



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년07월25일
 (11) 등록번호 10-2003667
 (24) 등록일자 2019년07월19일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 A61B 5/00 (2006.01) A61B 5/145 (2006.01)
 A61M 5/142 (2006.01) G06N 99/00 (2019.01)
- (52) CPC특허분류
 A61B 5/7275 (2013.01)
 A61B 5/14532 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-0105570
- (22) 출원일자 2017년08월21일
 심사청구일자 2017년08월21일
- (65) 공개번호 10-2019-0020516
- (43) 공개일자 2019년03월04일
- (56) 선행기술조사문헌
 JP2012181804 A*
 JP2015142665 A*
 KR1020120047841 A*
 US20020106709 A1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
 포항공과대학교 산학협력단
 경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)
- (72) 발명자
 박성민
 경상북도 포항시 남구 청암로 77 창의IT융합공학
 서원주
 전라북도 완주군 임거길 45, 799-1번지
 이승현
 대구광역시 수성구 수성로24길 63 (상동)
- (74) 대리인
 특허법인이름리온

전체 청구항 수 : 총 15 항

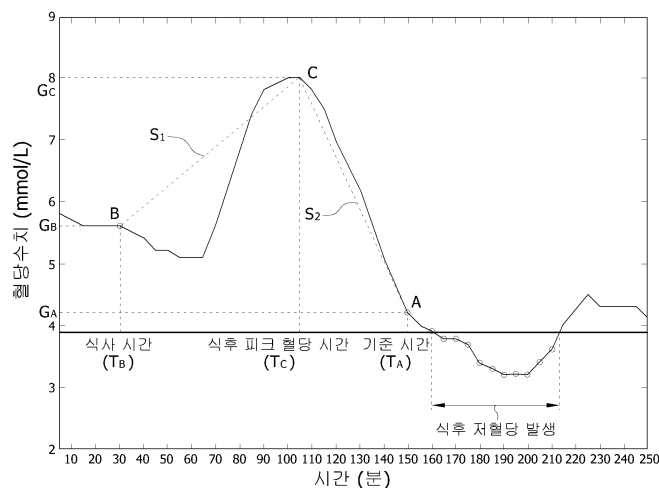
심사관 : 김성훈

(54) 발명의 명칭 **저혈당 예측 장치, 방법 및 프로그램과, 저혈당 예측 모델 생성 장치, 방법 및 프로그램**

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 혈당 관련 정보를 이용하여 식후 저혈당 발생을 예측하는 저혈당 예측 장치로서, 상기 혈당 관련 정보는 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율, 및 기준 시간 혈당 변화율을 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61M 5/14244 (2013.01)

G06N 20/00 (2019.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 R03461510070001002

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 정보통신산업진흥원

연구사업명 IT명품인재양성사업

연구과제명 [후원금_산학수익]포스텍 미래 IT 융합연구원

기 여 율 1/1

주관기관 포항공과대학교 산학협력단

연구기간 2017.01.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

식사 시간부터 식사 이후 기준 시간까지의 연속 혈당 정보로부터 획득되어 실시간으로 갱신되는 혈당 관련 정보와, 기 저장된 머신 러닝 모델(machine learning model)를 이용하여 식후 저혈당의 발생을 예측하는 저혈당 예측 장치로서,

상기 혈당 관련 정보는 기준 시간에 측정된 피검자의 혈당치인 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율인 제1 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율인 제2 혈당 변화율, 및 기준 시간의 일정 시간 전에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율인 제3 혈당 변화율을 포함하며,

상기 제3 혈당 변화율의 시간은 제2 혈당 변화율의 시간 보다 짧고,

상기 머신 러닝 모델은 혈당 관련 정보를 입력 값으로 입력 받아 기준 시간 이후 일정 시간 구간 내에서 식전 내지 식후의 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당의 발생 또는 미발생에 대한 결과 값을 식후로부터 실시간 처리하여 출력하는 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 머신 러닝 모델은 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용하여 학습된 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 머신 러닝 모델은 결정 트리 모델(Decision tree model)이거나 심층 학습 모델(Deep learning model)인 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 머신 러닝 모델은 결정 트리 모델(Decision Tree model)이며, 그 뿌리 마디(root node)는 기준 시간 혈당의 일정 값을 기준으로 분류하는 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 결정 트리 모델은 복수의 제1 중간 마디(first intermediate node)를 포함하되,

