



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년05월14일
(11) 등록번호 10-1264198
(24) 등록일자 2013년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 17/56 (2006.01) A61B 17/70 (2006.01)
A61C 8/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0009595
(22) 출원일자 2012년01월31일
심사청구일자 2012년01월31일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020090071712 A

(73) 특허권자
포항공과대학교 산학협력단
경상북도 포항시 남구 효자동 산31 포항공과대학교내
(72) 발명자
정완균
경상북도 포항시 남구 지곡동 교수 아파트 8동 603 호
이종원
서울특별시 양천구 신정동 목동 2차 아크로텔 1208호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
에스앤아이피특허법인

전체 청구항 수 : 총 18 항

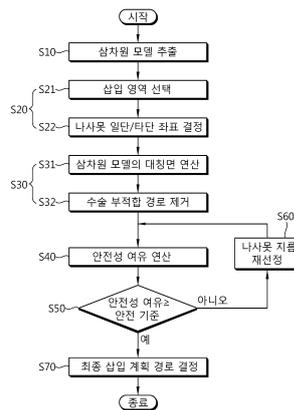
심사관 : 박남현

(54) 발명의 명칭 **삼차원 모델을 이용한 자동 수술 계획 시스템 및 이를 이용한 수술 계획 방법**

(57) 요약

본 발명에 따른 자동 수술 계획 방법은 (a) 피삽입체의 삼차원 모델을 추출하는 단계, (b) 상기 삼차원 모델을 이용해 상기 피삽입체에 삽입될 나사못의 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계; (c) 상기 삽입 경로 후보군에 대해 수술 적합성을 연산하는 단계, (d) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 수술 적합성을 만족하는 수술 적합 경로들에 대해, 상기 삼차원 모델의 복셀 정보와 상기 수술 적합 경로의 정보를 이용하여 상기 피삽입체와 상기 나사못 간의 간섭 정도의 척도인 안전성 여유를 연산하는 단계, 및 (e) 상기 수술 적합 경로들 중 상기 안전성 여유가 최대인 경로를 상기 나사못의 삽입 계획 경로로 결정하는 단계를 포함하여, 나사못의 최적 삽입 경로 및 나사못의 최적 지름을 자동으로 생성, 결정하여 정확하고 안전하게 나사못을 척추경 내에 위치시키도록 유도한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

김영수

서울특별시 영등포구 여의도동 시범아파트 14동
101호

김성민

서울특별시 성북구 하월곡동 래미안루나밸리 108동
1204호

특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 피삽입체의 삼차원 모델을 추출하는 단계;
- (b) 상기 삼차원 모델을 이용해 상기 피삽입체에 삽입될 나사못의 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계;
- (c) 상기 삽입 경로 후보군에 대해 수술 적합성을 연산하는 단계;
- (d) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 수술 적합성을 만족하는 수술 적합 경로들에 대해, 상기 삼차원 모델의 복셀 정보와 상기 수술 적합 경로의 정보를 이용하여 상기 피삽입체와 상기 나사못 간의 간섭 정도의 척도인 안전성 여유를 연산하는 단계;
- (e) 상기 수술 적합 경로들 중 상기 안전성 여유가 최대인 경로를 상기 나사못의 삽입 계획 경로로 결정하는 단계를 포함하는 자동 수술 계획 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 (b)단계는,

- (b1) 상기 삼차원 모델에서 상기 나사못이 삽입될 부위에 해당하는 삽입 영역을 선택하는 단계; 및
- (b2) 상기 삽입 영역 내에서 선택되는 상기 나사못의 일단에 해당하는 일단 좌표와 상기 나사못의 타단에 해당하는 타단 좌표에 의해 결정되는 상기 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 자동 수술 계획 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 (b1)단계에서, 상기 삽입 영역은 2차원 또는 3차원 영역인 것을 특징으로 하는 자동 수술 계획 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 (b2)단계에서 상기 일단 좌표 및 상기 타단 좌표는 상기 좌표 구간의 상한과 하한 사이에서 일정 간격을 두고 결정되는 것을 특징으로 하는 자동 수술 계획 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 (c)단계는,

- (c1) 상기 삼차원 모델의 대칭면을 연산하는 단계; 및
- (c2) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 삽입 경로의 연장선과 상기 대칭면의 교점이 상기 나사못의 삽입 방향으로 상기 삼차원 모델의 외부에 형성되어 상기 수술 적합성을 만족하는지 여부를 연산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 자동 수술 계획 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 (d)단계에서,

상기 안전성 여유는 상기 삼차원 모델 외곽부의 복셀(voxel) 집합과 상기 수술 적합 경로 사이의 최단 거리에서 상기 나사못의 반지름을 뺀 값인 것을 특징으로 하는 자동 수술 계획 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 수술 적합 경로는 최단 거리가 최대가 되도록 하는 경로로 선택되는 것을 특징으로 하는 자동 수술 계획 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

(f) 상기 안전성 여유가 기 설정된 안전 기준을 충족시키지 못하는 때에는 상기 나사못의 지름을 재선정하고 상기 (d)단계 및 상기 (e)단계를 재수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자동 수술 계획 방법.

청구항 9

- (a) 척추경을 포함한 척추의 삼차원 모델을 추출하는 단계;
- (b) 상기 삼차원 모델을 이용해 상기 척추경에 삽입될 나사못의 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계;
- (c) 상기 삽입 경로 후보군에 대해 수술 적합성을 연산하는 단계;
- (d) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 수술 적합성을 만족하는 수술 적합 경로들에 대해, 상기 삼차원 모델의 복셀 정보와 상기 수술 적합 경로의 정보를 이용하여 상기 척추경과 상기 나사못 간의 간섭 정도의 척도인 안전성 여유를 연산하는 단계;
- (e) 상기 수술 적합 경로들 중 상기 안전성 여유가 최대인 경로를 상기 나사못의 삽입 계획 경로로 결정하는 단계를 포함하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 (b)단계는,

- (b1) 상기 삼차원 모델에서 상기 나사못이 삽입될 부위에 해당하는 삽입 영역을 선택하는 단계; 및
- (b2) 상기 삽입 영역 내에서 선택되는 상기 나사못의 일단에 해당하는 일단 좌표와 상기 나사못의 타단에 해당하는 타단 좌표에 의해 결정되는 상기 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 (b1)단계에서, 상기 삽입 영역은 2차원 또는 3차원 영역인 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 (b2)단계에서 상기 일단 좌표 및 상기 타단 좌표는 상기 좌표 구간의 상한과 하한 사이에서 일정 간격을 두고 결정되는 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 13

