



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년08월24일
(11) 등록번호 10-2291824
(24) 등록일자 2021년08월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 5/00 (2021.01)

(52) CPC특허분류

A61B 5/7275 (2013.01)

A61B 5/0033 (2018.08)

(21) 출원번호 10-2019-0100355

(22) 출원일자 2019년08월16일

심사청구일자 2019년08월16일

(65) 공개번호 10-2021-0020617

(43) 공개일자 2021년02월24일

(56) 선행기술조사문헌

US20140100485 A1

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

서울여자대학교 산학협력단

서울특별시 노원구 화랑로 621 (공릉동, 서울여자대학교)

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

홍헬렌

서울특별시 서초구 서초대로 65길 13-10, 103동 1501호(서초동, 서초래미안아파트)

이민진

서울특별시 은평구 연서로 149, 102동 1402호(갈현동, 동광갈현베르빌)

심규원

서울특별시 강북구 솔샘로 174, 141동 1502호(미아동, SK북한산시티아파트)

(74) 대리인

특허법인비엘티

전체 청구항 수 : 총 12 항

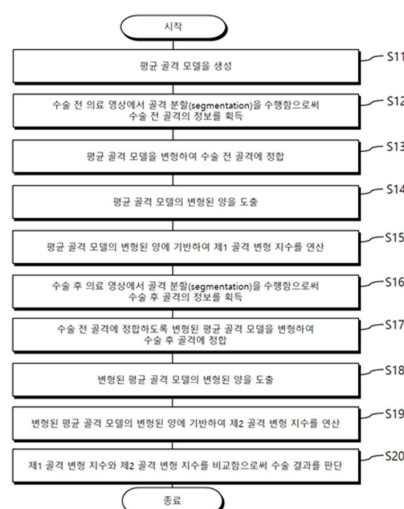
심사관 : 유창용

(54) 발명의 명칭 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법

(57) 요약

평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법이 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법은, 평균 골격 모델을 생성하는 단계; 상기 평균 골격 모델이 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계; 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델이 수술 후 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계; 및 상기 제1 골격 변형 지수와 상기 제2 골격 변형 지수를 비교함으로써 수술 결과를 판단하는 단계;를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(56) 선행기술조사문헌

KR101801376 B1

KR1020160068150 A

Carlos S. Mendoza, et al., Personalized assessment of craniosynostosis via statistical shape modeling, Medical image analysis, March 2014, 18, pp.635-646

Irma Lam, et al., Quantification of Skull Deformity for Craniofacial Research, Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2014 August ; 2014:

pp.758-761

KR101796111 B1

JP2016516471 A

KR1020150024982 A

JP2017514637 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345264343

부처명 한국연구재단

과제관리(전문)기관명 교육부

연구사업명 개인기초연구(교육부)

연구과제명 두개골 조기 유합증에서 영상바이오마커를 이용한 기계학습 기반의 자동 형상 평가
소프트웨어 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 서울여자대학교

연구기간 2017.06.01 ~ 2020.05.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

컴퓨터에 의해 수행되는, 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법에 있어서,

평균 골격 모델을 생성하는 단계;

상기 평균 골격 모델이 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계;

상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델이 수술 후 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계; 및

상기 제1 골격 변형 지수와 상기 제2 골격 변형 지수를 비교함으로써 수술 결과를 판단하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 수술 전 의료 영상에서 골격 분할(segmentation)을 수행함으로써 수술 전 골격의 정보를 획득하는 단계; 및

수술 후 의료 영상에서 골격 분할(segmentation)을 수행함으로써 수술 후 골격의 정보를 획득하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계는,

상기 평균 골격 모델을 변형하여 상기 수술 전 골격에 정합하는 단계;

상기 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계; 및

상기 평균 골격 모델의 변형된 양에 기반하여 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계;를 포함하고,

상기 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계는,

상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델을 변형하여 상기 수술 후 골격에 정합하는 단계;

상기 변형된 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계; 및상기 변형된 평균 골격 모델의 변형된 양에 기반하여 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 제1 골격 변형 지수와 상기 제2 골격 변형 지수는 양의 영역 비율 지수(positive area ratio index, PAR), 음의 영역 비율 지수(negative area ratio index, NAR), 양의 평균 거리 지수(positive average distance index, PAD), 음의 평균 거리 지수(negative average distance index, NAD), 상위 20%의 양의 평균 거리 지수(positive top 20% average distance index, PTD) 및 상위 20%의 음의 평균 거리 지수(negative top 20% average distance index, NTD) 중 적어도 하나인 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 양의 영역 비율 지수(PAR)은 하기 [수학식 1]로,
[수학식 1]

$$PAR = \frac{N_p}{N}$$

상기 음의 영역 비율 지수(NAR)은 하기 [수학식 2]로,
[수학식 2]

$$NAR = \frac{N_n}{N}$$

상기 양의 평균 거리 지수(PAD) 및 상기 상위 20%의 양의 평균 거리 지수(PTD)은 하기 [수학식 3]으로,
[수학식 3]

$$PAD = \frac{1}{N_p} \sum_{t=1}^{N_p} D_{\text{def}}(i) \quad PTD = \frac{1}{N_{p20}} \sum_{t=1}^{N_{p20}} D_{\text{def}}(i)$$

상기 음의 평균 거리 지수(NAD) 및 상기 상위 20%의 음의 평균 거리 지수(NTD)는 하기 [수학식 4]로,
[수학식 4]

$$NAD = \frac{1}{N_n} \sum_{t=1}^{N_n} D_{\text{def}}(i) \quad NTD = \frac{1}{N_{n20}} \sum_{t=1}^{N_{n20}} D_{\text{def}}(i)$$

연산되는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

(N = 패치 영역 내 총 포인트의 수, N_p= 패치 영역 내 양의 거리를 갖는 총 포인트의 수, N_n: 패치 영역 내 음의 거리를 갖는 총 포인트의 수, N_{p20}= 패치 영역 내 양의 거리를 갖는 총 포인트 중 20%의 포인트 수, N_{n20}: 패치 영역 내 음의 거리를 갖는 총 포인트 중 20%의 포인트 수, Ddef(i)= 변형 거리값)

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 평균 골격 모델이 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제1 컬러맵을 생성하는 단계;

상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델이 상기 수술 후 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제2 컬러맵을 생성하는 단계; 및

상기 제1 컬러맵과 상기 제2 컬러맵을 디스플레이에 표시하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계는,

상기 평균 골격 모델과 상기 수술 전 골격 각각에 복수의 기준점들을 할당하는 단계; 및

상기 기준점들을 이용하여 상기 평균 골격 모델을 변형하여 상기 수술 전 골격에 정합하는 단계;를 포함하고,

상기 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계는,

상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델과 상기 수술 후 골격 각각에 복수의 기준점들을 할당하는 단계; 및

상기 기준점들을 이용하여 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델을 변형하여 상기 수술 후 골격에 정합하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 복수의 기준점들은 Nasion, Basion, Opisthion 및 양 측의 Porion인 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 9

제7 항에 있어서,

상기 평균 골격 모델을 상기 기준점들을 이용하여 이동시키거나 회전시키는 단계; 및

상기 평균 골격 모델을 상기 기준점들 중 어느 하나의 기준점에 대해 축소시키거나 확대시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 10

제1 항에 있어서,

상기 수술 전 골격의 정보, 상기 수술 후 골격의 정보, 상기 평균 골격 모델 및 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델은 봉합(suture) 또는 개구(opening)를 포함하지 않는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 11

제1 항에 있어서,

상기 평균 골격 모델은 데이터베이스에 저장된 해당 연령에서 정상인 골격 정보를 바탕으로 생성되는 것을 특징으로 하는 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법.

