



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0077140  
(43) 공개일자 2018년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G16H 50/50 (2018.01) A61B 5/00 (2006.01)  
A61B 5/02 (2006.01) A61B 5/026 (2006.01)  
A61B 5/055 (2006.01) A61B 6/00 (2006.01)  
A61B 6/03 (2006.01) G06F 15/18 (2018.01)  
(52) CPC특허분류  
G16H 50/50 (2018.01)  
A61B 5/0033 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0074914(분할)  
(22) 출원일자 2018년06월28일  
심사청구일자 2018년06월28일  
(62) 원출원 특허 10-2016-0010938  
원출원일자 2016년01월28일  
심사청구일자 2016년01월28일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
울산대학교 산학협력단  
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)  
(72) 발명자  
이상욱  
울산광역시 울주군 범서읍 구영로 75-26, 103동 806호 (제일풍경채아파트)  
웬민투안  
울산광역시 남구 대학로 93 (무거동)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
황의만

전체 청구항 수 : 총 8 항

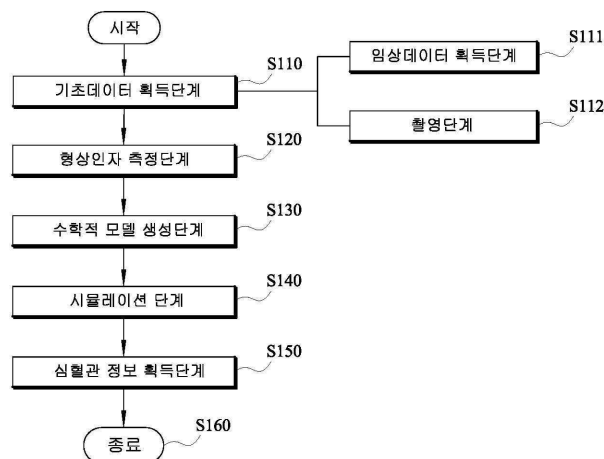
(54) 발명의 명칭 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법

(57) 요약

본 발명은 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법에 관한 것으로, 관상동맥에 대한 영상을 포함하는 환자의 기초데이터를 획득하는 기초데이터 획득단계; 상기 관상동맥에 대한 영상으로부터 협착 병변의 기하학적인 형상 인자를 측정하는 형상 인자 측정단계; 상기 기하학적인 형상 인자를 이용하여 관상동맥에 대한 수학적 모델을 생성하는 수학적 모델 생성단계; 상기 기초데이터 및 상기 수학적 모델을 이용하여 혈류역학 시뮬레이션을 수행하는 시뮬레이션 단계; 상기 시뮬레이션단계로부터 환자의 심근 분획 혈류 예비력을 포함하는 심혈관 정보를 획득하는 심혈관 정보 획득단계;를 포함한다.

대표도 - 도1

S100



(52) CPC특허분류

*A61B 5/02014* (2013.01)

*A61B 5/0261* (2013.01)

*A61B 5/055* (2013.01)

*A61B 6/03* (2013.01)

*A61B 6/504* (2013.01)

*G06F 15/18* (2018.05)

(72) 발명자

**하성민**

경기도 수원시 장안구 정자천로188번길 71-21, 10  
1동 210호 (정자동, 현대아파트)

**장혁재**

서울특별시 강남구 선릉로 221, 306동 902호 (도곡  
동, 도곡렉슬아파트)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기하학적인 형상 인자 중 적어도 어느 하나를 변수로 하여 기생성된 관상동맥의 기하학적 형상의 수학적 모델에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 획득한 심혈관 정보를 데이터베이스에 저장하는 준비단계;

관상동맥에 대한 영상을 포함하는 환자의 기초데이터를 획득하는 기초데이터 획득단계;

상기 관상동맥에 대한 영상으로부터 협착 병변의 기하학적인 형상 인자를 측정하는 형상 인자 측정단계;

상기 형상 인자 측정단계로부터 측정된 협착 병변의 기하학적인 형상 인자에 대응되는 수학적 모델 및 상기 기초데이터를 이용하여 상기 데이터베이스로부터 심혈관 정보를 추출하는 심혈관 정보 획득단계;를 포함하는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 준비단계는,

기하학적인 형상 인자 중 적어도 어느 하나를 변수로 하여 관상동맥의 기하학적인 형상의 수학적 모델을 복수개 생성하는 수학적 모델 생성단계; 상기 복수개의 수학적 모델에 대하여 각각 시뮬레이션을 수행하여 각각의 수학적 모델에 대응되는 심혈관 정보를 획득하는 시뮬레이션단계; 상기 시뮬레이션단계를 통해 획득한 심혈관 정보를 상기 데이터베이스에 저장하는 저장단계;를 포함하는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법.

