해부 · 생물인류학 제 33 권 제 3 호
Anat Biol Anthropol Vol. 33, No. 3 (2020) pp. 135~142
https://doi.org/10.11637/aba.2020.33.3.135

Check for updates

Original Article

발을 움직일 수 있는 표면3차원영상 만들기

김슬기[1], 김정요[2], 박진서[2]

[1]아주대학교 의과대학 해부학교실, [2]동국대학교 의과대학 해부학교실

The Visible Korean: Movable Surface Models of the Foot

Seul Ki Kim[1], Chung Yoh Kim[2], Jin Seo Park[2]

[1]*Department of Anatomy, Ajou University School of Medicine*
[2]*Department of Anatomy, Dongguk University School of Medicine*

Abstract : Movable surface models are needed for anatomy education and the electromagnetic radiation industry. The purpose of this study is to present how to make movable surface models in detail, so that anyone can make movable surface models for the desired purpose. In addition, it helps students and researchers who need to know joint motion to study anatomy. Using Photoshop software, the segmented images of 53 structures of leg and foot were created based on the female sectioned images of Visible Korean. In Mimics software, the surface models were created by stacking and surface-reconstructing the segmented images. In Maya software, two virtual joints were inserted in the ankle joint and subtalar joint of the surface models, and in Ziva software, the properties of the bone and muscle surface models were made like real bones and muscles. By rotating the bones on virtual joints in Maya, plantar flexion, dorsiflexion, inversion, or eversion of the foot surface models were checked. The surface models were made as PDF using Deep Exploration software and Adobe Acrobat software. All surface models were saved as MB files, ObJ files, and PDF files. In Maya software and Adobe Reader software, the surface models could be moved in anatomical position, plantar flexion, dorsiflexion, inversion, and eversion. In this study, commercial software was used to find a way to move the structure of surface models as if it were real. In the near future, using the technology developed in this study, the movements on all joints in the surface models of Visible Korean will be materialized. When the movable surface models with these movements are made, it will be very useful not only for anatomy education but also for industrial use.

Keywords : Ankle Joint, Subtalar joint, Visible Human Project, Three Dimensional Imaging

서 론

해부학 교육을 위한 가상해부 소프트웨어가 많이 개발되어 있고, 이러한 소프트웨어들 덕분에 학생들이 해부학을 좀 더 쉽게 공부할 수 있게 되었다. 교육용 가상해부 소프트웨어에서 쓰이는 가상인체는 모두 표면3차원영상이다. 표

저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.
저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.
Received: September 6, 2020; **Revised:** September 10, 2020;
Accepted: September 11, 2020
Correspondence to: 박진서 (동국대학교 의과대학 해부학교실)
E-mail: park93@dongguk.ac.kr

www.kci.go.kr
© 2020 Korean Association of Physical Anthropologists
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/ licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
ISSN 2671-566X (Online) · ISSN 2671-5651 (Print)

면3차원영상은 부피3차원영상에 비해서 구조물의 생김새를 잘 표현할 뿐 아니라 파일크기도 매우 작아서 온몸의 많은 구조물을 낱낱이 가상해부하는 것이 오프라인 개인용컴퓨터[1]뿐 아니라 온라인 모바일휴대장치[2]에서도 가능하다.

한편, 해부학을 제대로 깨닫기 위해서는 구조물의 생김새뿐 아니라 움직임도 잘 알아야 한다. 그러나 현재 가상해부 소프트웨어에 쓰이고 있는 표면3차원영상은 모두 움직임을 볼 수 없는 고정된 자세였다. 상용 소프트웨어에서 표면3차원영상을 움직임을 보여주는 연구가 있었지만[3], 발목부터 발끝까지의 표면3차원영상만 있어서 종아리에서 시작하는 발을 움직이는 근육 전체를 볼 수 없었다. 가장 큰 문제는 비싼 상용 소프트웨어가 있어야만 움직임을 볼 수 있었다. 인터넷 동영상에서 움직이는 가상인체가 있지만, 동영상으로는 뼈, 관절, 근육을 직접 움직이거나 다른 방향에서의 구조물 움직임을 보는 것이 불가능했다. 동영상에서 보이는 가상인체는 대부분 컴퓨터화가가 상상해서 그린 것이기 때문에 관절 주변 구조물을 낱낱이 볼 수 없었고 다른 용도로 변환이 불가능했다. 자신의 몸을 직접 움직여 볼 수도 있지만, 자신의 몸으로는 뼈, 관절, 근육을 볼 수 없어서 이들의 움직임을 이해할 수 없었다.

움직이는 표면3차원영상은 교육용 외에도 산업용에서도 쓰이고 있다. 전자기기에 의한 인체의 전자파 흡수율(Specific Absorption Rate)을 가상인체로 시험하고 있다. 산업용 소프트웨어에서 쓰이는 가상인체는 모두 부피3차원영상이다[4-7]. 산업용 시험을 위해서는 부피3차원영상을 움직여서 자세를 바꾸는 과정이 필요한데, 부피3차원영상은 파일의 정보량이 너무 커서 일반 컴퓨터에서 움직이는 것이 불가능했다.

이 연구의 목적은 움직이는 표면3차원영상 만드는 방법을 낱낱이 알려서, 움직이는 가상인체가 필요한 연구자들이 직접 원하는 목적에 맞는 움직임을 표면3차원영상으로 만들 수 있게 돕는 것이다. 더불어 관절 움직임을 알아야 하는 학생, 연구자들의 해부학 공부에 도움주는 것이다. 이를 위해서 관절 주변 구조물을 낱낱이 볼 수 있는 Visible Korean의 여성 온몸 표면3차원영상[8]을 선택하였고, 이 표면3차원영상으로 발목 주변 관절의 피부, 뼈, 근육의 움직임을 구현하였다.