제9항에 있어서, 상기 (c)단계는,

- (c1) 상기 삼차원 모델 상에서 상기 척추의 대칭면을 연산하는 단계; 및
- (c2) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 삽입 경로의 연장선과 상기 대칭면의 교점(p_x)이 상기 척추의 외부에 형성되며 동시에 상기 척추의 척추체와 상기 대칭면의 교점 집합(p_{ac})의 전방에 형성되어 수술 적합성을 만족하는지 여부를 연산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 (c1) 단계는,

상기 척추체의 양측 외곽선에 대한 기울기를 이용하여 상기 대칭면을 연산하는 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 15

제13항에 있어서, 상기 (c2) 단계는,

상기 척추의 척추 수로의 중심점(p'_{sc})과 상기 교점 집합(p_{ac}) 사이의 거리에 대한 상기 척추 수로의 중심점(p'_{sc})과 상기 대칭면의 교점(p_x)의 위치 차를 기준으로 상기 수술 적합성을 연산하는 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 16

제9항에 있어서, 상기 (d)단계에서,

상기 안전성 여유는 상기 삼차원 모델 외곽부의 복셀(voxel) 집합과 상기 수술 적합 경로 사이의 최단 거리에서 상기 나사못의 반지름을 뺀 값인 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 수술 적합 경로는 최단 거리가 최대가 되도록 하는 경로로 선택되는 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

청구항 18

제9항에 있어서,

(f) 상기 안전성 여유가 기 설정된 안전 기준을 충족시키지 못하는 때에는 상기 나사못의 지름을 재선정하고 상기 (d)단계 및 상기 (e)단계를 재수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 척추경 자동 수술 계획 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 삼차원 모델을 이용한 자동 수술 계획 시스템 및 이를 이용한 수술 계획 방법에 관한 것으로, 더욱 자세하게는 골절 부위나 척추를 고정하거나, 잇몸에 치아를 고정하기 위해 삽입되는 고정 나사의 삽입 위치를 유도하는 자동 수술 계획 시스템 및 이를 이용한 수술 계획 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 하나의 예로, 도 1에 도시된 바와 같이, 척추 융합 수술(spinal fusion surgery)은 질환이 있는 척추 뼈 양단에 척추경 나사못을 삽입하여 이들을 함께 고정시킴으로써 척추 간 비이상적인 움직임을 방지하고 이로 발생하는 통증을 제거하기 위한 수술이다. 비수술 치료법으로 치료하기 힘든 증상이 심한 환자들에게 주로 시술되며, 추간관 탈출증, 척추 골절, 요추관 협착증, 척추 탈위증 등의 척추 질환 치료에 효과적으로 평가된다.

[0003] 하지만 시술 도중 요추 기준 4.5~8.0mm의 지름을 갖는 척추경 나사못(pedicle screw)이 약 6.0~10.0mm의 지름을 갖는 척추 내 척추경(pedicle) 영역 내에 안전하게 삽입되어야 한다. 실험적으로 증명된 바에 따르면, 흉추 및 요추의 척추 융합 수술 시 바람직한 수술 정밀성은 시술 위치에 따라 0.0~3.8mm 이다(Y. R. Rampersaud, D. A. Simon, and K. T. Foley, "Accuracy requirements for image-guided spinal pedicle screw placement," Spine, vol. 26, pp. 352-359, 2001.). 따라서 척추 융합 수술 시 매우 작은 오차의 여유만이 허용되기 때문에, 의사는 극도로 주의를 기울이며 시술을 진행하여야 한다. 실제로 약 10~15% 정도의 빈도로 척추경 나사못이 계획된 위치에서 벗어나 위치하며, 그 중 절반 정도는 환자에게 심각한 상처를 남긴다는 임상 결과가 보고되었다(W. H. Castro, H. Halm, J. Jerosch, J. Malms, J. Steinbeck, and S. Blasius, "Accuracy of pedicle screw placement in lumbar vertebrae," Spine, vol. 21, pp. 1320-1324, 1996., C. J. Schulze, E. Munzinger, and U. Weber, "Clinical relevance of accuracy of pedicle screw placement. A computed tomographic-supported analysis," Spine, vol. 23, pp. 2215-2220, 1998.).

[0004] 상기 척추 융합 수술의 위험성을 해결하기 위해, 근래까지 척추경 나사못 삽입 보조를 위한 수술 보조 로봇 및 의사의 조작을 통해 로봇이 직접 척추경 나사못 삽입술을 진행하는 수술 로봇 등에 대한 많은 연구들이 진행되어왔다. 그러나 척추 융합 수술을 목적으로 상용화된 수술 시스템들도 실제 임상 실험에서 수술 계획 위치에서 최대 1.5mm의 오차를 보였다(S. Kim, J. Chung, B. J. Yi, and Y. S. Kim, "An assistive imageguided surgical robot system using 0-arm fluoroscopy for pedicle screw insertion: preliminary and cadaveric study," Neurosurgery, vol. 67, pp. 1757-1767, 2010., D. Togawa, M. M. Kayanja, M. K. Reinhardt, M. Shoham, A. Balter, A. Friedlander, N. Knoller, E. C. Benzel, and I. H. Lieberman, "Bone-mounted miniature robotic guidance for pedicle screw and translaminar facet screw placement: part 2-- Evaluation of system accuracy," Neurosurgery, vol. 60, pp. 129-139, 2007.). 이는 수술 중 의사의 영향, CT/fluoroscope 영상의 왜곡, 로봇 부착 시 오차, 수술 항법 장치 및 추적 시스템 기반 정합 오차 등에 기반한다. 이러한 시스템 정밀성의 한계는 아직도 척추 융합 수술에 필요한 수술 안전성 보장을 불충분하게 만든다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명은 수술 전 계획 단계에서 정밀한 삼차원 모델을 이용하여 시스템 오차 정도 이상의 안정성 여유(safety margin)를 보장하는 안전한 수술 경로 생성 및 나사못 모델 선정을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 전술한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 자동 수술 계획 방법은 (a) 피삽입체의 삼차원 모델을 추출하는 단계, (b) 상기 삼차원 모델을 이용해 상기 피삽입체에 삽입될 나사못의 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계; (c) 상기 삽입 경로 후보군에 대해 수술 적합성을 연산하는 단계, (d) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 수술 적합성을 만족하는 수술 적합 경로들에 대해, 상기 삼차원 모델의 복셀 정보와 상기 수술 적합 경로의 정보를 이

용하여 상기 피삽입체와 상기 나사못 간의 간섭 정도의 척도인 안전성 여유를 연산하는 단계, 및 (e) 상기 수술 적합 경로들 중 상기 안전성 여유가 최대인 경로를 상기 나사못의 삽입 계획 경로로 결정하는 단계를 포함한다.