#### 청구항 3

제1항 내지 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기초데이터 획득단계는,

환자에 대한 임상데이터를 획득하는 임상데이터 획득단계; 환자의 관상동맥에 대한 영상을 촬영하는 촬영단계;를 포함하는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 임상데이터 획득단계는 혈류량, 관상동맥의 수축기 압력 및 관상동맥의 이완기 혈압 중 적어도 어느 하나를 포함하는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법.

#### 청구항 5

제3항에 있어서,

상기 촬영단계는 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography:CT), 선택적 컴퓨터 단층촬영(Selective Computed Tomography) 또는 자기공명영상법(magnetic resonance imaging:MRI)를 이용하여 수행되는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법.

#### 청구항 6

제1항 내지 제2항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기하학적인 형상 인자는,

협착 병변 근위부 축소 구간에서의 혈관 직경 축소비, 협착 병변 원위부 확장 구간에서의 혈관 직경 확장비, 협착 병변 중앙부 구간 길이, 혈관 직경 기준 협착도, 협착 병변 형상의 상대 거칠기 및 협착 병변의 편심도 중

적어도 어느 하나를 포함하는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법.

## 청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 심혈관 정보 획득단계는 머신 러닝(Machine Learning)에 의하여 수행되는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법.

## 청구항 8

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 저장한 컴퓨터로 읽을 수 있는 저장장치.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 수학적 모델링을 통해 협착 병변의 형상을 간소화한 상태로 혈류 모델링을 수행할 수 있는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 관상 동맥은 심장의 심근조직으로 혈액을 공급하는 주요 혈관으로써 동맥경화 등에 의해 생성되는 혈관 협착으로 인해 혈액 공급이 제한되고, 궁극적으로 심근경색과 같은 심각한 증상을 초래할 수 있다.

[0003] 이러한 협착부 병변의 심각도에 대한 보다 정확한 진단을 위해 심근분획혈류예비력(Fractional Flow Reserve:FFR) 진단 인자에 대한 정보가 중요한 역할을 가진다.

[0004] 여기서, 심근분획혈류예비력(Fractional Flow Reserve)은 혈류충만상태(hyperemic condition)에서 협착 병변이 있는 관상동맥에서의 혈류량에 대한 협착 병변이 없는 정상 관상동맥에서의 혈류량의 비를 나타내는 값으로, 임상에서 환자의 협착 병변의 심근 경색 위험도를 진단하기 위하여 널리 이용되고 있다.

[0005] 이러한 심근분획혈류예비력(Fractional Flow Reserve)은 실질적으로 혈류량과 압력과의 유체역학적 상관관계를 이용하여 하기의 수식에 따라 구하는 것이 일반적이다.

$$FFR = \frac{P_d}{P_a}$$

[0006] 여기서 FFR은 심근분획혈류예비력,  $P_d$ 는 협착 병변 원위부 압력,  $P_a$ 는 협착 병변 근위부 압력을 의미한다.

[0008] 이러한 심근분획혈류예비력(Fractional Flow Reserve)을 구하는 과정에 있어서, 협착병변 근위부 압력( $P_a$ )를 구하는 것은 큰 문제가 없으나, 환자별로 협착 병변의 크기 및 형상이 상이하기 때문에 협착 병변에 의해 영향을 받게 되는 협착병변 원위부 압력( $P_b$ )를 구하는 것이 문제가 된다.

[0009] 종래에는 침습적인 방법으로 협착병변 원위부 측에 카테터를 삽입하여 카테터에 구비된 압력 센서를 이용하여 직접 협착병변 원위부의 압력을 측정하였다. 그러나, 이러한 방법은 환자에게 위험을 초래할 수 있으며, 시술비용이 상당하다는 문제점이 존재한다.

