

온몸의 연속절단면영상 만들기 (일곱째 보고: 다리의 구조물을 낱낱이 구역화하기)

박진서, 황성배¹, 정민석*

아주대학교 의과대학 해부학교실, ¹경북전문대학 물리치료과

초 록 : 한국 남성 시신의 온몸을 연속절단해서 해부영상을 만들었다. 해부영상에서 보이는 구조물을 구역화해서 구역화영상을 만들면 구조물의 3차원영상을 만들 수 있다. 이 연구의 목적은 다리의 해부영상에서 보이는 구조물을 낱낱이 구역화해서 구역화영상을 만든 다음에 퍼뜨려서 다른 연구자가 다리의 3차원영상과 가상해부 소프트웨어를 만드는 데 도움 주는 것이다.

해부영상을 포함한 임시구역화영상 976개(파일 형식 PSD, 간격 1.0 mm, 해상도 1,200×1,100)에서 왼다리의 구조물 114개(피부 1개, 뼈 32개, 무릎관절의 구조물 7개, 근육 60개, 동맥 7개, 신경 7개)를 구역화하기로 하였다. 어도비 포토샵에서 구조물의 테두리에 들어맞는 선택을 자동, 반자동, 또는 수동으로 그린 다음에 선택을 층에 담았다. 선택 속에 빛깔을 채운 다음에 임시구역화영상의 파일 형식을 TIFF로 바꾸어서 구역화영상 996개를 만들었다. 구역화영상을 쌓아서 이마, 마루구역화영상을 만든 다음에 구역화영상이 맞는지 살폈다.

이 연구에서 만든 구역화영상과 해부영상을 함께 쌓아서 3차원영상을 만든 다음에 3차원영상을 골라서 보고, 돌려서 보고, 잘라서 보면 다리의 해부학을 익히는 데 도움 될 것이다. 이 연구의 구역화 방법을 쓰면 다른 영상에서도 많은 구조물을 빠르고 올바르게 구역화하는 데 도움 될 것이다.

찾아보기 낱말 : 해부영상, 구역화영상, 3차원영상, 왼다리, 구조물, 어도비 포토샵

서 론

한국 남성 시신의 온몸을 연속절단해서 해부영상 8,510개(간격 0.2 mm)를 만들었다(김진용 등, 2002; 박진서 등, 2002; Park *et al.*, 2005a; Park *et al.*, 2006). 이 중 다리의 해부영상 976개(간격 1.0 mm)에서 피부, 뼈, 동맥을 구역화해서 구역화영상 976개를 만들었으며, 이를 위해서 어도비 포토샵(Adobe Photoshop; 7판)에서 구역화하는 방법을 개발하였다(황성배 등, 2003; Park *et al.*, 2005b). 구역화영상과 해부영상을 쌓아서 다리에 있는 피부, 뼈, 동맥의 3차원영상을 만들었다(박진서 등, 2004). 그런데 뼈와 동맥을 낱낱이 구역화하지 않았기 때문에 각 뼈와 각 동맥의 3차원영상을 만들 수 없었다. 또한 근육을 구역화하지 않았기 때문에 근육의 3차원영상을 만들 수 없었다.

미국 시신의 해부영상(간격 1.0 mm)에서 다리에 있는 피

부, 뼈, 근육을 구역화해서 구역화영상을 만들고, 구역화영상과 해부영상을 쌓아서 3차원영상을 만든 보고가 있었다(Kang *et al.*, 2000). 그런데 미국 시신의 해부영상은 넓적다리에서 7개 빠지고, 종아리에서 9개 빠진 단점이 있었다(Fig. 1A)(Spitzer *et al.*, 1996). 또한 미국 시신의 구역화영상은 간격이 3.0 mm이고, 무릎관절의 구조물, 신경, 동맥을 구역화하지 않은 단점이 있었다(Kang *et al.*, 2000).

이 연구의 목적은 한국 시신 왼다리의 해부영상 976개(간격 1.0 mm)에서 구조물 114개(피부 1개, 뼈 32개, 무릎관절의 구조물 7개, 근육 60개, 동맥 7개, 신경 7개)를 낱낱이 구역화해서 구역화영상을 만들고, 이 구역화영상을 해부영상과 함께 퍼뜨려서 다른 연구자가 다리의 3차원영상과 가상해부 소프트웨어를 만드는 데 도움 주는 것이다. 이를 위해서 이미 개발한 구역화 방법을 썼을 뿐 아니라, 어도비 포토샵에서 많은 구조물을 빠르고 올바르게 구역화하는 방법을 새로 개발해서 썼다. 이 연구의 다른 목적은 새로 개발한 구역화 방법을 알려서 다른 연구자가 다른 영상에서도 빠르고 올바르게 구역화하는 데 도움 주는 것이다.

*본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2005-000-10197-0) 지원으로 수행되었음.

*교신저자: 정민석

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

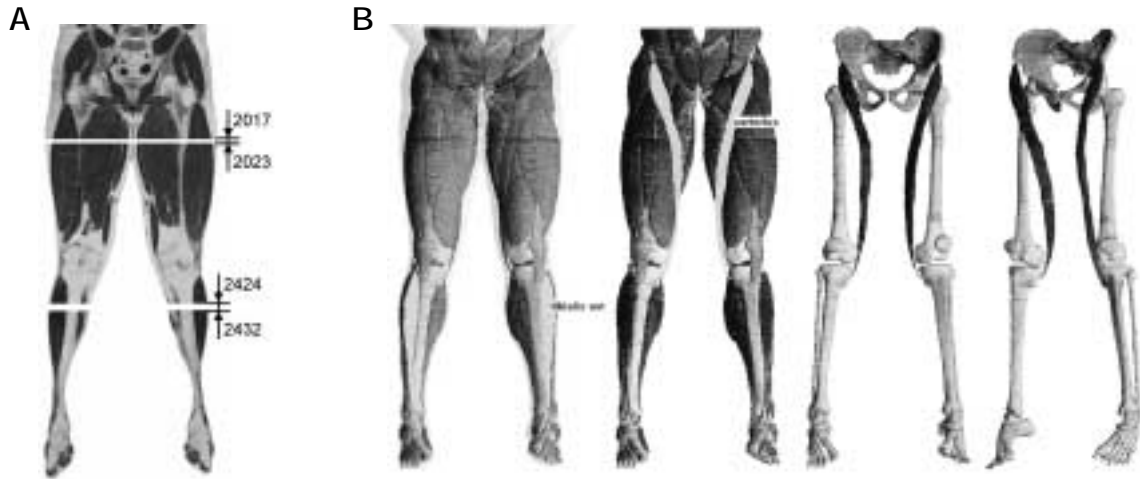


Fig. 1. Visible Human Project showing missing anatomical images of thigh and leg (A); three-dimensional images of lower limbs made from anatomical images and segmented images of the Visible Human Project (B).