재료 및 방법

Visible Korean에서는 여성 온몸을 연속절단한 다음에 절단된 단면을 고해상도 디지털사진기로 사진을 찍어서 온몸의 절단면영상(화소크기, 0.1 mm×0.1 mm; 빛깔개수 48 bit color)을 만들었다[9]. 온몸 영상 중에서 종아리와 발의 절단면영상 533개(간격, 1.0 mm)를 추렸다. 발바닥굽힘, 발등굽힘, 안쪽들림, 가쪽들림 운동을 일으키는 다리의 뼈 28개, 근육 24개, 피부 1개를 절단면영상에서 찾고 구역화하기로 결정하였다(Table 1).

Photoshop CC 2018 (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA, USA)의 Magnetic Lasso 도구를 써서 절단면영상에서 보이는 구조물의 테두리를 반자동으로 선택하였다. 반자동이 안되는 구조물은 Lasso 도구를 써서 수동으로 선택하였다[10]. 선택된 각 구조물을 각 Layer에 저장하였다. 선택된 각 구조물 속에 서로 다른 빛깔을 채워서 53개 구조물의 구

Table 1. 53 structures of surface models for four movements of foot

System	Structures of surface models
Skeletal	Tibia, Fibula, Talus, Calcaneus, Navicular, Medial cuneiform, Intermediate cuneiform, Lateral cuneiform, Cuboid, first metatarsal bone, Second metatarsal bone, Third metatarsal bone, Forth metatarsal bone, Fifth metatarsal bone, first Proximal phalanx, Second proximal phalanx, Third proximal phalanx, Forth proximal phalanx, Fifth proximal phalanx, Second middle phalanx, Third middle phalanx, Forth middle phalanx, Fifth middle phalanx, first distal phalanx, Second distal phalanx, Third distal phalanx, Forth distal phalanx, Fifth distal phalanx
Muscular	Tibialis anterior muscle†‡, Extensor digitorum longus muscle, Fibularis tertius muscle†§, Extensor hallucis longus muscle, Fibularis longus muscle*§, Fibularis brevis muscle†§, Gastrocnemius muscle*, Soleus muscle*, Calcaneal tendon*, Tibialis posterior muscle*‡, Flexor digitorum longus muscle, Flexor hallucis longus muscle, Extensor hallucis brevis muscle, Extensor digitorum brevis muscle, Abductor hallucis muscle, Flexor hallucis brevis muscle, Adductor hallucis muscle Oblique head, Adductor hallucis muscle Transverse head, Abductor digiti minimi muscle, Flexor digiti minimi brevis muscle, Flexor digitorum brevis muscle, Quadratus plantae muscle, Lumbrical muscles, Dorsal interossei muscles, Plantar interossei muscles
Integumentary	Skin

*Plantar flexion, †Dorsiflexion, ‡Inversion, §Eversion; Plantar flexion and dorsiflexion occur in ankle joint (between distal end of tibia and fibula and the superior part of the talus) and inversion and eversion occur subtalar joint (between calcaneus and talus).

www.kci.go.kr

역화영상(간격, 1 mm; 화소크기, 0.1 mm×0.1 mm; 빛깔개수 24 bit color; 파일 형식 Bitmap (BMP) 파일)을 만들었다.

Mimics version 17.01 (Materialise, Leuven, Belgium)에서 구역화영상을 모두 불러왔다. 구역화영상은 구조물을 빛깔로 구분해 놓은 것이다. Threshold 도구를 써서 구역화영상의 각 빛깔을 분리하였다. 분리된 각 빛깔에서 같은 빛깔끼리 쌓고 표면재구성해서 표면3차원영상을 만들었다[11,12]. 모든 표면3차원영상을 stereolithography (STL) 파일로 저장하였다(Table 1).

Maya version 2018 (Autodesk, Inc., San Rafael, CA, USA) 소프트웨어에서 다음처럼 표면3차원영상을 움직였다.

피부 STL 파일을 불러온 다음에 피부 Layer에 담았다. 마찬가지 방법으로 나머지 52개 구조물도 각 Layer에 담았다(Table 1).

Create Joints 도구로 X, Y, Z축이 있는 가상관절 2개를 만들었다. 가상관절 한 개는 발목관절로서, 표면3차원영상에서 목말뼈의 중심에 영점 축을 놓았다. 영점에서 좌우를 X축, 앞뒤를 Y축, 위아래를 Z축으로 정하였다. 가상관절 다른 한 개는 목말밑관절로서, 표면3차원영상에서 발꿈치뼈와 목말뼈 사이에 영점 축을 놓았다. 발목관절과 마찬가지로 목말밑관절의 X, Y, Z축의 방향을 정하였다(Fig. 1A). 각 가상관절의 점에 X, Y, Z축을 뚜렷하게 보이게 하기 위해서 Cylinder 도구를 써서 세 축의 선을 만들었다.

Bind Skin 도구를 써서 가상관절과 표면3차원영상을 결합시켰다. 이것으로 가상관절을 움직이면 주변의 표면3차원영상이 함께 움직일 수 있었다(Fig. 1B).