어느 한 제1 중간 마디는 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율의 일정 값을 기준으로 분류하는 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 7

삭제

청구항 8

제1항에 있어서,
 연속 혈당 정보를 측정 및 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성하거나,
 다른 장치로부터 전달 받은 연속 혈당 정보를 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성하거나,
 다른 장치로부터 혈당 관련 정보를 전달 받는 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 9

삭제

청구항 10

제1항에 있어서,
 인슐린 펌프, 연속혈당측정기, 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치, 인공췌장 장치, 웨어러블 장치, 및 휴대용 단말기 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 11

제1항에 있어서,
 다른 장치로부터 전달 받은 연속 혈당 정보를 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성하거나 다른 장치로부터 혈당 관련 정보를 전달 받으며,
 인슐린 펌프, 웨어러블 장치, 및 휴대용 단말기 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 12

제1항에 있어서,
 연속 혈당 정보를 측정 및 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성하며,
 연속혈당측정기, 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치, 및 인공췌장 장치 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 장치.

청구항 13

식사 시간부터 식사 이후 기준 시간까지의 연속 혈당 정보로부터 획득되어 실시간으로 갱신되는 혈당 관련 정보와, 기 저장된 머신 러닝 모델(machine learning model)를 이용하여 식후 저혈당 발생을 예측하는 방법으로서,
 기 저장된 머신 러닝 모델(machine learning model)에 혈당 관련 정보를 입력 값으로 입력시켜, 상기 머신 러닝 모델이 기준 시간 이후 일정 시간 구간 내에서 식전 내지 식후의 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당의 발생 또는 미발생에 대한 결과 값을 식후로부터 실시간 처리하여 출력함으로써 식후 저혈당 발생을 예측하는 단계를 포함하며,
 상기 혈당 관련 정보는 기준 시간에 측정된 피검자의 혈당치인 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율인 제1 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율인 제2 혈당 변화율, 및 기준 시간의 일정 시간 전에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율인 제3 혈당 변화율을 포함하고,
 상기 제3 혈당 변화율의 시간은 제2 혈당 변화율의 시간 보다 짧은 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 방법.

청구항 14

삭제

청구항 15

제13항에 있어서,
 상기 머신 러닝 모델은 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용

하여 학습된 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 방법.

청구항 16

제13항 또는 제15항에 따른 저혈당 예측 방법에 따라 식후 저혈당 발생을 예측하기 위해 매체에 기록된 저혈당 예측 프로그램.

청구항 17

식사 시간부터 식사 이후 기준 시간까지의 연속 혈당 정보로부터 획득되어 실시간으로 갱신되는 혈당 관련 정보에 따라 식후 저혈당 발생을 예측하는 저혈당 예측 모델을 생성하는 장치로서,

상기 혈당 관련 정보는 기준 시간에 측정된 피검자의 혈당치인 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율인 제1 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율인 제2 혈당 변화율, 및 기준 시간의 일정 시간 전에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율인 제3 혈당 변화율을 포함하며,

상기 제3 혈당 변화율의 시간은 제2 혈당 변화율의 시간 보다 짧고,

상기 저혈당 예측 모델은 머신 러닝 모델(machine learning model)로서, 혈당 관련 정보를 입력 값으로 입력 받아 기준 시간 이후 일정 시간 구간 내에서 식전 내지 식후의 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당의 발생 또는 미발생에 대한 결과 값을 식후로부터 실시간 처리하여 출력하는 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 모델 생성 장치.

