



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월14일

(11) 등록번호 10-1481796

(24) 등록일자 2015년01월06일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/03 (2006.01) **G06Q 50/24** (2012.01)
G06T 7/00 (2006.01) **A61B 17/00** (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-0022881
- (22) 출원일자 2013년03월04일
 심사청구일자 2013년03월04일
- (65) 공개번호 10-2013-0100758
- (43) 공개일자 2013년09월11일
- (30) 우선권주장
 1020120021850 2012년03월02일 대한민국(KR)
- (56) 선행기술조사문헌
 KR1020110124036 A
 KR1020090071712 A
 WO2011009121 A1

- (73) 특허권자
포항공과대학교 산학협력단
 경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)
전북대학교산학협력단
 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567 (덕진동1가)
- (72) 발명자
유희천
 경북 포항시 남구 지곡로 155, 7동 201호 (지곡동, 교수아파트)
- 양샤오명**
 경북 포항시 남구 청암로 77, 2동 1001호 (지곡동, 대학원아파트)
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 14 항

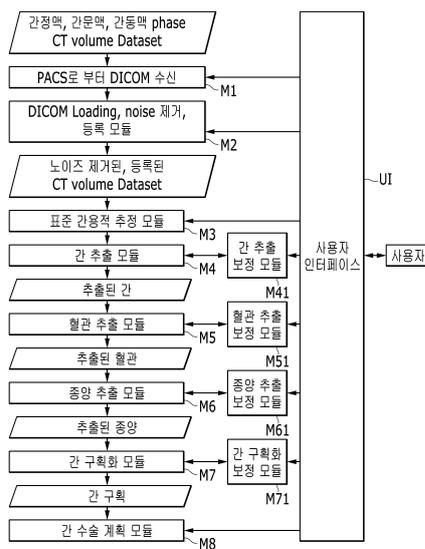
심사관 : 조형희

(54) 발명의 명칭 **3차원 가상 간 수술 계획 시스템**

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템은, PACS 서버로부터 복부 CT 볼륨 데이터 세트를 수신 받는 DICOM 수신 모듈과, 상기 수신된 복부 CT 볼륨 데이터를 로딩하고 노이즈를 제거하는 DICOM 로딩 및 노이즈 제거 모듈과, 상기 노이즈가 제거된 복부 CT 볼륨 데이터 세트로부터 표준 간용적(SLV)을 추정하는 표준 간용적 추정 모듈과, 3차원 간 영역을 추출하는 간 추출 모듈과, 간문맥, 간동맥, 그리고 하대정맥(IVC)을 포함하는 3차원 혈관 영역을 추출하는 혈관 추출 모듈과, 3차원 중앙 영역을 추출하는 중앙 추출 모듈과, 상기 추출된 3차원 간 영역을 사용자가 선정한 참조점 또는 구형 편집 도구에 의해 복수 개의 구획으로 구분하는 간 구획화 모듈과, 절단 평면, 간 구획, 또는 구형 편집 도구를 활용해 3차원 간 수술 계획을 수행하는 간 수술계획 모듈을 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

최영근

경기도 용인시 기흥구 기흥단지로 110번길 401호

이원섭

경북 포항시 북구 흥해읍 한동로 41-5, 402호 (대신주택)

조백환

전북 전주시 덕진구 솔내로 120, 402동 1102호 (송천동1가, 송천4차현대아파트)

유희철

전북 전주시 완산구 홍산로 390, 107동 301호 (효자동3가, 서부신시가지아이파크)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 0620220-1

부처명 보건복지부

연구관리전문기관 국립암센터

연구사업명 암정복추진연구개발사업 암전문연구센터

연구과제명 간담췌암 진단과 치료에 대한 새로운 전략(New strategies for the Diagnosis and Treatment of Hepatopancreaticobiliary cancer)

기여율 1/1

주관기관 전북대학교병원

연구기간 2006.05.01 ~ 2015.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

PACS (Picture Archiving and Communication System) 서버로부터 복부 CT (Computer tomography) 블록 데이터 세트를 수신 받는 DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) 수신 모듈;

상기 수신된 복부 CT 블록 데이터 세트를 로딩(loading)하고 노이즈를 제거하는 DICOM 로딩 및 노이즈 제거 모듈;

상기 노이즈가 제거된 복부 CT 블록 데이터 세트로부터 표준 간용적(standard liver volume, SLV)을 추정하는 표준 간용적 추정 모듈;

상기 표준 간용적 추정 모듈과 연결되어, 3차원 간 영역을 추출하는 간 추출 모듈;

상기 간 추출 모듈과 연결되어, 간문맥, 간동맥, 간정맥, 그리고 하대정맥(inferior vena cava, IVC)을 포함하는 3차원 혈관 영역을 추출하는 혈관 추출 모듈;

상기 혈관 추출 모듈과 연결되어, 3차원 종양 영역을 추출하는 종양 추출 모듈;

상기 추출된 3차원 간 영역을 사용자가 선정한 참조점 또는 구형 편집 도구에 의해 복수 개의 구획으로 구분하는 간 구획화 모듈; 및

상기 간 구획화 모듈과 연결되어, 절단 평면, 간 구획, 또는 구형 편집 도구를 활용해 3차원 간 수술 계획을 수행하는 간 수술계획 모듈;

을 포함하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 각 모듈과 연결되는 절차 중심(procedure-based)의 사용자 친화형 인터페이스를 더 포함하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 간 추출 모듈과 상호 작용하며, 상기 추출된 3차원 간 영역을 편집할 수 있는 간 추출 보정 모듈을 더 포함하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 혈관 추출 모듈과 상호 작용하며, 상기 추출된 3차원 혈관 영역을 편집할 수 있는 혈관 추출 보정 모듈을 더 포함하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 종양 추출 모듈과 상호 작용하며, 상기 추출된 3차원 종양 영역을 편집할 수 있는 종양 추출 보정 모듈을 더 포함하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 간 구획화 모듈과 상호 작용하며, 상기 구분된 간 구획을 편집할 수 있는 간 구획화 보정 모듈을 더 포함

하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 간 추출 모듈은 반자동 복합(hybrid) 간 추출 방법을 수행할 수 있는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 반자동 복합 간 추출 방법은,

사용자에 의해 다수의 CT 슬라이스로부터 선택된 다수의 씨앗 점(seed point)들을 사용하여 패스트 마칭 레벨셋(fast marching level set) 방법을 적용해 최초 간 영역을 도출하는 단계;

상기 도출된 최초 간 영역을 역치 기반 레벨셋(threshold-based level set) 방법을 통해 개선하는 단계; 및

상기 추출된 간 영역을 2차원 시점에서 크기 조절이 가능한 원을 통해 보정하거나, 3차원 시점에서 크기 조절이 가능한 공(ball)을 통해 보정하는 보정 단계;

을 포함하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 보정 단계에서,

3차원 시점 선택은 정면, 뒷면, 왼쪽면, 오른쪽면, 위쪽면, 아래쪽면의 버튼이 통합된 통합 3차원 시점 복원 버튼을 이용하여 구현하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 혈관 추출 모듈은,

