



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0126232
(43) 공개일자 2016년11월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/0205 (2006.01) A61B 5/02 (2006.01)
A61B 5/0456 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/0205 (2013.01)
A61B 5/02007 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0057064
(22) 출원일자 2015년04월23일
심사청구일자 2015년04월23일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(주)더힘스
경기도 화성시 봉담읍 고시길 33
(72) 발명자
장대근
경기도 용인시 수지구 현암로125번길 11, 717동 1903호 (죽전동, 새터마을죽전힐스테이트아파트)
박승훈
경기도 수원시 영통구 봉영로1482번길 18, 103동 2303호 (영통동, 영통3차 풍림아이원아파트)
(74) 대리인
최정문, 최영한, 지덕규

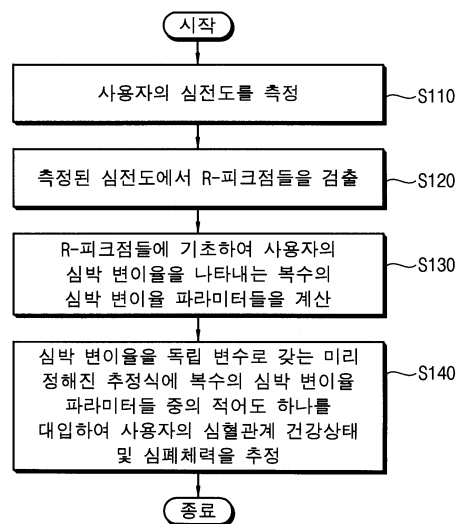
전체 청구항 수 : 총 28 항

(54) 발명의 명칭 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법 및 장치

(57) 요약

심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에서, 사용자의 심전도(electrocardiography; ECG)를 측정하고, 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출하고, R-피크점들에 기초하여 사용자의 심박 변이율(Heart Rate Variability; HRV)을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하고, 심박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61B 5/02405 (2013.01)

A61B 5/0456 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711013999

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신산업진흥원

연구사업명 대학 IT 연구센터 육성지원

연구과제명 동서신의학 u-라이프케어연구센터

기 여 율 1/1

주관기관 경희대학교산학협력단

연구기간 2014.01.01 ~ 2014.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

사용자의 심전도(electrocardiography; ECG)를 측정하는 단계;

상기 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출하는 단계;

상기 R-피크점들에 기초하여 상기 사용자의 심박 변이율(Heart Rate Variability; HRV)을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계; 및

심박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 추정식은 심박 변이율에 대한 선형 함수에 상응하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계는,

제1 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하는 단계; 및

상기 제1 추정식과는 상이한 제2 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 4

제3 항에 있어서, 상기 심혈관계 건강상태 지표는 혈관 경화도(arterial stiffness)를 나타내는 맥파 전파속도(Pulse Wave Velocity; PWV) 및 혈관 협착도(arterial stenosis)를 나타내는 발목-상완 지수(Ankle-Brachial Index; ABI) 중의 하나에 상응하고,

상기 심폐체력 지표는 최대 산소 섭취량(maximum oxygen uptake; $\text{VO}_{2\text{max}}$), 젖산 역치(lactate threshold), 환기 역치(ventilator threshold) 및 최대 심박수(maximum heart rate) 중의 하나에 상응하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서, 상기 심전도는 상기 사용자가 테스트 운동을 수행하기 이전에 상응하는 안정 구간, 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 동안에 상응하는 운동 구간 및 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 종료한 이후에 상응하는 회복 구간 중의 적어도 한 구간에서 측정되는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 6

제5 항에 있어서, 상기 테스트 운동의 부하는 상기 운동 구간 동안 상기 사용자의 심박수가 90~140 bpm(beats per minute)에 도달하는 강도로 설정되는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서, 상기 측정된 심전도에서 상기 R-피크점들을 검출하는 단계는,

상기 측정된 심전도에 음-기울기 합 함수(negative Slope Sum Function; nSSF)를 적용하여 제1 결과 파형을 생성하는 단계; 및

상기 제1 결과 파형에 포함되는 펄스들 중에서 문턱 크기 이상의 크기를 갖는 펄스의 펄스 온셋(pulse onset) 지점들을 상기 R-피크점들로 결정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 8

제1 항에 있어서, 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들은 상기 R-피크점들 사이의 간격에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도 하나를 수행하여 생성되는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 9

제1 항에 있어서,

상기 사용자의 성별, 나이, 신장 및 체중 중의 적어도 하나를 포함하는 개인 정보를 수신하는 단계를 더 포함하고,

상기 추정식은 상기 개인 정보 및 심박 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 10

제1 항에 있어서,

상기 추정된 심혈관계 건강상태 및 상기 추정된 심폐체력을 성별 및 연령별 표준값과 비교하여 상기 사용자의 건강 수준을 제공하는 단계를 더 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 11

사용자의 광용적맥파(photoplethysmogram; PPG)를 측정하는 단계;

상기 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계;

상기 맥파 특징점들에 기초하여 상기 사용자의 맥박 변이율(Pulse Rate Variability; PRV)을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계; 및

맥박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 12

제11 항에 있어서, 상기 맥파 특징점들은 상기 측정된 광용적맥파에 포함되는 펄스 피크(pulse peak) 지점들, 상기 측정된 광용적맥파에 포함되는 펄스 온셋(pulse onset) 지점들 및 상기 측정된 광용적맥파의 이차 미분파(second derivative of photoplethysmogram; SDPTG)의 초기 양성파(initial positive wave) 지점들 중의 하나에 상응하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법

청구항 13

제11 항에 있어서, 상기 추정식은 맥박 변이율에 대한 선형 함수에 상응하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 14

제11 항에 있어서, 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계는,

제1 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하는 단계; 및

상기 제1 추정식과는 상이한 제2 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 15

제14 항에 있어서, 상기 심혈관계 건강상태 지표는 혈관 경화도(arterial stiffness)를 나타내는 맥파 전파속도(Pulse Wave Velocity; PWV) 및 혈관 협착도(arterial stenosis)를 나타내는 발목-상완 지수(Ankle-Brachial Index; ABI) 중의 하나에 상응하고,

상기 심폐체력 지표는 최대 산소 섭취량(maximum oxygen uptake; V02max), 젖산 역치(lactate threshold), 환기 역치(ventilator threshold) 및 최대 심박수(maximum heart rate) 중의 하나에 상응하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 16

제11 항에 있어서, 상기 광용적맥파는 상기 사용자가 테스트 운동을 수행하기 이전에 상응하는 안정 구간, 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 동안에 상응하는 운동 구간 및 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 종료한 이후에 상응하는 회복 구간 중의 적어도 한 구간에서 측정되는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 17

제16 항에 있어서, 상기 테스트 운동의 부하는 상기 운동 구간 동안 상기 사용자의 심박수가 90~140 bpm(beats per minute)에 도달하는 강도로 설정되는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 18

제11 항에 있어서, 상기 측정된 광용적맥파에서 상기 맥파 특징점들을 검출하는 단계는,

상기 측정된 광용적맥파의 기저선(baseline)을 검출하는 단계;

상기 측정된 광용적맥파에서 상기 검출된 기저선을 제거하여 제1 결과 파형을 생성하는 단계;

상기 제1 결과 파형에 기울기 합 함수(Slope Sum Function; SSF)를 적용하여 제2 결과 파형을 생성하는 단계; 및

상기 제2 결과 파형에 포함되는 펄스 피크(pulse peak) 지점들 및 펄스 온셋(pulse onset) 지점들 중의 하나를 상기 맥파 특징점들로 결정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 19

제11 항에 있어서, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들은 상기 맥파 특징점들 사이의 간격에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도 하나를 수행하여 생성되는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 20

제11 항에 있어서,

상기 사용자의 성별, 나이, 신장 및 체중 중의 적어도 하나를 포함하는 개인 정보를 수신하는 단계를 더 포함하고,

상기 추정식은 상기 개인 정보 및 맥박 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 21

제11 항에 있어서,

상기 추정된 심혈관계 건강상태 및 상기 추정된 심폐체력을 성별 및 연령별 표준값과 비교하여 상기 사용자의 건강 수준을 제공하는 단계를 더 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 22

사용자의 심전도 및 광용적맥파를 측정하는 단계;

상기 측정된 심전도에서 R-피크점들을 검출하는 단계;

상기 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계;

상기 R-피크점들 및 상기 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간(Pulse Transit Time; PTT)들을 검출하는 단계;

상기 R-피크점들에 기초하여 상기 사용자의 심박 변이율을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계;

상기 맥파 특징점들에 기초하여 상기 사용자의 맥박 변이율을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계;

상기 맥파 전달 시간들에 기초하여 상기 사용자의 맥파 전달 시간 변이율(Pulse Transit Time Variability; PTTV)을 나타내는 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 계산하는 단계; 및

심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나를 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 23

제22 항에 있어서, 상기 추정식은 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 24

제22 항에 있어서, 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계는,

제1 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하는 단계; 및

상기 제1 추정식과는 상이한 제2 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 25

제22 항에 있어서, 상기 R-피크점들과 상기 측정된 광용적맥파에 기초하여 상기 맥파 전달 시간들을 검출하는 단계는,

상기 R-피크점들 중에서 서로 인접하는 제1 R-피크점 및 제2 R-피크점 사이에 포함되는 상기 측정된 광용적맥파의 모든 피크점들을 후보 피크점들로 결정하는 단계;

상기 제1 R-피크점 및 상기 제2 R-피크점 사이의 구간에서 상기 측정된 광용적맥파의 펄스 피크점이 존재할 확률 분포를 나타내는 확률 밀도 함수에 기초하여 상기 후보 피크점들 중의 하나를 광용적맥파 피크점으로 결정하는 단계; 및

상기 제1 R-피크점과 상기 광용적맥파 피크점 사이의 간격을 상기 맥파 전달 시간으로 결정하는 단계를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 26

제25 항에 있어서, 상기 확률 밀도 함수는 상기 맥파 전달 시간을 상기 R-피크점들 사이의 간격으로 나눈 값을 확률 변수로 갖는 정규 분포(normal distribution)에 상응하고,

상기 측정된 심전도 및 상기 측정된 광용적맥파의 매 주기마다 상기 광용적맥파 피크점이 결정되는 경우, 상기 광용적맥파 피크점, 상기 제1 R-피크점 및 상기 제2 R-피크점에 기초하여 상기 확률 밀도 함수는 주기적으로 업데이트되는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 27

제22 항에 있어서, 상기 복수의 맥과 전달 시간 변이율 파라미터들은 상기 맥과 전달 시간들에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도 하나를 수행하여 생성되는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법.

청구항 28

사용자의 심전도를 측정하는 심전도 측정부;

상기 사용자의 광용적맥파를 측정하는 광용적맥파 측정부;

상기 측정된 심전도에서 R-피크점들을 검출하는 R-피크점 검출부;

상기 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 특징점 검출부;

상기 R-피크점들과 상기 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간들을 검출하는 맥파 전달 시간 검출부;

상기 R-피크점들에 기초하여 상기 사용자의 심박 변이율을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하고, 상기 맥파 특징점들에 기초하여 상기 사용자의 맥박 변이율을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하고, 상기 맥파 전달 시간들에 기초하여 상기 사용자의 맥파 전달 시간 변이율을 나타내는 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 계산하는 변이율 계산부; 및

심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 추정부를 포함하는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 측정에 관한 것으로, 보다 상세하게는 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법 및 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 현대인들의 서구화된 식습관으로 인해 심혈관계 관련 질환이 증가함에 따라, 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 효과적으로 평가하는 방법에 대한 관심이 증가하고 있다.

[0003] 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 일반적인 방법은 운동 부하 검사(exercise stress test)이다.

[0004] 종래의 운동 부하 검사의 경우, 사용자의 심박수가 최대 심박수의 85% 이상이 되도록 설정된 운동 부하를 갖는 고강도 운동을 사용자가 수행하는 과정에서 사용자의 생체 신호를 측정하고, 측정된 생체 신호를 사용하여 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가한다.

[0005] 따라서 종래의 운동 부하 검사는 어린이, 노약자 또는 잠재적 심혈관계 질환자 등에게 적용하기에 위험하다는 문제점이 있다.

[0006] 또한, 사용자가 고강도 운동을 수행하는 과정에서 생체 신호를 측정하므로, 측정된 생체 신호에 많은 노이즈가 포함된다. 따라서 측정된 생체 신호에 포함되는 노이즈의 제거 정도가 떨어지는 경우 평가의 정확성이 감소되는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 이에 따라, 본 발명의 일 목적은 안전하고 간단하면서도 정확하게 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가할 수 있는 방법을 제공하는데 있다.

[0008] 본 발명의 일 목적은 안전하고 간단하면서도 정확하게 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가할 수 있는 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상술한 본 발명의 일 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에서, 사용자의 심전도(electrocardiography; ECG)를 측정하고, 상기 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출하고, 상기 R-피크점들에 기초하여 상기 사용자의 심박 변이율(Heart Rate Variability; HRV)을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하고, 심박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정한다.

[0010] 일 실시예에 있어서, 상기 추정식은 심박 변이율에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.

[0011] 일 실시예에 있어서, 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계는, 제1 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하는 단계, 및 상기 제1 추정식과는 상이한 제2 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 심혈관계 건강상태 지표는 혈관 경화도(arterial stiffness)를 나타내는 맥파 전파속도(Pulse Wave Velocity; PWV) 및 혈관 협착도(arterial stenosis)를 나타내는 발목-상완 지수(Ankle-Brachial Index; ABI) 중의 하나에 상응하고, 상기 심폐체력 지표는 최대 산소 섭취량(maximum oxygen uptake; VO_{2max}), 젖산 역치(lactate threshold), 환기 역치(ventilator threshold) 및 최대 심박수(maximum heart rate) 중의 하나에 상응할 수 있다.

[0013] 일 실시예에 있어서, 상기 심전도는 상기 사용자가 테스트 운동을 수행하기 이전에 상응하는 안정 구간, 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 동안에 상응하는 운동 구간 및 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 종료한 이후에 상응하는 회복 구간 중의 적어도 한 구간에서 측정될 수 있다.

[0014] 상기 테스트 운동의 부하는 상기 운동 구간 동안 상기 사용자의 심박수가 90~140 bpm(beats per minute)에 도달하는 강도로 설정될 수 있다.

[0015] 일 실시예에 있어서, 상기 측정된 심전도에서 상기 R-피크점들을 검출하는 단계는, 상기 측정된 심전도에 음-기울기 합 함수(negative Slope Sum Function; nSSF)를 적용하여 제1 결과 파형을 생성하는 단계, 및 상기 제1 결과 파형에 포함되는 펄스들 중에서 문턱 크기 이상의 크기를 갖는 펄스의 펄스 온셋(pulse onset) 지점들을 상기 R-피크점들로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들은 상기 R-피크점들 사이의 간격에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도 하나를 수행하여 생성될 수 있다.

