



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0077256
(43) 공개일자 2020년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/00 (2006.01) A61B 5/024 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/7275 (2013.01)
A61B 5/02416 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0166599
(22) 출원일자 2018년12월20일
심사청구일자 2018년12월20일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
김동주
서울특별시 강남구 압구정로 201, 82동 1106호
(74) 대리인
심경식, 홍성욱

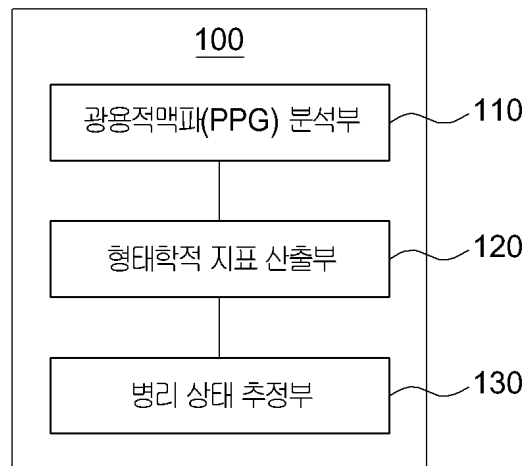
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법, 이를 이용하여 사용자의 병리 상태를 추정하는
장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 광용적맥파(PPG) 신호 파형의 형태학적 분석을 수행하고, 그에 따라 사용자의 병리 상태를 추정하는
장치 및 그 방법에 관한 것으로, PPG 신호 파형에서 수축 피크, 파형의 시작점 및 중복 맥박 패임을 검출하는
PPG 분석부; 수축 피크, 파형의 시작점 및 중복 맥박 패임을 이용하여 복수의 형태학적 지표를 산출하는 형태학
적 지표 산출부; 및 산출된 복수의 지표들을 이용하여 사용자의 병리 상태를 추정하는 병리 상태 추정부를 포함
할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

A61B 5/7235 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법에 있어서,

광용적맥파(PPG) 분석부가 수축 피크(Systolic Peak)를 검출하는 단계;

상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 상기 수축 피크를 기초로 하여 파형의 시작점(Pulse Onset)을 검출하는 단계; 및

상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 단계를 포함하는 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 상기 중박 맥박 패임을 정상 맥박 패임 또는 변성 맥박 패임으로 분류하는 단계를 더 포함하는 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 상기 수축 피크를 검출하는 단계는,

상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 최적의 시간 창 및 샘플링 주파수를 도출하는 단계 및

상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 국부 최대 값을 도출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하고,

상기 최적의 시간 창 내에서 가장 큰 값을 상기 수축 피크로 검출하는 것인 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 파형의 시작점을 검출하는 단계에서,

파형의 시작점이 아래로 볼록한 골인 지점 및 일차 도함수의 값이 0인 지점을 상기 파형의 시작점인 것으로 하는 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 중박 맥박 패임을 검출하는 단계에서,

상기 수축 피크와 상기 파형의 다음 파형의 시작점 사이에 존재하고, 일차 도함수의 값이 0이되, 하기 수식 1을 만족하는 지점을 중박 맥박 패임으로 결정하는 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법.

수식 1:

$$-0.05 \times \frac{A_k}{S_k} < \frac{A_{k+1} - A_k}{T_{k+1} - T_k} < 0$$

여기서, S_k 는 k 번째 수축 피크와 그 다음 파형의 수축 피크 사이의 시간 간극, T_k 는 수축 피크의 측정 시간, A_k 는 T_k 에서 수축 피크의 진폭이다.

청구항 6

제 2 항에 있어서,

상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 상기 중복 맥박 패임을 정상 맥박 패임 또는 변성 맥박 패임으로 분류하는 단계는 하기 수식 2를 만족하면 정상 맥박 패임으로 분류하는 것인 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법.

$$\text{수식 2 : } A_k \times 0.03 < B_k$$

여기서, A_k 는 수축 피크의 진폭이고 B_k 는 중복 맥박 패임의 진폭이다.

청구항 7

광용적맥파(PPG) 분석부가 광용적맥파(PPG) 신호 파형에서 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중복 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 단계;

형태학적 지표 산출부가 상기 광용적맥파(PPG) 분석부를 통해 검출한 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중복 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 이용하여 복수의 형태학적 지표를 산출하는 단계; 및

병리 상태 추정부가 상기 형태학적 지표 산출부를 통해 산출된 복수의 지표들을 이용하여 광용적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정하는 단계를 포함하는,

사용자의 병리 상태 추정 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 복수의 형태학적 지표는 수축 피크의 진폭, 중복 맥박 패임의 진폭, 진폭비, 수축 피크의 대기 시간(Latency), 중복 맥박 패임의 대기 시간, 대기 시간비, 피크 기울기(slope) 및 패임의 기울기 중 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 사용자의 병리 상태 추정 방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 병리 상태는 고혈압인 것을 특징으로 하는 사용자의 병리 상태 추정 방법.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

복수의 지표들을 이용하여 광용적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정하는 단계는 기계학습을 적용하여 추정하는 것을 특징으로 하는 사용자의 병리 상태 추정 방법.