Table 1. Features of the anatomical and segmented images of the left lower limb

Image (File name)	Interval (Number)	Resolution	Color depth	File size
Anatomical images of whole body (0000.tif, 0001.tif, ..., 8509.tif)	0.2 mm (8,510)	3,040 × 2,008	24 bits color	145.1 GBytes
Anatomical images (3630.tif, 3635.tif, ..., 8505.tif)	1.0 mm (976)	1,200 × 1,100	24 bits color	3.6 GBytes
Temporary segmented images (3630.psd, 3635.psd, ..., 8505.psd)	1.0 mm (976)	1,200 × 1,100	24 bits color	15.3 GBytes
Segmented images (3630.tif, 3635.tif, ..., 8505.tif)	1.0 mm (976)	1,200 × 1,100	8 bits color	1.2 GBytes

재료 및 방법

온몸의 해부영상 중에서 왼다리의 해부영상을 1.0 mm 간격으로 추렸다. 한국 남성 시신을 대상으로 만든 해부영상 8,510개 (0000.tif, 0001.tif, ..., 8509.tif; 파일 형식 tag image file format (TIFF), 간격 0.2 mm, 해상도 3,040 × 2,008, 빛깔 24 bits color) 중에서 파일 이름이 5의 배수인 해부영상 1,702개 (0000.tif, 0005.tif, ..., 8505.tif)를 추렸으며, 이 결과로 간격이 0.2 mm에서 1.0 mm로 늘었다. 이 중에서 엉덩뼈 능선 아래의 해부영상, 즉 다리의 해부영상 976개 (3630.tif, 3635.tif, ..., 8505.tif)를 추렸다. 다음의 일은 어도비 포토샵에서 하였다. 해부영상에서 왼다리를 뺀 나머지 부분, 즉 오른다리와 지나친 여백을 잘라 냈으며, 이 결과로 해상도가 3,040 × 2,008에서 1,200 × 1,100으로 줄었다 (Table 1). 하나의 해부영상에서 여백을 잘라 내는 일을 액션 (action)에 기록한 다음에 이 액션을 모든 해부영상에 적용해서 일괄처리 (batch)하였다.

왼다리의 해부영상에서 중요하거나 대체로 잘 보이는 구조물 114개를 구역화하기로 하였다. 구조물을 되도록 나누어서 구역화하기로 하였는데, 보기를 들면 넓다리네갈래근을 넓다리곧은근, 가쪽넓은근, 중간넓은근, 안쪽넓은근으로 나누어서 구역화하기로 하였다. 그러나 어느 구조물은 묶어

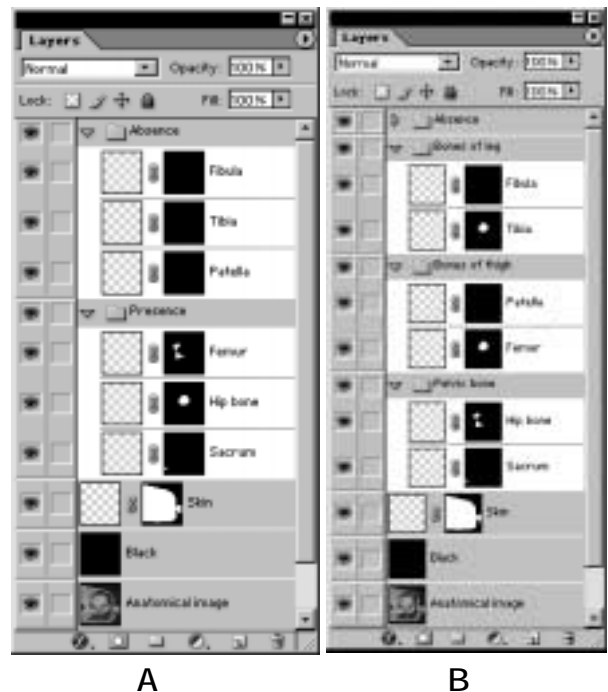


Fig. 2. Layers window of temporary segmented image (4000.psd). Root folder including Anatomical image layer, Black layer, Skin layer, Presence folder including present structures layers, and Absence folder including absent structures layers (A); Root folder, Pelvic bone folder, Bones of thigh folder, Bones of leg folder, and Absence folder (B).

Table 2. One-hundred fourteen segmented structures in the left lower limb, categorized according to systems and regions

System	Region	Segmented structure
Skin (1)*		Skin
Bones (32) †	Pelvic bone (2)	Sacrum, Hip bone
	Bones of thigh (2)	Femur, Patella
	Bones of leg (2)	Tibia, Fibula
	Tarsal bones (7)	Talus, Calcaneus, Navicular, Medial cuneiform, Intermediate cuneiform, Lateral cuneiform, Cuboid
	Metatarsal bones (5)	1st metatarsal bone, 2nd metatarsal bone, 3rd metatarsal bone, 4th metatarsal bone, 5th metatarsal bone
	Phalanges (14)	1st proximal phalanx, 1st distal phalanx, 2nd proximal phalanx, 2nd middle phalanx, 2nd distal phalanx, 3rd proximal phalanx, 3rd middle phalanx, 3rd distal phalanx, 4th proximal phalanx, 4th middle phalanx, 4th distal phalanx, 5th proximal phalanx, 5th middle phalanx, 5th distal phalanx
Knee joint structures (7)		Lateral meniscus, Medial meniscus, Anterior cruciate ligament, Posterior cruciate ligament, Fibular collateral ligament, Tibial collateral ligament, Patellar ligament
Muscles (60)	Anterior compartment of thigh (10)	Iliopsoas, Iliacus, Psoas major, Tensor fasciae latae, Sartorius, Rectus femoris, Vastus lateralis, Vastus intermedius, Vastus medialis, Articularis genu
	Posterior compartment of thigh (11)	Gluteus maximus, Gluteus medius, Gluteus minimus, Piriformis, Obturator internus, Superior gemellus, Inferior gemellus, Quadratus femoris, Biceps femoris, Semitendinosus, Semimembranosus
	Medial compartment of thigh (6)	Pectineus, Adductor longus, Adductor brevis, Adductor magnus, Gracilis, Obturator externus
	Anterior compartment of leg (4)	Tibialis anterior, Extensor digitorum longus, Fibularis tertius, Extensor hallucis longus
	Posterior compartment of leg (7)	Gastrocnemius, Soleus, Plantaris, Popliteus, Tibialis posterior, Flexor digitorum longus, Flexor hallucis longus
	Lateral compartment of leg (2)	Fibularis longus, Fibularis brevis
	Dorsum of foot (2)	Extensor hallucis brevis, Extensor digitorum brevis
	1st layer of sole (3)	Abductor hallucis, Abductor digiti minimi, Flexor digitorum brevis
	2nd layer of sole (5)	Quadratus plantae, Lumbricales (4)
	3rd layer of sole (3)	Flexor hallucis brevis, Flexor digiti minimi brevis, Adductor hallucis
	4th layer of sole (7)	Dorsal interossei (4), Plantar interossei (3)
Arteries (7) †		Internal iliac artery, External iliac artery, Femoral artery, Deep femoral artery, Popliteal artery, Anterior tibial artery, Posterior tibial artery
Nerves (7)		Obturator nerve, Femoral nerve, Sciatic nerve, Tibial nerve, Common fibular nerve, Superficial fibular nerve, Deep fibular nerve

(Number of segmented structures)

*Structures, which were already segmented, are segmented no more.