[0017] 일 실시예에 있어서, 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법은 상기 사용자의 성별, 나이, 신장 및 체중 중의 적어도 하나를 포함하는 개인 정보를 수신하는 단계를 더 포함하고, 상기 추정식은 상기 개인 정보 및 심박 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.

[0018] 일 실시예에 있어서, 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법은 상기 추정된 심혈관계 건강상태 및 상기 추정된 심폐체력을 성별 및 연령별 표준값과 비교하여 상기 사용자의 건강 수준을 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019] 상술한 본 발명의 일 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에서, 사용자의 광용적맥파(photoplethysmogram; PPG)를 측정하고, 상기 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하고, 상기 맥파 특징점들에 기초하여 상기 사용자의 맥박 변이율(Pulse Rate Variability; PRV)을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하고, 맥박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정한다.

[0020] 일 실시예에 있어서, 상기 맥파 특징점들은 상기 측정된 광용적맥파에 포함되는 펄스 피크(pulse peak) 지점들, 상기 측정된 광용적맥파에 포함되는 펄스 온셋(pulse onset) 지점들 및 상기 측정된 광용적맥파의 이차 미분과

(second derivative of photoplethysmogram; SDPTG)의 초기 양성파(initial positive wave) 지점들 중의 하나에 상응할 수 있다.

- [0021] 일 실시예에 있어서, 상기 추정식은 맥박 변이율에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.
- [0022] 일 실시예에 있어서, 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계는, 제1 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하는 단계, 및 상기 제1 추정식과는 상이한 제2 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 심혈관계 건강상태 지표는 혈관 경화도(arterial stiffness)를 나타내는 맥파 전파속도(Pulse Wave Velocity; PWV) 및 혈관 협착도(arterial stenosis)를 나타내는 발목-상완 지수(Ankle-Brachial Index; ABI) 중의 하나에 상응하고, 상기 심폐체력 지표는 최대 산소 섭취량(maximum oxygen uptake; $\text{VO}_{2\text{max}}$), 젖산 역치(lactate threshold), 환기 역치(ventilator threshold) 및 최대 심박수(maximum heart rate) 중의 하나에 상응할 수 있다.
- [0024] 일 실시예에 있어서, 상기 광용적맥파는 상기 사용자가 테스트 운동을 수행하기 이전에 상응하는 안정 구간, 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 동안에 상응하는 운동 구간 및 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 종료한 이후에 상응하는 회복 구간 중의 적어도 한 구간에서 측정될 수 있다.
- [0025] 상기 테스트 운동의 부하는 상기 운동 구간 동안 상기 사용자의 심박수가 90~140 bpm(beats per minute)에 도달하는 강도로 설정될 수 있다.
- [0026] 일 실시예에 있어서, 상기 측정된 광용적맥파에서 상기 맥파 특징점들을 검출하는 단계는, 상기 측정된 광용적맥파의 기저선(baseline)을 검출하는 단계, 상기 측정된 광용적맥파에서 상기 검출된 기저선을 제거하여 제1 결과 파형을 생성하는 단계, 상기 제1 결과 파형에 기울기 합 함수(Slope Sum Function; SSF)를 적용하여 제2 결과 파형을 생성하는 단계, 및 상기 제2 결과 파형에 포함되는 펄스 피크(pulse peak) 지점들 및 펄스 온셋(pulse onset) 지점들 중의 하나를 상기 맥파 특징점들로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0027] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들은 상기 맥파 특징점들 사이의 간격에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도 하나를 수행하여 생성될 수 있다.
- [0028] 일 실시예에 있어서, 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법은 상기 사용자의 성별, 나이, 신장 및 체중 중의 적어도 하나를 포함하는 개인 정보를 수신하는 단계를 더 포함하고, 상기 추정식은 상기 개인 정보 및 맥박 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.
- [0029] 일 실시예에 있어서, 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법은 상기 추정된 심혈관계 건강상태 및 상기 추정된 심폐체력을 성별 및 연령별 표준값과 비교하여 상기 사용자의 건강 수준을 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0030] 상술한 본 발명의 일 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에서, 사용자의 심전도 및 광용적맥파를 측정하고, 상기 측정된 심전도에서 R-피크점들을 검출하고, 상기 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하고, 상기 R-피크점들 및 상기 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간(Pulse Transit Time; PTT)들을 검출하고, 상기 R-피크점들에 기초하여 상기 사용자의 심박 변이율을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하고, 상기 맥파 특징점들에 기초하여 상기 사용자의 맥박 변이율을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하고, 상기 맥파 전달 시간들에 기초하여 상기 사용자의 맥파 전달 시간 변이율(Pulse Transit Time Variability; PTTV)을 나타내는 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 계산하고, 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나를 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정한다.
- [0031] 일 실시예에 있어서, 상기 추정식은 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.
- [0032] 일 실시예에 있어서, 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계는, 제1 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파

라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하는 단계, 및 상기 제1 추정식과는 상이한 제2 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0033] 일 실시예에 있어서, 상기 R-피크점들과 상기 측정된 광용적맥파에 기초하여 상기 맥파 전달 시간들을 검출하는 단계는, 상기 R-피크점들 중에서 서로 인접하는 제1 R-피크점 및 제2 R-피크점 사이에 포함되는 상기 측정된 광용적맥파의 모든 피크점들을 후보 피크점들로 결정하는 단계, 상기 제1 R-피크점 및 상기 제2 R-피크점 사이의 구간에서 상기 측정된 광용적맥파의 펄스 피크점이 존재할 확률 분포를 나타내는 확률 밀도 함수에 기초하여 상기 후보 피크점들 중의 하나를 광용적맥파 피크점으로 결정하는 단계, 및 상기 제1 R-피크점과 상기 광용적맥파 피크점 사이의 간격을 상기 맥파 전달 시간으로 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0034] 상기 확률 밀도 함수는 상기 맥파 전달 시간을 상기 R-피크점들 사이의 간격으로 나눈 값을 확률 변수로 갖는 정규 분포(normal distribution)에 상응하고, 상기 측정된 심전도 및 상기 측정된 광용적맥파의 매 주기마다 상기 광용적맥파 피크점이 결정되는 경우, 상기 광용적맥파 피크점, 상기 제1 R-피크점 및 상기 제2 R-피크점에 기초하여 상기 확률 밀도 함수는 주기적으로 업데이트될 수 있다.

[0035] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들은 상기 맥파 전달 시간들에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도 하나를 수행하여 생성될 수 있다.

[0036] 상술한 본 발명의 일 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치는 심전도 측정부, 광용적맥파 측정부, R-피크점 검출부, 특징점 검출부, 맥파 전달 시간 검출부, 변이율 계산부, 및 추정부를 포함한다. 상기 심전도 측정부는 사용자의 심전도를 측정한다. 상기 광용적맥파 측정부는 상기 사용자의 광용적맥파를 측정한다. 상기 R-피크점 검출부는 상기 측정된 심전도에서 R-피크점들을 검출한다. 상기 특징점 검출부는 상기 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출한다. 상기 맥파 전달 시간 검출부는 상기 R-피크점들과 상기 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간들을 검출한다. 상기 변이율 계산부는 상기 R-피크점들에 기초하여 상기 사용자의 심박 변이율을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하고, 상기 맥파 특징점들에 기초하여 상기 사용자의 맥박 변이율을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하고, 상기 맥파 전달 시간들에 기초하여 상기 사용자의 맥파 전달 시간 변이율을 나타내는 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 계산한다. 상기 추정부는 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정한다.

발명의 효과

[0037] 본 발명의 실시예들에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법 및 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치는 안전하고 간단하면서도 정확하게 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0038] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법을 나타내는 순서도이다.
 도 2는 도 1에 도시된 사용자의 심전도를 측정하는 단계의 일 예를 설명하기 위한 도면이다.
 도 3은 도 1에 도시된 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출하는 단계의 일 예를 나타내는 순서도이다.
 도 4는 도 3에 도시된 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.
 도 5는 도 1에 도시된 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계의 일 예를 나타내는 순서도이다.
 도 6은 도 1에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 일 예를 나타내는 순서도이다.
 도 7은 도 1에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 다른 예를 나타내는 순서도이다.
 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법을 나타내는 순서도이다.

도 9는 도 8에 도시된 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계의 일 예를 나타내는 순서도이다.

도 10 및 11은 도 9에 도시된 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 도면들이다.

도 12는 도 8에 도시된 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계의 다른 예를 나타내는 순서도이다.

도 13은 도 12에 도시된 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 14는 도 8에 도시된 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계의 일 예를 나타내는 순서도이다.

도 15는 도 8에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 일 예를 나타내는 순서도이다.

도 16은 도 8에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 다른 예를 나타내는 순서도이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법을 나타내는 순서도이다.

도 18은 도 17에 도시된 R-피크점들 및 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간들을 검출하는 단계의 일 예를 나타내는 순서도이다.

도 19는 도 18에 도시된 R-피크점들 및 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.

도 20은 도 17에 도시된 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계의 일 예를 나타내는 순서도이다.

도 21은 도 17에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 일 예를 나타내는 순서도이다.

도 22는 도 17에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 다른 예를 나타내는 순서도이다.

도 23, 24 및 25는 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치를 나타내는 블록도들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0039] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들에 대해서, 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.

[0040] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0041] 제 1, 제 2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채 제 1 구성요소는 제 2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제 2 구성요소도 제 1 구성요소로 명명될 수 있다.

[0042] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 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 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0043] 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 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는

이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

- [0044] 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 의미이다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미인 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0045] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0046] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0047] 도 1에는 사용자의 심전도(electrocardiography; ECG)를 사용하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법이 도시된다.
- [0048] 도 1을 참조하면, 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하기 위해, 상기 사용자의 심전도를 측정한다(단계 S110).
- [0049] 일 실시예에 있어서, 상기 심전도는 상기 사용자가 테스트 운동을 수행하기 이전에 상응하는 안정 구간, 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 동안에 상응하는 운동 구간 및 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 종료한 이후에 상응하는 회복 구간 중의 적어도 한 구간에서 측정될 수 있다.
- [0050] 도 2는 도 1에 도시된 사용자의 심전도를 측정하는 단계(S110)의 일 예를 설명하기 위한 도면이다.
- [0051] 도 2를 참조하면, 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 운동 구간(EXERCISE SESSION)은 제1 내지 제4 페이즈들(PHASE1, PHASE2, PHASE3, PHASE4)을 포함할 수 있다. 도 2에는, 안정 구간(REST SESSION), 제1 내지 제4 페이즈들(PHASE1, PHASE2, PHASE3, PHASE4) 및 회복 구간(RECOVERY SESSION) 각각은 5분 동안 지속되는 것으로 도시된다.
- [0052] 운동 구간(EXERCISE SESSION) 동안 수행되는 상기 테스트 운동의 운동 부하(exercise load)는 상대적으로 낮은 강도로 설정될 수 있다. 예를 들어, 상기 테스트 운동의 운동 부하는 운동 구간(EXERCISE SESSION) 동안 상기 사용자의 심박수가 약 90~140 bpm(beats per minute)에 도달하는 강도로 설정될 수 있다. 따라서 상기 사용자가 운동 구간 동안(EXERCISE SESSION) 동안 인식하는 운동 자각도(rating of perceived exertion)는 '가볍다', '보통이다' 또는 '약간 힘들다' 정도의 수준이 될 수 있다.
- [0053] 도 2에 도시된 바와 같이, 제1 내지 제4 페이즈들(PHASE1, PHASE2, PHASE3, PHASE4) 각각에서 수행되는 상기 테스트 운동의 운동 부하가 서로 다르게 설정되는 경우, 가장 높은 강도의 운동 부하를 갖는 페이즈(도 2의 경우 제3 페이즈(PHASE3))에서 상기 사용자의 심박수가 최대 약 90~140 bpm(beats per minute)에 도달하는 강도로 상기 테스트 운동의 운동 부하가 설정될 수 있다.
- [0054] 도 2에는, 상기 사용자가 남자인 경우 최대 운동 부하는 100 와트(watt)로 설정되고, 상기 사용자가 여자인 경우 최대 운동 부하는 75 와트(watt)로 설정된 경우를 예시적으로 나타낸다.
- [0055] 일 실시예에 있어서, 상기 테스트 운동은 자전거 에르고미터(cycle ergometer)를 통해 수행될 수 있다. 다른 실시예에 있어서, 상기 테스트 운동은 트레드밀(treadmill)을 통해 수행될 수 있다. 또 다른 실시예에 있어서, 상기 테스트 운동은 자유 운동(예를 들면, 러닝(running))을 통해 수행될 수 있다.
- [0056] 상술한 바와 같이, 상기 심전도는 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하기 이전에 상응하는 안정 구간(REST SESSION), 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 동안에 상응하는 운동 구간(EXERCISE SESSION) 및 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 종료한 이후에 상응하는 회복 구간(RECOVERY SESSION) 중의 적어도 한 구간에서 측정될 수 있다.
- [0057] 일 실시예에 있어서, 상기 심전도는 500 Hz 이상에 상응하는 샘플링 레이트(sampling rate)로 측정될 수 있다.
- [0058] 상술한 바와 같이, 상기 테스트 운동의 운동 부하(exercise load)는 상기 사용자의 심박수가 최대 심박수의 약 70% 이하로 유지되는 정도의 강도로 설정되므로, 상기 사용자가 어린이, 노약자 또는 잠재적 심혈관계 질환자인 경우에도 상기 심전도는 안전하게 측정될 수 있다.
- [0059] 이상, 도 2를 참조하여 상기 사용자의 심전도를 측정하는 방법을 예시적으로 설명하였으나, 본 발명은 이에 한

정되지 않으며, 상기 사용자의 심전도는 도 2와는 다른 방식으로 설정된 테스트 운동을 통해 측정될 수도 있다.

[0060] 다시 도 1을 참조하면, 상기 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출한다(단계 S120).

[0061] 상기 R-피크점들은 상기 측정된 심전도에 포함되는 R-웨이브(wave)의 피크점들에 상응할 수 있다.

[0062] 도 3은 도 1에 도시된 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출하는 단계(S120)의 일 예를 나타내는 순서도이고, 도 4는 도 3에 도시된 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출하는 단계(S120)를 설명하기 위한 도면이다.

[0063] 도 3 및 4를 참조하면, 측정된 심전도(ECG)에 음-기울기 합 함수(negative Slope Sum Function; nSSF)를 적용하여 제1 결과 파형(nSSFw)을 생성할 수 있다(단계 S121).

[0064] 상기 음-기울기 합 함수는 아래의 [수학식 1]과 같이 정의될 수 있다.

[0065] [수학식 1]

$$nSSF_i = \sum_{k=i-w}^i \Delta u_k, \Delta u_k = \begin{cases} -\Delta x_k : \Delta x_k < 0 \\ 0 : \Delta x_k \geq 0 \end{cases}$$

[0066] [수학식 1]에서, x는 측정된 심전도(ECG)에 포함되는 샘플값들을 나타내고, w는 분석 윈도우의 폭을 나타내고, i는 $1+w \leq i \leq N$ 을 만족하는 정수를 나타내고, N은 측정된 심전도(ECG)에 포함되는 샘플들의 총 개수를 나타내고, nSSFi는 제1 결과 파형(nSSFw)에 포함되는 샘플값을 나타낸다.

