



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0042854
(43) 공개일자 2015년04월21일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>A61B 5/00</i> (2006.01) <i>A61B 5/02</i> (2006.01)
 <i>A61B 5/021</i> (2006.01) <i>A61B 5/026</i> (2006.01)
 <i>A61B 5/145</i> (2006.01) <i>G06F 19/00</i> (2011.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>A61B 5/7267</i> (2013.01)
 <i>A61B 5/0022</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2015-7006740</p> <p>(22) 출원일자(국제) 2013년08월30일
 심사청구일자 2015년03월25일</p> <p>(85) 번역문제출일자 2015년03월17일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/US2013/057546</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2014/042899
 국제공개일자 2014년03월20일</p> <p>(30) 우선권주장
 61/700,213 2012년09월12일 미국(US)
 13/895,893 2013년05월16일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인
 하트플로우, 인크.
 미국 94063 캘리포니아주 레드우드 시티 빌딩 비
 시포트 블로버드 1400</p> <p>(72) 발명자
 그래디 레오
 미국 94030 캘리포니아주 밀브레이 라수엔 드라이브 1329
 최길우
 미국 94040 캘리포니아주 마운틴 뷰 파체티 웨이 105
 싱어 마이클
 미국 94002 캘리포니아주 벨몬트 404번 램스던 에
 비뉴 1100</p> <p>(74) 대리인
 양영준, 김윤기</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 **혈관 기하학적 구조 및 생리학으로부터 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템들 및 방법들**

(57) 요약

환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템들 및 방법들이 개시된다. 하나의 방법은 복수의 개인들 각각에 대해, 개인의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델 및 추정된 혈류 특징들을 획득하는 단계; 복수의 개인들 각각에 대한 기하학적 모델 및 추정된 혈류 특징들 상에서 기계 학습 알고리즘을 실행하는 단계; 기계 학습 알고리즘을 이용하여, 기하학적 모델에서의 복수의 지점들에 대응하는 혈류 특징들을 예측하는 특성들을 식별하는 단계; 환자에 대해, 환자의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델을 획득하는 단계; 및 환자의 기하학적 모델에서의 복수의 지점들 각각에 대한 환자의 혈류 특징의 추정치들을 생성하기 위해 식별된 특성들을 이용하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

A61B 5/02035 (2013.01)

A61B 5/021 (2013.01)

A61B 5/026 (2013.01)

A61B 5/14535 (2013.01)

A61B 5/742 (2013.01)

G06F 19/3437 (2013.01)

G06F 19/3443 (2013.01)

G06F 19/345 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

환자-맞춤형 혈류 특징들을 결정하기 위한 방법으로서,

복수의 개인들 각각에 대해, 상기 개인의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델 및 혈류 특징들을 획득하는 단계;

상기 복수의 개인들 각각에 대한 상기 기하학적 모델 및 혈류 특징들 상에서 기계 학습 알고리즘을 실행하는 단계;

상기 기계 학습알고리즘을 이용하여, 상기 기하학적 모델들에서의 복수의 지점들에 대응하는 혈류 특징들을 예측하는 특성들을 식별하는 단계;

환자에 대해, 상기 환자의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델을 획득하는 단계; 및

상기 환자의 기하학적 모델에서의 적어도 하나의 지점에 대해 상기 환자의 혈류 특징을 결정하기 위해 상기 식별된 특성들을 이용하는 단계를 포함하는 비-일과성 컴퓨터-관독가능 매체.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 개인들 각각에 대해, 하나 이상의 생리학적 파라미터들을 획득하는 단계와;

상기 하나 이상의 생리학적 파라미터들에 기초하여 상기 기계 학습 알고리즘을 추가로 실행하도록 추가로 구성되는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 3

청구항 2에 있어서, 상기 기계 학습 알고리즘은

상기 복수의 개인들 각각에 대한 상기 기하학적 모델에서의 복수의 지점들에 대해, 상기 지점들의 특성 벡터 또는 상기 생리학적 파라미터들을 생성하는 단계와;

상기 복수의 개인들 각각에 대한 상기 특성 벡터를 상기 대응하는 개인의 상기 혈류 특징들과 연관시키는 것을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 기계 학습 알고리즘은

상기 연관된 특성 벡터들에 기초하여 다양한 지점들에서 혈류 특징들을 예측하기 위해 상기 기계 학습 알고리즘을 트레이닝하는 것을 더 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 5

청구항 3에 있어서, 각 특성 벡터는

심장 수축 및 심장 확장 혈압, 심박수, 혈액 특성들, 개인의 나이, 개인의 성별, 개인의 키, 개인의 체중, 질병의 존재 또는 부재, 생활 방식 특징들, 대동맥 기하학적 구조의 특징들, 및 관상 동맥 가지 기하학적 구조의 특징들 중 하나 이상을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 6

청구항 3에 있어서, 각 특성 벡터는

단면적 특성 세트, 강도 특성 세트, 표면 특성 세트, 부피 특성 세트, 중심선 특성 세트, 및 간략화된 물리적 특성 세트 중 하나 이상을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 기계 학습 알고리즘을 이용하여, 상기 기하학적 모델들에서의 복수의 지점들에 대응하는 혈류 특징들을 예측하는 특성들의 가중치들을 식별하는 단계; 및

상기 식별된 가중치들을 저장 디바이스에 저장하는 단계를 더 포함하는 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 8

청구항 2에 있어서, 상기 환자의 혈류 특징을 결정하기 위해 상기 식별된 특성들을 이용하는 단계는

상기 환자의 기하학적 모델에서의 복수의 지점들 각각에 대해, 상기 복수의 개인들 각각에 대해 획득된 특성 벡터들에 대응하는 상기 환자의 생리학적 파라미터들의 상기 특성 벡터를 생성하는 단계를 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 9

청구항 2에 있어서, 상기 생리학적 파라미터들은 심박수, 적혈구용적율 레벨, 혈압, 혈액 점도, 개인의 나이, 개인의 성별, 개인의 체중, 개인의 생활 방식 특징, 및 공급된 조직의 덩이 중 하나 이상의 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 결정하기 위한 방법.

청구항 10

청구항 1에 있어서, 상기 기계 학습 알고리즘은 지지 벡터 기계(SVM), 다중-층 퍼셉트론(MLP), 다변형 회귀(MVR), 트리-기반의 분류자, 및 가중된 선형 또는 로지스틱 회귀 중 하나 이상을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 결정하기 위한 방법.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 환자의 기하학적 모델에서의 적어도 하나의 지점에 대한 상기 환자의 상기 결정된 혈류 특징을 의사에게 보여주거나, 네트워크를 통해 상기 결정된 혈류 특징을 송신하는 단계를 더 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 결정하기 위한 방법.