† Structures, which were already segmented, are segmented in detail.

서 구역화하기로 하였는데, 보기를 들면 힘살과 힘줄을 근육으로 묶어서 구역화하기로 하였다. 여러 근육이 만나서 한 힘줄을 이루는 경우에는 한 근육에 힘줄을 포함해서 구역화하기로 하였다. 보기를 들면 넙다리곧은근에 넙다리내갈래근의 힘줄을 포함해서 구역화하기로 하였고, 가지미근에 발꿈치힘줄을 포함해서 구역화하기로 하였다. 구역화할 구조물 114개를 계통에 따라서 피부 1개, 뼈 32개, 무릎관절의 구조물 7개, 근육 60개, 동맥 7개, 신경 7개로 나누었고, 뼈 32개와 근육 60개를 부위에 따라서 나누었다. 구조물의 이름과 차례를 정할 때에는 해부학용어(다섯째 판)를

따랐다(Table 2)(대한해부학회, 2005).

해부영상을 인쇄한 종이에 구조물의 테두리를 그렸다. 해부영상을 3.0 mm 간격으로 종이에 인쇄하였다. 그러나 볼기부위의 해부영상(3630.tif, 3635.tif, ..., 4670.tif)과 발부위의 해부영상(7700.tif, 7705.tif, ..., 8505.tif)은 1.0 mm 간격으로 종이에 인쇄하였는데, 이것은 볼기부위와 발부위에 있는 근육이 작고 복잡하기 때문이었다. 구역화할 구조물 114개의 테두리를 종이에 색연필로 그렸으며, 이 때 미국 시신의 해부영상 그림책을 참고하였다(Spitzer & Whitlock, 1998). 종이를 넘겨 보면서 각 구조물의 테두리를 처음부터 끝까지

이어지게 그렸고 한결같이 그렸는지 확인하였다.

온몸의 임시구역화영상 중에서 왼다리의 임시구역화영상을 추렸다. 이 방법은 온몸의 해부영상 중에서 왼다리의 해부영상을 추린 방법과 비슷하였으며, 이 결과로 임시구역화영상 976개 (3630.psd, 3635.psd, ..., 8505.psd; 파일 형식 Photoshop document (PSD), 간격 1.0 mm, 해상도 1,200 × 1,100)를 마련하였다 (Table 1). 임시구역화영상에는 해부영상을 담은 Anatomical image 층 (layer), 검은 빛깔을 담은 Black 층 (Fig. 2A), 이미 그린 피부, 뼈, 동맥의 선택 (selection)을 담은 Skin 층, Bone 층, Artery 층이 있었다 (황성배 등, 2003). 층 이름을 모두 영어로 적었는데, 이것은 임시구역화영상을 외국에서도 쓰게 하기 위한 것이었다.

임시구역화영상에서 구조물을 다음 원칙대로 구역화하였다. 이미 그린 피부의 선택을 그대로 썼다. 이미 그린 뼈의 선택을 32개로 나누었고, 이미 그린 동맥의 선택을 7개로 나누었다. 이미 그리지 않은 구조물의 선택, 즉 무릎관절의 구조물 7개의 선택, 근육 60개의 선택, 신경 7개의 선택을 새로 그렸다 (Table 2).

이미 그린 뼈와 동맥의 선택을 나눌 때, 층 이름만 바꾸기도 하였다. 보기를 들면 임시구역화영상 370개 (4305.psd, 4310.psd, ..., 6150.psd)에서 이미 넓다리동맥과 오금동맥의 선택을 그려서 Artery 층에 담았다. 이 연구에서는 임시구역화영상 281개 (4305.psd, 4310.psd, ..., 5705.psd)에서 층 이름을 Femoral artery 층으로 바꾸었고, 임시구역화영상 89개 (5710.psd, 5715.psd, ..., 6150.psd)에서 층 이름을 Popliteal artery 층으로 바꾸었다. 이 일을 액션에 기록해서 일괄처리

하였다.

이미 그린 뼈와 동맥의 선택을 나눌 때, 층을 복사한 다음에 선택을 지우기도 하였다. 보기를 들면 임시구역화영상 7000.psd에서 이미 정강뼈와 종아리뼈의 선택을 그려서 Bone 층에 담았다. 이 연구에서는 Bone 층을 복사해서 똑같은 층을 두 개 만든 다음에 각 층 이름을 Tibia 층과 Fibula 층으로 바꾸었다. Tibia 층에서 종아리뼈의 선택을 지웠고, Fibula 층에서 정강뼈의 선택을 지웠다. 층을 복사해서 똑같은 층을 세 개 이상 만드는 경우도 있었다. 보기를 들면 임시구역화영상 7985.psd에서 Bone 층을 복사해서 Medial cuneiform 층, Intermediate cuneiform 층, Lateral cuneiform 층, Cuboid 층, 2nd metatarsal bone 층을 만들었다.

이미 그리지 않은 구조물의 테두리를 뚜렷하게 만들기 위해서 해부영상의 밝기 (brightness)와 대비 (contrast)를 조절하였다. 즉 어두운 구조물의 테두리를 뚜렷하게 만들기 위해서 밝기 (기본 0)를 늘렸고 (최대 100), 밝은 구조물의 테두리를 뚜렷하게 만들기 위해서 밝기를 줄였고 (최소 -100), 모호한 구조물의 테두리를 뚜렷하게 만들기 위해서 대비 (기본 0)를 늘렸다 (최대 100). 구조물에 따라서 밝기와 대비를 조절하는 정도가 달랐는데, 보기를 들면 볼기부위에 있는 근육의 테두리를 뚜렷하게 만들기 위해서 해부영상의 밝기를 50으로 늘렸고, 대비를 50으로 늘렸으며 (Fig. 3A, B), 넓적다리에 있는 궁둥신경의 테두리를 뚜렷하게 만들기 위해서 대비만 50으로 늘렸다 (Fig. 3C, D). 이 일을 액션에 기록해서 일괄처리하였다. 이처럼 구조물의 테두리를 뚜렷하게 만들면 테두리에 들어맞는 선택을 자동 또는 반자동