청구항 12

하드웨어인 컴퓨터와 결합되어, 제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위하여 매체에 저장된, 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법에 관한 것으로, 보다 자세하게는 수술 결과에 따른 골격 변화를 확인할 수 있는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 골격 수술(예: 두개골 수술)이 필요한 질병일 경우 진단과 치료가 빠를수록 유리하다. 예를 들어, 두개골유합증(Craniosynostosis)은 두개골의 봉합선이 유합해 두개골과 뇌조직의 성장에 장애를 초래하는 선천적 질병으로, 특히 출생 후 3개월 내지 1년 사이에 적절한 교정 또는 수술이 필요한 것으로 알려져 있다. 이에 따라, 두개골 유합증의 적절한 진단 및 치료는 빠를수록 유리하지만, 현재까지의 두개골유합증의 진단이 대부분 두개골에 대한 CT 촬영 등을 통해 숙련된 의사에 의해 수행될 수밖에 없으므로 조기 진단이 어려운 문제가 있어 왔다. 또한

조기 진단의 정확성을 높이기 위해 3차원 영상 촬영기술을 이용하는 기술이 개발되고 있으나 단지 진단에만 이용될 뿐 수술 경과를 확인하는 것은 여전히 어려운 문제점이 있었다. 골격이 변화될 수 있는 성형 수술에 있어 서도 수술 전후 골격의 변화를 손쉽게 확인할 수 있는 기술의 필요성이 대두되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 미국 등록특허 US 9370318호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 수술 전후 질병의 나아진 정도 또는 골격의 변화를 정확하게 파악할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급된 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 면에 따른 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법은 평균 골격 모델을 생성하는 단계; 상기 평균 골격 모델이 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계; 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델이 수술 후 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계; 및 상기 제1 골격 변형 지수와 상기 제2 골격 변형 지수를 비교함으로써 수술 결과를 판단하는 단계;를 포함 한다.

[0007] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0008] 상기와 같은 본 발명에 따르면, 아래와 같은 다양한 효과들을 가진다.

[0009] 본 발명은 수술 전후 질병의 나아진 정도 또는 골격의 변화를 정확하게 파악할 수 있다.

[0010] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급된 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 골격 수술 평가 방법을 도시한 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 골격 수술 평가 방법을 도시한 블록도이다.

도 3a는 유아기의 두개골 봉합을 도시한 이미지이고, 도 3b는 도 1의 두개골을 분할하는 단계를 통해 분할된 두개골의 예를 도시한 이미지이다.

도 4는 도 1의 평균 골격 모델을 생성하는 단계에서 생성된 평균 골격 모델의 예를 도시한 이미지이다.

도 5a 및 도 5b는 각각 도 1의 복수의 기준점들을 할당하는 단계에서 평균 골격 모델에 복수의 기준점들을 할당한 예 및 실제 두개골에서 복수의 기준점들을 할당한 예를 도시한 이미지들이다.

도 6a는 평균 골격 모델을 이동시키거나 회전시키는 예를 도시한 이미지이고, 도 6b는 평균 두개골 모델을 축소시키거나 확대시키는 예를 도시한 이미지이다.

도 7a 및 도 7b는 도 1의 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계에서, 평균 골격 모델과 실제 두개골 사이의 국소(local) 변형 정도를 도출하는 예를 도시한 평면 및 측면 이미지들이다.

도 8a는 도 1의 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계에서, 평균 골격 모델과 실제 두개골 사이의 국소

변형에서 방향성을 결정하기 위한 좌표를 도시한 모식도이고, 도 8b는 상기 좌표를 기준으로 방향성을 결정한 예를 도시한 이미지이다.

도 9는 도 1의 평균 골격 모델의 변형된 상태 및 이를 바탕으로 두개골 이형의 판단 지표를 연산하기 위한 패치 영역의 예를 도시한 이미지이다.

도 10 및 도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 컬러맵을 나타낸 이미지이다.

도 12 내지 도 14는 본 발명의 골격 수술 평가 효과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 제한되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 기술자에게 본 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0013] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소 외에 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다. 명세서 전체에 걸쳐 동일한 도면 부호는 동일한 구성 요소를 지칭하며, "및/또는"은 언급된 구성요소들의 각각 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다. 비록 "제1", "제2" 등이 다양한 구성요소들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 구성요소들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 구성요소는 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 구성요소일 수도 있음은 물론이다.
- [0014] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 기술자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0015] 공간적으로 상대적인 용어인 "아래(below)", "아래(beneath)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 구성요소와 다른 구성요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 구성요소들의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들어, 도면에 도시되어 있는 구성요소를 뒤집을 경우, 다른 구성요소의 "아래(below)"또는 "아래(beneath)"로 기술된 구성요소는 다른 구성요소의 "위(above)"에 놓여질 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 "아래"는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 구성요소는 다른 방향으로도 배향될 수 있으며, 이에 따라 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.
- [0016] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명한다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 골격 수술 평가 방법을 도시한 흐름도이다. 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 골격 수술 평가 방법을 도시한 블록도이다. 도 3a는 유아기의 두개골 봉합을 도시한 이미지이고, 도 3b는 도 1의 두개골을 분할하는 단계를 통해 분할된 두 개골의 예를 도시한 이미지이다. 도 4는 도 1의 평균 골격 모델을 생성하는 단계에서 생성된 평균 골격 모델의 예를 도시한 이미지이다. 도 5a 및 도 5b는 각각 도 1의 복수의 기준점들을 할당하는 단계에서 평균 골격 모델에 복수의 기준점들을 할당한 예 및 실제 두개골에서 복수의 기준점들을 할당한 예를 도시한 이미지들이다. 도 6a는 평균 골격 모델을 이동시키거나 회전시키는 예를 도시한 이미지이고, 도 6b는 평균 두 개골 모델을 축소시키거나 확대시키는 예를 도시한 이미지이다. 도 7a 및 도 7b는 도 1의 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계에서, 평균 골격 모델과 실제 두개골 사이의 국소(local) 변형 정도를 도출하는 예를 도시한 평면 및 측면 이미지들이다. 도 8a는 도 1의 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계에서, 평균 골격 모델과 실제 두개골 사이의 국소 변형에서 방향성을 결정하기 위한 좌표를 도시한 모식도이고, 도 8b는 상기 좌표를 기준으로 방향성을 결정한 예를 도시한 이미지이다. 도 9는 도 1의 평균 골격 모델의 변형된 상태 및 이를 바탕으로 두개골 이형의 판단 지표를 연산하기 위한 패치 영역의 예를 도시한 이미지이다. 도 10 및 도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 컬러맵을 나타낸 이미지이다. 도 12 내지 도 14는

본 발명의 골격 수술 평가 효과를 나타낸 도면이다.

