creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

의학석사 학위논문

초보자의 머리뼈 학습을 위한 교육용 3D 모델 개발

- UI 개선과 체계적 display 개발을 중심으로 -

2023 년 8 월

서울대학교 대학원

의학과 해부학전공

임 소 영

초보자의 머리뼈 학습을 위한 교육용 3D 모델 개발

- UI 개선과 체계적 display 개발을 중심으로 -

지도교수 황 영 일

이 논문을 의학석사 학위논문으로 제출함
2023 년 4 월

서울대학교 대학원
의학과 해부학전공
임 소 영

임소영의 석사 학위논문을 인준함
2023 년 7 월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

머리뼈의 복잡하고 불규칙한 형태적 특성과 입체적 관찰 필요성 때문에 2차원 이미지를 통해 머리뼈를 학습하기 어렵다. 따라서 머리뼈 교육 매체는 3차원으로 개발된 것이 많다. 하지만 매체가 모바일 어플리케이션이나 웹 환경에서 구동될 때에는 개발에 한계가 따르고, 이는 교육 매체의 문제점으로 이어진다.

따라서 웹과 모바일 환경에 제한받지 않고, 기존 교육 매체가 가지고 있는 한계를 개선하여 쉽게 머리뼈를 학습할 수 있게 하며 사용자의 구동이 간편한 3D 교육 매체의 개발이 필요하다.

구체적으로는 기존 교육 매체의 한계를 낱개뼈 display 방식에 문제가 있다는 점, 세부 구조물 경로의 시각화가 어렵다는 점, 체계적인 접근 방식이 미흡하다는 점으로 보았다. 본 연구에서는 이를 개선하고자 UI를 직관적으로 구성하여 사용자가 간편하게 사용할 수 있도록 하고, 세부 구조물 중 주요 통로와 구멍을 시각화하였으며, 세부 구조물을 그룹화하여 이를 시각적으로 보여주는 방식을 고안하였다.

주요어: 머리뼈, 해부학, 3D, 교육 모델, multimedia, 가상현실
학 번: 2021-20370

목 차

제 1 장 서론 ····· 1
제 1 절 머리뼈 해부학 학습에서의 어려움 ····· 1
제 2 절 기존 머리뼈 3D 교육 매체의 문제점 ····· 2
1. 낱개뼈 display 방식의 문제 ····· 2
2. 구조물이 지나는 통로의 경로 시각화 문제 ····· 5
3. 과도한 시각 정보 ····· 9

제 2 장 재료와 방법 ····· 11
제 1 절 대상 구조물 선정 ····· 11
제 2 절 결과물 구축 방향 ····· 12
1. UI 개편을 통한 display 방식 개선 ····· 12
2. 통로의 시각화 ····· 12
3. 정보 편집 및 범주화 ····· 13
제 3 절 영상자료 획득 경로 ····· 14
제 4 절 CT 자료 가공과 사용 프로그램 ····· 15

제 3 장 결과 ····· 19
제 1 절 개발된 매체의 구성 소개 ····· 19
제 2 절 구현 내용 ····· 21
1. 화면 크기 한계 극복, 메뉴 구성 ····· 21
2. 통로의 시각화 ····· 21
3. 과도한 시각 정보 편집 ····· 21
제 3 절 구체적 구조물 ····· 25

제 4 장 Discussion ····· 29

참고문헌 ····· 35
Abstract ····· 37
부록 ····· 39

그 림 목 차

[그림 1] Visible Body 사의 Human Anatomy Atlas 2023 의 구동 화면 ····· 4
[그림 2] Head Atlas(UpSurgeOn 사)의 구동 화면 ····· 6
[그림 3-A] Human Anatomy Atlas 2023 구동 화면 ····· 7
[그림 3-B] Human Anatomy Atlas 2023 구동 화면 ····· 8
[그림 4] Complete Anatomy(3D4Medical from Elsevier 사)의 구동 화면 ····· 8
[그림 5] 웹사이트 Neurosurgical Atlas의 관자뼈 3D 모델 구동 화면 ····· 9
[그림 6] 철제물로 고정된 낱개뼈 CT ····· 14
[그림 7] 3D 모델링과 텍스쳐 입히는 과정 ····· 15
[그림 8] segmantation 화면 ····· 16
[그림 9] 추출한 3d object의 surface를 줄이는 과정 ····· 17
[그림 10] 메뉴 구성과 toggle ····· 20
[그림 11] 여러 낱개뼈를 동시에 활성화한 화면 ····· 20
[그림 12-A] 나비뼈 윗면에서 foramen mode를 비활성화(위)/활성화(아래) 모습 비교 ····· 22
[그림 12-B] 여러 낱개뼈가 동시에 띄워져 있는 상태에서 foramen mode를 활성화한 모습 ····· 23
[그림 13] probe mode 화면 ····· 23
[그림 14] part mode에서 본 관자뼈 ····· 24
[그림 15-A] name tag 활성화 화면(나비뼈 윗면) ····· 24
[그림 15-B] name tag 활성화 화면(나비뼈 앞면) ····· 25
[그림 16-A] foramen mode에서 나비뼈 윗면과 앞면 ··· 26

[그림 16-B] 나비뼈를 회전하여 본 모습 ····· 27
[그림 17] pterygopalatine fossa와 이 공간과 연결되는
통로 및 구멍을 보여주는 화면 ····· 28
[그림 18] part mode에서 관자뼈를 위에서 본 모습 ····· 28

제 1 장 서론

제 1 절 머리뼈 학습에서의 어려움

해부학을 처음 배우는 학생들에게 사람 머리뼈에 관한 공부는 기본 사항 중 하나이다. 하지만 머리뼈는 형태가 복잡하여 학습하기가 어렵고, 특히 몇몇 뼈와 구조물은 3차원적 형태 파악이 쉽지 않다.

관자뼈(temporal bone)를 예로 들면, 이 뼈를 통과하는 중요한 구조물이 많고, 그에 따라 학습해야 할 구멍(foramen)이 많아 학습하기가 어렵다. 더구나 이들 구멍은 다양한 방향과 형태로 머리뼈 내부에서 외부로 연결되는 통로의 입구와 출구이기 때문에 입체적으로 통로의 경로를 파악하기 어렵다. 예를 들어 carotid canal은 입구에서 출구가 보이는 단순한 형태가 아니기 때문에 2차원 이미지로 봤을 때는 전체적인 삼차원 형태를 파악하는 것이 쉽지 않다.

특히 관자뼈의 petrous part는 좁은 면적에 많은 구멍들이 존재하고, 구멍 외에 groove, sinus, sulcus, impression 등 다양한 구조물들이 불규칙한 형태로 존재하여 초심자에게는 이들 구조물들의 위치 파악이나 구조물 간 구분이 어려울 수 있다.

나비뼈(sphenoid bone)는 머리뼈의 중심에 있기 때문에 여러 면이 다른 뼈들과 관절을 이루고 있다. 이러한 위치적 특성 때문에 온전한 머리뼈에서는 나비뼈의 일부만을 관찰할 수 있고, 나비뼈 전체의 모습을 상상해서 인지하기가 쉽지 않다. 다른 한편으로는, 나비뼈의 세부 구조물을 관찰할 때 인접한 다른 뼈들과 함께 보아야 정확한 형태적 이해가 가능하기도 하여 인접한 뼈들과 함께 볼 필요가 있다. 또한 나비뼈에 있는 많은 구멍들은 그 방향이 제각각이기 때문에 이의 학습을 위해서는 나비뼈를 여러 방향에서 관찰해야 한다.

위턱뼈(maxilla bone)는 입안(oral cavity), 코안(nasal cavity), 눈확(orbit) 등 여러 공간의 구성에 관여하기 때문에 여러 측면에서 관찰할

필요가 있다. 또한 위턱뼈 뒷면은 나비뼈와 인접하고, 머리뼈 안쪽에 위치하여 외부에서 볼 수가 없어 학습이 어렵다.

위턱뼈와 관련하여 학습하기 어려운 대표적인 구조물로는 pterygopalatine fossa가 있다. pterygopalatine fossa는 눈확, 입안, 코안, 중간머리뼈우묵(middle cranial fossa), 코인두(nasopharynx) 등 여러 주변 공간으로 통하는 부위로, 이를 통과하는 주요 구조물이 많아 중요도가 높다. 그러나 pterygopalatine fossa는 형태가 복잡하고, 관찰하기가 매우 힘들어 각 통로와 구멍의 위치와 방향을 파악하기 어렵다.

따라서 머리뼈 학습에서 특히 어려움이 있는 이들 세 뼈에 대한 효과적인 교육 매체 개발이 요구된다. 추가로 이들 세 뼈는 이마뼈(frontal bone) 및 입천장뼈(palatine bone)와 맞닿아 있어 세 뼈를 종합적으로 이해하는 데 이들 두 뼈를 함께 관찰할 필요가 있다.

제 2 절 기존 머리뼈 3D 교육 매체의 문제점

기존 머리뼈 3D 교육 매체는 다음과 같은 문제점이 있다.

① 낱개뼈 display 방식의 문제

기존의 머리뼈 학습을 돕는 웹 기반 3D 교육 매체들은 낱개뼈를 화면에 보여줄 때 해당 낱개뼈 하나만을 보여주기 때문에 인접한 다른 뼈들과 함께 학습할 수 없다. 대표적인 예로 Neurosurgical Atlas (https://www.atlasmeditech.com/와 anatomy.app (https://anatomy.app/) 에서는 각 낱개뼈를 설명하는 페이지마다 해당하는 낱개뼈 하나만을 볼 수 있게 되어 있다.

Sieben, Oparka & Erolin(2017)은 선행연구에서 상피조직을 구현한 웹 3D 교육 매체(https://epithelium3d.com/)를 개발하면서 로딩 시간을 줄

이기 위해 파일 크기를 줄일 필요가 있었다고 언급한다. 이를 바탕으로 볼 때 웹 기반 3D 매체에서 한 페이지 당 낱개뼈 하나만을 보여주는 이유는 여러 낱개뼈를 동시에 보여줄 경우 웹 3D 교육 매체의 용량이 커지면서 로딩 시간이 오래 걸리기 때문으로 추정한다.

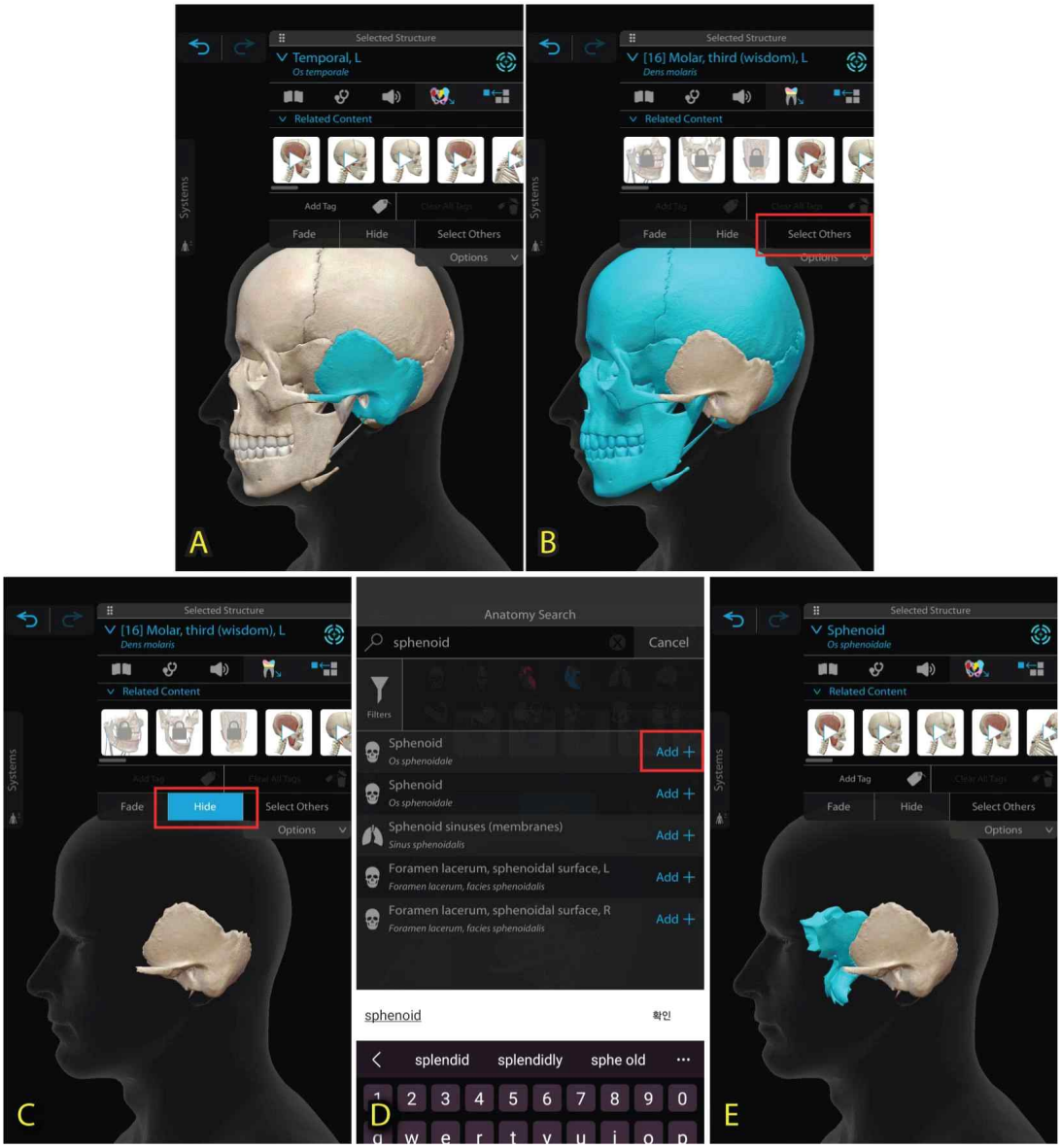
하지만 낱개뼈 하나를 학습하더라도 인접한 다른 낱개뼈와 함께 관찰할 필요가 있다. 머리뼈에서 어떤 구조물은 그 구조물이 속해 있는 낱개뼈를 단독으로 볼 때는 형태 파악이 어렵고, 인접한 뼈들과 함께 보아야 가능하다. 예를 들어 foramen lacerum은 관자뼈와 나비뼈를 함께 봐야 형태 파악이 가능하고, superior orbital fissure는 나비뼈에 해당하는 구조물이지만 이마뼈가 없다면 해당 구조물의 전체적인 위치 파악이 어려울 수 있다. 또한 groove for middle temporal artery의 경우 나비뼈의 foramen spinosum과 함께 관찰되어야 정확한 형태를 이해할 수 있다.