청구항 12

환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템으로서,

환자-맞춤형 혈류 특징들을 결정하기 위한 명령들을 저장하는 데이터 저장 디바이스와;

프로세서로서,

복수의 개인들 각각에 대해, 상기 개인의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델 및 혈류 특징들을 획득하는 단계와;

상기 복수의 개인들 각각에 대한 상기 기하학적 모델 및 혈류 특징들 상에서 기계 학습 알고리즘을 실행하는 단계와;

상기 기계 학습알고리즘을 이용하여, 상기 기하학적 모델들에서의 복수의 지점들에 대응하는 혈류 특징들을 예측하는 특성들을 식별하는 단계와;

환자에 대해, 상기 환자의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델을 획득하는 단계와;

상기 환자의 기하학적 모델에서의 적어도 하나의 지점에 대해 상기 환자의 혈류 특징을 결정하기 위해 상기 식별된 특성들을 이용하는 단계를 포함하는 방법을 수행하는 명령들을 실행하도록 구성된 프로세서를 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 13

청구항 12에 있어서, 상기 프로세서는

복수의 개인들 각각에 대해, 하나 이상의 생리학적 파라미터들을 획득하고,

상기 하나 이상의 생리학적 파라미터들에 기초하여 상기 기계 학습 알고리즘을 추가로 실행하도록 추가로 구성되는,

청구항 14

청구항 13에 있어서, 상기 기계 학습 알고리즘을 실행하는 것은

상기 복수의 개인들 각각에 대한 상기 기하학적 모델에서의 복수의 지점들에 대해, 상기 생리학적 파라미터들의 특성 벡터를 생성하는 것과,

상기 복수의 개인들 각각에 대한 상기 특성 벡터를 상기 대응하는 개인의 상기 혈류 특징들과 연관시키는 것을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 15

청구항 14에 있어서, 상기 기계 학습 알고리즘은

상기 연관된 특성 벡터들에 기초하여 다양한 지점들에서 혈류 특징들을 예측하기 위해 상기 기계 학습 알고리즘을 트레이닝하는 것을 더 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 16

청구항 14에 있어서, 각 특성 벡터는

심장 수축 및 심장 확장 혈압, 심박수, 혈액 특성들, 개인의 나이, 개인의 성별, 개인의 키, 개인의 체중, 질병의 존재 또는 부재, 생활 방식 특징들, 대동맥 기하학적 구조의 특징들, 및 관상 동맥 가지 기하학적 구조의 특징들 중 하나 이상을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 17

청구항 14에 있어서, 각 특성 벡터는

단면적 특성 세트, 강도 특성 세트, 표면 특성 세트, 부피 특성 세트, 중심선 특성 세트, 및 간략화된 물리적 특성 세트 중 하나 이상을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 18

청구항 12에 있어서, 상기 프로세서는

상기 기계 학습 알고리즘을 이용하여, 상기 기하학적 모델들에서의 복수의 지점들에 대응하는 혈류 특징들을 예측하는 특성들의 가중치들을 식별하고,

상기 식별된 가중치들을 저장 디바이스에 저장하도록 추가로 구성되는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 19

청구항 13에 있어서, 상기 환자의 혈류 특징을 결정하기 위해 상기 식별된 특성들을 이용하는 것은

상기 환자의 기하학적 모델에서의 복수의 지점들 각각에 대해, 상기 복수의 개인들 각각에 대해 획득된 특성 벡터들에 대응하는 상기 환자의 생리학적 파라미터들의 상기 특성 벡터를 생성하는 것을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 20

청구항 13에 있어서, 상기 생리학적 파라미터들은 심박수, 적혈구용적율 레벨, 혈압, 혈액 점도, 개인의 나이, 개인의 성별, 개인의 체중, 개인의 생활 방식 특징, 및 공급된 조직의 덩이 중 하나 이상의 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 21

청구항 12에 있어서, 상기 기계 학습 알고리즘은 지지 벡터 기계(SVM), 다중-층 퍼셉트론(MLP), 다변형 회귀(MVR), 트리-기반의 분류자, 및 가중된 선형 또는 로지스틱 회귀 중 하나 이상을 포함하는, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템.

청구항 22

명령들을 저장하는 비-일과성 컴퓨터-판독가능 매체로서, 상기 명령들은 컴퓨터에 의해 실행될 때, 상기 컴퓨터로 하여금

복수의 개인들 각각에 대해, 상기 개인의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델 및 혈류 특징들을 획득하는 단계;

상기 복수의 개인들 각각에 대한 상기 기하학적 모델 및 혈류 특징들 상에서 기계 학습 알고리즘을 실행하는 단계;

상기 기계 학습알고리즘을 이용하여, 상기 기하학적 모델들에서의 복수의 지점들에 대응하는 혈류 특징들을 예측하는 특성들을 식별하는 단계;

환자에 대해, 상기 환자의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델을 획득하는 단계; 및

상기 환자의 기하학적 모델에서의 적어도 하나의 지점에 대해 상기 환자의 혈류 특징을 결정하기 위해 상기 식별된 특성들을 이용하는 단계를 포함하는 방법을 수행하도록 하는, 비-일과성 컴퓨터-판독가능 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2012년 12월 12일에 출원된 미국 가특허 출원 번호 61/700,213의 35 U.S.C. § 119 하의 우선권의 이익을 주장하는 2013년 5월 16일에 출원된 미국 특허 출원 번호 13/895,893의 우선권을 주장하며, 이들 전체 개시들은 그 전체가 본 명세서에 참조로 병합된다.

[0002] 본 개시의 다양한 실시예들은 일반적으로 의료용 영상 및 관련 방법들에 관한 것이다. 더 구체적으로, 본 개시의 특정 실시예들은 혈관 기하학적 구조 및 생리학으로부터 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템들 및 방법들에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 동맥 용량의 기능적 평가는 환자에 필요한 것들을 다루기 위한 치료 계획에 중요하다. 최근의 연구들은, 분획 혈류 예비력(FFR)과 같은 혈류 역학적 특징들이 동맥 질환을 갖는 환자에 대한 최적의 치료를 결정하기 위한 중요한 표시자라는 것을 실증하였다. 이들 혈류 역학적 특징들의 종래의 평가들은 압력 및 흐름 속도와 같은 혈류 특징들을 직접적으로 측정하기 위해 외과적 카테터 삽입(catheterizations)들을 이용한다. 하지만, 수집되는 중요한 임상 정보에도 불구하고, 이들 외과적 측정 기술들은 환자에게 심각한 위험을 주고, 의료 시스템에 상당한 비용을 부담시킨다.

[0004] 외과적 측정과 연관된 위험 및 비용을 다루기 위해, 새로운 세대의 비침습적 검사가 혈류 특징들을 평가하기 위해 개발되었다. 이들 비침습적 검사는 혈관들의 환자-맞춤형 기하학적 모델을 결정하기 위해 (컴퓨터 단층 촬영(CT)과 같은) 환자 영상을 이용하고, 이러한 모델은 적절한 생리학적 경계 조건들 및 파라미터들을 갖는 전산 유체 역학(CFD)을 이용하여 혈류를 시뮬레이션하는 데 계산적으로 사용된다. 이들 환자-맞춤형 경계 조건들에 대한 입력들의 예들은 환자의 혈압, 혈액 점도, 및 공급된 조직으로부터의 혈액의 예측된 수요(환자 영상으로부터 공급된 조직의 질량 추정 및 축소화 기법(scaling laws)으로부터 도출됨)를 포함한다. 혈류 특징들의 이들 시뮬레이션-기반의 추정들이 동일한 관심의 양의 직접적인 (침습적) 측정들에 필적할만한 충실도(fidelity) 레벨을 설명하였지만, 물리적 시뮬레이션들은 이들 가상적 비침습적 검사를 실시간 임상 환경에서 실행하기에 어렵게 만들 수 있는 상당한 계산적 부담을 요구한다. 따라서, 본 개시는 계산적으로 비용이 적게 드는 혈류 특징들의 빠른 비침습적인 추정들을 수행하기 위한 새로운 접근법들을 기재한다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