역치 구간(threshold interval)과 씨앗 점을 사용하는 영역 확장(region growing) 방법에 의해 간문맥, 간동맥, 그리고 간정맥의 3차원 영역을 추출하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 영역 확장(region growing) 방법은,

상기 추출된 간 영역이 올려진 CT 볼륨을 로딩하는 단계;

상기 추출할 혈관이 포함될 수 있도록 구형 편집 도구를 통해 상기 간 영역을 편집하는 단계;

상기 편집된 간 영역으로 CT 볼륨을 마스킹(masking)하는 단계;

다수의 CT 슬라이스에 사용자로부터 선택된 다수의 씨앗 점을 입력 받는 단계;

상기 마스킹(masking)된 CT 볼륨의 데이터 세트의 인텐시티(intensity) 분포에 따라 초기 역치 구간(threshold interval)을 찾는 단계;

상기 초기 역치 구간(threshold interval)의 하위 임계점(lower threshold)과 상위 임계점(upper threshold)을 미세하게 조정하여 복수 개의 추가적인 역치 구간(threshold interval)을 생성하는 단계; 및

초기 역치 구간과 추가적인 역치 구간(threshold interval)을 기반으로 복수 개의 혈관 구조를 추출하여 용적 정보와 함께 3차원 시점에서 제공하는 단계;

를 포함하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 추출된 혈관을 사용자가 2차원 또는 3차원 시점에서 원형 또는 구형 편집 도구를 통해 편집할 수 있는 단계를 더 포함하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 간 구획화 모듈은,

세그먼트(segment) 1 형성하는 단계;

상기 간을 좌엽과 우엽으로 구분하는 단계;

상기 우엽을 전분절(anterior sector)과 후분절(posterior sector)로 구분하는 단계;

상기 좌엽을 내분절(medial sector)(세그먼트 4)과 외분절(lateral sector)로 구분하는 단계;

상기 후분절(posterior sector)을 세그먼트(segment) 6과 세그먼트(segment) 7로 구분하는 단계;

상기 전분절(anterior sector)을 세그먼트(segment) 5와 세그먼트(segment) 8로 구분하는 단계; 및

상기 외분절(lateral sector)을 세그먼트(segment) 2와 세그먼트(segment) 3으로 구분하는 단계;

를 수행하도록 구성되는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

청구항 14

제 1 항에 있어서,

상기 추출된 간, 혈관, 종양, 그리고 간 구획들의 실시간 용적계산 값을 나타내는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에 관한 것으로, 의사들에게 안전하고 합리적인 수술을 위한 효과적인 방법을 제공하는 3차원 가상 간 수술 계획 시스템이다.

배경기술

[0002] 주요 간 절제술의 안전성은 간의 상대적 잔여용적(%RLV)과 전체 기능적 간 용적(TFLV, total liver functional liver volume = 전체 간 용적 - 종양의 용적)에 대한 잔여 간 용적의 비율에 의해 예측 가능하다.

[0003] 예를 들어, Schindl 외(2005. Schindl, M J, Redhead, D N, Fearon, K C H, Garden, O J, Wigmore, S J. The value of residual liver volume as a predictor of hepatic dysfunction and infection after major liver resection. *Gut* 54(2), 289-296.)는 정상적인 간 기능을 가진 104명의 환자에 대해 %RLV가 27% 미만일 경우 외과 수술 후의 심각한 간 기능 장애의 발생률이 90% 이상인 반면, %RLV가 27% 이상일 경우에는 간 기능 장애 발생률이 13%인 것으로 보고하였다. Ferrero 외(2007. Ferrero, A., Vigano, L., Polastri, R., Muratore, A., Eminefendic, H., Regge, D., Capussotti, L. Postoperative liver dysfunction and future remnant liver: Where is the limit? Results of a prospective study. *World Journal of Surgery* 31 (8), 1643-1651.)는 119명의 환자에 대한 분석결과, 간 절제술은 건강한 간을 가진 환자의 경우 %RLV가 26.5% 이상일 때, 그리고 간 기능이 손상된 환자의 경우 31% 이상일 때 안전한 것으로 제안하였다.

[0004] 합리적인 간 절제술은 절제 위치와 방향, 그리고 간 절제 단면의 형상을 적절하게 선정하는 것이 요구되며 3가지 간 혈관(간문맥, 간정맥, 그리고 간동맥) 구조를 고려하여 종양의 위치를 규명함에 의해 계획될 수 있다. 안전하고 합리적인 간 수술을 위해 3차원 가상 간 수술 시스템은 종양의 위치와 크기, 간 관련 혈관들의 구조, 그리고 간 구획에 대한 시각적 정보뿐만 아니라 기존 간(liver), 잔여 간(remnant), 그리고 이식할 간(graft)의

용적에 대한 정량적 정보를 제공해야 한다.

[0005] Rapidia (Infinit Co., Ltd, South Korea), Voxar 3D (TOSHIBA Co., Japan), Syngovia (SIEMENS Co., Germany), 그리고 OsriX (Pixmeo Co., Switzerland)와 같은 대부분의 기존 가상 수술 시스템은 간 수술 계획에 특화된 기능을 제공하지 않는다. 또한, 이러한 일반적인 가상 수술 시스템은 외과의사들이 수술 전 간 수술을 계획하기에는 임상적으로 활용하기에는 미흡한 수준의 기능을 제공한다. 예를 들어, 일반적인 가상 수술 시스템이 제공하는 수동 또는 반자동 간 추출 기능은 많은 작업 처리 시간을 요구하며(30분 이상) 사용자에게 상당한 노력을 요구한다. 또한, 일반적인 가상 수술 시스템은 간 구획 구분기능과 간 수술 계획 기능을 제공하지 않는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 배경기술의 문제점을 해결하고 최적의 간 수술 계획을 위해, (1) 절차 중심의 사용자 인터페이스, (2) 3차원 CT 영상 가공, (3) 용적계산, (4) 2차원 및 3차원 형상 보정, (5) 시각화 기술, (6) 조작 기법 등을 구현한 3차원 가상 간 수술 계획 시스템을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템은, PACS (Picture Archiving and Communication System) 서버로부터 복부 CT (Computer tomography) 볼륨 데이터 세트를 수신 받는 DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) 수신 모듈과, 상기 수신된 복부 CT 볼륨 데이터 세트를 로딩(loading)하고 노이즈를 제거하는 DICOM 로딩 및 노이즈 제거 모듈과, 상기 노이즈가 제거된 복부 CT 볼륨 데이터 세트로부터 표준 간용적(standard liver volume, SLV)을 추정하는 표준 간용적 추정 모듈과, 상기 표준 간용적 추정 모듈과 연결되어, 3차원 간 영역을 추출하는 간 추출 모듈과, 상기 간 추출 모듈과 연결되어, 간문맥, 간동맥, 간정맥, 그리고 하대정맥(inferior vena cava, IVC)을 포함하는 3차원 혈관 영역을 추출하는 혈관 추출 모듈과, 상기 혈관 추출 모듈과 연결되어, 3차원 중앙 영역을 추출하는 중앙 추출 모듈과, 상기 추출된 3차원 간 영역을 사용자가 선정한 참조점 또는 구형 편집 도구에 의해 복수 개의 구획으로 구분하는 간 구획화 모듈과, 상기 간 구획화 모듈과 연결되어, 절단 평면, 간 구획, 또는 구형 편집 도구를 활용해 3차원 간 수술 계획을 수행하는 간 수술 계획 모듈을 포함한다.