Bind Skin 도구에 의해서 결합된 표면3차원영상의 가상관절을 움직이면 관절 주변의 뼈 자체 일부가 함께 움직였다. 실제 인체에서는 뼈가 움직여도 뼈 자체의 생김새 변형은 없다. 이를 해결하기 위해서 Paint Skin Weight 도구를 뼈 표면3차원영상에 적용시켰다. 이 도구의 영향값(influence value)을 1로 하여 움직이는 동안 뼈 자체의 생김새 변형을 막았다(Fig. 1C). 참고로, 영향값은 0과 1 사이의 수를 입력할 수 있고, 0에 가까운 수는 표면3차원영상의 생김새 변형을 허락하고, 1에 가까운 수는 표면3차원영상의 생김새 변형을 허락하지 않는다.

근육 표면3차원영상을 실제 근육의 움직임처럼 만들기 위해서 Maya 소프트웨어의 Plug-in 소프트웨어인 Ziva VFX version 1.3 (Ziva Dynamics Inc., Vancouver, Canada)을 썼다. Ziva 홈페이지(https://zivadynamics.com/)에서 공짜로 내려받은 다음에 Maya 소프트웨어의 Plug-in Manager에 Ziva 소프트웨어를 등록하였다.

Ziva 소프트웨어의 Bone 도구를 써서 뼈 표면3차원영상의 속성을 Maya 소프트웨어에서 Ziva 소프트웨어로 변경하였다. 이것을 해야 Ziva 소프트웨어로 표면3차원영상을 조절할 수 있었다. 더불어 가상관절을 움직일 때 근육이 뼈를 침범하는 것은 자동으로 막을 수 있었다. 근육 표면3차원영상을 Tissue 도구로 선택하여 근육이 수축, 이완하는 동안에 일어나는 생김새 변형을 허락하였다(Fig. 1D).

Ziva 소프트웨어의 Attachment - Fixed type 도구로 근육의 이는곳과 닿는곳을 지정하였고, 이는곳과 닿는곳의 근육을 뼈에 완벽하게 붙였다. 이것으로 근육이 수축할 때, 이는곳이 닿는곳을 당길 수 있게 하였다(Fig. 1E).

Attachment - Fixed type이 적용된 근육은 가상관절을 움직일 때 다른 근육을 침범하는 경우가 있었다. 침범하는 곳을 Ziva 소프트웨어의 Select Vertices 도구로 선택한 다음에 Attachment - Sliding type 도구로 근육을 다시 지정하면 근육이 움직일 때 주변 근육을 침범하는 것을 막을 수 있었다(Fig. 1F).

Ziva 소프트웨어로 표면3차원영상을 모두 처리한 다음에 다시 Maya 소프트웨어에서 작업하였다.

Rotate 도구를 써서 가상관절을 움직였다. 발목관절에서 X축회전으로 발바닥굽힘과 발등굽힘 운동을 만들었다. 목말밑관절의 Y축회전으로 안쪽들림과 가쪽들림 운동을 만들었다. 회전하는 동안 관련 근육 표면3차원영상이 제대로 수축, 이완하는지 확인하였다.

Outliner를 써서 발의 움직임을 정리하였다. 발을 움직이려면 보통은 Rotate 도구를 선택한 다음에 마우스로 표면3차원영상을 움직이거나 X, Y, Z 좌표입력으로 표면3차원영상을 움직였다. 그러나 마우스는 매번 같은 위치로의 움직이기 어렵고 매번 좌표를 입력하는 것이 번거로웠다. 따라서 각 마야 소프트웨어의 Outliner에 Muscle_Movement를 만들고, 하위작업으로 Plantar_flexion, Dorsiflexion, Inversion, Eversion 단추를 만들었다. 표면3차원영상의 발을 마우스 드래그로 발바닥굽힘한 다음에 그 위치와 방향의 X, Y, Z 좌표를 Plantar_flexion에 Set driven Key 도구로 배정하였다. Plantar_flexion에 0을 입력하면 표면3차원영상의 발이 해부학자세, 1을 입력하면 발바닥굽힘 자세로 바뀌었다. 마찬가지 방법으로 Dorsiflexion, Inversion, Eversion 단추를 만들었고, 각 운동에 의한 발의 위치 좌표를 미리 입력해 놓았다. 각 단추에 0을 입력하면 해부학자세, 1을 입력하면 각각의 움직임으로 자세를 바꾸었다(Fig. 1G).

Maya 소프트웨어의 Set Key 도구로 해부학자세의 표면3차원영상을 Time Slider의 처음 장면에 담았다. 표면3차원영상을 발바닥굽힘으로 하고, 이것을 마지막 장면에 담았다. 동영상을 1초에 48장면, 해상도 1,920×1,080 화소로 만들 수 있게 설정하였다. Play 도구를 누르면 처음 장면