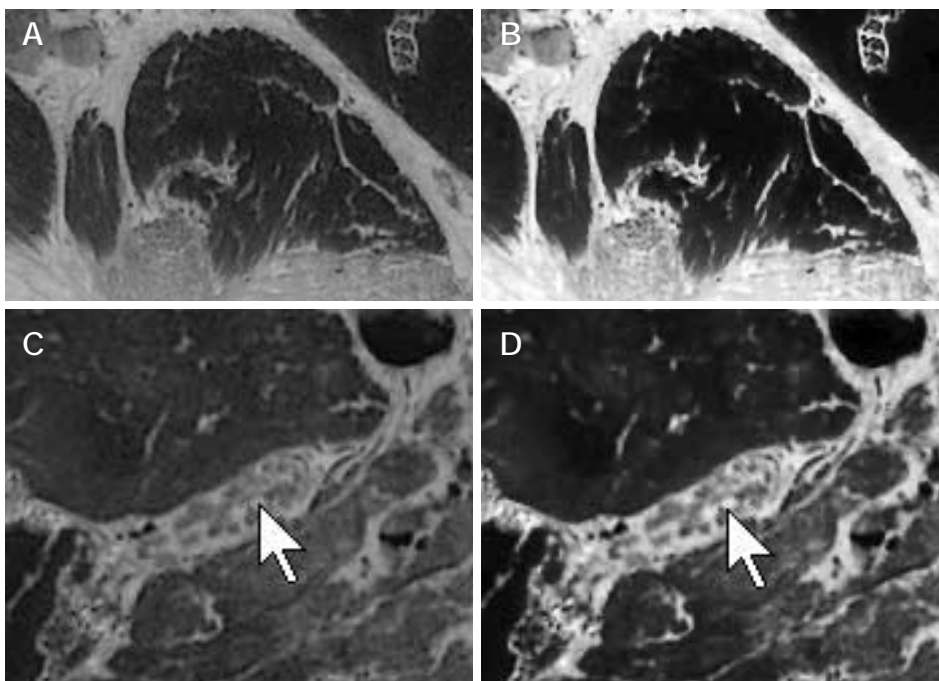


Fig. 3. Muscles of gluteal region in the anatomical image (A), which become apparent after increasing brightness and contrast (B); sciatic nerve (arrow) in the anatomical image (C), which becomes apparent after increasing only contrast (D).

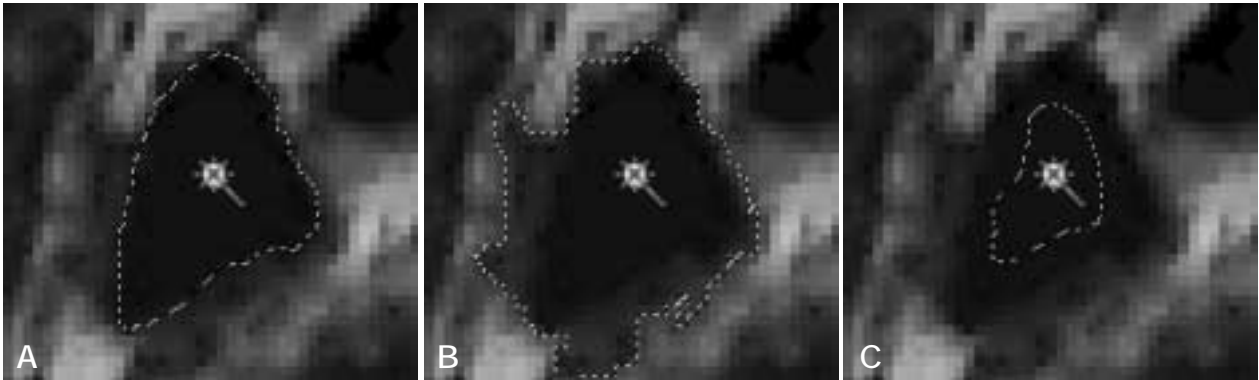


Fig. 4. Selection, which fits outline of the structure, is automatically drawn with appropriate tolerance of magic wand tool (A); selection, which doesn't fit outline of the structure, is drawn either with great tolerance (B) or with small tolerance (C).

으로 그리는데 도움 되었다. 선택을 그린 다음에는 밝기와 대비를 조절한 해부영상을 본래 해부영상으로 바꾸었으며, 이 일도 액션에 기록해서 일괄처리하였다.

이미 그리지 않은 구조물의 선택을 그릴 때, 마술막대기 도구(magic wand tool)를 고른 다음에 마우스 포인터를 구조물 속에 놓고 딸깍해서 구조물의 테두리에 들어맞는 선택을 자동으로 그렸다(Fig. 4A). 선택을 그리기에 앞서 마술막대기도구의 받아들임값(tolerance)을 30으로 정했다. 받아들임값을 너무 크게 정하면(최대 255) 이웃한 화소의 빛깔이 많이 달라도 받아들여서 구조물의 테두리보다 큰 선택을 그리기 때문이었다(Fig. 4B), 받아들임값을 너무 작게 정하면(최소 0) 이웃한 화소의 빛깔이 조금만 달라도 받아들이지 않아서 구조물의 테두리보다 작은 선택을 그리기 때문이었다(Fig. 4C). 그러나 구조물 빛깔이 주변 빛깔과 아주 많이 다르면 받아들임값을 30보다 크게 정해서 자동화 정도를 높였고, 구조물 빛깔이 주변 빛깔과 비슷하면 받아들임값을 30보다 작게 정해서 자동화 정도를 낮추었다. 선택을 그리기에 앞서 이웃함(contiguous)을 켜었다. 이웃함을 끄면 이웃하지 않지만 빛깔이 비슷한 다른 구조물에도 선택을 그리기 때문이었다. 선택을 그리기에 앞서 안티앨리어스(anti-aliased)를 켜었다. 안티앨리어스를 켜면 선택 속에 빛깔을 채울 때 이 빛깔과 주변 빛깔의 중간 빛깔이 선택에 나타나기 때문이었다. 선택을 그린 다음에 선택이 구조물의 테두리에 들어맞지 않으면 자석올가미도구(magnetic lasso tool)를 써서 선택을 반자동으로 고치거나, 올가미도구(lasso tool) 또는 패스선택도구(path selection tool)를 써서 선택을 수동으로 고쳤다(황성배 등, 2003).

선택을 자동으로 그리기 어려우면 자석올가미도구를 써서 선택을 반자동으로 그렸고, 선택을 반자동으로 그리기도 어려우면 올가미도구를 써서 선택을 수동으로 그렸다(황성배 등, 2003).