- [0005] 환자의 혈관들의 환자-맞춤형 기하학적 모델을 도출하고, 이러한 기하학적 구조를 환자-맞춤형 생리학적 정보 및 경계 조건들과 조합하기 위한 시스템 및 방법들이 개시된다. 조합된 이들 데이터는 환자의 혈류 특징들을 추정하는 데 사용될 수 있고, 임상적으로 관련있는 관심의 양(예를 들어, FFR)을 예측하는 데 사용될 수 있다. 본 개시된 시스템들 및 방법들은 그 대신 물리학-기반의 시뮬레이션의 결과들을 예측하기 위해 학습하는 기계를 이용하는 것과 같이, 관심의 양을 계산하기 위해 혈류의 물리학-기반의 시뮬레이션에 비해 장점들을 제공한다. 일 실시예에서, 개시된 시스템들 및 방법들은 2가지 단계들, 즉 첫째로, 기계 학습 시스템이 하나 이상의 혈류 특징들을 예측하도록 트레이닝(trained)되는 트레이닝 단계; 및 두 번째로, 기계 학습 시스템이 하나 이상의 혈류 특징들 및 임상적으로 관련있는 관심의 양들을 생성하는 데 사용되는 생성 단계를 수반한다. 다수의 혈류 특징들을 예측하는 경우에, 이러한 기계 학습 시스템은 각 혈류 특징 및 관심의 양에 대해 적용될 수 있다.
- [0006] 일 실시예에 따라, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 방법이 개시된다. 상기 방법은, 복수의 개인들 각각에 대해, 개인의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델 및 추정된 혈류 특징들을 획득하는 단계; 복수의 개인들 각각에 대한 기하학적 모델 및 추정된 혈류 특징들 상에서 기계 학습 알고리즘을 실행하는 단계; 기하학적 모델에서의 복수의 지점들에 대응하는 혈류 특징들을 예측하는 특성들을 기계 학습 알고리즘을 이용하여 식별하는 단계; 환자에 대해, 환자의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델을 획득하는 단계; 및 환자의 기하학적 모델에서 복수의 지점들 각각에 대한 환자의 혈류 특징의 추정치들을 생성하기 위해 식별된 특성들을 이용하는 단계를 포함한다.
- [0007] 다른 실시예에 따라, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 시스템이 개시된다. 상기 시스템은, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 명령들을 저장하는 데이터 저장 디바이스와; 복수의 개인들 각각에 대해, 개인의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델 및 추정된 혈류 특징들을 획득하는 단계; 복수의 개인들 각각에 대한 기하학적 모델 및 추정된 혈류 특징들 상에서 기계 학습 알고리즘을 실행하는 단계; 기하학적 모델에서의 복수의 지점들에 대응하는 혈류 특징들을 예측하는 특성들을 기계 학습 알고리즘을 이용하여 식별하는 단계; 환자에 대해, 환자의 혈관 시스템의 적어도 부분의 기하학적 모델을 획득하는 단계; 및 환자의 기하학적 모델에서 복수의 지점들 각각에 대한 환자의 혈류 특징의 추정치들을 생성하기 위해 식별된 특성들을 이용하는 단계를 포함하는 방법을 수행하기 위해 명령들을 실행하도록 구성된 프로세서를 포함한다.
- [0008] 개시된 실시예들의 추가 목적들 및 장점들은 뒤에 나오는 설명에서 부분적으로 서술될 것이고, 그 설명으로부터 부분적으로 명백해질 것이거나, 개시된 실시예들의 실시예에 의해 학습될 수 있다. 개시된 실시예들의 목적들 및 장점들은 첨부된 청구항들에서 특히 주목된 요소들 및 조합들에 의해 실현되고 얻어질 것이다.
- [0009] 이전의 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명, 둘 모두가 예시적이고, 단지 예시에 불과하고, 청구된 바와 같이, 개시된 실시예들에 한정되지 않는 것이 이해될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0010] 본 명세서에 병합되고 본 명세서의 부분을 구성하는 첨부 도면들은 다양한 예시적인 실시예들을 도시하고, 설명과 함께, 개시된 실시예들의 원리를 설명하도록 기능한다.
 도 1은 본 개시의 예시적인 실시예에 따라, 혈관 기하학적 구조 및 생리학적 정보로부터 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 예시적인 시스템 및 네트워크의 블록도.
 도 2는 본 개시의 예시적인 실시예에 따라, 혈관 기하학적 구조 및 생리학적 정보로부터 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 예시적인 방법의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이제 본 발명의 여러 실시예들을 상세하게 참조할 것이며, 이것의 예들이 첨부 도면들에 예시된다. 가능하면, 동일한 참조 번호는 도면 전역에서 동일하거나 유사한 부분을 참조하는 데 사용된다.
- [0012] 본 개시는 환자-맞춤형 혈류 특징들 및 임상적으로 관련있는 관심의 양을 계산하기 위해 혈류의 물리학-기반의 시뮬레이션에 비해 장점들을 제공하기 위한 특정한 원리들 및 실시예들을 설명한다. 즉, 본 개시된 시스템들 및 방법들은 물리학-기반의 시뮬레이션의 결과들을 예측하기 위해 기계 학습 기법들을 병합할 수 있다. 예를

들어, 본 개시는 환자의 혈관 단면적, 병든 길이, 및 경계 조건들의 함수로서 분획 혈류 예비력(FFR)을 모델링하는 것을 수반할 수 있는 예시적인, 처리-집약도가 더 낮은 기법을 설명한다. 단면적은 특히 루멘(lumen) 세그먼트 및 플라크 세그먼트에 기초하여 계산될 수 있다. 병든 길이는 특히 플라크 세그먼트 및 협착증 장소에 기초하여 계산될 수 있다. 경계 조건들은, 상이한 환자들이 상이한 기하학적 구조 및 생리학적 반응들을 갖는다는 것을 반영하기 위해 관상 동맥 흐름(심근 질량으로부터 추정된), 출구 영역, 및 충혈 가정들과 같은 환자-맞춤형 생리학을 반영할 수 있다.

[0013] 일 실시예에서, 분획 혈류 예비력은 환자의 경계 조건들(f(BCs))의 함수, 및 환자의 혈관 기하학적 구조(g(areaReductions))의 함수로서 모델링될 수 있다. 환자의 기하학적 구조가 “areaReductions,”의 함수로서 설명될 수 있지만, 이러한 용어가 단지 환자의 혈관 단면적에서의 변화를 언급하지 않고, 환자의 혈류에 영향을 미치는 임의의 신체적 또는 기하학적 특징들을 언급한다는 것이 인식되어야 한다. 일 실시예에서, FFR은, 추정된 FFR($FFR_{CT_ScalingLaw}$)과 측정된 FFR (mFFR) 사이의 차이가 최소화되도록 함수들(“f” 및 “g”)을 최적화함으로써 예측될 수 있다. 즉, 기계 학습 기법들은, 추정된 FFR이 측정된 FFR에 근사하도록 하는 함수들을 푸는 데 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 측정된 FFR은 기존의 카테터 삽입 방법들에 의해, 또는 현대의 전산 유체 역학(CFD) 기법들에 의해 계산될 수 있다. 일 실시예에서, 하나 이상의 기계 학습 알고리즘들은, FFR에 대한 추정치들이 측정된 FFR 값들에 신뢰성있게 근사될 수 있도록, 수백 명 또는 심지어 수천 명의 환자에게 대한 경계 조건들 및 환자 기하학적 구조의 함수들을 최적화하는 데 사용될 수 있다. 따라서, CFD 기술들에 의해 계산된 FFR 값들은 기계 학습 알고리즘들을 트레이닝하기 위해 가치가 클 수 있다.