청구항 18

식사 시간부터 식사 이후 기준 시간까지의 연속 혈당 정보로부터 획득되어 실시간으로 갱신되는 혈당 관련 정보에 따라 식후 저혈당 발생을 예측하는 저혈당 예측 모델을 생성하는 방법으로서,

저혈당 예측 모델 생성 장치에서 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용하여 학습시킨 머신 러닝 모델(machine learning model)을 생성하는 단계를 포함하며,

상기 혈당 관련 정보는 기준 시간에 측정된 피검자의 혈당치인 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율인 제1 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율인 제2 혈당 변화율, 및 기준 시간의 일정 시간 전에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율인 제3 혈당 변화율을 포함하고,

상기 제3 혈당 변화율의 시간은 제2 혈당 변화율의 시간 보다 짧고,

상기 머신 러닝 모델은 혈당 관련 정보를 입력 값으로 입력 받아 기준 시간 이후 일정 시간 구간 내에서 식전 내지 식후의 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당의 발생 또는 미발생에 대한 결과 값을 식후로부터 실시간 처리하여 출력하는 것을 특징으로 하는 저혈당 예측 모델 생성 방법.

청구항 19

제18항에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법에 따라 식후 저혈당 발생을 예측하는 모델을 생성하기 위해 매체에 기록된 저혈당 예측 모델 생성 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 저혈당 예측 장치, 그 방법 및 프로그램에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 식사 이후에 발생 가능한 저혈당 현상을 예측하는 장치, 방법 및 프로그램에 관한 것이다.

[0002] 또한, 본 발명은 저혈당 예측 모델 생성 장치, 그 방법 및 프로그램에 관한 것으로서, 식사 이후에 발생 가능한 저혈당 현상을 예측하는 모델을 생성하는 장치, 방법 및 프로그램에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 당뇨병은 2015년을 기준으로 전 세계 인구의 약 8.3%인 약 4 억 1,500만 명이 앓고 있는 세계 주요 질환이다.

이러한 당뇨병의 종류로는, 췌장에서 인슐린이 분비되지 않는 '제1형 당뇨병'과, 췌장에서 인슐린이 분비되나 체내에서 인슐린을 효과적으로 사용할 수 없는 '제2형 당뇨병'이 있다.

- [0004] 당뇨병은 혈당 조절이 되지 않은 대사 질환이므로, 당뇨병 환자에게 있어 그 혈당 관리는 필수적이다. 만일, 당뇨병 환자의 혈당이 관리되지 않아 고혈당이 지속될 경우, 뇌졸중(stroke), 망막병증(retinopathy), 신장병(nephropathy), 신경병증(neuropathy), 당뇨 발(diabetic foot), 심혈관 질환(cardiovascular disease) 등과 같은 심각한 합병증이 유발될 수 있다.
- [0005] 당뇨병의 치료 및 그 합병증 예방을 위한 대표적인 방법으로는 (경구용) 혈당 강하제 복용 또는 인슐린 주사가 이용된다. 하지만, 이러한 방법들의 경우, 정밀한 혈당 조절의 어려움이 있을 뿐 아니라, 시간에 맞춰 반복적으로 복용 또는 주입해야 하는 불편함이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 체내에 인슐린을 자동적으로 주입하는 인슐린 펌프가 개발되었다. 하지만, 인슐린 펌프는 인슐린을 집중적으로 주입하는 방식이므로, 저혈당 현상이 발생할 수 있는 또 다른 문제점이 있다.
- [0006] 한편, 저혈당 현상은 떨림, 땀, 두통 등의 증상이 동반되는 현상으로서, 그 상태가 지속되는 경우에 저혈당 쇼크가 발생할 수 있는 위험한 현상이다. 따라서, 저혈당 현상의 발생을 미연에 방지할 수 있도록, 저혈당 현상의 발생을 사전에 예측할 수 있는 기술이 필요하다.
- [0007] 저혈당 현상의 종류로는, 당뇨병 환자의 수면 중에 발생하는 '야간 저혈당 현상'과, 당뇨병 환자의 활동 중에 발생하는 '주간 저혈당 현상'이 있다.
- [0008] 야간 저혈당 현상은 환자가 야간의 수면 중인 때에 발생하는 저혈당 현상이다. 즉, 야간 저혈당 현상은 그 발생 시간대의 특성상 발생 시에 즉각적인 대처가 어려운 위험한 현상이다. 하지만, 야간 저혈당 현상은 당뇨병 환자의 활동이 없는 시간 때에 발생하므로, 혈당 변화에 영향을 미치는 요소가 적다. 따라서, 야간 저혈당 현상의 발생을 사전에 정확하게 예측하는 것은 비교적 용이한 기술에 해당한다. 현재, 높은 정확도의 야간 저혈당 현상 예측 기술이 개발되면서, 인슐린 펌프 등에 적용되고 있다.
- [0009] 한편, 주간 저혈당 현상의 경우, 당뇨병 환자의 활동이 왕성한 때에 발생하는 현상이다. 즉, 주간 저혈당 현상은 혈당 변화에 영향을 미치는 다양한 요소(예를 들어, 스트레스, 활동량, 식사량 등)가 복합적으로 작용한다. 따라서, 주간 저혈당 현상의 발생을 사전에 정확하게 예측하는 것은 어려운 기술에 해당한다.
- [0010] 특히, 주간 저혈당 현상 중에는 식사 후에 발생하는 '식후 저혈당 현상'이 있다. 식후 저혈당 현상을 예측하기 위해 종래에는 식사 양, 인슐린 주입량 등의 다양한 입력 정보를 고려하여 식후 저혈당 현상을 예측하였다. 하지만, 이러한 종래의 식후 저혈당 예측 기술은 부정확한 입력 정보(예를 들어, 식사내의 탄수화물 양)에 따라 예측의 정확도가 변할 수 있을 뿐만 아니라, 당뇨병 환자가 다양한 입력 정보를 짧은 시간 내에 입력해야 하는 방식이므로, 사용이 불편한 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 식후 저혈당 현상의 발생을 간편하면서도 높은 정확도로 사전에 예측할 수 있는 저혈당 예측 장치, 방법 및 프로그램을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0012] 또한, 본 발명은 식후 저혈당 현상의 발생을 간편하면서도 높은 정확도로 사전에 예측할 수 있는 모델을 생성하는 저혈당 예측 모델 생성 장치, 방법 및 프로그램에 관한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기와 같은 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 혈당 관련 정보를 이용하여 식후 저혈당 발생을 예측하는 저혈당 예측 장치이다. 이때, 상기 혈당 관련 정보는 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율, 및 기준 시간 혈당 변화율을 포함한다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 기 저장된 머신 러닝 모델(machine learning model)에 현재 혈