모바일 어플리케이션에서는 웹 환경과는 다르게 낱개뼈 여러 개를 동시에 볼 수 있지만 메뉴 구성이 복잡하다는 문제가 있다. 10만 회 이상의 다운로드를 기록한 Visible Body 사의 Human Anatomy Atlas 2023과 UpSurgeOn 사의 Head Atlas를 예로 들면, 모바일 특성상 좁은 화면으로 보여줄 수밖에 없기 때문에 클릭이 필요한 drop down 형식의 메뉴를 취하고 있어 여러 낱개뼈를 중복으로 선택하는 메뉴를 찾는 데에만 여러 번의 터치가 필요하다.

Human Anatomy Atlas 2023은 중복하여 여러 구조물을 함께 보고자 할 때 원하는 구조물 하나를 우선 선택하여 ‘select other’ 버튼을 터치하여 ‘hide’ 메뉴를 누른 다음, 추가로 보고자 하는 구조물을 검색하여 ‘Add +’ 버튼을 눌러야 한다[그림 1].

Ghose, A., & Park에 의하면 모바일 기기가 기존 PC보다 더 발전하였고 새로 출시되었지만, 화면 크기가 작고 사용자 인터페이스가 불편하다는 문제점이 있다고 지적한다. 앞서 예시와 같이 화면 크기 제약이 있는 모바일 어플리케이션에서 여러 낱개뼈를 동시에 보는 과정은 메뉴 구성의 한계로 매우 번거롭기 때문에 사용자들의 탐색 비용을 낮출 필요가 있고, 낱개뼈들을 간편하게 중복 선택하여 직관적으로 조종 가능한 화면

메뉴 개발이 필요하다.



[그림 1] Visible Body 사의 Human Anatomy Atlas 2023의 구동 화면. 여러 낱개뼈를 중복 선택하려면 여러 단계를 거쳐야 한다. (A) 관자뼈(temporal bone) 선택, (B) ‘select other’ 선택 화면, (C) (B)에서 선택한 관자뼈 외 뼈들을 ‘hide’한 장면, sphenoid 검색 화면, (D) ‘Add+’를 클릭하면 (E) 화면으로 넘어감, (E) 관자뼈에 나비뼈(sphenoid)가 추가된 화면.

② 구조물이 지나는 통로의 경로 시각화 문제

머리뼈의 통로 구조물은, 통로의 입구와 출구의 위치를 통해 경로를 짐작할 수 있다. 또는 CT나 MRI처럼 2D 이미지에서도 관찰할 수 있다. 하지만 통로의 입구와 출구는 통로의 시작과 끝으로 매우 일부에 속하기 때문에 이것만으로 경로 전체를 파악하는 것은 쉽지 않다. 2차원 단면 이미지로 해부학적 구조물을 해독하고 입체적으로 이해하는 것 역시 어려움이 따른다(성열훈, 2020).

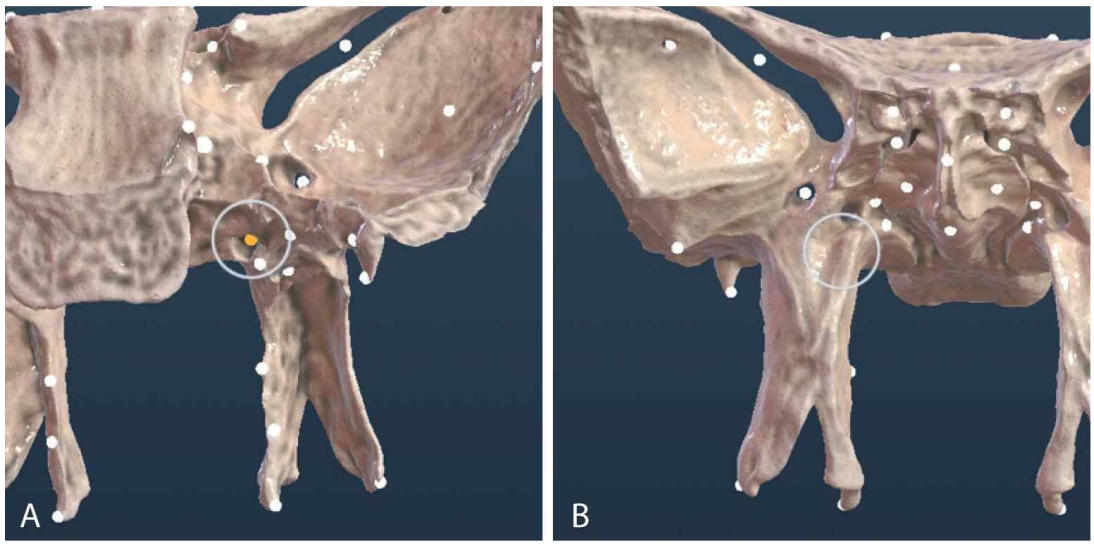
통로 구조물의 경로는 그 안을 지나는 구조물의 경로 학습에도 도움을 주기 때문에 파악할 필요가 있다. 하지만 통로 구조물의 형태를 파악하는 일은 앞서 언급한 바와 같이 쉽지 않기 때문에 통로 자체를 3차원적으로 구현하여 형태를 보여줄 필요가 있다.

예를 들면, carotid canal은 입구와 출구의 방향이 동일하지 않아 같은 통로를 공유하는 구멍이라고 짐작하기가 어렵고, 경로가 곡선 형태로 휘어져 있어 carotid artery의 형태를 모르고 봤을 때 입구와 출구를 연결지어 판단하기가 어렵다. 추가로 foramen rotundum과 pterygoid canal의 예시를 들면, 이 두 통로의 입구는 어느 정도 거리를 두고 위치하고 있지만, 이 둘의 출구는 위치가 근접하여 경로 파악에 혼선이 올 수 있다.

기존의 학습 매체에서는 통로의 경로를 따로 보여주지 않는다. Head Atlas(UpSurgeOn 사)에서 vidian canal을 검색했을 때 통로의 입구만 강조가 되고, 출구에는 아무런 표시가 없어 vidian canal이 어디로 빠져나가는 구조물인지 알 수 없다[그림 2].

비교적 많이 활용되고 있는 어플리케이션인 Human Anatomy Atlas 2023 (Visible Body 사)의 경우 경로를 3D object로 만들어 단독으로 시각화하고 있지는 않지만, 뼈에 투명도가 주어지는 동시에 통로를 파란색으로 강조하는 방식으로 경로를 보여주기도 한다. 하지만 이 경우도 프로그램의 그래픽에서 발생하는 문제가 있다. 구체적인 예를 들면 pterygoid canal을 검색했을 시 나비뼈에 투명도가 생기면서 pterygoid canal이 파란색으로 강조된 것을 볼 수 있는데[그림 3-A], 어플리케이션

제작 프로그램의 그래픽의 한계로 투명도가 있는 object는 투명도가 잘 구현되지 않을 뿐만 아니라 구조물 내 원근법이 표현되지 않아 3차원적으로 형태 파악이 어렵다[그림 3-B]. 덧붙여 이러한 그래픽 환경에서는 비슷한 방향으로 위치하는 foramen rotundum과 혼동될 수 있다.



[그림 2] Head Atlas (UpSurgeOn 사)의 구동 화면.

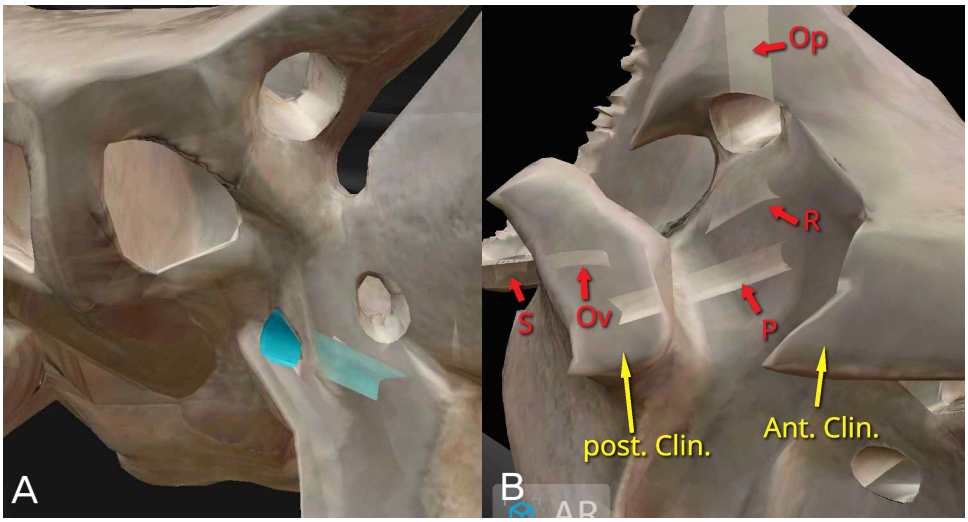
vidian canal의 입구는 노란 점과 회색 원으로 강조되어 표시되어 있다(A). 하지만 나비뼈 앞면에서 본 vidian canal의 출구에는 강조하는 점이 없고, vidian canal의 입구를 가리키는 회색 원만 남아있다. 회색 원은 입구를 가리키고 있어 나비뼈 앞면에서 봤을 때 vidian canal의 출구를 파악하는 데 오히려 방해가 된다(B).

앞서 말한 것 외 방법으로는, 통로를 지나는 신경이나 혈관 구조물을 검색하는 방법이 있다. 하지만 이 방법은 내용 구조물을 검색하는 과정이 필요하고 통로 안을 지나는 구조물을 먼저 학습하여야 하는 과정이 필요하다는 점에서 번거롭다.

어플리케이션 Complete Anatomy 2023 (3D4Medical from Elsevier

사)은 낱개뼈의 part 구성을 잘 보여주어 머리뼈의 세부 구조물을 보여주는 방식이 다른 어플리케이션에 비해 체계적이고, 태블릿 PC 환경에서는 기존 다른 어플리케이션에 비해 간편한 UI를 보여주고 있다. 하지만 통로 구조물을 보여주는 방식에는 여전히 한계가 있다.

우선 통로 구조물을 보려면 구조물을 검색하는 과정이 필요하다. 검색하면 통로 구조물이 잘 보이는 화각으로 카메라가 이동하고, 해당 구조물이 강조된다. 강조하는 방식은 통로의 입구와 출구에 구멍 모양에 맞게 투명도와 색이 있는 막 형태의 surface가 생겨나고, 이 surface를 점선이 둘러싸는 방식이다. 점선과 surface의 색은 다르게 설정되어 있다 [그림 4].