[0008] 상기 각 모듈과 연결되는 절차 중심(procedure-based)의 사용자 친화형 인터페이스를 더 포함할 수 있다.

[0009] 상기 간 추출 모듈과 상호 작용하며, 상기 추출된 3차원 간 영역을 편집할 수 있는 간 추출 보정 모듈을 더 포함할 수 있다.

[0010] 상기 혈관 추출 모듈과 상호 작용하며, 상기 추출된 3차원 혈관 영역을 편집할 수 있는 혈관 추출 보정 모듈을 더 포함할 수 있다.

[0011] 상기 중앙 추출 모듈과 상호 작용하며, 상기 추출된 3차원 중앙 영역을 편집할 수 있는 중앙 추출 보정 모듈을 더 포함할 수 있다.

[0012] 상기 간 구획화 모듈과 상호 작용하며, 상기 구분된 간 구획을 편집할 수 있는 간 구획화 보정 모듈을 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 간 추출 모듈은 반자동 복합(hybrid) 간 추출 방법을 수행할 수 있다.

[0014] 상기 반자동 복합 간 추출 방법은, 사용자에 의해 다수의 CT 슬라이스로부터 선택된 다수의 씨앗 점(seed point)들을 사용하여 패스트 마칭 레벨셋(fast marching level set) 방법을 적용해 최초 간 영역을 도출하는 단계, 상기 도출된 최초 간 영역을 역치 기반 레벨셋(threshold-based level set) 방법을 통해 개선하는 단계, 상기 추출된 간 영역을 2차원 시점에서 크기 조절이 가능한 원을 통해 보정하거나, 3차원 시점에서 크기 조절이 가능한 공(ball)을 통해 보정하는 보정 단계를 포함한다.

[0015] 상기 보정 단계에서, 3차원 시점 선택은 정면, 뒷면, 왼쪽면, 오른쪽면, 위쪽면, 아래쪽면의 버튼이 통합된 통합 3차원 시점 복원 버튼을 이용하여 구현할 수 있다.

[0016] 상기 혈관 추출 모듈은, 역치 구간(threshold interval)과 씨앗 점을 사용하는 영역 확장(region growing) 방

법에 의해 간문맥, 간동맥, 그리고 간정맥의 3차원 영역을 추출할 수 있다.

[0017] 상기 영역 확장(region growing) 방법은, 상기 추출된 간 영역이 올려진 CT 볼륨을 로딩하는 단계, 상기 추출할 혈관이 포함될 수 있도록 구형 편집 도구를 통해 상기 간 영역을 편집하는 단계, 상기 편집된 간 영역으로 CT 볼륨을 마스크(masking)하는 단계, 다수의 CT 슬라이스에 사용자로부터 선택된 다수의 씨앗 점을 입력 받는 단계, 상기 마스크(masking)된 CT 볼륨의 데이터 세트의 인텐시티(intensity) 분포에 따라 초기 역치 구간(threshold interval)을 찾는 단계, 상기 초기 역치 구간(threshold interval)의 하위 임계점(lower threshold)과 상위 임계점(upper threshold)을 미세하게 조정하여 복수 개의 추가적인 역치 구간(threshold interval)을 생성하는 단계, 초기 역치 구간과 추가적인 역치 구간(threshold interval)을 기반으로 복수 개의 혈관 구조를 추출하여 용적 정보와 함께 3차원 시점에서 제공하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 추출된 혈관을 사용자가 2차원 또는 3차원 시점에서 원형 또는 구형 편집 도구를 통해 편집할 수 있는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019] 상기 간 구획화 모듈은, 세그먼트(segment) 1 형성하는 단계, 상기 간을 좌엽과 우엽으로 구분하는 단계, 상기 우엽을 전분절(anterior sector)과 후분절(posterior sector)로 구분하는 단계, 상기 좌엽을 내분절(medial sector)(세그먼트 4)과 외분절(lateral sector)로 구분하는 단계, 상기 후분절(posterior sector)을 세그먼트(segment) 6과 세그먼트(segment) 7로 구분하는 단계, 상기 전분절(anterior sector)을 세그먼트(segment) 5와 세그먼트(segment) 8로 구분하는 단계, 상기 외분절(lateral sector)을 세그먼트(segment) 2와 세그먼트(segment) 3으로 구분하는 단계를 수행하도록 구성될 수 있다.

[0020] 상기 추출된 간, 혈관, 종양, 그리고 간 구획들의 실시간 용적계산 값을 나타낼 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명의 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에 의하면 사용자 중심의 인터페이스를 통해 사용자는 손쉽게 절차에 따라 간, 혈관, 그리고 종양을 추출하고, 간 구획을 나눌 수 있으며, 수술 계획을 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 본 발명의 특징과 장점은 첨부된 도면과 세부적 묘사를 통해 뚜렷해 질 수 있다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템의 전체 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템의 간 추출 단계의 정보 처리 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템의 간 추출 단계에서 간 추출을 위한 씨앗 점(seed point) 선정의 예를 나타낸 이미지 사진이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템의 간 추출 단계에서 추출된 간의 영역을 3차원 시점에서 크기 조절이 가능한 3차원 공(ball)을 통해 편집하는 예를 나타낸 이미지 사진이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템의 간 추출 단계에서 혈관 추출 처리 흐름도이다.

도 6a 내지 도 6f는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 사용자가 최상의 추출 결과를 선택할 수 있도록 다양한 역치 구간(threshold interval)을 기반으로 추출된 6개의 예상 혈관구조 후보들을 제공하는 기능을 예시적으로 나타낸 이미지 사진이고, 도 6g 및 6h는 예상 혈관구조 후보들의 체적을 나타낸 그래프와 표이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 색상 조합 체계(color scheme)를 가진 통합 3차원 시점 복원 버튼(button)을 예시적으로 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 간 구획 분류를 위한 절단 평면 기반의 3단계 절차를 나타낸 흐름도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 간 구획 분류를 위한 구형 편집 도구 기반의 3단계 절차를 나타낸 흐름도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 간 구획 분류 절차를 나타낸 흐름도

이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 간을 우엽과 좌엽으로 구분하기 위해 사용되는 참조점을 나타낸 이미지 사진이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 구형 편집 도구를 통해 우엽과 좌엽으로 구분된 간을 나타낸 이미지 사진이다.

도 13a는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 절단될 간 구획 선택을 통한 수술 계획의 예를 나타낸 이미지 사진이고, 도 13b는 각 구획별 체적과 색상표를 나타낸 범례이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 구형 편집 도구를 통한 수술 계획의 예를 나타낸 이미지 사진이다.