- [0020] 본 발명은 골격 수술 평가 시스템으로 구현될 수 있고, 영상 촬영부, 데이터 베이스, 골격 분할부, 골격 모델 생성부, 골격 모델 변형부, 골격 이형 연산부 및 골격 수술 평가부를 포함할 수 있다.
- [0021] 우선 도 1 및 도 2를 참조하면, 일 실시 예에서, 동작 S11에서 골격 모델 생성부는 정상인 두개골에 기반하여 평균 골격 모델(20)을 생성할 수 있다. 예컨대, 평균 골격 모델(20)은 연령별, 성별 등의 기준에 의해 구분된 다수의 정상인의 두개골들에 기반하여 생성될 수 있다.
- [0022] 일 실시 예에서, 동작 S12에서 골격 분할부가 수술 전 의료 영상(10)에서 골격 분할(100, segmentation)을 수행함으로써 수술 전 골격의 정보(31, 32)를 획득할 수 있다. 예를 들어, 의료 영상은 영상 촬영부가 환자의 골격을 CT(computerized tomographic) 또는 MRI 영상으로 촬영한 영상일 수 있고, 촬영된 영상에 기반하여 수술 전 골격의 정보를 획득할 수 있다. 이 경우, CT 영상 또는 MRI 영상은 2차원 또는 3차원 영상일 수 있다. 한편, 평균 골격 모델(20)은 기준에 미리 생성된 모델을 사용할 수도 있다.
- [0023] 한편, 하기에서 일 실시예로서, 골격 중 두개골을 예를 들어 구체적으로 설명한다. 따라서, 골격과 두개골을 혼용해서 사용하더라도 두개골은 일 예로서 본 발명은 사람의 골격에 모두 적용될 수 있다.
- [0024] 데이터 베이스는 영상 촬영부에서 촬영된 정보를 저장하며, 특히 각각의 연령대마다 정상 상태의 두개골에 관한 정보를 저장한 상태에서, 후술되는 평균 골격 모델의 생성을 위해 상기 정상 상태의 골격에 관한 정보를 제공한다.
- [0025] 한편, 상기 골격 모델 생성부는 상기 데이터 베이스로부터 정상 상태의 두개골에 관한 정보를 지속적으로 업데이트 받을 수 있고, 평균 골격 모델(20)을 갱신할 수 있다.
- [0026] 도 3a를 참조하면, 일반적으로 두개골은 봉합(suture)을 포함하며, 특히 유아기의 두개골의 경우 봉합이 열린(open) 경우도 많으므로 실제 촬영된 두개골에서도 봉합 또는 개구(opening)가 포함될 수 있다.
- [0027] 그러나, 도 3b에 도시된 바와 같이, 본 실시예에서는 상기 수술 전 골격 정보에서 상기 봉합이나 개구가 포함되지 않도록 하나의 일체형 두개골 형상으로 획득된다.
- [0028] 또한, 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 골격 모델 생성부에서 생성된 평균 골격 모델(20) 역시 상기 봉합이나 개구가 포함되지 않도록 하나의 일체형 두개골 형상으로 생성된다.
- [0029] 그리하여, 후술되는 정합단계를 통해 상기 실제 두개골에 상기 평균 골격 모델(20)을 정합시킨 후 변형 정도를 판단하는 경우 봉합이나 개구에 의해 변형 정도의 판단 오차를 최소화할 수 있다.
- [0030] 일 실시 예에서, 동작 S13에서, 골격 모델 변형부는 평균 골격 모델(20)을 변형(42)하여 상기 수술 전 골격(31, 32)에 정합(200)할 수 있다. 예를 들어, 도 1, 도 2, 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 상기 골격 모델 변형부는 상기 평균 골격 모델(20)과 상기 수술 전 두개골(31, 32) 각각에서 복수의 기준점들을 할당한다.
- [0031] 이 경우, 상기 복수의 기준점들은 Nasion, Basion, Opisthion 및 양 측의 Porion일 수 있다. 즉, 도 5a 및 도 5b에 도시된 바와 같이, 상기 평균 골격 모델 및 상기 수술 전 골격(31, 32) 각각에서 Nasion (P1), Basion (P2), Opisthion (P3), left Porion (P4) 및 right Porion (P5)와 같이 5개의 기준점들을 각각 할당할 수 있다.
- [0032] 이후, 도 1, 도 2, 도 6a 및 도 6b를 참조하면, 상기 골격 모델 변형부는 상기 기준점들을 이용하여 상기 평균 골격 모델(20)을 변형(42)하여 수술 전 두개골(31, 32)에 정합한다.
- [0033] 보다 구체적으로, 도 1 및 도 6a를 동시에 참조하면, 상기 골격 모델 변형부는 상기 평균 골격 모델(20)을 상기 기준점들을 이용하여 이동시키거나 회전시킨다.
- [0034] 즉, 상기 평균 골격 모델(20)의 5개의 기준점들을 상기 수술 전 골격(31, 32)의 5개의 기준점들에 정합시키기 위해, 상기 평균 골격 모델(20)을 3차원 공간상에서 XYZ 각각의 축에 대하여 평행하게 이동시키거나, 또는 XYZ 각각의 축을 기준으로 회전하도록 이동시킨다.
- [0035] 한편, 상기 5개의 기준점들 중 4개의 기준점들(P2, P3, P4, P5)은 도시된 바와 같이 두개골에서 상대적으로 후 두부측에 몰려 위치하므로, 상기 평균 골격 모델을 상기 기준점들을 이용하여 이동시키거나 회전시키더라도 상기 평균 골격 모델을 상기 실제 두개골에 정합시키기에는 한계가 있다.
- [0036] 이에 따라, 도 1 및 도 6b를 동시에 참조하면, 상기 골격 모델 변형부는 상기 평균 골격 모델을 상기 기준점들

중 어느 하나의 기준점에 대하여 축소시키거나 확대시킨다.

[0037] 이 경우, 확대 또는 축소와 같은 스케일(scale)의 변경은 상기 5개의 기준점들 중 어느 하나의 기준점에 대하여도 수행할 수 있으며, 이를 통해 상기 평균 골격 모델을 상기 실제 두개골에 보다 근접하게 변형하여 정합할 수 있다.

[0038] 한편, 상기와 같이 평균 골격 모델(20)을 수술 전 두개골(31, 32)에 정합(200)하는 단계에서는, 상기 이동, 회전 또는 스케일의 축소/확장을 어느 정도 수준까지 진행해야 하는지에 대한 기준, 즉 최적 정합의 수행 여부를 판단할 수 있는 기준이 필요하다.

[0039] 이를 위해, 본 실시예에서는 상기 평균 골격 모델(20)을 수술 전 두개골(31, 32)에 정합하는 경우 하기 수학적 (1)의 값, 즉 기준 정합 오차(fiducial registration error: FRE)가 최소가 되도록 정합을 수행한다.

[0040] [수학적 1]

$$[0041] (FRE)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |sRx_i + T - y_i|^2$$

[0042] 이 경우, N은 기준점들의 개수, s는 스케일 양, T는 XYZ 각 축으로의 이동량, R은 XYZ 각 축을 기준으로 한 회전량, xi는 평균 골격 모델의 기준점들, yi는 수술 전 골격의 기준점들을 의미한다.

[0043] 또한, 본 실시예에서는 상기 평균 골격 모델(20)을 실제 두개골에 정합하는 경우 수학적 (1) 외에, 하기 수학적 (2)의 값, 즉 가우시안 가중치 거리(Gaussian-weighted distance)의 평균값이 최소가 되도록 정합을 수행한다.

[0044] [수학적 2]

$$[0045] GWD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N GW(T_s(MNM(i)))$$

[0046] 이 경우, GW는 평균 골격 모델(20)의 기준점들의 개수, MNM(i)는 평균 골격 모델(20)의 기준점들, Ts는 동일 비율(scale)값을 의미한다.

[0047] 이상과 같이, 본 실시예에서는 상기 수학적 (1) 및 상기 수학적 (2)를 고려하여 평균 골격 모델(20)을 수술 전 골격(31, 32)에 정합함으로써, 최적 정합의 수행여부를 판단할 수 있다.

[0048] 한편, 이상과 같은 정합을 수행한 결과는 도 7a 및 도 7b에 도시되었으며, 도시된 바와 같이, 상기 평균 골격 모델(20)이 변형되어 수술 전 두개골(31, 32)에 최적 정합된 것을 확인할 수 있다.

[0049] 일 실시 예에서, 동작 S14에서, 골격 이형 연산부는 평균 골격 모델(20)의 변형된 양을 도출(300)할 수 있다. 예를 들어, 도 1을 참조하면, 상기 골격 이형 연산부는 상기 평균 골격 모델(20)의 변형된 양을 도출한다. 앞선 단계에서 상기 평균 골격 모델(20)은 실제 두개골에 정합되도록 변형된 상태이며, 따라서 상기 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출한다면, 수술 전 두개골(31, 32)의 이형 상태를 판단할 수 있다. 또한, 후술하는 바와 같이 변형된 양을 나타내는 색상이 표시된 제1 컬러맵의 평면도(51)와 측면도(52)가 디스플레이를 통해 표시될 수 있다. 예컨대, 제1 컬러맵에서 파란색 계열은 변형된 영역 또는 거리가 양의 값을 나타내며 적색 계열은 변형된 영역 또는 거리가 음의 값을 나타낸다

[0050] 이 경우, 상기 평균 골격 모델(20)은 가상의 모델로서 관련 연산을 용이하게 수행할 수 있으므로, 수술 전 두개골(31, 32)에 대한 영상 정보를 직접 분석하지 않으면서도 상기 평균 골격 모델(20)의 변형된 양을 통해 보다 용이하게 수술 전 두개골(31, 32)의 이형 여부를 판단할 수 있다.

[0051] 구체적으로, 상기 평균 골격 모델(20)의 변형된 양을 도출하기 위해, 하기 수학적 (3)을 이용하여 상기 평균 골격 모델(20)과 수술 전 골격(13, 32) 사이의 국소(local) 변형 정도를 도출한다.

[0052] [수학적 3]

$$[0053] T(x,y,z) = \sum_{l=0}^3 \sum_{m=0}^3 \sum_{n=0}^3 B_l(u) B_m(v) B_n(w) \phi_{i+l,j+m,k+n}$$

[0054] 이 경우, B1, Bm, Bn은 각각 B-스플라인(spline)의 3차 기저함수로서 하기와 같이 정의되며, ϕ 는 제어점, u,

v, w는 각각 X, Y, Z축과 연관된 지점을 의미한다.

$$B_0(u) = \frac{(1-u)^3}{6}$$

$$B_1(u) = \frac{3u^3 - 6u^2 + 4}{6}$$

$$B_2(u) = \frac{-3u^3 + 3u^2 + 3u + 1}{6}$$

$$B_3(u) = \frac{u^3}{6}$$

즉, 상기 수학식 (3)은 B-스플라인(spline)을 구성하는 각각의 제어점들의 격자를 움직여서 물체를 변형시키는 B-스플라인(spline) 기반의 다중 레벨(level) 변형 정합을 수행하는 식으로, 이를 통해 최초 평균 골격 모델과 변형된 평균 골격 모델을 비교함으로써 상기 평균 골격 모델(20)의 국소 변형 정도를 도출할 수 있다.