[0068] 일 실시예에 있어서, 분석 윈도우의 폭(w)은 일반적인 심전도 그래프에서 R-웨이브의 하강 구간의 길이와 실질적으로 동일한 길이로 설정될 수 있다.

[0069] 예를 들어, 상기 사용자의 심전도가 500 Hz에 상응하는 샘플링 레이트로 측정되고, 분석 윈도우의 폭(w)이 20 ms에 상응하는 경우, 상기 분석 윈도우에는 측정된 심전도(ECG)에 포함되는 10개의 샘플들이 포함될 수 있다.

[0070] [수학식 1]에 표현된 바와 같이, 상기 음-기울기 합 함수는 측정된 심전도(ECG)에서 상기 분석 윈도우 구간 동안 측정된 심전도(ECG)의 샘플값이 감소하는 경우에 상기 감소하는 정도를 합산하여 제1 결과 파형(nSSFw)을 생성할 수 있다.

[0071] 따라서, 도 4에 도시된 바와 같이, 측정된 심전도(ECG)가 증가하거나 일정한 값을 유지하는 경우, 제1 결과 파형(nSSFw)은 기저 레벨로 유지되고, 측정된 심전도(ECG)가 감소하는 경우에 한해 제1 결과 파형(nSSFw)은 증가할 수 있다.

[0072] 일반적인 심전도에서 R-웨이브의 하강 구간은 심전도의 한 주기에서 발생하는 하강 구간들 중의 최대 하강 구간에 상응하므로, 제1 결과 파형(nSSFw)에 생성되는 펄스들 중에서 미리 정해진 문턱 크기(TV) 이상으로 상승하는 펄스의 펄스 온셋(nSSFw_onset) 지점은 측정된 심전도(ECG)에 포함되는 R-웨이브의 피크점에 상응할 수 있다.

[0073] 따라서 제1 결과 파형(nSSFw)에 포함되는 펄스들 중에서 문턱 크기(TV) 이상의 크기를 갖는 펄스들의 펄스 온셋(nSSFw_onset) 지점들을 상기 R-피크점들로 결정할 수 있다(단계 S123).

[0074] 측정된 심전도(ECG)에는 노이즈 신호들이 많이 포함되므로, 측정된 심전도(ECG)의 기저선(baseline)은 일정하게 유지되지 않고 변동될 수 있다. 따라서 측정된 심전도(ECG)를 사용하여 상기 R-피크점들을 검출하는 경우 오류가 발생할 수 있다.

[0075] 이에 반해, 제1 결과 파형(nSSFw)은 측정된 심전도(ECG)가 하강하는 정도에만 기초하여 생성되므로, 제1 결과 파형(nSSFw)의 기저선(baseline)은 일정하게 유지될 수 있다.

[0076] 따라서, 본 발명의 실시예들에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 따르면, 측정된 심전도(ECG)에 상기 음-기울기 합 함수를 적용하여 제1 결과 파형(nSSFw)을 생성하고, 제1 결과 파형(nSSFw)에 기초하여 상기 R-피크점들을 결정하므로, 측정된 심전도(ECG)에 포함되는 상기 R-피크점들을 보다 정확하게 검출할 수 있다.

[0077] 다시 도 1을 참조하면, 상기 R-피크점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 심박 변이율(Heart Rate Variability; HRV)을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산한다(단계 S130).

[0078] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들은 상기 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도

하나를 수행하여 생성될 수 있다.

- [0079] 예를 들어, 상기 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)에 대해 시간 영역 분석을 수행하여 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들은 통계적 방법(statistical method)에 의해 생성되는 SDNN(the standard deviation of the RR intervals), RMSSD(the root mean square of successive differences in RR intervals), NNxx(the number of interval differences of successive RR intervals greater than xx ms), pNNxx(the proportion derived by dividing NNxx by the total number of RR intervals), CV(coefficient of variations; the standard deviation divided by the mean of 100 RR intervals) 및 기하학적 방법(geometrical method)에 의해 생성되는 TI(triangular index; the number of all RR intervals divided by the maximum histogram), TINN(the triangular interpolation of RR interval histogram) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0080] 예를 들어, 상기 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)에 대해 주파수 영역 분석을 수행하여 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들은 TP(the total power), LF(the power in low frequency range), HF(the power in high frequency range), LFnorm(the normalized LF power), HFnorm(the normalized HF power), LF/HF ratio, VLF(the power in very low frequency range), ULF(the power in ultra-low frequency range), VLFnorm(the normalized VLF power), ULFnorm(the normalized ULF power) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0081] 예를 들어, 상기 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)에 대해 비선형 분석을 수행하여 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들은 SD1(the standard deviation of the points perpendicular to the identity line in the Poincare Plot), SD2(the standard deviation of the points along the identity line in the Poincare Plot), SD ratio(SD1/SD2), BoxDim(the box counting dimension), CorrDim(the correlation dimension), DimSpec(the dimension spectrum), FracDimK(the Katz's fractal dimension), FracDimH(Higuchi's fractal dimension), Lyapunov exponent, Hurst exponent, Scaling exponent, ShannEnt(Shannon's entropy), RenyiEnt(Renyi's entropy), ApEn(Approximate entropy), SampEnt(Sample entropy) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0082] 상술한 파라미터들은 널리 알려진 파라미터들이므로, 여기서는 상기 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)에 기초하여 상기 파라미터들을 계산하는 방법에 대한 설명은 생략한다.
- [0083] 이후, 심박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정한다(단계 S140).
- [0084] 도 5는 도 1에 도시된 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계(S140)의 일 예를 나타내는 순서도이다.
- [0085] 도 5를 참조하면, 심박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 제1 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하고(단계 S141), 심박 변이율을 독립 변수로 갖고 상기 제1 추정식과는 서로 다른 미리 정해진 제2 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정할 수 있다(단계 S143).
- [0086] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식 각각은 심박 변이율에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.
- [0087] 예를 들어, 상기 제1 추정식은 아래의 [수학식 2]와 같이 표현되고, 상기 제2 추정식은 아래의 [수학식 3]과 같이 표현될 수 있다.
- [0088] [수학식 2]
- [0089]
$$Y1 = A11 \cdot X11 + A12 \cdot X12 + \dots + A1n \cdot X1n + C1$$
- [0090] [수학식 2]에서, n은 양의 정수를 나타내고, X11, X12, ..., X1n은 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들에 포함되는 n개의 파라미터들을 나타내고, A11, A12, ..., A1n은 심박 변이율 파라미터들(X11, X12, ..., X1n) 각각의 계수(coefficient)를 나타내고, C1은 상수를 나타내고, Y1은 상기 심혈관계 건강상태 지표를 나타낸다.
- [0091] [수학식 3]
- [0092]
$$Y2 = A21 \cdot X21 + A22 \cdot X22 + \dots + A2m \cdot X2m + C2$$

- [0093] [수학식 3]에서, m 은 양의 정수를 나타내고, $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2m}$ 은 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들에 포함되는 m 개의 파라미터들을 나타내고, $A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2m}$ 은 심박 변이율 파라미터들($X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2m}$) 각각의 계수(coefficient)를 나타내고, C_2 는 상수를 나타내고, Y_2 는 상기 심폐체력 지표를 나타낸다.
- [0094] 일 실시예에 있어서, 심혈관계 건강상태 지표(Y_1)는 혈관 경화도(arterial stiffness)(또는 혈관 유순도(arterial compliance))를 나타내는 맥파 전파속도(Pulse Wave Velocity; PWV) 및 혈관 협착도(arterial stenosis)를 나타내는 발목-상완 지수(Ankle-Brachial Index; ABI) 중의 하나에 상응할 수 있다.
- [0095] 일 실시예에 있어서, 심폐체력 지표(Y_2)는 최대 산소 섭취량(maximum oxygen uptake; VO_{2max}), 젖산 역치(lactate threshold), 환기 역치(ventilator threshold) 및 최대 심박수(maximum heart rate) 중의 하나에 상응할 수 있다.
- [0096] 일 실시예에 있어서, 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 도 1 내지 4를 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들을 획득하고, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 상기 심혈관계 건강상태 지표 및 상기 심폐체력 지표를 실제로 측정할 수 있다. 이후, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들과 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심혈관계 건강상태 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석(linear regression analysis)을 수행하여 상기 제1 추정식을 정의할 수 있다. 또한, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들과 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심폐체력 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제2 추정식을 정의할 수 있다.
- [0097] 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식이 정의된 이후, 실제 평가 대상인 상기 사용자에게 대해 도 1 내지 4를 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 획득되는 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중에서 상기 제1 추정식에 독립 변수로 포함되는 파라미터들에 상응하는 값들을 상기 제1 추정식에 대입하여 상기 사용자에게 대한 상기 심혈관계 건강상태 지표를 결정할 수 있다(단계 S141).
- [0098] 이와 유사하게, 실제 평가 대상인 상기 사용자에게 대해 도 1 내지 4를 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 획득되는 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 중에서 상기 제2 추정식에 독립 변수로 포함되는 파라미터들에 상응하는 값들을 상기 제2 추정식에 대입하여 상기 사용자에게 대한 상기 심폐체력 지표를 결정할 수 있다(단계 S143).
- [0099] 이상, 도 1 내지 5를 참조하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 방법에 대해 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 실시예에 따라서 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 중의 어느 하나만을 추정할 수도 있다.
- [0100] 도 6은 도 1에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 일 예를 나타내는 순서도이다.
- [0101] 도 6에 도시된 바와 같이, 도 6에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 1에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에서 상기 사용자의 개인 정보를 수신하는 단계(S105)를 더 포함할 수 있다.
- [0102] 상기 개인 정보는 상기 사용자의 성별, 나이, 신장 및 체중 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0103] 이 경우, 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식 각각은 상기 개인 정보 및 심박 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.
- [0104] 즉, 상기 제1 추정식은 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 기준 사용자들 각각의 개인 정보와 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심혈관계 건강상태 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제1 추정식을 정의할 수 있다.
- [0105] 이와 유사하게, 상기 제2 추정식은 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 기준 사용자들 각각의 개인 정보와 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심폐체력 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제2 추정식을 정의할 수 있다.
- [0106] 예를 들어, 심혈관계 건강상태 지표(Y_1)가 혈관 경화도(arterial stiffness)(또는 혈관 유순도(arterial compliance))를 나타내는 맥파 전파속도(Pulse Wave Velocity; PWV)인 경우, 상기 제1 추정식은 아래의 [수학식 4]와 같이 정의될 수 있다.

- [0107] [수학식 4]
- [0108]
$$Y1 = 11.973 \cdot AGE + 188.937 \cdot SEX - 11.228 \cdot SD1c - 43.867 \cdot RenyiEnt + 933.733$$
- [0109] [수학식 4]에서, 상기 사용자가 남자인 경우 SEX는 '1'의 값을 갖고, 상기 사용자가 여자인 경우 SEX는 '0'의 값을 갖는다.
- [0110] 예를 들어, 심혈관계 건강상태 지표(Y1)가 혈관 협착도(arterial stenosis)를 나타내는 발목-상완 지수(Ankle-Brachial Index; ABI)인 경우, 상기 제1 추정식은 아래의 [수학식 5]와 같이 정의될 수 있다.
- [0111] [수학식 5]
- [0112]
$$Y1 = 0.062 \cdot Min_RR_int - 1.145 \cdot SD1c - 7.141 \cdot DimSpec + 32.092 \cdot scaling_exponent + 2.964 \cdot RenyiEnt + 38.911$$
- [0113] [수학식 5]에서, Min_RR_int는 상기 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)들 중의 최소값을 나타낸다.
- [0114] 예를 들어, 심폐체력 지표(Y2)가 최대 산소 섭취량(maximum oxygen uptake; VO2max)인 경우, 상기 제2 추정식은 아래의 [수학식 6]과 같이 정의될 수 있다.
- [0115] [수학식 6]
- [0116]
$$Y2 = -4.191 \cdot CV + 2249.477 \cdot pNN50 + 50.201 \cdot scaling_exponent - 33.689 \cdot RenyiEnt - 7.737 \cdot ShannEnt + 12.904 \cdot SampEnt + 2.412 \cdot CorrDim + 38.727$$
- [0117] [수학식 4], [수학식 5] 및 [수학식 6]은 미리 정의된 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식의 일 예를 나타내는 것으로서, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식은 선형 회귀 분석을 통해 다양한 형태로 정의될 수 있다.
- [0118] 도 6을 참조하여 상술한 바와 같이, 상기 사용자의 개인 정보를 추가적으로 고려하여 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식이 정의되는 경우, 실제 평가 대상인 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표는 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식을 통해 보다 정확하게 추정될 수 있다.
- [0119] 도 7은 도 1에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 다른 예를 나타내는 순서도이다.
- [0120] 도 7에 도시된 바와 같이, 도 7에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 1에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에서 상기 추정된 심혈관계 건강상태 및 상기 추정된 심폐체력을 성별 및 연령별 표준값과 비교하여 상기 사용자의 건강 수준을 제공하는 단계(S150)를 더 포함할 수 있다.
- [0121] 따라서 도 7에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에 따르면, 도 1 내지 5를 참조하여 상술한 동작을 수행하여 계산된 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표뿐만 아니라, 상기 사용자의 건강 수준을 추가적으로 제공함으로써 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 보다 쉽게 표현할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 상기 사용자의 상기 건강 수준은 상기 사용자의 건강 나이를 포함할 수 있다.
- [0122] 도 1 내지 7을 참조하여 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예들에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법의 경우, 상기 사용자가 어린이, 노약자 또는 잠재적 심혈관계 질환자인 경우에도 안전하게 적용될 수 있고, 심전도에 포함되는 노이즈를 효과적으로 제거함으로써 평가의 정확성을 향상시킬 수 있으며, 미리 정의된 추정식에 기초하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표를 도출하므로 간단하게 구현될 수 있다.
- [0123] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0124] 도 8에는 사용자의 광용적맥파(photoplethysmogram; PPG)를 사용하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법이 도시된다.
- [0125] 도 8을 참조하면, 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하기 위해, 상기 사용자의 광용적맥파를 측정한다(단계 S210).
- [0126] 일 실시예에 있어서, 상기 사용자의 광용적맥파를 측정하는 단계(S210)는 도 2를 참조하여 상술한 상기 사용자의 심전도를 측정하는 단계(S110)와 동일한 방식으로 수행될 수 있다.
- [0127] 즉, 상기 광용적맥파는 상기 사용자가 도 2를 참조하여 상술한 바와 같은 운동 부하로 설정된 상기 테스트 운동을 수행하기 이전에 상응하는 안정 구간(REST SESSION), 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 동안에 상

응하는 운동 구간(EXERCISE SESSION) 및 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 종료한 이후에 상응하는 회복 구간(RECOVERY SESSION) 중의 적어도 한 구간에서 측정될 수 있다.