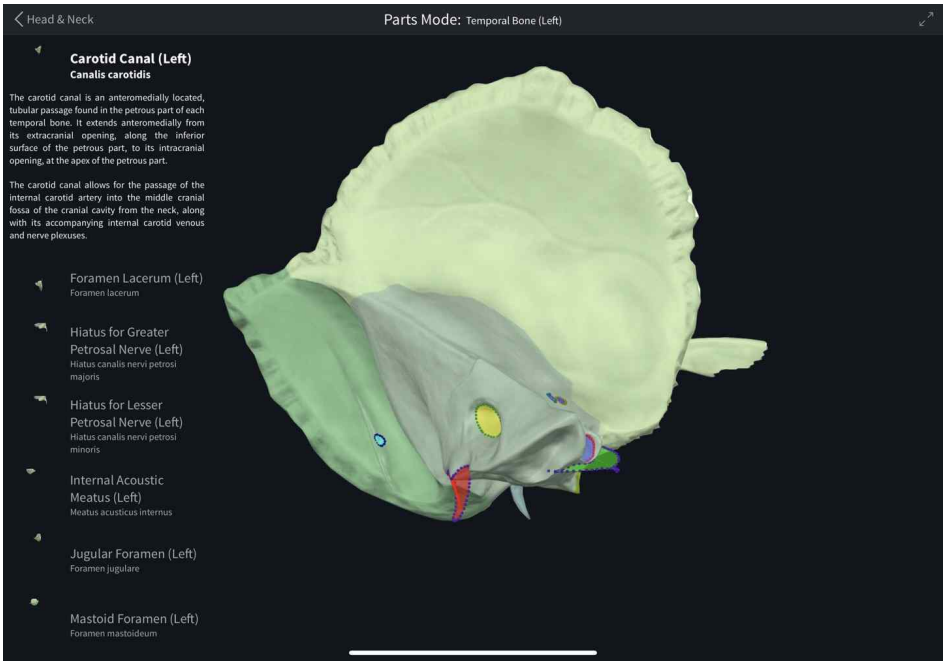


[그림 3-A] Human Anatomy Atlas 2023 구동 화면.

나비뼈의 앞면을 보여주고 있다. pterygoid canal이 파란색으로 강조되고 나비뼈에 투명도가 생긴다.

[그림 3-B] Human Anatomy Atlas 2023 구동 화면.

각 구멍과 통로 간 원근법이 느껴지지 않는다. Op: optic canal, R: foramen rostrum, P: pterygoid canal, Ov: foramen ovale, S: foramen spinosum.



[그림 4] Complete Anatomy(3D4Medical from Elsevier 사)의 구동 화면

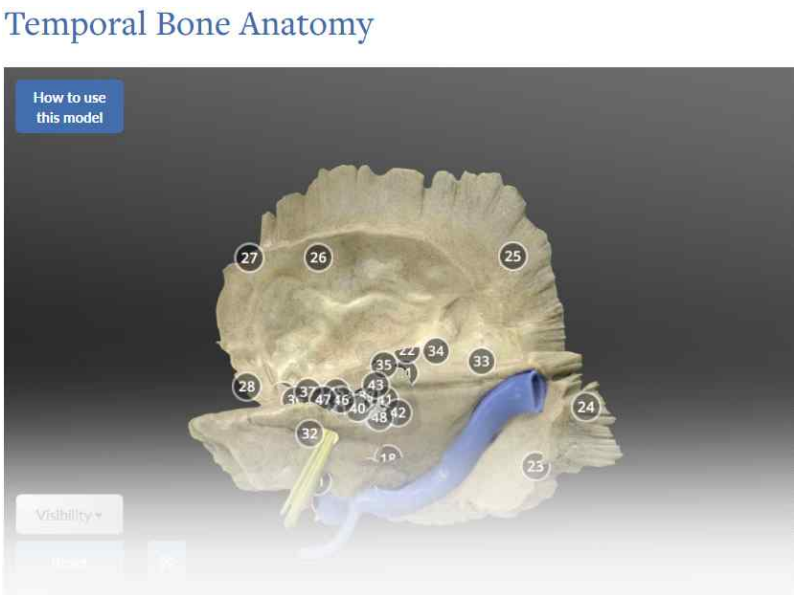
이러한 디스플레이 과정의 문제점으로는 검색 과정이 필요하다는 점, 검색 후에 화면이 사용자가 원하지 않아도 구조물이 잘 보이는 화각으로 이동한다는 점, 여러 통로 구조물을 한 번에 학습할 수 없다는 점이 있다. 게다가 이러한 방식으로는 통로의 입구와 출구만 학습할 수 있고, 경로를 학습할 수 없다. 경로를 관찰하고자 할 땐 통로 구조물을 지나는 혈관이나 신경 구조물을 띄워 보아야 하는데, 이런 경우는 구멍과 통로를 지나는 구조물이 무엇인지 알고 있는 상태일 때 검색이 가능하다. 따라서 초심자가 보기엔 어려움이 있고, 선행학습이 필요하다는 단점이 있다. 여기에 구멍을 강조하는 surface와 점선의 색이 다르고, 여러 구멍들의 색을 다르게 했기 때문에, 시각적으로 번잡함을 줄 수 있다[그림 4].

따라서 학습자가 통로의 입구와 출구를 연결 지을 수 있는 방안과 경로를 정확히 파악할 수 있도록 통로를 가시화할 방법, 그리고 통로 구조물을 쉽게 학습할 수 있는 설계가 필요하다.

③ 과도한 시각 정보

기존의 3D 머리뼈 교육 매체에서는 낱개뼈를 보여줄 때 해당 뼈의 세부 구조물을 모두 한 번에 보여주는 방식을 취하고 있다. 하지만 이렇게 많은 정보를 한꺼번에 보여주는 방식은 머리뼈의 여러 세부 구조물들이 좁은 면적에 밀집되어 있다는 점과 복잡한 형태의 낱개뼈를 학습할 때 너무 많은 시각 정보가 주어진다는 점을 고려하면 문제가 있다고 할 수 있다.

웹 3D 교육 매체인 Neurosurgical Atlas(https://www.atlasmeditech.com/)와 모바일 어플리케이션 UpSurgeOn 사의 Head Atlas는 세부 구조물을 보려고 할 때 해당 낱개뼈의 모든 세부 구조물들이 한 번에 보여진다[그림 5]. 특히 Head Atlas는 뼈의 묘사가 세밀하여 더 많은 시각 정보가 제공된다.



[그림 5] 웹사이트 Neurosurgical Atlas의 관자뼈 3D 모델 구동 화면.

구조물을 지시하는 포인터에 번호가 적혀 있는데, 일부 포인터는 서로 겹쳐져 있어 보기 어렵다.

Atkinson & Shiffrin(1968)의 정보처리이론(information processing theory)에 따르면 사람은 감각 기관으로 수용되는 정보를 모두 한꺼번에 받아들이지 못하고, 여과 과정을 통해 중요 정보에만 주의를 집중한다. 이를 '시각 주의(visual attention)'라고 하고 이를 기반으로 작동하는 원리가 '선택과 집중'이다. 기존의 머리뼈 3D 교육 매체는 너무 많은 시각 정보를 제공하기 때문에, 이를 전부 받아들이지 못하는 학습자의 선택과 집중을 방해한다.

이를 근거로 볼 때 머리뼈 학습 매체는 학습 효율을 높이기 위해 너무 많은 정보를 한 번에 보여주지 않아야 할 필요가 있고, 학습자가 여러 시각 정보를 장기기억으로 전환할 수 있도록 개선하여야 한다.

본 연구의 목적은 복잡한 머리뼈 학습을 돕는 3D 교육 매체를 만드는 것이다. 특히 기존 머리뼈 3D 교육 매체들의 한계와 문제점을 바탕으로 학습자의 입장에서 학습이 용이하도록 교육 매체를 개선하고 개발하는 데 집중하였다.

제 2 장 재료와 방법

제 1 절 대상 구조물 선정

본 연구에서는 머리뼈 중 나비뼈, 관자뼈, 위턱뼈를 중점적으로 다루었다. 이들 뼈는 머리뼈 중에서도 특히 형태가 복잡하여 학습이 어렵기 때문에 다룰 필요가 있다고 판단했다.

여기에 추가로 이마뼈(frontal bone)와 입천장뼈(palatine bone)를 포함하였는데, 이 둘은 앞서 말한 세 뼈와 관절을 이루는 뼈로, 세 뼈의 전체적인 위치와 형태 파악을 위해 추가하였다. 특히 입천장뼈는 pterygopalatine fossa의 형태 이해를 돕기 위해 추가하였다.

이 세 뼈에서 관찰할 세부 구조물들은 다음과 같은 기준으로 선정하였다.

① 가장 기본이 되는 구조물들을 우선 선정하였다.

② 학습 중요도가 높은 구조물을 선정하였다. 학습 중요도는 주요 신경이나 혈관과 같은 중요 구조물들과 관련이 있는지를 기준으로 하였다.

③ 입체적으로 형태 파악이 어려운 구조물 중 학습 필요성이 있는 구조물을 선정하였다.

다섯 개의 뼈에서 보고자 하는 구조물 명단은 [부록 1]에서 볼 수 있다.

제 2 절 결과물 구축 방향

① UI 개편을 통한 display 방식 개선

기존의 머리뼈 3D 교육 매체들은 웹과 모바일 환경에서 생겨난 기술적 한계로 학습자에게 편리한 매체를 개발하는데 제약이 있었다. 앞서 언급한 바와 같이 web 상에서는 용량 제약 때문에 여러 낱개뼈를 화면에 동시에 띄우기 어려웠다. 모바일 기기 역시 PC에 비해 용량 제한이 있었는데, 개발 프로그램 Unity의 공식 Documentation(https://docs.unity3d.com/560/Documentation/Manual/ModelingOptimizedCharacters.html)에서는 기기마다 적정 polygon 수를 모바일 장치의 경우 매쉬마다 300~1500개, PC 플랫폼의 경우 1500~4000개로 권장하고 있다. 이는 허용 가능한 3D object의 크기가 PC에서 가장 크다는 것을 의미한다.

따라서 매체의 형식에서 오는 한계를 해결하기 위해서는 웹이나 모바일 보다는 PC 환경을 선택하는 게 가장 적절하다고 보았고, PC에서 구동 가능한 교육 매체를 개발하여 용량 제한 뿐만 아니라 화면 크기 제약에서도 벗어나고자 하였다. 추가로 교육 매체 프로그램을 온라인에서 다운로드 가능하게 하여 누구나 장소 제약 없이 접근할 수 있도록 하였다.

② 통로의 시각화

3D 교육 매체를 개발하는 프로그램은 그래픽의 한계 때문에 투명도를 구현하는 데 문제가 있다. 따라서 낱개뼈에 투명도를 올리지 않아도 통로 구조물의 형태를 보여줄 수 있는 방법이 필요하다. 이에 따라 통로의 입구와 출구를 동일 색상으로 강조하여, 이 두 구멍이 하나의 통로를 공유하는 구멍임을 보여주는 방식을 고안하였다. 이러한 방식은 특정 통로를 학습할 때 다른 통로의 구멍을 입구와 출구로 착각하는 일을 방지할 수 있을 것이다. 여기에 통로 공간을 3D object로 만들어 보여준다면 통

로 구조물의 형태 파악에 도움이 될 것이다.

③ 정보 편집 및 범주화

기존의 머리뼈 교육 매체들은 복잡한 머리뼈의 많은 세부 구조물들을 모두 보여주어 학습자에게 너무 많은 시각 정보를 제공한다는 문제가 있었다.

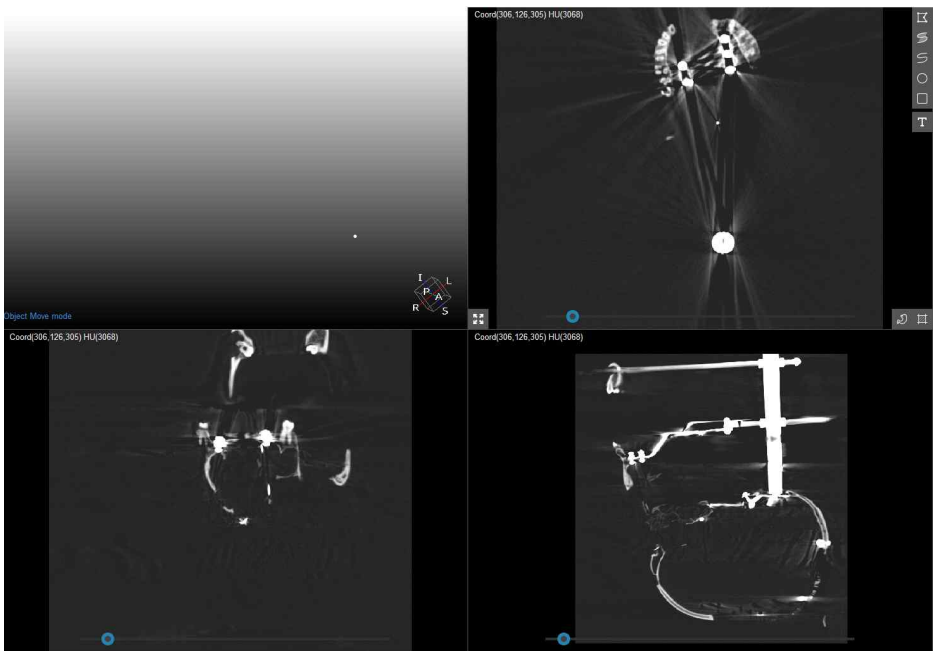
Collins & Quillian(1969)의 계층 구조 모델은 개별 정보들 간 계층 구조(hierarchical structure)를 만들고 이를 바탕으로 정보를 조직화하여 인지하는 과정을 의미한다. 계층 구조에 기반한 조직화 개념은 특정 개념에 대한 정보가 필요할 때 해당 개념의 상위 개념으로부터 정보를 추론하는 방식으로, 관련되어있는 개념들끼리 묶어 체계화하고 구조화하는 과정을 전제로 한다.