한편, 도 8a는, 상기 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계에서, 상기 평균 골격 모델의 국소 변형에서 방향성을 결정하기 위한 좌표가 도시되고 있으며, 상기 좌표를 바탕으로 하기 수학식 (4)를 이용하여 상기 평균 골격 모델(20)과 수술 전 두개골(31, 32) 사이의 상기 국소 변형에서의 방향성을 결정할 수 있다.

[수학식 4]

$$D(p) = \begin{cases} |V_p| & , p \in R_d \\ -1 \leq |V_p| & , p \in R_d \end{cases}$$

이 경우, p는 상기 정합된 평균 골격 모델에서 두개골의 포인트, Rd는 실제 두개골의 내부 영역, Vp는 평균 골격 모델이 변형된 경우 변형 벡터의 크기를 의미한다.

즉, 상기 수학식 (4)의 연산을 통해 상기 평균 골격 모델의 국소 변형에 있어서 확대(양의 값)되었는지 축소(음의 값)되었는지를 결정할 수 있으며, 도 8b에 도시된 바와 같이, 상기 수학식 (4)의 연산을 통해 확대와 축소의 정도에 따라 상기 평균 골격 모델의 변형값을 도식화할 수 있다.

일 실시 예에서, 동작 S15에서, 골격 이형 연산부는 평균 골격 모델의 변형된 양에 기반하여 제1 골격 변형 지수(400)를 연산할 수 있다. 일반적으로 실제 두개골은 도 4에 도시된 바와 같이 5개의 패치 영역(patch area)으로 구분될 수 있으며, 이를 고려하여 상기 평균 골격 모델(20)도 도 9에 도시된 5개의 패치 영역(A, B, C, D, E)으로 구분하고, 상기 각각의 패치 영역들에서 두개골 이형의 판단 지표에 해당하는 제1 골격 변형 지수(400)를 연산한다.

이때 제1 골격 변형 지수(400)는 양의 영역 비율 지수(positive area ratio index, PAR), 음의 영역 비율 지수(negative area ratio index, NAR), 양의 평균 거리 지수(positive average distance index, PAD), 음의 평균 거리 지수(negative average distance index, NAD), 상위 20%의 양의 평균 거리 지수(positive top 20% average distance index, PTD) 및 상위 20%의 음의 평균 거리 지수(negative top 20% average distance index, NTD) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

즉, 상기 6개의 제1 골격 변형 지수(400)는 상기 5개의 패치 영역 각각에서 도출될 수 있으며, 결과적으로 본 실시예에서 두개골 이형의 판단 지표는 총 30개가 도출될 수 있다.

하기 식 5 내지 식 8에서, $D_{def}(i)$ 는 변형 거리값을 의미하고, N은 패치 영역에서의 총 포인트들(points)을 의미하고, Np는 어느 한 포인트에서의 양의 거리를 의미하고, Nn은 어느 한 포인트에서의 음의 거리를 의미한다.

하기 양의 영역 비율 지수(PAR)는 각 패치 영역에서의 양의 거리값을 갖는 변형된 영역의 비율을 의미하며 하기 수학식 5로 정의된다.

[0070] [수학식 5]

$$PAR = \frac{N_p}{N}$$

[0071]

[0072] 하기 음의 영역 비율 지수(NAR)는 각 패치 영역에서의 음의 거리값을 갖는 변형된 영역의 비율을 의미하며 하기 수학식 6으로 정의된다.

[0073] [수학식 6]

$$NAR = \frac{N_n}{N}$$

[0074]

[0075] 하기 양의 평균 거리 지수(PAD)는 각 패치 영역에서의 변형된 양의 거리값의 평균값을 의미하며, 상위 20%의 양의 평균 거리 지수(PTD)은 각 패치 영역에서의 상위 20%의 변형된 양의 거리값의 평균값을 의미하며 하기 수학식 7로 정의된다.

[0076] [수학식 7]

$$PAD = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} D_{def}(i)$$

[0077]

[0078] 하기 음의 평균 거리 지수(NAD)는 각 패치 영역에서의 변형된 음의 거리값의 평균값을 의미하며, 및 상기 상위 20%의 음의 평균 거리 지수(NTD)는 각 패치 영역에서의 상위 20%의 변형된 음의 거리값의 평균값을 의미하며, 하기 수학식 8로 정의된다.

[0079] [수학식 8]

$$NAD = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} D_{def}(i)$$

[0080]

[0081] 한편, 평균 골격 모델(20)의 변형된 양에 기반하여 제1 컬러맵이 도 10과 같이 생성될 수 있고, 제2 컬러맵이 도 11과 같이 생성될 수 있다. 제1 컬러맵 및 제2 컬러맵에서 파란색 계열은 변형된 영역 또는 거리가 양의 값임을 나타내며 적색 계열은 변형된 영역 또는 거리가 음의 값을 나타낸다. 상기 제1 컬러맵과 상기 제2 컬러맵은 본 발명의 시스템의 디스플레이에 표시될 수 있다.

[0082] 일 실시 예에서, 동작 S16에서, 골격 분할부는 수술 후 의료 영상에서 골격 분할(segmentation)을 수행함으로써 수술 후 골격의 정보를 획득할 수 있다. 대상만 수술 후 의료 영상과 수술 후 골격의 정보로 변경되었을 뿐 구체적인 내용은 동작 11과 동일하므로 자세한 설명은 생략한다.

[0083] 일 실시 예에서, 동작 S17에서, 골격 모델 변형부는 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델을 변형하여 수술 후 골격에 정합할 수 있다. 여기서 변형된 평균 골격 모델은 동작12에서 변형된 평균 골격 모델(42)일 수 있다. 구체적인 내용은 동작 12와 동일하므로 생략한다.

[0084] 일 실시 예에서, 동작 S18 내지 동작 S19는 동작 S14와 동작 S15와 동일하므로 자세한 설명은 생략하고 간단히 설명한다. 예를 들어, 골격 분할부가 수술 후 의료 영상(60)에서 골격 분할(500)을 수행함으로써 수술 후 골격의 정보(71, 72)를 획득할 수 있고, 골격 모델 변형부는 변형된 평균 골격 모델(81)을 변형(82)하여 상기 수술 후 골격(71, 72)에 정합(600)할 수 있고, 골격 이형 연산부는 변형된 평균 골격 모델(81)의 변형된 양을 도출(700)할 수 있고, 변형된 양에 기반하여 제2 컬러맵의 평면도(91)와 측면도(92)가 디스플레이를 통해 표시될 수 있다. 예컨대, 제2 컬러맵에서 파란색 계열은 변형된 영역 또는 거리가 양의 값을 나타내며 적색 계열은 변형된 영역 또는 거리가 음의 값을 나타낸다. 여기서 제2 골격 변형 지수(800)는 제1 골격 변형 지수(400)와 동일한 수식을 이용하되 대상이 변형된 평균 골격 모델(81)의 변형된 양에 기반한다.

[0085] 일 실시 예에서, 동작 S20에서, 골격 수술 평가부는 제1 골격 변형 지수(400)와 상기 제2 골격 변형 지수(800)를 비교함으로써 수술 결과를 판단할 수 있다. 예를 들어, 도 12에 도시된 바와 같이 각종 수술 전 제1 골격 변

형 지수(400)(pre-가 붙은 지수)와 수술 후 제2 골격 변형 지수(800)(post-가 붙은 지수)를 비교함으로써 중증 및 경도의 시상 골유합증에서 수술 결과의 정량적 평가를 확인할 수 있다. 예를 들어, 각 지수에서 수술 전에 양의 값을 가진 경우에 수술 후 음의 값을 가진 경우 수술 경과를 판단할 수 있다. 또한, 도 13에 도시된 바와 같이 bicoronal, unicoronal, and unilambdoid 유합증(synostoses)에 있어서도 수술 전 제1 골격 변형 지수(400)와 수술 후 제2 골격 변형 지수(800)를 비교함으로써 수술 결과를 판단할 수 있다. 또한, 도 14에 도시된 수술 전 제1 컬러맵과 수술 후 제2 컬러맵을 비교함으로써 수술 결과를 판단할 수 있다.

[0086] 본 발명의 일 실시예에 따른 평균 골격 모델을 이용한 골격 수술 평가 방법은 평균 골격 모델을 생성하는 단계; 상기 평균 골격 모델이 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계; 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델이 수술 후 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계; 및 상기 제1 골격 변형 지수와 상기 제2 골격 변형 지수를 비교함으로써 수술 결과를 판단하는 단계;를 포함 한다.