[0128] 도 2를 참조하여 상술한 바와 같이, 운동 구간(EXERCISE SESSION) 동안 수행되는 상기 테스트 운동의 운동 부하(exercise load)는 상대적으로 낮은 강도로 설정될 수 있다. 예를 들어, 상기 테스트 운동의 운동 부하는 운동 구간(EXERCISE SESSION) 동안 상기 사용자의 심박수가 약 90~140 bpm(beats per minute)에 도달하는 강도로 설정될 수 있다.

[0129] 일 실시예에 있어서, 상기 광용적맥파는 500 Hz 이상에 상응하는 샘플링 레이트(sampling rate)로 측정될 수 있다.

[0130] 도 2를 참조하여 상술한 바와 같이, 상기 테스트 운동의 운동 부하(exercise load)는 상기 사용자의 심박수가 최대 심박수의 약 70% 이하로 유지되는 정도의 강도로 설정되므로, 상기 사용자가 어린이, 노약자 또는 잠재적 심혈관계 질환자인 경우에도 상기 광용적맥파는 안전하게 측정될 수 있다.

[0131] 도 2를 참조하여 상기 사용자의 광용적맥파를 측정하는 방법을 예시적으로 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 상기 사용자의 광용적맥파는 도 2와는 다른 방식으로 설정된 테스트 운동을 통해 측정될 수도 있다.

[0132] 다시 도 8을 참조하면, 상기 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출한다(단계 S220).

[0133] 일 실시예에 있어서, 상기 맥파 특징점들은 상기 측정된 광용적맥파에 포함되는 펄스 피크(pulse peak) 지점들에 상응할 수 있다.

[0134] 다른 실시예에 있어서, 상기 맥파 특징점들은 상기 측정된 광용적맥파에 포함되는 펄스 온셋(pulse onset) 지점들에 상응할 수 있다.

[0135] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 맥파 특징점들은 상기 측정된 광용적맥파의 이차 미분파(second derivative of photoplethysmogram; SDPTG)의 초기 양성파(initial positive wave) 지점들에 상응할 수 있다.

[0136] 도 9는 도 8에 도시된 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계(S220)의 일 예를 나타내는 순서도이고, 도 10 및 11은 도 9에 도시된 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 도면들이다.

[0137] 측정된 광용적맥파(PPG)에는 노이즈 신호들이 많이 포함되므로, 도 10에 도시된 바와 같이, 측정된 광용적맥파(PPG)의 기저선(BL)은 일정하게 유지되지 않고 변동될 수 있다.

[0138] 따라서, 측정된 광용적맥파(PPG)로부터 맥파 특징점(FP)들을 효과적으로 검출하기 위해, 우선, 측정된 광용적맥파(PPG)의 기저선(BL)을 검출할 수 있다(단계 S221).

[0139] 실시예에 따라서, 측정된 광용적맥파(PPG)에 다양한 종류의 필터를 적용하여 측정된 광용적맥파(PPG)의 기저선(BL)을 검출할 수 있다.

[0140] 일 실시예에 있어서, 형태학적 필터(morphological filter)를 사용하여 측정된 광용적맥파(PPG)의 기저선(BL)을 검출할 수 있다. 예를 들어, 측정된 광용적맥파(PPG)에 열림 연산(opening operation) 및 닫힘 연산(closing operation)을 순차적으로 수행하여 측정된 광용적맥파(PPG)의 기저선(BL)을 검출할 수 있다.

[0141] 도 10에 도시된 바와 같이, 기저선(BL)을 검출한 이후, 검출된 기저선(BL)을 측정된 광용적맥파(PPG)로부터 제거하여 제1 결과 파형(PPG_C)을 생성할 수 있다(단계 S223).

[0142] 이후, 제1 결과 파형(PPG_C)에 기울기 합 함수(Slope Sum Function; SSF)를 적용하여 제2 결과 파형(SSFW)을 생성할 수 있다(단계 S225).

[0143] 상기 기울기 합 함수는 아래의 [수학식 7]과 같이 정의될 수 있다.

[0144] [수학식 7]

$$SSF_i = \sum_{k=i-w}^i \Delta u_k, \quad \Delta u_k = \begin{cases} \Delta x_k & : \Delta x_k > 0 \\ 0 & : \Delta x_k \leq 0 \end{cases}$$

[0145]

[0146] [수학식 7]에서, x는 제1 결과 파형(PPG_C)에 포함되는 샘플값들을 나타내고, w는 분석 윈도우의 폭을

나타내고, i 는 $1+w \leq i \leq N$ 을 만족하는 정수를 나타내고, N 은 측정된 광용적맥파(PPG)에 포함되는 샘플들의 총 개수를 나타내고, SSF i 는 제2 결과 파형(SSFW)에 포함되는 샘플값을 나타낸다.

- [0147] 일 실시예에 있어서, 분석 윈도우의 폭(w)은 일반적인 광용적맥파 그래프에서 펄스 온셋부터 펄스 피크까지의 상승 구간의 길이와 실질적으로 동일한 길이로 설정될 수 있다.
- [0148] 예를 들어, 분석 윈도우의 폭(w)은 128 ms에 상응할 수 있다.
- [0149] [수학식 7]에 표현된 바와 같이, 상기 기울기 합 함수는 제1 결과 파형(PPG_C)에서 상기 분석 윈도우 구간 동안 제1 결과 파형(PPG_C)의 샘플값이 증가하는 경우에 상기 증가하는 정도를 합산하여 제2 결과 파형(SSFW)을 생성할 수 있다.
- [0150] 따라서, 도 11에 도시된 바와 같이, 제1 결과 파형(PPG_C)이 감소하거나 일정한 값을 유지하는 경우, 제2 결과 파형(SSFW)은 기저 레벨로 유지되고, 제1 결과 파형(PPG_C)이 증가하는 경우에 한해 제2 결과 파형(SSFW)은 증가할 수 있다.
- [0151] 따라서, 도 11에 도시된 바와 같이, 제2 결과 파형(SSFW)에 생성되는 펄스의 펄스 온셋(SSFW_onset) 지점은 측정된 광용적맥파(PPG)의 펄스 온셋 지점에 상응하고, 제2 결과 파형(SSFW)에 생성되는 펄스의 펄스 피크(SSFW_peak) 지점은 측정된 광용적맥파(PPG)의 펄스 피크점에 상응할 수 있다.
- [0152] 따라서 제2 결과 파형(SSFW)에 포함되는 펄스 피크(SSFW_peak) 지점들 및 펄스 온셋(SSFW_onset) 지점들 중의 하나를 맥파 특징점(FP)들로 결정할 수 있다(단계 S227).
- [0153] 제2 결과 파형(SSFW)에 포함되는 펄스 피크(SSFW_peak) 지점들을 맥파 특징점(FP)들로 결정하는 경우, 맥파 특징점(FP)들은 측정된 광용적맥파(PPG)에 포함되는 펄스 피크(pulse peak) 지점들에 상응할 수 있다.
- [0154] 제2 결과 파형(SSFW)에 포함되는 펄스 온셋(SSFW_onset) 지점들을 맥파 특징점(FP)들로 결정하는 경우, 맥파 특징점(FP)들은 측정된 광용적맥파(PPG)에 포함되는 펄스 온셋(pulse onset) 지점들에 상응할 수 있다.
- [0155] 측정된 광용적맥파(PPG)에는 노이즈 신호들이 많이 포함되므로, 측정된 광용적맥파(PPG)의 기저선(BL)은 일정하게 유지되지 않고 변동될 수 있다. 따라서 측정된 광용적맥파(PPG)를 사용하여 맥파 특징점(FP)들을 검출하는 경우 오류가 발생할 수 있다.
- [0156] 이에 반해, 제2 결과 파형(SSFW)은 측정된 광용적맥파(PPG)가 상승하는 정도에만 기초하여 생성되므로, 제2 결과 파형(SSFW)의 기저선은 일정하게 유지될 수 있다.
- [0157] 따라서, 본 발명의 실시예들에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 따르면, 측정된 광용적맥파(PPG)에서 기저선(BL)을 제거하여 제1 결과 파형(PPG_C)을 생성하고, 제1 결과 파형(PPG_C)에 상기 기울기 합 함수를 적용하여 제2 결과 파형(SSFW)을 생성하고, 제2 결과 파형(SSFW)에 기초하여 맥파 특징점(FP)들을 결정하므로, 측정된 광용적맥파(PPG)에 포함되는 펄스 피크 지점들 또는 펄스 온셋 지점들을 보다 정확하게 검출할 수 있다.
- [0158] 도 12는 도 8에 도시된 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계(S220)의 다른 예를 나타내는 순서도이고, 도 13은 도 12에 도시된 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.
- [0159] 도 12에 도시된 측정된 광용적맥파(PPG)의 기저선(BL)을 검출하는 단계(S221) 및 검출된 기저선(BL)을 측정된 광용적맥파(PPG)로부터 제거하여 제1 결과 파형(PPG_C)을 생성하는 단계(S223)는 도 9에 도시된 측정된 광용적맥파(PPG)의 기저선(BL)을 검출하는 단계(S221) 및 검출된 기저선(BL)을 측정된 광용적맥파(PPG)로부터 제거하여 제1 결과 파형(PPG_C)을 생성하는 단계(S223)와 동일할 수 있다.
- [0160] 이후, 도 13에 도시된 바와 같이, 제1 결과 파형(PPG_C)에 대해 미분 연산(differentiation)을 두 번 수행하여 제3 결과 파형(SDPTG)을 생성하고(단계 S228), 제3 결과 파형(SDPTG)의 매 주기마다 포함되는 초기 양성파(initial positive wave) 지점들을 맥파 특징점(FP)들로 결정할 수 있다(단계 S229). 여기서, 초기 양성파 지점들이란 제3 결과 파형(SDPTG)의 매 주기에서 가장 큰 양의 값을 가지는 지점들을 의미한다.
- [0161] 다시 도 8을 참조하면, 상기 맥파 특징점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 맥박 변이율(Pulse Rate Variability; PRV)을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산한다(단계 S230).
- [0162] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들은 상기 맥파 특징점들 사이의 간격(pulse interval)

에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도 하나를 수행하여 생성될 수 있다.

[0163] 예를 들어, 상기 맥파 특징점들 사이의 간격(pulse interval)에 대해 시간 영역 분석을 수행하여 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들은 통계적 방법(statistical method)에 의해 생성되는 SDNN(the standard deviation of the pulse intervals), RMSSD(the root mean square of successive differences in pulse intervals), NNxx(the number of interval differences of successive pulse intervals greater than xx ms), pNNxx(the proportion derived by dividing NNxx by the total number of pulse intervals), CV(coefficient of variations; the standard deviation divided by the mean of 100 pulse intervals) 및 기하학적 방법(geometrical method)에 의해 생성되는 TI(triangular index; the number of all pulse intervals divided by the maximum histogram), TINN(the triangular interpolation of pulse interval histogram) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0164] 예를 들어, 상기 맥파 특징점들 사이의 간격(pulse interval)에 대해 주파수 영역 분석을 수행하여 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들은 TP(the total power), LF(the power in low frequency range), HF(the power in high frequency range), LFnorm(the normalized LF power), HFnorm(the normalized HF power), LF/HF ratio, VLF(the power in very low frequency range), ULF(the power in ultra-low frequency range), VLFnorm(the normalized VLF power), ULFnorm(the normalized ULF power) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0165] 예를 들어, 상기 맥파 특징점들 사이의 간격(pulse interval)에 대해 비선형 분석을 수행하여 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들은 SD1(the standard deviation of the points perpendicular to the identity line in the Poincare Plot), SD2(the standard deviation of the points along the identity line in the Poincare Plot), SD ratio(SD1/SD2), BoxDim(the box counting dimension), CorrDim(the correlation dimension), DimSpec(the dimension spectrum), FracDimK(the Katz's fractal dimension), FracDimH(Higuchi's fractal dimension), Lyapunov exponent, Hurst exponent, Scaling exponent, ShannEnt(Shannon's entropy), RenyiEnt(Renyi's entropy), ApEn(Approximate entropy), SampEnt(Sample entropy) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0166] 상술한 파라미터들은 널리 알려진 파라미터들이므로, 여기서는 상기 맥파 특징점들 사이의 간격(pulse interval)에 기초하여 상기 파라미터들을 계산하는 방법에 대한 설명은 생략한다.

[0167] 이후, 맥박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정한다(단계 S240).

[0168] 도 14는 도 8에 도시된 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계(S240)의 일 예를 나타내는 순서도이다.

[0169] 도 14를 참조하면, 맥박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 제1 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하고(단계 S241), 맥박 변이율을 독립 변수로 갖고 상기 제1 추정식과는 서로 다른 미리 정해진 제2 추정식에 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정할 수 있다(단계 S243).

[0170] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식 각각은 맥박 변이율에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.

[0171] 예를 들어, 상기 제1 추정식은 아래의 [수학식 8]과 같이 표현되고, 상기 제2 추정식은 아래의 [수학식 9]와 같이 표현될 수 있다.

[0172] [수학식 8]

[0173]
$$Y1 = A11 \cdot X11 + A12 \cdot X12 + \dots + A1n \cdot X1n + C1$$

[0174] [수학식 8]에서, n은 양의 정수를 나타내고, X11, X12, ..., X1n은 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들에 포함되는 n개의 파라미터들을 나타내고, A11, A12, ..., A1n은 맥박 변이율 파라미터들(X11, X12, ..., X1n) 각각의 계수(coefficient)를 나타내고, C1은 상수를 나타내고, Y1은 상기 심혈관계 건강상태 지표를 나타낸다.