[0010] 이에, 비침습적인 방법으로 환자의 관상동맥에 대한 3차원 영상을 추출하고 이를 기반으로 혈류역학 시뮬레이션을 수행함으로써 협착 병변 주위의 압력 및 유동장을 구하여 협착병변 원위부의 압력을 추정할 수 있으나, 매우 복잡한 작업 및 컴퓨터 처리 시간을 요구하게 된다는 문제점이 존재한다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 한국등록공보 제10-1524955호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0012] 따라서, 본 발명의 목적은 이와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 환자의 협착 병변을 단순화시키는 수학적 모델링을 수행함으로써 신속하게 심혈관 정보를 획득할 수 있는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법을 제공함에 있다.

### 과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 일 측면에 따르면, 관상동맥에 대한 영상을 포함하는 환자의 기초데이터를 획득하는 기초데이터 획득단계; 상기 관상동맥에 대한 영상으로부터 협착 병변의 기하학적인 형상 인자를 측정하는 형상 인자 측정단계; 상기 기하학적인 형상 인자를 이용하여 협착 병변에 대한 수학적 모델을 생성하는 수학적 모델 생성단계; 상기 기초데이터 및 상기 수학적 모델을 이용하여 혈류역학 시뮬레이션을 수행하는 시뮬레이션 단계; 상기 시뮬레이션단계로부터 환자의 심근 분획 혈류 예비력을 포함하는 심혈관 정보를 획득하는 심혈관 정보 획득단계;를 포함하는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법이 제공될 수 있다.

[0014] 한편, 본 발명의 다른 측면에 따르면, 기하학적인 형상 인자 중 적어도 어느 하나를 변수로 하여 생성된 관상동맥의 기하학적 형상의 수학적 모델에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 획득한 심혈관 정보를 데이터베이스에 저장하는 준비단계; 관상동맥에 대한 영상을 포함하는 환자의 기초데이터를 획득하는 기초데이터 획득단계; 상기 관상동맥에 대한 영상으로부터 협착 병변의 기하학적인 형상 인자를 측정하는 형상 인자 측정단계; 상기 형상 인자 측정단계로부터 측정된 협착 병변의 기하학적인 형상 인자에 대응되는 수학적 모델 및 상기 기초데이터를 이용하여 상기 데이터베이스로부터 심혈관 정보를 추출하는 심혈관 정보 획득단계;를 포함하는 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법이 제공될 수 있다.

[0015] 여기서, 상기 준비단계는, 기하학적인 형상 인자 중 적어도 어느 하나를 변수로 하여 관상동맥의 기하학적인 형상의 수학적 모델을 복수개 생성하는 수학적 모델 생성단계; 상기 복수개의 수학적 모델에 대하여 각각 시뮬레이션을 수행하여 각각의 수학적 모델에 대응되는 심혈관 정보를 획득하는 시뮬레이션단계; 상기 시뮬레이션단계를 통해 획득한 심혈관 정보를 상기 데이터베이스에 저장하는 저장단계;를 포함하는 것이 바람직하다.

[0016] 또한, 상기 기초데이터 획득단계는, 환자에 대한 임상데이터를 획득하는 임상데이터 획득단계; 환자의 관상동맥에 대한 영상을 촬영하는 촬영단계;를 포함하는 바람직하다.

[0017] 또한, 상기 임상데이터 획득단계는 혈류량, 관상동맥의 수축기 압력 및 관상동맥의 이완기 혈압 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것이 바람직하다.

[0018] 또한, 상기 촬영단계는 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography:CT), 선택적 컴퓨터 단층촬영(Selective Computed Tomography) 또는 자기공명영상법(magnetic resonance imaging:MRI)를 이용하여 수행되는 것이 바람직하다.

[0019] 또한, 상기 기하학적인 형상 인자는, 협착 병변 근위부 축소 구간에서의 혈관 직경 축소비, 협착 병변 원위부 확장 구간에서의 혈관 직경 확장비, 상기 협착 병변 근위부와 상기 협착 병변 원위부 사이의 간격, 혈관 직경 기준 협착도, 협착 병변 형상의 상대 거칠기 및 협착 병변의 편심도 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것이 바람직하다.

[0020] 또한, 상기 심혈관 정보 획득단계는 머신 러닝(Machine Learning)에 의하여 수행되는 것이 바람직하다.

[0021] 한편, 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 저장한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 의해 달성될 수 있다.