www.kci.go.kr

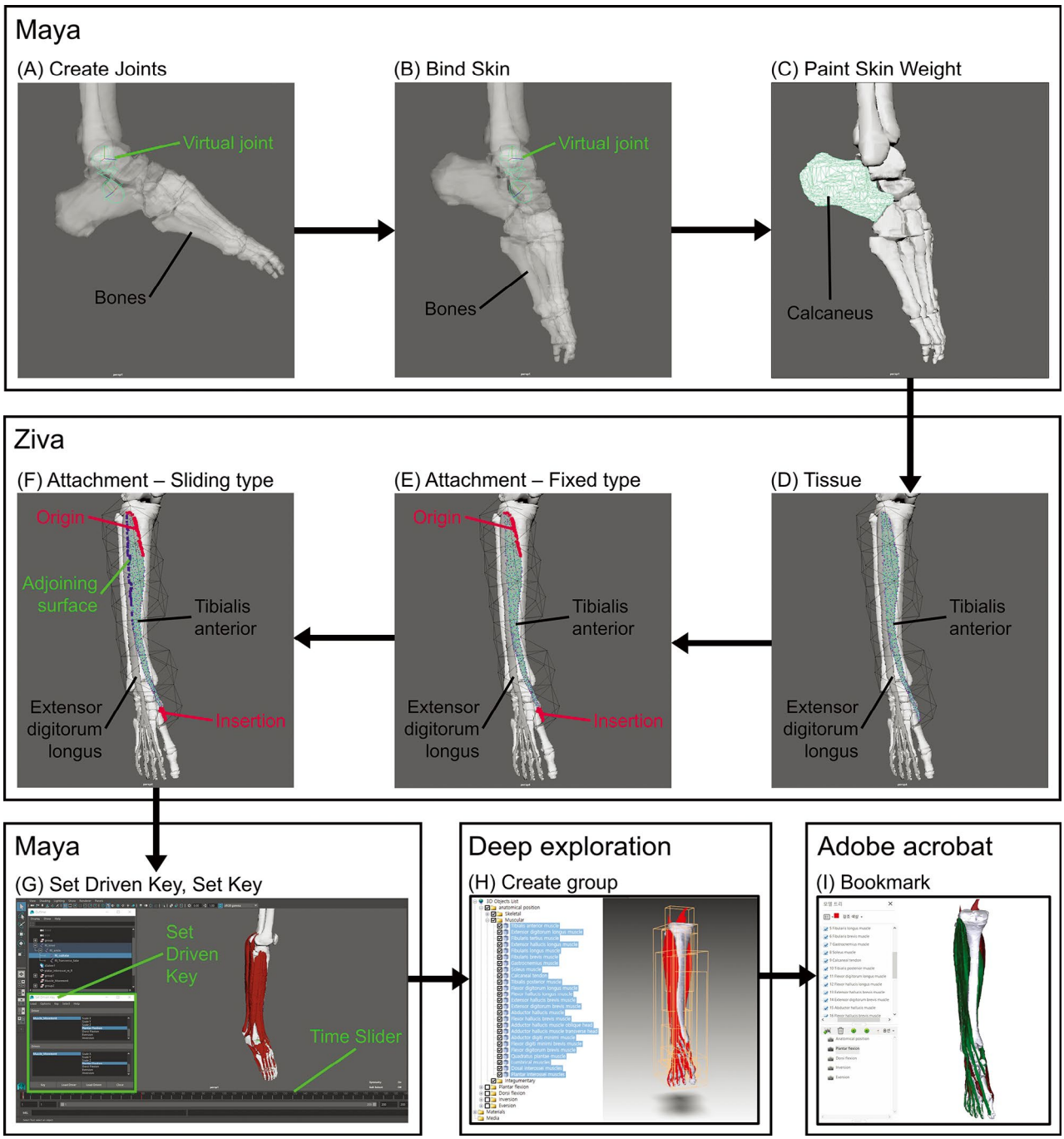

Fig. 1. Full process for making movable surface models of the Leg and foot. After importing the surface models of Visible Korean in Maya, (A) two virtual joints were created in the ankle and subtalar joints of the surface models using the Create joints tool in Maya. (B) Using the Bind Skin tool in Maya, the virtual joints were combined with surface models of bones, muscles, and skin. (e.g., both virtual joint and ankle joint moved together in plantar joint). (C) Using the Paint Skin Weight tool in Maya, the original shape of the bone surface models was preserved. (D) Using the Tissue tool in Ziva, the muscle surface models were converted to be deformable. (E) Using the Attachment - Fixed type tool in Ziva, both ends of the muscle surface models were attached to their origin and insertion spots on the bone surface models (red). (F) Using Attachment-Sliding type tool in Ziva, invasion (adjoining surface) between the muscle surface models (e.g., tibialis anterior muscle and extensor digitorum muscle) was prevented. (G) Using Set driven Key in Outliner of Maya, four movements (plantar flexion, dorsiflexion, inversion, and eversion) were assigned in buttons for the four movements of foot. Using Set Key tool in Maya, two movies of the four movements of foot were generated. (H) Using Deep Exploration, structures folders to show in the PDF file were made, and each structure of the four movements were put into the folders. (I) Using Adobe Acrobat, bookmarks for the four movements were set.

www.kci.go.kr

의 해부학자세 발이 마지막 장면의 발바닥굽힘자세의 발로 1초에 24장면으로 나누어서 자연스럽게 움직이게 하였다. 이것을 Audio Video Interleaved (AVI) 파일로 저장하였다 (Fig. 1G).

해부학자세(53개 구조물), 발바닥굽힘자세(53개 구조물), 발등굽힘자세(53개 구조물), 안쪽들림자세(53개 구조물), 가쪽들림자세(53개 구조물)의 표면3차원영상을 1개의 MB 파일과 1개의 Object (OBJ) 파일로 저장하였다.

Deep Exploration Standard (SAP America, Inc., Newton Square, PA, USA) 소프트웨어에서 OBJ 파일을 불러오면 3D Object List 창에 모든 구조물 표면3차원영상이 보였다. 3D Object List 창에서 Anatomical position 폴더, Plantar_flexion 폴더, Dorsiflexion 폴더, Inversion 폴더, Eversion 폴더를 만들었다. 해부학자세의 표면3차원영상을 모두 Anatomical position 폴더에 넣었다. 나머지 운동의 표면3차원영상도 해당하는 폴더에 넣었다(Fig. 1H). 다른이름으로 저장하기 도구를 써서 Portable document file (PDF) 파일로 저장하였다.

