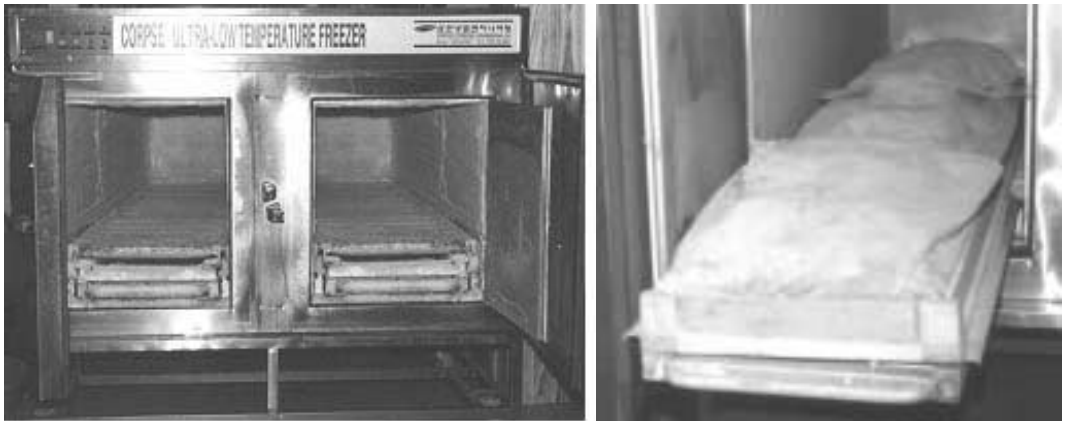

Fig. 7. Freezer with two compartments (left), into which the cadaver in the immobilizing box is being put (right).

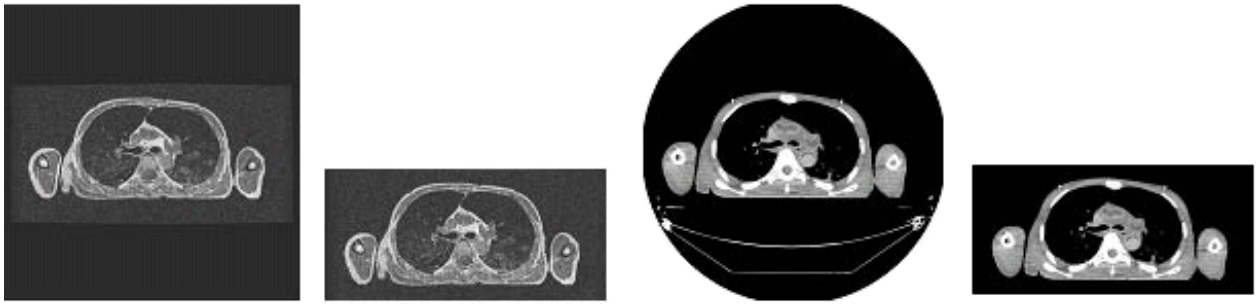

Fig. 8. Original MRI, MRI whose margins are reduced, original CT, and CT whose margins are reduced (from left and right).

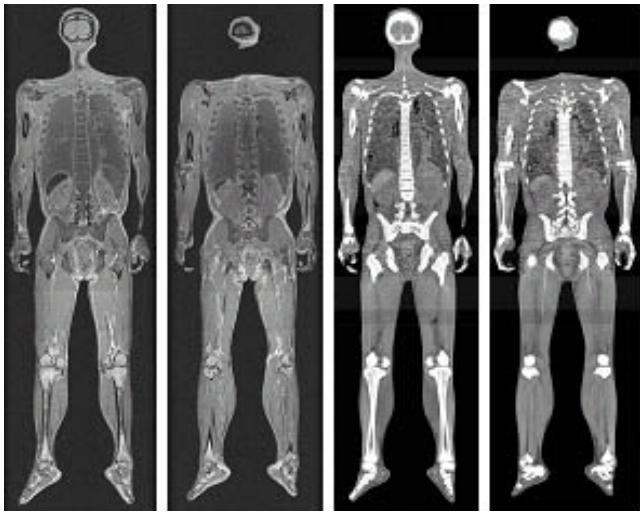

Fig. 9. Coronal MRIs (left two) and coronal CTs (right two).

번호붙인정지영상(numbered stills)을 써서 모든 자기공명영상 1,718개를 가져왔다. 이 때 모든 자기공명영상의 파일이름이 일련번호로 만들어져 있고(hm0001.tif-hm1718.tif), 모든 자기공명영상이 한 폴더에 있어야 한다. 편집선에끼워넣기(insert at edit line)를 써서 모든 자기공명영상을 시간선창(timeline window)에 늘어놓았고, 고르기(selection)을 써서 모든 자기공명영상을 골랐다. 정지영상속도(clip speed)를 써서 모든 자기공명영상 1,718개가 나타나는 시간을 171.8초로 정했으며, 이 결과로 자기공명영상 1개가 나타나는 시간이 0.1초였다. 시간선내보내기(export time line)를 써서 임시동영상을 동영상(hm.avi)으로 바꾸었다. 이 때 동영상의 해상도를 자기공명영상의 해상도(505×276)와 같게 정했고, 동영상의 화소가로세로비율(pixel aspect ratio)을 square pixel 1.0으로 정했고, 동영상압축방법을 MPEG-4(motion picture experts group-4)로 정했다. 같은 방법으로 컴퓨터단층사진의 동영상(hc.avi), 관상 자기공명영상의 동영상(cm.avi), 시상 자기공명영상의 동영상(sm.avi), 관상 컴퓨터단층사진의 동영상(cc.avi), 시상 컴퓨터단층사진의 동영상(sc.avi)을 만들었다(Table 2).

6. 해부영상을 만들기

시신의 온몸을 포매하고 연속절단해서 해부영상을 만들었다. 자세고정상자에 눕힌 시신을 꺼냈고, 시신을 싼 비닐을 떼었다. 시신의 방향이 바뀌지 않게 조심하면서 시신을 포매상자에 눕혔다. 포매상자에 포매제를 조금씩 붓고 얼리는 것을 되풀이해서 시신의 온몸을 포매하였다. 포매상자를 연속절단기의 포매상자받침에 올려 놓고 고정하였다. 연속절단기의 절

단원반을 써서 포매상자를 0.2 mm 간격으로 연속절단하였다. 각각의 절단면을 디지털사진기로 찍어서 TIF 파일(해상도 3,040×2,008, 빛깔 24 bits color)인 해부영상 8,590개를 만들었다(김진용 등, 2002; 박진서 등, 2002).

결 과

이 연구에서는 연속절단면영상을 만들기에 알맞은 시신을 골랐고, 이 시신의 온몸을 대상으로 수평이고, 해부영상에 잘 들어맞았고, 해부구조물이 잘 나타난 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련하였고, 아울러 관상 영상, 시상 영상, 동영상을 마련하였다.

대체로 좋은 한국사람 시신을 골랐다. 고른 시신은 젊었고(32세), 표준 체형(키 1,640 mm, 몸무게 55 kg)을 갖고 있었다(Fig. 1). 시신의 병원기록을 살핀 결과로 백혈병을 앓았고, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 살핀 결과로 폐렴, 간비대, 지라비대가 있었으나, 다른 병리소견은 없었다(Fig. 10).