청구항 11

광용적맥파(PPG) 신호 파형에서 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중복 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 광용적맥파(PPG) 분석부;

상기 광용적맥파(PPG) 분석부를 통해 검출한 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중복 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 이용하여 복수의 형태학적 지표를 산출하는 형태학적 지표 산출부; 및

상기 형태학적 지표 산출부를 통해 산출된 복수의 지표들을 이용하여 광용적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정하는 병리 상태 추정부를 포함하는,

광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 복수의 형태학적 지표는 수축 피크의 진폭, 중복 맥박 패임의 진폭, 진폭비, 수축 피크의 대기 시간

(Latency), 중복 맥박 패임의 대기 시간, 대기 시간비, 피크 기울기(slope) 및 패임의 기울기 중 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치.

청구항 13

제 11항에 있어서,

상기 병리 상태는 고혈압인 것을 특징으로 하는 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치.

청구항 14

제 11항에 있어서,

복수의 지표들을 이용하여 광용적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정하는 단계는 기계학습을 적용하여 추정하는 것을 특징으로 하는 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치.

청구항 15

제 11항에 있어서,

상기 사용자의 병리 상태 추정 장치는 사용자로부터 광용적맥파(PPG) 신호를 수신하는 PPG 센서를 더 포함하는 사용자의 병리 상태 추정 장치.

청구항 16

제 15항에 있어서,

상기 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치는 웨어러블 디바이스인 것을 특징으로 하는 사용자의 병리 상태 추정 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법 및 이를 이용하여 사용자의 병리 상태를 추정하는 장치 및 그 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 광용적맥파 신호 파형의 형태학적 분석을 수행하고, 그에 따라 사용자의 병리 상태를 추정하는 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 맥파는 심장이 혈액을 순환시킴에 따라 발생하는 혈관의 용적 변화에 대한 파형으로, 그 용적 변화를 모니터링 하는 검지기를 맥파 센서라고 한다. 대표적인 비침습적 맥파 측정 방법인 광용적맥파(Photoplethysmogram, PPG)는 손가락 끝, 귓불 등과 같이 인체의 표면에 적외선 및 적색광을 조사하여, 심장의 맥동에 따라 변화하는 혈류량의 변화를 측정한 결과이다. 보다 구체적으로, PPG는 체내를 투과하는 빛의 변화량을 측정함으로써 혈류량의 변화에 따른 맥파를 측정할 수 있다.

[0003] 종래의 PPG 신호의 분석방식은 크게 세 가지 방식으로 구분된다. 첫째로, 센서로 측정하여 얻어지는 파형을 통해 파형 변동의 주기를 모니터링함으로써, 심박수(Heart Rate, HR)를 측정할 수 있다.

[0004] 둘째, 적외선과 적색광의 2가지 파장을 사용하여 동맥의 혈중 산소 포화도 (SpO₂)를 측정할 수 있다.

[0005] 또한, PPG 신호를 통해 심박수의 변동성 (Heart Rate Variability, HRV)을 분석하여 스트레스 정도를 평가할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) (KR) 등록특허 제 10-1922221 호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 종래의 기술은 단순히 심박을 평가하고, 심박의 변동성을 평가하는 방식을 활용하고 있는데, 이와 같은 분석 방법들의 경우, 맥파의 수축 피크 혹은 파형의 시작점만을 활용하기 때문에, 맥파의 형태학적인 정보가 전혀 활용되지 못하는 한계가 존재한다.

[0008] 본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 맥파의 형태가 반영되어 다양한 생체정보들까지 분석할 수 있는 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법, 이를 이용하여 사용자의 병리 상태를 추정하는 장치 및 그 방법을 제공하기 위함이다.

[0009] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법은, 광용적맥파(PPG) 분석부가 수축 피크(Systolic Peak)를 검출하는 단계; 상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 상기 수축 피크를 기초로 하여 파형의 시작점(Pulse Onset)을 검출하는 단계; 및 상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법은 중박 맥박 패임을 정상 맥박 패임 또는 변성 맥박 패임으로 분류하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따라 광용적맥파(PPG) 분석부가 상기 수축 피크를 검출하는 단계는, 상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 최적의 시간 창 및 샘플링 주파수를 도출하는 단계 및 상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 국부 최대 값을 도출하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 최적의 시간 창 내에서 가장 큰 값을 상기 수축 피크로 검출할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따라 광용적맥파(PPG) 분석부가 상기 파형의 시작점을 검출하는 단계에서, 파형의 시작점이 아래로 볼록한 골인 지점 및 일차 도함수의 값이 0인 지점을 상기 파형의 시작점인 것으로 할 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따라 광용적맥파(PPG) 분석부가 중박 맥박 패임을 검출하는 단계에서, 상기 수축 피크와 상기 파형의 다음 파형의 시작점 사이에 존재하고, 일차 도함수의 값이 0이되, 하기 수식 1을 만족하는 지점을 중박 맥박 패임으로 결정할 수 있다.