당 관련 정보를 입력시켜 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다. 이때, 상기 머신 러닝 모델은 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용하여 학습될 수 있다.

- [0016] 상기 머신 러닝 모델은 결정 트리 모델(Decision tree model)이거나 심층 학습 모델(Deep learning model)일 수 있다.
- [0017] 상기 머신 러닝 모델은 결정 트리 모델(Decision Tree model)이며, 그 뿌리 마디(root node)는 기준 시간 혈당의 일정 값을 기준으로 분류할 수 있다.
- [0018] 상기 결정 트리 모델은 복수의 제1 중간 마디(first intermediate node)를 포함하되, 어느 한 제1 중간 마디는 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율의 일정 값을 기준으로 분류할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 기준 시간 이후 일정 시간 구간에서의 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는, 연속 혈당 정보를 측정 및 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성하거나, 다른 장치로부터 전달 받은 연속 혈당 정보를 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성하거나, 다른 장치로부터 혈당 관련 정보를 전달 받을 수 있다.
- [0021] 상기 혈당 관련 정보는 실시간으로 갱신될 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 인슐린 펌프, 연속혈당측정기, 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치, 인공췌장 장치, 웨어러블 장치, 및 휴대용 단말기 중 어느 하나일 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 다른 장치로부터 전달 받은 연속 혈당 정보를 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성하거나 다른 장치로부터 혈당 관련 정보를 전달 받을 수 있다. 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 인슐린 펌프, 웨어러블 장치, 및 휴대용 단말기 중 어느 하나일 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 연속 혈당 정보를 측정 및 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성할 수 있다. 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 연속혈당측정기, 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치, 및 인공췌장 장치 중 어느 하나일 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 저혈당 예측 장치에서 혈당 관련 정보를 이용하여 식후 저혈당 발생을 예측하는 단계를 포함한다. 이때, 상기 혈당 관련 정보는 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율, 및 기준 시간 혈당 변화율을 포함한다.
- [0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용하여 학습된 머신 러닝 모델(machine learning model)을 저장한 저혈당 예측 장치에서 현재 혈당 관련 정보를 머신 러닝 모델에 입력시켜 식후 저혈당 발생을 예측하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0028] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 프로그램은 상술한 저혈당 예측 방법에 따라 식후 저혈당 발생을 예측하기 위해 매체에 기록된다.
- [0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 현재 혈당 관련 정보를 입력시켜 식후 저혈당 발생을 예측하는 저혈당 예측 모델을 생성하는 장치이다. 이때, 상기 저혈당 예측 모델은 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용하여 학습된 머신 러닝 모델(machine learning model)이다. 또한, 상기 종래 혈당 관련 정보는 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율, 및 기준 시간 혈당 변화율을 포함한다.
- [0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법은 현재 혈당 관련 정보를 입력시켜 식후 저혈당 발생을 예측하는 저혈당 예측 모델을 생성하는 방법으로서, 저혈당 예측 모델 생성 장치에서 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용하여 학습시킨 머신 러닝 모델(machine learning model)을 생성하는 단계를 포함한다. 이때, 상기 종래 혈당 관련 정보는 기준 시간 혈당, 식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율, 식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율,