비슷한 구조물이 많은 관자뼈의 petrous part를 예시로 들면, petrous part는 anterior surface와 posterior surface의 모습이 비슷하고, 좁은 면적에 많은 구조물이 있다는 특징 때문에 세부 구조물을 암기할 때 해당 구조물이 anterior surface에 있는지 posterior surface에 있는지 혼동할 수 있다. 따라서 관자뼈의 part를 기준으로 여러 세부 구조물들을 묶어서 암기하여 학습에 도움이 되도록 하였다.

본 연구의 교육 매체는 낱개뼈의 part를 각기 다른 색으로 보여주는 part mode를 제공하여, 학습자가 세부 구조물을 범주화하여 암기할 수 있도록 하였다.

제 3 절 영상자료 획득 경로

CT 영상은 서울의대 해부학 교실에 있는 실습용 사람 머리뼈를 촬영한 것으로 머리뼈 두 개를 촬영하였다. 하나는 전체 낱개뼈가 붙어 있는 온전한 머리뼈이고, 다른 하나는 각 낱개뼈를 분리해 놓은 머리뼈이다. 낱개뼈가 분리된 머리뼈는 각 낱개뼈를 철제로 고정하였다. 철제로 고정한 것을 분리하면 뼈에 손상이 생길 수 있기 때문에 불가피하게 철제가 고정된 상태로 CT 촬영을 하였다. 하지만 철제 조영에 문제가 있어 낱개뼈를 촬영한 CT로는 3D reconstruction을 할 수 없었고, 이 CT는 낱개뼈를 segmentation 하는 데 참고용으로 사용하였다[그림 6]. 머리뼈 촬영에는 SIEMENS사의 SOMATOM Definition AS+를 사용하였고, 머리뼈 당 일반 조사량, 낮은 조사량으로 두 번 촬영하였다.



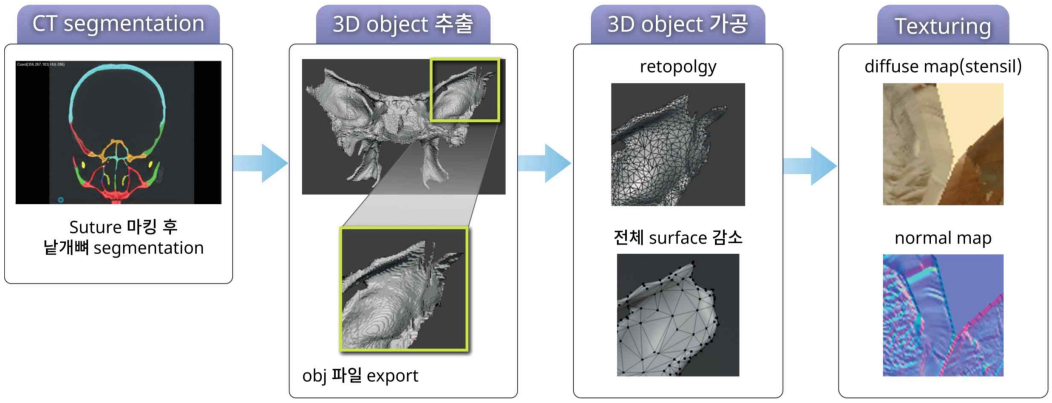
[그림 6] 낱개뼈가 분리되어있는 머리뼈 CT.

철제물에서 철제물 조영이 과다하게 되어 3D reconstruction 하기에 부적합하여 segmentation 작업 시 참고용으로 사용했다.

제 4 절 CT 자료 가공과 사용 프로그램

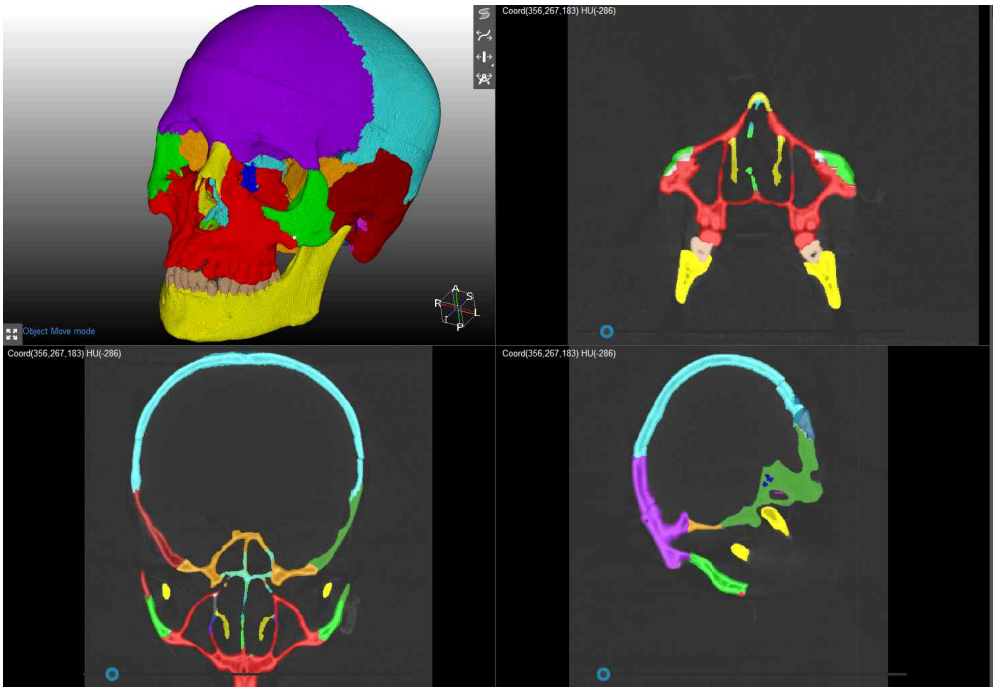
본 연구의 3D 교육 매체를 만드는 과정은 크게 3D 모델링과 프로그램 개발 과정으로 나뉜다. 3D 모델링 과정은 CT를 기반으로 만들어지며 간략한 과정 설명은 [그림 7]에서 볼 수 있다.

CT 영상을 3D로 추출하는 작업에는 메디컬아이피 사의 MEDIP 2.3.3.5192 버전을 사용하였다[그림 8]. 우선 CT에 보이는 suture를 마킹하여 이를 바탕으로 각 낱개뼈를 segmentation 하였다. suture가 잘 보이지 않는 부분은 낱개뼈를 분리하여 촬영한 CT를 3D reconstruction한 결과물과 비교하여 다듬었다.



[그림 7] 3D 모델링 제작 과정과 텍스쳐를 입히는 과정.

CT를 segmentation하여 obj 파일로 추출하면 slice마다 단층이 보이고, 수많은 surface가 존재하는 상태로 추출된다. 이를 해결하기 위해 surface를 자동으로 정리하고, 뼈에서 형태가 단조로운 부분을 중심으로 수동으로 surface를 줄여 나간다. texture는 실제 뼈의 이미지를 활용하여 stencil 기능으로 diffuse map을 제작하고, 이를 normal map으로 전환시킨다.

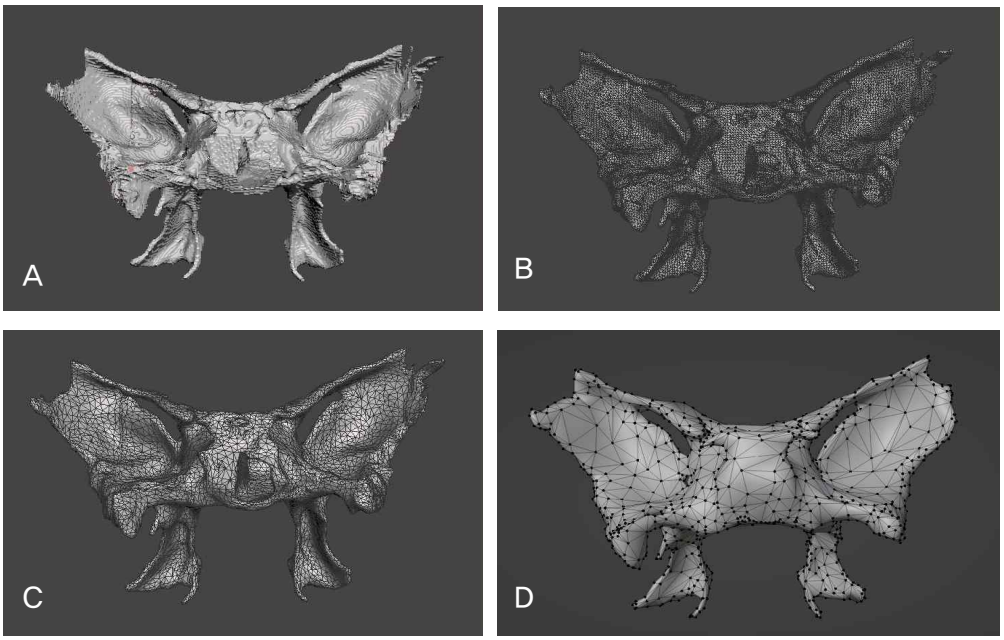


[그림 8] CT 이미지 위에 segmentation을 하여 3D object를 추출하는 화면.

왼쪽 위에서부터 시계방향으로, 3D reconstructuion 결과물 화면, coronal, axial, sagittal 화면이 보인다.

추출한 obj 파일의 surface를 줄이는 작업과 잘못 export 된 부분을 수정하는 초반 가공 작업에는 Autodesk 사의 프로그램 Meshmixer를 사용하였다[그림 9]. 우선 전체 surface를 선택하여 자동으로 surface 수를 균일한 형태로 줄여주는 ‘reduce‘ 기능을 사용하였고, 형태가 단조로운 부분은 추가적으로 surface를 줄이는 작업을 하였다.

이후 부드러운 texture를 입히는 작업을 위해 surface를 정리하는 retopology 작업이 필요하였고, 이는 Instant Meshes라는 프로그램를 사용하였다. 디테일이 필요한 부분에는 형태 변형을 막기 위해 retopology를 하지 않았고, 단조로운 부분 중심으로 retopology 작업을 하였다.



[그림 9] 추출한 3d object의 surface를 줄이는 과정.

(A)Segmentation하여 3D로 reconstruction한 결과물. (B)가공하기 좋은 상태로 만들기 위해 'make solid' 메뉴를 사용한 후의 이미지. (C)전체 surface를 선택하여 reduce 메뉴를 사용하여 자동으로 surface 수를 줄인 화면. (D)단조로운 형태 중심으로 surface를 줄이는 수작업을 한 blender 프로그램 화면.

세밀한 가공 작업에는 Blender 사의 Blender 3.0.0 버전을 사용하였다. Blender에서 작업한 가공 작업에는 3D object의 surface를 보완하는 작업과 자동 retopology의 결과로 소실된 형태를 보완하는 sculpting 작업이 있다. 이후에 질감을 입히는 작업에는 mapping과 texturing이 있는데, 이 또한 Blender에서 작업하였다.

Texture는 실제 뼈를 촬영하여 이를 프로그램에 불러와 blender의 stencil 기능을 이용하여 3D object에 부분적으로 찍어 만들었다. 참고사진은 카메라에서 발생하는 시점 왜곡이 생길 수 있는데, 이 점을 고려하여 매우 국소적으로 stencil 기능을 이용하여 전체 이미지를 완성하였다. 추가로 그래픽의 한계 때문에 surface를 줄인 낱개뼈 3D object 간에

는 맞물리는 부분에 불필요한 음영이 발생하여 부드럽게 보이지 않는 문제가 생겼고, 이를 해결하고자 suture 위에 밴드를 붙인 것처럼 평면 object를 추가로 만들어 이 위에 suture만 texturing하고 가장자리 부분을 blur 처리하여 부드럽게 보이도록 하였다.