$$-0.05 \times \frac{A_k}{S_k} < \frac{A_{k+1} - A_k}{T_{k+1} - T_k} < 0$$

[0015] 수식 1:

[0016] 여기서, S_k 는 k번째 수축 피크와 그 다음 파형의 수축 피크 사이의 시간 간극, T_k 는 수축 피크의 측정 시간, A_k 는 T_k 에서 수축 피크의 진폭이다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따라 광용적맥파(PPG) 분석부가 상기 중박 맥박 패임을 정상 맥박 패임 또는 변성 맥박 패임으로 분류하는 단계는 하기 수식 2를 만족하면 정상 맥박 패임으로 분류하는 것일 수 있다.

$$\text{수식 2 : } A_k \times 0.03 < B_k$$

[0019] 여기서, A_k 는 수축 피크의 진폭이고 B_k 는 중박 맥박 패임의 진폭이다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 사용자의 병리 상태 추정 방법은 광용적맥파(PPG) 분석부가 광용적맥파(PPG) 신호 파형에서 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 단계; 형태학적 지표 산출부가 상기 광용적맥파(PPG) 분석부를 통해 검출한 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 이용하여 복수의 형태학적 지표를 산출하는 단

계; 및 병리 상태 추정부가 상기 형태학적 지표 산출부를 통해 산출된 복수의 지표들을 이용하여 광용적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 형태학적 지표는 수축 피크의 진폭, 중박 맥박 패임의 진폭, 진폭비, 수축 피크의 대기 시간(Latency), 중박 맥박 패임의 대기 시간, 대기 시간비, 피크 기울기(slope) 및 패임의 기울기 중 적어도 어느 하나일 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 병리 상태는 고혈압인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 지표들을 이용하여 광용적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정하는 단계는 기계학습을 적용하여 추정할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치는 광용적맥파(PPG) 신호 파형에서 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 광용적맥파(PPG) 분석부; 상기 광용적맥파(PPG) 분석부를 통해 검출한 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 이용하여 복수의 형태학적 지표를 산출하는 형태학적 지표 산출부; 및 상기 형태학적 지표 산출부를 통해 산출된 복수의 지표들을 이용하여 광용적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정하는 병리 상태 추정부를 포함할 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치는 사용자로부터 광용적맥파(PPG) 신호를 수신하는 PPG 센서를 더 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치는 웨어러블 디바이스인 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법을 통하여, 혈관의 순응도(Vascular Stiffness) 및 혈관 수축(Vasoconstriction) 및 이완(Vasodilation)의 정도를 실시간으로 평가할 수 있다.

[0028] 본 발명은 모바일 환경에서 그 임상적 사용성 및 활용성이 높고, 맥파 신호의 분석을 자동화할 수 있게 한다.

[0029] 본 발명을 통해 PPG 신호의 특징점을 자동으로 검출함으로써 검출된 특징점의 신뢰성을 높이고 인터(inter)/인트라(intra) 관찰자 변동성을 제거할 수 있다.

[0030] 또한, 본 발명은 중박 맥박 패임을 정상 맥박 패임과 임시 맥박 패임으로 구분하여 임상 상황에서 병리적 상태를 진단하고 예후에 활용하는데 많은 이점을 제공한다.

[0031] 또한, 본 발명은 실시간으로 맥파의 형태학적 분석을 수행할 수 있으므로, 사용자의 혈관에 대한 건강상태를 실시간으로 제공할 수 있다.

[0032] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법의 개념도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치의 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법의 순서도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호를 나타낸다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 방법의 순서도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용하여 복수의 형태학적 지표를 나타내는 그래프이다.

도 7은 고혈압 환자에 대한 PPG 파형의 형태학적 지표의 ROC 곡선이다.