## 발명의 효과

[0022] 본 발명에 따르면, 환자별 협착 병변의 형상 및 유량 인자에 따라 비침습적으로 빠르게 심혈관 정보를 획득할 수 있다.

[0023] 또한, 심혈관 정보를 획득하는 시간 대비 정확도를 현저히 향상시킬 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 제1실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법을 개략적으로 도시한 순서도이고,

도 2는 도 1에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법의 형상 인자 측정단계에서 협착 병변으로부터 기하학적 형상 인자를 추출하는 모습을 개략적으로 도시한 도면이고,

도 3은 도 1에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법의 수학적 모델 생성단계에서 협착 병변의 수학적 모델을 개략적으로 도시한 도면이고,

도 4는 본 발명의 제2실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법을 개략적으로 도시한 순서도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 설명에 앞서, 여러 실시예에 있어서, 동일한 구성을 가지는 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 사용하여 대표적으로 제1실시예에서 설명하고, 그 외의 실시예에서는 제1실시예와 다른 구성에 대해서 설명하기로 한다.

[0026] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 제1실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법에 대하여 상세하게 설명한다. 각 도면에 제시된 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0027] 도 1은 본 발명의 제1실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법을 개략적으로 도시한 순서도이다.

[0028] 도 1을 참조하면, 본 발명의 제1실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법(S100)은 환자로부터 획득하는 기초데이터를 이용하여 환자의 협착 병변 형상을 수학적 모델로 단순화시킨 후 혈류역학 시뮬레이션을 수행하는 것으로서, 기초데이터 획득단계(S110)와 형상 인자 측정단계(S120)와 수학적 모델 생성단계(S130)와 시뮬레이션 단계(S140)와 심혈관 정보 획득단계(S150)를 포함한다.

[0029] 상기 기초데이터 획득단계(S110)는 환자로부터 획득할 수 있으며, 심혈관 정보 획득에 필요한 기초데이터를 획득하는 단계이다.

[0030] 본 발명의 제1실시예에 있어서, 기초데이터 획득단계(S110)는 임상데이터 획득단계(S111)와 촬영단계(S112)를 포함할 수 있다.

[0031] 상기 임상데이터 획득단계(S111)는 환자에 대한 임상데이터를 획득하는 단계이다. 여기서, 환자의 임상데이터로는 환자의 혈류 데이터를 포함할 수 있고, 환자의 혈류 데이터는 관상동맥으로의 혈류량, 수축기 및 이완기 시의 혈압을 포함할 수 있다.

[0032] 물론, 상기과 같은 데이터에 제한되는 것은 아니며, 심혈관 정보를 획득하기 위해 요구되는 모든 데이터를 포함할 수 있는 것은 당연하다.

[0033] 상기 촬영단계(S112)는 환자의 관상동맥을 촬영하여 관상동맥에 대한 영상을 획득하는 단계이다.

[0034] 한편, 본 발명의 제1실시예에 따르면 촬영단계(S112)는 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography:CT), 선택적 컴퓨터 단층촬영(Selective Computed Tomography) 또는 자기공명영상법(magnetic resonance imaging:MRI)를 이용하여 수행될 수 있다.

[0035] 가령, 촬영단계(S112)는 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography:CT)으로 수행될 수 있으며, 더 나아가 촬영된 이미지에 대하여 볼륨 렌더링 가시화를 수행할 수 있다.

[0036] 상술한 방법들은 주지한 방법들이므로, 여기서는 촬영단계(S112)에 대한 자세한 설명은 생략한다.

[0037] 상기 형상 인자 측정단계(S120)는 상술한 기초데이터 획득단계(S110)를 통해서 획득한 기초데이터 중에서 적어도 환자의 관상동맥에 대한 영상을 이용하여 협착 병변의 기하학적인 형상 인자를 측정하는 단계이다.

[0038] 여기서, 협착 병변의 기하학적인 형상 인자라 함은 협착 병변의 근위부 및 원위부 사이에서의 압력 손실에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 혈관 형상 인자를 의미할 수 있다.

[0039] 도 2는 도 1에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법의 형상 인자 측정단계에서 협착 병변으로부터 기하학적 형상 인자를 추출하는 모습을 개략적으로 도시한 도면이다.