[0087] 다양한 실시 예에 따르면, 수술 전 의료 영상에서 골격 분할(segmentation)을 수행함으로써 수술 전 골격의 정보를 획득하는 단계; 및 수술 후 의료 영상에서 골격 분할(segmentation)을 수행함으로써 수술 후 골격의 정보를 획득하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0088] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계는, 상기 평균 골격 모델을 변형하여 상기 수술 전 골격에 정합하는 단계; 상기 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계; 및 상기 평균 골격 모델의 변형된 양에 기반하여 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계;를 포함하고, 상기 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계는, 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델을 변형하여 상기 수술 후 골격에 정합하는 단계; 상기 변형된 평균 골격 모델의 변형된 양을 도출하는 단계; 및 상기 변형된 평균 골격 모델의 변형된 양에 기반하여 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0089] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 제1 골격 변형 지수와 상기 제2 골격 변형 지수는 양의 영역 비율 지수(positive area ratio index, PAR), 음의 영역 비율 지수(negative area ratio index, NAR), 양의 평균 거리 지수(positive average distance index, PAD), 음의 평균 거리 지수(negative average distance index, NAD), 상위 20%의 양의 평균 거리 지수(positive top 20% average distance index, PTD) 및 상위 20%의 음의 평균 거리 지수(negative top 20% average distance index, NTD) 중 적어도 하나일 수 있다.

$$PAR = \frac{N_p}{N}$$

[0090] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 양의 영역 비율 지수(PAR)은 하기 수학식 5로, 상기 음의

$$NAR = \frac{N_n}{N}$$

영역 비율 지수(NAR)은 하기 수학식 6으로, 상기 양의 평균 거리 지수(PAD) 및 상기 상위

$$PAD = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} D_{def}(i)$$

20%의 양의 평균 거리 지수(PTD)은 하기 수학식 7로, 상기 음의 평균 거리 지수

$$NAD = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} D_{def}(i)$$

(NAD) 및 상기 상위 20%의 음의 평균 거리 지수(NTD)는 하기 수학식 8로, 연산될 수 있다.

[0091] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 평균 골격 모델이 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제1 컬러맵을 생성하는 단계; 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델이 상기 수술 후 골격에 정합하도록 변형된 양에 기반하여 제2 컬러맵을 생성하는 단계; 및 상기 제1 컬러맵과 상기 제2 컬러맵을 디스플레이에 표시하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0092] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 제1 골격 변형 지수를 연산하는 단계는, 상기 평균 골격 모델과 상기 수술 전 골격 각각에 복수의 기준점들을 할당하는 단계; 및 상기 기준점들을 이용하여 상기 평균 골격 모델을 변형하여 상기 수술 전 골격에 정합하는 단계;를 포함하고, 상기 제2 골격 변형 지수를 연산하는 단계는, 상기 수술 전

골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델과 상기 수술 후 골격 각각에 복수의 기준점들을 할당하는 단계; 및 상기 기준점들을 이용하여 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델을 변형하여 상기 수술 후 골격에 정합하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0093] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 복수의 기준점들은 Nasion, Basion, Opisthion 및 양 측의 Porion일 수 있다.

[0094] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 평균 골격 모델을 상기 기준점들을 이용하여 이동시키거나 회전시키는 단계; 및 상기 평균 골격 모델을 상기 기준점들 중 어느 하나의 기준점에 대해 축소시키거나 확대시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0095] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 수술 전 골격의 정보, 상기 수술 후 골격의 정보, 상기 평균 골격 모델 및 상기 수술 전 골격에 정합하도록 변형된 평균 골격 모델은 봉합(suture) 또는 개구(opening)를 포함하지 않을 수 있다.

[0096] 다양한 실시 예에 따르면, 상기 평균 골격 모델은 데이터베이스에 저장된 해당 연령에서 정상인 골격 정보를 바탕으로 생성될 수 있다.

[0097] 다양한 실시 예에 따르면, 하드웨어인 컴퓨터와 결합되어, 제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위하여 매체에 저장된, 평균 골격 모델을 이용할 수 있다.

[0098] 본 발명의 실시예와 관련하여 설명된 방법 또는 알고리즘의 단계들은 하드웨어로 직접 구현되거나, 하드웨어에 의해 실행되는 소프트웨어 모듈로 구현되거나, 또는 이들의 결합에 의해 구현될 수 있다. 소프트웨어 모듈은 RAM(Random Access Memory), ROM(Read Only Memory), EPROM(Erasable Programmable ROM), EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM), 플래시 메모리(Flash Memory), 하드 디스크, 착탈형 디스크, CD-ROM, 또는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 잘 알려진 임의의 형태의 컴퓨터 판독가능 기록매체에 상주할 수도 있다.

[0099] 이상, 첨부된 도면을 참조로 하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로, 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며, 제한적이지 않은 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