도 8은 정상 및 단계별 고혈압 환자군에서 수축 피크의 대기시간을 비교한 통계결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면을 참조하여 상세하게 설명하도록 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.
- [0035] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0036] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급될 때에는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급될 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0037] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0038] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0039] 명세서 및 청구범위 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 포함한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0040] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법의 개념도이다.
- [0042] PPG 센서(200)가 사용자의 손가락 등에 끼워진 상태에서 사용자의 맥파를 측정하면 본 발명의 일 실시예에 따른 장치(100)가 PPG를 분석하여 사용자의 병리 상태를 추정할 수 있다.
- [0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치의 블록도이다.
- [0044] 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 장치는 PPG 분석부(110), 형태학적 지표 산출부(120) 및 병리 상태 추정부(130)를 포함할 수 있다.
- [0045] PPG 분석부(110)는 광용적맥파(PPG) 신호 파형에서 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출함으로써, PPG 신호 파형을 분석할 수 있다.
- [0046] 형태학적 지표 산출부(120)는 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 이용하여, 수축 피크의 진폭(Pulse Amplitude, AMP), 중박 맥박 패임의 진폭(Notch Amplitude, NMP), 진폭비(Amplitude Ratio, MPR), 수축 피크의 대기 시간(Peak Latency, LAT), 중박 맥박 패임의 대기 시간(Notch Latency, NAT), 대기 시간비(Latency Ratio, ATR), 피크 기울기(Peak Slope, STA) 및 패임의 기울기(Notch Slope, NTA) 등의 형태학적 지표를 산출할 수 있다.
- [0047] 상기 형태학적 지표에 관하여는 도 6을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0048] 병리 상태 추정부(130)는 상기 산출된 형태학적 지표를 이용하여 통계적 기법을 등을 적용함으로써 광용적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 고혈압 등과 같은 병리 상태를 추정할 수 있다.
- [0049] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석하는 방법의 순서도이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호를 나타낸다.

- [0050] 도 3 및 도 4를 참조하여, PPG 분석부(110)가 PPG 신호 파형을 분석하는 방법을 설명한다.
- [0051] 본 발명의 일 실시예에서 고려되는 맥파 파형의 특징점은 파형의 시작점(Pulse Onset, 41), 수축 피크(Systolic Peak, 42) 및 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch, 43)을 포함한다. 이러한 맥파 파형의 특징점은 혈액 순환과 밀접하게 연관되어 있다.
- [0052] 구체적으로 파형의 시작점(41)은 대동맥 판막(aorta valve)이 개방되는 시점과 관련이 있다. 또한, 수축 피크(42)는 심실 내압이 동맥압을 넘어 반월판이 열려 혈액이 방출되는 것과 동맥의 파 반사(arterial wave reflection)를 반영한다. 중박 맥박 패임(43)은 대동맥 판막의 폐쇄에 의해 발생한다.
- [0053] 동맥 혈압 파형은 수많은 잡음에 노출될 수 있으며, 호흡 또는 맥파의 측정 방법과 측정 부위에 따라서 파형의 형태가 쉽게 변화하며, 특히 모바일 기기에서 주로 측정된다는 상황 때문에 특징점을 검출하는데 어려움이 따른다.
- [0054] 본 발명은 파형의 시작점(41), 수축 피크(42) 및 중박 맥박 패임(43)을 자동으로 검출하고 분석하게 함으로써, 모바일 환경에서 그 임상적 사용성 및 활용성이 높을 것으로 기대된다.
- [0055] 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형 분석 방법은, 수축 피크(Systolic Peak)를 검출하는 단계(S200); 상기 수축 피크를 기초로 하여 파형의 시작점(Pulse Onset)을 검출하는 단계(S202); 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 단계(S204) 및 중박 맥박 패임을 정상 맥박 패임 또는 변성 맥박 패임으로 분류하는 단계(S206)를 포함할 수 있다.
- [0056] 본 발명의 일 실시예에 따라 수축 피크(Systolic Peak)를 검출하는 단계(S200)를 설명한다.
- [0057] 수축 피크(Systolic Peak)를 검출하는 단계(S200)는 최적의 시간 창 및 샘플링 주파수를 도출하는 단계 및 상기 광용적맥파(PPG) 분석부가 국부 최대 값(Local maxima)을 도출하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0058] 최적의 시간 창 및 샘플링 주파수는 몬테 카를로(Monte Carlo) 무작위 시뮬레이션 기법을 통해 도출할 수 있다.
- [0059] 아티팩트 및 잡음 등이 포함되어 일정한 주기로 나타나는 수축 피크를 탐지하기 위한 최적의 시간 창 및 샘플링 주파수는 계속해서 달라질 수 있다. 이에 따라 5분 단위로 무작위 선별한 임의의 점들의 진폭을 확인해, 샘플링 주파수를 확정하고 한 맥박을 결정하기 적절한 최적의 시간 창을 도출한다. 두 가지 값이 확정되고 나면, 국부 최대 값(Local maxima)을 활용하여 시간 창 내에서 가장 큰 값을 수축 피크로 간주한다.
- [0060] 본 발명의 일 실시예에 따라 파형의 시작점(Pulse Onset)을 검출하는 방법은 다음과 같다.
- [0061] 파형의 시작점이 아래로 볼록한 골(trough)라는 점을 이용하는데, 수축 피크를 기준으로 이전 시간을 탐지하면서 0.5초 이내에 가장 먼저 탐지되는 일차 도함수의 값이 0인 지점을 파형의 시작점으로 간주한다.
- [0062] 본 발명의 일 실시예에 따라 중박 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 방법은 다음과 같다.
- [0063] 중박 맥박 패임은 수축 피크와 그 다음 파형의 시작점 사이에 존재하는데, 이 부분은 맥박의 변동성이 심하기 때문에 탐지하는데 주의가 필요하다. k번째 수축 피크와 그 다음 수축 피크 사이의 시간 간극을 S_k , k번째 수축 피크의 측정 시간을 T_k , 그리고 T_k 에서 수축 피크의 진폭을 A_k 라고 하였을 때, 수축 피크와 그 다음 파형의 시작점 사이에 존재하는 일차 도함수가 0인 모든 골 중 다음 수식 1을 만족하는 지점을 골의 후보군으로 선정한다.
- $$-0.05 \times \frac{A_k}{S_k} < \frac{A_{k+1} - A_k}{T_{k+1} - T_k} < 0$$
- [0064] 수식 1:
- [0065] 이때 신호 전체에서 한 맥박 내에 후보군이 하나인 맥박의 중박 맥박 패임 후보를 기준 중박 맥박 패임으로 간주하고 파형의 시작점 및 수축 피크로부터의 거리가 기준 중박 맥박 패임과 가장 유사한 중박 맥박 패임 후보들을 실제 맥박 패임으로 간주한다.
- [0066] 그 다음, 본 발명의 일 실시예에 따라 검출된 중박 맥박 패임들을 정상 맥박 패임(Normal notch)과 변성 맥박 패임(Transient notch)으로 분류한다.
- [0067] 정상 맥박 패임과 변성 맥박 패임을 구분하는 방법은 중박 피크의 높이가 낮거나 아예 관찰되지 않는다는 점을 이용한다. 따라서, 중박 맥박 패임의 크기와 수축 피크의 크기를 비교하여 탐색된 중박 맥박 패임이 정상 맥박 패임인지 또는 변성 맥박 패임인지를 구분한다. 이때, 정상 맥박 패임은 수식 2를 이용하여 판단할 수 있다.