[0175] [수학식 9]

- [0176] $Y2 = A21 \cdot X21 + A22 \cdot X22 + \dots + A2m \cdot X2m + C2$
- [0177] [수학식 9]에서, m 은 양의 정수를 나타내고, $X21, X22, \dots, X2m$ 은 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들에 포함되는 m 개의 파라미터들을 나타내고, $A21, A22, \dots, A2m$ 은 맥박 변이율 파라미터들($X21, X22, \dots, X2m$) 각각의 계수(coefficient)를 나타내고, $C2$ 는 상수를 나타내고, $Y2$ 는 상기 심폐체력 지표를 나타낸다.
- [0178] 일 실시예에 있어서, 심혈관계 건강상태 지표($Y1$)는 혈관 경화도(arterial stiffness)(또는 혈관 유순도(arterial compliance))를 나타내는 맥파 전파속도(Pulse Wave Velocity; PWV) 및 혈관 협착도(arterial stenosis)를 나타내는 발목-상완 지수(Ankle-Brachial Index; ABI) 중의 하나에 상응할 수 있다.
- [0179] 일 실시예에 있어서, 심폐체력 지표($Y2$)는 최대 산소 섭취량(maximum oxygen uptake; $VO2max$), 젖산 역치(lactatethreshold), 환기 역치(ventilator threshold) 및 최대 심박수(maximum heart rate) 중의 하나에 상응할 수 있다.
- [0180] 일 실시예에 있어서, 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 도 8 내지 13을 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 획득하고, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 상기 심혈관계 건강상태 지표 및 상기 심폐체력 지표를 실제로 측정할 수 있다. 이후, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들과 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심혈관계 건강상태 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석(linear regression analysis)을 수행하여 상기 제1 추정식을 정의할 수 있다. 또한, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들과 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심폐체력 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제2 추정식을 정의할 수 있다.
- [0181] 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식이 정의된 이후, 실제 평가 대상인 상기 사용자에게 대해 도 8 내지 13을 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 획득되는 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중에서 상기 제1 추정식에 독립 변수로 포함되는 파라미터들에 상응하는 값들을 상기 제1 추정식에 대입하여 상기 사용자에게 대한 상기 심혈관계 건강상태 지표를 결정할 수 있다(단계 S241).
- [0182] 이와 유사하게, 실제 평가 대상인 상기 사용자에게 대해 도 8 내지 13을 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 획득되는 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 중에서 상기 제2 추정식에 독립 변수로 포함되는 파라미터들에 상응하는 값들을 상기 제2 추정식에 대입하여 상기 사용자에게 대한 상기 심폐체력 지표를 결정할 수 있다(단계 S243).
- [0183] 이상, 도 8 내지 14를 참조하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 방법에 대해 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 실시예에 따라서 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 중의 어느 하나만을 추정할 수도 있다.
- [0184] 도 15는 도 8에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 일 예를 나타내는 순서도이다.
- [0185] 도 15에 도시된 바와 같이, 도 15에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 8에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에서 상기 사용자의 개인 정보를 수신하는 단계(S205)를 더 포함할 수 있다.
- [0186] 상기 개인 정보는 상기 사용자의 성별, 나이, 신장 및 체중 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0187] 이 경우, 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식 각각은 상기 개인 정보 및 맥박 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.
- [0188] 즉, 상기 제1 추정식은 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 기준 사용자들 각각의 개인 정보와 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심혈관계 건강상태 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제1 추정식을 정의할 수 있다.
- [0189] 이와 유사하게, 상기 제2 추정식은 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 기준 사용자들 각각의 개인 정보와 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심폐체력 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제2 추정식을 정의할 수 있다.
- [0190] 도 15를 참조하여 상술한 바와 같이, 상기 사용자의 개인 정보를 추가적으로 고려하여 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식이 정의되는 경우, 실제 평가 대상인 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표는 상

기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식을 통해 보다 정확하게 추정될 수 있다.

- [0191] 도 16은 도 8에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 다른 예를 나타내는 순서도이다.
- [0192] 도 16에 도시된 바와 같이, 도 16에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 8에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에서 상기 추정된 심혈관계 건강상태 및 상기 추정된 심폐체력을 성별 및 연령별 표준값과 비교하여 상기 사용자의 건강 수준을 제공하는 단계(S250)를 더 포함할 수 있다.
- [0193] 따라서 도 16에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에 따르면, 도 8 내지 14를 참조하여 상술한 동작을 수행하여 계산된 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표뿐만 아니라, 상기 사용자의 건강 수준을 추가적으로 제공함으로써 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 보다 쉽게 표현할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 상기 사용자의 상기 건강 수준은 상기 사용자의 건강 나이를 포함할 수 있다.
- [0194] 도 8 내지 16을 참조하여 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예들에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법의 경우, 상기 사용자가 어린이, 노약자 또는 잠재적 심혈관계 질환자인 경우에도 안전하게 적용될 수 있고, 광용적맥파에 포함되는 노이즈를 효과적으로 제거함으로써 평가의 정확성을 향상시킬 수 있으며, 미리 정의된 추정식에 기초하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표를 도출하므로 간단하게 구현될 수 있다.
- [0195] 도 17은 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0196] 도 17에는 사용자의 심전도(electrocardiography; ECG) 및 광용적맥파(photoplethysmogram; PPG)를 사용하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법이 도시된다.
- [0197] 도 17을 참조하면, 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하기 위해, 상기 사용자의 심전도 및 광용적맥파를 측정한다(단계 S310).
- [0198] 일 실시예에 있어서, 상기 사용자의 심전도 및 광용적맥파를 측정하는 단계(S310)는 도 2를 참조하여 상술한 상기 사용자의 심전도를 측정하는 단계(S110)와 동일한 방식으로 수행될 수 있다.
- [0199] 즉, 상기 심전도 및 광용적맥파는 상기 사용자가 도 2를 참조하여 상술한 바와 같은 운동 부하로 설정된 상기 테스트 운동을 수행하기 이전에 상응하는 안정 구간(REST SESSION), 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 수행하는 동안에 상응하는 운동 구간(EXERCISE SESSION) 및 상기 사용자가 상기 테스트 운동을 종료한 이후에 상응하는 회복 구간(RECOVERY SESSION) 중의 적어도 한 구간에서 측정될 수 있다.
- [0200] 도 2를 참조하여 상술한 바와 같이, 운동 구간(EXERCISE SESSION) 동안 수행되는 상기 테스트 운동의 운동 부하(exercise load)는 상대적으로 낮은 강도로 설정될 수 있다. 예를 들어, 상기 테스트 운동의 운동 부하는 운동 구간(EXERCISE SESSION) 동안 상기 사용자의 심박수가 약 90~140 bpm(beats per minute)에 도달하는 강도로 설정될 수 있다.
- [0201] 일 실시예에 있어서, 상기 심전도 및 상기 광용적맥파는 500 Hz 이상에 상응하는 샘플링 레이트(sampling rate)로 측정될 수 있다.
- [0202] 도 2를 참조하여 상술한 바와 같이, 상기 테스트 운동의 운동 부하(exercise load)는 상기 사용자의 심박수가 최대 심박수의 약 70% 이하로 유지되는 정도의 강도로 설정되므로, 상기 사용자가 어린이, 노약자 또는 잠재적 심혈관계 질환자인 경우에도 상기 광용적맥파는 안전하게 측정될 수 있다.
- [0203] 도 2를 참조하여 상기 사용자의 심전도 및 광용적맥파를 측정하는 방법을 예시적으로 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 상기 사용자의 심전도 및 광용적맥파는 도 2와는 다른 방식으로 설정된 테스트 운동을 통해 측정될 수도 있다.
- [0204] 다시 도 17을 참조하면, 상기 측정된 심전도에서 R-피크(peak)점들을 검출하고(단계 S320), 상기 측정된 광용적맥파에서 맥파 특징점들을 검출한다(단계 S330).
- [0205] 도 17의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 포함되는 상기 측정된 심전도에서 상기 R-피크점들을 검출하는 단계(S320)는 도 1의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 포함되는 상기 측정된 심전도에서 상기 R-피크점들을 검출하는 단계(S120)와 동일할 수 있다. 또한, 도 17의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 포함되는 상기 측정된 광용적맥파에서 상기 맥파 특징점들을 검출하는 단계(S330)는 도 8의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 포함되는 상기 측정된 광용적맥파에서 상기 맥파 특징점들을 검출하는 단계(S220)

와 동일할 수 있다. 따라서 상기 측정된 심전도에서 상기 R-피크점들을 검출하는 단계(S320) 및 상기 측정된 광용적맥파에서 상기 맥파 특징점들을 검출하는 단계(S330)에 대한 상세한 설명은 생략한다.

- [0206] 한편, 상기 R-피크점들 및 상기 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간(Pulse Transit Time; PTT)들을 검출한다(단계 S340).
- [0207] 일 실시예에 있어서, 상기 맥파 전달 시간은 상기 측정된 심전도 및 상기 측정된 광용적맥파의 매 주기에서 상기 측정된 심전도에서 검출된 상기 R-피크점과 상기 측정된 광용적맥파의 펄스 피크(pulse peak)점 사이의 간격에 상응할 수 있다.
- [0208] 다른 실시예에 있어서, 상기 맥파 전달 시간은 상기 측정된 심전도 및 상기 측정된 광용적맥파의 매 주기에서 상기 측정된 심전도에서 검출된 상기 R-피크점과 상기 측정된 광용적맥파의 펄스 온셋(pulse onset)점 사이의 간격에 상응할 수 있다.
- [0209] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 맥파 전달 시간은 상기 측정된 심전도 및 상기 측정된 광용적맥파의 매 주기에서 상기 측정된 심전도에서 검출된 상기 R-피크점과 상기 측정된 광용적맥파의 이차 미분파(second derivative of photoplethysmogram; SDPTG)의 초기 양성파(initial positive wave) 지점 사이의 간격에 상응할 수 있다.
- [0210] 도 18은 도 17에 도시된 R-피크점들 및 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간들을 검출하는 단계(S340)의 일 예를 나타내는 순서도이고, 도 19는 도 18에 도시된 R-피크점들 및 측정된 광용적맥파에 기초하여 맥파 전달 시간들을 검출하는 단계를 설명하기 위한 도면이다.
- [0211] 도 18 및 19에는, 상기 맥파 전달 시간이 상기 측정된 심전도에서 검출된 상기 R-피크점과 상기 측정된 광용적맥파의 펄스 피크(pulse peak)점 사이의 간격으로 정의된 경우에 대해 상기 맥파 전달 시간을 검출하는 방법이 예시적으로 도시된다.
- [0212] 도 18 및 19를 참조하면, 측정된 광용적맥파(PPG)의 한 주기에는 복수의 피크들이 포함될 수 있다.
- [0213] 따라서 상기 R-피크점들 중에서 서로 인접하는 제1 R-피크점(RP1) 및 제2 R-피크점(RP2) 사이에 포함되는 측정된 광용적맥파(PPG)의 모든 피크점들을 후보 피크점(CP)들로 결정할 수 있다(단계 S341).
- [0214] 이후, 제1 R-피크점(RP1) 및 제2 R-피크점(RP2) 사이의 구간에서, 측정된 광용적맥파(PPG)의 펄스 피크(pulse peak)점이 존재할 확률 분포를 나타내는 확률 밀도 함수(PDF)에 기초하여 후보 피크점(CP)들 중의 하나를 광용적맥파 피크점으로 결정하고(단계 S343), 제1 R-피크점(RP1)과 상기 결정된 광용적맥파 피크점 사이의 간격을 맥파 전달 시간(PTT)으로 결정할 수 있다(단계 S345).
- [0215] 예를 들어, 확률 밀도 함수(PDF)를 사용하여 후보 피크점(CP)들 각각이 실제로 측정된 광용적맥파(PPG)의 펄스 피크(pulse peak)점에 해당할 확률을 계산한 후, 후보 피크점(CP)들 중에서 가장 높은 확률을 갖는 후보 피크점(CP)을 상기 광용적맥파 피크점으로 결정할 수 있다.
- [0216] 일반적인 심전도 그래프 및 광용적맥파 그래프에서 맥파 전달 시간(PTT)을 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)으로 나눈 값은 정규 분포(normal distribution)를 따른다.
- [0217] 따라서, 도 19에 도시된 바와 같이, 확률 밀도 함수(PDF)는 맥파 전달 시간(PTT)을 상기 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)으로 나눈 값을 확률 변수로 갖는 정규 분포(normal distribution)에 상응할 수 있다.
- [0218] 또한, 측정된 심전도(ECG) 및 측정된 광용적맥파(PPG)의 매 주기마다 상기 광용적맥파 피크점이 결정되는 경우, 상기 광용적맥파 피크점, 제1 R-피크점(RP1) 및 제2 R-피크점(RP2)에 기초하여 확률 밀도 함수(PDF)는 매 주기마다 업데이트될 수 있다.
- [0219] 즉, 확률 밀도 함수(PDF)의 파라미터들에 상응하는 맥파 전달 시간(PTT)을 상기 R-피크점들 사이의 간격(RR interval)으로 나눈 값의 평균 및 분산은 측정된 심전도(ECG) 및 측정된 광용적맥파(PPG)의 매 주기에서 상기 광용적맥파 피크점이 결정될 때마다 업데이트될 수 있다.
- [0220] 도 18 및 19를 참조하여 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예들에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 따르면, 상기 사용자의 생체 정보 변화에 기초하여 확률 밀도 함수(PDF)를 적응적으로 업데이트하면서 측정된 광용적맥파(PPG)의 펄스 피크(pulse peak)점을 결정하므로, 상기 사용자의 맥파 전달 시간(PTT)을 보다 정확하게 검출할 수 있다.
- [0221] 이상, 도 18 및 19를 참조하여 맥파 전달 시간(PTT)이 상기 측정된 심전도에서 검출된 상기 R-피크점과 상기 측

정된 광용적맥파의 펄스 피크(pulse peak)점 사이의 간격으로 정의된 경우에 대해 맥파 전달 시간(PTT)을 검출하는 방법을 예시적으로 설명하였으나, 맥파 전달 시간(PTT)이 상기 측정된 심전도에서 검출된 상기 R-피크점과 상기 측정된 광용적맥파의 펄스 온셋(pulse onset)점 사이의 간격으로 정의된 경우 및 맥파 전달 시간(PTT)이 상기 측정된 심전도에서 검출된 상기 R-피크점과 상기 측정된 광용적맥파의 이차 미분파(second derivative of photoplethysmogram; SDPTG)의 초기 양성파(initial positive wave) 지점 사이의 간격으로 정의된 경우에도 도 18 및 19를 참조하여 설명한 방법과 유사한 방법으로 맥파 전달 시간(PTT)을 검출할 수 있다.

[0222] 다시 도 17을 참조하면, 상기 R-피크점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 심박 변이율(Heart Rate Variability; HRV)을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하고(단계 S350), 상기 맥파 특징점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 맥박 변이율(Pulse Rate Variability; PRV)을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산한다(단계 S360).

[0223] 도 17의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 포함되는 상기 R-피크점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 심박 변이율을 나타내는 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계(S350)는 도 1의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 포함되는 상기 R-피크점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 심박 변이율을 나타내는 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계(S130)와 동일할 수 있다. 또한, 도 17의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 포함되는 상기 맥파 특징점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 맥박 변이율을 나타내는 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계(S360)는 도 8의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법에 포함되는 상기 맥파 특징점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 맥박 변이율을 나타내는 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계(S230)와 동일할 수 있다. 따라서 상기 R-피크점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 심박 변이율을 나타내는 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계(S350) 및 상기 맥파 특징점들에 기초하여 각각이 상기 사용자의 맥박 변이율을 나타내는 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들을 계산하는 단계(S360)에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0224] 한편, 상기 맥파 전달 시간들에 기초하여 상기 사용자의 맥파 전달 시간 변이율(Pulse Transit Time Variability; PTTV)을 나타내는 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 계산한다(단계 S370).

[0225] 일 실시예에 있어서, 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들은 상기 맥파 전달 시간들에 대해 시간 영역(time domain) 분석, 주파수 영역(frequency domain) 분석 및 비선형(nonlinear) 분석 중의 적어도 하나를 수행하여 생성될 수 있다.