작업한 texture를 바탕으로 normal map을 만드는 작업은 adobe 사의 photoshop과 온라인 사이트 SmartNormalmap 2.0 (https://www.smart-page.net/smartnormal/)을 이용하였다. 부분적으로 강조가 필요할 만큼 요철이 심하거나 거친 면은 blender에서 stencil 기능을 이용하여 normal map을 수정하거나, 명암 대비를 강하게 주는 방식으로 추가 가공하였다. 프로그램 Unity의 2020.3.12f1 Personal 버전을 사용하여 3D skull anatomy 교육 매체가 PC에서 구동 가능하도록 개발하였다. C# script 작업은 visual studio를 사용하였다.

제 3 장 결과

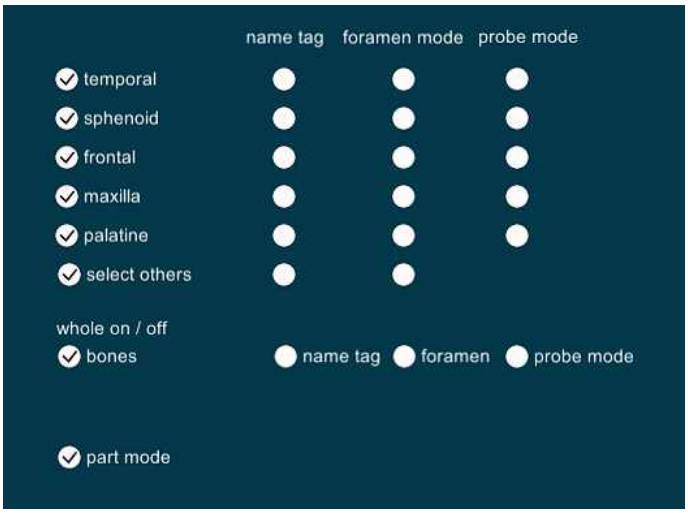
제 1 절 개발된 매체의 구성 소개

본 연구에서 개발한 교육 매체의 상단 메뉴는 화면 왼쪽에 배치하였고, 메뉴가 drop down 형식이 아니기 때문에 마우스 커서가 메뉴 위에 놓이지 않아도 항상 화면에 띄워져 있다. 메뉴의 구성은, 본 연구에서 중점적으로 다루고자 하는 낱개뼈인 'frontal bone', 'sphenoid', 'temporal bone', 'maxilla', 'palatine bone'과 이 뼈들의 세부 구조물을 지시하는 name tag으로 구성하였고, 이 외 'whole on/off' 라는 메뉴를 추가하였다. 'whole on/off'는 머리뼈 전체 형태를 보여주고, suture를 보여주기 위한 메뉴이다.

낱개뼈 이름 옆에는 toggle을 배치하였고, 이를 선택하여 각 낱개뼈를 자유롭게 볼 수 있도록 하였다. 이 메뉴 오른쪽에는 각 낱개뼈 별로 세부 구조물의 name tag과 구멍 및 통로를 볼 수 있도록 메뉴를 구성하였다. 아래에는 전체 머리뼈와 전체 머리뼈의 name tag, 구멍, 통로를 한번에 띄우거나 없앨 수 있는 메뉴도 추가하여, 특정 뼈를 관찰하다가 전체 화면을 재설정하고 싶을 때 사용할 수 있도록 하였다. 가장 하단에는 part mode를 배치하여 낱개뼈의 part를 확인할 수 있도록 하였다[그림 10].

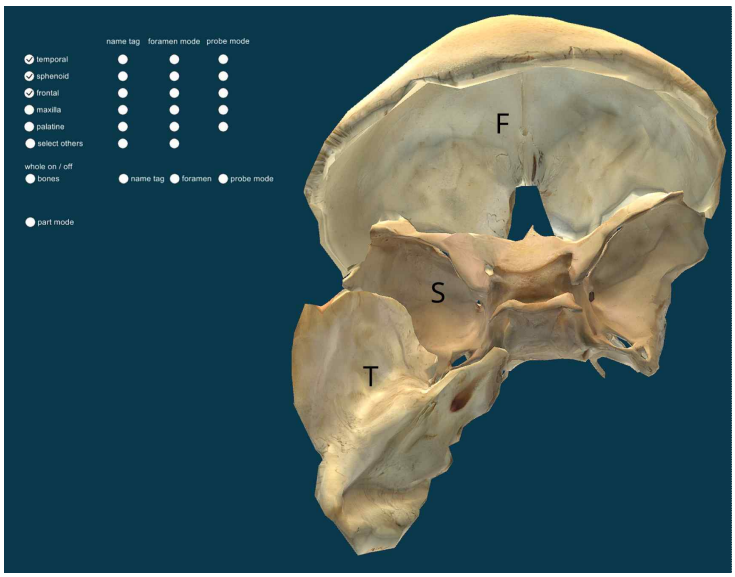
화면은 사용자가 조종하여 볼 수 있는데, 마우스 오른쪽 버튼을 누른 채로 마우스를 움직이면 머리뼈의 회전이 가능하고, 가운데 스크롤 버튼을 누른 채로 마우스를 움직이면 카메라 이동이 가능하다.

메뉴들은 각각 toggle을 갖고 있고, 이 toggle이 활성화되면 각 메뉴의 뼈들이 보이게 된다. toggle을 얼마나 활성화하느냐에 따라 원하는 낱개뼈를 하나만 골라 볼 수도 있고, 여러 개를 빠르게 선별하여 동시에 볼 수도 있다[그림 11].



[그림 10] 메뉴 구성과 toggle

Toggle은 사용자가 클릭하면 체크 표시가 생기며 이는 toggle 기능을 활성화한 것을 의미한다. 반대로 한 번 더 클릭할 시 체크 표시가 없어지면서 toggle 기능이 비활성화된다.



[그림 11] 여러 낱개뼈를 동시에 활성화한 화면.

관자뼈와 나비뼈, 이마뼈 toggle이 활성화되어있다. 위에서 바라본 화면이고, 이마뼈는 뒷면이 보이고 있다. F: frontal bone(이마뼈), S: sphenoid(나비뼈), T: temporal(관자뼈)

제 2 절 구현 내용

① 화면 크기 한계 극복, 메뉴 구성

본 연구에서 개발한 교육 매체는 PC 프로그램의 형식으로 구동되기 때문에 화면 크기에 제약이 없고, 온라인에서 구동하지 않아 웹이나 모바일 환경에 비해 파일 용량 부담이 상대적으로 적다.

② 통로의 시각화

본 연구의 교육 매체는 통로의 입구와 출구에 ring을 부착하여 보여주는 구성을 개발하였고, 이를 “foramen mode”라 이름 붙였다[그림 12-A], [그림 12-B]. 특히 한 통로의 입구와 출구는 다른 통로의 구멍과 혼동하지 않도록 동일 색상의 링을 부착하였다.

또한 통로를 3D object로 시각화하여 보여주는 구성을 개발하였다. 이는 통로 구조물을 관찰할 때 probe를 꽂아 관찰하는 모습에서 착안하여 “probe mode”라 이름 붙였다. probe mode는 통로 구조물의 직관적인 형태 파악을 돕는 것을 목적으로 한다[그림 13].

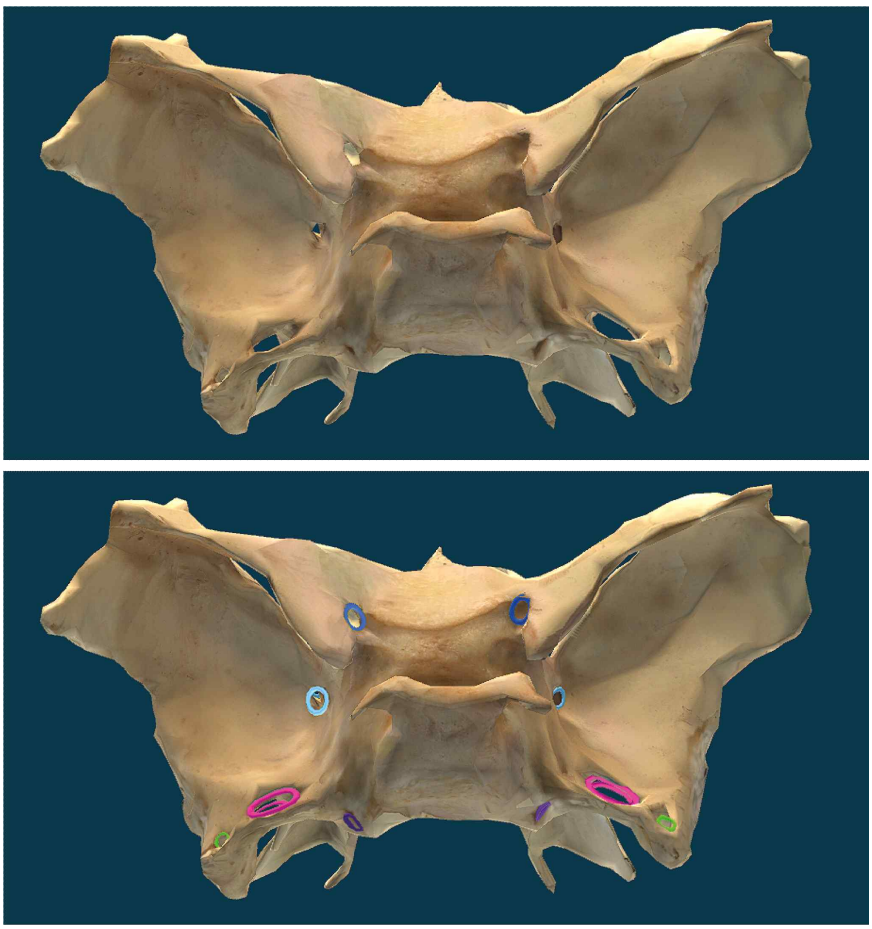
③ 과도한 시각 정보 편집

낱개뼈의 part를 각각 다른 색으로 마킹한 texture를 만들었고, 이를 part mode 메뉴를 클릭할 시 낱개뼈의 texture가 part mode의 texture로 전환되도록 하였다[그림 14].

추가로 각 구조물의 name tag은 사용자가 toggle을 활성화할 때 보이도록 하였다. name tag은 각 구조물이 가장 잘 보이는 면에서 볼 수 있도록 각도와 위치를 조정하였고, 화면 뒷면에 있는 다른 여러 구조물들

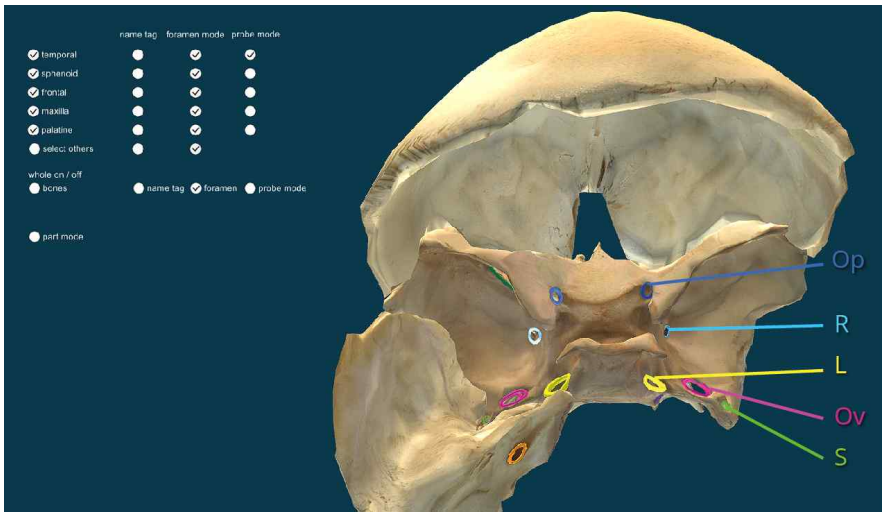
의 name tag은 시각적 복잡함을 줄이기 위해 자동으로 보이지 않도록 하였다[그림 15-A], [그림 15-B].

이 외에도 구조물에 비치는 그림자로 발생하는 시각적 혼선을 막고자 lighting 설정에서 cast shadows나 receive shadows 설정을 조정하였고, 머리뼈 구조물 상하좌우에 강하지 않은 정도의(0.5~0.7) Directional Light를 배치하였다.