자기공명영상과 컴퓨터단층사진 1,718쌍을 마련하였다. 자기공명영상(hm0001.tif – hm1718.tif)은 간격이 1 mm였는데, 이것은 절편두께가 1 mm였고, 절편사이간격이 0 mm였기 때문이다. 개수가 1,718개였는데, 이것은 간격이 1 mm였고, 시신의 길이가 1,718 mm였기 때문이다. 화소크기가 1 mm쯤이었는데, 이것은 표시범위가 480 mm×480 mm였고, 해상도가 512×512였기 때문이다. 1개의 파일크기가 136 Kbytes였는데, 이것은 여백을 줄인 자기공명영상의 해상도가 505×276이었고, 빛깔이 8 bits gray였고, 파일형식이 TIF였기 때문이다. 1,718개의 파일크기가 228 Mbytes였다. 컴퓨터단층사진도 간격, 개수, 화소크기, 1개의 파일크기, 1,718개의 파일크기가 자기공명영상과 같았다(Fig. 4, Table 1).

Table 2. Movies of horizontal, coronal, and sagittal MRIs and CTs

Movies	Number of clips	Resolution	Running time (second)	File size (Mbytes)
Horizontal MRIs (hm.avi)	1,718	505×276	171.8	4
Horizontal CTs (hc.avi)	1,718	505×276	171.8	4
Coronal MRIs (cm.avi)	276	505×1,718	27.6	8
Coronal CTs (cc.avi)	276	505×1,718	27.6	8
Sagittal MRIs (sm.avi)	505	276×1,718	50.5	6
Sagittal CTs (sc.avi)	505	276×1,718	50.5	6
Total			499.8	36

Bits depth: 8 bits gray, Movie compressor: MPEG-4

관상 자기공명영상, 관상 컴퓨터단층사진 276쌍과 시상 자기공명영상, 시상 컴퓨터단층사진 505쌍을 마련하였다. 관상 자기공명영상(cm001.tif – cm276.tif)은 간격이 1 mm였는데, 이것은 자기공명영상의 화소크기가 1 mm였기 때문이다. 개수가 276개였는데, 이것은 자기공명영상의 세로 해상도가 276였기 때문이다. 해상도가 505×1,718이었는데, 이것은 자기공명영상의 가로 해상도가 505였고, 개수가 1,718개였기 때문이다. 1개의 파일크기가 847 Kbytes였는데, 이것은 해상도가 505×1,718이었고, 빛깔이 8 bits gray였고, 파일형식이 TIF였기 때문이다. 276개의 파일크기가 228 Mbytes였다. 관상 컴퓨터단층사진(cc001.tif – cc276.tif)도 간격, 개수, 해상도, 빛깔, 파일형식, 1개의 파일크기, 276개의 파일크기가 관상 자기공명영상과 같았다. 시상 자기공명영상(sm001.tif – sm505.tif)과 시상 컴퓨터단층사진(sc001.tif – sc505.tif)은 각각 간격이 1 mm였고, 개수가 505개였고, 해상도가 276×1,718이었고, 빛깔이 8 bits gray였고, 파일형식이 TIF였고, 1개의 파일크기가 463 Kbytes였고, 505개의 파일크기가 228 Mbytes였다(Figs. 6, 9, Table 1).

모든 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 동영상을 마련하였다. 자기공명영상의 동영상(hm.avi)은 파일크기가 4 Mbytes였

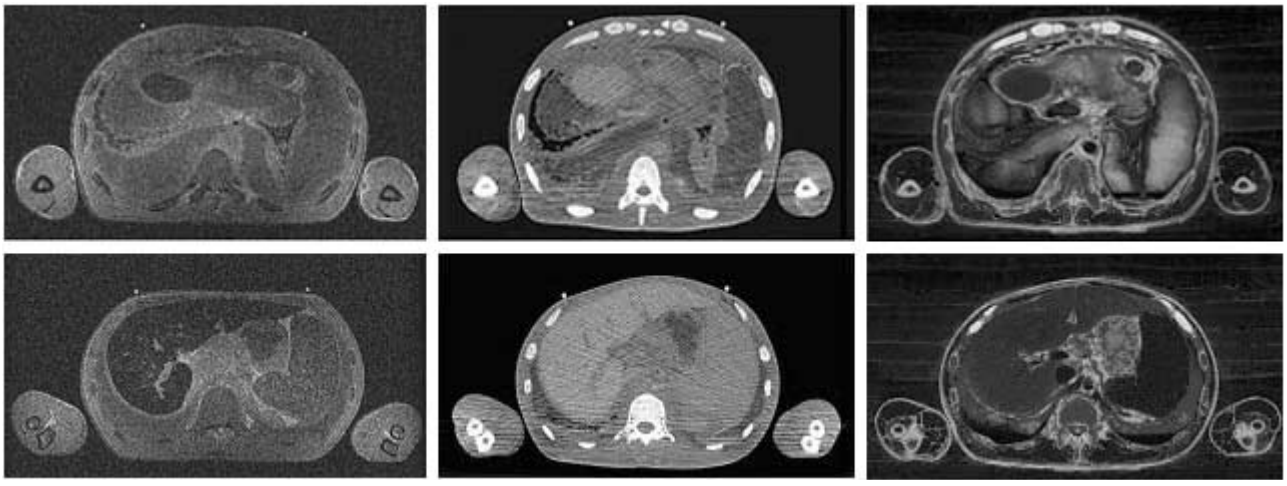

Fig. 10. Corresponding MRIs (left column), CTs (center column), and anatomical images (right column) showing pneumonia (top), hepatomegaly, and splenomegaly (bottom).

는데, 이것은 자기공명영상의 개수가 1,718개였고, 자기공명영상 1개가 나타나는 시간이 0.1초였고, 해상도가 505×276이었고, 빛깔이 8 bits gray였고, 화소가로세로비율이 square pixel 1.0이었고, 동영상압축방법이 MPEG-4였기 때문이다. 컴퓨터단층사진의 동영상(hc.avi), 관상 자기공명영상의 동영상(cm.avi), 관상 컴퓨터단층사진의 동영상(cc.avi), 시상 자기공명영상의 동영상(sm.avi), 시상 컴퓨터단층사진의 동영상(sc.avi)은 파일크기가 각각 4 Mbytes, 8 Mbytes, 8 Mbytes, 6 Mbytes, 6 Mbytes였다(Table 2).

자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련하였으며, 이것을 다음처럼 확인하였다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 팔다리 등이 좌우대칭이었고(Fig. 4), 어느 자기공명영상에서 시각신경이 모두 나타났고(Fig. 5), 정중 자기공명영상과 정중 컴퓨터단층사진에서 뇌, 척주 등이 올바르게 나타났다(Fig. 6).

서로 들어맞는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련하였다. 두 번에 나누어 찍은 자기공명영상이 정렬되었으며, 이것은 관상, 시상 자기공명영상을 살펴서 확인하였다. 두 번에 나누어 찍은 컴퓨터단층사진도 정렬되었으며, 이것은 관상, 시상 컴퓨터단층사진을 살펴서 확인하였다(Figs. 6, 9). 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 번호가 같으면 두 영상의 해부구조물이 서로 들어맞았다(Fig. 4). 그러나 자기공명영상과 컴퓨터단층사진이 완전히 들어맞지 않았는데, 이것은 얼리지 않은 시신의 자기공명영상을 찍었고, 얼려서 부푼 시신의 컴퓨터단층사진을 찍었기 때문이다. 이 차이는 배처럼 물렁조직이 많은 부위에서 뚜렷하였다(Fig. 10). 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에 들어맞는 해부영상을 마련할 수 있었는데, 이것은 시신을 포매할 때 시신의 방향이 바뀌지 않게 하였기 때문이다(Fig. 10)(박진서 등, 2002).