임시구역화영상에 구조물의 층을 만든 다음에 선택을 구

Table 3. Segmented structures; their starting and ending temporary segmented images; and their red, green, blue values for segmented images

Segmented structure	Starting temporary segmented image	Ending temporary segmented image	Red value	Green value	Blue value
Skin	3630.psd	8505.psd	251	251	201
Sacrum	4000.psd	4310.psd	175	70	190
Hip bone	3635.psd	4625.psd	110	110	110
Femur	4205.psd	6180.psd	160	160	160
Patella	5890.psd	6110.psd	120	120	100
...

구조물의 층에 담았다. 보기를 들면 Sacrum 층을 만든 다음에 엉치뼈의 선택을 Sacrum 층에 담았다.

구조물의 층을 이웃한 임시구역화영상에 붙여 넣은 다음에 층에 담은 선택을 지우고 자동으로 다시 그리거나, 층에 담은 선택을 반자동 또는 수동으로 고쳤다. 이 일을 구조물이 나타나는 모든 임시구역화영상에서 되풀이하였다(황성배 등, 2003).

각 구조물이 어느 임시구역화영상에 있는지 표로 간추렸다. 보기를 들면 피부는 모든 임시구역화영상(3630.psd, 3635.psd, ..., 8505.psd)에 있었고, 엉치뼈는 4000.psd, 4005.psd, ..., 4310.psd에 있었다(Table 3).

임시구역화영상에서 가장 아래부터 Anatomical image 층, Black 층, Skin 층을 놓았고, Presence 폴더(folder)를 만든 다음에 있는 구조물의 층을 Presence 폴더에 놓았다(Fig. 2A). 이 일을 액션에 기록해서 일괄처리하였다.

임시구역화영상에서 없는 구조물의 층을 만들고 Absence 폴더를 만든 다음에 없는 구조물의 층을 Absence 폴더에 놓았다. 이 때 없는 구조물의 층 구석에 한 화소의 선택을 담았다. 이 일을 액션에 기록해서 일괄처리하였다. 이 결과로 모든 임시구역화영상에 Anatomical image 층, Black 층,

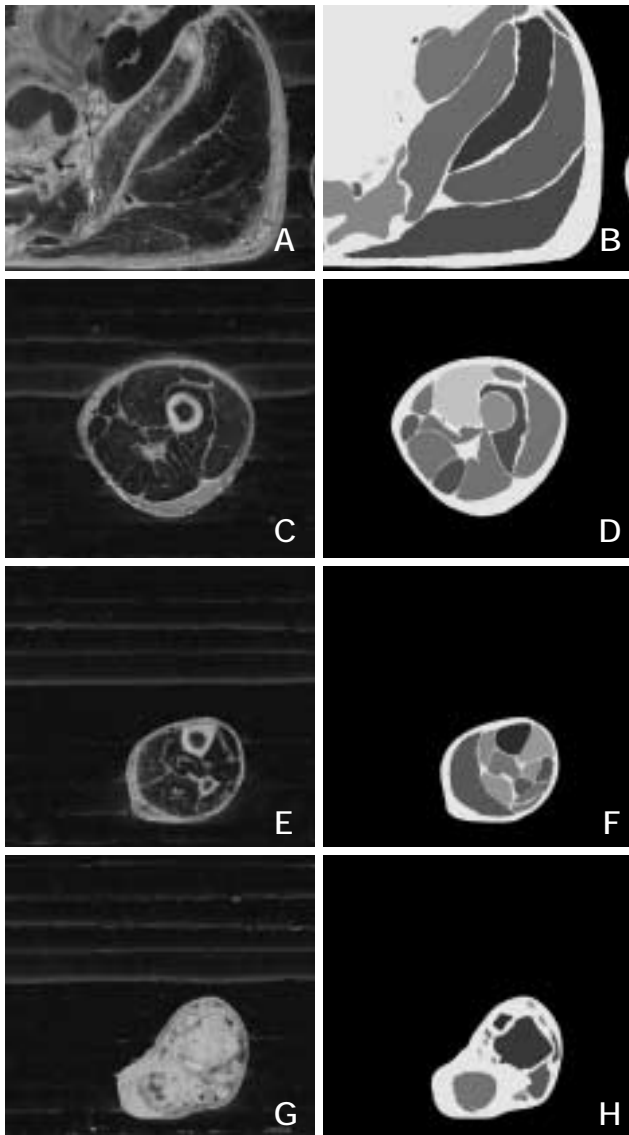


Fig. 5. Corresponding anatomical images (A, C, E, G) and segmented images (B, D, F, H) of the gluteal region (A, B), thigh (C, D), leg (E, F), and foot (G, H).

구조물의 층 114개 (Table 2)를 포함한 층 116개가 만들어졌다 (Fig. 2A).

임시구역화영상에서 각 구조물의 선택에 채울 빛깔, 즉 빨강값, 초록값, 파랑값 (최소 0, 최대 255)을 정해서 포로 간추렸다. 다른 구조물의 빛깔이 서로 똑같거나 비슷하면 빛깔을 고쳤다 (Table 3).

임시구역화영상에서 각 구조물의 선택에 정한 빛깔 (Table 3)을 채우고 color 층을 만든 다음에 선택을 color 층에 담았다. 보기를 들면 엉치뼈의 선택에 빨강값 175, 초록값 70, 파랑값 190을 채우고 Sacrum color 층을 만든 다음에 엉치뼈의 선택을 Sacrum color 층에 담았다. 이 일을 액

션에 기록해서 일괄처리하였다 (Fig. 5A, B) (황성배 등, 2003). 모든 임시구역화영상에서 일괄처리하기 위해서 없는 구조물의 층을 만들고, 없는 구조물의 층 구석에 한 화소의 선택을 담아야 했다 (Fig. 2A).

임시구역화영상의 파일 형식 (PSD)을 층이 없는 TIFF로 바꾸고, 해상도 (1,200 × 1,100)를 그대로 두고, 빛깔 (24 bits color)을 8 bits color로 바꾸어서 구역화영상을 만들었다 (Table 1). 이 일을 액션에 기록해서 일괄처리하였다. 임시구역화영상에서 Black 층 아래에 Anatomical image 층을 놓았기 때문에 구역화영상에서 검은 빛깔이 해부영상을 가렸고, Black 층 위에 Skin 층을 놓았기 때문에 검은 빛깔이 피부의 빛깔을 가리지 않았고, Skin 층 위에 다른 구조물 층을 놓았기 때문에 피부의 빛깔이 다른 구조물의 빛깔을 가리지 않았다 (Fig. 2A; Fig. 5B, D, F, H).

구역화영상을 살펴서 틀린 구역화영상을 고쳤다. 구역화영상을 해부영상과 함께 이어 보면서 구조물의 테두리가 해부학 지식에 들어맞지 않는 구역화영상을 찾았다 (Fig. 5B, D, F, H). 틀린 구역화영상을 찾으려면 임시구역화영상을 고친 다음에 구역화영상을 다시 만들었다.