- [0007] 상기 (b)단계는, (b1) 상기 삼차원 모델에서 상기 나사못이 삽입될 부위에 해당하는 삽입 영역을 선택하는 단계 및 (b2) 상기 삽입 영역 내에서 선택되는 상기 나사못의 일단에 해당하는 일단 좌표와 상기 나사못의 타단에 해당하는 타단 좌표에 의해 결정되는 상기 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0008] 상기 (b1)단계에서, 상기 삽입 영역은 2차원 또는 3차원 영역으로 선택될 수 있다.
- [0009] 상기 (b2)단계에서 상기 일단 좌표 및 상기 타단 좌표는 상기 좌표 구간의 상한과 하한 사이에서 일정 간격을 두고 결정될 수 있다.
- [0010] 상기 (c)단계는, (c1) 상기 삼차원 모델의 대칭면을 연산하는 단계 및 (c2) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 삽입 경로의 연장선과 상기 대칭면의 교점이 상기 나사못의 삽입 방향으로 상기 삼차원 모델의 외부에 형성되어 상기 수술 적합성을 만족하는지 여부를 연산하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 (d)단계에서, 상기 안전성 여유는 상기 삼차원 모델 외곽부의 복셀(voxel) 집합과 상기 수술 적합 경로 사이의 최단 거리에서 상기 나사못의 반지름을 뺀 값일 수 있다.
- [0012] 상기 수술 적합 경로는 최단 거리가 최대가 되도록 하는 경로로 선택될 수 있다.
- [0013] (f) 상기 안전성 여유가 기 설정된 안전 기준을 충족시키지 못하는 때에는 상기 나사못의 지름을 재선정하고 상기 (d)단계 및 상기 (e)단계를 재수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0014] 전술한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 척추경 자동 수술 계획 방법은 (a) 척추경을 포함한 척추의 삼차원 모델을 추출하는 단계, (b) 상기 삼차원 모델을 이용해 상기 척추경에 삽입될 나사못의 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계, (c) 상기 삽입 경로 후보군에 대해 수술 적합성을 연산하는 단계, (d) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 수술 적합성을 만족하는 수술 적합 경로들에 대해, 상기 삼차원 모델의 복셀 정보와 상기 수술 적합 경로의 정보를 이용하여 상기 척추경과 상기 나사못 간의 간섭 정도의 척도인 안전성 여유를 연산하는 단계 및 (e) 상기 수술 적합 경로들 중 상기 안전성 여유가 최대인 경로를 상기 나사못의 삽입 계획 경로로 결정하는 단계를 포함한다.
- [0015] 상기 (b)단계는, (b1) 상기 삼차원 모델에서 상기 나사못이 삽입될 부위에 해당하는 삽입 영역을 선택하는 단계 및 (b2) 상기 삽입 영역 내에서 선택되는 상기 나사못의 일단에 해당하는 일단 좌표와 상기 나사못의 타단에 해당하는 타단 좌표에 의해 결정되는 상기 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 (b1)단계에서, 상기 삽입 영역은 2차원 또는 3차원 영역으로 선택될 수 있다.
- [0017] 상기 (b2)단계에서 상기 일단 좌표 및 상기 타단 좌표는 상기 좌표 구간의 상한과 하한 사이에서 일정 간격을 두고 결정될 수 있다.
- [0018] 상기 (c)단계는, (c1) 상기 삼차원 모델 상에서 상기 척추의 대칭면을 연산하는 단계 및 (c2) 상기 삽입 경로 후보군 중 상기 삽입 경로의 연장선과 상기 대칭면의 교점(p_x)이 상기 척추의 외부에 형성되며 동시에 상기 척추의 척추체와 상기 대칭면의 교점 집합(p_{ac})의 전방에 형성되어 수술 적합성을 만족하는지 여부를 연산하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 (c1) 단계는, 상기 척추체의 양측 외곽선에 대한 기울기를 이용하여 상기 대칭면을 연산할 수 있다.
- [0020] 상기 (c2) 단계는, 상기 척추의 척추 수로의 중심점(p'_{sc})과 상기 교점 집합(p_{ac}) 사이의 거리에 대한 상기 척추 수로의 중심점(p'_{sc})과 상기 대칭면의 교점(p_x)의 위치 차를 기준으로 상기 수술 적합성을 연산할 수 있다.
- [0021] 상기 (d)단계에서, 상기 안전성 여유는 상기 삼차원 모델 외곽부의 복셀(voxel) 집합과 상기 수술 적합 경로 사이의 최단 거리에서 상기 나사못의 반지름을 뺀 값일 수 있다.
- [0022] 상기 수술 적합 경로는 최단 거리가 최대가 되도록 하는 경로로 선택될 수 있다.
- [0023] (f) 상기 안전성 여유가 기 설정된 안전 기준을 충족시키지 못하는 때에는 상기 나사못의 지름을 재선정하고 상기 (d)단계 및 상기 (e)단계를 재수행하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명에 따른 삼차원 모델을 이용한 자동 수술 계획 시스템 및 이를 이용한 수술 계획 방법은 나사못의 최적 삽입 경로 및 나사못의 최적 지름을 자동으로 생성, 결정하여 정확하고 안전하게 나사못을 척추경 내에 위치시키도록 유도한다.
- [0025] 이상과 같은 본 발명의 기술적 효과는 이상에서 언급한 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 척추 융합 수술에 대해 도시한 도면;
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 방법을 도시한 순서도;
- 도 3은 삼차원 모델로 추출된 척추경을 도시한 도면;
- 도 4는 척추경 나사못의 삽입 경로와 척추경 삼차원 모델을 도시한 도면;
- 도 5는 척추경 나사못의 잘못된 삽입 경로의 예를 도시한 도면;
- 도 6은 척추경 나사못의 수술 적합 경로의 예를 도시한 도면;
- 도 7은 대칭축 결정 방법을 도시한 도면;
- 도 8은 결정된 대칭축의 예를 도시한 도면;
- 도 9는 최종 연산된 척추경 나사못 삽입 경로를 도시한 도면;
- 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 시스템에 대한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 실시예는 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 도면에서의 요소의 형상 등은 보다 명확한 설명을 위하여 과장되게 표현된 부분이 있을 수 있으며, 도면 상에서 동일 부호로 표시된 요소는 동일 요소를 의미한다.
- [0028] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 방법을 도시한 순서도이다.
- [0029] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 방법은 삼차원 모델을 추출하는 단계(S 10), 나사못의 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계(S 20), 삽입 경로 후보군에 대해 수술 적합성을 연산하는 단계(S 30), 수술 적합 경로들에 대해 안정성 여유를 연산하는 단계(S 40), 연산된 안정성 여유가 안전 기준을 만족하는지 여부를 판단하는 단계(S 50) 및 나사못의 최종 삽입 계획 경로를 결정하는 단계(S 70)를 포함한다.
- [0030] 이하에서는 각 단계에 대해 구체적으로 설명한다.
- [0031] 1. 삼차원 모델 추출
- [0032] 삼차원 모델을 추출하는 단계(S 10)는 선행 연구를 통해 개발한 정밀한 삼차원 요추 척추경 모델의 추출법을 이용하였다. 이에 대한 자세한 설명은 J. Lee, S. Kim, Y. S. Kim and W. K. Chung, "Automated segmentation of the lumbar pedicle in CT images for spinal fusion surgery," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 58, no. 7, pp. 2051-2063, 2011.에 구체적으로 설명되어 있다.
- [0033] 상기 추출법은 척추의 의료 영상 처리를 어렵게 하는 환자의 국소적으로 낮은 골밀도와 척추 뼈의 급한 굴곡에도 강인하게 동작될 수 있도록 고안되었으며, 척추 융합 수술 적용에 적합한 정밀성을 만족하는 요추의 척추경 모델을 추출할 수 있는 방법이다.
- [0034] 상기 추출 방법론의 성능은 19명의 척추 융합 수술을 필요로 하는 환자의 총 84개 요추의 CT 데이터를 이용하여 검증되었다. 정밀성은 알고리즘을 이용하여 추출된 척추경의 외곽 정보와 전문의가 직접 선택하여 뽑은 척추경 외곽 정보 간 MDCP(Mean Distance to Closest Point)(J. Xu, O. chutatape, and P. Chew, "Automated optic