[0226] 예를 들어, 상기 맥파 전달 시간(PTT)들에 대해 시간 영역 분석을 수행하여 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들은 통계적 방법(statistical method)에 의해 생성되는 SDNN(the standard deviation of the PTTs), RMSSD(the root mean square of successive differences in PTTs), NNxx(the number of interval differences of successive PTTs greater than xx ms), pNNxx(the proportion derived by dividing NNxx by the total number of PTTs), CV(coefficient of variations; the standard deviation divided by the mean of 100 PTTs) 및 기하학적 방법(geometrical method)에 의해 생성되는 TI(triangular index; the number of all PTTs divided by the maximum histogram), TINN(the triangular interpolation of PTT histogram) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0227] 예를 들어, 상기 맥파 전달 시간(PTT)들에 대해 주파수 영역 분석을 수행하여 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들은 TP(the total power), LF(the power in low frequency range), HF(the power in high frequency range), LFnorm(the normalized LF power), HFnorm(the normalized HF power), LF/HF ratio, VLF(the power in very low frequency range), ULF(the power in ultra-low frequency range), VLFnorm(the normalized VLF power), ULFnorm(the normalized ULF power) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0228] 예를 들어, 상기 맥파 전달 시간(PTT)들에 대해 비선형 분석을 수행하여 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 생성하는 경우, 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들은 SD1(the standard deviation of the points perpendicular to the identity line in the Poincare Plot), SD2(the standard deviation of the points along the identity line in the Poincare Plot), SD ratio(SD1/SD2), BoxDim(the box counting dimension), CorrDim(the correlation dimension), DimSpec(the dimension spectrum), FracDimK(the Katz's fractal dimension), FracDimH(Higuchi's fractal dimension), Lyapunov exponent, Hurst exponent, Scaling exponent, ShannEnt(Shannon's entropy), RenyiEnt(Renyi's entropy), ApEn(Approximate entropy),

SampEnt(Sample entropy) 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [0229] 상술한 파라미터들은 널리 알려진 파라미터들이므로, 여기서는 상기 맥파 전달 시간(PTT)들에 기초하여 상기 파라미터들을 계산하는 방법에 대한 설명은 생략한다.
- [0230] 이후, 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나를 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정한다(단계 S380).
- [0231] 도 20은 도 17에 도시된 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 단계(S380)의 일 예를 나타내는 순서도이다.
- [0232] 도 20을 참조하면, 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나를 독립 변수로 갖는 미리 정해진 제1 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표를 결정하고(단계 S381), 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나를 독립 변수로 갖고 상기 제1 추정식과는 서로 다른 미리 정해진 제2 추정식에 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심폐체력 지표를 결정할 수 있다(단계 S383).
- [0233] 일 실시예에 있어서, 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식 각각은 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.
- [0234] 예를 들어, 상기 제1 추정식은 아래의 [수학식 10]과 같이 표현되고, 상기 제2 추정식은 아래의 [수학식 11]과 같이 표현될 수 있다.
- [0235] [수학식 10]
- [0236]
$$Y1 = A11 \cdot X11 + A12 \cdot X12 + \dots + A1n \cdot X1n + C1$$
- [0237] [수학식 10]에서, n은 양의 정수를 나타내고, X11, X12, ..., X1n은 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 n개의 파라미터들을 나타내고, A11, A12, ..., A1n은 상기 n개의 파라미터들(X11, X12, ..., X1n) 각각의 계수(coefficient)를 나타내고, C1은 상수를 나타내고, Y1은 상기 심혈관계 건강상태 지표를 나타낸다.
- [0238] [수학식 11]
- [0239]
$$Y2 = A21 \cdot X21 + A22 \cdot X22 + \dots + A2m \cdot X2m + C2$$
- [0240] [수학식 11]에서, m은 양의 정수를 나타내고, X21, X22, ..., X2m은 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들 중의 m개의 파라미터들을 나타내고, A21, A22, ..., A2m은 상기 m개의 파라미터들(X21, X22, ..., X2m) 각각의 계수(coefficient)를 나타내고, C2는 상수를 나타내고, Y2는 상기 심폐체력 지표를 나타낸다.
- [0241] 일 실시예에 있어서, 심혈관계 건강상태 지표(Y1)는 혈관 경화도(arterial stiffness)(또는 혈관 유순도(arterial compliance))를 나타내는 맥파 전파속도(Pulse Wave Velocity; PWV) 및 혈관 협착도(arterial stenosis)를 나타내는 발목-상완 지수(Ankle-Brachial Index; ABI) 중의 하나에 상응할 수 있다.
- [0242] 일 실시예에 있어서, 심폐체력 지표(Y2)는 최대 산소 섭취량(maximum oxygen uptake; VO2max), 젖산 역치(lactate threshold), 환기 역치(ventilator threshold) 및 최대 심박수(maximum heart rate) 중의 하나에 상응할 수 있다.
- [0243] 일 실시예에 있어서, 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 도 17 내지 19를 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들을 획득하고, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 상기 심혈관계 건강상태 지표 및 상기 심폐체력 지표를 실제로 측정할 수 있다. 이후, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들과 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심혈관계

건강상태 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석(linear regression analysis)을 수행하여 상기 제1 추정식을 정의할 수 있다. 또한, 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥과 전달 시간 변이율 파라미터들과 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심폐체력 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제2 추정식을 정의할 수 있다.

- [0244] 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식이 정의된 이후, 실제 평가 대상인 상기 사용자에게 대해 도 17 내지 19를 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 획득되는 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥과 전달 시간 변이율 파라미터들 중에서 상기 제1 추정식에 독립 변수로 포함되는 파라미터들에 상응하는 값들을 상기 제1 추정식에 대입하여 상기 사용자에게 대한 상기 심혈관계 건강상태 지표를 결정할 수 있다(단계 S381).
- [0245] 이와 유사하게, 실제 평가 대상인 상기 사용자에게 대해 도 17 내지 19를 참조하여 설명한 바와 같은 동작을 수행하여 획득되는 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 맥과 전달 시간 변이율 파라미터들 중에서 상기 제2 추정식에 독립 변수로 포함되는 파라미터들에 상응하는 값들을 상기 제2 추정식에 대입하여 상기 사용자에게 대한 상기 심폐체력 지표를 결정할 수 있다(단계 S383).
- [0246] 이상, 도 17 내지 20을 참조하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 추정하는 방법에 대해 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 실시예에 따라서 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 중의 어느 하나만을 추정할 수도 있다.
- [0247] 도 21은 도 17에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 일 예를 나타내는 순서도이다.
- [0248] 도 21에 도시된 바와 같이, 도 21에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 17에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에서 상기 사용자의 개인 정보를 수신하는 단계(S305)를 더 포함할 수 있다.
- [0249] 상기 개인 정보는 상기 사용자의 성별, 나이, 신장 및 체중 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0250] 이 경우, 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식 각각은 상기 개인 정보, 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥과 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나에 대한 선형 함수에 상응할 수 있다.
- [0251] 즉, 상기 제1 추정식은 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥과 전달 시간 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 기준 사용자들 각각의 개인 정보와 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심혈관계 건강상태 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제1 추정식을 정의할 수 있다.
- [0252] 이와 유사하게, 상기 제2 추정식은 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대한 상기 복수의 심박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥박 변이율 파라미터들, 상기 복수의 맥과 전달 시간 변이율 파라미터들 및 상기 복수의 기준 사용자들 각각의 개인 정보와 상기 복수의 기준 사용자들 각각에 대해 실제로 측정된 상기 심폐체력 지표의 관계에 대해 선형 회귀 분석을 수행하여 상기 제2 추정식을 정의할 수 있다.
- [0253] 도 21을 참조하여 상술한 바와 같이, 상기 사용자의 개인 정보를 추가적으로 고려하여 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식이 정의되는 경우, 실제 평가 대상인 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표는 상기 제1 추정식 및 상기 제2 추정식을 통해 보다 정확하게 추정될 수 있다.
- [0254] 도 22는 도 17에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법의 다른 예를 나타내는 순서도이다.
- [0255] 도 22에 도시된 바와 같이, 도 22에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 17에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에서 상기 추정된 심혈관계 건강상태 및 상기 추정된 심폐체력을 성별 및 연령별 표준값과 비교하여 상기 사용자의 건강 수준을 제공하는 단계(S390)를 더 포함할 수 있다.
- [0256] 따라서 도 22에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법에 따르면, 도 17 내지 20을 참조하여 상술한 동작을 수행하여 계산된 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표뿐만 아니라, 상기 사용자의 건강 수준을 추가적으로 제공함으로써 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 보다 쉽게 표현할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 상기 사용자의 상기 건강 수준은 상기 사용자의 건강 나이를 포함할 수 있다.
- [0257] 도 17 내지 22를 참조하여 상술한 바와 같이, 본 발명의 실시예들에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 방법의 경우, 상기 사용자가 어린이, 노약자 또는 잠재적 심혈관계 질환자인 경우에도 안전하게 적용될 수

있고, 심전도 및 광용적맥파에 포함되는 노이즈를 효과적으로 제거함으로써 평가의 정확성을 향상시킬 수 있으며, 미리 정의된 추정식에 기초하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태 지표 및 심폐체력 지표를 도출하므로 간단하게 구현될 수 있다.

- [0258] 도 23, 24 및 25는 본 발명의 일 실시예에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치를 나타내는 블록도들이다.
- [0259] 도 23을 참조하면, 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(10)는 심전도 측정부(ECG MEASURER)(110), R-피크점 검출부(R-PEAK DETECTOR)(210), 변이율 계산부(VARIABILITY CALCULATOR)(310) 및 추정부(ESTIMATOR)(410)를 포함한다.
- [0260] 도 1에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 23의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(10)를 통해 구현될 수 있다.
- [0261] 심전도 측정부(110)는 사용자의 심전도(ECG)를 측정한다(단계 S110).
- [0262] R-피크점 검출부(210)는 심전도 측정부(110)로부터 제공되는 심전도(ECG)에서 R-피크점들(R-PEAK)을 검출한다(단계 S120).
- [0263] 변이율 계산부(310)는 R-피크점들(R-PEAK)에 기초하여 상기 사용자의 심박 변이율(Heart Rate Variability; HRV)을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들(HRV_P)을 계산한다(단계 S130).
- [0264] 추정부(410)는 심박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 복수의 심박 변이율 파라미터들(HRV_P) 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태를 나타내는 심혈관계 건강상태 지표(CH_INDEX) 및 상기 사용자의 심폐체력을 나타내는 심폐체력 지표(CF_INDEX)를 생성한다(단계 S140).
- [0265] 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(10)에 포함되는 심전도 측정부(110), R-피크점 검출부(210), 변이율 계산부(310) 및 추정부(410)의 상세 동작은 도 1 내지 7을 참조하여 상술하였으므로, 중복되는 설명은 생략한다.
- [0266] 도 24를 참조하면, 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(20)는 광용적맥파 측정부(PPG MEASURER)(120), 특징점 검출부(FP DETECTOR)(220), 변이율 계산부(VARIABILITY CALCULATOR)(320) 및 추정부(ESTIMATOR)(420)를 포함한다.
- [0267] 도 8에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 24의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(20)를 통해 구현될 수 있다.
- [0268] 광용적맥파 측정부(120)는 사용자의 광용적맥파(PPG)를 측정한다(단계 S210).
- [0269] 특징점 검출부(220)는 광용적맥파 측정부(120)로부터 제공되는 광용적맥파(PPG)에서 맥파 특징점들(FP)을 검출한다(단계 S220).
- [0270] 변이율 계산부(320)는 맥파 특징점들(FP)에 기초하여 상기 사용자의 맥박 변이율(Pulse Rate Variability; PRV)을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들(PRV_P)을 계산한다(단계 S230).
- [0271] 추정부(420)는 맥박 변이율을 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 복수의 맥박 변이율 파라미터들(PRV_P) 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태를 나타내는 심혈관계 건강상태 지표(CH_INDEX) 및 상기 사용자의 심폐체력을 나타내는 심폐체력 지표(CF_INDEX)를 생성한다(단계 S240).
- [0272] 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(20)에 포함되는 광용적맥파 측정부(120), 특징점 검출부(220), 변이율 계산부(320) 및 추정부(420)의 상세 동작은 도 8 내지 16을 참조하여 상술하였으므로, 중복되는 설명은 생략한다.
- [0273] 도 25를 참조하면, 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(30)는 심전도 측정부(ECG MEASURER)(110), 광용적맥파 측정부(PPG MEASURER)(120), R-피크점 검출부(R-PEAK DETECTOR)(210), 특징점 검출부(FP DETECTOR)(220), 맥파 전달 시간 검출부(PTT DETECTOR)(230), 변이율 계산부(VARIABILITY CALCULATOR)(330) 및 추정부(ESTIMATOR)(430)를 포함한다.
- [0274] 도 17에 도시된 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법은 도 25의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(30)를 통해 구현될 수 있다.

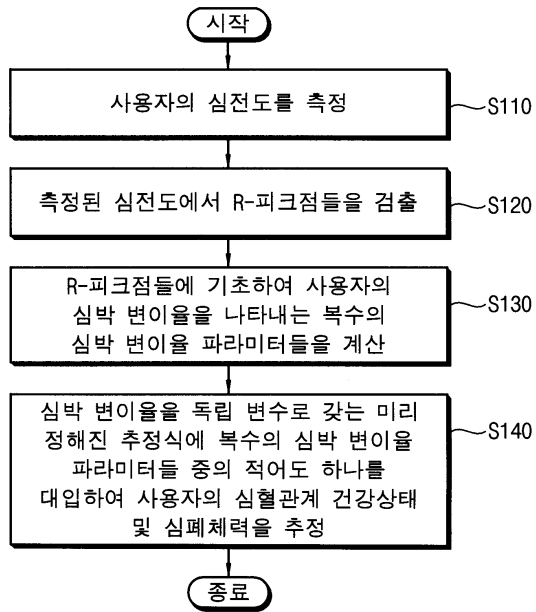
- [0275] 심전도 측정부(110)는 사용자의 심전도(ECG)를 측정하고, 광용적맥파 측정부(120)는 사용자의 광용적맥파(PPG)를 측정한다(단계 S310).
- [0276] R-피크점 검출부(210)는 심전도 측정부(110)로부터 제공되는 심전도(ECG)에서 R-피크점들(R-PEAK)을 검출한다(단계 S320).
- [0277] 특징점 검출부(220)는 광용적맥파 측정부(120)로부터 제공되는 광용적맥파(PPG)에서 맥파 특징점들(FP)을 검출한다(단계 S330).
- [0278] 맥파 전달 시간 검출부(230)는 R-피크점들(R-PEAK)과 광용적맥파(PPG)에 기초하여 맥파 전달 시간들(PTT)을 검출한다(단계 S340).
- [0279] 변이율 계산부(330)는 R-피크점들(R-PEAK)에 기초하여 상기 사용자의 심박 변이율(Heart Rate Variability; HRV)을 나타내는 복수의 심박 변이율 파라미터들(HRV_P)을 계산하고(단계 S350), 맥파 특징점들(FP)에 기초하여 상기 사용자의 맥박 변이율(Pulse Rate Variability; PRV)을 나타내는 복수의 맥박 변이율 파라미터들(PRV_P)을 계산하고(단계 S360), 맥파 전달 시간들(PTT)에 기초하여 상기 사용자의 맥파 전달 시간 변이율(Pulse Transit Time Variability; PTTV)을 나타내는 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들(PTTV_P)을 계산한다(단계 S370).
- [0280] 추정부(430)는 심박 변이율, 맥박 변이율 및 맥파 전달 시간 변이율 중의 적어도 하나를 독립 변수로 갖는 미리 정해진 추정식에 복수의 심박 변이율 파라미터들(HRV_P), 복수의 맥박 변이율 파라미터들(PRV_P) 및 복수의 맥파 전달 시간 변이율 파라미터들(PTTV_P) 중의 적어도 하나를 대입하여 상기 사용자의 심혈관계 건강상태를 나타내는 심혈관계 건강상태 지표(CH_INDEX) 및 상기 사용자의 심폐체력을 나타내는 심폐체력 지표(CF_INDEX)를 생성한다(단계 S380).
- [0281] 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치(30)에 포함되는 심전도 측정부(110), 광용적맥파 측정부(120), R-피크점 검출부(210), 특징점 검출부(220), 맥파 전달 시간 검출부(230), 변이율 계산부(330) 및 추정부(430)의 상세 동작은 도 17 내지 22를 참조하여 상술하였으므로, 중복되는 설명은 생략한다.