이마구역화영상과 마루구역화영상을 만든 다음에 살펴서 틀린 구역화영상을 고쳤다. 구역화영상을 쌓아서 이마구역화영상과 마루구역화영상을 만들었다 (황성배 등, 2003). 이마구역화영상과 마루구역화영상을 이마해부영상, 마루해부영상과 함께 이어 보면서 구조물의 테두리가 매끈하지 않거나 해부학 지식에 들어맞지 않는 이마구역화영상과 마루구역화영상을 찾았다 (Fig. 6). 틀린 이마구역화영상과 마루구역화영상이 있으면 임시구역화영상을 고친 다음에 구역화영상을 다시 만들었다.

원다리의 임시구역화영상 976개 (3630.psd, 3635.psd, ..., 8505.psd; 해상도 1,200 × 1,100)를 온몸의 임시구역화영상 1,702개 (0000.psd, 0005.psd, ..., 8505.psd; 해상도 3,040 × 2,008)에 담았다. 이 일을 액션에 기록해서 일괄처리하였다. 이것은 원다리에서 구역화한 구조물과 다른 부위에서 구역화한 구조물을 이어서 보기 위한 것이었다.

온몸의 구역화영상을 만들어서 해부영상, 자기공명영상, 컴퓨터단층사진과 함께 둘러보는 소프트웨어를 만들었다. 임시구역화영상의 파일 형식 (PSD)을 joint photographic experts group (JPEG)으로 바꾸고, 해상도 (3,040 × 2,008)를 1,000 × 570으로 줄여서 온몸의 구역화영상 (0000.jpg, 0005.jpg, ..., 8505.jpg)을 만들었다. 서로 들어맞는 구역화영상, 해부영상, 자기공명영상, 컴퓨터단층사진을 함께 둘러보는 소프트웨어를 만들었다. 이 소프트웨어에 구조물의 이름, 구조물이 있는 구역화영상의 번호, 구조물에 채운 빛깔 (Table 3)을 넣었는데, 이것은 소프트웨어에서 구조물의 이름을 나타내기 위한 것이었다 (Fig. 7) (박진서 등, 2006).

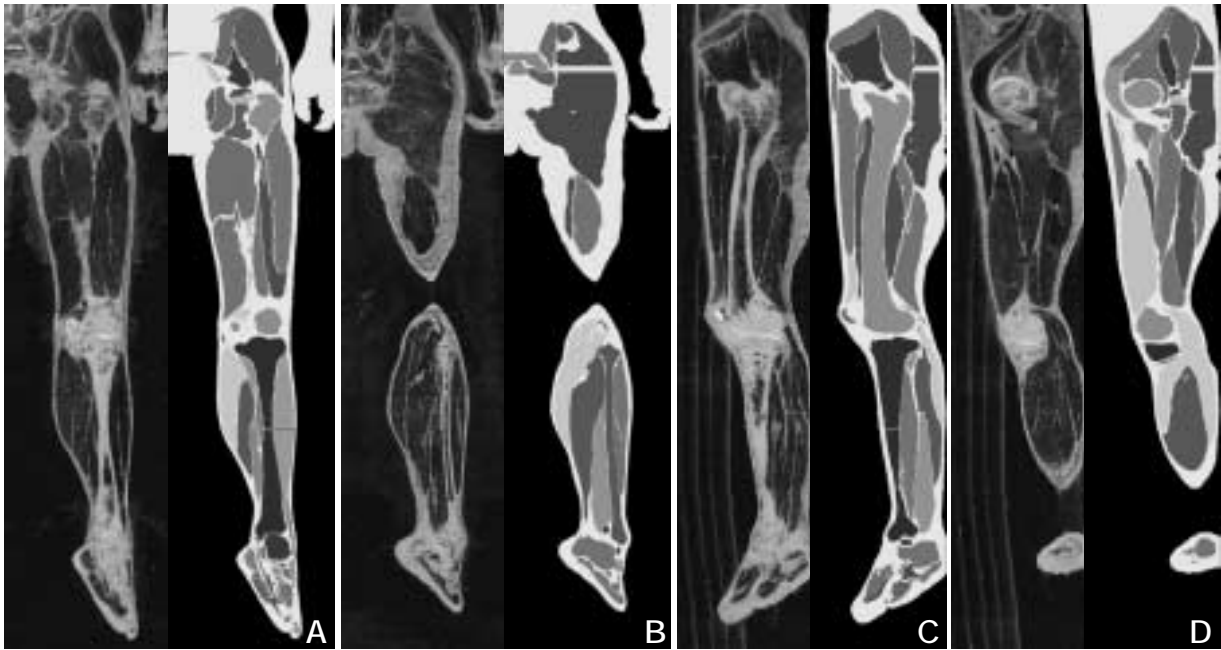


Fig. 6. Corresponding coronal anatomical and segmented images (A, B) and corresponding sagittal anatomical and segmented images (C, D).



Fig. 7. Browsing software of Visible Korean Human, in which segmented structures' names are displayed in the thigh (A), leg (B), and foot (C).

결 과

연구원 5명이 원다리의 해부영상 976개에서 구조물 114개를 구역화하는 데 3달쯤 걸렸다. 종이에서 구조물의 테두리를 그릴 때, 볼기부위와 발부위에 있는 근육과 같은 구조물은 작고 복잡해서 시간이 오래 걸렸다. 어도비 포토샵에서 구조물의 테두리를 따라서 선택을 그릴 때, 피부, 뼈, 동맥은 자동 또는 반자동으로 그려서 시간이 오래 걸리지 않았으나, 무릎관절의 구조물, 근육, 신경은 반자동 또는 수동으로 그려서 시간이 오래 걸렸다. 특히 울퉁불퉁한 구조물의 테두리를 수동으로 그리는 데 시간이 오래 걸렸다. 해부영상의 밝기와 대비를 조절해서 자동화 정도를 높였는데도, 반자동 또는 수동으로 그려야 하는 구조물이 많았다.

원다리의 임시구역화영상을 마련하였다. 임시구역화영상의 파일 형식이 PSD, 간격이 1.0mm, 개수가 976개, 해상도가 1,200×1,100, 빛깔이 24 bits color, 모든 파일 크기가 15.3 GBytes였다 (Table 1). 임시구역화영상에 Anatomical image 층, Black 층, 구조물의 선택을 담은 층이 있었다 (Fig. 2A). 임시구역화영상을 제대로 쓰기 위해서 구조물의 이름, 구조물이 있는 구역화영상의 번호, 구조물에 채운 빛깔을 간추린 표가 필요하였다 (Table 3).