[0014] 이제 도면들을 참조하면, 도 1은 혈관 기하학적 구조 및 생리학적 정보로부터 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 예시적인 시스템 및 네트워크의 블록도를 도시한다. 특히, 도 1은 복수의 의사들(102) 및 3자의 제공자들(104)을 도시하며, 임의의 이들은 하나 이상의 컴퓨터들, 서버들, 및/또는 휴대형 모바일 디바이스들을 통해 인터넷과 같은 전자 네트워크(100)에 연결될 수 있다. 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)은 하나 이상의 환자의 심장 및/또는 혈관 시스템들의 영상들을 생성하거나 달리 얻을 수 있다. 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)은 또한 나이, 의료 이력, 혈압, 혈액 점도 등과 같은 환자-맞춤형 정보의 임의의 조합을 얻을 수 있다. 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)은 전자 네트워크(100)를 통해 심장/혈관 영상들 및/또는 환자-맞춤형 정보를 서버 시스템들(106)에 송신할 수 있다. 서버 시스템들(106)은 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)로부터 수신된 영상들 및 데이터를 저장하기 위한 저장 디바이스들을 포함할 수 있다. 서버 시스템들(106)은 또한 저장 디바이스들에 저장된 영상들 및 데이터를 처리하기 위한 처리 디바이스들을 포함할 수 있다.

[0015] 도 2는 본 개시의 예시적인 실시예에 따라, 혈관 기하학적 구조 및 생리학적 정보로부터 환자-맞춤형 혈류 특징들을 추정하기 위한 예시적인 방법의 블록도이다. 도 2의 방법은 전자 네트워크(100)를 통해 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)로부터 수신된 정보에 기초하여 서버 시스템들(106)에 의해 수행될 수 있다.

[0016] 일 실시예에서, 도 2의 방법은 다수의 환자의 혈류 특징 추정치들에 기초하여 하나 이상의 기계 학습 알고리즘들을 트레이닝하기 위한 트레이닝 방법(202)과, 특정한 환자의 혈류 특징들을 예측하기 위해 기계 학습 알고리즘 결과들을 이용하기 위한 생성 방법(204)을 포함할 수 있다.

[0017] 일 실시예에서, 트레이닝 방법(202)은 수백 명의 환자에게 대한 CFD 기술들을 이용하여 생성하는 FFR 추정치들에 기초하여 수행될 수 있다. 트레이닝 방법(202)은 복수의 개인들 각각에 대해, 예를 들어 디지털 포맷으로, (a) 환자-맞춤형 기하학적 모델, (b) 하나 이상의 측정되거나 추정된 생리학적 파라미터들, 및 (c) 혈류 특징들의 값들을 획득하는 것을 수반할 수 있다. 트레이닝 방법(202)은 각 환자의 모델에서의 하나 이상의 지점들에 대해, 환자의 생리학적 파라미터들의 특성 벡터를 생성하는 것과, 특성 벡터를 혈류 특징들의 값들과 연관시키는 것을 수반할 수 있다. 예를 들어, 트레이닝 방법(202)은 환자의 기하학적 모델에서의 지점마다 측정된 FFR을 연관시킬 수 있다. 트레이닝 방법(202)은 특성 벡터들 및 혈류 특징들에 기초하여, 기하학적 모델의 각 지점에서 혈류 특징들을 예측하기 위해 기계 학습 알고리즘(예를 들어, 서버 시스템들(106)의 처리 디바이스들을 이용하여)을 트레이닝할 수 있다. 트레이닝 방법(202)은 특성 가중치들을 포함하는 기계 학습 알고리즘의 결과들을 서버 시스템들(106)의 저장 디바이스에 저장할 수 있다. 저장된 특성 가중치들은, 환자 특성들 또는 기하학적 구조가 특정 혈류 특징들을 예측하는 정도를 한정할 수 있다.

[0018] 일 실시예에서, 생성 방법(204)은 트레이닝 방법(202)을 실행하는 결과들에 기초하여, 특정 환자에 대한 FFR 값들을 추정하는 것을 수반할 수 있다. 일 실시예에서, 생성 방법(204)은, 예를 들어 디지털 포맷으로, (a) 환자-맞춤형 기하학적 모델, 및 (b) 하나 이상의 측정되거나 추정된 생리학적 파라미터들을 획득하는 것을 포함할 수 있다. 환자의 기하학적 모델에서의 다중 지점들에 대해, 생성 방법(204)은 트레이닝 모드로 사용된 생리학

적 파라미터들의 특성 벡터를 생성하는 것을 수반할 수 있다. 그런 후에, 생성 방법(204)은 환자-맞춤형 기하학적 모델에서의 각 지점에 대한 환자의 혈류 특징들의 추정치들을 생성하기 위해 기계 학습 알고리즘의 저장된 결과들을 사용할 수 있다. 마지막으로, 생성 방법(204)은 예측된 혈류 특징들을 포함하는 기계 학습 알고리즘의 결과들을 서버 시스템들(106)의 저장 디바이스에 저장하는 것을 포함할 수 있다.

[0019] 예를 들어 전자 네트워크(100)를 통해 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)로부터 수신된 영상들 및 데이터에 기초하여 서버 시스템들(106)을 이용하여, 환자-맞춤형 혈류 특징들을 예측하기 위해 기계 학습의 트레이닝 모드 및 생성 모드를 구현하기 위한 일반적이고 특정한 예시적인 실시예들이 아래에 설명된다.

[0020] 일반적인 실시예

[0021] 일반적인 실시예에서, 서버 시스템(106)은 전자 네트워크(100)를 통해 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)로부터 수신된 영상들 및 데이터에 기초하여 트레이닝 모드를 수행할 수 있다. 특히, 하나 이상의 환자들에 대해, 서버 시스템들(106)은 다음의 항목들, 즉 (a) 하나 이상의 환자의 혈관들에 대한 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델; (b) 환자의 하나 이상의 측정되거나 추정된 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 목록; 및/또는 (c) 예측을 위해 목표가 되는 모든 혈류 특징의 측정치들, 추정치들 또는 시뮬레이션된 값들의 디지털 표현(예를 들어, 컴퓨터, 랩탑, DSP, 서버 등과 같은 계산 디바이스의 메모리 또는 디지털 저장부[예를 들어, 하드 드라이브, 네트워크 드라이브])을 획득할 수 있다. 일 실시예에서, 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델은 공간이 점들 사이의 공간 단위(예 밀리미터)로 매핑될 수 있는 공간에서 지점들의 목록(아마도 각 점에 대한 이웃의 지점들의 목록과 함께)에 의하여 표시될 수 있다. 일 실시예에서, 환자의 하나 이상의 측정되거나 추정된 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 목록은 혈압, 혈액 점도, 환자 나이, 환자 성별, 공급된 조직의 덩이 등을 포함할 수 있다. 이들 환자-맞춤형 파라미터들은 범용(예를 들어, 혈압) 또는 국부적(예를 들어, 특정 장소에서 혈관 벽의 추정된 밀도)일 수 있다.