해부구조물이 잘 나타난 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련하였다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 작은 해부구조물이 잘 나타났다. 자기공명영상에서 해부구조물의 경계가, 보기를 들어 회색질과 백색질의 경계가, 뚜렷하였고, 이웃한 영상의 신호에 영향을 주는 문제(cross talk artifact)가 나타나지 않았다. 컴퓨터단층사진에서 해부구조물의 경계가 뚜렷하였다(Fig. 4). 온몸의 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 해부구조물의 밝기가 한결같았으며, 이것은 관상영상과 시상영상을 살펴서 확인하였다(Figs. 6, 9). 빛깔이 생체와 비슷한 해부영상을 마련할 수 있었는데(Fig. 11), 이것은 시신에 고정액을 주입하지 않았고, 돌아가신 지 36시간이 지난 다음에 시신을 얼렸기 때문이다.

고 찰

연속절단면영상(자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상)을 바탕으로 좋은 3차원영상을 만들어서 의학 교육에 이바지하기 위해서는 다음처럼 좋은 연속절단면영상을 마련해야 한다.

1. 알맞은 시신의 연속절단면영상

한국사람 시신의 연속절단면영상을 마련해야 한다. 외국사람의 연속절단면영상으로는 한국사람의 해부구조를 익히기 어려운데, 이것은 인종과 민족마다 얼굴이 다르게 생긴 것처럼 기관도 다르게 생겼기 때문이다(Fig. 1) (Van De Graaff, 1998).

젊은 시신의 연속절단면영상을 마련해야 한다. 미국에서는 나이가 많은(59세) 여성 시신의 연속절단면영상을 마련하였기 때문에 퇴화한 자궁이 나타났다(Fig. 12). 거꾸로 어린 시신의 연속절단면영상을 마련하면 발달하지 않은 기관이 나타난다. 따라서 이 연구에서는 젊은(32세) 남성 시신의 연속절단면영상을 마련하였다(Fig. 1). 다음 연구에서는 젊은 여성 시신, 어린이 시신, 태아 시신의 연속절단면영상을 마련할 필요도 있다.

표준 체형을 갖고 있는 시신의 연속절단면영상을 마련해야 한다. 표준 체형을 갖고 있는 시신의 연속절단면영상을 마련

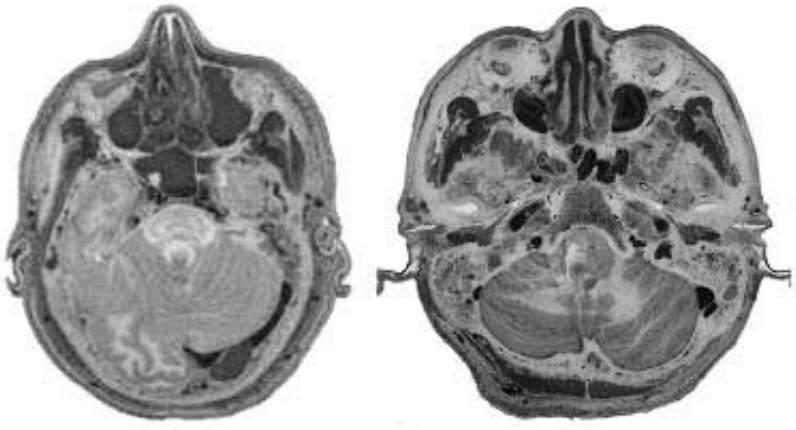

Fig. 11. Anatomical images in the Visible Human Project (left) and Visible Korean Human (right).

해야 뚱뚱하거나 마른 사람, 즉 여러 체형의 해부구조물을 익히기 쉽다. 따라서 이 연구에서는 표준체형을 갖고 있는 시신의 연속절단면영상을 마련하였다. 이를 위해서 시신의 키와 몸무게가 한국사람의 표준 체형에 속하는지 확인하였다(김철중 등, 1992).

병리소견이 적은 시신의 연속절단면영상을 마련해야 한다.

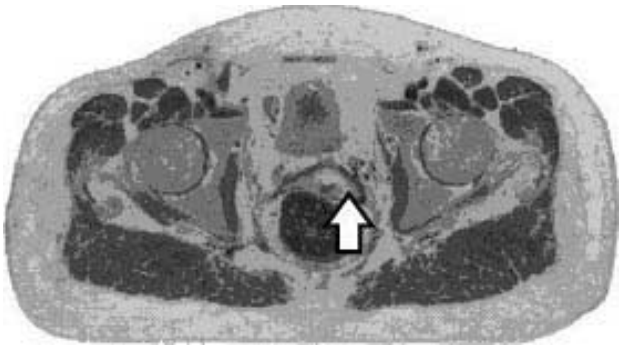

Fig. 12. Anatomical image showing degenerated uterus in the Visible Human Female Project.

미국에서 고른 남성 시신과 여성 시신은 다음과 같은 병리소견이 있었다. 남성 시신은 소뇌가 척주관으로 이탈하였고, 온목동맥과 가슴대동맥에 큰 동맥경화증이 있었고, 바깥목정맥과 속목정맥이 만나서 온목정맥을 이루었고, 막창자꼬리와 오른고환을 떼었고, 왼심실의 벽이 비대하였다. 여성 시신은 등뼈 높이에서 척수가 눌렸고, 척수가 왼쪽으로 쏠렸거나 뒤로 쏠렸고, 곧창자에 큰 종양이 있었다(Fig. 13). 따라서 이 연구에서는 연속절단하기에 앞서 시신의 병원기록을 살폈고, 이학검사를 하였고, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 살폈다. 이 결과로 백혈병 때문에 폐렴, 간비대, 지라비대가 있었으나 다른 병리소견은 없었다(Fig. 10). 이처럼 병리소견이 적은지 확인한 다음에 시신을 연속절단하였다. 다음 연구에서는 병리소견이 더 적은 시신의 연속절단면영상을 만들 필요가 있다.

피부가 눌리지 않은 시신의 연속절단면영상을 마련해야 한다. 시신을 처리할 때 시신의 피부가 눌리면 연속절단면영상과 3차원영상을 보기 나쁘다. 따라서 이 연구에서는 자세고정상자에서 시신의 자세와 방향을 고정할 때 순간고형제를 조금씩 부어서 순간고형제가 시신의 피부를 누르지 않게 하였

Fig. 13. Anatomical images showing the cerebellar hernia to vertebral canal (top left), arteriosclerosis of thoracic aorta (top right), hypertrophy of left ventricle (bottom left), and rectal tumor (bottom right) in the Visible Human Project.

다(Fig. 2). 또한 시신을 포매할 때에도 포매제를 조금씩 붓고 얼려서 포매제가 시신의 피부를 누르지 않게 하였다(박진서 등, 2002). 예비실험에서 조영제를 넣은 고무관을 시신의 피부에 붙인 결과로 얼린 시신이 부풀면서 고무관이 시신의 피부를 눌렀다. 따라서 본실험에서는 조영제를 넣은 고무관를 시신의 피부에 붙이지 않았다. 시신의 등과 엉덩이가 편평하였는데(Fig. 14), 이것은 시신이 돌아가실 때 누워 있었고, 시신의 자세와 방향을 바로잡을 때 시신을 자세고정상자의 편평한 바닥에 눕혔기 때문이다(Fig. 2). 이것은 미국에서 만든 연속절단면영상도 마찬가지였다. 다음 연구에서는 시신의 등과 엉덩이를 주물러서 편평하지 않게 만든 다음에, 이것을 간직하기 위해서 자세고정상자의 바닥을 푹신하게 만들 필요가 있다.