원다리의 구역화영상을 마련하였다. 구역화영상은 임시구역화영상과 달리 파일 형식이 TIFF, 빛깔이 8 bits color, 모든 파일 크기가 1.2 GBytes였다 (Table 1). 구역화영상을 쓰기 위해서도 구조물을 간추린 표가 필요하였다 (Table 3). 구역화영상은 해부영상에 들어맞았고, 구역화영상에서 원다리의 거의 모든 구조물 114개 (Table 2)가 올바르게 구역화

되어 있었으며, 이것은 이마구역화영상, 마루구역화영상과 둘러보는 소프트웨어에서 확인하였다(Figs. 5-7).

고 찰

3차원영상의 기본인 구역화영상을 잘 만들기 위해서 어떻게 하는 것이 바람직한지 옛 논문에서 이미 고찰하였으며(황성배 등, 2003; Park *et al.*, 2005b), 이 논문에서는 새로운 내용을 다음처럼 고찰하였다.

첫째, 구역화영상의 기본인 해부영상은 빠진 것이 없고, 화소가 작은 것이 바람직하다. 다른 연구에서 쓴 미국 시신의 해부영상은 넓적다리에서 7개 빠져 있었고, 종아리에서 9개 빠져 있었으나(Fig. 1A)(Spitzer *et al.*, 1996), 이 연구에서 쓴 한국 시신의 해부영상은 빠진 것이 없었기 때문에 구역화영상을 빠짐없이 만들 수 있었다. 미국 시신의 해부영상은 화소 크기가 0.33 mm였으나(Spitzer *et al.*, 1996), 이 연구의 해부영상은 화소 크기가 0.2 mm였기 때문에, 즉 해부영상에서 구조물이 잘 보였기 때문에 좋은 구역화영상을 만들 수 있었다.

둘째, 구역화영상의 간격이 좁은 것이 바람직하다. 다른 연구에서는 3.0 mm 간격으로 구역화영상을 만들었으나(Kang *et al.*, 2000), 이 연구에서는 1.0 mm 간격으로 구역화영상을 만들었기 때문에(Table 1) 더 좋은 3차원영상을 만들 수 있다. 이 연구에서 해부영상의 간격이 0.2 mm였기 때문에(Table 1) 0.2 mm 간격으로 구역화할 수 있었으나 이렇게 하지 않았는데, 이것은 1.0 mm 간격의 구역화영상을 자동으로 보간(interpolation)해서 0.2 mm 간격의 구역화영상을 만들어도 결과가 비슷하기 때문이었다. 하지만 1.0 mm보다 큰 간격의 구역화영상을 자동으로 보간해서 0.2 mm 간격의 구역화영상을 만드는 것은 무리가 있다.

셋째, 되도록 많은 구조물을 구역화하는 것이 바람직하다. 다른 연구에서는 무릎관절의 구조물, 신경, 동맥을 구역화하지 않았으나(Kang *et al.*, 2000), 이 연구에서는 무릎관절의 구조물, 신경, 동맥을 포함한 원다리의 구조물 114개를 구역화하였기 때문에(Table 2) 더 좋은 3차원영상을 만들 수 있다. 다른 연구에서는 양쪽 다리의 구조물을 구역화하였으나(Fig. 1B)(Kang *et al.*, 2000), 이 연구에서는 원다리의 구조물만 구역화하였다. 앞으로 오른다리의 구조물도 구역화할 계획이다. 이를 쉽게 하기 위해서는 원다리의 구역화영상을 선대칭으로 복사한 다음에 고쳐서 오른다리의 구역화영상을 만드는 요령이 필요할 것이다. 앞으로 다리의 더 많은 인대, 가는 동맥, 그리고 정맥도 구역화할 계획이다. 이를 제대로 하기 위해서는 더 많은 절단해부학 지식과 노력이 필요할 것이다.

넷째, 구조물을 낱알이 나누어서 구역화하는 것이 바람직

하다. 보기를 들면 넓다리내갈래근을 넓다리곧은근, 가쪽넓은근, 중간넓은근, 안쪽넓은근으로 나누어서 구역화하는 것이 바람직하다(Table 2). 낱알이 나누어서 구역화한 구조물을 합치는 것은 쉽다. 층 4개(Rectus femoris 층, Vastus lateralis 층, Vastus intermedius 층, Vastus medialis 층)를 층 1개(Quadriceps femoris 층)로 합쳐서 임시구역화영상을 만들 수도 있고, 층 4개의 선택에 똑같은 빛깔을 채워서 구역화영상을 만들 수도 있다.

다섯째, 되도록 자동으로 구역화하는 것이 바람직하다. 자동으로 구역화하면 구역화하는 시간도 줄이고 구역화하는 사람의 오차도 줄일 수 있기 때문이다. 따라서 이 연구에서는 마술막대기도구를 써서 자동으로 구역화하는 방법을 개발하였다(Fig. 4). 또한 해부영상의 밝기와 대비를 조절해서 구조물의 테두리를 뚜렷하게 만들고, 이 결과로 자동화 정도를 높이는 방법을 개발하였다(Fig. 3). 앞으로 어도비 포토샵에 있는 거르개(filter)의 여러 기능을 써서 구조물의 테두리를 더 뚜렷하게 만드는 방법을 개발할 계획이다. 각 구조물마다 알맞은 거르개의 기능을 찾기 위해서 많이 실험해야 할 것이다.

여섯째, 폴더에 층을 넣는 것이 바람직하다. 임시구역화영상에 층이 적으면 폴더에 층을 넣을 필요가 없다. 그러나 층이 많으면 Presence 폴더에 있는 구조물의 층을 넣고 Absence 폴더에 없는 구조물의 층을 넣어서 각 임시구역화영상에 어느 구조물이 있는지 쉽게 알게 할 필요가 있다(Fig. 2A). Presence 폴더 대신에 계통과 부위 폴더에 층을 넣을 수도 있는데, 보기를 들면 Pelvic bone 폴더에 Sacrum 층과 Hip bone 층을 넣고, Bones of thigh 폴더에 Femur 층과 Patella 층을 넣고, Bones of leg 폴더에 Tibia 층과 Fibula 층을 넣는 것이다(Fig. 2B). 아쉽게도 어도비 포토샵에서는 폴더의 밑에 폴더를 더 만들 수 없기 때문에 더 짜임새 있는 폴더에 층을 넣을 수 없다. 더불어서 각 구조물이 어느 임시구역화영상에 있는지 표로 간추리는 것이 바람직하다(Table 3).

일곱째, 부위 별로 구역화하는 것이 바람직하다. 온몸의 임시구역화영상(간격 1.0 mm, 개수 1,702개, 해상도 3,040 × 2,008, 화소 크기 0.2 mm)에서 구역화하는 것과 달리, 원다리의 임시구역화영상(간격 1.0 mm, 개수 996개, 해상도 1,200 × 1,100, 화소 크기 0.2 mm)에서 구역화하면 임시구역화영상의 개수가 적고, 해상도가 낮고, 층이 적어서 편하다(Table 1). 원다리를 다 구역화한 다음에 원다리의 임시구역화영상을 온몸의 임시구역화영상에 담으면 결과가 똑같다. 따라서 온몸의 임시구역화영상을 머리와 목, 가슴, 배, 골반과 살, 오른팔, 왼팔, 오른다리, 원다리의 임시구역화영상으로 나누어서 구역화하는 것이 바람직하다.