산업상 이용가능성

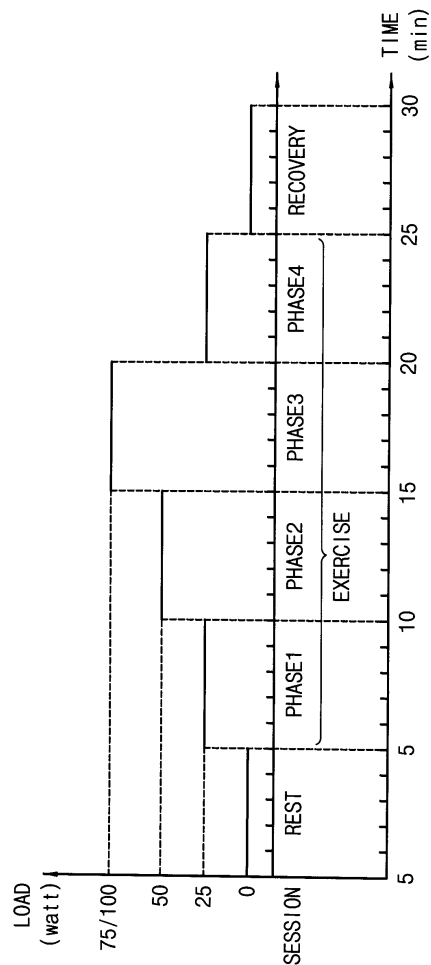
- [0282] 본 발명의 실시예들에 따른 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 방법 및 심혈관계 건강상태 및 심폐체력 평가 장치는 안전하고 간단하면서도 정확하게 사용자의 심혈관계 건강상태 및 심폐체력을 평가하는 데에 유용하게 사용될 수 있다.
- [0283] 상술한 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