시신의 한 부위를 대상으로 연속절단면영상을 마련할 필요도 있다. 이 연구에서는 시신의 온몸을 대상으로 연속절단면영상을 만들었기 때문에 속귀처럼 작은 해부구조물을 보기 어려웠다. 따라서 시신의 한 부위를 대상으로 연속절단면영상을 마련할 필요도 있다. 보기를 들어서 머리를 대상으로 연속절단면영상을 만들면 head coil을 써서 자기공명영상의 화소크기를 더 작게 만들 수 있고, 절단면과 디지털사진기 사이의 거리를 더 가깝게 해서 해부영상의 화소크기를 더 작게 만들 수 있다(김진용 등, 2002).

2. 서로 들어맞은 자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상

자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상이 서로 들어맞지 않으면 다음과 같은 문제가 있다. 이미 정렬되어 있는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 참고해서 해부영상을 정렬할 수 없다. 해상도가 높고, 생체 빛깔을 담고 있는 해부영상을 참고해서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 해부구조물을 익히기 어렵다. 자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상을 묶어서 3차원영상으로 만들 수 없다(Fig. 15).

같은 시신의 자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상을 마련해야 한다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍는 시신과 해부영상을 만드는 시신이 다르면 세 영상이 서로 들어맞지 않는다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍은 다음에 같은 시신의 해부영상을 만들었다.

온몸의 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 미국에서는 머리의 자기공명영상만 찍었고, 컴퓨터단층사진에서 팔의 가쪽 부분이 잘렸기 때문에 자기공명영상과 컴퓨터단층사진, 그리고 온몸을 대상으로 만든 해부영상이 서로 들어맞지 않는다(Spitzer *et al*., 1996). 따라서 이 연구에서는 온몸의 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련하였으며, 이를 위해서 다음처럼 해야 한다.

첫째, 어깨너비가 480 mm보다 작은 시신을 골라야 한다. 미국에서는 시신의 어깨너비가 컴퓨터단층사진의 표시범위(480 mm × 480 mm)보다 컸기 때문에 컴퓨터단층사진에서 팔의 가쪽 부분이 잘렸다(Fig. 16). 따라서 이 연구에서는 어깨너비가 480 mm보다 작은 시신을 골랐고, 이 결과로 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 팔의 가쪽 부분이 잘리지 않았다(Fig. 10).

둘째, 시신의 손바닥을 몸통의 옆에 놓아야 한다. 시신을 해부학 자세로 만들면 시신의 아래팔과 손이 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 표시범위(480 mm × 480 mm)에서 벗어난다.

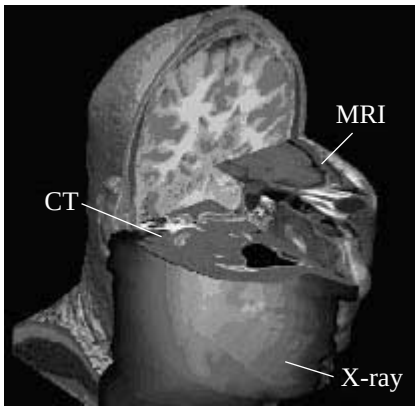

Fig. 15. 3D image involving the corresponding MRI, CT, and anatomical image in the Visible Human Project.

Fig. 14. Cadaver showing the flat back and buttock.

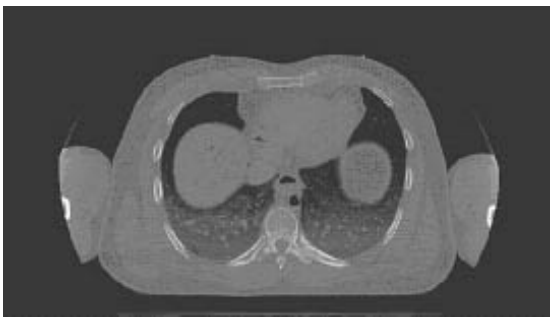

Fig. 16. CT image showing that lateral parts of upper limbs are cut off in the Visible Human Project.

또한 시신을 해부학 자세로 만들면 시신을 연속절단할 때 절단면에서 시신의 가로가 더 길어지기 때문에 절단면과 디지털사진기 사이의 거리가 더 멀어야 하고, 이 결과로 해부영상의 화소크기가 더 커진다(김진용 등, 2002). 미국에서 한 것처럼 시신의 손바닥을 몸통의 앞에 놓으면(Fig. 17) 시신의 아래팔과 손이 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 표시범위에서 벗어나는 문제가 없으나, 시신의 아래팔과 손이 해부학 자세와 많이 다르기 때문에 연속절단면영상에서 아래팔과 손을 판독하기 어렵다는 문제가 있다(Fig. 18). 따라서 이 연구에서는 시신의 손바닥을 몸통의 옆에 놓아서 시신을 차려 자세로 만들었다(Figs. 2, 9, 17).

한편 시신의 발을 알맞게 벌리는 것이 바람직하다. 미국에서는 남성 시신의 발을 많이 벌렸기 때문에 연속절단면영상에서 발 사이의 여백이 컸다. 거꾸로 여성 시신의 발을 완전히 모았기 때문에 연속절단면영상에서 붙은 다리의 피부를 구역화하기 어려웠고, 3차원영상으로 만들어서 세우면 자연스럽게 보이지 않았다. 따라서 이 연구에서는 시신의 발을 알맞게 벌렸다. 시신의 발이 발바닥 쪽으로 굽었는데, 이것은 시신이 돌아가실 때 누워 있었기 때문이다. 이것은 미국에서 만든 연속절단면영상도 마찬가지였으며, 바로잡기가 매우 어려웠다. 시신의 발이 가쪽으로 돌았는데, 다음 연구에서는 이것을 바로잡을 필요가 있다(Figs. 9, 17).

셋째, 알맞은 크기의 자세고정상자를 써서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍어야 한다. 자세고정상자가 작으면 시신의 온몸을 자세고정상자에 눕힐 수 없다. 따라서 이 연구에서는 자세고정상자의 속 크기를 505 mm × 2,060 mm × 90 mm로 만들어서 어깨너비가 505 mm보다 작고, 머리끝에서 발끝까지의 길이가 2,060 mm보다 작은 시신을 넣을 수 있게 하였다(Fig. 2). 거꾸로 자세고정상자가 크면 자세고정상자를 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 촬영기에 넣을 수 없다. 따라서 이 연구에서는 자세고정상자의 겉 크기를 525 mm × 2,080 mm × 100 mm로 만들어서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 촬영기에 넣을 수 있게 하였다(Fig. 3).

넷째, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 두 번에 나누어 찍고, 모아서 정렬해야 한다. 자기공명영상 촬영기의 침대를 움직이는 거리는 한계가 있기 때문에 길이가 1,718 mm인 시신의 자기공명영상을 한 번에 찍을 수 없다. 따라서 이 연구에서는 머리 끝부터 무릎까지의 자기공명영상을 찍었고, 침대에서 자세고정상자를 민 다음에 무릎에서 발 끝까지의 자기공명영상을 찍었다. 두 번에 나누어 찍은 자기공명영상을 모아서 보면 정렬되어 있지 않았다. 따라서 이 연구에서는 무릎 아래의 자기공명영상을 옮기고 돌려서 무릎 위의 자기공명영상에 정렬하였다. 또한 관상, 시상 자기공명영상을 만들어서 정렬되었는지 확인하였다(Fig. 9)(김진용 등, 2003). 같은 방법으로 온몸의 컴퓨터단층사진을 두 번에 나누어 찍었고, 모아서 정렬하였다. 미국에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 정렬하기 위해서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 조영제를 넣은 고무관 두 개를 시신의 머리끝에서 발끝까지 붙였다