[0022] 혈류 특징의 측정되고, 추정되거나 시뮬레이션된 값이 있는 환자-맞춤형 기하학적 모델에서의 모든 지점에 대해, 서버 시스템들(106)은 그러한 지점에 대한 특성 벡터를 생성할 수 있다. 특성 벡터는 환자의 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 그 지점 및 추정치들에서 환자-맞춤형 기하학적 구조의 수치적 설명일 수 있다. 특성 벡터는, 범용 파라미터들에 대해, 모든 지점들이 동일한 값을 갖는 범용 및 국부적인 생리학적 또는 표현형 파라미터들 모두를 포함할 수 있고; 국부적인 파라미터들에 대해, 값(들)은 특성 벡터에서의 상이한 지점들에서 변화할 수 있다. 서버 시스템들(106)은 이 지점에서 혈류 특징의 측정되고, 추정되거나 시뮬레이션된 값과 이러한 특성 벡터를 연관시킬 수 있다.

[0023] 서버 시스템들(106)은 지점들에서의 특성 벡터들로부터 지점들에서의 혈류 특징들을 예측하기 위해 기계 학습 알고리즘을 트레이닝할 수 있다. 이러한 작업을 수행할 수 있는 기계 학습 알고리즘들의 예들은 지지 벡터 기계들(SVMs), 다중-층 퍼셉트론들(MLPs), 및 다변량 회귀(MVR)(예를 들어, 가중된 선형 또는 로지스틱 회귀)이다. 서버 시스템들(106)은 기계 학습 알고리즘의 결과들(예를 들어, 특성 가중치들)을 디지털 표현(예를 들어, 컴퓨터, 랩탑, DSP, 서버 등과 같은 계산 디바이스의 메모리 또는 디지털 저장부[예를 들어, 하드 드라이브, 네트워크 드라이브])에 저장할 수 있다.

[0024] 또한, 일반적인 실시예에서, 서버 시스템들(106)은 전자 네트워크(100)를 통해 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)로부터 수신된 영상들 및 데이터에 기초하여 생성 모드를 수행할 수 있다. 혈류 분석이 수행될 환자들에 대해, 서버 시스템들(106)은 (a) 하나 이상의 환자의 혈관들에 대한 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델; 및 (b) 환자의 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 하나 이상의 추정치들의 목록의 디지털 표현(예를 들어, 컴퓨터, 랩탑, DSP, 서버 등과 같은 계산 디바이스의 메모리 또는 디지털 저장부[예를 들어, 하드 드라이브, 네트워크 드라이브])를 획득할 수 있다. 일 실시예에서, 하나 이상의 환자의 혈관들에 대한 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델은, 공간이 지점들 사이의 공간 단위들(예를 들어, mm)로 매핑될 수 있는 공간에서의 지점들의 목록(아마도 각 지점에 대한 이웃 지점들의 목록과 함께)으로서 나타날 수 있다. 환자의 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 하나 이상의 추정치들의 목록은 혈압, 혈액 점도, 환자 나이, 환자 성별, 공급된 조직의 덩이 등을 포함할 수 있다. 이들 파라미터들은 범용(예를 들어, 혈압) 또는 국부적(예를 들어, 장소에서의 혈관 벽의 추정된 밀도)일 수 있다. 파라미터들의 이러한 목록은 트레이닝 모드로 사용된 목록과 동일해야 한다.

[0025] 환자-맞춤형 기하학적 모델에서의 모든 지점에 대해, 서버 시스템들(106)은 환자의 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 기하학적 구조 및 추정치들의 수치적 설명으로 구성된 특성 벡터를 생성할 수 있다. 범용 생리학적 또는 표현형 파라미터들은 모든 지점들의 특성 벡터에 사용될 수 있고, 국부적인 생리학적 또는 표현형 파라미터들은 상이한 지점들의 특성 벡터에서 변화할 수 있다. 이들 특성 벡터들은 트레이닝 모드로 사용된 동일한

파라미터들을 나타낼 수 있다. 서버 시스템들(106)은 환자-맞춤형 기하학적 모델에서의 모든 지점에서 혈류 특징들의 추정치들을 생성하기 위해 트레이닝 모드로 생성된 기계 가공 알고리즘의 저장된 결과들(예를 들어, 특성 가중치들)을 이용할 수 있다. 이들 추정치들은 트레이닝 모드로 사용된 동일한 기계 학습 알고리즘 기술(예를 들어, SVM, MLP, MVR 기술)을 이용하여 생성될 수 있다. 서버 시스템들(106)은 또한 각 지점에 대한 예측된 혈류 특징들을 디지털 표현(예를 들어, 컴퓨터, 랩탑, DSP, 서버 등과 같은 계산 디바이스의 메모리 또는 디지털 저장부[예를 들어, 하드 드라이브, 네트워크 드라이브])으로 저장할 수 있다.

[0026] 예시적인 실시예

[0027] 예시적인 실시예에서, 서버 시스템들(106)은 전자 네트워크(100)를 통해 의사들(102) 및/또는 3자 제공자들(104)로부터 수신된 영상들 및 데이터에 기초하여 트레이닝 모드를 수행할 수 있다. 특히, 하나 이상의 환자들에 대해, 서버 시스템들(106)은 (a) 환자의 상행 대동맥 및 관상 동맥 트리에 대한 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델; (b) 환자의 측정되거나 추정된 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 목록; 및 (c) 사용할 수 있는 경우 FFR의 측정치들의 디지털 표현(예를 들어, 컴퓨터, 랩탑, DSP, 서버 등과 같은 계산 디바이스의 메모리 또는 디지털 저장부[예를 들어, 하드 드라이브, 네트워크 드라이브])을 획득할 수 있다.

[0028] 일 실시예에서, 환자의 상행 대동맥 및 관상 동맥 트리에 대한 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델은, 공간이 지점들 사이의 공간적 단위들(예를 들어, mm)로 매핑될 수 있는 공간에서의 지점들의 목록(아마도 각 지점에 대한 이웃 지점들의 목록과 함께)로서 나타날 수 있다. 이러한 모델은 심장 주기의 확장 주기 단계 동안 환자의 심장 CT 영상 연구를 수행함으로써 도출될 수 있다. 결과적인 CT 영상들은 대동맥 및 관상 동맥들의 루멘에 속하는 복셀들을 식별하기 위해 수동으로 또는 자동으로 세그먼트화될 수 있다. 일단 모든 관련 복셀들이 식별되면, 기하학적 모델이 도출될 수 있다(예를 들어, 마칭 큐브들을 이용하여).

[0029] 일 실시예에서, 환자의 측정되거나 추정된 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 목록이 얻어질 수 있고, (i) 심장 수축 및 심장 확장 혈압; (ii) 심박수; (iii) 적혈구용적율 레벨; (iv) 환자 나이, 성별, 키, 체중, 일반적인 건강 상태(당뇨병, 현재 약물 치료의 존재 또는 부재); (v) 생활 방식 특징들: 흡연자/비-흡연자; 및/또는 (vi) 심근 질량(CT 영상 연구 동안 얻어진 심근을 세그먼트화하고, 그런 후에 영상에서의 부피를 계산함으로써 도출될 수 있음; 질량은 심근 질량의 계산된 부피 및 추정된 밀도(1.05g/mL)를 이용하여 계산된다)을 포함할 수 있다.