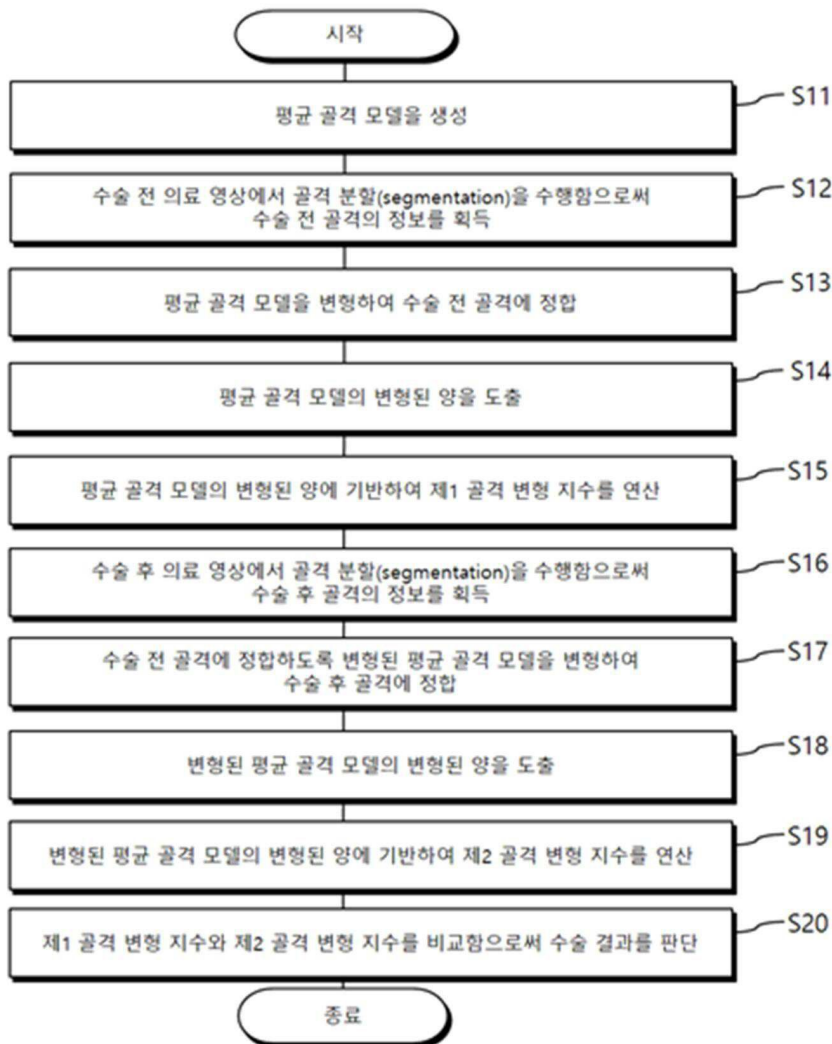
[0100] 10 : 수술 전 의료 영상

20: 평균 골격 모델

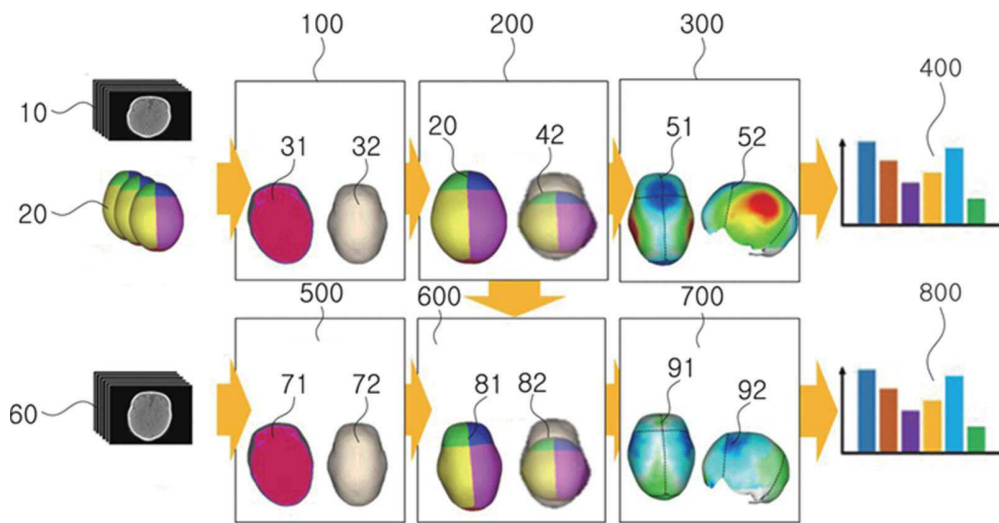
60: 수술 후 의료 영상

도면

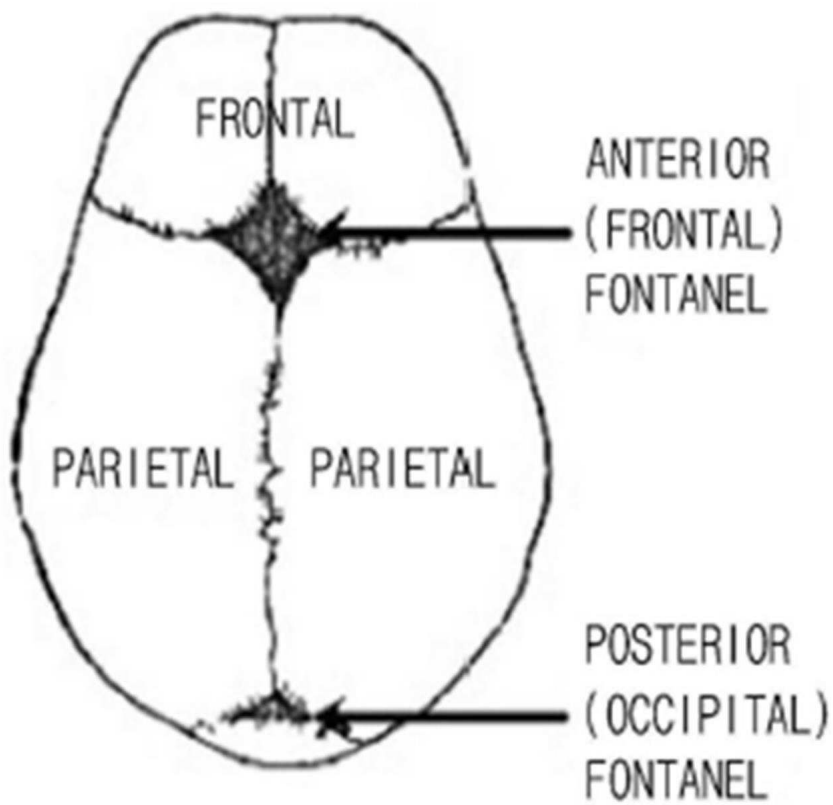
도면1



도면2



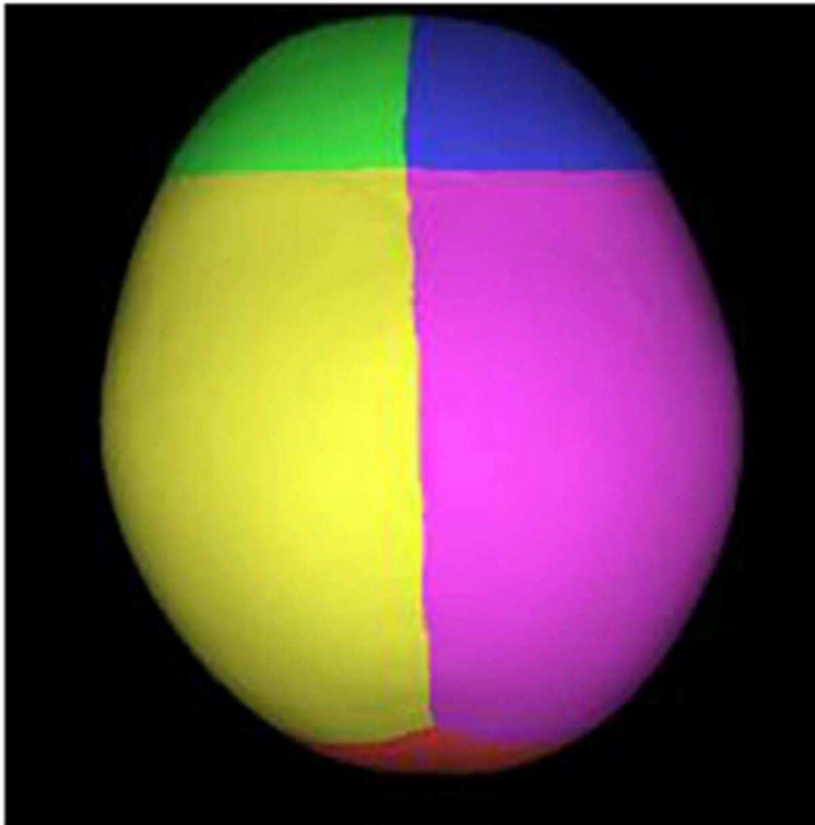
도면3a



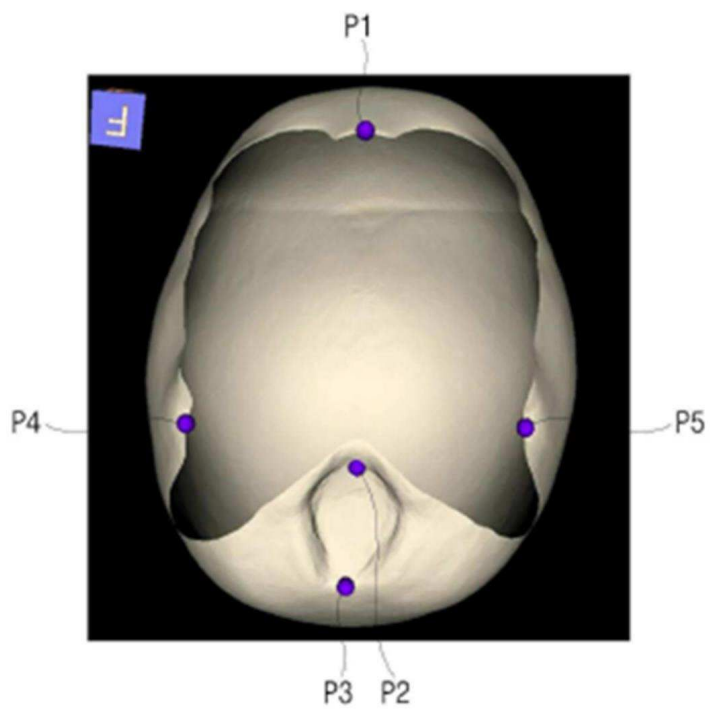