[0040] 도 2를 참조하면, 기하학적인 형상 인자는, 협착 병변 근위부 축소 구간에서의 혈관 직경 축소비, 협착 병변 원위부 확장 구간에서의 혈관 직경 확장비, 협착 병변 중앙부(C) 구간 길이(Lcs), 혈관 직경 기준 협착도, 협착 병변 형상의 상대 거칠기 및 협착 병변의 편심도 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0041] 여기서, 협착 병변 근위부(P)는 협착 병변에서 혈류가 유입되는 입구 부위라 정의할 수 있고, 협착 병변의 중앙부(C)는 협착 병변에서 죽상반(P)에 의해 혈관 직경이 감소된 상태로 일정하게 유지되는 구간으로 정의할 수 있고, 협착 병변 원위부(D)는 협착 병변에서 혈류가 배출되는 출구 부위라 정의할 수 있다.

[0042] 상기 협착 병변 근위부(P) 축소 구간에서의 혈관 직경 축소비는 협착 병변 근위부(P)를 마주보는 협착 병변의 중앙부(C)의 일단에서 협착 병변 근위부(P)까지 혈관 직경의 축소가 선형적으로 이루어지는 것으로 전제하여 표현한 것으로, 하기의 수식에 따른다.

$$K_c = \frac{D-d}{2L_{ps}}$$

[0043]

[0044] 여기서, Kc는 협착 병변 근위부(P) 축소 구간에서의 혈관 직경 축소비를 의미하고, D는 혈관의 직경, d는 죽상반에 의한 감소된 혈관의 직경, Lps는 협착 병변의 중앙부(C)와 협착 병변 근위부(P) 사이의 간격을 의미한다.

[0045] 상기 협착 병변 원위부(D) 확장 구간에서의 혈관 직경 확장비는 협착 병변 원위부(D)를 마주보는 협착 병변의 중앙부(C)의 타단에서 협착 병변 원위부(D)까지 혈관 직경의 확장이 선형적으로 이루어지는 것으로 전제하여 표현한 것으로, 하기의 수식에 따른다.

$$K_e = \frac{D-d}{2L_{ds}}$$

[0046]

[0047] 여기서, Ke는 협착 병변 근위부(D) 확장 구간에서의 혈관 직경 확장비를 의미하고, D는 혈관의 직경, d는 죽상반에 의한 감소된 혈관의 직경, Lds는 협착 병변의 중앙부(C)와 협착 병변 원위부(D) 사이의 간격을 의미한다.

[0048] 상기 협착 병변 중앙부(C) 구간 길이(Lcs)는 협착 병변에서 죽상반(P)에 의해 혈관 직경이 감소된 상태로 일정하게 유지되는 구간의 길이를 의미한다.

[0049] 상기 혈관 직경 기준 협착도는 혈관 직경에 대비하여 협착 병변의 협착된 정도를 의미하는 것으로 하기의 수식에 따른다.

$$DS = 1 - \frac{d}{D}$$

[0050]

[0051] 여기서, DS는 혈관 직경 기준 협착도, D는 혈관의 직경, d는 죽상반에 의한 감소된 혈관의 직경을 의미한다.

[0052] 상기 협착부 형상의 상대 거칠기는 혈관 내면의 거칠기를 죽상반에 의해 감소된 혈관의 직경으로 나눈 값을 의미하며, 하기의 수식에 따른다.

$$roughness = \frac{\varepsilon}{d}$$

[0053]

[0054] 여기서, ε은 혈관 내벽면의 표면 거칠기, d는 죽상반에 의한 감소된 혈관의 직경을 의미한다.

[0055] 상기 협착 병변의 편심도는 혈관 직경에 대비하여 협착 병변이 혈관 중심으로부터 일측으로 치우친 정도를 의미하는 것으로 하기의 수식에 따른다. 이러한 편심도의 크기에 따라 혈류 유동의 비대칭성이 커지게 된다. 가령, 편심도의 크기가 커지면 협착 병변 원위부에서의 유동 및 압력장의 교란이 야기되고 압력 손실이 증가될 수 있다.

$$EC = \frac{s}{D}$$

[0056]

[0057] 여기서, EC는 협착 병변의 편심도, s는 가상의 정상 혈관 중심선으로부터 협착 병변에서의 중심선까지의 거리,



D는 혈관의 지경을 의미한다.