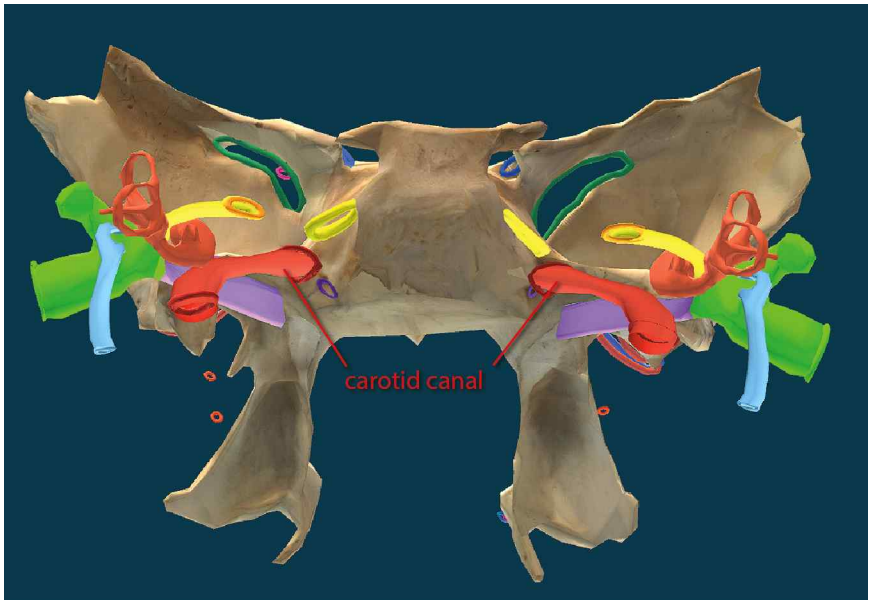
[그림 12-A] 나비뼈 윗면에서 foramen mode를 비활성화(위)/활성화(아래) 모습 비교.

Foramen mode를 활성화한 화면에는 나비뼈에 있는 구멍에 ring이 부착되어 있다. optic canal(청색), foramen rotundum(하늘색), foramen ovale(분홍색), foramen spinosum(연두색), pterygoid canal(보라색)이 보인다.



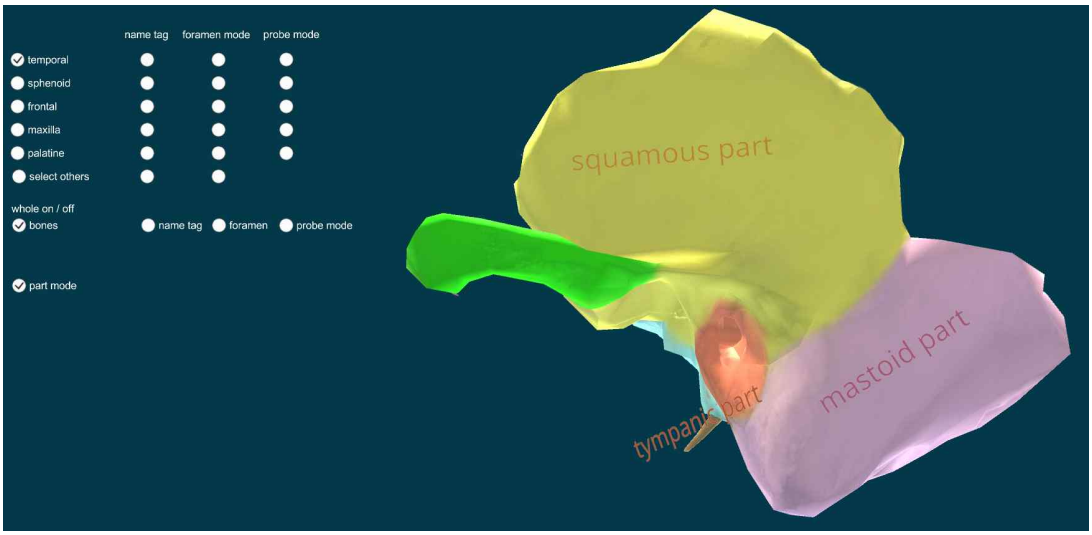
[그림 12-B] 여러 낱개뼈가 동시에 띄워져 있는 상태에서 foramen mode를 활성화한 모습.

나비뼈와 관자뼈, 이마뼈가 동시에 띄워져 있다. 이들 뼈를 위에서 바라본 화면으로 skull base가 보인다. Op: optic canal, R: foramen rostrum, L: foramen lacerum Ov: foramen ovale, S: foramen spinosum.



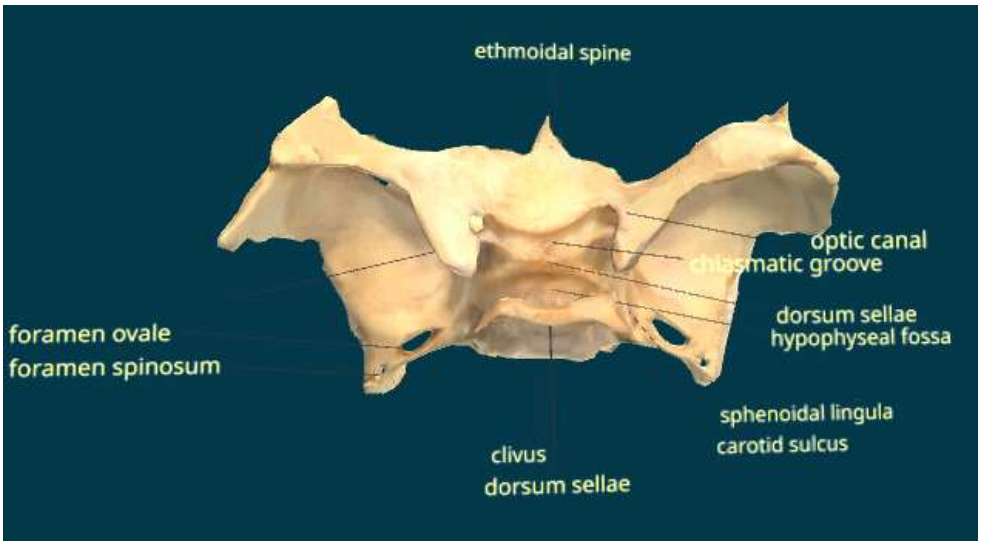
[그림 13] probe mode 화면.

나비뼈 뒷면에서 carotid canal의 곡선 형태를 볼 수 있다.



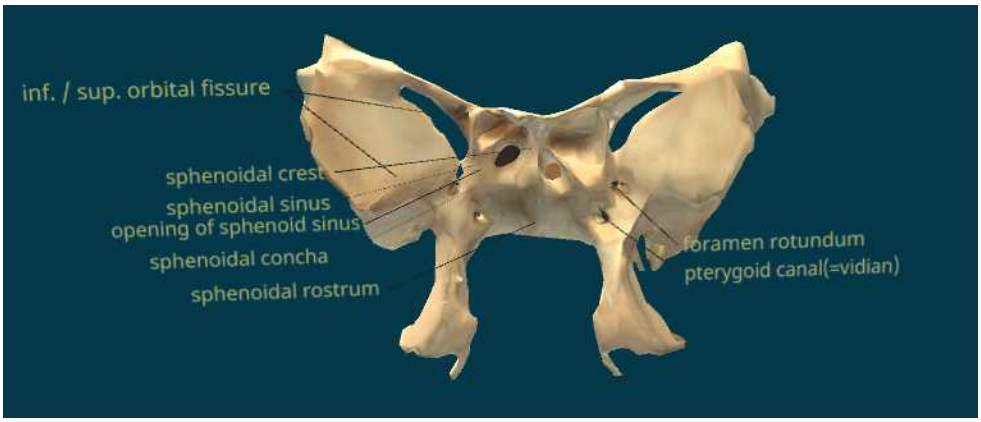
[그림 14] part mode에서 본 관자뼈.

가측에서 바라본 왼쪽 관자뼈로, squamous part(노란색), mastoid part(분홍색), tympanic part(주황색), petrous part(하늘색)로 나뉘어 있으며, 추가적으로 zygomatic process(연두색)를 추가하였다.



[그림 15-A] name tag 활성화 화면(나비뼈 윗면).

나비뼈 윗면을 보는 화면에서는 나비뼈 윗면의 구조물 이외의 나비뼈 구조물 name tag은 보이지 않는다.



[그림 15-B] name tag 활성화 화면(나비뼈 앞면).

나비뼈 앞면을 보는 화면에서는 나비뼈 앞면 외에 있는 구조물의 name tag은 숨겨져 있다.

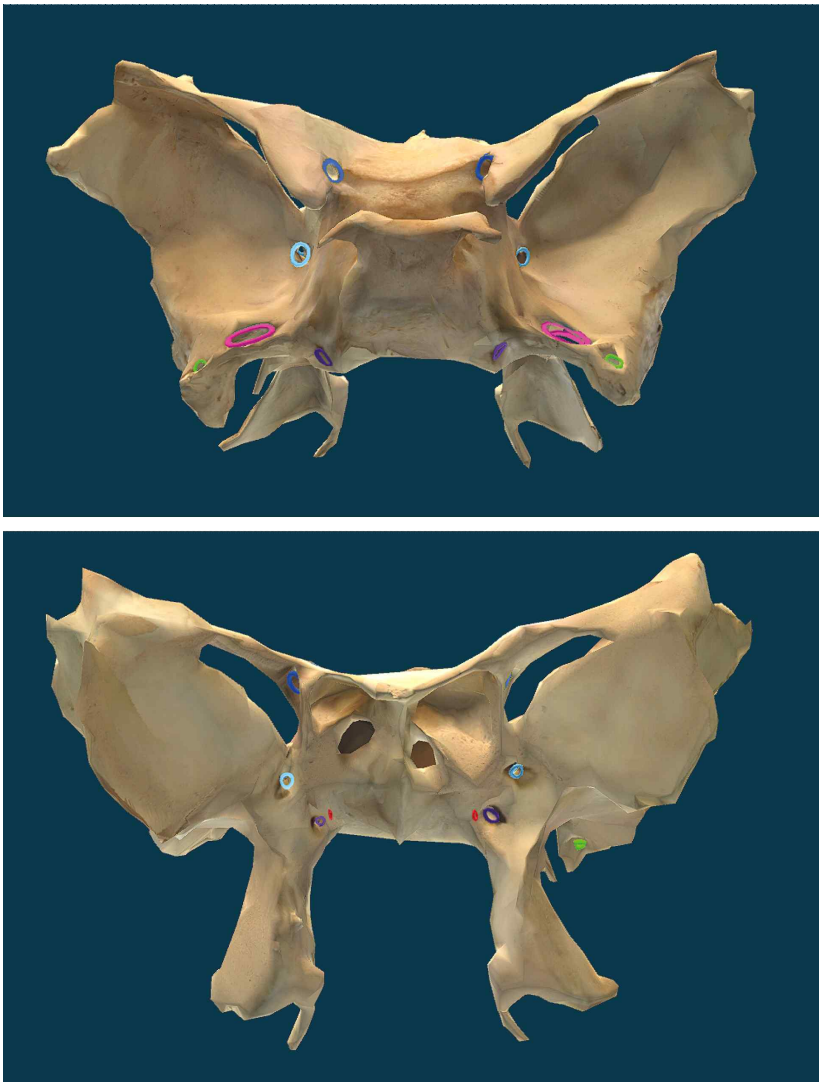
제 3 절 구체적 구조물

머리뼈의 구멍과 통로 구조물은 머리뼈를 관통하는 구조물이기 때문에 그 입구와 출구를 파악하려면 머리뼈를 여러 측면으로 돌려봐야 한다. 이 경우 뼈의 여러 면을 회전하여 보게 되므로 구멍의 경로를 추적하기가 어렵다.

특히 나비뼈의 구멍들은 근접한 위치에 비슷한 방향으로 주행하는 여러 개의 구멍이 있어 출구와 입구를 일치시키는 데 더 큰 어려움이 있다. 구체적으로 foramen rotundum과 pterygoid canal은 근접하게 위치한 데다가 주행 방향이 비슷하여 통로의 입구와 출구 파악에 어려움이 있다. Pterygoid canal의 입구는 동그란 구멍의 형태가 아니고 복잡한 형태이기 때문에 구멍으로 파악하기 어려울 수 있다. 추가로 optic canal은 주행 방향이 대각선으로 뻗어 나가고, 출구가 orbit 공간의 안쪽에 깊숙이 위치하기 때문에 위치 파악이 어려울 수 있다.