disk boundary detection by modified active contour model," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 54, Issue 3, pp. 473-482, 2007.)를 기준으로 계산되었으며, 모든 환자 데이터의 평균 MDCP는 0.14mm이고, 그 표준편차는 0.05mm로 도출되었다. 척추마다의 평균 MDCP는 0.06~0.36mm 구간 안에 존재한다. 척추 융합 수술이 작은 오차의 여유만을 허용하는 것을 고려하였을 때, 도출된 추출 과정의 정밀성은 척추 융합 수술 목적으로 충분히 사용 가능한 정도로 파악된다.

[0035] 도 3은 삼차원 모델로 추출된 척추경을 도시한 도면으로, 1번 요추부터 5번 요추까지 추출된 삼차원 척추경의 모습을 나타낸 것이며, 붉게 칠한 부분은 추출된 척추경의 외곽 모습이다.

[0036] 삼차원 모델의 추출에는 상술한 추출 방법과 다른 삼차원 모델 추출 도구가 이용될 수도 있다.

[0037] 2. 나사못의 삽입 경로 후보군 선정

[0038] 도 4는 척추경 나사못의 삽입 경로와 척추경 삼차원 모델을 도시한 도면이다. 도 4는 1번 요추의 우측 척추경을 통과하는 척추경 나사못의 계획된 삽입 경로를 나타낸다. 녹색으로 표현된 삽입 영역은 보간법을 이용하여 삼차원 요추 척추경 외곽 복셀(voxel) 정보를 서로 연결한 모습이다. 파란색 선은 계획된 척추경 나사못의 중심선이며, 회색으로 표현된 영역은 척추경 나사못이 차지하는 공간을 나타낸다.

[0039] 도 2 및 도 4에 도시된 바와 같이, 나사못의 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계(S 20)는 추출된 삼차원 모델을 이용해 척추경 나사못이 삽입되는 부위인 삽입 영역을 선택하는 단계(S 21)와, 삽입 영역 내에서 척추경 나사못의 일단/타단 좌표를 결정하는 단계(S 22)를 포함할 수 있다.

[0040] 삽입 영역은 삼차원 척추경 모델 내에서 이차원 영역으로 선택되거나 삼차원 영역으로 선택될 수 있다. 척추경 나사못의 삽입 경로 계획은 삽입 경로를 결정하는 삼차원 직선의 매개 변수 $P=[x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2]^T$ 를 결정하는 것으로, 삽입 영역이 선택되면 삽입 영역의 x축, y축, z축의 상한 값과 하한 값이 결정되고, 척추경 나사못의 삽입 경로 후보군은 x축, y축, z축의 상한 값과 하한 값 내의 범위에서 $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ 가 선택되어 결정된다. (x_1, y_1, z_1) 은 척추경 나사못의 일단 좌표이고, (x_2, y_2, z_2) 은 척추경 나사못의 타단 좌표일 수 있다.

[0041] 한편 계획된 삽입 경로는 삼차원 척추경 모델 내에 위치하기 때문에, y_1 과 y_2 는 각각 척추경 복셀 데이터들의 y축 방향으로의 상한 및 하한 값으로 정의될 수 있다. 따라서 삽입 경로의 결정은 4개의 변수 $P=[x_1, z_1, x_2, z_2]^T$ 추정 문제로 귀결된다. 매개 변수인 $(x_1, z_1), (x_2, z_2)$ 의 검색 구간은 각각 $y_1=y_{max}$ 와 $y_2=y_{min}$ 의 2차원 평면상에서 x축과 z축의 상한 값과 하한 값 사이로 결정되며, 검색 단위는 각 축 방향으로 일정 간격(예를 들면, 1mm 간격)으로 결정될 수 있다.

[0042] 3. 수술 적합성 연산

[0043] 도 2에 도시된 바와 같이, 삽입 경로 후보군에 대해 수술 적합성을 연산하는 단계(S 30)는 삼차원 모델의 대칭면을 연산하는 단계(S 31)와, 연산된 대칭면을 이용하여 수술 부적합 경로를 제거하는 단계(S 32)를 포함할 수 있다.

[0044] 도 5는 척추경 나사못의 잘못된 삽입 경로의 예를 도시한 도면이다.

[0045] 도 5에 도시된 바와 같이, 녹색 점선과 빨간색 점선으로 표시된 척추경 나사못의 삽입 경로는 모두 척추경을 통과하는 삽입 경로이지만, 양자 모두 적절한 삽입 경로가 아니다. 빨간색 점선은 양쪽에서 삽입된 척추경 나사못이 척추체(vertebral body) 내에서 서로 충돌 및 간섭이 유발될 수 있는 삽입 경로이며, 녹색 점선은 척추경 나사못의 삽입 방향이 척추체의 중앙부를 향하지 않고, 외측을 향하는 삽입 경로이다. 후자의 경우, 척추경 나사못이 척추체 내부에 삽입되는 깊이가 짧아지게 되어 척추와 나사못 간의 결합력을 약화시키므로 바람직한 수술 계획의 해답이라고 할 수 없다.

[0046] 이하에서는 도 5에 도시된 바와 같은 수술에 부적합한 삽입 경로를 구별하는 수술 부적합 경로를 제거하는 단계(S 32)에 대해 우선 설명한다.

[0047] 도 6은 척추경 나사못의 수술 적합 경로의 예를 도시한 도면이다.