- [0058] 한편, 본 발명의 제1실시예에 따르면 기하학적 형상 인자에 대한 구체적인 예를 제시하였으나 이에 제한되는 것은 아니며, 혈관 형상에 관한 인자라면 모두 포함될 수 있음은 당연하다.
- [0059] 도 3은 도 1에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법의 수학적 모델 생성단계에서 협착 병변의 수학적 모델을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0060] 도 3을 참조하면, 상기 수학적 모델 생성단계(S130)는 상술한 기하학적인 형상 인자를 이용하여 환자의 협착 병변에 대한 수학적 모델을 생성하는 단계이다.
- [0061] 상술한 기하학적인 형상 인자를 이용하여 협착 병변에 대한 수학적 모델을 생성하면, 환자의 협착 병변은 사다리꼴 또는 삼각형 등의 도형으로 단순화시킬 수 있다.
- [0062] 상기 시뮬레이션 단계(S140)는 상술한 기초데이터 획득단계(S110)를 통해 획득한 환자의 기초데이터 및 상술한 수학적 모델 생성단계(S130)를 통해 획득한 환자의 협착 병변에 대한 수학적 모델을 이용하여 혈류역학 시뮬레이션을 수행하는 단계이다.
- [0063] 즉, 수학적 모델을 통해 환자의 협착 병변을 단순화시키고, 이러한 수학적 모델에 혈류량, 수축기 및 이완기 시의 압력을 포함하는 혈류 조건을 적용함으로써 단기간 내에 혈류역학 시뮬레이션을 수행할 수 있다.
- [0064] 상기 심혈관 정보 획득단계(S150)는 상기 시뮬레이션 단계(S140)를 통해 획득한 결과로부터 심근 분획 혈류 예비력을 포함하는 심혈관 정보를 획득하는 단계이다.
- [0065] 즉, 시뮬레이션 단계(S140)를 통해 협착 병변의 근위부와 원위부 사이에서의 압력 손실값을 계산할 수 있고, 이를 통해 심근 분획 혈류 예비력을 획득할 수 있다.
- [0066] 물론, 시뮬레이션 단계(S140)를 통해 상술한 심근 분획 혈류 예비력에 대해서만 획득하는 것은 아니며, 심근 분획 혈류 예비력 이외의 다른 심혈관 정보, 더 정확하게는 혈류역학 기반의 기능성 정보를 추출할 수 있음은 당연하다.
- [0068] 다음으로 본 발명의 제2실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법에 대하여 설명한다.
- [0069] 도 4는 본 발명의 제2실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법을 개략적으로 도시한 순서도이다.
- [0070] 도 4를 참조하면, 본 발명의 제2실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법(S200)은 기하학적인 형상 인자 중 적어도 어느 하나를 변수로 하여 기생성된 협착 병변의 수학적 모델에 대하여 미리 시뮬레이션을 수행하여 데이터베이스화시킨 상태에서 환자의 협착 병변으로부터 추출된 기하학적인 형상 인자와 실질적으로 대비되는 수학적 모델의 시뮬레이션 수치를 데이터베이스로부터 추출할 수 있도록 마련된 것으로서, 준비단계(S210)와 기초데이터 획득단계(S220)와 형상 인자 측정단계(S230)와 심혈관 정보 획득단계(S240)를 포함한다.
- [0071] 상기 준비단계(S210)는 기하학적인 형상 인자 중 적어도 어느 하나를 변수로 하여 기생성된 관상동맥의 기하학적인 형상의 수학적 모델에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 획득한 심혈관 정보를 데이터베이스에 저장하는 단계이다.
- [0072] 여기서, 기하학적인 형상 인자는 상술한 제1실시예에서 설명하였으므로 여기서는 자세한 설명은 생략한다.
- [0073] 본 발명의 제2실시예에 따르면, 준비단계(S210)는 수학적 모델 생성단계(S211)와 시뮬레이션 단계(S212)와 저장단계(S213)를 포함할 수 있다.
- [0074] 상기 수학적 모델 생성단계(S211)는 기하학적인 형상 인자 중 적어도 어느 하나를 변수로 하여 관상동맥의 수학적 모델을 복수개 생성하는 단계이다.
- [0075] 즉, 제2실시예에 따른 수학적 모델 생성단계(S211)는 제1실시예와는 달리 환자의 관상동맥의 형상과는 무관한 수학적 모델을 기하학적인 형상 인자 중 적어도 어느 하나를 변수로 하여 무작위로 생성하게 된다.
- [0076] 가령, 협착 병변 근위부 축소 구간에서의 혈관 직경 축소비, 협착 병변 원위부 확장 구간에서의 혈관 직경 확장



비, 혈관 직경 기준 협착도, 협착 병변 형상의 상대 거칠기 및 협착 병변의 편심도는 일정한 상수로 유지하되, 협착 병변 중심부 구간 길이를 변경하여 다수의 수학적 모델을 생성할 수 있다.