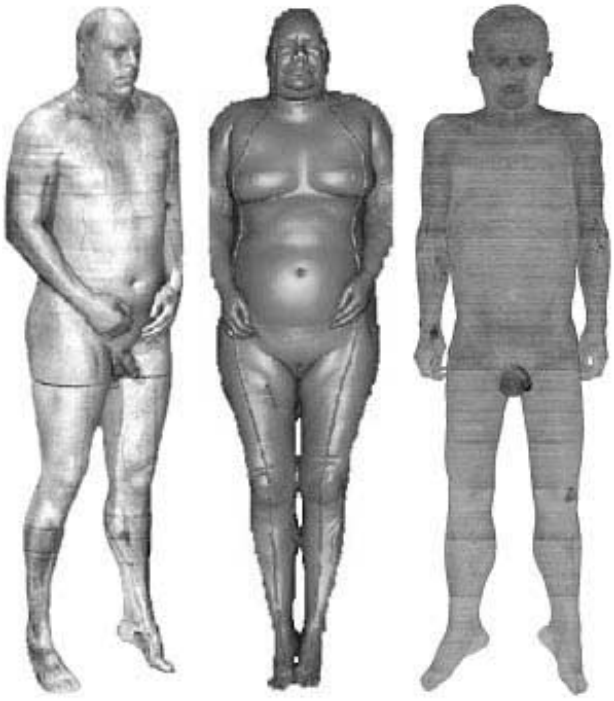

Fig. 17. 3D images showing the position of cadavers' hands and feet in the Visible Human Male Project (left), Visible Human Female Project (center), and Visible Korean Human (right).

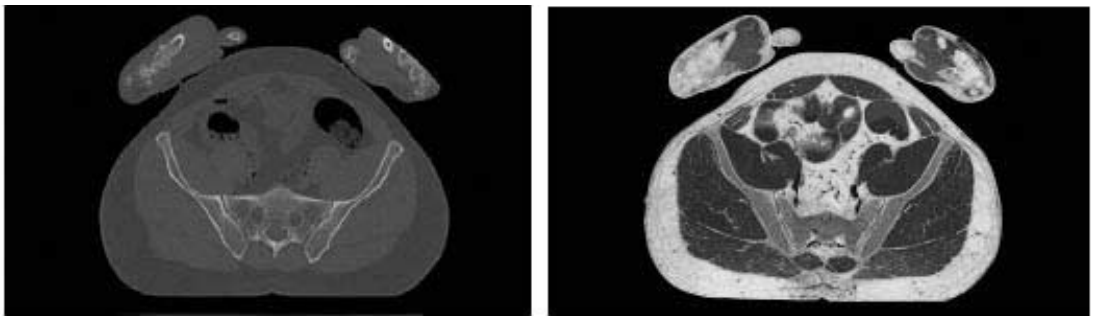

Fig. 18. MRI (left) and anatomical image (right) showing that hands are placed in front of trunk in the Visible Human Project.

Fig. 19. 3D image showing the rubber tube involving contrast media in the Visible Human Project.

(Fig. 19) (Spitzer *et al*., 1996). 이 연구의 예비실험에서도 조영제를 넣은 고무관을 붙였는데, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 정렬하는 데 별로 도움 되지 않았다.

시신의 자세가 한결같은 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 자기공명영상을 찍을 때 시신의 자세가 바뀌면 자기공명영상에서 해부구조물이 뚜렷하게 나타나지 않는다. 따라서 이 연구에서는 자세고정상자에서 시신의 자세를 순간고형제로 고정한 다음에 자기공명영상을 찍었다. 자기공명영상을 찍은 다음에 시신의 자세가 바뀌면 자기공명영상과 컴퓨터단층사진이 서로 들어맞지 않는다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상을 찍자마자 시신을 얼려서 시신의 자세를 고정한 다음에 컴퓨터단층사진을 찍었고, 해부영상을 만들었다 (Figs. 2, 4).

수평 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 보기를 들어서 비스듬한 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍고, 수평 해부영상을 만들면 세 영상이 서로 들어맞지 않는다. 또한 비스듬한 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍으면 수평 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에 익숙한 의사가 판독하기 불편하다. 따라서 이 연구에서는 수평 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련하였으며, 이를 위해서 다음처럼 해야 한다.

첫째, 시신을 자세고정상자에 똑바로 눕혀야 한다. 시신이 자세고정상자에서 오른쪽, 왼쪽, 앞, 뒤로 기울면 비스듬한 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍게 된다. 따라서 이 연구에서는 다음처럼 시신을 똑바로 눕혔다. 등과 엉덩이가 편평한 시신 (Fig. 14)을 자세고정상자의 편평한 바닥에 눕혀서 시신이 앞, 뒤로 기울지 않게 하였다. 자세고정상자에서 시신의 뒤통수에 나무를 괴어서 시신의 머리가 뒤로 기울지 않게 하였다. 자세고정상자에 세로 방향으로 붙인 실을 기준으로 시신의 온몸이 좌우대칭인지 확인해서 시신이 오른쪽, 왼쪽으로 기울지 않게 하였다. 이처럼 시신을 똑바로 눕힌 다음에 시신의 방향을 순간고형제로 고정하였다 (Fig. 2). 시신을 포매할 때에도 시신의 방향이 바뀌지 않게 해서 수평 해부영상을 만들게 하였다 (Fig. 10) (박진서 등, 2002).

둘째, 자세고정상자를 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 촬영기의 침대에 똑바로 놓아야 한다. 자세고정상자를 침대에 똑바로 놓지 않으면 시신이 오른쪽, 왼쪽, 앞, 뒤로 기우는 셈이 되며, 따라서 비스듬한 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍게 된다. 따라서 이 연구에서는 자세고정상자를 침대에 똑바로 놓았고, 촬영기에서 비추는 레이저 빛이 자세고정상자의 모서리와 자세고정상자의 옆판에 그은 수평선, 수직선에 들어맞는지 확인하였다 (Fig. 3).

셋째, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 몇 개를 찍어서 수평인지 확인해야 한다. 시신을 자세고정상자에 똑바로 눕히고, 자세고정상자를 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 촬영기의 침대에 똑바로 눕히는 데 오차가 생길 수 있다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 몇 개를 찍은 다음에 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 팔다리 등이 좌우대칭이고 (Fig. 4), 어느 자기공명영상에서 시각신경이 모두 나타나고 (Fig. 5), 정중 자기공명영상과 정중 컴퓨터단층사진에서 뇌, 척주 등이 올바르게 나타나는지 (Fig. 6) 확인하였다. 이것을 확인한 다음에 온몸의 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍었다.

간격이 1 mm인 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 보기를 들어서 3 mm 간격으로 자기공명영상과 컴퓨

터단층사진을 찍으면 0.2 mm 간격인 해부영상(박진서 등, 2002)이 15개마다 1개씩 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에 들어맞는다. 또한 3 mm 간격으로 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍으면 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 3 mm보다 작은 해부구조물이 나타나지 않을 수 있다. 따라서 이 연구에서는 1 mm 간격으로 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍었다(Table 1). 이 결과로 해부영상이 5개마다 1개씩 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에 들어맞았다(Fig. 10).

여백이 한결같은 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 여백이 다르면 같은 번호의 두 영상을 겹쳤을 때 해부구조물이 서로 들어맞지 않는다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진이 서로 들어맞게 여백을 줄였다. 이 때 여백을 되도록 많이 줄여서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 파일크기를 줄였고, 시신 앞, 뒤의 여백 크기와 시신 오른쪽, 왼쪽의 여백 크기를 한결같게 해서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 보기 좋게 만들었다(Fig. 8). 한편 해부영상의 여백을 줄일 때에도 해상도를 낮춘 해부영상이 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에 들어맞게 하였다(Fig. 10).