[0048] 도 6의 파란색 선은 척추의 중심면인 좌우 대칭면을 나타내며, p'_{sc} 는 척추 수로(spinal canal)의 중심점을 나타낸다. p'_{sc} 는 상술한 삼차원 척추경 모델 추출과정에서 구해진 척추 수로의 기준점을 대칭축에 투사한 점일 수 있다. p_{AC} 는 척추체의 전방 피질(anterior cortex)의 대표점의 집합으로, 척추의 대칭면과 척추체 간 교차점으로 표현된다. 그리고 p_x 는 척추경 나사못의 삽입 경로 후보군과 척추의 대칭면 간 교차점이다.

[0049] 척추의 생김새가 좌우 대칭 구조를 띄기 때문에, p_x 의 위치가 p_{AC} 와 비교하여 하단에 위치하는 계획 경로들은 항상 위의 두가지 잘못된 계획 경로의 예시와 구분 가능해진다. 즉 삽입 경로 후보군 중 상기 삽입 경로의 연장선과 상기 대칭면의 교점이 상기 나사못의 삽입 방향으로 상기 삼차원 모델의 외부에 형성되는 삽입 경로를 수술 적합성이 있는 경로로 판단할 수 있다.

[0050] 수술 적합성을 판단하는 연산식은 다음과 같이 정의된다.

수학식 1

$$\frac{p'_{sc}-p_x}{\|p'_{sc}-p_{AC}\|} > 1$$

[0051]

[0052] 척추체 안에서 척추경 나사못끼리 간섭이 예상되는 경우는 [수학식 1]은 1보다 작은 양수가 되며, 삽입 경로의 방향이 바깥 방향으로 치우친 경우에는 [수학식 1]은 음수가 된다.

[0053] 선정된 삽입 경로 후보군에 대해 후술하는 안정성 여유를 계산하기 전에, [수학식 1]에 의해 수술 적합성을 연산하고, 잘못된 경로로 판단된 경우 해당 삽입 경로에 대하여는 안정성 여유를 계산하지 않고 버려서 연산 효율성을 향상할 수 있다.

[0054] 한편 상술한 [수학식 1]을 통한 수술 적합성을 판단하기 위해서는 p_{AC} 와 p_x 를 구하기 위한 척추의 좌우 대칭면의 정보가 필요하다. 이하에서는 삼차원 모델의 대칭면을 연산하는 단계(S 31)에 대해 설명한다.

[0055] 본 실시예에서 척추의 대칭면 결정 방법은 다음과 같이 요약할 수 있다.

[0056] · 척추의 특징적 외곽선 결정: 척추의 대칭면을 결정할 좌/우 한 개의 특징적 외곽선이 척추를 이루는 각각의 axial CT 영상 단면에 대해서 결정된다. 이 외곽선은 CT 상의 깊이 정보와 상관없이 신뢰성 높은 대칭 관계를 유지해야한다.

[0057] · 대칭 정도 추정/Hough space voting: M_{ij} 로 표현되는 척추의 대칭 정도가 상기 특징적 외곽선을 구성하는 좌/우 점들 간 조합을 대상으로 계산된다. 각각의 대칭 조합은 (r_{ij}, α_{ij}) 로 표현되는 Hough space 내 M_{ij} 의 크기로 투표된다.

[0058] · 대칭면 결정: Hough space 내에서 최댓값을 갖는 매개 변수(r_{ij}, α_{ij})가 각각의 axial CT 단면의 대칭축 l_{si} 로 결정된다. 하나의 척추 시편의 삼차원 대칭면은 여러 단면에서 구한 대칭축들을 이용한 최소 제곱법(least square solution)을 통하여 결정된다.

[0059] 특징적 외곽선 결정 시, 본 논문에서는 척추체 전방 피질 p_{AC} 와 척추 수로(spinal canal)의 중심점 p'_{sc} 사이 거리의 15-75%에 해당하는 척추체의 양 측면 외곽선을 사용하였다. 이는 이 부분의 양측면 외곽선이 CT 영상의 깊이 정보의 변화와 상관없이 안정된 대칭 정보를 보여주기 때문이다. 척추 수로나 횡돌기(transverse process)의 외곽선은 CT 영상 단면에서 보여지는 극돌기(spinous process)나 척추경의 유무에 따라 대칭 정보를 잃어버리게 되어 사용이 불가하다. 이 단계에서 사용한 모든 외곽 정보는 삼차원 척추경 모델 추출 단계의 출력 값이다.

[0060] 도 7은 대칭축 결정 방법을 도시한 도면이다.

[0061] 도 7에 도시된 바와 같이, 두 개의 회색 곡선은 좌/우 양측의 특징적 외곽선 E_L 과 E_R 이다. p_i 와 p_j 는 각각 $p_i \in$

$E_L, p_j \in E_R$ 를 만족한다. 화살표의 방향은 각 점에서의 Canny 에지 검출기를 이용한 기울기(gradient)의 방향을 나타내고, 짧은 선과 점으로 구성된 선은 p_i 와 p_j 를 잇는 선의 중간 점을 직각으로 지나는 대칭축의 후보군이다. 이 대칭축의 후보군은 (r_{ij}, α_{ij}) 극좌표계로 표현된다.

[0062] 대칭적 특징을 나타내는 평가지표 M_{ij} 는 Reisfeld의 위상 함수(D. Reisfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun, "Context-free attentional operators: the generalized symmetry transform," International Journal of Computer Vision, vol. 14, no. 2, pp. 119-130, 1995.)의 첫 번째 구성 요소를 기반으로 하여 다음과 같이 계산된다.

수학식 2

[0063]
$$M_{ij} = 1 - \cos(\theta_i + \theta_j - 2\alpha_{ij})$$

[0064]

[0065] $M_{ij} \in [0, 2]$ 는 $(\theta_i - \alpha_{ij}) + (\theta_j - \alpha_{ij}) = \pi$ (p_i 와 p_j 가 서로를 향해서 같은 방향으로 기울기가 생성되어 있을 때)인 경우 최대값을 가진다. 각각의 점들의 조합으로 계산된 M_{ij} 는 Hough space 상에서 M_{ij} 크기로 투표되며, 매개 변수 (r_{ij}, α_{ij}) 로 표현되는 Hough space는 Gaussian blur를 통해 영상의 노이즈나 양자화로 인한 오차를 억제시킨 후, 그 최대값의 매개 변수가 대칭축의 근사로 결정된다. 최종적으로 하나의 척추 시편에 대한 삼차원 대칭면은 척추 시편을 구성하는 여러 CT 단면에서 구한 대칭축들을 이용한 최소 제곱법을 통하여 결정된다.