도면3b



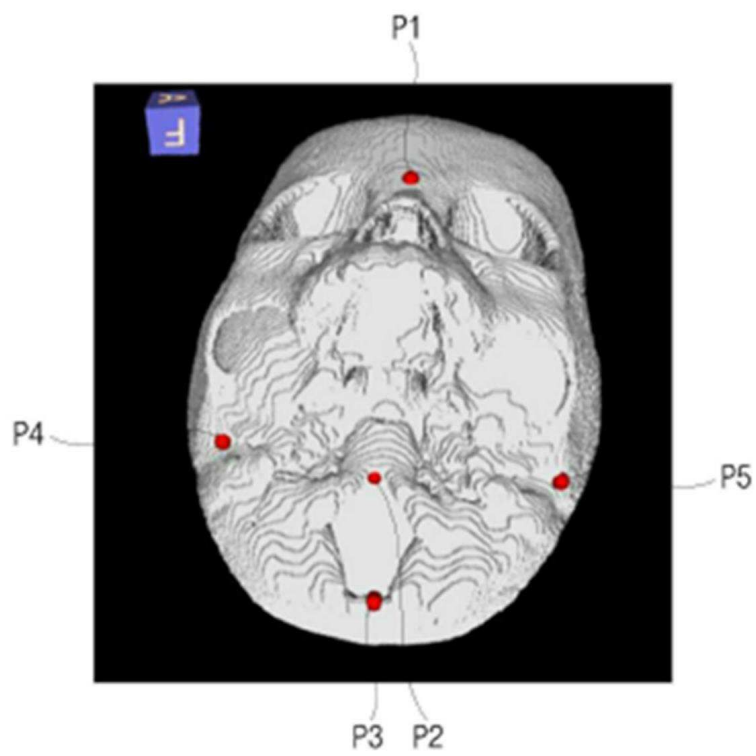
도면4



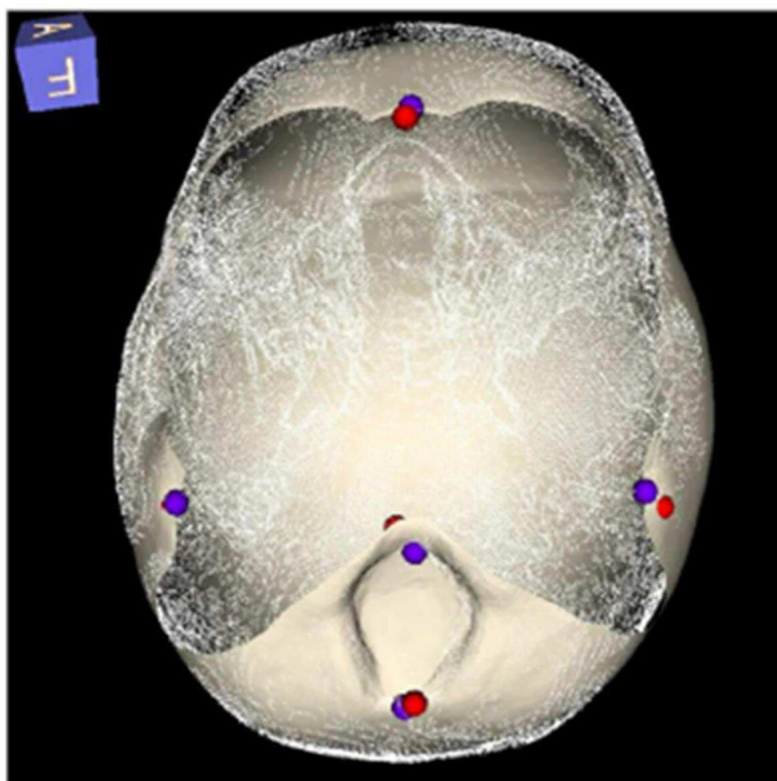
도면5a



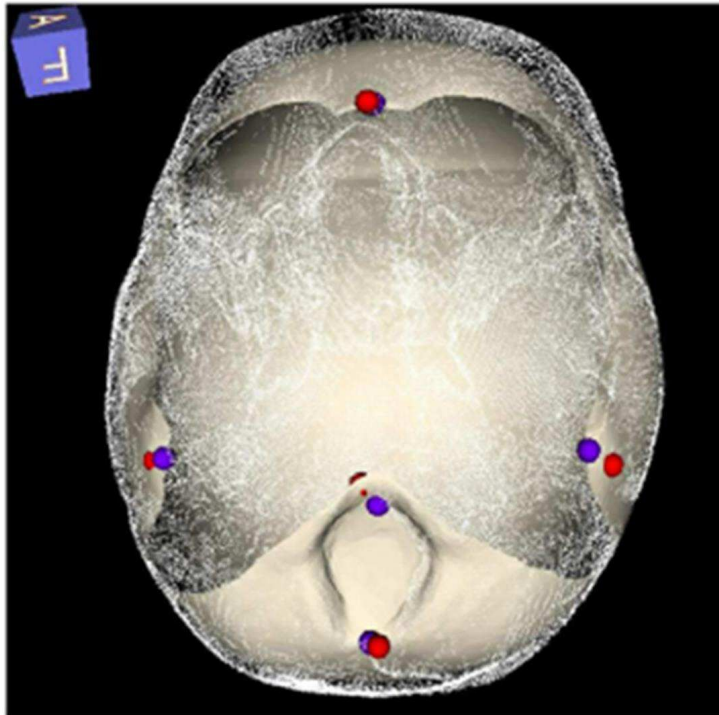
도면5b



도면6a



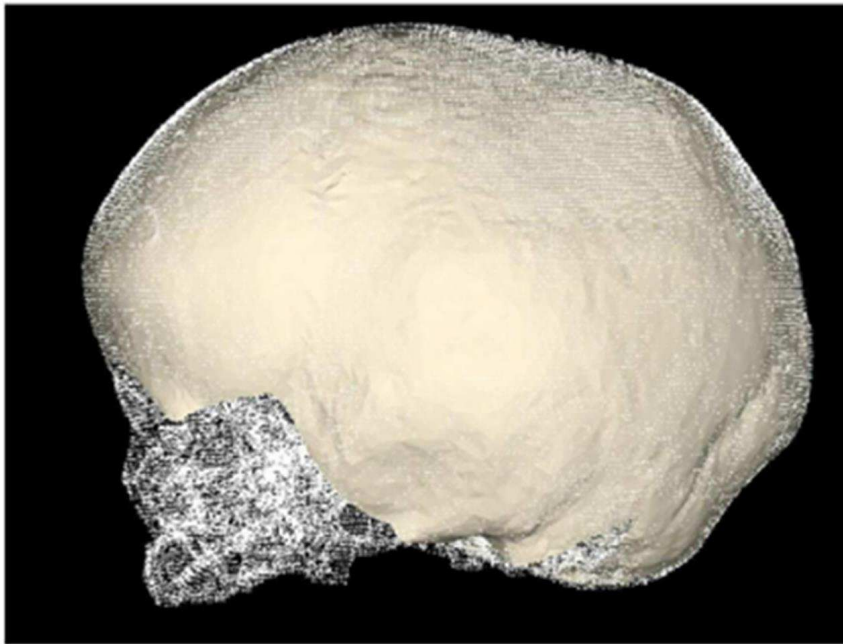
도면6b



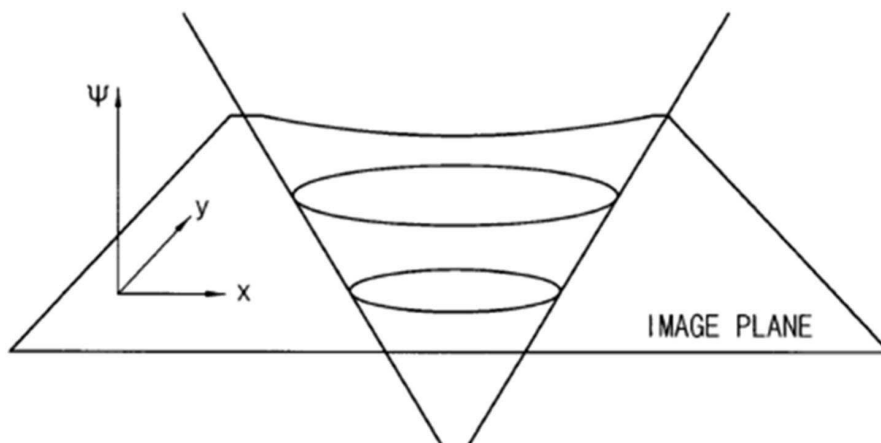
도면7a



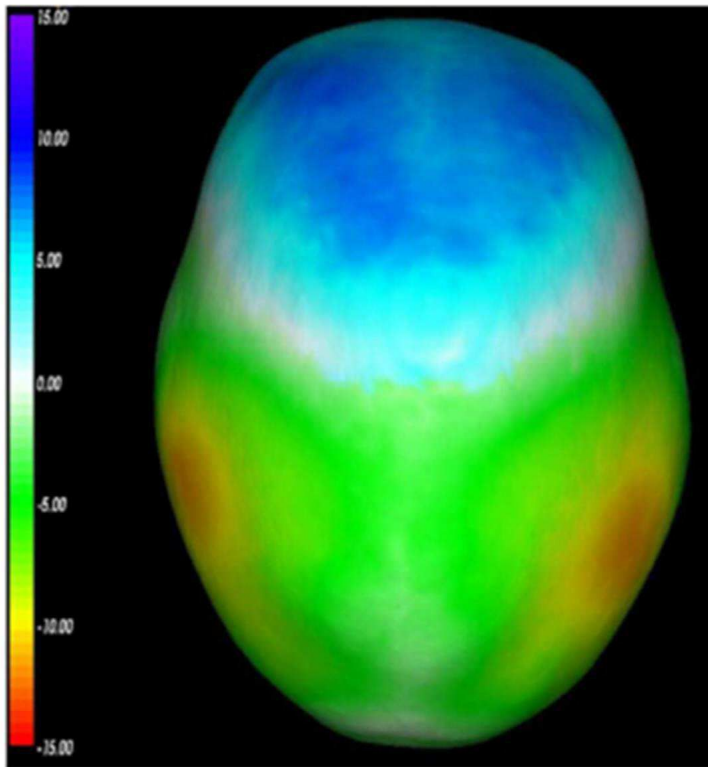