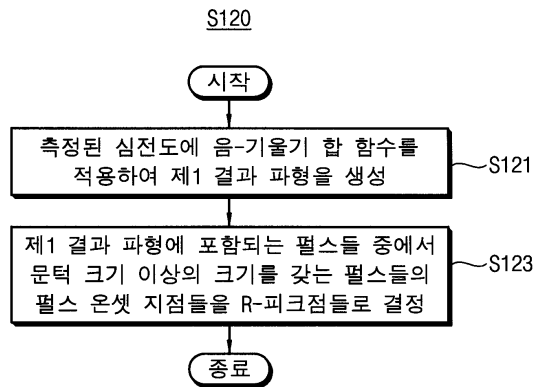
도면1



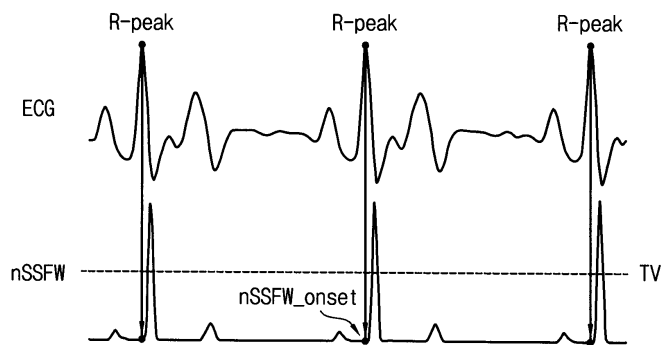
도면2



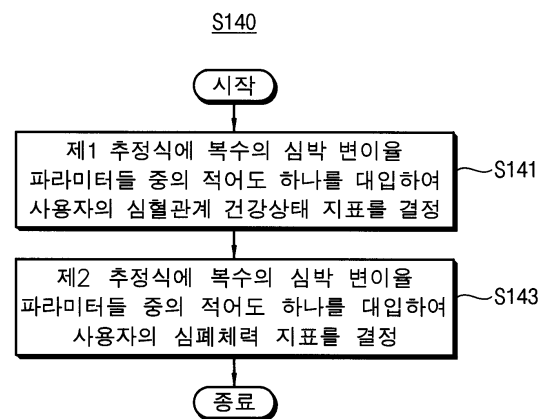
도면3



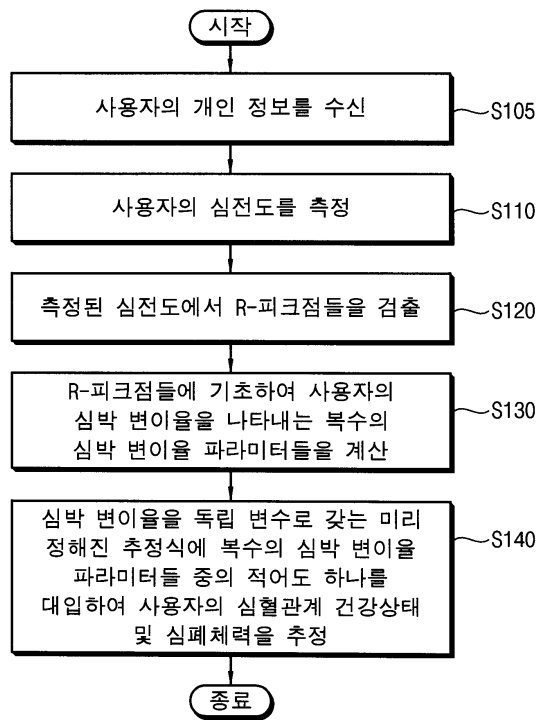
도면4



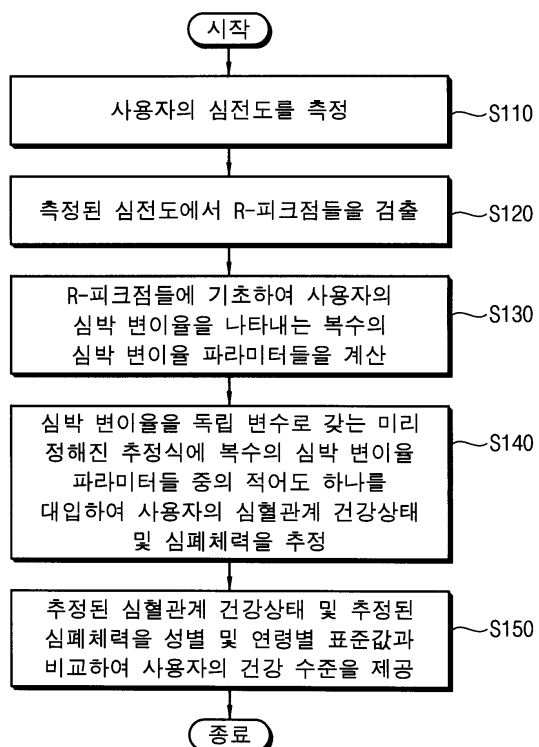
도면5



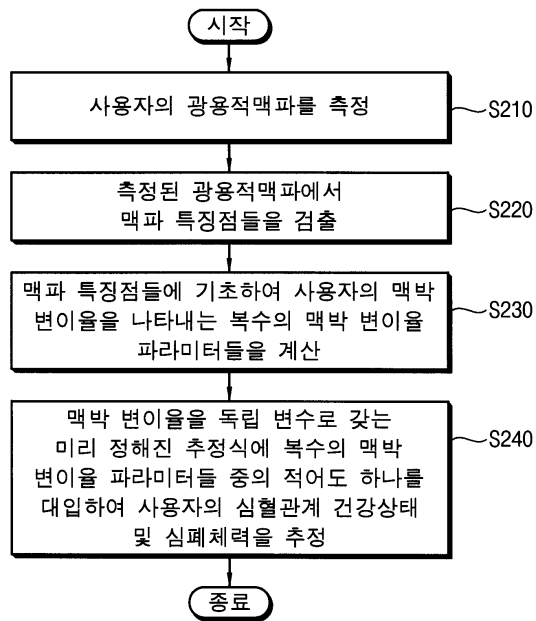
도면6



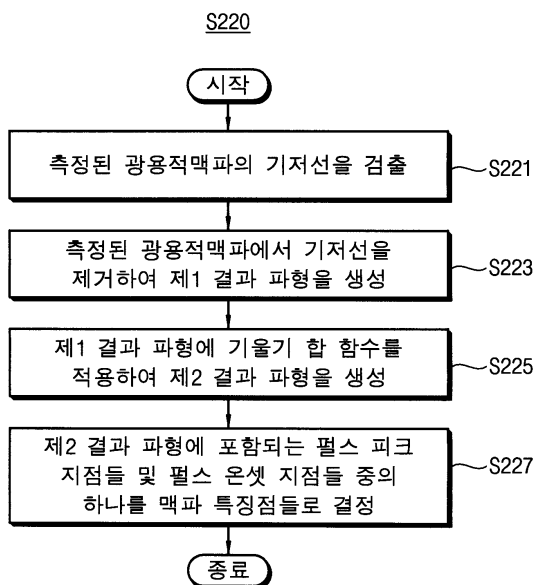
도면7



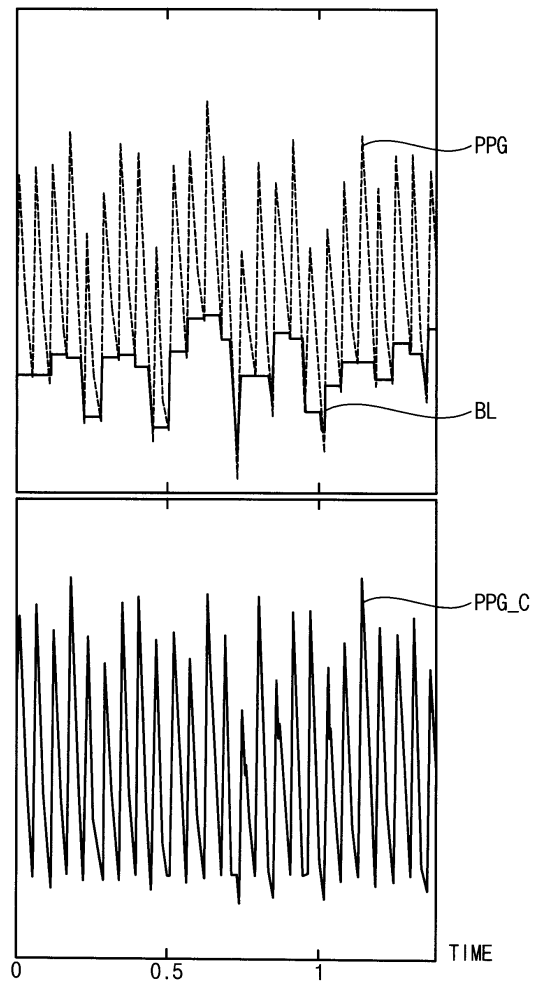
도면8



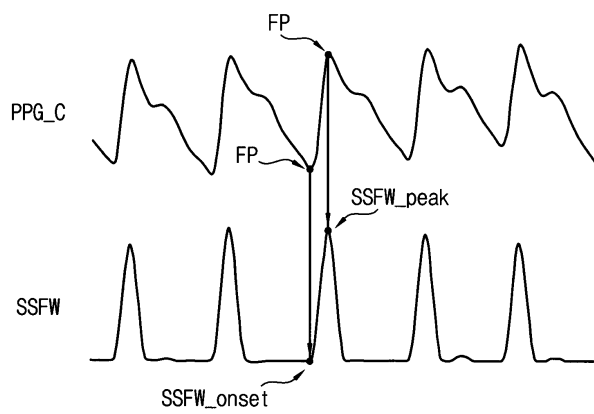
도면9



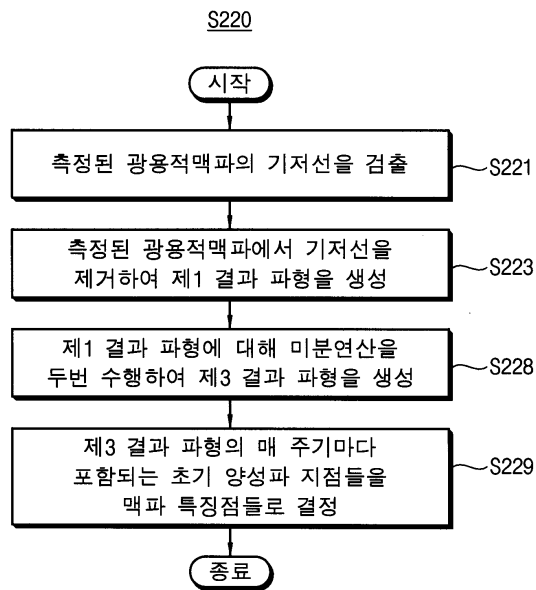
도면10



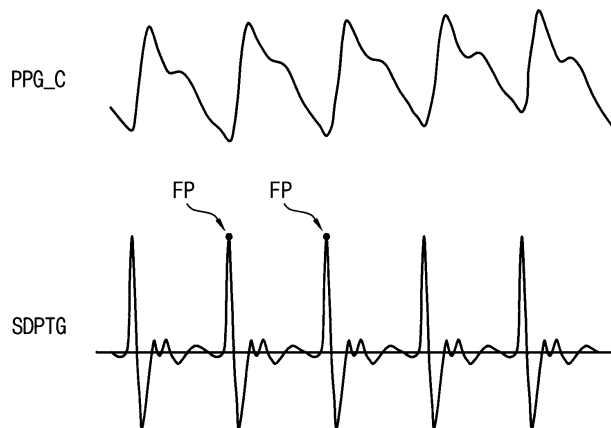
도면11



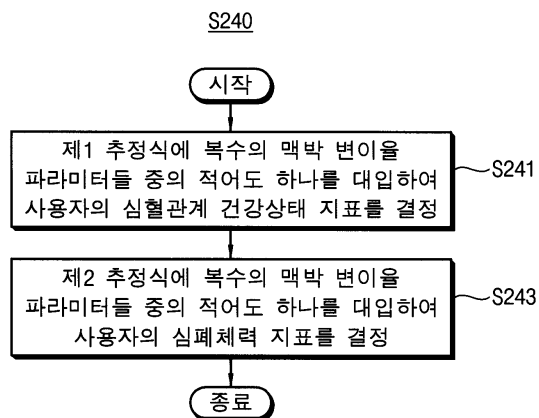
도면12



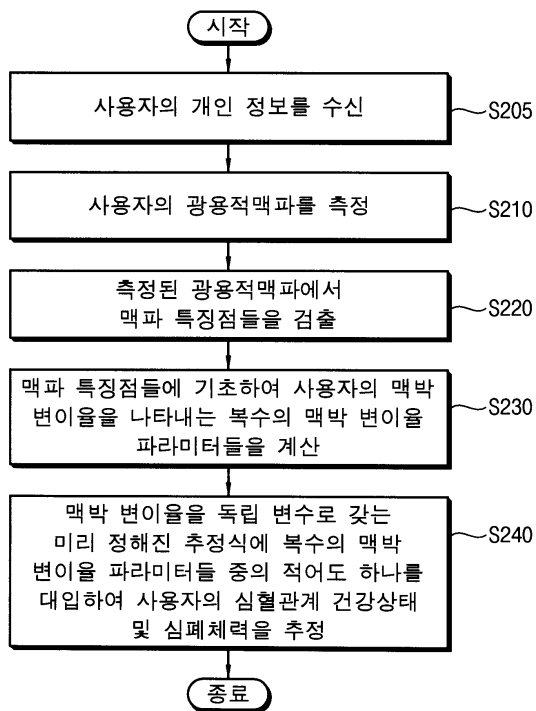
도면13



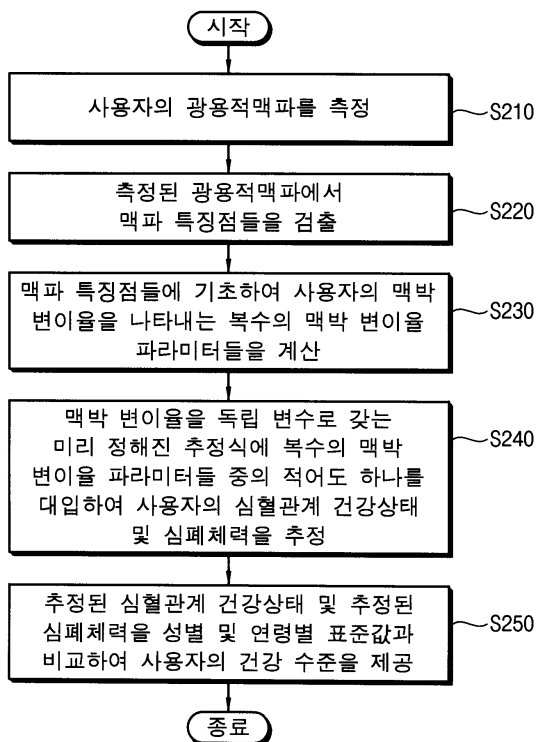
도면14



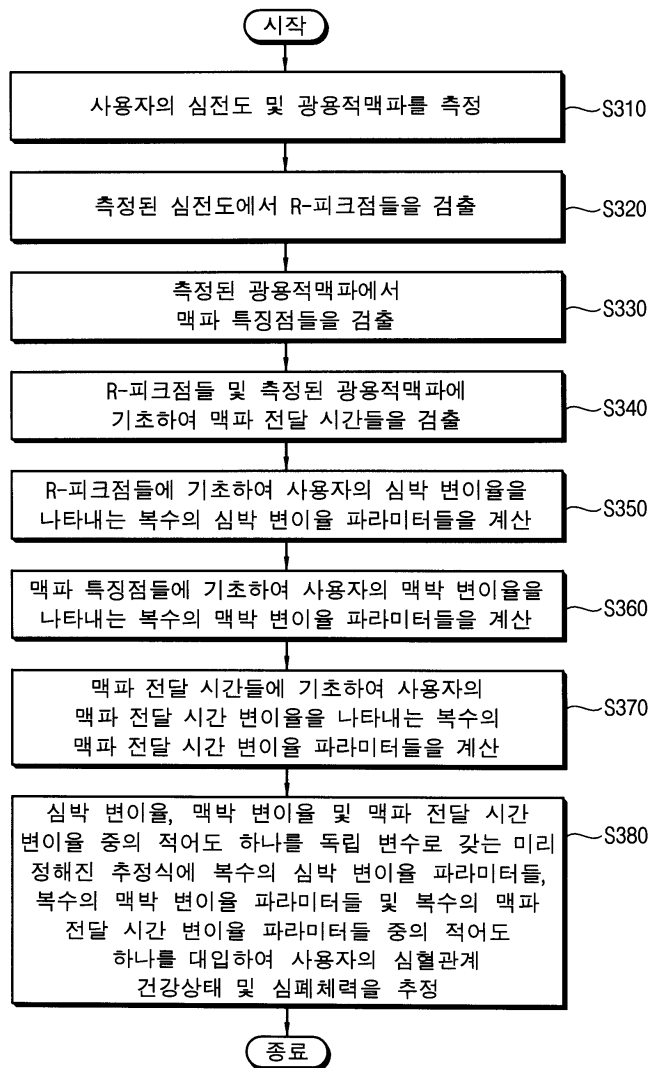
도면15



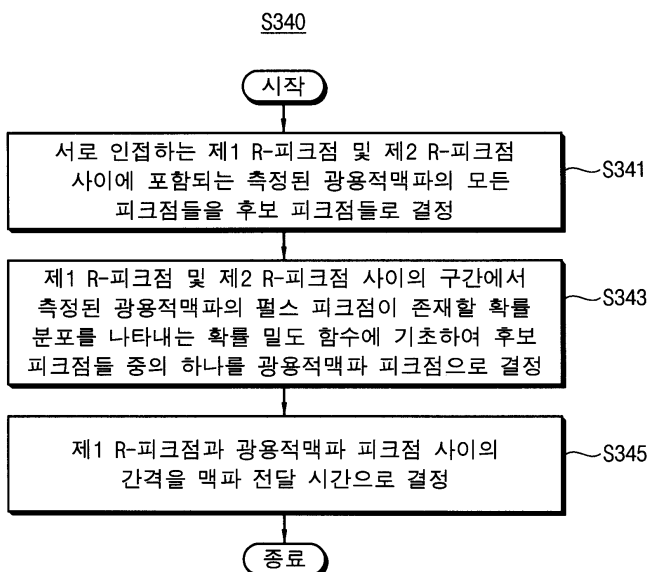
도면16



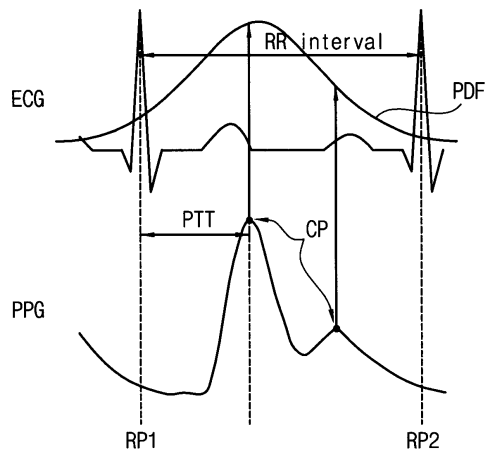
도면17



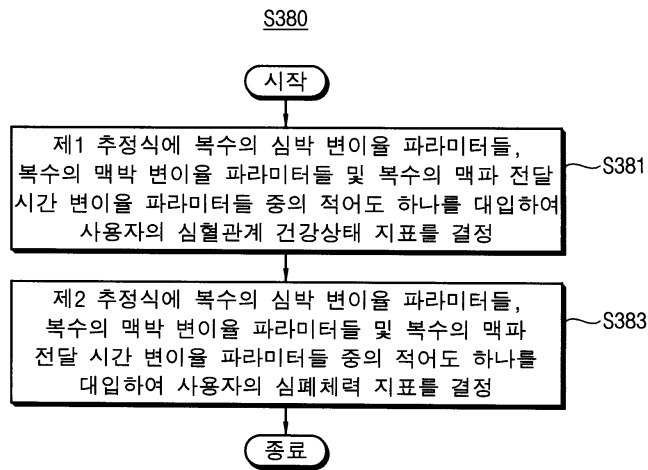
도면18



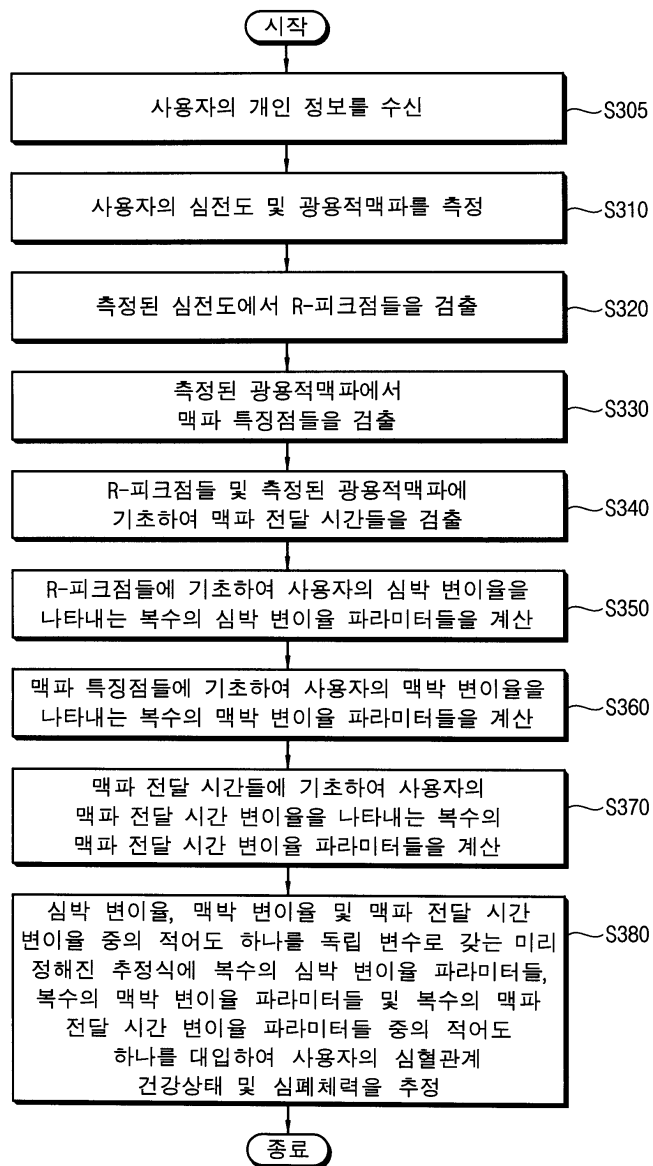
도면19



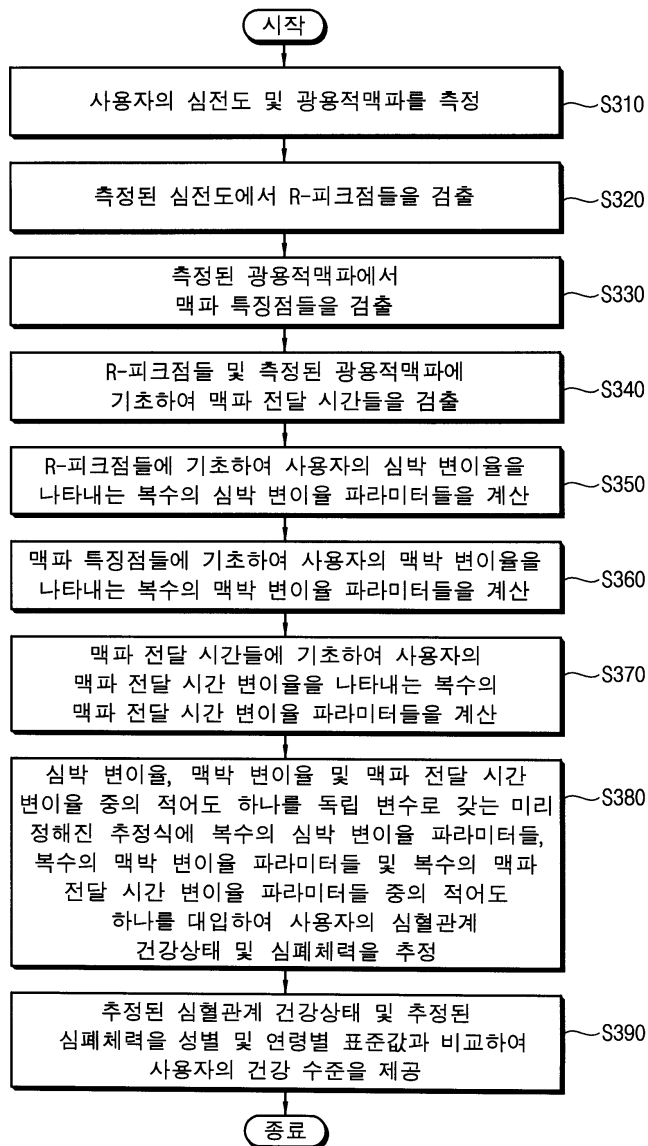
도면20



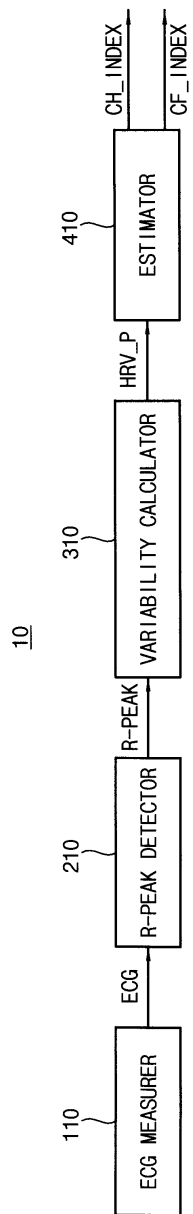
도면21



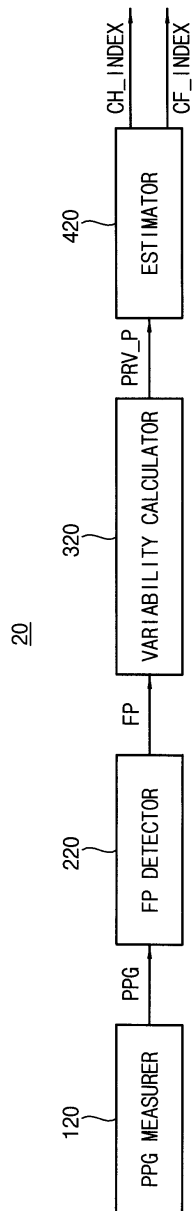
도면22



도면23



도면24



도면25