- [0077] 상기 시뮬레이션 단계(S212)는 상술한 수학적 모델 생성단계(S211)를 통해 생성된 복수개의 수학적 모델 각각에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 각각의 수학적 모델에 대응되는 심혈관 정보를 획득하는 단계이다.
- [0078] 상기 저장단계(S213)는 상술한 시뮬레이션 단계(S212)를 통해 획득한 심혈관 정보를 데이터베이스에 저장하는 단계이다.
- [0079] 상기 기초데이터 획득단계(S220) 및 상기 기하학적 형상 인자 측정단계(S230)는 상술한 제1실시예에서 설명한 것과 동일하므로 여기서는 자세한 설명을 생략한다.
- [0080] 상기 심혈관 정보 획득단계(S240)는 기하학적 형상 인자 측정단계(S230)로부터 측정된 환자의 협착 병변에 대한 기하학적인 형상 인자 및 기초데이터 획득단계(S220)를 통해 획득한 기초데이터를 이용하여 준비단계(S210)에서 데이터 베이스에 저장된 심혈관 정보를 추출하는 단계이다.
- [0081] 더 자세히 설명하면, 사용자는 기하학적 형상 인자 측정단계(S230)로부터 측정된 환자의 협착 병변에 대한 기하학적인 형상 인자 및 기초데이터 획득단계(S220)를 통해 획득한 기초데이터를 데이터베이스에 입력하면, 데이터 베이스는 사용자가 입력한 입력값에 대응되는 조건에서 획득한 심혈관 정보를 출력한다.
- [0082] 즉, 본 발명의 제2실시예에서 기초데이터 획득단계(S220) 및 기하학적 형상 인자 측정단계(S230)는 환자의 심혈관 정보를 추출하기 위한 입력 조건을 획득하기 위한 단계에 해당되며, 제1실시예에서와 같이 환자의 협착 병변에 대한 수학적 모델을 생성하기 위한 정보를 획득하는 것과는 차이점이 존재한다.
- [0083] 한편, 본 발명의 제2실시예에 따른 심혈관 정보 획득단계(S240)는 머신 러닝에 의하여 수행될 수 있다. 여기서, 머신 러닝은 기구축된 데이터 베이스를 기반으로 데이터를 분석 및 학습함으로써 새로운 데이터에 대한 결과를 예측하는 기법을 의미한다.
- [0084] 즉, 수학적 모델을 이용하여 심혈관 정보를 해석한 데이터베이스를 구축하고 이러한 데이터를 머신 러닝을 통해 충분히 학습시킨다면 환자의 협착 병변에 대한 기하학적인 형상 요인을 통해 환자의 심혈관 정보를 단기간에 도출해낼 수 있다.
- [0086] 한편, 상술한 제1실시예와 제2실시예에 따른 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법은 기하학적인 형상 인자에 의한 수학적 모델을 이용하여 협착 병변을 단순화시킬 수 있고, 이를 실시간으로 또는 기 저장된 데이터를 통해 처리함으로써 빠른 시간 내에 심혈관 정보를 추출할 수 있다.
- [0088] 한편, 상술한 본 발명의 일실시예는 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성가능하고, 컴퓨터로 판독가능한 기록매체를 이용하여 상기 프로그램을 동작시키는 범용 디지털 컴퓨터에서 구현될 수 있다.
- [0089] 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함할 수 있다.
- [0091] 본 발명의 권리범위는 상술한 실시예에 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 다양하게 수정 또는 변형할 수 있고, 그러한 수정예 또는 변형예들도 본 발명의 권리범위에 속한다고 볼 것이다.