도면7b



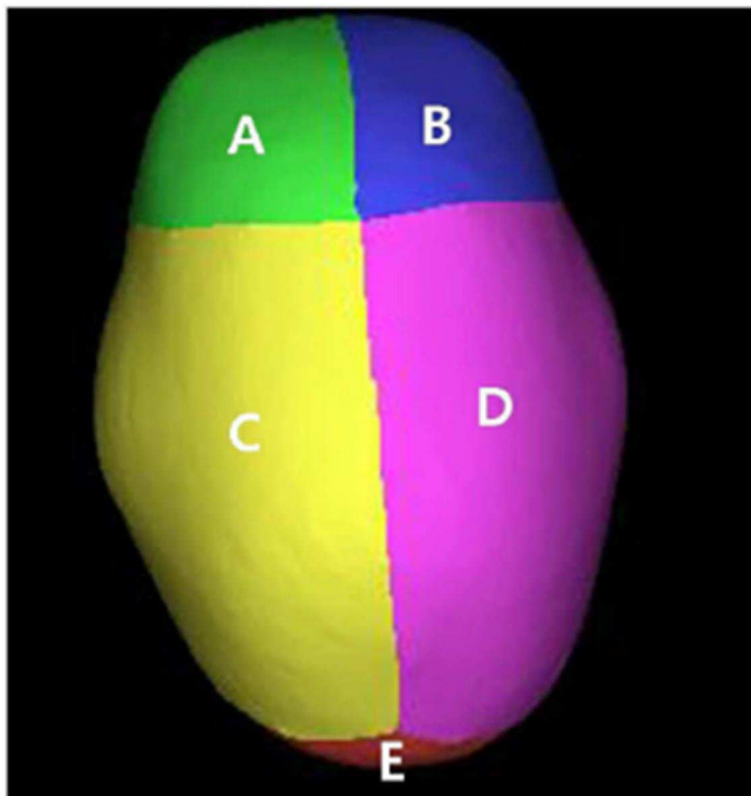
도면8a



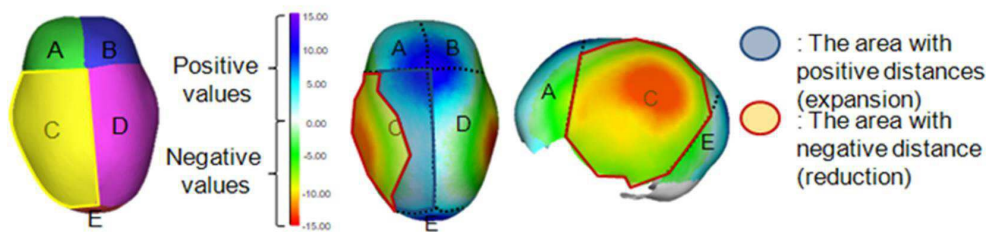
도면8b



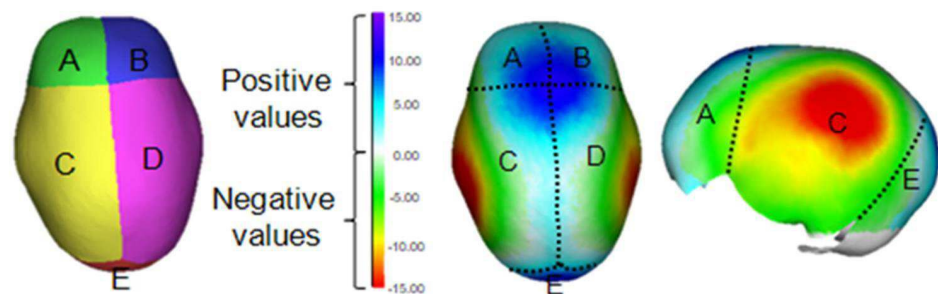
도면9



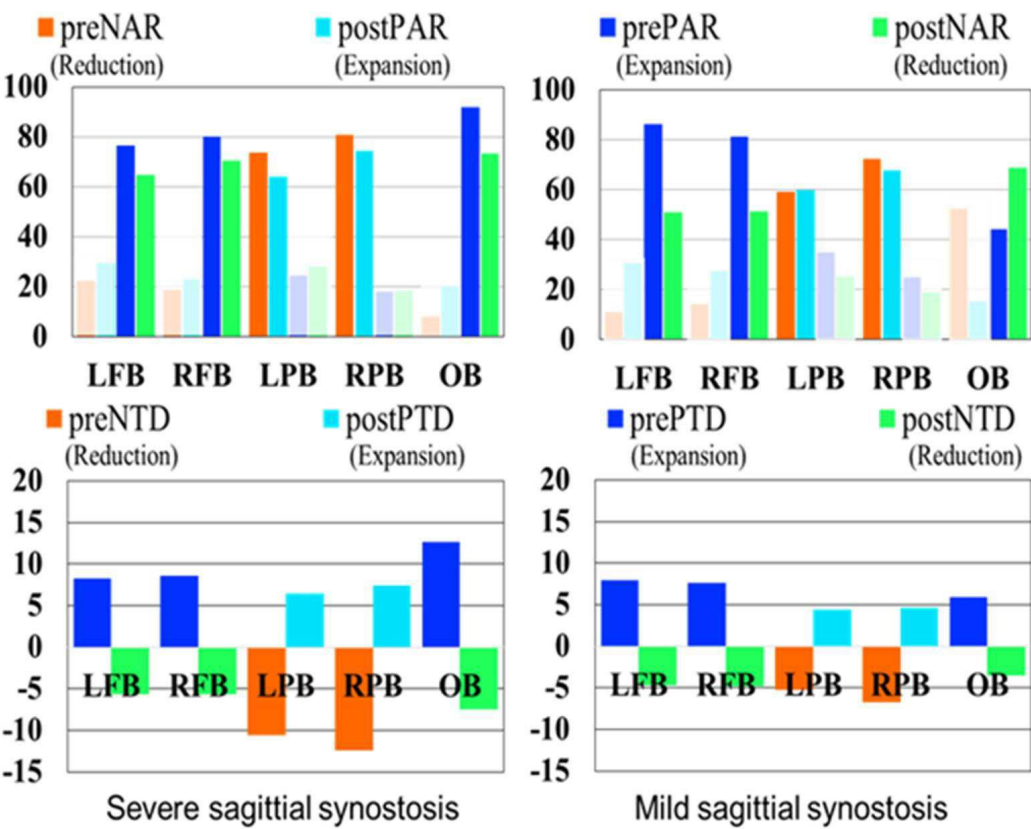
도면10



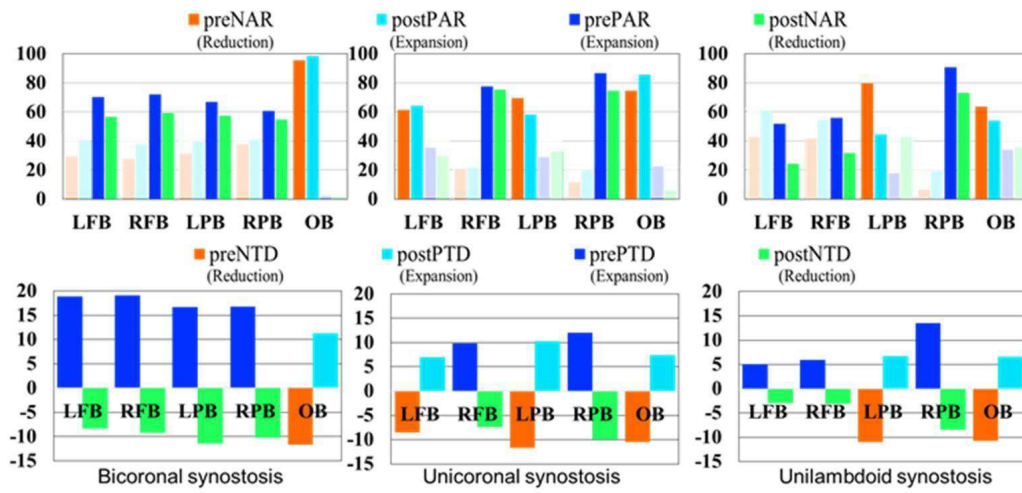
도면11



도면12



도면13



도면14