및 기준 시간 혈당 변화율을 포함한다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 프로그램은 상술한 저혈당 예측 모델 생성 방법에 따라 식후 저혈당 발생을 예측하는 모델을 생성하기 위해 매체에 기록된다.

발명의 효과

[0032] 상기와 같이 구성되는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치, 방법 및 프로그램은 식후 저혈당 현상의 발생을 간편하면서도 높은 정확도로 사전에 예측할 수 있다.

[0033] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치, 방법 및 프로그램은 식후 저혈당 현상의 발생을 간편하면서도 높은 정확도로 사전에 예측할 수 있는 모델을 생성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 식사 전후로 나타나는 혈당 변화의 그래프를 나타낸다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법의 제1 실험에 따라 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 나타낸다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법의 제2 실험에 따라 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 나타낸다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법의 제3 실험에 따라 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 나타낸다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)의 블록 구성도를 나타낸다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치(20)의 블록 구성도를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 본 발명의 상기 목적과 수단 및 그에 따른 효과는 첨부된 도면과 관련한 다음의 상세한 설명을 통하여 보다 분명해 질 것이며, 그에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.

[0036] 또한, 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며, 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 경우에 따라 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소 외의 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다. 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0037] 본 명세서에서, “또는”, “적어도 하나” 등의 표현은 함께 나열된 단어들 중 하나를 나타내거나, 또는 둘 이상의 조합을 나타낼 수 있다. 예를 들어, “A 또는 B”, “A 및 B 중 적어도 하나”는 A 또는 B 중 하나만을 포함할 수 있고, A와 B를 모두 포함할 수도 있다.

[0039] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 일 실시예를 상세히 설명하도록 한다.

[0040] 도 1은 식사 전후로 나타나는 혈당 변화의 그래프를 나타낸다.

[0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 '혈당 관련 정보'를 이용하여, 식사 이후에 발생 가능한 저혈당 현상을 예측하는 방법으로서, 저혈당 예측 장치에 의해 수행될 수 있다. 이하, 식사 이후에 발생하는 저혈당 현상을 “식후 저혈당”이라 지칭하도록 하겠다.

[0042] 혈당 관련 정보는 연속 혈당 정보를 가공하여 생성될 수 있다. 연속 혈당 정보는 일정 시간 동안(예를 들어, 식사 시간부터 식사 이후 기준 시간까지 동안)에 연속 측정된 피검자의 혈당치에 대한 정보이다. 다만, '연속 측정'은 일정 시간 간격(예를 들어, 1초 내지 10분 중 어느 하나) 마다 또는 불규칙한 시간 간격 마다 측정되는

경우도 포함한다.