Adobe Acrobat DC 2018 (Adobe Systems, Inc., San Jose, CA, USA)에서 PDF 파일을 열었다. 페이지 축소판 창의 첫째 쪽에 표면3차원영상이 위치하였다. 모델트리 창을 선택하면 Anatomical position 폴더, Plantar_flexion 폴더, Dorsiflexion 폴더, Inversion 폴더, Eversion 폴더가 나타났다(Fig. 1I). Anatomical position 폴더를 선택해서 해부학자세의 표면3차원영상이 보여지게 하였다. 발목관절과 주변 구조물이 잘 보이게 확대한 다음에 가쪽보기로 회전시켰다. 해부학자세, 발바닥굽힘자세, 발등굽힘자세의 표면3차원영상을 나타나게 한 다음에 Create View 도구를 써서 즐겨찾기 창에 넣었다. 목말밑관절과 주변 구조물이 잘 보이게 확대한 다음에 앞보기로 회전시켰다. 해부학자세, 안쪽굽힘자세, 가쪽굽힘자세의 표면3차원영상을 나타나게 한 다음에 Create View 도구를 써서 즐겨찾기 창에 넣었다. 페이지 축소판 창에 페이지 삽입 도구를 써서 둘째 쪽을 만든 다음에 네 운동의 AVI 파일을 넣었다.

결 과

해부학자세의 53개 표면3차원영상(뼈, 28개; 근육, 24개; 피부, 1개) (Figs. 2A and 3A; Table 1)을 움직여서 발바닥굽힘(Fig. 2B), 발등굽힘(Fig. 2C), 안쪽들림(Fig. 3B), 가쪽들림(Fig. 3C) 표면3차원영상을 만들었다. 한 자세에 53개 구조물이 있었고, 자세는 5개였으므로 모두 265개 표면3차원영상을 만들었다. 모든 표면3차원영상은 1개의 MB 파일(19.4 MBytes), 1개의 OBJ 파일(13.0 MBytes), 1개의 PDF 파일(2.6 MBytes)로 만들었다(Figs. 2, 3).

Maya 소프트웨어에서 MB 파일을 열면, Muscle_Movement 창에 Plantar_flexion, Dorsiflexion, Inversion, Eversion 단추가 나타나고, 각 창에 0을 입력하면 해부학자세, 1을 입력하면 발바닥굽힘, 발등굽힘, 안쪽들림, 또는 가쪽회전한 표면3차원영상이 나타났다.

Adobe Reader 소프트웨어에서 PDF 파일을 열면, 페이지 축소판 창에 표면3차원영상이 담긴 쪽, 네 운동을 하는 동영상이 담긴 쪽을 볼 수 있었다. 표면3차원영상이 담긴 쪽에서 모델트리 창을 선택하면 표면3차원영상을 각 구조물별로 선택할 수 있는 목록창이 보이고, 보고 싶은 장면을 바로 볼

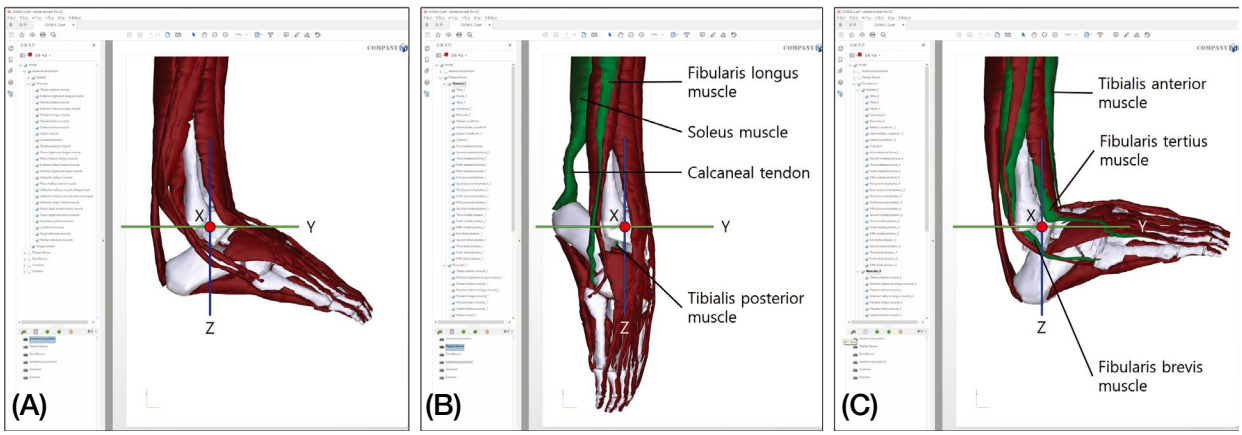

Fig. 2. Surface models for plantar flexion and dorsiflexion on ankle joint in a PDF file. (A) In the anatomical position of lateral view, (B) inferior rotation (plantar flexion) by contraction of the fibularis longus muscle, tibialis posterior muscle, and soleus muscle and (C) superior rotation (dorsiflexion) by contraction of the tibialis anterior muscle, fibularis tertius muscle, and fibularis brevis muscle occurs on the X-axis at center in the talus and the YZ plane (sagittal plane).