[0068] 수식 2 : $A_k \times 0.03 < B_k$

[0069] 여기서, A_k 는 수축 피크의 진폭이고 B_k 는 중복 맥박 패임의 진폭이다.

[0070] PPG 파형이 상기 수식 2를 만족하는 경우, 탐색된 중복 맥박 패임을 정상 맥박 패임으로 분류하고, 수식 2를 만족하지 않는 경우 탐색된 중복 맥박 패임을 변성 맥박 패임으로 분류한다.

[0071] 본 발명의 일 실시예에 따른 PPG 분석 방법은 정확도, 평균 에러 값, 에러 값의 표준 편차 및 평균 제곱근을 통해 평가하였다. 평가 결과는 아래 표 1에 도시한다.

[0072] 정확도(accuracy)는 정답 특징점 주변 수 밀리 세컨드(milliseconds) 이내에 탐지된 특징점이 존재하면 정답, 그렇지 않으면 오답으로 간주해 결과를 평가하는 척도이다.

[0073] 평균 에러값(Average error)은 상기 정답 특징점에서 가장 가까이 탐지된 특징점과의 차이를 에러(error)로 간주하고, 전체 점들에 대하여 평균을 취한 평가 척도이다.

표 1

Subject		A	B	C
Systolic peak	Accuracy (10ms)	0.986	0.895	0.916
	Accuracy (20ms)	0.986	0.895	0.916
	Accuracy (30ms)	0.986	0.895	0.916
	Accuracy (40ms)	0.986	0.898	0.920
	Accuracy (50ms)	0.986	0.898	0.920
	Accuracy (60ms)	0.986	0.898	0.920
	Average error	7.660	9.960	16.508
	Standard deviation	71.474	23.747	33.836
	Root mean square	71.883	25.777	37.649
Pulse onset	Accuracy (10ms)	0.965	0.866	0.922
	Accuracy (20ms)	0.965	0.869	0.922
	Accuracy (30ms)	0.969	0.869	0.922
	Accuracy (40ms)	0.969	0.872	0.928
	Accuracy (50ms)	0.969	0.872	0.928
	Accuracy (60ms)	0.969	0.876	0.928
	Average error	34.679	11.852	7.072
	Standard deviation	143.654	23.418	27.014
	Root mean square	147.781	26.117	29.740
Notch peak	Accuracy (10ms)	0.677	0.765	0.739
	Accuracy (20ms)	0.677	0.768	0.739
	Accuracy (30ms)	0.677	0.772	0.749
	Accuracy (40ms)	0.677	0.785	0.754
	Accuracy (50ms)	0.683	0.801	0.764
	Accuracy (60ms)	0.686	0.808	0.778
	Average error	10.677	10.798	16.562
	Standard deviation	13.935	23.695	22.913
	Root mean square	17.337	21.403	31.193

[0075] 표 1은 3명(subject A, B, C)을 대상으로 하여 평가한 결과이다. 각각 최소 정확도의 경우 1) 수축 피크: 98.6%, 89.5%, 91.6%, 2) 파형의 시작점: 96.5%, 86.6%, 92.2%, 3) 중복 맥박 패임: 67.7%, 76.5%, 73.9%로 나타났다.