이 연구에서 개발한 구역화 방법을 쓰면 다른 연구자가 다른 영상에서 빠르고 올바르게 구역화하는 데 도움 될 것

이다. 이 방법을 쓰면 해부영상에서뿐 아니라 자기공명영상, 컴퓨터단층사진, 조직 영상을 포함한 모든 영상에서도 관심 있는 구조물을 빠르고 올바르게 구역화할 수 있기 때문이다. 게다가 어도비 포토샵을 쓰면 구역화 프로그램을 만들거나 연을 필요 없이, 그리고 컴퓨터를 많이 공부할 필요 없이 누구나 쉽게 구역화할 수 있기 때문이다(황성배 등, 2003).

이 연구에서 만든 임시구역화영상을 가지고 여러 구역화영상을 만들 수 있다. 임시구역화영상을 가지고 이 논문에서 소개한 모습의 구역화영상(Fig. 5B, D, F, H)뿐 아니라 다른 모습의 구역화영상도 만들 수 있다. 보기를 들면 구조물의 속에 빛깔을 채우지 않고 테두리에만 빛깔을 칠한 구역화영상을 만들 수 있다(황성배 등, 2003). 임시구역화영상을 가지고 원다리의 구조물을 더 날낫이 구역화하거나 원다리의 구조물을 새로 구역화해서 더 좋은 구역화영상을 만들 수 있다.

이 연구에서 만든 임시구역화영상과 구역화영상을 가지고 여러 3차원영상과 소프트웨어를 만들 수 있다. 임시 구역화영상의 선택을 쌓고 표면재구성해서 3차원영상을 만든 다음에 실시간에 골라서 보고 돌려서 볼 수 있다(이용숙 등, 2003). 또는 구역화영상과 해부영상을 함께 쌓고 부피재구성해서 사람 몸의 실제 빛깔이 담긴 3차원영상을 만든 다음에 잘라서 볼 수 있다(박진서 등, 2004). 더불어 구역화영상과 해부영상을 환자의 자기공명영상에 정합해서 환자에 들어맞고 실감나는 3차원영상을 만든 다음에 가상수술할 수 있다(Li *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2006).

참 고 문 헌

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

- 대한해부학회: 해부학용어, 다섯째 판. 도서출판아카데미, 2005.
- 박진서, 정민석, 김진용, 박형선: 온몸의 연속절단면영상 만들기(첫째 보고: 포매하고 연속절단하는 방법). *대한해부학회지* 35: 297-304, 2002.
- 박진서, 정민석, 신병석, 권구주: 온몸의 연속절단면영상 만들기(다섯째 보고: 3차원영상과 가상해부 소프트웨어를 만드는 방법). *대한해부학회지* 37: 175-190, 2004.
- 박진서, 정민석, 최승훈, 변호영, 황재연, 신병석, 박형선: 온몸의 연속절단면영상(여섯째 보고: 절단해부학을 익히기 위해서 연속절단면영상을 둘러보는 소프트웨어). *대한해부학회지* 39: 35-45, 2006.
- 이용숙, 정민석, 황성배, 왕지남, 유승현: 자기공명영상의 구조물을 익히기 위한 3차원영상과 소프트웨어. *대한체질인류학회지* 16: 147-164, 2003.
- 황성배, 정민석, 박진서, 강군용, 박형선: 온몸의 연속절단면영상 만들기(셋째 보고: 구역화영상, 관상구역화영상, 시상구역화영상을 만드는 방법). *대한해부학회지* 36: 141-153, 2003.
- Kang HS, Kim BH, Ryu JW, Hong SH, Chung HW, Cho SY, Kim YH, Hwang SI, Jeong DK, Shin YG: The Visible Man. Three-dimensional interactive musculoskeletal anatomic atlas of the lower limb. *Radiographics* 20: 279-286, 2000.
- Li L, Liu YX, Song ZJ: Three-dimensional reconstruction of registered and fused Chinese Visible Human and patient MRI images. *Clin Anat* 19: 225-231, 2006.
- Park JS, Chung MS, Hwang SB, Lee YS, Har DH, Park HS: Visible Korean Human. Improved serially sectioned images of the entire body. *IEEE Trans Med Imaging* 24: 352-360, 2005a.
- Park JS, Chung MS, Hwang SB, Lee YS, Har DH: Technical report on semiautomatic segmentation using the Adobe Photoshop. *J Digit Imaging* 18: 333-343, 2005b.
- Park JS, Chung MS, Hwang SB, Shin BS, Park HS: Visible Korean Human. Its techniques and applications. *Clin Anat* 19: 216-224, 2006.
- Spitzer VM, Ackerman MJ, Scherzinger AL, Whitlock DG: The Visible Human male. A technical report. *J Am Med Inform Assoc* 3: 118-130, 1996.
- Spitzer VM, Whitlock DG: Atlas of the Visible Human Male. Reverse Engineering of the Human Body. Massachusetts, Jones and Bartlett Publishers, 1998.

Serially Sectioned Images of the Whole Body (Seventh Report: Segmentation of Lower Limb's Structures in Detail)

Jin Seo Park, Sung Bae Hwang¹, Min Suk Chung*

Department of Anatomy, Ajou University School of Medicine,

¹Department of Physical Therapy, Kyungbuk College

ABSTRACT Whole body of a Korean male cadaver was serially sectioned to make anatomical images. Structures in the anatomical images should be segmented to make three-dimensional images of the structures. Purpose of this research is to prepare the segmented images of lower limb in detail, which are distributed to help other investigators make 3D images and virtual dissection software of lower limb.

One-hundred fourteen structures (a skin, 32 bones, 7 knee joint structures, 60 muscles, 7 arteries, 7 nerves) of left lower limb were decided to segment in 976 temporary segmented images (PSD file, intervals 1.0 mm, resolution 1,200 × 1,100) including anatomical images. On the Adobe Photoshop, selections which fit the structures' contours were drawn automatically, semiautomatically, or manually; subsequently, the selections were put into the layers. After filling the selections with colors, the temporary segmented images were converted to 996 segmented images (TIFF files). The segmented images were staked to make coronal and sagittal segmented images for verifying segmentation.

The corresponding segmented and anatomical images can be used to make three-dimensional images of the 114 structures and virtual dissection software, which are helpful in anatomy study of lower limb. The segmentation techniques of this research can be used to segment many structures in other images quickly and correctly.

Key words : Anatomical image, Segmented image, Three-dimensional image, Left lower limb, Structure, Adobe Photoshop