[0030] 일 실시예에서, 사용할 수 있는 경우 FFR의 측정치들은 얻어질 수 있다. 측정된 FFR 값이 환자-맞춤형 기하학적 모델에서 소정의 공간적 장소에서 사용할 수 없으면, 지점에서 FFR의 수치적으로 계산된 값이 사용될 수 있다. 수치적으로 계산된 값들은 위에 기술된 생리학 및 표현형 파라미터들로부터 도출된 동일한 기하학적 모델 및 환자-맞춤형 경계 조건들을 이용하여 이전의 CFD 시뮬레이션으로부터 얻어질 수 있다.

[0031] 혈류 특징들의 측정되고, 추정되거나 시뮬레이팅된 값이 있는 환자-맞춤형 기하학적 모델에서의 모든 지점에 대해, 서버 시스템(106)은 환자의 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 수치적 설명 및 국부적인 기하학적 구조를 포함하는 특성 벡터 또는 그 지점을 생성할 수 있다. 특히, 특성 벡터는 (i) 심장 수축 및 심장 확장 혈압; (ii) 심박수; (iii) 플라즈마, 적혈구(적혈구), 적혈구용적율, 백혈구(백혈구) 및 혈소판(혈소판), 점도, 항복 응력을 포함하는 혈액 특성들; (iv) 환자 나이, 성별, 키, 체중, 등; (v) 질병들: 당뇨병, 심근 경색증, 악성 및 루머티즘 상태들, 말초 혈관 상태들 등; (vi) 생활 방식 특징들: 현재 약물 치료/약품의 존재 또는 부재, 흡연자/비-흡연자; (vii) 대동맥 기하학적 구조의 특징들(대동맥 입구 및 출구의 단면적, 대동맥의 표면적 및 부피, 최소, 최대, 및 평균 단면적 등); (viii) 관상 동맥 가지 기하학적 구조의 특징들; 및 (ix) 하나 이상의 특성 세트들을 포함할 수 있다.

[0032] 일 실시예에서, 관상 동맥 가지 기하학적 구조의 특징들은 (i) 관상 동맥 가지 지점의 대동맥 상류/하류의 부피들; (ii) 관상 동맥/대동맥 분기점, 즉 관상 동맥 가지로의 입구의 단면적; (iii) 혈관 분기들의 총 수, 및 상류/하류 혈관 분기들의 수; (iv) 평균, 최소 및 최대 상류/하류 단면적; (v) 최소 및 최대 상류/하류 단면적의 중심선 지점에 대한 거리(혈관 중심선을 따라); (vi) 가장 가까운 상류/하류 혈관 분기의 단면적 및 그 분기까지의 거리(혈관 중심선을 따라); (vii) 가장 가까운 관상 동맥 출구 및 대동맥 입구/출구의 단면적 및 그 출구 및 입구/출구까지의 거리(혈관 중심선을 따라); (viii) 가장 작은/가장 큰 단면적을 가진 하류 관상 동맥 출구들의 단면적 및 그 출구들까지의 거리(혈관 중심선을 따라) (ix) 관상 동맥 혈관들의 상류/하류 부피들; 및 (x) 사용자-규정된 허용오차 아래의 단면적을 갖는 관상 동맥 혈관의 상류/하류 부피 단편들을 포함할 수 있다.

[0033] 일 실시예에서, 제 1 특성 세트는 관상 동맥 중심선을 따르는 단면 루멘, 누승 단면 루멘 영역, 메인 구멍(LM,

RCA)에 대해 루멘 단면적의 누승 비율, 중심선을 따르는 단면 루멘에서 좁아지는 정도, 협착 병변들의 장소, 협착 병변들의 길이, 50%, 75%, 90%의 영역 감소에 대응하는 병변들의 장소 및 개수, 협착 병변에서 메인 구멍까지의 거리, 및/또는 단면 루멘 경계의 불규칙성(또는 원형)과 같은 단면적 특성들을 명백히 보여줄 수 있다.

[0034]

일 실시예에서, 관상 동맥 중심선을 따르는 단면 루멘 영역은 구성된 기하학적 구조로부터 중심선을 추출하고, 필요 시 중심선을 매끄럽게 하고, 각 중심선 지점에서 단면적을 계산함으로써 계산될 수 있고, 이를 대응하는 표면 및 부피 메쉬 지점들로 매핑할 수 있다. 일 실시예에서, 동력형 단면 루멘 영역은 축소화 기법의 다양한 소스로부터 결정될 수 있다. 일 실시예에서, 메인 구멍(LM, RCA)에 대한 루멘 단면적의 비율은 LM 구멍에서 단면적을 측정하고, LM 구멍 영역에 의해 좌측 관상 동맥의 단면적을 표준화하고, RCA 구멍에서 단면적을 측정하고, RCA 구멍 영역에 의해 우측 관상 동맥의 단면적을 표준화함으로써 계산될 수 있다. 일 실시예에서, 메인 구멍에 대한 루멘 단면적의 누승 비율은 축척 법칙의 다양한 소스로부터 결정될 수 있다. 일 실시예에서, 중심선을 따라 단면 루멘 영역에서 점점 좁아지는 정도는 특정 간격(예를 들어, 혈관의 직경의 2배) 내에서 중심선 지점들을 표본추출함으로써 계산될 수 있고, 선형-적합 단면적의 경사도를 계산할 수 있다. 일 실시예에서, 협착 병변들의 장소는 단면적 곡선의 최소치를 검출하고, 영역 곡선의 1차 미분이 0이고 2차 미분이 양인 장소들을 검출하고, 메인 구멍으로부터 거리(중심선의 파라미터 호 길이)를 계산함으로써 계산될 수 있다. 일 실시예에서, 협착 병변들의 길이는, 단면적이 복구되는 경우, 협착 병변으로부터 근접 및 말단 장소들을 계산함으로써 계산될 수 있다.

[0035]

일 실시예에서, 다른 특성 세트는, 예를 들어 중심선을 따르는 강도 변화(선형-적합한 강도 변동의 경사도)를 한정하는 세기 특성들을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 다른 특성 세트는 예를 들어, 기하학적 구조의 3D 표면 곡률(가우시안, 최대, 최소, 평균)을 한정하는 표면 특성들을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 다른 특성 세트는, 예를 들어 심근 부피에 비해 총 관상 동맥 부피의 비율을 한정하는 부피 특성들을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 다른 특성 세트는 예를 들어, 프레네 곡률을 계산함으로써, 예를 들어 관상 동맥 중심선의 곡률(벤딩)을 한정하는 중심선 특성들을 포함할 수 있다:

$$\kappa = \frac{|p' \times p''|}{|p'|^3}$$

[0036]

, 여기서 p 는 중심선의 좌표이다.

[0037]

또는 중심선 지점들을 따라 제한된 원의 반경의 역을 계산함으로써 관상 동맥 중심선의 곡률(벤딩)을 한정하는 중심선 특성들을 포함할 수 있다. 관상 동맥 중심선의 곡률(벤딩)은 예를 들어, 프레네 토션을 계산함으로써 관상 동맥 중심선의 비틀림(비-평탄화)에 기초하여 또한 계산될 수 있다.

$$\tau = \frac{(p' \times p'') \cdot p'''}{|p' \times p''|^2}$$

[0038]

여기서 p 는 중심선의 좌표이다.