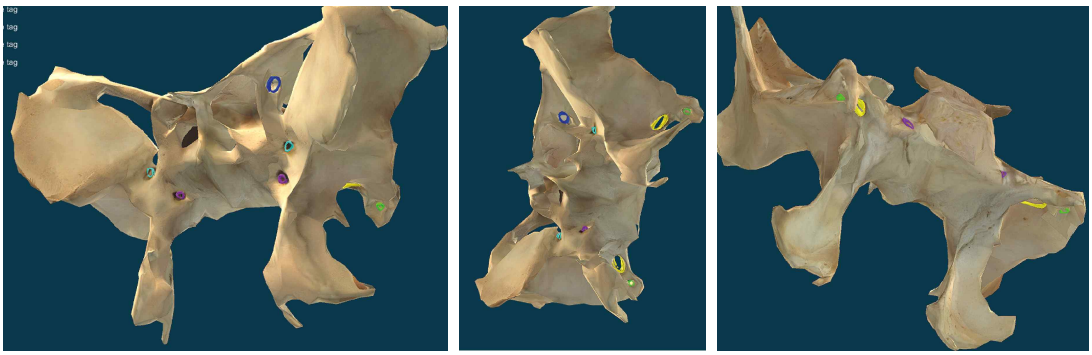
이처럼 통로의 입구와 출구의 위치 파악이 어려울 때 foramen mode가 도움이 될 수 있다[그림 16-A, B]. Foramen mode에서는 한 통로의

입구와 출구를 같은 색의 ring으로 표시함으로써 다른 통로의 구멍과 혼동하는 일을 방지하였다.



[그림 16-A] Foramen mode에서 나비뼈 윗면과 앞면 화면.

한 통로의 입구와 출구는 같은 색깔로 표시하여 같은 통로에서 나온 구멍임을 알 수 있다. 화면에는 Optic canal(파란색), foramen rotundum (하늘색), foramen ovale(분홍색), foramen spinosum(연두색), pterygoid canal(보라색), pharyngeal canal(빨간색)이 보인다.

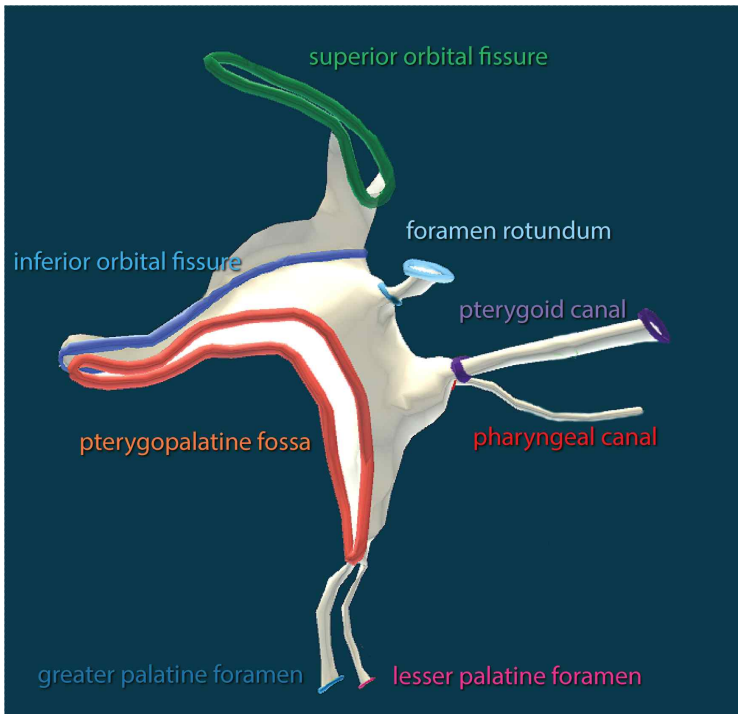


[그림 16-B] 나비뼈를 회전하여 본 모습.
나비뼈의 여러 측면을 둘러보면서 통로의 입구와 출구를 볼 수 있다.

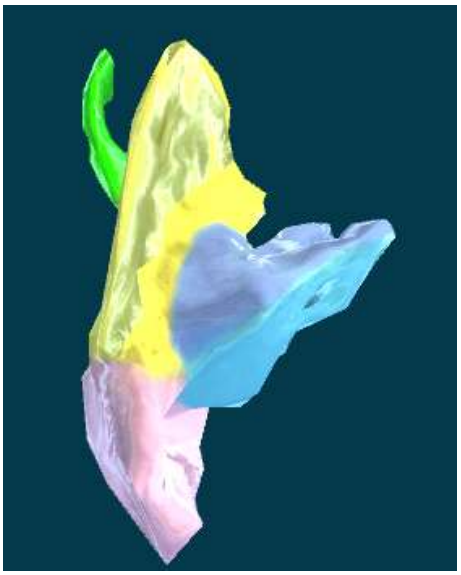
Probe mode는 경로 자체를 시각화한 것으로, foramen mode는 통로의 입구와 출구 구멍을 명확히 파악하는 데 도움을 줄 수 있다면, probe mode는 통로가 어떠한 형태인지를 알려준다. Foramen rotundum이나 foramen ovale의 경우 통로의 길이가 짧고 형태가 직선이라 경로 파악이 쉽지만, carotid canal처럼 통로가 길고 곡선일 때에는 경로 파악이 어렵기 때문에 probe mode가 필요하다[그림 13]. 특히 형태 파악이 어려운 pterygopalatine fossa와 이 공간을 지나는 통로들도 시각화하여, 기존 교육 매체에서는 확인하기 어려웠던 이들 구조물의 형태 파악이 가능하도록 하였다[그림 17].

Part mode는 낱개뼈의 part를 보여주는 mode이다. 특히 관자뼈의 경우 petrous part에서는 anterior surface와 posterior surface가 비슷하게 생겼고, 좁은 면적에 구조물들이 밀집되어 학습에 혼동을 줄 수 있기 때문에 명도가 다른 색상을 사용하여 추가적으로 구분지었다[그림 18].

해당 프로그램은 아래의 링크에서 다운로드하여 사용할 수 있다.
https://drive.google.com/file/d/1E4UEAJNEtfk4hYDz1FX_hiT-oz1yC4DG/view?usp=sharing



[그림 17] Pterygopalatine fossa와 이 공간과 연결되는 통로 및 구멍을 보여주는 화면.



[그림 18] Part mode에서 관자뼈를 위에서 본 모습.

Petrous part의 세부 구분인 anterior surface와 posterior surface는 같은 색상 계열에서 약간의 명도 차이를 주어 구분하였다.

제 4 장 Discussion

기존의 머리뼈 학습을 위한 3D 교육 매체는 기술적인 문제와 프로그램 출력 환경의 문제로 간편한 UI와 사용자 중심의 교육 모델을 설계하지 못하였다. 본 연구는 이러한 기존의 문제점을 극복하고, 더 나은 머리뼈 학습 환경을 제공하는 것을 목표로 하였다.

이런 목표를 이루고자 학습이 어려운 몇 낱개뼈를 중점적으로 다루었고, 메뉴를 직관적으로 구성하여 여러 낱개뼈의 디스플레이 방식을 개선하였다.

학습이 어렵다고 판단하여 중점적으로 다룬 낱개뼈는 나비뼈, 관자뼈, 위턱뼈이고, 이들 뼈 학습을 위해 이마뼈와 입천장뼈를 추가적으로 다루었다.

머리뼈 학습에는 많은 정보량의 학습이 요구되기 때문에 중요 정보의 편집이 필요하다. 따라서 학습이 어렵고 중요도가 높은 몇 개의 낱개뼈를 선별하여 핵심적인 정보만을 학습자에게 제공하였다.

메뉴 방식은 사용자의 편의를 위해 기존의 drop down 메뉴 방식이 아닌 화면 상단에 고정된 메뉴 방식으로 설정하였다.

기존 모바일 어플리케이션의 경우 특정 낱개뼈를 보려고 할 때 최소 3번[그림 1]의 클릭이 필요한 반면, 본 연구의 3D 교육 매체는 최대 2번의 클릭만으로 원하는 낱개뼈를 화면에 띄울 수 있다. 여러 개의 낱개뼈를 화면에 띄우는 과정을 비교해보면 기존의 어플리케이션은 검색 시 타이핑하는 클릭을 제외하고 최소 5번의 클릭이 필요한 반면, 본 연구의 3D 매체는 최대 3번의 클릭이 요구된다.

기존의 3D 교육 어플리케이션은 화면이 작은 모바일 디바이스라는 한계점으로 조작을 위한 메뉴에 화면의 많은 부분을 할애할 수 없어 drop down 형식일 수밖에 없었다. 이러한 방식 때문에 학습자가 보고자 하는

세부 구조물을 검색하는 과정과 검색 결과를 화면에 띄우는 과정이 불가피하였는데, 이와 같이 사용자가 정보에 접근하기까지 접해야만 하는 화면과 탐색을 위한 클릭 수가 많아지게 되면 탐색 비용이 증가하게 된다.

신하정 & 남기환(2018)에 의하면, 사이트 방문을 가장 많이 촉진시키는 디바이스는 모바일폰보다 태블릿 디바이스라는 결과를 보여주는데, 이는 태블릿 디바이스가 모바일폰이 가지는 디바이스의 외형적 한계를 개선하였기 때문에 생긴 결과로 보았다. Ghose et al.(2013)은 모바일 디바이스의 경우 화면 크기가 작기 때문에 사용자가 정보를 찾을 때 탐색 비용이 고정 디바이스보다 증가한다고 하였다.

따라서 큰 화면의 PC 환경에서 직관적으로 접근 가능한 메뉴를 개발한 것은, 3D 교육 매체를 이용하는 과정에서 학습자의 탐색 비용을 줄이는 효과로 이어질 수 있다.

세부 구조물의 name tag은 사용자가 보는 화면에서 보이는 세부 구조물들의 name tag만 보이도록 하고, 이 외 다른 화면에서 보이는 구조물들의 name tag은 보이지 않도록 설정하였다. name tag의 방향과 위치는 name tag이 지시하는 구조물이 가장 잘 보이는 화면에서 보이도록 배치하였다.

사람은 복잡한 시각 환경 속에서 선별적으로 정보를 받아들이기 때문에 일부분에 시선을 두어 정보를 습득한다. 김지호 & 송미란, 김재휘(2008)에 의하면 광고의 경우, 광고 주변 자극이 매력적일 때 정작 중요 메시지인 광고에 대해서는 소비자들이 관심을 오래 주지 않는다는 결과를 보여주었다.

이처럼 사람은 복잡한 시각 환경 속에서 모든 자극을 받아들일 수 없고, 일부 정보를 선택하여 이에 집중하기 때문에 중요하지 않은 정보는 편집될 필요가 있다.

특히 머리뼈는 형태적으로 복잡하고 학습해야 할 세부 구조물의 수가 많기 때문에 기존의 머리뼈 학습 교육 매체들과 달리 중요 정보 중점적으로 정보를 제공하는 방식이 필요하다. 편집된 전시 방식을 통해 학습자는 학습하고자 하는 구조물에 보다 더 집중할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 통로 구조물 학습과 형태학적 이해를 위해 probe mode와 foramen mode를 만들었다. probe mode는 통로를 3D object로 시각화하여 보여주는 mode이다. 특히 전체 머리뼈에서 관찰하기 어렵고 여러 낱개뼈 사이에 있는 pterygopalatine fossa와 같은 공간도 구현하였다.

Foramen mode는 구멍에 링을 부착한 것을 보여주는 mode로, 동일 통로의 입구와 출구는 같은 색상의 링으로 배치하였고, whole on/off에서 foramen mode는 전체 머리뼈의 구멍을 모아 볼 수 있고, 각 낱개뼈에 속한 구멍도 따로 모아 볼 수 있다.

머리뼈의 통로 구조물을 보여주는 기존의 방식은, 통로 구조물의 지시점이나 라벨을 강조하는 방식이었다. 본 연구의 probe mode는 기존의 방식과 달리 통로 구조물을 주형에 뜬 것처럼 3D object로 구현하여 이를 보여준다. 통로를 3D object로 보여주게 되면, 낱개뼈에 투명도를 더하지 않아도 통로의 구조를 볼 수 있어 투명도 구현이 부족한 기존 제작툴의 그래픽 한계에서도 자유로워질 수 있다.

덧붙여 기존에서는 다루지 않았지만 중요도가 높다고 판단되는 pterygopalatine fossa의 형태 구현은 기존과의 차별점으로 볼 수 있다.

또한 한 통로의 입구와 출구를 동일 색상으로 강조하고, 머리뼈의 구멍만을 모아 보여주는 foramen mode는 기존의 3D 교육 매체에서는 찾아볼 수 없는 디스플레이 방식이다.

또한 foramen mode에서 제공하는 name tag은 각 구멍에 배치된 ring과 동일 색상으로 제작하였다. 일반 모드에서 name tag은 모두 동일한 색상으로 설정하였는데 이는 특정 구조물을 강조하는 모드가 따로 있기 때문에 일반 모드에서는 모든 세부 구조물 정보를 같은 방식으로 전시하고자 하였다. name tag과 구멍의 ring이 동일 색상으로 설정되면, 학습하고자 하는 구조물의 name tag을 쉽게 찾을 수 있다는 장점이 있다.