자기공명영상을 컴퓨터단층사진에 정합할 필요가 있다. 얼리지 않은 시신의 자기공명영상을 찍었고, 얼려서 부푼 시신의 컴퓨터단층사진을 찍었기 때문에 자기공명영상과 컴퓨터단층사진이 완전히 들어맞지 않았다(Fig. 10). 따라서 자기공명영상을 컴퓨터단층사진에 정합할, 즉 자기공명영상의 생김새를 조금 바꾸어서 컴퓨터단층사진에 들어맞게 할, 필요가 있으며, 이를 위해서 반자동 정합 소프트웨어를 만들어서 써야 한다. 자기공명영상을 컴퓨터단층사진에 정합하면 자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 해부영상이 모두 들어맞는데, 이것은 얼려서 부푼 시신의 해부영상을 만들었기 때문이다(Fig. 10). 이처럼 정합하는 것을 응용하면 이 연구에서 만든 연속절단면영상을 임상에서 쓸 수 있다. 보기를 들어서 시신의 해부영상을 환자의 자기공명영상에 정합하면 환자의 해부영상을 마련하는 셈이고, 이 환자의 해부영상을 바탕으로 3차원영상을 만들면 실감나게 가상수술할 수 있다.

3. 해부구조물이 잘 나타난 자기공명영상과 컴퓨터단층사진

시신의 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 살아 있는 사람의 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 찍으면 근육, 심장, 허파, 위창자가 움직이기 때문에 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 해부구조물이 잘 나타나지 않는다(김진용 등, 2003). 또한 살아 있는 사람의 컴퓨터단층사진을 찍으면 방사선을 많이 쬘 수 없기 때문에 온몸을 대상으로 1 mm 간격의 컴퓨터단층사진을 찍을 수 없다.

화소크기가 1 mm인 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 화소크기가 1 mm보다 크면 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 작은 해부구조물이 잘 나타나지 않는다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 표시범위를 480 mm × 480 mm로, 해상도를 512 × 512로 정해서 화소크기가 1 mm쯤 되게 하였다(Fig. 4, Table 1). 한편 이 연구에서 마련한 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 부피재구성해서 좋은 3차원영상을 만들 수 있는데, 이것은 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 화소크기와 간격이 모두 1 mm라서 1 mm 크기의 정육면체 화적소(voxel)를 만들 수 있기 때문이다.

알맞은 조건으로 찍은 자기공명영상을 마련해야 한다. 자기공명영상을 알맞은 조건으로 찍지 않으면 자기공명영상에서 해부구조물이 잘 나타나지 않는다. 따라서 이 연구에서는 가장 알맞은 조건을 찾아서 자기공명영상을 찍었으며, 이 조건과 결과는 다음과 같았다. T1을 강조해서 지방과 물의 경계를 뚜렷하게 만들었고, NEX를 2번으로 정해서 신호를 강하게 하였고 상대적으로 잡음을 약하게 하였으며, 이 결과로 자기공명영상에서 해부구조물의 경계가 뚜렷하였다. Interleave 방법을 썼으며, 이 결과로 자기공명영상에서 이웃한 영상의 신호에 영향을 주는 문제가 나타나지 않았다(Fig. 20). Body coil을 써서 온몸의 자기공명영상을 찍었으며, 이 결과로 온몸의 자기공명영상이 한결같았다(Fig. 4). 한편 자기공명영상을 찍을 때 쇠가 있으면 자기공명영상에서 쇠 주변의 해부구조물이 나타나지 않는다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상을 찍기에 앞서 시신의 입안에 금니가 없는지 확인하였으며(김진용 등, 2003), 금니가 있으면 뽑아야 했다. 또한 시신과 함께 찍은 자세고정상자를 나무로 만들었다(Fig. 2). 다음 연구에서는 시신을 더 빨리 처리해서 T1뿐 아니라 T2와 proton density도 강조한 자기공명영상을 다양하게 마련할 필요가 있다(Fig. 21).

더 좋은 촬영기로 찍은 자기공명영상을 마련할 필요가 있다. 이 연구에서는 1.5 Tesla 자기공명영상 촬영기로 자기공명영상을 찍었기 때문에 자기공명영상의 해상도와 화질에 한계가 있었다. 따라서 다음 연구에서는 3 Tesla 자기공명영상 촬영기를 써서 자기공명영상의 해상도를 더 높이고, 화질을 더 좋게 만들 필요가 있다.

알맞은 조건으로 찍은 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 컴퓨터단층사진을 알맞은 조건으로 찍지 않으면 컴퓨터단층사진에서 해부구조물이 잘 나타나지 않는다. 따라서 이 연구에서는 가장 알맞은 조건을 찾아서 컴퓨터단층사진을 찍었으며, 이 조건과 결과는 다음과 같았다. 전압을 120 kV로, 전류를 80 mAs로, 방사선 쬐는 시간을 3초로, 방사선 쬐지 않는 시간을 4초로 정해서 충분한 방사선을 시신에 쬐었으며, 이 결과로 컴퓨터단층사진에서 해부구조물의 경계가 뚜렷하였다. 표준 알고리즘을 써서 온몸의 컴퓨터단층사진을 찍었으며, 이 결과로 온몸의 컴퓨터단층사진이 한결같았다(Fig. 4).

시신을 얼리기에 앞서 찍은 컴퓨터단층사진도 마련할 필요

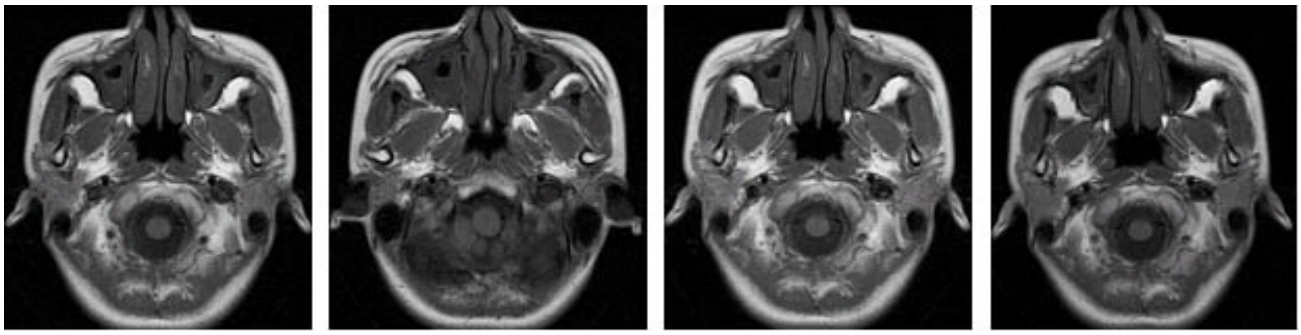

Fig. 20. MRIs scanned not by using interleave method (left two) and by using interleave method (right two) in a living person.