[0039]

일 실시예에서, 다른 특성 세트는 예를 들어, 자궁 대동맥 병변의 존재, 대동맥으로부터 관상동맥의 기원에 위치된 병변의 검출, 및/또는 우성(좌측 또는 우측)을 포함하는 SYNTAX 점수 특성을 포함할 수 있다.

[0040]

일 실시예에서, 다른 특성 세트는 예를 들어, 하겐-포와자일 흐름 가정으로부터 도출된 분획 혈류 예비력을 포함하는 간략화된 물리학 특성을 포함할 수 있다(Resistance-Area⁻²). 예를 들어, 일 실시예에서, 서버 시스템들(106)은 대동맥 압력을 가지고(P₀) 대동맥으로부터 관상 동맥의 기원(LM 심문 또는 RCA 심문)의 단면적(A₀)을 계산할 수 있고; 각 표본추출된 간격으로(L_i) 관상 동맥 혈관의 단면적(A_i)을 계산할 수 있고; 층혈 가정 하에 저항 경계 조건을 이용하여 혈관의 각 세그먼트에서의 관상 동맥 혈류의 양을 결정하고(Q_i); 각 표본추출된 장소(R_i)에서 다음에 기초하여 저항을 추정한다:

$$R_i = \alpha_i \frac{8\mu L_i}{\pi A_i^3} + \beta_i$$

[0041]

여기서:

[0042]

공칭 값 μ=dynamic viscosity of blood, α_i=1.0, β_i=0, γ_i=2.0 (Hagen-Poiseuille).

$$FFR_i = \frac{P_0 - \sum_{k=1}^i \Delta P_k}{P_0}$$

[0043]

서버 시스템들(106)은 압력 강하를 추정할 수 있고(ΔP_i) as $\Delta P_i = Q_i R_i$ 각 표본추출된 장소에서 FFR을 계산할 수 있다. 혈관 반경보다 더 작은 최소 단면적 장소들 또는 간격은 표본추출 장소들을 위해 사용될 수 있다. 서버 시스템들(106)은 중심선을 따라 FFR을 보간할 수 있으며 FFR_i , FFR 값들을 3D 표면 메쉬 노드에 투사할 수 있고, $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ 파라미터들을 교란시키기 위해 위에서 분명히 보여준 특성 세트들을 이용하는 것에 의하는 것과 같이, 트레이닝하기 위해 필요한 바에 따라 새로운 FFR 추정치 세트들을 변경하고 얻을 수 있으며, 여기서 α_i, β_i 파라미터들은 점점 좁아진 혈관의 이유가 되는 병든 길이, 협착 정도 및 점점 좁아지는 비율의 함수일 수 있고; Q_i 는 저항 경계 조건과 동일한 축척 법칙에 기초하여 각 출구의 분산된 혈류를 함수함으로써 결정될 수 있다(outlet resistance \propto outlet area^{-1.35}). 하지만, 새로운 축척 법칙 및 충혈 가정이 채택될 수 있고, 이러한 특성 벡터는 그 지점에서 FFR의 추정치 또는 시뮬레이팅된 값과 연관될 수 있다. 서버 시스템들(106)은 지점들에서 특성 벡터들로부터 지점들에서의 혈류 특징들을 예측하기 위해 선형 SVM을 또한 트레이닝할 수 있고; 디지털 표현(예를 들어, 컴퓨터, 랩탑, DSP, 서버 등과 같은 계산 디바이스의 메모리 또는 디지털 저장부[예를 들어, 하드 드라이브, 네트워크 드라이브])으로서 SVM의 결과들을 저장할 수 있다.

[0044]

예시적인 생성 모드에서, 서버 시스템들(106)은 목표 환자에 대해, 디지털 표현(예를 들어, 컴퓨터, 랩탑, DSP, 서버 등과 같은 계산 디바이스의 메모리 또는 디지털 저장부[예를 들어, 하드 드라이브, 네트워크 드라이브])에서, (a) 환자의 상행 대동맥 및 관상 동맥 트리에 대한 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델; 및 (b) 트레이닝 모드 동안 얻어진 환자의 생리학적 및 표현형 파라미터들의 목록을 획득할 수 있다. 일 실시예에서, 환자의 상행 대동맥 및 관상 동맥 트리에 대한 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델은, 공간이 지점들 사이의 공간적 단위들(예를 들어, mm)로 매핑될 수 있는 공간에서의 지점들의 목록(아마도 각 지점에 대한 이웃 지점들의 목록과 함께)로서 나타날 수 있다. 이러한 모델은 심장 주기의 확장 중기 단계 동안 환자의 심장 CT 영상 연구를 수행함으로써 도출될 수 있다. 이러한 영상은 대동맥 및 관상 동맥들의 루멘에 속하는 복셀들을 식별하기 위해 수동으로 또는 자동으로 세그먼트화될 수 있다. 일단 모든 관련 복셀들이 식별되면, 기하학적 모델이 도출될 수 있다(예를 들어, 마칭 큐브들을 이용하여). 기하학적 구조의 환자-맞춤형 모델을 생성하기 위한 프로세스는 트레이닝 모드와 동일할 수 있다. 환자-맞춤형 기하학적 모델에서의 모든 지점에 대해, 서버 시스템들(106)은 환자의 생리학적 또는 표현형 파라미터들의 추정치들 및 그 지점에서의 기하학적 구조의 수치적 설명으로 구성되는 그 지점에 대한 특성 벡터를 생성할 수 있다. 이들 특성들은 트레이닝 모드에 사용된 양들과 동일할 수 있다. 서버 시스템들(106)은 환자-맞춤형 기하학적 모델에서의 각 지점에서 FFR의 추정치들을 생성하기 위해 트레이닝 모드로 생성된 기계 학습 알고리즘의 저장된 결과들(예를 들어, 특성 가중치들)을 사용할 수 있다. 이들 추정치들은 트레이닝 모드로 사용된 동일한 선형 SVM 기법을 이용하여 생성될 수 있다. 서버 시스템들(106)은 각 지점에 대한 예측된 FFR 값들을 디지털 표현(예를 들어, 컴퓨터, 랩탑, DSP, 서버 등과 같은 계산 디바이스의 메모리 또는 디지털 저장부[예를 들어, 하드 드라이브, 네트워크 드라이브])으로 저장할 수 있다.

[0045]