[0076] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용한 사용자의 병리 상태 추정 방법의 순서도이다.

[0077] 본 발명의 일 실시예에 따른 사용자의 병리 상태 추정 방법은 PPG 분석부(110)가 PPG 신호 파형에서 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중복 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 검출하는 단계(S300); 형태학적 지표 산출부(120)가 수축 피크(Systolic Peak), 파형의 시작점(Pulse Onset) 및 중복 맥박 패임(Dicrotic Notch)을 이용하여 복수의 형태학적 지표를 산출하는 단계(S302); 및 병리 상태 추정부(130)가 광용

적맥파(PPG) 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정하는 단계(S304)를 포함할 수 있다.

[0078] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG)를 이용하여 복수의 형태학적 지표를 나타내는 그래프이다.

[0079] 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 형태학적 지표는 도 6을 참조하여 설명한다.

[0080] PPG 분석부(110)가 수축 피크(61), 파형의 시작점(62) 및 중박 맥박 패임(63)을 검출하면, 형태학적 지표 산출부(120)는 수축 피크의 진폭(AMP, 71), 중박 맥박 패임의 진폭(NMP, 72), 진폭비(MPR), 수축 피크의 대기 시간(LAT, 81), 중박 맥박 패임의 대기 시간(NAT, 82), 대기 시간비(ATR), 피크 기울기(STA, 91) 및 패임의 기울기(NTA, 92)을 산출한다.

[0081] 진폭비(MPR)은 중박 맥박 패임의 진폭(NMP, 72) 대비 수축 피크의 진폭(AMP, 71)의 비율(AMP/NMP)을 의미하고, 대기 시간비(ATR)는 중박 맥박 패임의 대기 시간(NAT, 82) 대비 수축 피크의 대기 시간(LAT, 81)의 비율(LAT/NAT)을 의미한다.

[0082] 도 7은 고혈압 환자에 대한 PPG 파형의 형태학적 지표의 ROC 곡선이고, 도 8은 정상 및 단계별 고혈압 환자군에서 수축 피크의 대기시간을 비교한 통계결과이다.

[0083] 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 병리 상태는 고혈압인 것을 특징으로 하는데, 이를 검증하기 위해서 총 219명의 PPG 공개 데이터셋을 사용하였다. 데이터셋 전체에서 정상군은 36.5%, 고혈압전단계군(Prehypertension)은 38.8%, 고혈압 1단계(Stage 1 Hypertension)군은 15.5%, 고혈압 2단계(Stage 2 Hypertension)군은 9.2%를 구성한다.

[0084] 도 7에 도시된 ROC 곡선 및 표 2를 참조하면, 산출된 형태학적 지표들 중에서 수축 피크의 대기 시간(LAT) 항목이 ROC(Receiver operating characteristic curve) 곡선 아래 면적(Area under the curve, AUC)이 가장 큰 것으로 확인이 되고, p-value도 가장 작은 것을 알 수 있다.

[0085] 따라서, 산출된 형태학적 지표들 중에서 수축 피크의 대기 시간(LAT)이 비교군 내에서 가장 민감한 것이므로, 본 발명은 수축 피크의 대기 시간(LAT)을 고혈압 분류에 가장 적합한 형태학적 지표로 선정할 수 있다.

표 2

	AUC (95% CI)	P-value
Pulse amplitude (AMP)	0.575 (0.494-0.655)	0.066
Notch amplitude (NMP)	0.663 (0.587-0.738)	<0.001
Amplitude ratio (MPR)	0.587 (0.509-0.665)	0.032
Peak latency (LAT)	0.705 (0.633-0.776)	<0.001
Notch latency (NAT)	0.628 (0.551-0.704)	0.002
Latency ratio (ATR)	0.513 (0.432-0.594)	0.746
Peak slope (STA)	0.620 (0.540-0.700)	0.003
Notch slope (NTA)	0.673 (0.598-0.748)	<0.001
Logistic regression model	0.747 (0.678-0.811)	<0.001

[0087] 도 8을 참조하면, 정상군(Normal)의 수축 피크의 대기 시간(LAT)은 고혈압전단계군(Prehypertension), 고혈압 1단계군(Stage 1 hypertension) 및 고혈압 2단계군(Stage 2 hypertension)에 비하여 낮은 것을 확인할 수 있다. 고혈압전단계군도 고혈압 1단계군 및 고혈압 2단계군에 비하여 더 낮은 결과를 나타낸다.

[0088] 따라서, 본 발명은 수축 피크의 대기 시간(LAT)을 이용하여 고혈압에 관한 정보를 알 수 있고, 사용자의 병리 상태를 추정할 수 있다. 다만, 수축 피크의 대기 시간(LAT)으로 한정되는 것은 아니고, 다른 종류의 형태학적 지표도 포함할 수 있다.