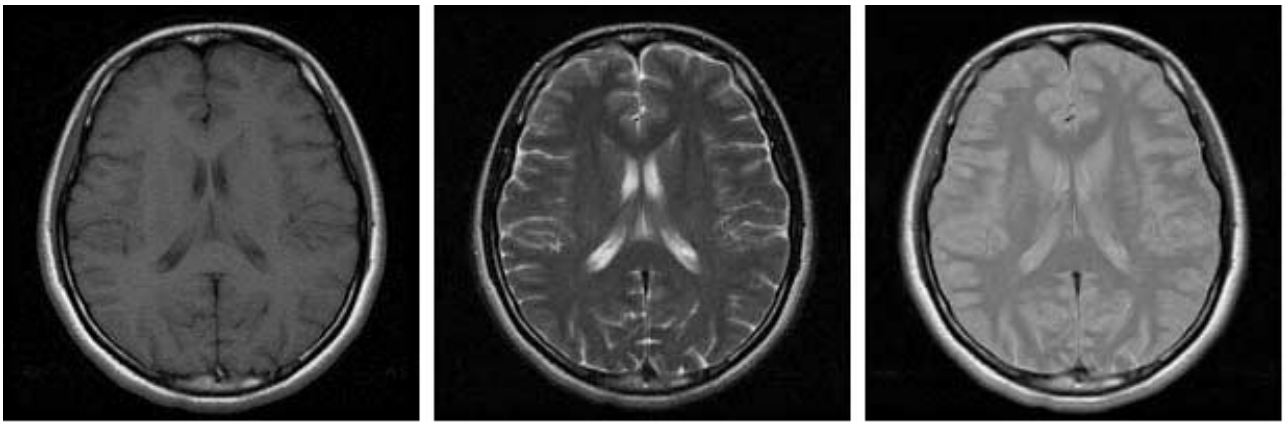

Fig. 21. MRIs scanned by weighted T1 (left), T2 (center), and proton density (right) in a living person.

가 있다. 미국에서는 시신을 얼리기에 앞서 컴퓨터단층사진을 찍었고, 얼린 다음에도 컴퓨터단층사진을 찍었다 (Spitzer *et al*., 1996). 이 연구에서는 시신을 얼리기에 앞서 컴퓨터단층사진을 찍지 않았는데, 이것은 시신을 일찍 얼리기 위한 것이었다. 그러나 미국에서 시신을 얼리기에 앞서 찍은 컴퓨터단층사진에서는 물렁조직이 더 잘 나타났다 (Fig. 22). 따라서 다음 연구에서는 시신을 더 늦게 얼리더라도 시신을 얼리기에 앞서 컴퓨터단층사진을 찍을 필요가 있다. 그리고 시신을 얼리기에 앞서 찍은 컴퓨터단층사진을 얼린 다음에 찍은 컴퓨터단층사진에 정합할 필요도 있다.

4. 개인용컴퓨터에서 쉽게 볼 수 있는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진

개인용컴퓨터에서 쉽게 볼 수 있는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련해야 한다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 개인용컴퓨터로 옮겨서 TIF 파일로 바꾸지 않으면 개인용컴퓨터에서 TIF 파일로 저장한 해부영상 (김진용 등, 2002)과 함께 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 볼 수 없다. 따라서 이 연구에서는 개인용컴퓨터에서 쉽게 볼 수 있는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 마련하였으며, 이를 위해서 다음처럼 해야 한다.

첫째, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 개인용컴퓨터로 옮겨야 한다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 촬영기에서 찍은 자기공명영상과 컴퓨터단층사진은 촬영기에 딸린 특수한 컴퓨터에 저장되는데, 이 컴퓨터는 누구나 쉽게 쓸 수 없다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 개인용컴퓨터로 옮겼다.

둘째, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 TIF 파일로 바꾸는 것이 바람직하다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진 촬영기에서 찍은 자기공명영상과 컴퓨터단층사진은 DICOM 파일로 저장된다. 빛깔이 16 bits gray인 DICOM 파일은 8 bits gray인 파일에 비해서 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 더 많은 빛깔로 나타낼 수 있다는 장점이 있다. 그러나 DICOM 파일은 개인용컴퓨터의 영상보기 소프트웨어 (ACDSee, Adobe Photoshop 등)에서 볼 수 없을 뿐 아니라 개인용컴퓨터의 보통 소프트웨어에서 정렬할 수 없고, 여백을 줄일 수 없고, 관상 영상, 시상 영상, 동영상을 만들 수 없다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 개인용컴퓨터에서 쉽게 보고 다듬을 수 있는 파일 (8 bits gray)은 JPG (joint photographic coding experts group) 파일,

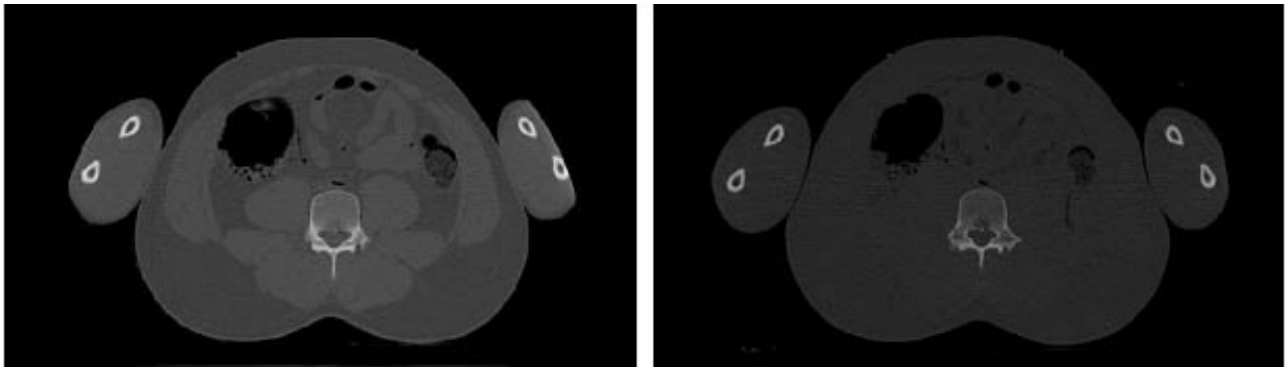

Fig. 22. CTs scanned before cadaver freezing (left) and after cadaver freezing (right) in the Visible Human Project.

BMP (bitmap) 파일, TIF 파일 등이다. JPG 파일은 파일크기가 작다는 장점이 있으나, 올바른 영상 정보를 담지 못하고, 직접 3차원영상을 만들 수 없다. BMP 파일은 파일크기가 크고, Macintosh 컴퓨터에서 볼 수 없다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 TIF 파일로 바꾸었다. 같은 까닭으로 관상 영상과 시상 영상도 TIF 파일로 만들었다(Table 1). 다음 연구에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 16 bits gray인 DICOM 파일로 간직하면서 정렬할 수 있고, 여백을 줄일 수 있고, 관상 영상, 시상 영상, 동영상을 만들 수 있고, 그리고 다듬을 수 있는 소프트웨어를 마련할 필요가 있다.

셋째, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 이어서 볼 수 있는 동영상을 만드는 것이 바람직하다. 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 동영상을 만들지 않으면 자기공명영상과 컴퓨터단층사진에서 해부구조물이 잘 나타나는지 한눈에 확인하기 어렵고, 오프라인 또는 온라인으로 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 한꺼번에 보여 주기 어렵다. 따라서 이 연구에서는 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 이어서 볼 수 있는 동영상을 다음처럼 만들었다. 동영상의 해상도를 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 해상도와 같게 해서 본디 화소가 그대로 나타나게 하였다. 동영상의 화소가로세로비율을 square pixels 1.0로 해서 본디 화소가 찌그러지지 않게 하였다. 동영상을 MPEG-4로 압축하였으며, 이 까닭은 다음과 같다. 동영상을 압축하지 않으면 화질이 아주 좋다는 장점이 있으나, 파일크기가 너무 크다. 동영상을 MPEG-1으로 압축하면 파일크기가 작고, 기본 codec (coder/decoder)으로 볼 수 있다는 장점이 있으나, 화질이 너무 나쁘고, 빠른 통신망이 필요하다. 동영상을 MPEG-2로 압축하면 화질이 좋다는 장점이 있지만, 파일크기가 크고, codec과 빠른 통신망이 필요하다. MPEG-3 (MP3)는 동영상을 압축하는 데 쓰지 않고, 소리를 압축하는 데만 쓴다. 이 연구에서 동영상을 MPEG-4로 압축한 결과로 화질이 좋았고, 파일크기가 크지 않았고(No compression 200 Mbytes/min, MPEG-4 30 Mbytes/min), 느린(1 Mbps) 통신망에서 끊임 없이 볼 수 있었다. MPEG-4로 압축한 동영상을 보기 위해서 codec이 필요하였는데, codec은 쉽게 구할 수 있기 때문에 별 문제가 되지 않았다(Tables 2, 3).