[0066] 도 8은 결정된 대칭축의 예를 도시한 도면으로, 상기 방식에 의해 계산된 요추의 좌/우 대칭축에 대한 여러 경우의 예시를 보여준다. 파란색 선은 척추의 대칭성을 추정하기 위해 사용된 특징적 외곽선을 나타낸다. 도 8(a) 내지 (d)에서 보듯이 CT 단면상에 척추의 극돌기나 척추 수로가 균일하게 분포하지 않는 경우에도, 파란색 선은 좌/우 대칭적인 관계를 잘 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 빨간색 선은 이를 이용해 계산된 각각의 axial CT 단면에서의 추정된 대칭축을 나타낸다. 붉은 점으로 표시된 것은 대칭축과 척추체의 전방 피질과의 교점으로 p_{AC} 의 집합을 나타낸다.

[0067] 삽입 경로 후보군에 대해 삼차원 모델의 대칭면을 연산하는 단계(S 31)와, 연산된 대칭면을 이용하여 수술 부적합 경로를 제거하는 단계(S 32)를 포함하는 수술 적합성을 연산하는 단계(S 30)를 수행하여, 삽입 경로 후보군에서 수술에 부적합한 척추경 나사못 삽입 경로를 제외하고 수술 적합성을 만족하는 수술 적합 경로들에 대해서만 후술하는 연산을 수행하여 더 나은 결과를 유도하고 계산의 효율성을 증대한다.

[0068] 4. 안전성 여유(safety margin) 연산

[0069] 이하에서는 안전성 여유를 연산하는 단계(S 40)에 대해 설명한다.

[0070] 삼차원 척추경 모델은 척추 융합 수술 도중 척추경 나사못이 접촉하거나 침범해서는 안 되는 제한 영역으로 해석될 수 있다. 언급된 제한 영역의 정보에 기초하여, 각 삽입 경로 후보 군은 수술 안전성을 기준으로 평가될 수 있다. 안전성 측면에서 최적화된 삽입 경로가 계획되는 것이다. 수술 전 계획 단계에서 수술 안전성을 고려하기 위해서, 수술 안전성에 대한 정량적인 평가 지표인 안전성 여유는 다음과 같이 정의될 수 있다.

수학식 3

[0071]
$$M_P = \min(D(L(P), V(x', y', z'))) - R_{ps}$$

[0072] P는 삽입 경로를 결정하는 삼차원 직선 상 위의 두 점의 매개 변수인 $[x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2]^T$ 를 나타내고, L은

이 매개 변수로 표현되는 삽입 경로의 삼차원 직선을 나타낸다. V 는 삼차원 척추경의 외곽부의 복셀의 집합이고, D 는 삼차원 직선과 복셀 간 거리를 반환하는 함수이다. R_{ps} 는 척추경 나사못의 반지름이 된다. 안전성 여유는 척추경 외곽 정보와 척추경 나사못 사이의 Euclidean distance 값의 최소 값이 된다. $M_p < 0$ 인 척추경 나사못의 삽입 경로는 나사못의 일부분이 척추경 외곽 부와 접촉하거나 이를 침범하게 되는 경로임을 나타낸다. 이 경우 척추 융합 수술은 환자에게 심각한 부상을 남길 수 있다.

[0073] 안전성 여유를 최대화 만드는 삽입 경로를 결정하기 위해서 삽입 경로의 직선의 매개 변수 P 는 다음의 식을 만족해야 한다.

수학식 4

$$\operatorname{argmax}_P [\min(D(L(P), V(x', y', z')))]$$

[0074]

[0075] [수학식 4]를 만족하는 [수학식 3]의 첫 번째 항은 척추경 영역의 중심선에서 척추경 외곽에 이르는 최소길이인 척추경의 반지름 R_{ps} 에 대한 지표가 된다.

[0076] 5. 안전 기준 만족 여부

[0077] 이하에서는 연산된 안전성 여유가 안전 기준을 만족하는지 여부를 판단하는 단계(S 50)에 대해 설명한다.

[0078] 수술 중 의사의 영향, CT/fluoroscope 영상의 왜곡, 로봇 부착 시 오차, 수술 항법 장치 및 추적 시스템 기반 정합 시 오차 등에 의해 임상에 사용되는 척추 융합 수술을 위한 보조로봇 시스템들의 정밀성이 수술 목표에서 약 1.5mm까지 오차가 발생한다. 따라서 이러한 오차를 감안한 안전 기준을 설정할 필요가 있다. 안전 기준은 발생 가능한 오차인 1.5mm 이상으로 설정하는 것이 바람직하다. 본 실시예에서는 안전 기준을 2.0mm로 설정하였다.

[0079] 전술한 안전성 여유를 연산하는 단계(S 40)에서 연산된 안전성 여유값에 기초하여, 안전성 여유를 최대화시키는 나사못 삽입 경로가 선택되어 안전 기준과 비교될 수 있다.

[0080] 안전성 여유가 안전 기준 이상으로, 안전 기준을 만족하는 경우에는 해당 나사못 삽입 경로가 최종 삽입 계획 경로를 결정될 수 있다(S 70).

[0081] 그러나 안전성 여유가 안전 기준 미만으로, 안전 기준을 만족하지 않는 경우에는 척추경 나사못의 지름을 재선택한 후(S 60), 안전성 여유를 재판단하고 다시 안전 기준에 부합하는지 여부를 판단한다. 이 과정은 안전성 여유가 안전 기준을 만족할 때까지 반복될 수 있다.

[0082] OTIS Biotech Co.의 ULC 나사못의 모델을 기준으로 할 때, 척추경 나사못의 지름은 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0mm이며, 전문의의 경험 값을 토대로 척추경 지름의 70% 내에서 결정된다. 시술 후 척추와 나사못 간 결합력을 위해서는 최대한 지름이 큰 모델이 선정되는 것이 바람직하지만, 척추경의 지름 대비 80% 이상의 척추경 나사못들은 시술 시 척추경에 소성 변형을 가져온다고 보고되어 있다(.G. R. Misenhimer, R. D. Peek, L. L. Wiltse, S. L. Rothman, and E. H. Widell, "Anatomic analysis of pedicle cortical and cancellous diameter as related to screw size," Spine, vol. 14, pp. 367-372, 1989.) 따라서 최초 나사못의 선정시, 척추경 지름의 70%에서 나사못의 모델이 일차적으로 결정되며, 모델 선정 후 안전 기준을 만족할 때는 최종적으로 선정하고, 만족하지 못할 경우는 그보다 한 단계 작은 지름의 모델로 선정 후 안전성 여유 및 안전 기준을 다시 판단하게 된다.