www.kci.go.kr

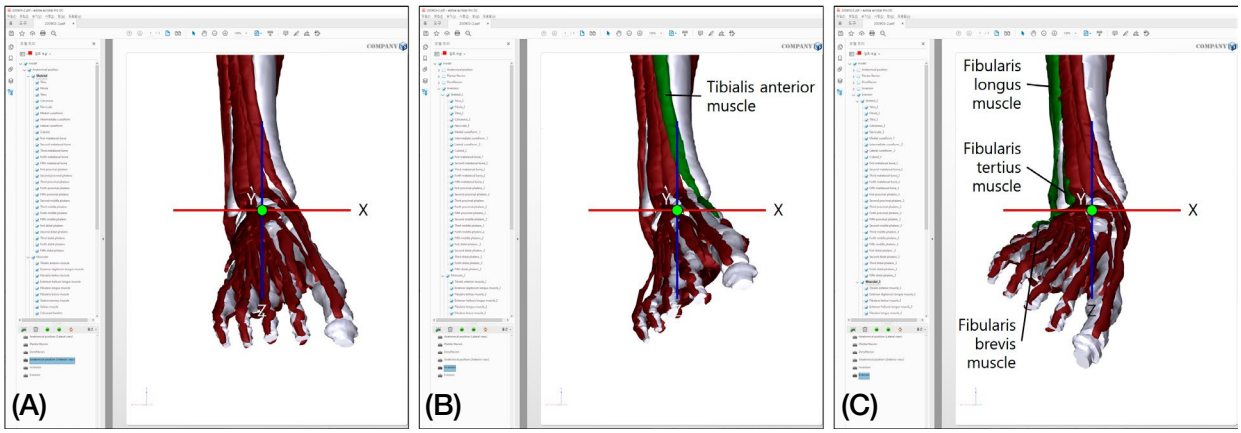

Fig. 3. Surface models for inversion and eversion on the subtalar joint in a PDF file. (A) In the anatomical position of anterior view, (B) medial rotation (inversion) by contraction of the two tibialis muscles and (C) lateral rotation (eversion) by contraction of the three fibularis muscles occurs on the Y-axis at the subtalar and the XZ plane (coronal plane).

수 있는 즐겨찾기 창이 나타났다(Figs. 2, 3).

즐겨찾기창의 각 운동을 선택하면 다음처럼 표면3차원영상 구조물의 움직임을 볼 수 있었다. Anatomical position을 선택하면 해부학자세의 표면3차원영상을 볼 수 있었다(Fig. 2A). Plantar_flexion을 선택하면 긴종아리근과 뒤정강근이 정강이 뒷쪽에서 발바닥(주로 첫째발허리뼈바닥, 둘째발허리뼈바닥, 셋째발허리뼈바닥, 넷째발허리뼈바닥)을 당기므로, X축(좌우축) 아래회전으로 발바닥굽힘 운동이 일어나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2B). Dorsiflexion을 선택하면 앞정강근, 셋째종아리근, 짧은종아리근이 정강이 앞쪽에서 발등(주로 첫째발허리뼈바닥, 다섯째발허리뼈)을 당기므로, X축 윗회전으로 발등굽힘 운동이 일어나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2C). Inversion을 선택하면 앞정강근과 뒤정강근이 정강이 안쪽에서 발안쪽(첫째발허리뼈바닥, 둘째발허리뼈바닥, 셋째발허리뼈바닥, 넷째발허리뼈바닥)을 당기므로, Y축(앞뒷축) 안쪽회전으로 안쪽돌림 운동이 일어나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3B). Eversion을 선택하면 긴종아리근, 짧은종아리근, 셋째종아리근이 정강이 가쪽에서 발가쪽(첫째발허리뼈바닥, 다섯째발허리뼈)를 당기므로, Y축 가쪽회전으로 가쪽돌림 운동이 일어나는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3C).

이 연구에서 만든 결과는 교신저자의 홈페이지(neuro-anatomy.kr)에서 공짜로 내려받을 수 있게 하였다.

고 찰

사람 몸은 근육의 수축과 이완에 의해서 뼈가 움직인다. 뼈가 움직일 수 있는 자유도는 관절의 생김새에 따라 결정된다. 관절면이 평평한 뼈들 사이에서 일어나는 평면관절 운동은 관절 축이 1개로 움직임이 없거나 매우 조금만 움직이고, 절구통에 절구공이가 들어간 생김새의 뼈들 사이에서 일어나는 절구관절 운동은 관절 축이 3개로 어느 방향으로든 마음대로 움직인다. 축이 많을수록 훨씬 자유롭게 움직일 수 있다. 이처럼 생김새에 따라 움직임이 다르게 일어나므로 해부학에서 구조물의 생김새와 움직임은 함께 알아야 하는 중요한 지식이다.

이러한 해부학 지식을 습득하는 데 가상인체(표면3차원영상)가 큰 도움이 되고 있다. 최신의 표면3차원영상은 사람 온몸 구조물의 생김새를 매우 낱낱이, 정확하게 볼 수 있음에도 온몸 전체 파일의 크기가 매우 작아서 개인용 컴퓨터나 휴대용 통신장치에서 오프라인, 온라인으로 쉽게 가상해부할 수 있다. 이 장점 덕분에 표면3차원영상은 해부학 교육뿐 아니라 관련 여러 분야에 큰 도움이 되고 있다[13-15]. 이와 같은 장점에도 불구하고 한 가지 부족한 점은 지금까지의 표면3차원영상은 구조물의 생김새만 보여줄 뿐 구조물의 움직임을 보여주지는 못한다는 것이었다.