도 15a 내지 도 15f는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 절차 중심의 사용자 인터페이스의 예를 나타낸 이미지 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 붙였다.

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템의 전체 구성도이다.

[0025] 본 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템은, DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) 수신 모듈(M1), DICOM 로딩 및 노이즈 제거 모듈(M2), 표준 간용적 추정 모듈(M3), 간 추출 모듈(M4), 혈관 추출 모듈(M5), 종양 추출 모듈(M6), 간 구획화 모듈(M7), 간 수술 계획 모듈(M8)을 포함하며, 간 추출 모듈(M4)에는 간 추출 보정 모듈(M41)이 연결되고, 혈관 추출 모듈(M5)에는 혈관 추출 보정 모듈(M51)이 연결되며, 종양 추출 모듈(M6)에는 종양 추출 보정 모듈(M61)이 연결되고, 간 구획화 모듈(M7)에는 간 구획화 보정 모듈(M71)이 연결된다.

[0026] 본 실시예에 따른 시스템에서, 먼저 간동맥 상(phase), 간문맥 상(phase), 그리고 간정맥 상(phase)으로부터의 CT (Computer tomography) 볼륨 데이터 세트(volume data set)가 시스템에 입력된다. 상기 DICOM 수신 모듈(M1)은 PACS (Picture Archiving and Communication System) 서버로부터의 다양한 상(phase)의 CT 볼륨 데이터를 전송 받아 로컬 저장소에 저장할 수 있다. 상기 DICOM 로딩(load) 및 노이즈(noise) 제거 모듈(M2)은 CT 볼륨 데이터 세트를 시스템에 로딩하여 노이즈를 제거하고, 각 상(phase)의 CT 볼륨 데이터 세트를 등록한다. 표준 간용적(standard liver volume, SLV) 추정 모듈(M3)은 3가지 회귀모형을 통해 추정된 표준 간용적(SLV)을 제공할 수 있다.

[0027] 간 추출 모듈(M4)은 간 영역을 추출하기 위해 노이즈가 제거된 간문맥 상(phase)의 CT 볼륨 데이터 세트를 사용한다. 추출된 간은 CT 영상 위의 2차원 시점과 3차원 시점으로 시각화될 수 있으며, 사용자는 간 추출 보정 모듈(M41)을 통해 2차원과 3차원 시점에서 3차원 간 영역을 자유롭게 편집할 수 있다. 상기 간 추출 모듈(M4)은 추출된 간의 용적을 계산하는 기능을 또한 제공한다.

[0028] 혈관 추출 모듈(M5)은 4가지 3차원 혈관들(간문맥, 간동맥, 간정맥, 그리고 하대정맥)을 추출하기 위해 노이즈가 제거된 후 등록된 간동맥 상(phase), 간문맥 상(phase), 그리고 간정맥 상(phase)의 CT 볼륨 데이터 세트를 입력 정보로 사용한다. 추출된 혈관은 CT 영상 위의 2차원 시점과 3차원 시점으로 시각화될 수 있으며, 추출된 혈관의 영역은 혈관 추출 보정 모듈(M51)을 통해 2차원 시점과 3차원 시점에서 효과적으로 편집될 수 있다. 상기 혈관 추출 모듈(M5)은 추출된 혈관의 용적을 계산하는 기능을 또한 제공한다.

[0029] 본 실시예의 시스템은 CT 볼륨 데이터 세트로부터 종양을 추출하기 위해 종양 추출 모듈(M6)을 제공한다. 추출된 종양은 CT 영상 위의 2차원 시점과 3차원 시점으로 시각화될 수 있으며, 사용자는 종양 추출 보정 모듈(M61)을 통해 추출된 종양의 영역을 2차원 시점과 3차원 시점 모두에서 효과적으로 편집할 수 있다. 상기 종양 추출 모듈(M6)은 추출된 종양의 용적을 계산하는 기능을 또한 제공한다.

[0030] 본 실시예의 시스템은 상기 추출된 간을 몇 개의 구획으로 분류하기 위한 간 구획화 모듈(M7)을 제공한다. 간 구획화 모듈(M7)은 사용자가 CT 영상 위의 2차원 시점에서 복수 개의 참조점(landmark)을 선정하기 위한 상호작용적(interactive)인 방법을 제공하며, 선정된 참조점들은 2차원 시점과 3차원 시점에서 시각화될 수 있다. 선

정된 참조점(landmark)들에 의해 생성된 절단 평면 또는 구형 편집 도구를 기반으로 간을 여러 개의 구획으로 구분할 수 있다. 구분된 간 구획들은 3차원 시점에서 시각화될 수 있으며, 구분된 간을 각 구획별로 다른 색상으로 시각화할 수 있는 색상 조합 체계(color scheme)가 함께 제공된다. 간 구획화 모듈(M7)은 각 구획의 색상과 투명도를 조절할 수 있는 상호작용적인 방법을 제공하며, 각 구획의 용적을 계산하는 기능도 제공할 수 있다. 간 구획화는 간 구획화 보정 모듈(M71)을 통해 보정될 수 있다.