[0089] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 복수의 형태학적 지표들을 모두 통합하여 기계학습을 통해 PPG 신호를 수신한 사용자의 병리 상태를 추정할 수 있다.

[0090] 이 경우, 하기 수식 3에 따른 로지스틱 회귀 모델을 이용하여 사용자의 병리 상태를 추정할 수 있다.

[0091] 수식 3: $P = \frac{1}{1+e^{-x}} P = \frac{1}{1+e^{-x}}$

[0092] $x = -0.005 \times AMP + 0.007 \times NMP + 2.829 \times MPR + 0.010 \times LAT - 0.004 \times NAT$
 $+ 1.415 \times ATR + 0.948 \times STA - 1.345 \times NTA - 5.619$

[0093] 보다 상세하게는, 수식 3에 따라 실험군이 고혈압일 가능성의 확률(P)을 구할 수 있고, 확률 P값이 고혈압 집단과 정상 집단을 정확히 구분해 낼 수 있는 지는 표 2에 도시된 바와 같은 AUC를 구함으로써, 로지스틱 회귀 모델을 이용하여 사용자의 병리 상태를 추정할 수 있다.

[0094] 한편, 상기 복수의 형태학적 지표들에 곱해지는 변수 정보는 아래 표 3과 같다.

표 3

	B	S.E.	Wald	자유도	유의확률	Exp(B)
AMP	-.005	.004	1.818	1	.178	.995
NMP	.007	.009	.520	1	.471	1.007
MPR	2.829	2.244	1.589	1	.207	16.922
LAT	.010	.020	.244	1	.621	1.010
NAT	-.004	.009	.179	1	.672	.996
ATR	1.415	1.433	.975	1	.323	4.118
STA	.948	.587	2.610	1	.106	2.581
NTA	-1.345	3.073	.192	1	.662	.261
상수항	-5.619	3.651	2.369	1	.124	.004

[0096] 종합하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 광용적맥파(PPG) 신호 파형을 분석함으로써 사용자의 병리 상태를 추정할 수 있다. 비침습적인 방법으로 PPG 신호를 획득하고 분석할 수 있으므로 웨어러블 기기에도 적용할 수 있다.

[0097] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 사람이라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0099] 100 : 사용자의 병리 상태 추정 장치