추가로 본 교육 매체는 구조물에 대한 텍스트 정보를 제공하고 있지 않지만 foramen mode에서는 한정적으로 구멍 구조물에 지나는 내부 구조물에 대한 정보를 간략하게 제공한다. 구멍 구조물의 내부 구조물은

구멍 구조물을 학습할 때 필요한 핵심 정보이기 때문에 foramen mode에서 한정적으로 제공하고, 이 텍스트 정보는 구조물에 대한 추가 설명 없이 구멍을 지나는 구조물의 이름만 기재한 것이다.

Part mode에서는 각 낱개뼈를 세분화한 것을 보여주었다. 낱개뼈의 material을 바꾸는 방식으로 낱개뼈의 part를 보여주며, 이때 material을 제외한 뼈의 재질감이나 name tag의 위치, 카메라의 위치는 바뀌지 않는다.

머리뼈의 세부 구조물을 학습하는 것은 많은 단어들을 암기하는 것과 비슷하기 때문에 머리뼈 세부 구조물 학습에는 효과적인 단어 암기를 위한 전략이 필요하다고 보았다. 신지원 & 김지영(2017)의 연구에서는 효과적인 단어 암기를 위한 여러 전략을 실험하였고, 그중 단어들을 그룹으로 묶어서 암기하는 전략이 비교적 높은 평균값의 결과를 보였다. 이를 근거로 낱개뼈를 part로 나누어 보여주는 방식을 고안하였다. 낱개뼈의 세부 part 별로 여러 구조물들을 그룹으로 묶어 학습하는 것은 암기를 위한 하나의 전략이 될 수 있을 것이다.

구멍과 통로 구조물의 학습을 위해 일부 신경과 혈관 구조물을 구현할 수 있을 것이다. 이렇게 되면 특히 groove for meningeal artery와 같은 구조물의 학습이 쉬워질 것이다. 게다가 본 교육 매체의 통로 구조물의 형태는 궁극적으로 통로를 지나는 내부의 구조물의 학습을 위한 것이므로, 내부 구조물을 구현하면 본 연구 프로그램의 foramen mode와 probe mode와 함께 시너지 효과가 일어나 머리뼈 구조물의 이해를 더욱 도울 수 있을 것이다.

그리고 기존의 어플리케이션처럼 낱개뼈에 투명도를 줄 수 있을 것이다. 기존의 어플리케이션에선 그래픽의 문제로 투명도 구현에 문제가 있었고, 이는 구조물의 형태 파악을 어렵게 하였다. 하지만 본 연구의 교육 매체는 통로 구조물을 시각화한 probe mode가 있기 때문에 낱개뼈에 투명도가 주어지더라도 기존 교육 매체들에 비해서 시각적으로 혼란스럽지 않을 것이다.

하지만 본 연구의 교육 매체는 여러 한계점이 있는데, 그중 하나는 기

존의 교육 매체와는 다르게 구조물에 대한 설명을 제공하지 않는다는 점이다. 한정적으로 구멍 구조물을 주행하는 구조물의 목록을 제공하고 있지만, 이를 제외한 텍스트 정보는 제공하고 있지 않다. 이는 개발의 목적을 머리뼈의 형태학적 이해와 세부 구조물의 형태 및 위치를 정확하게 보여주는 데에 두었고, 머리뼈 3D 교육 매체가 학습의 보조 도구로 사용되는 것이 적절하다고 판단하였기 때문이다. 하지만 이는 추가 교재 없이 세부 구조물에 대한 텍스트 정보를 얻고자 하는 경우에는 기존의 교육 매체와 비교하여 미흡한 면으로 볼 수 있다.

비슷한 측면에서 이 교육 매체는 최대한 많이 세부 구조물을 다루고자 하지 않았다는 점에서도 한계가 있다. 기본적으로 다뤄지는 세부 구조물은 보편적으로 알려진 정보이기 때문에 차별화된 정보라 볼 수 없다. 따라서 좀 더 전문적인 지식을 학습하고자 하는 경우에는 기본적인 세부 구조물을 선별한 점이 아쉬운 지점으로 남을 수 있다. 향후 연구에서는 더 많은 구조물 정보를 보여주는 심화 단계를 추가로 구성한다면 더욱 좋은 교육 매체를 개발할 수 있을 것으로 보인다. 심화 정보를 볼 수 있는 단계를 따로 구성한다면 간편하게 본인이 원하는 만큼의 정보를 수집할 수 있고, 단계별로 정보를 학습할 수 있다는 장점이 생긴다. 이러한 계획에는 앞서 정보의 난이도에 대한 정리가 필요할 것으로 보인다.

결과물에 대한 검증이 부족하다는 점 또한 이 연구의 한계점이다. 기존의 연구들은 사용자의 피드백을 조사한 결과를 통계로 보여주거나 일부 사용자와의 심층 인터뷰를 분석하는 방식으로 결과를 보여주고 있지만 본 연구에서는 이러한 결과를 보여주지 못하고 있다. 사용자의 피드백에 대한 언급과 분석은 추후 연구에서 보여줘야 할 점이다.

또한 기존 매체들에 비해 묘사의 디테일이 떨어져 보일 수 있다. 예를 들어 coronal suture를 3D object에서 울퉁불퉁한 형태로 모델링하지 않고, texture 이미지에서 suture의 형태를 묘사하였다. 이러한 방식으로 표현한 이유는, 첫 번째로 coronal suture의 울퉁불퉁한 형태는 중요한 정보가 아니라고 판단했기 때문이고, 두 번째로 texture 이미지만으로 울퉁불퉁한 형태 표현이 가능하다고 보았기 때문이다. 또한 울퉁불퉁한 형

태를 3D로 모델링하면 프로그램 구동에 무리가 갈 수 있기 때문에 texture로 묘사를 대체하였다.

결론

본 연구의 3D 교육 매체는 기존의 교육 매체의 한계점을 극복하는 방식으로 개발 방향을 잡았다. 구체적으로 정보를 편집하여 중요한 정보만 선별적으로 전시하였다는 점, 정보의 그룹화를 시각화하여 보여주었다는 점에서 학습 효율을 높였을 것으로 기대한다. 또한 기존의 교육 매체에서는 3D로 시각화하지 못했던 구조물들을 시각화하였다는 점과 직관적이고 간편한 구동 메뉴를 개발하였다는 측면에서 새로운 방식을 제시하였다. 따라서 본 연구는 기존의 3D 교육 매체들 보다 개선된 3D 머리뼈 교육 매체를 개발하였다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

Allan M. Collins, M. Ross Quillian (1968). Retrieval time from semantic memory. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior. (Vol. 8, Issue 2)

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In Psychology of learning and motivation (Vol. 2, pp. 89-195). Academic press.

Ghose, Anindya, and Sung Hyuk Park, (2013). The negative impact of mobile devices on niche product consumption.

Klapdor, S. (2013). Effectiveness of online marketing campaigns: An investigation into online multichannel and search engine advertising. Springer Science & Business Media.

"Learn anatomy fast." anatomy.app, 2023, https://anatomy.app/

"Modeling Characters for Optimal Performance." Unity Documentation, 2017, https://docs.unity3d.com/560/Documentation/Manual/ModelingOptimizedCharacters.html

Sieben A, Oparka R, Erolin C. (2017). Histology in 3D: development of an online interactive student resource on epithelium. J Vis Commun Med. Apr;40(2):58-65.

"Temporal Bone Anatomy." Atlas Meditech, 2022, https://www.atlasmeditech.com/3d-models/temporal-bone-anatomy?highlight=tempo.

UpSurgeOn. (2021). Sphenoid bone. **Head Atlas** (version 2.35) [Mobile app]. Google Paly Store. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.upsurgeon.skullatlas&hl=ko&gl=US

Visible Body. (2023). Skull. **Human Anatomy Atlas 2023** (version 2023.04.011) [Mobile app]. Google Paly Sotre. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.visiblebody.atlas&hl=ko&gl=US

김지호, 송미란 & 김재휘.(2008). 복잡한 시각환경 속에서 소비자는 무엇을 보는가. 한국광고홍보학보, 10(2), 66-97.

성열훈. (2020). Educational Effects of Self-directed Learning Method Using 3D Printing Products on Radiological Science Students. 한국방사선학회 논문지, 14(1), 45-51.

신지원, 김지영. (2017). 초등학생의 영어 어휘학습전략 사용 양상. 외국학연구, 39, 65-86.

신하정, 남기환. (2018). "디바이스 유형을 고려한 온라인 멀티 채널 마케팅 효과", 「경영정보학연구」 제20권 제4호, 59-78.

Abstract

Development of an educational 3D model of skull for beginners

- Focusing on UI improvement and systematic display methods -

Soyoung Yim

Department of Anatomy and Cell Biology

The Graduate School

Seoul National University

Due to the complex and irregular morphological characteristics of the skull and the need for stereoscopic observation of it, it is difficult to learn the skull through two-dimensional images.

To overcome this, many educational media for head bone anatomy have been developed in three dimensions. However, when the medium is used in a mobile application or web environment, its limited development leads to problems with the educational medium.

Therefore, a new 3D educational medium that can recognize the skull with improvement of existing skull educating models, and offer users friendly interface regardless of web and mobile environment is required.

This study found the limitations of existing educational media in display method of bones of skull, difficulty in visualizing detailed structure paths, and insufficient systematic approaches.

To improve these limitation, this paper suggest the intuitive design of the user interface to make it easy for users to handle, the visualization of major canals and holes among detailed structures, and display method of grouping detailed structures.

keywords : skull, Anatomy, 3D, Educational Model, Multimedia, Virtual Reality

Student Number : 2021-20370

부 록

[부록 1] 구현한 세부 구조물 리스트 ····· 40

[부록 1] 구현한 세부 구조물 리스트

낱개뼈	부분	세부 부분	구조물
Frontal bone	squamous part	external surface	coronal suture
			superciliary arch
			glabella
			nasion
			supraorbital margin
			supraorbital notch / foramen
		lateral surface	zygomatic process
			temporal line
		internal surface	groove for superior sagittal sinus
			frontal crest
			foramen cecum
			pits for arachnoid granulations
	orbital part	orbital plate	fossa for lacrimal gland
			trochlear spine / fovea

낱개뼈	부분	세부 부분	구조물
Temporal bone	squamous part	lateral surface	groove for middle temporal artery
			zygomatic process
			articular tubercle
			mandibular fossa
			postglenoid tubercle
			suprameatal triangle
		medial surface	groove for middle meningeal vessel
			cerebral depression
	tympanic part		external acoustic meatus
	mastoid part	lateral surface	mastoid notch
			occipital groove
			mastoid foramen
			mastoid process
		medial surface	groove for sigmoid sinus
	petrous part	anterior surface	arcuate eminence
			trigeminal impression
			hiatus of facial canal
			groove for greater petrosal nerve

			groove for lesser petrosal nerve
		superior border	groove for superior petrosal sinus
		posterior border	groove for inferior petrosal sinus
		apex	internal opening of carotid canal
		inferior surface	external opening of carotid canal
			jugular fossa
			styloid process
			stylomastoid foramen
			tympanic canaliculus
		posterior surface	jugular foramen
			orifice of internal acoustic meatus

낱개뼈	부분	세부 부분	구조물
Sphenoid bone	body	superior surface	ethmoidal spine
			chiasmatic groove
			optic canal
			tuberculum sellae
			hypophyseal fossa
			dorsum sellae
			anterior clinoid process
			posterior clinoid process
		posterior surface	clivius
			vaginal process
		lateral surface	carotid sulcus
			sphenoidal lingula
		anterior surface	sphenoidal crest
			sphenoidal concha
			opening of sphenoid sinus
			sphenoidal rostrum
	greater wing	cerebral surface	foramen rotundum
			foramen ovale
			foramen spinosum
		pterygoid	medial pterygoid plate
		process	lateral pterygoid plate
			pterygoid canal (=vidian)
			groove (sulcus) for auditory tube
			scaphoid fossa
			pterygoid fossa
			pterygoid notch
			vaginal process
			pterygoid hamulus

낱개뼈	부분	세부 부분	구조물
Maxilla	facial surface		anterior nasal spine
			infraorbital margin
			infraorbital foramen
	infratemporal surface		alveolar foramen
			maxillary tuberosity
	orbital surface		infraorbital groove
			lacrimal notch
	4 processes		frontal process
			zygomatic process
			alveolar process
			palatine process
	inferior surface		median palatine suture
			transverse palatine suture
			incisive foramen

낱개뼈	부분	세부 부분	구조물
Palatine bone	horizontal part		nasal crest
			posterior nasal spine
			greater palatine foramen
			lesser palatine foramen
			transverse palatine suture
	vertical part		ethmoidal crest
			conchal crest
	3 processes		orbital process
			sphenoid process
			pyramidal process

여러 뼈 사이에 있는 구조물	jugular foramen
	foramen lacerum
	pterygopalatine fossa
	sphenopalatine foramen
	pterygomaxillary fissure
	pharyngeal canal