- [0031] 마지막으로, 간 수술 계획 모듈(M8)은 이전 모듈들의 결과물들을 사용하고, 간, 혈관, 종양, 간 구획 그리고 간 구획내의 상대적인 공간적 관계(relative spatial relationship) 정보를 제공하며, 이들을 3차원 시점에서 시각화하는 기능을 제공한다. 상기 수술 계획 모듈(M8)은 종양이 있는 간 부분을 잘라내기 위한 하나 이상의 절단 평면을 제공하며, 절단 평면의 방향, 위치, 형태를 조절할 수 있고, 절단 평면 또는 구형 편집도구를 활용해서 종양이 있는 간 구획을 잘라낼 수 있는 기능을 제공한다. 또한 상기 간 수술 계획 모듈(M8)은 효과적인 수술 계획을 위해 상대적인 간 용적 정보를 3차원 시점에서 시각화하여 제공할 수 있다. 사용자는 가상 간 수술 계획을 수행하기 위해 사용자 인터페이스(UI)를 통해 간 수술 계획 모듈(M8)을 활용할 수 있다.
- [0032] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템의 간 추출 단계의 정보 처리 흐름도이다. 상기 간 추출 모듈은 반자동 복합(hybrid) 간 추출 방법을 수행할 수 있다. 즉, 선택된 씨앗 점을 기반으로 초기 간 영역을 자동으로 추출한 후, 수동으로 추가적인 보정을 통하여 3차원 간 영역을 추출하게 된다. 이하에 상세하게 설명한다.
- [0033] 첫째, 간문맥 상(phase) CT 볼륨 데이터 세트의 노이즈를 제거한다(S41).
- [0034] 둘째, 사용자가 마우스를 활용해 간 영역에 다수의 씨앗 점들을 선정한다(S42). 선정된 씨앗 점들은 예를 들어 빨간 점으로 표시될 수 있다. 하나의 CT 볼륨 데이터 세트에서 동일한 간격으로 5개 정도의 슬라이스(slice)를 선택하는 것이 좋다. 간 영역이 넓은 경우에는 하나의 슬라이스당 7 ~ 15개의 씨앗 점들이 선정될 필요가 있으며, 간 영역이 좁을 경우에는 하나의 슬라이스당 1 ~ 4개의 씨앗 점들이 선정될 수 있다(도 3 참조). 씨앗 점들은 가장자리를 포함하여 전반적인 간 영역을 아우르도록 선정될 수 있다.
- [0035] 셋째, 페스트 마칭 레벨셋(fast marching level-set) 방법을 통해 최초 간 영역이 도출된다(S43). 상기 도출된 최초 간 영역이 너무 넓게 추출되어 적절하지 않은 경우, 사용자는 씨앗 점 선정 단계로 돌아가 씨앗 점들을 다시 선정할 수 있다.
- [0036] 넷째, 역치 기반 레벨셋(threshold-based level-set) 방법을 통해 초기 형성된 간 영역이 확정될 수 있다(S45). 추출된 간 영역이 적절하다면 간 추출 작업은 종료될 수 있다(S46). 그러나 사용자가 추출된 간을 편집하고 싶다면 2차원과 3차원 시점에서 크기 조절이 가능한 원이나 공(ball)을 통해 간이 아닌 부분을 제거하거나 소실된 부분을 복원할 수 있다(S47). 즉, 크기 조절이 가능한 2차원 원 또는 크기 조절이 가능한 3차원 공을 제공하여 사용자가 간이 아닌 영역을 클릭(click) 및 드래그(drag)를 통해 효과적으로 제거할 수 있다.
- [0037] 도 4는 추출된 간의 영역을 3차원 시점에서 크기 조절이 가능한 3차원 공(ball)을 사용해 간 영역이 아닌 부분을 제거하는 예를 나타낸 이미지 사진이다.
- [0038] 다음으로, 상기 보정된 간 영역의 표면을 부드럽게 처리하는 단계를 수행할 수 있으며, 상기 간 추출 단계에서 추출된 간의 용적을 계산하여 화면에 나타낼 수도 있다.
- [0039] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템의 간 추출 단계에서 혈관 추출 처리 흐름도이다.
- [0040] 첫째, 간동맥 상(phase), 간문맥 상(phase), 그리고 간정맥 상(phase) CT 볼륨 데이터 세트의 노이즈를 제거한다(S51).
- [0041] 둘째, 사용자는 추출된 간 영역을 기반으로 구형 편집 도구를 활용해 혈관이 포함된 영역을 마스킹(masking) 한다(S52).
- [0042] 셋째, 사용자가 마우스를 활용해 1 ~ 2장 CT 슬라이스(slice)의 혈관 영역에 다수의 씨앗 점을 선정한다(S53).
- [0043] 넷째, 마스킹(masking) 된 CT 영상의 인텐시티(intensity) 분포에 따라 초기 역치 구간(threshold interval)이 자동으로 도출된 후, 도출된 역치 구간(threshold interval)과 미세하게 다른 5개의 역치 구간(threshold interval)들이 자동으로 결정된다(S54).
- [0044] 다섯째, 6 가지 역치 구간(threshold interval)을 기반으로 영역 확장(region growing) 방법을 통해 혈관구조

가 추출된다(S55). 이후, 추출된 6 가지 혈관 구조 후보들은 용적 정보와 함께 3차원으로 보여진다(S56). 6가지 혈관 구조 후보 중 만족스러운 결과가 있는지 여부를 확인하여(S57), 6 가지 혈관 구조 후보 중 만족스러운 결과가 있다면, 사용자는 해당 결과를 최종 결과로 선택할 수 있다(S58)(도 6a 내지 6h 참조). 그러나 6 가지 후보 중 만족스러운 결과가 없다면, 사용자는 씨앗 점 선정 단계(S53)에서부터 다시 혈관 추출 절차를 반복할 수 있다.

[0045] 마지막으로, 사용자는 선택한 혈관 구조를 2차원과 3차원 시점에서 보정할 수 있다(S59). 보정된 결과가 만족스러울 경우 혈관 추출 절차는 종료되고, 그렇지 않다면 보정 절차를 다시 수행할 수 있다.

[0046] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 색상 조합 체계(color scheme)를 가진 통합 3차원 시점 복원 버튼(A, P, S, I, L, 그리고 R)을 예시적으로 나타낸 도면이다. 통합 버튼에는 두 가지 색상이 적용되어 있다(A, S, L 버튼에는 하늘색, 그리고 P, I, R 버튼에는 황색). 각 버튼들은 각자의 위치가 있는데, A 버튼은 정면, P 버튼은 뒤면, L 버튼은 왼쪽면, R 버튼은 오른쪽면, S 버튼은 위쪽면, 그리고 I 버튼은 아래쪽에 위치하고 있다. 사용자는 통합 버튼 중 하나를 선택하여 3차원 시점을 특정 시점으로 복원할 수 있다.

[0047] 즉, 상기 통합 버튼은 3차원 화면에서 방향 또는 위치가 사용자에게 의해 자유롭게 조정되었을 경우 특정 방향으로 한 번에 복귀할 수 있도록 기능 설정될 수 있다. 예를 들어, 추출된 3차원 간을 오른쪽에서 보고 있는 상황에서 간의 뒷면을 보는 상황으로 바로 변경하고 싶을 경우 P 버튼을 누르면 간을 뒤에서 보는 시점으로 화면이 변경된다.

[0048] 또한, 색상 조합 체계는 각 시점의 위치적 의미를 고려하여 왼쪽, 위쪽, 정면의 경우 하늘색, 그리고 오른쪽, 아래쪽, 뒷면의 경우 황색을 배정하였으며, 이는 인간공학적으로 사용자가 쉽게 버튼의 의미를 인지하고 활용할 수 있도록 한 것이다.

[0049] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 간 구획 분류를 위한 절단 평면 기반의 3단계 절차를 나타낸 흐름도이다.

[0050] 첫째, 간은 Couinaud model에 의해 간정맥과 간문맥의 혈관 구조에 기반하여 여러 개의 구획으로 구분될 수 있다. 구획을 나누기 위해 사용자는 2차원 CT 영상에 컴퓨터 마우스를 사용하여 참조점(landmark)들을 선정할 수 있다(S701). 선정된 곳은 빨간 점으로 표현되어 참조점으로 선정되었음이 표시될 수 있다. 이와 동시에, 3차원 시점의 동일한 위치에 빨간 구체를 통해 참조점이 선정되었음을 표시할 수 있다.

[0051] 둘째, 간을 구획화하기 위해 앞서 선정된 참조점들을 통과하는 절단 평면을 생성한다(S702).

[0052] 셋째, 사용자는 절단 평면을 조정하여 구분된 간 구획을 보정할 수 있다(S703). 절단 평면의 위치와 각도는 3차원 시점에서 드래깅(dragging)을 통해 자유롭게 조정 될 수 있다.

[0053] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 간 구획 분류를 위한 구형 편집 도구 기반의 3단계 절차를 나타낸 흐름도이다.