Table 3. Characteristics of the movies according to the methods of compression

Methods of compression	Quality of images	File size	Necessity of codec	Necessity of fast network
No compression	++++	+++++	−	+
MPEG-1	+	+	−	+
MPEG-2	+++	+++	+	+
MPEG-4	++	++	+	−

5. 해부구조물이 잘 나타난 해부영상

고정액을 주입하지 않은 시신의 해부영상을 마련해야 한다. 미국에서는 독을 주사해서 사형시킨 남성 시신의 연속절단면 영상을 만들었고, 독 때문에 시신의 조직이 막탈분극(membrane depolarization)해서 망가질 위험이 있었다. 조직이 망가지는 것을 막기 위해서 시신의 넙다리동맥으로 고정액(1% formalin, 19 L)을 주입하였으며, 이 결과로 시신의 몸무게가 100 kg으로 늘었고, 해부영상의 빛깔이 하얗게 바뀌었다(Spitzer *et al*., 1996). 따라서 이 연구에서는 시신에 고정액을 주입하지 않았으며, 이 결과로 해부영상의 빛깔이 생체와 비슷하였다(Fig. 11).

일찍 얼린 시신의 해부영상을 마련해야 한다. 이 연구에서는 시신에 고정액을 주입하지 않았기 때문에 시신을 일찍 얼리지 않으면 시신의 조직이 썩을 위험이 있었다. 따라서 시신을 일찍 얼리기 위해서 다음처럼 하였다. 돌아가신 지 26시간이 지난 다음에 시신을 실험실로 옮겼다(Fig. 1). 돌아가신 지 31시간이 지난 다음에 자기공명영상을 찍기 시작하였다. 이를 위해서 시신의 털을 깎고, 자세고정상자에서 시신의 자세와 방향을 바로잡아서 고정하는 것은 빨리 하였다(Fig. 2). 시신을 얼리기에 앞서 자기공명영상을 찍었는데, 이것은 시신을 얼린 다음에 자기공명영상을 찍을 수 없었기 때문이다. 돌아가신 지 36시간이 지난 다음에 시신을 냉동고에 넣어서 영하

70도로 얼리기 시작하였다(Fig. 7).

이 연구에서는 젊고, 표준 체형이고, 병리소견이 적은 한국 사람 시신의 온몸을 대상으로 서로 들어맞고, 해부구조물이 잘 나타난 자기공명영상, 컴퓨터단층사진(간격 1 mm)과 해부영상(간격 0.2 mm)을 마련하였다(Figs. 4, 10, Table 1). 이 연속절단면영상은 해부학과 의학을 익히는 데 다음처럼 도움 될 것이다. 첫째, 해부구조물이 잘 나타난 해부영상을 참고하면 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 익히는 데 도움 될 것이다. 둘째, 자기공명영상과 컴퓨터단층사진의 3차원영상을 만들어서 잘라 보면 비스듬한 자기공명영상과 컴퓨터단층사진을 익히는 데 도움 될 것이다(정민석 등, 2000). 셋째, 해부영상의 3차원영상을 만든 다음에 가상해부 소프트웨어와 가상내시경 소프트웨어를 만들면 해부학과 내시경을 익히는 데 도움 될 것이다(Chung & Kim, 2002).

참 고 문 헌

김진용, 정민석, 박진서, 안창식, 하동환, 박형선 : 온몸의 연속절단면영상 만들기(둘째 보고: 해부영상을 찍고 다듬는 방법). *대한해부학회지 35: 305-314, 2002.*

김진용, 정민석, 이용숙, 박진서, 조재현, 최우영 : 온몸의 수평, 관상, 시상 자기공명영상과 구역화영상. *대한체질인류학회지 16: 1-13, 2003.*

김철중, 이남식, 김진호, 박수찬, 이웅호, 최종후, 강신철, 이규금, 이상도, 이동춘 : 산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준체위 조사 보고서. 한국표준과학연구소 *pp. 3-5, 1992.*

박진서, 정민석, 김진용, 박형선 : 온몸의 연속절단면영상 만들기(첫째 보고: 포매하고 연속절단하는 방법). *대한해부학회지 35: 297-304, 2002.*

정민석, 조우정, 김이석, 조재현, 최우영 : 여러 방향으로 촬영한 머리, 목의 자기공명영상을 익힐 수 있는 컴퓨터 소프트웨어. *대한체질인류학회지 13: 263-270, 2000.*

황성배, 정민석, 박진서, 강군용, 박형선 : 온몸의 연속절단면영상 만들기(셋째 보고: 구역화영상, 관상구역화영상, 시상구역화영상을 만드는 방법). *대한해부학회지 36: 141-153, 2003.*

Ackerman MJ : The Visible Human Project. A resource for education, *Acad Med 74: 667-670, 1999.*

Chung MS, Kim YS : 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, Scherizinger 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.*

Van De Graaff KM : Human Anatomy, 5th Ed. Boston, WCB McGraw-Hill, *pp. 27, 761-762, 1998.*

— **Abstract** —

Manufacture of the Serially Sectioned Images of the Whole Body (Fourth Report: Methods for Selection and Treatment of the Cadaver and for Scanning of the MRIs and CTs)

Jin Seo Park, Min Suk Chung*

Department of Anatomy, Ajou University School of Medicine

Visible Human Project dataset made in the United States has some problems which were caused by the cadaver selection, cadaver treatment, MRI (magnetic resonance image) scanning, and CT (computerized tomograph) scanning. Therefore, in this study, we intended to make better serially sectioned images, namely Visible Korean Human, which overcome the problems of Visible Human Project dataset. The better serially sectioned images will be the basis of better three dimensional images of the whole body, which are helpful in medical education

An appropriate Korean male cadaver was selected for this study. Without injecting fixative, the cadaver's posture and direction were adjusted and fixed in an immobilizing box. Horizontal MRIs and CTs of the cadaver's whole body were scanned at 1 mm intervals. In addition, coronal and sagittal MRIs and CTs as well as movies of the MRIs and CTs were made.

Age of the selected cadaver was young (32 years old), body size was Korean average (height 1,640 mm, weight 55 kg), and pathological findings were few. 1,718 couples of corresponding MRIs and CTs, in which anatomical structures appear clearly (pixel size 1 mm), were acquired. 276 couples of coronal MRIs and CTs as well as 505 couples of sagittal MRIs and CTs were acquired. Movies of all MRIs and CTs were acquired as well.

The serially sectioned images acquired in this study will be helpful either in studying MRIs and CTs by referring to corresponding anatomical images or in studying anatomy and medicine by reconstructing MRIs, CTs, and anatomical images into three dimensional images.

Key words : Cadaver, MRIs, CTs, Anatomical images, Three dimensional images