한편, 구조물의 움직임은 해부학뿐 아니라 다른 분야에서도 필요하였다. 보기를 들어, 전자기방사선(electromagnetic radiation) 연구에서도 가상인체(부피3차원영상)가 쓰인다. 부피3차원영상의 가장 작은 단위인 화적소(voxel)는 육면체로 되어 있는데, 이 육면체의 각 면에 인체정보를 담을 수 있다. 이 육면체 인체정보에 가상 전자기방사선을 노출시키면, 전자기방사선이 온몸의 어떤 구조물에 얼마큼 흡수되는지 알 수 있다. 전자기방사선 시험에서도 구조물의 생김새와 자세가 전자기방사선의 인체 흡수율에 큰 영향을 줌에

www.kci.go.kr

도 불구하고[7,16], 지금까지는 부피3차원영상의 자세를 바꾸는 것은 거의 불가능했다. 그 이유는, 첫째로 부피3차원영상은 온몸의 모든 화적소에 인체정보를 담기 때문에 온몸의 파일 크기가 매우 크다[17]. 이 화적소를 움직이려면, 움직이기 전 부피3차원영상, 움직이는 부피3차원영상, 움직인 후의 부피3차원영상을 한 컴퓨터에서 계산하고 저장해야 하는데, 이것을 한 컴퓨터에서 처리하는 것은 컴퓨터 용량의 한계로 불가능하다. 둘째로 부피3차원영상을 움직일 수 있는 상용소프트웨어가 없다. 컴퓨터전문가라도 매우 복잡한 프로그래밍을 해야 하기 때문에 부피3차원영상을 자세를 바꾸는 것은 매우 어렵다. 이를 해결하는 방법으로 이 연구의 표면3차원영상 자세 변형과 선행연구에서 개발한 표면3차원영상과 부피3차원영상의 상호 변환[5,6]이 있었다. 이 방법으로 표면3차원영상의 자세를 바꾸고, 이것을 부피3차원영상으로 변환하면 간접적 부피3차원영상 자세 변형이 가능하였다.

이러한 필요성으로 실제와 같은 생김새의 표면3차원영상을 실제처럼 움직이게 하기 위해서 이 연구에서는 마야 소프트웨어로 다음처럼 작업해야 하는 것을 알아냈다.

첫째, 관절에서 움직임의 축 위치가 정확해야 한다. 어떤 관절이든지 움직임의 X, Y, Z축이 있고, 이 중에서 어떤 한 축이 움직임의 회전축이 된다. 만약 이 축의 위치가 틀리면, 움직임도 실제와 다르게 된다. 이 연구에서는 가상관절의 회전 축을 목말뼈 중심(발목관절)에서 넣어서 발바닥굽힘과 발등굽힘 운동을 할 수 있게 만들었고(Fig. 2), 가상관절의 회전 축을 발꿈치뼈 - 목말뼈 사이(목말밑관절)에 넣어서 안쪽들림과 가쪽들림 운동을 할 수 있게 만들었다(Fig. 3).

둘째, 뼈 자체는 변형되면 안된다. 가상관절 도구들(Create Joints, Bind Skin)의 기본값은, 가상관절에서 뼈를 움직일 때 가상관절 주변의 뼈 자체의 일부도 함께 움직인다. 그러나 실제에서 뼈 자체의 일부만 움직이는 경우는 없다. 이것을 해결하기 위해서 Paint Skin Weight 도구로 뼈 표면3차원영상을 지정했고(Fig. 1C), 이것으로 뼈가 움직이더라도 뼈 자체의 생김새 변형을 막을 수 있었다.

셋째, 근육은 제대로 변형되어야 한다. 가상관절 도구들(Create Joints, Bind Skin)의 기본값은 가상관절에서 뼈를 움직일 때 근육이 이는곳과 닿는곳을 알맞게 당길 수 있게 근육을 변형시키지 못한다. 그러나 실제에서는 근육의 변형(수축, 이완)으로 근육의 이는곳 뼈가 닿는곳 뼈를 당기고, 이것으로 뼈를 움직인다. 따라서 이 연구에서는 Ziva의 Attachment - Fixed type 도구를 써서 근육 표면3차원영상의 이는곳과 닿는곳을 지정하였고(Fig. 1E, 1F), 그 결과 이는곳과 닿는곳의 근육이 고정되고 근육의 힘살만 알맞게 수축, 이완을 할 수 있었다.

넷째, 근육이 서로 침범하면 안 된다. Ziva의 Attachment - Fixed type 도구로 근육이 이는곳에서 닿는곳을 당기게 할 수는 있었다. 그러나 이러한 당김에 의해서 움직이는 근육이 주변의 움직이지 않는 근육을 침범하는 경우가 생겼다. 이것을 Attachment - Sliding type 도구를 써서 근육들이 서로를 침범하지 않게하였다.

이 연구에서는 상용소프트웨어로 표면3차원영상의 구조물을 실제처럼 움직일 수 있게 하는 방법으로 찾았다. 이 방법을 쓰면 누구나 쉽게 자신이 필요한 움직임을 표면3차원영상으로 만들 수 있을 것이다. 이 연구의 표면3차원영상의 움직임은 기초해부학 수준이지만, 앞으로 이 연구에서 개발한 기술을 써서 Visible Korean의 표면3차원영상에서 보이는 모든 관절을 임상해부학 수준의 심도 있는 움직임을 할 수 있게 만들 것이다. 이러한 움직임이 적용된 가상인체가 만들어지면 해부학 교육뿐 아니라 산업용으로도 매우 쓸모있게 이용될 것이다.