[0054] 첫째, 추출된 간 영역이 loading되어 원본 CT 영상 위에 올려진다(S711).

[0055] 다음으로, Couinaud model에 따른 간 구획들이 구형 편집 도구를 통해 분류된다(S712).

[0056] 마지막으로, 분류된 간 영역은 구형 편집 도구를 통해 필요에 따라 보정될 수 있다(S713).

[0057] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 가상 간 수술 계획 시스템에서 간 구획 분류 절차를 나타낸 흐름도이고, 도 11은 간을 우엽과 좌엽으로 구분하기 위해 사용되는 3개의 참조점(middle hepatic vein, entrance of right portal vein, gallbladder fossa)을 나타낸 이미지 사진이며, 도 12는 CT 영상을 기반으로 추출된 3차원 간 영역(extracted liver region)을 구형 편집 도구(segmentation sphere)를 통해 우엽(right lobe)과 좌엽(left lobe)으로 구분하여 예시한 이미지 사진이다.

[0058] 첫째, 세그먼트(구획, segment) 1이 형성된다(S721).

[0059] 둘째, 간은 간정맥 중앙(middle hepatic vein), 우문맥 입구(entrance of right portal vein), 그리고 담낭상(gallbladder fossa, 도 11 참조)를 지나는 절단 평면 또는 구형 편집 도구(segmentation sphere)(도 12 참조)에 의해 좌엽(right lobe)과 우엽(left lobe)으로 구분된다(S722).

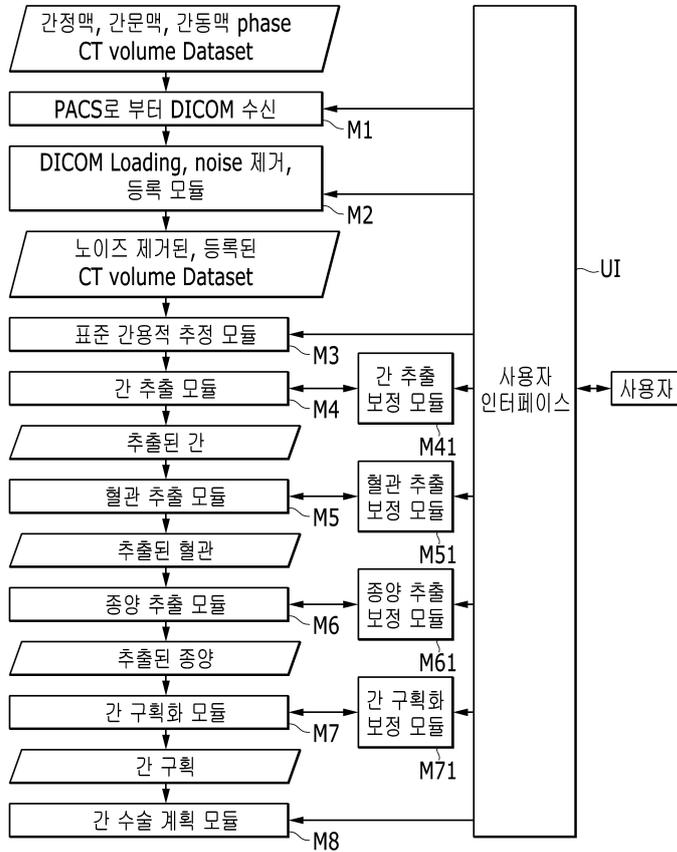
[0060] 셋째, 우엽은 우정맥을 따라 전분절(anterior sector)와 후분절(posterior sector)로 구분될 수 있다(S723).

M61 : 종양 추출 보정 모듈

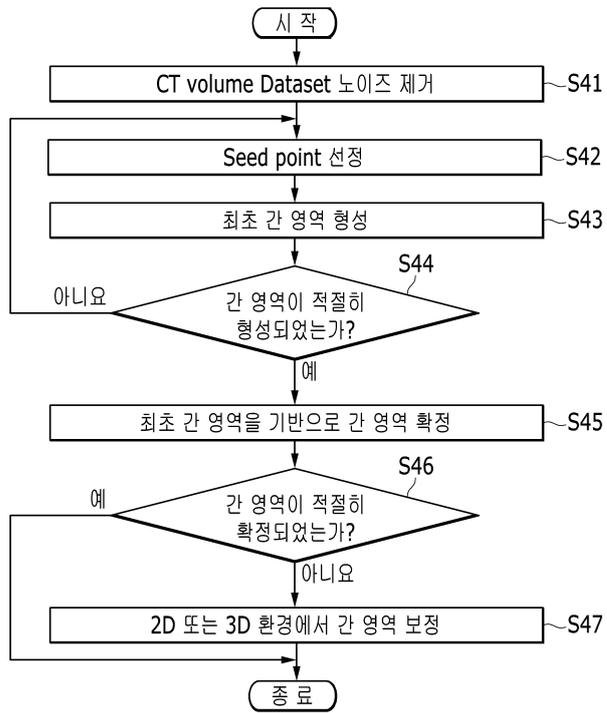
M71 : 간 구획화 보정 모듈

도면

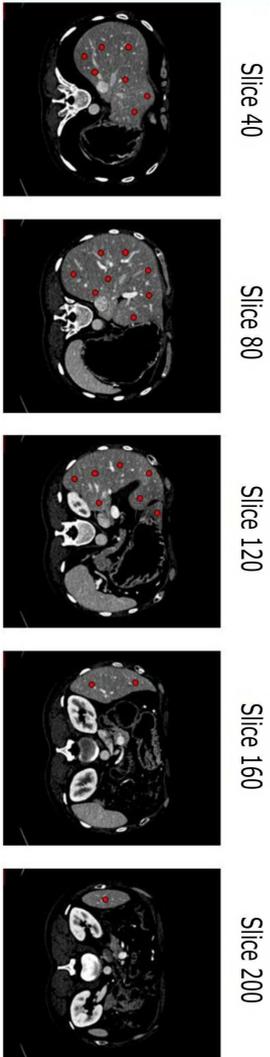
도면1



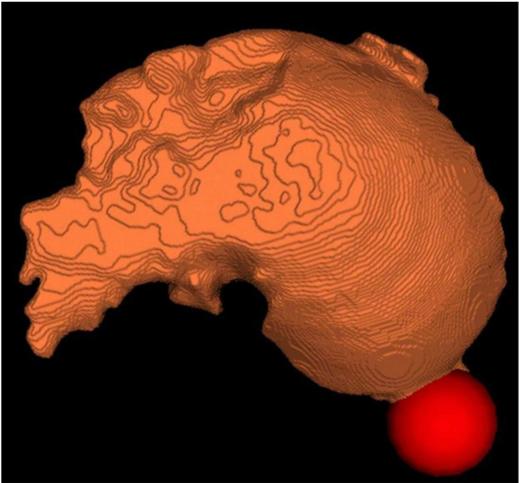
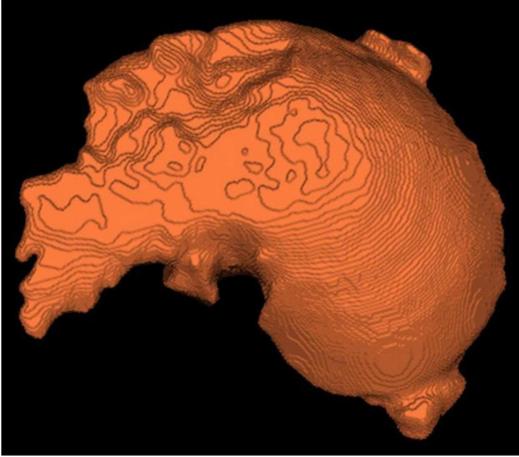
도면2