[0083] 도 9는 최종 연산된 척추경 나사못 삽입 경로를 도시한 도면으로, 정밀한 삼차원 척추경 모델을 기반으로 한 제안된 수술 계획 시스템의 수술 계획 결과를 보여준다. 빨간색 십자는 척추경 외곽의 복셀 정보를 나타내며, 녹

색 원은 척추체 전방 피질의 대표점 p_{AC} 를 나타낸다. 파란색 나선형 공간은 척추경 나사못이 위치하는 공간이다.

- [0084] 도 9에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 방법은 척추 융합 수술시에 최적의 척추경 나사못 삽입 경로를 제시하고, 이에 따라 척수와 같은 척추 내에 존재하는 구조의 손상을 방지하고, 정확하고 안전하게 나사못을 척추경 내에 위치시키도록 유도한다.
- [0085] 또한 현재 척추 융합 수술을 목적으로 상용화된 보조 로봇 시스템들이 갖는 최종 위치 오차보다 더욱 보수적인 안전 기준을 확보하여 척추경을 관통하는 등의 수술 위험성을 완화한다.
- [0086] 한편 상술한 본 발명의 실시예는 설명의 편의를 위해 척추 융합 수술에 적용하여 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않고, 골절부를 고정/지지하기 위해 삽입되는 고정나사, 치과 치료등에 사용되는 임플란트 나사못 등 피삽입체를 고정하거나 피삽입체에 제3의 물체를 고정하기 위해 삽입되는 나사 또는 핀 등을 삽입하는 데에 적용될 수 있음은 자명하다.
- [0087] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 시스템에 대해 설명한다. 설명의 편의를 위하여 전술한 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 방법에서 설명한 유사한 부분은 그 설명을 생략한다.
- [0088] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 시스템에 대한 블록도이다. 도 10에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 자동 수술 계획 시스템(1000)은 입력부(100), 처리부(200), 및 디스플레이부(300)를 포함한다.
- [0089] 입력부(100)는 사용자의 조작에 의해 처리부(200)의 연산 등에 필요한 명령, 설정값 등을 처리부(200)에 전달한다.
- [0090] 처리부(200)는 삼차원 모델 추출부(210)와 연산부(220)를 구비할 수 있다.
- [0091] 삼차원 모델 추출부(210)는 피삽입체, 예를 들면 환자의 척추경을 삼차원 모델로 추출할 수 있다. 삼차원 모델 추출부(210)는 J. Lee, S. Kim, Y. S. Kim and W. K. Chung, "Automated segmentation of the lumbar pedicle in CT images for spinal fusion surgery," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 58, no. 7, pp. 2051-2063, 2011.에 설명된 정밀한 삼차원 요추 척추경 모델의 추출법에 따른 알고리즘을 이용하여 삼차원 모델을 추출할 수 있다.
- [0092] 연산부(220)는 전술한 삼차원 모델을 이용해 나사못이 삽입되는 부위인 삽입 영역을 선택하는 단계(S 21)에서 수행되는 연산, 삽입 영역 내에서 척추경 나사못의 일단/타단 좌표를 결정하여 나사못 삽입 경로 후보군을 선정하는 단계(S 22)에서 수행되는 연산을 수행할 수 있다.
- [0093] 이 경우, 입력부(100)에서는 삽입 영역의 x축, y축, z축의 상한 값과 하한 값을 입력받아 연산부(220)에 전달할 수 있고, 삽입 경로를 결정하는 삼차원 직선의 매개 변수($x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$) 중 특정 값을 고정하여 삽입 영역이 이차원 영역이 되도록 할 수 있다(예를 들면 y_1 과 y_2 는 각각 척추경 복셀 데이터들의 y축 방향으로의 상한 및 하한 값으로 정의).
- [0094] 연산부(220)는 입력부(100)에서 입력받은 정보를 근거로, 삼차원 모델 내에 삽입 영역을 정의하고, x축, y축, z축의 상한 값과 하한 값 내의 범위에서 삼차원 직선의 매개 변수 $P=[x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2]^T$ 를 결정하여 나사못의 삽입 경로 후보군을 선정하는 연산을 수행할 수 있다.
- [0095] 또한 연산부(220)는 전술한 삼차원 모델의 대칭면을 연산하는 단계(S 31)에서 수행되는 연산, 연산된 대칭면을 이용하여 수술 부적합 경로를 제거하는 단계(S 32)에서 수행되는 연산을 수행할 수 있다.
- [0096] 이 경우, 연산부(220)는 삼차원 모델을 토대로 [수학식 2]를 이용해 대칭면을 연산하고, 연산된 대칭면과 [수학식 1]을 이용해 나사못의 삽입 경로 후보군에 대해 수술 적합성 여부를 연산할 수 있다.
- [0097] 또한 연산부(220)는 나사못의 삽입 경로 후보군 중 수술 적합성이 인정되는 삽입 경로에 대해 전술한 안정성 여부를 연산하는 단계(S 40)에서 수행되는 [수학식 3] 및 [수학식 4]를 이용한 안정성 여부를 연산할 수 있다. 이 경우, 연산부(220)는 입력부(100)를 통해 나사못의 반지름(R_{ps})에 대한 정보를 입력받을 수 있다.
- [0098] 또한 연산부(220)는 안전 기준 만족 여부를 판단하는 단계(S 50)에서 수행되는 연산을 수행할 수 있다. 이 경우

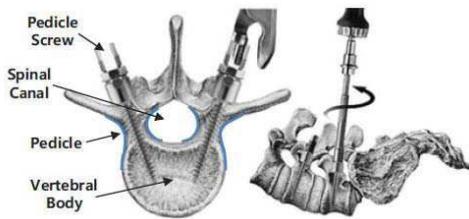
입력부(100)는 사용자에게 의해 입력되는 안전 기준 값을 연산부(220)에 전달할 수 있다. 연산부(220)는 안전 기준과 안정성 여유를 비교하여 안전성 여유가 안전 기준 이상으로 안전 기준을 만족하는 경우에는 해당 나사못 삽입 경로를 최종 삽입 계획 경로로 결정하고, 안전성 여유가 안전 기준 미만으로, 안전 기준을 만족하지 않는 경우에는 척추경 나사못의 지름을 재선택할 것을 안내하는 신호를 발생하거나, 한 단계 작은 지름을 자동 선택하여 안전성 여유 및 안전 기준 만족 여부를 재연산할 수 있다.

[0099] 디스플레이부(300)는 도 3에 도시된 바와 같이 삼차원 모델 추출부(210)에서 추출한 삼차원 모델을 시각적으로 표시할 수 있다. 또한 도 4에 도시된 바와 같이 삽입 영역으로 선택된 영역을 시각적으로 표시할 수 있다. 또한 도 9에 도시된 바와 같이 연산부(220)가 연산한 최종 삽입 계획 경로를 삼차원 모델에 적용하여 시각적으로 표시할 수 있다.