## 부호의 설명

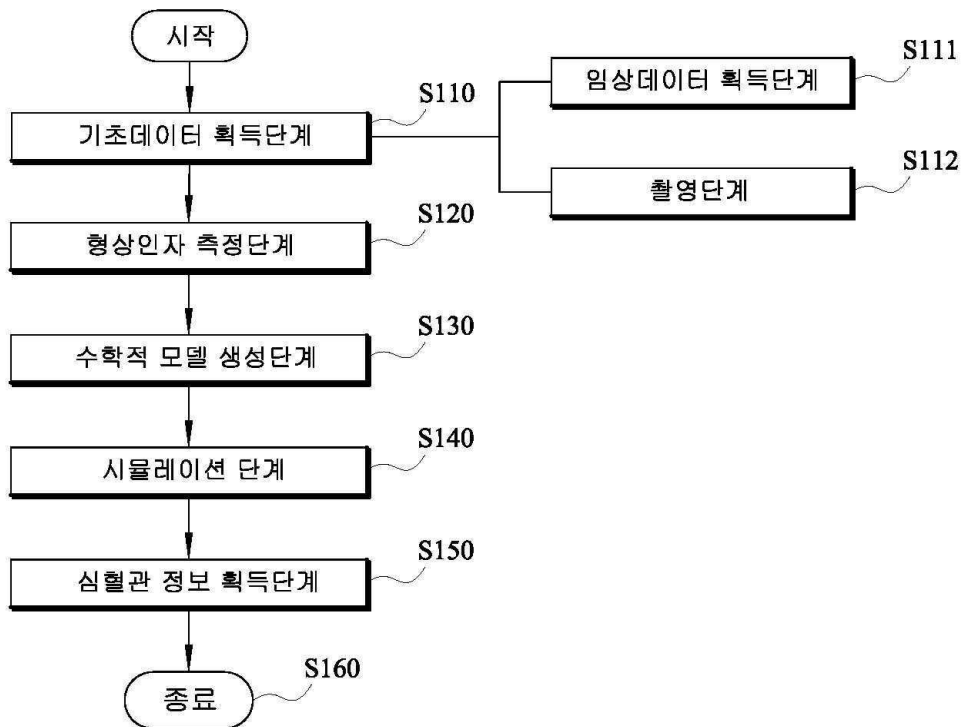
- [0092] S100: 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법  
S110: 기초데이터 획득단계 S120: 형상 인자 측정단계

S130: 수학적 모델 생성단계    S140: 시뮬레이션 단계  
 S150: 심혈관 정보 획득단계  
 S200: 협착 병변의 수학적 모델링을 이용한 심혈관 정보 결정 방법  
 S210: 준비단계        S220: 기초데이터 획득단계  
 S230: 형상 인자 측정단계    S240: 심혈관 정보 획득단계

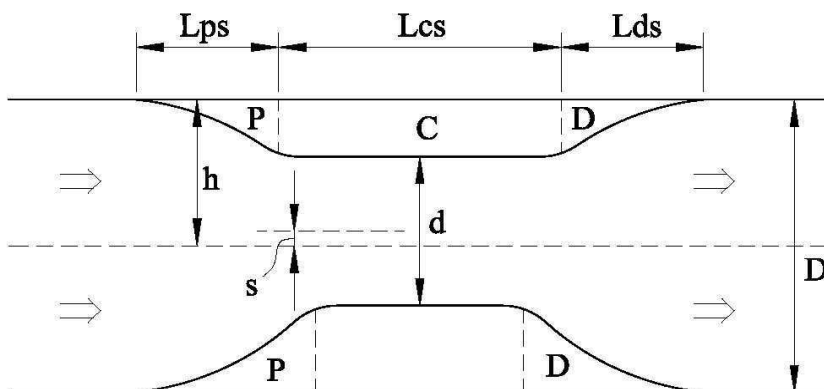
## 도면

### 도면1

#### S100

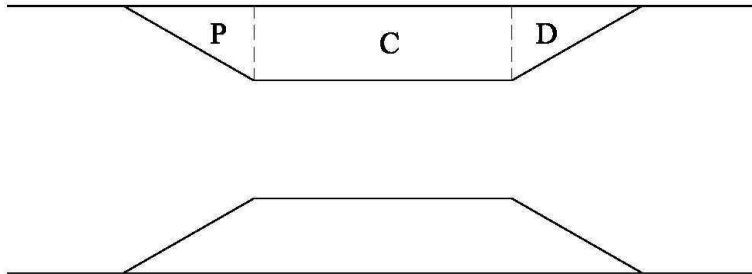


### 도면2



도면3

S130



도면4

S200