110 : PPG 분석부

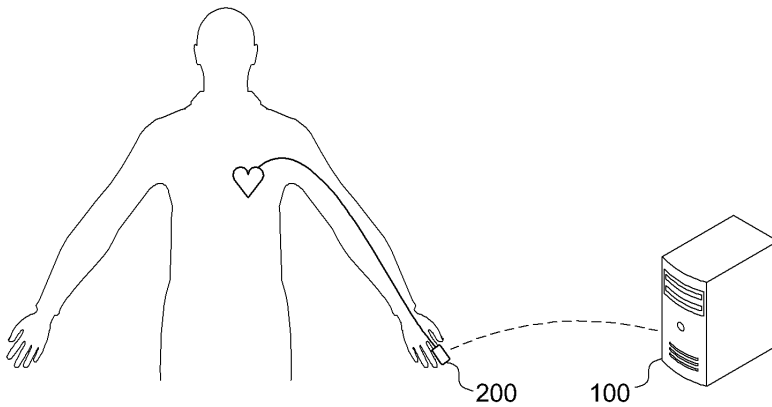
120 : 형태학적 지표 산출부

130 : 병리 상태 추정부

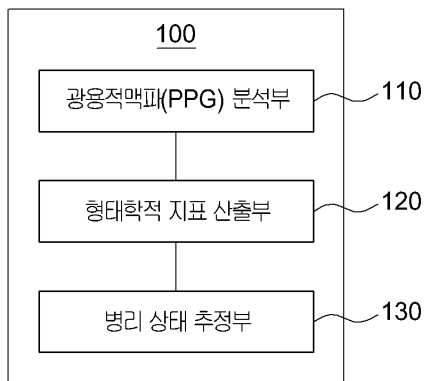
200 : PPG 센서

도면

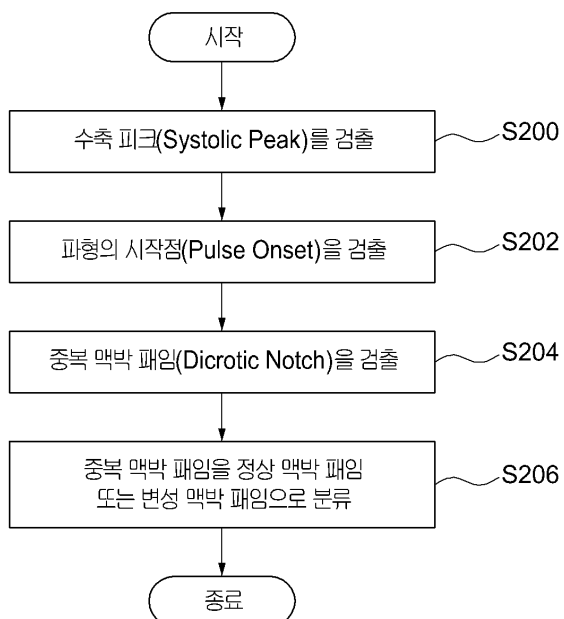
도면1



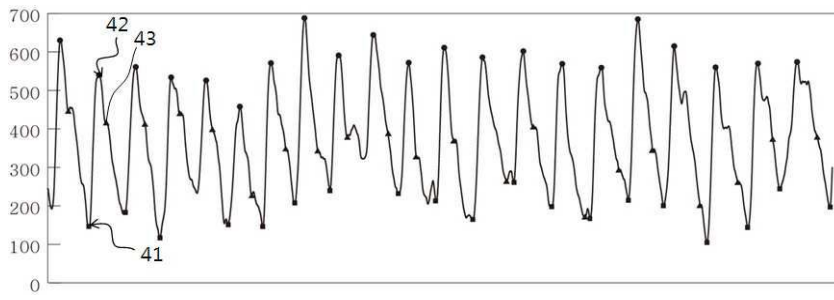
도면2



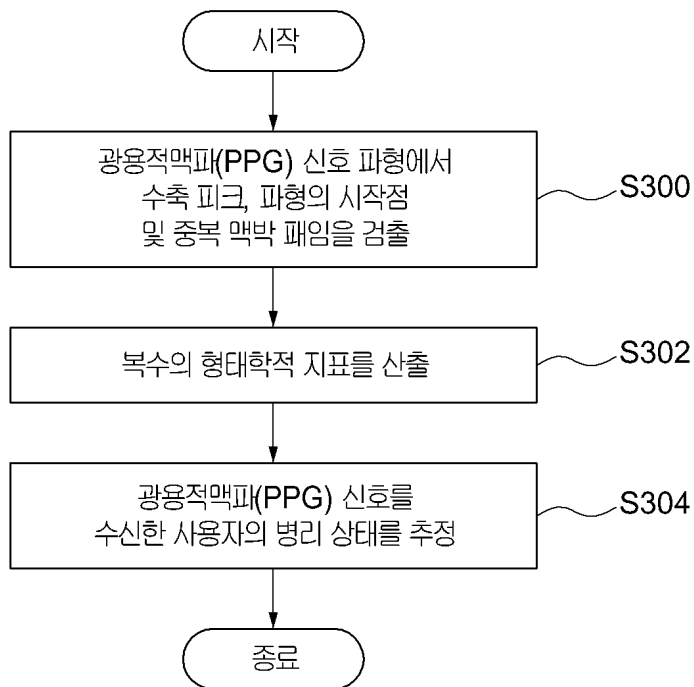
도면3



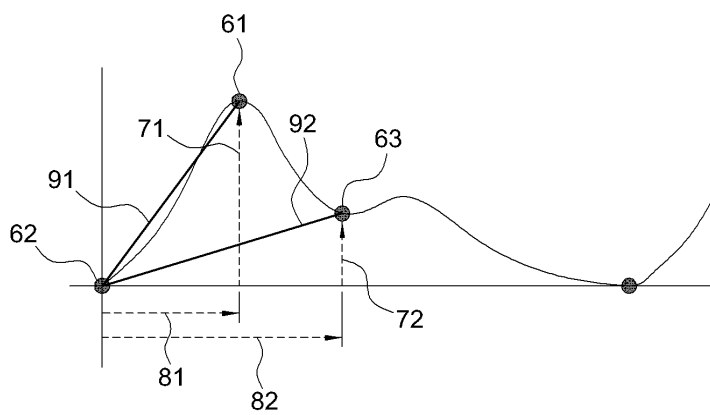
도면4



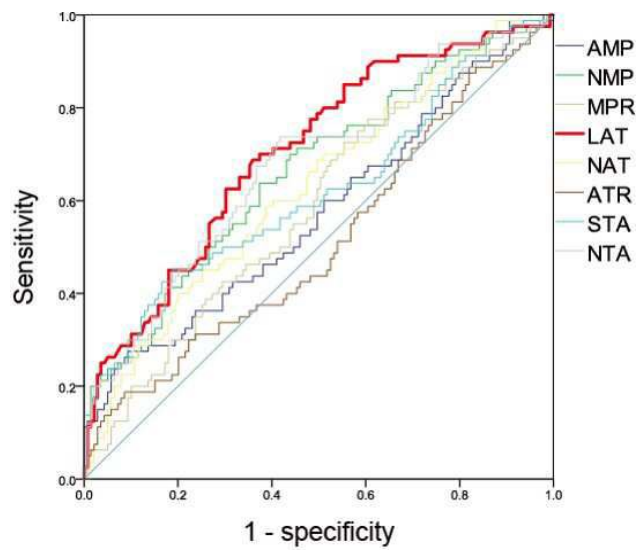
도면5



도면6



도면7



도면8