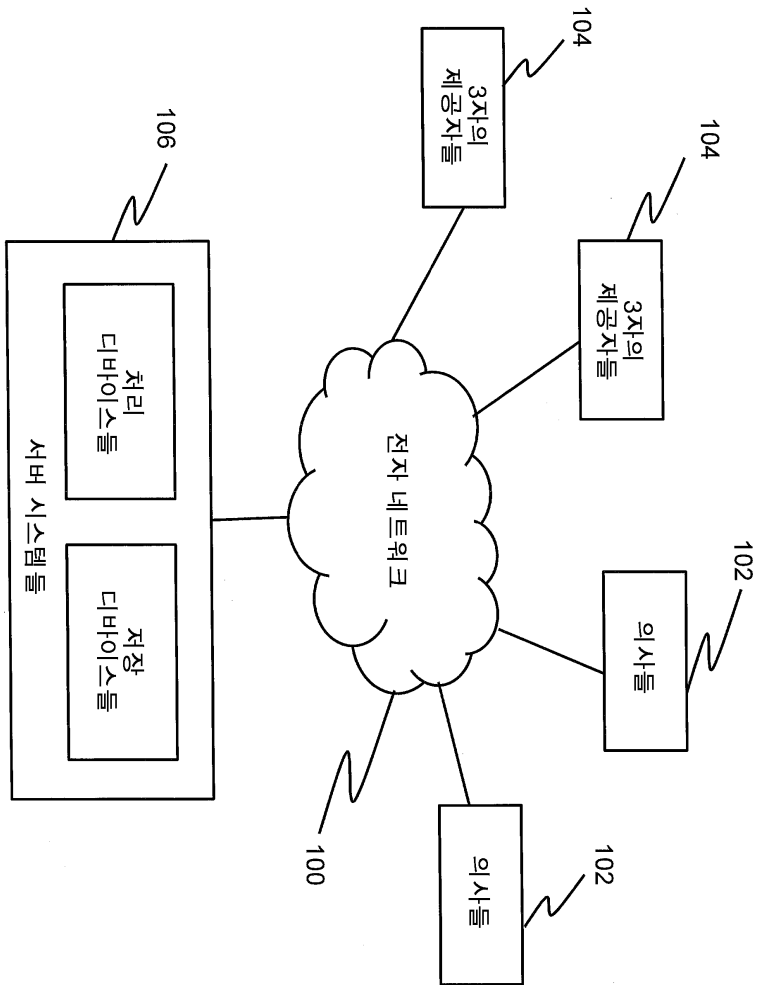
일 실시예에서, 상기 인자들 (i) 내지 (viii)(“심장 수축 및 심장 확장 혈압” 내지 “관상 동맥 가지 기하학적 구조의 특징들”)은 환자의 소정 기하학적 모델 내의 모든 지점들에 적용할 수 있는 범용 특징들로 간주될 수 있다. 또한, 항목 (ix) 내지 (xv)(“특성 세트 1: “단면 특성” 내지 “특성 세트 VII: 간략화된 물리학적 특성”)은 환자의 소정 기하학적 모델 내의 특정 지점들에 국부적인 특성들로 간주될 수 있다. 더욱이, 특성들 (i) 내지 (vi)는 경계 조건들의 함수, f(BCs) 내의 변수들로 간주될 수 있는 한편, 특성들 (vii) 내지 (xv)은 그 페이지 상에서, 기하학적 구조 g(areaReductions)의 함수 내의 변수들로 간주될 수 있다. 임의의 원하는 가중 방식에 의해 변형된 그러한 특성들의 임의의 조합이 개시된 실시예들에 따라 실시된 기계 학습 알고리즘에 병합될 수 있다는 것이 인식될 것이다.

[0046]

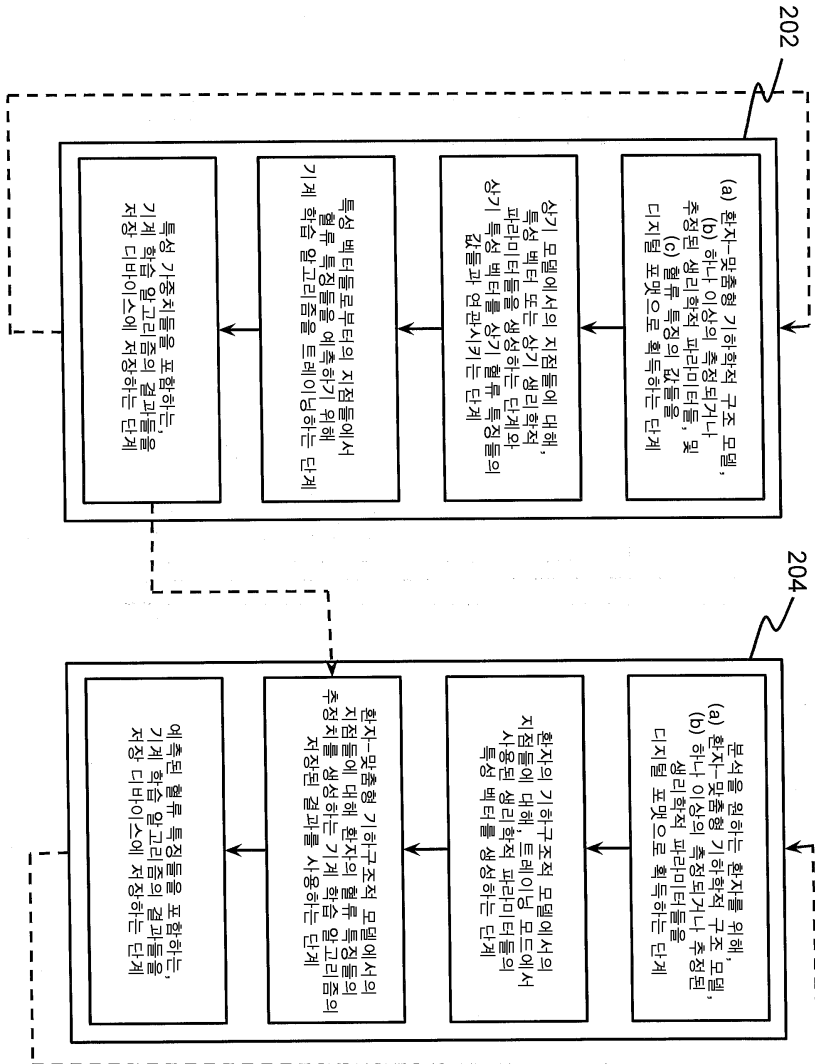
본 발명의 다른 실시예는 본원에서 개시된 본 발명의 명세서와 실시를 고려함으로써 당해 기술 분야의 당업자에게 명백할 것이다. 명세서와 예시는 예시적으로만 간주되고, 본 발명의 진정한 범위와 사상은 이하의 청구항에 의해 나타나도록 의도된다.

도면

도면1



도면2



专利名称(译)	用于从血管几何形状和生理学估计血流特征的系统和方法		
公开(公告)号	KR1020150042854A	公开(公告)日	2015-04-21
申请号	KR1020157006740	申请日	2013-08-30
[标]申请(专利权)人(译)	哈特弗罗公司		
申请(专利权)人(译)	心脏流, 公司		
当前申请(专利权)人(译)	心脏流, 公司		
[标]发明人	GRADY LEO 그래디레오 CHOI GILWOO 최길우 SINGER MICHAEL 싱어마이클		
发明人	그래디레오 최길우 싱어마이클		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/02 A61B5/021 A61B5/026 A61B5/145 G06F19/00		
CPC分类号	A61B5/742 G06F19/3437 G06F19/3443 A61B5/7267 A61B5/026 G06F19/345 A61B5/021 A61B5/14535 A61B5/02035 A61B5/0022 G16H50/20 G16H50/50 G16H50/70		
代理人(译)	Yangyoungjun Gimyungi		
优先权	61/700213 2012-09-12 US 13/895893 2013-05-16 US		
其他公开文献	KR101834051B1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

公开了用于假设患者 - 定制型血流特征的系统和方法。一种方法包括使用分别与多个个体对抗的特性的步骤, 并且区分它产生关于在获得至少部分的几何模型的步骤的几何模型处的多个斑点的患者的血流特征的估计。患者和患者的血管系统使用步骤: 步骤: 机器学习算法对几何模型执行机器学习算法和推测关于步骤的多个人的血流特征: 区分性质的患者预测对应的血流特征几何模型的多个点。获得至少部分单个血管系统的几何模型和假定的血流特征。