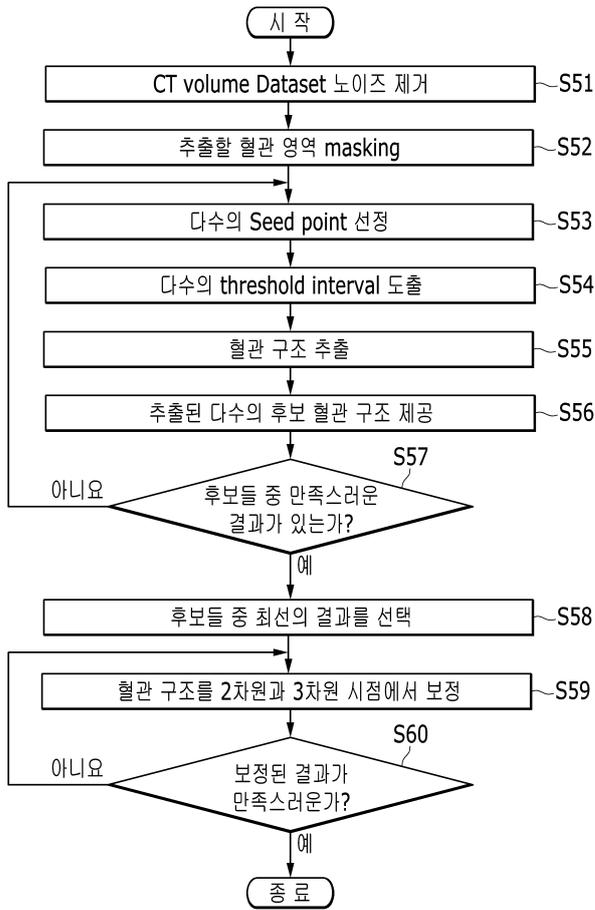
도면3



도면4



도면5



도면6a

1: (129, 137)



도면6b

2: (128, 137)



도면6c

3: (127, 137)



도면6d

4: (126, 137)



도면6e

5: (125, 137)

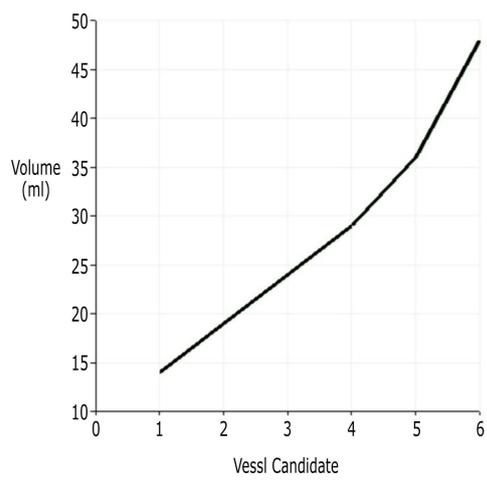


도면6f

6: (124, 137)



도면6g

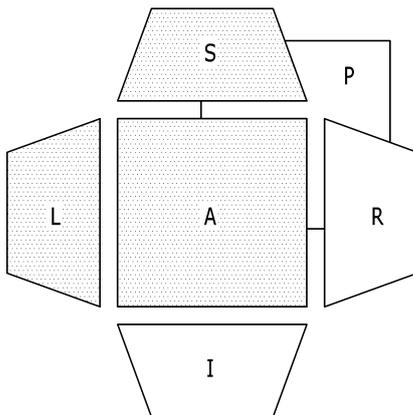


도면6h

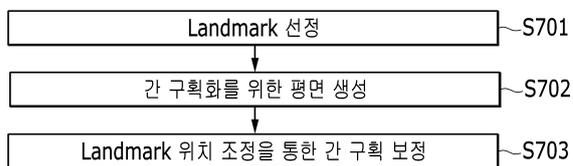
No.	Volume (ml)	Selection
1	14	<input type="checkbox"/>
2	19	<input type="checkbox"/>
3	24	<input type="checkbox"/>
4	29	<input type="checkbox"/>
5	36	<input type="checkbox"/>
6	48	<input type="checkbox"/>