REFERENCES

1. Chung BS, Chung MS, Park JS. Portable document format file containing the schematics and operable surface models of the head structures. J Korean Med Sci. 2020;35:e212.
2. Sharma A. App Review Series: e-Anatomy. J Digit Imaging. 2015;28:256-8.
3. Shin DS, CHung MS. Virtual movement of the ankle and subtalar joints using cadaver surface models. Int J Morphol. 2015;33:888-94.
4. Lee AK, Park JS, Hong SE, Taki M, Wake K, Wiart J, et al. Brain SAR of average male Korean child to adult models for mobile phone exposure assessment. Phys Med Biol. 2019;64:045004.
5. Han M, Lee AK, Choi HD, Jung YW, Park JS. Averaged head phantoms from magnetic resonance images of Korean children and young adults. Phys Med Biol. 2018;63:035003.
6. Park JS. Neuroman: Voxel phantoms from surface models of 300 head structures including 12 pairs of cranial nerves. Health Physics. 2020;119:192-205.
7. Lee AK, Hong SE, Kwon JH, Choi HD, Cardis E. Mobile phone types and SAR characteristics of the human brain. Phys Med Biol. 2017;62:2741-61.
8. Shin DS, Chung MS, Park JS, Park HS, Lee S, Moon YL, et al. Portable document format file showing the surface models of cadaver whole body. J Korean Med Sci. 2012;27:849-56.
9. Park HS, Choi DH, Park JS. Improved sectioned images and surface models of the whole female body. Int J Morphol. 2015;33:1323-32.

www.kci.go.kr

10. Park JS, Chung MS, Hwang SB, Lee YS, Har DH. Technical report on semiautomatic segmentation using the Adobe Photoshop. J Digit Imaging. 2005;18:333-43.
11. Shin DS, Jang HG, Park JS, Park HS, Lee S, Chung MS. Accessible and informative sectioned images and surface models of a cadaver head. J Craniofac Surg. 2012;23:1176-80.
12. Shin DS, Park JS, Shin BS, Chung MS. Surface models of the male urogenital organs built from the Visible Korean using popular software. Anat Cell Biol. 2011;44:151-9.
13. Reymus M, Liebermann A, Diegritz C. Virtual Reality: An effective tool for teaching root canal anatomy to undergraduate dental students - A preliminary study. Int Endod J. 2020.
14. Jedrzejewski Z, Loranger B, Clancy JA. Virtual Anatomy Museum: Facilitating public engagement through an interactive application. Adv Exp Med Biol. 2020;1262:1-18.
15. Meyer ER, Cui D. Anatomy visualizations using stereopsis: assessment and implication of stereoscopic virtual models in anatomical education. Adv Exp Med Biol. 2020;1235:117-30.
16. Yeom YS, Han H, Choi C, Nguyen TT, Shin B, Lee C, et al. Posture-dependent dose coefficients of mesh-type ICRP reference computational phantoms for photon external exposures. Phys Med Biol. 2019;64:075018.
17. Park JS, Jung YW, Choi HD, Lee AK. VK-phantom male with 583 structures and female with 459 structures, based on the sectioned images of a male and a female, for computational dosimetry. J Radiat Res. 2018;59:338-80.

간추림 : 해부학 교육과 전자기방사선 산업에 움직이는 표면3차원영상이 필요하다. 이 연구의 목적은 움직이는 표면3차원영상 만드는 방법을 낱낱이 알려서, 다른 연구자가 그 방법을 활용하게 하는 것이다. 더불어 관절 움직임을 알아야 하는 학생, 연구자들의 해부학 공부에 도움을 주는 것이다. Photoshop을 써서 Visible Korean의 여성 온몸 절단면영상에서 보이는 종아리와 발의 구조물 53개의 구역화영상을 만들었다. Mimics에서 구역화영상을 표면3차원영상으로 만들었다. Maya에서 표면3차원영상의 발목관절과 목말밑관절에 가상관절을 넣었다. Ziva에서 뼈와 근육 표면3차원영상의 속성을 실제 뼈와 근육처럼 만들었다. Maya에서 가상관절을 축으로 뼈를 움직이면서 뼈와 근육이 실제처럼 움직이는 것을 확인하였다. 표면3차원영상을 Deep Exploration 소프트웨어와 Adobe Acrobat 소프트웨어에서 PDF로 만들었다. 모든 표면3차원영상을 MB 파일, ObJ 파일, PDF 파일로 저장하였다. Maya와 Adobe Reader에서 표면3차원영상을 해부학자세, 발바닥굽힘자세, 발등굽힘자세, 안쪽들림자세, 또는 가쪽회전자세로 움직일 수 있었다. 이 연구에서는 상용소프트웨어로 표면3차원영상의 구조물을 실제처럼 움직일 수 있게 하는 방법을 찾았다. 앞으로 이 연구에서 개발한 기술을 써서 Visible Korean의 표면3차원영상에서 보이는 모든 관절을 임상해부학 수준의 심도 있는 움직임을 할 수 있게 만들 것이다. 이러한 움직임이 적용된 가상인체가 만들어지면 해부학 교육뿐 아니라 산업용으로도 매우 쓸모있게 이용될 것이다.

찾아보기 낱말 : 발목뼈, 목말밑관절, 가상인체, 3차원영상

www.kci.go.kr