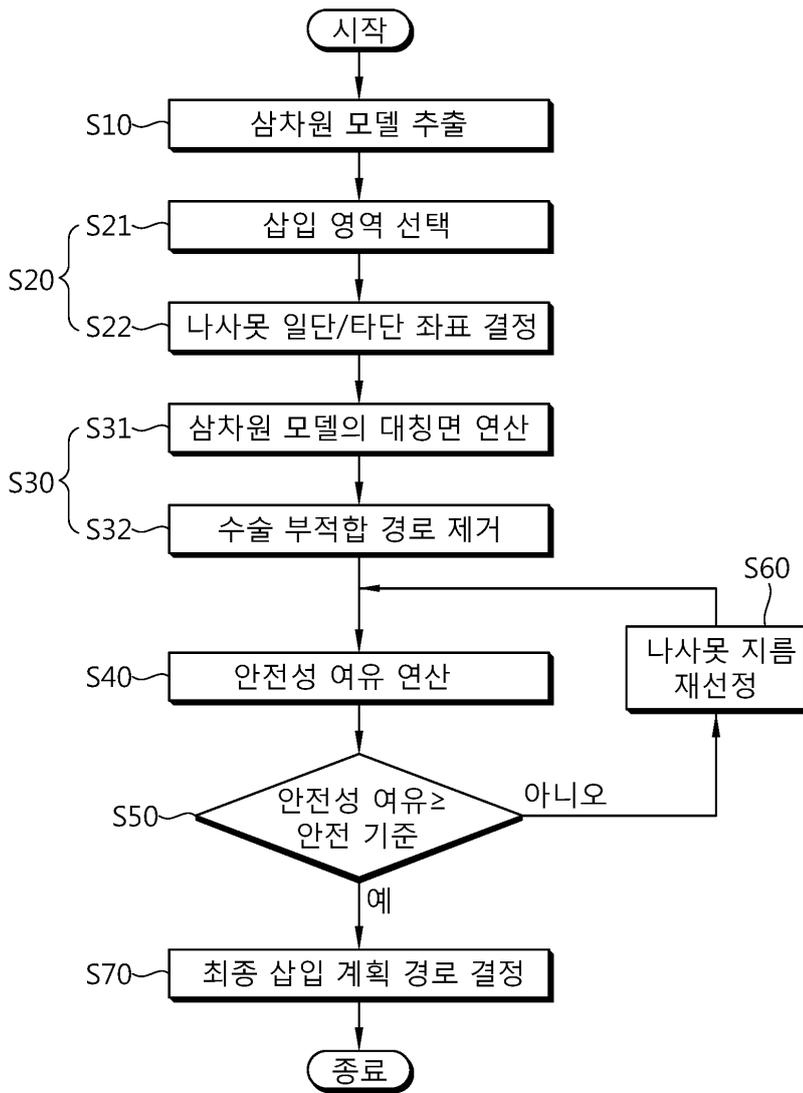
[0100] 앞에서 설명되고, 도면에 도시된 본 발명의 일 실시예는, 본 발명의 기술적 사상을 한정하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 발명의 보호범위는 청구범위에 기재된 사항에 의하여만 제한되고, 본 발명의 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상을 다양한 형태로 개량 변경하는 것이 가능하다. 따라서 이러한 개량 및 변경은 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것인 한 본 발명의 보호범위에 속하게 될 것이다.

도면

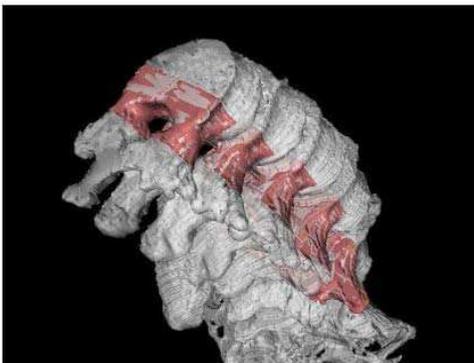
도면1



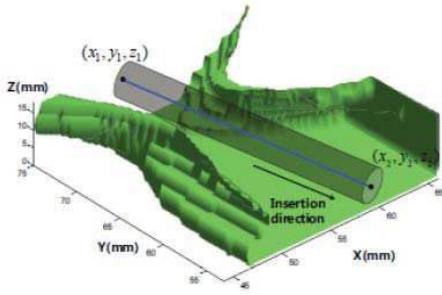
도면2



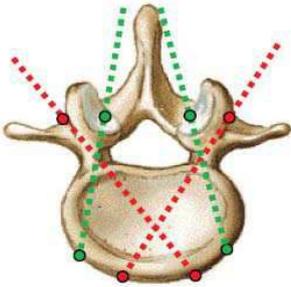
도면3



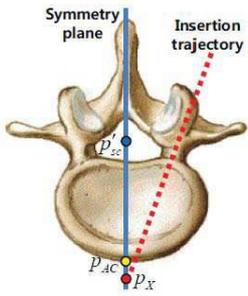
도면4



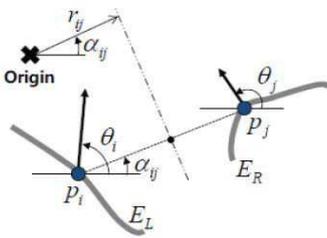
도면5



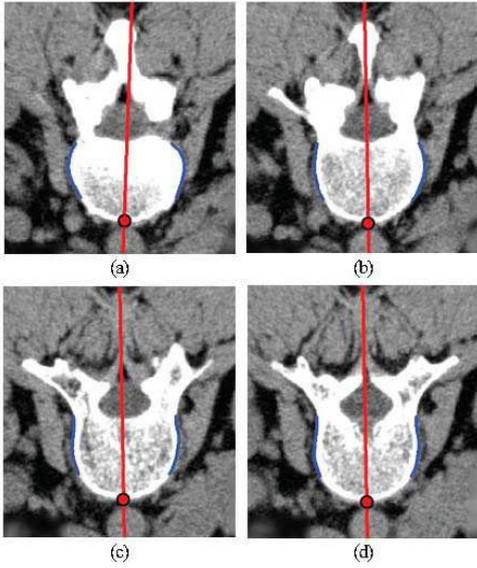
도면6



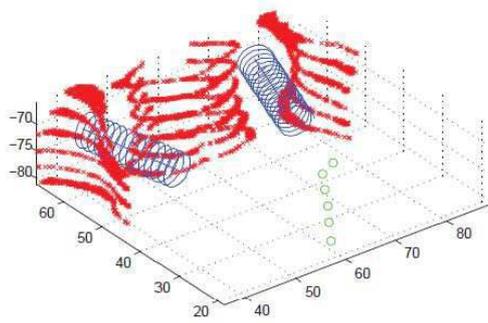
도면7



도면8



도면9



도면10