Confirm

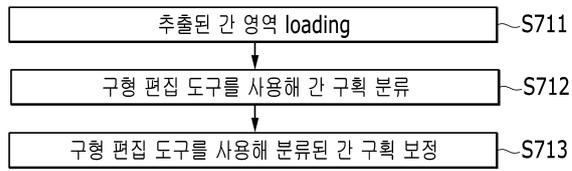
도면7



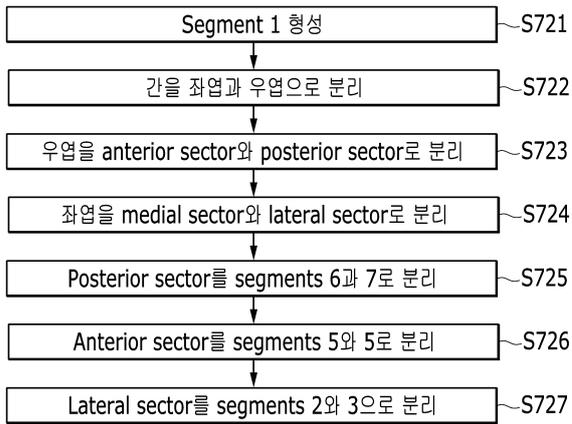
도면8



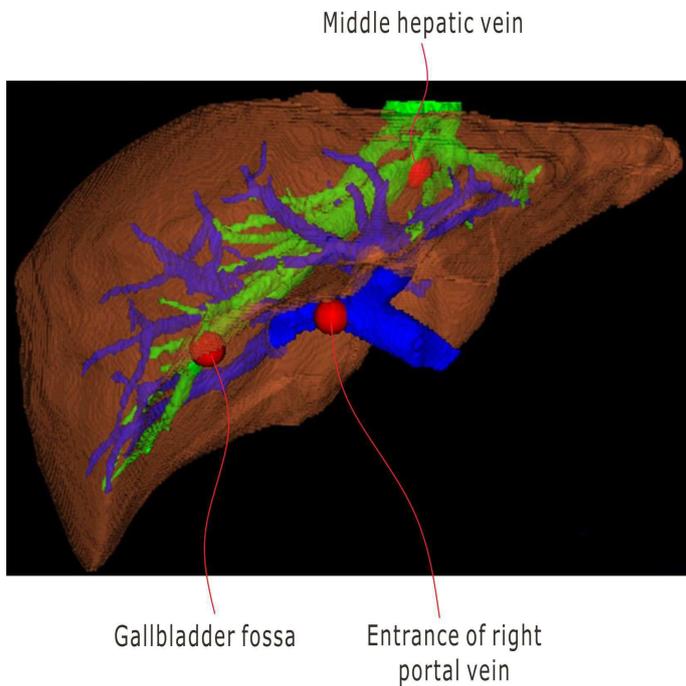
도면9



도면10

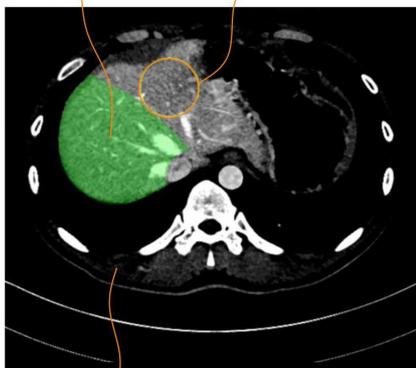


도면11



도면12

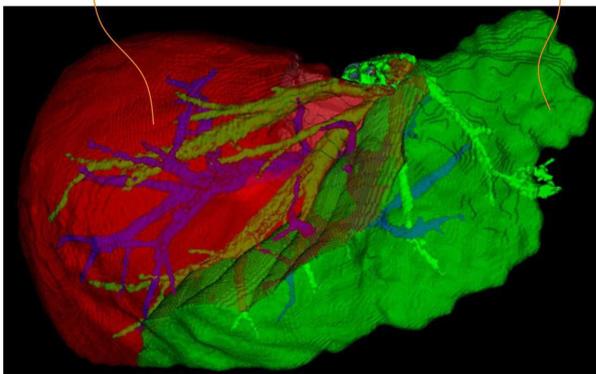
Extracted liver region Segmentation sphere



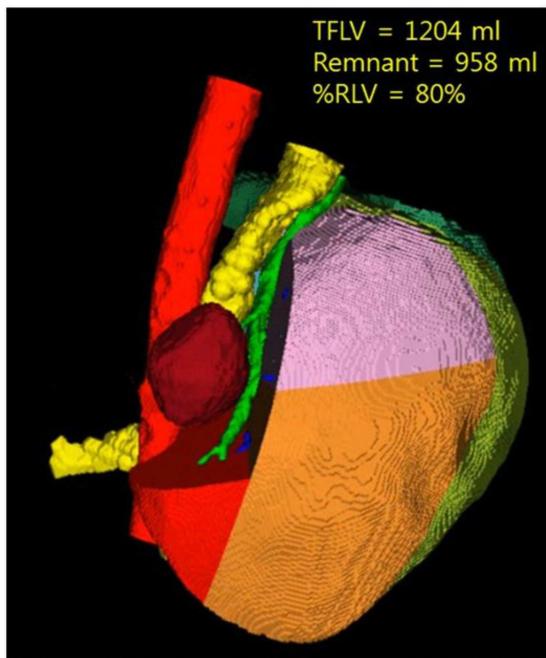
Original CT image

Right lobe

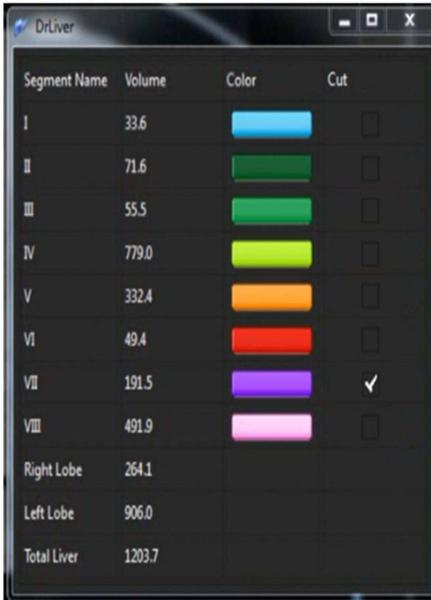
Left lobe



도면13a

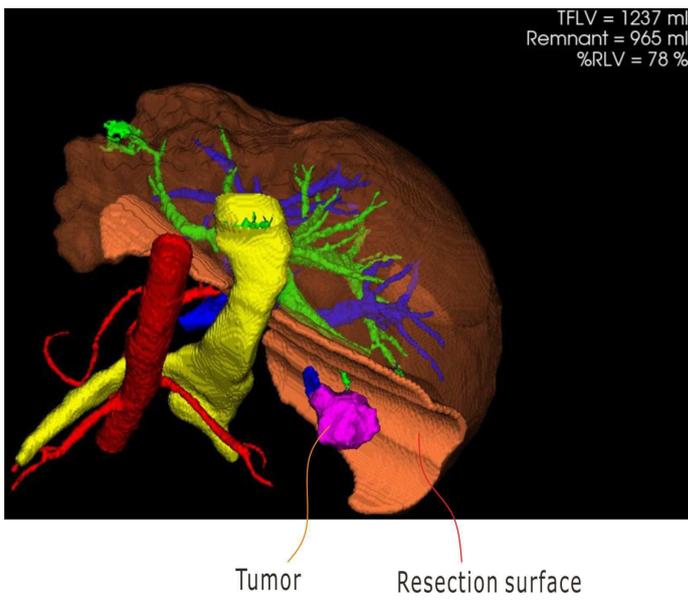


도면13b



Segment Name	Volume	Color	Cut
I	33.6	Blue	<input type="checkbox"/>
II	71.6	Green	<input type="checkbox"/>
III	55.5	Light Green	<input type="checkbox"/>
IV	779.0	Yellow	<input type="checkbox"/>
V	332.4	Orange	<input type="checkbox"/>
VI	49.4	Red	<input type="checkbox"/>
VII	191.5	Purple	<input checked="" type="checkbox"/>
VIII	491.9	Pink	<input type="checkbox"/>
Right Lobe	264.1		
Left Lobe	906.0		
Total Liver	1203.7		

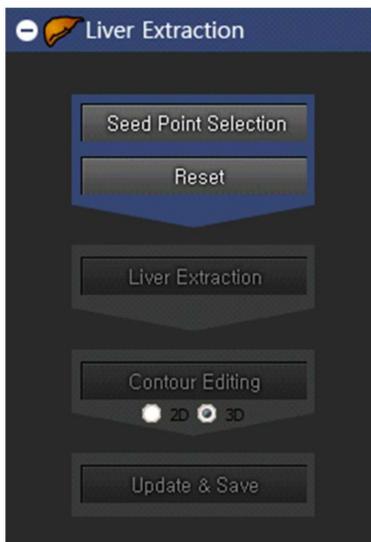
도면14



도면15a



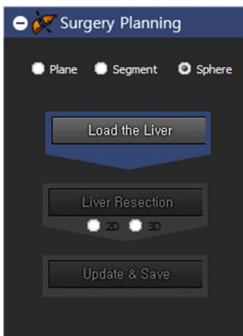
도면15b



도면15c



도면15d



도면15e



도면15f