- [0043] 즉, 연속 혈당 정보는 다수의 혈당 정보를 포함한다. 이때, 각 혈당 정보는 「측정 시간」에 대한 정보 및 「해당 측정 시간에서 측정된 피검자의 혈당치」에 대한 정보를 포함한다. 예를 들어, 연속 혈당 정보는 n개(단, n은 2이상의 자연수)의 혈당 정보를 포함할 수 있다. 이때, 제1 혈당 정보는 최초 시간에 대한 혈당 정보이며, 제n 혈당 정보는 기준 시간에 대한 혈당 정보이다.
- [0044] 구체적으로, 혈당 관련 정보는, ① 「기준 시간 혈당」, ② 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」, ③ 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」, ④ 「기준 시간 혈당 변화율」을 포함한다.
- [0045] 「기준 시간 혈당」(G_A)은 기준 시간(T_A)에 측정된 피검자의 혈당치를 의미한다. 이때, '기준 시간'은 해당 혈당 관련 정보가 생성된 지점에 관련된 시간이다. 즉, 현재 시간을 기준으로 생성된 혈당 관련 정보(이하, “현재 혈당 관련 정보”라 지칭함)의 기준 시간은 현재 시간을 의미한다. 또한, 과거 시간을 기준으로 생성된 혈당 관련 정보(이하, “종래 혈당 관련 정보”라 지칭함)의 기준 시간은 해당 과거 시간을 의미한다. 다만, '현재 시간'은 정확한 현재 시간으로부터 일정 범위 내의 시간까지도 포함할 수 있다. 또한, '과거 시간'은 정확한 해당 과거 시간으로부터 일정 범위 내의 시간까지도 포함할 수 있다.
- [0046] 한편, 「기준 시간 혈당」은 기준 시간의 혈당 변화를 고려하기 위한 정보에 해당할 수 있다. 또한, 「기준 시간 혈당」은 식후 저혈당 발생의 예측 기준점으로 사용될 수 있는 정보에 해당할 수 있다. 이에 따라, 「기준 시간 혈당」은 후술할 결정 트리 모델(Decision Tree model)의 뿌리 마디(root node)에 반영될 수 있다.
- [0047] 「식사 시간(T_B)에서부터 식후 피크 혈당 시간(T_C)까지의 혈당 변화율」(S_1)은, 「식사 시간에 측정된 피검자의 혈당치」(G_B)와, 「식사 이후에 측정된 피검자의 혈당치들 중에 최대값을 갖는 혈당치」(G_C)(이하, “식후 피크 혈당치”라 지칭함) 사이의 변화율($[G_C - G_B] / [T_C - T_B]$)이다. 즉, 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」은 식후에 발생할 수 있는 급격한 혈당 상승 현상을 고려하기 위한 정보에 해당할 수 있다. 다만, '식사 시간'은 정확한 식사 시간으로부터 일정 범위 내의 시간까지도 포함할 수 있다. 또한, '식사 시간'은 사용자의 입력에 의해 설정될 수 있으며, 혈당 추세로부터 유추되어 설정될 수도 있다. 또한, '식후 피크 혈당 시간'은 정확한 식후 최대 혈당치의 시간으로부터 일정 범위 내의 시간까지도 포함할 수 있다.
- [0048] 「식후 피크 혈당 시간(T_C)에서부터 기준 시간(T_A)까지의 혈당 변화율」(S_2)은 「식후 피크 혈당치」(G_C)와 「기준 시간에 측정된 피검자의 혈당치」(G_A) 사이의 변화율($[G_C - G_A] / [T_A - T_C]$)이다. 즉, 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」은 식후 피크 혈당치 이후에 발생하는 혈당 하강 현상을 고려하기 위한 정보에 해당할 수 있다.
- [0049] 「기준 시간 혈당 변화율」은 「기준 시간으로부터 제1 시간 만큼 이전에 측정된 피검자의 혈당치」와 「기준 시간에 측정된 피검자의 혈당치」 사이의 변화율이다. 즉, 「기준 시간 혈당 변화율」은 기준 시간의 혈당 변화를 고려하기 위한 정보에 해당할 수 있다. 한편, 식후로 시간이 많이 흐른 경우에 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」이 크게 변하지 않게 된다. 이에 따라, 「기준 시간 혈당 변화율」은 큰 변화가 없는 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」을 보상하기 위한 정보에 해당할 수 있다.
- [0050] 이때, '제1 시간'은 기준 시간에 대한 순간 혈당 변화율이 도출될 수 있게 하는 정도의 시간 간격이다. 따라서, 제1 시간의 값은 기준 시간과 식후 피크 혈당 시간의 차이 값 보다 작다. 예를 들어, 제1 시간의 값은 제n 혈당 정보(기준 시간에 대한 혈당 정보)와 제n-1 혈당 정보(기준 시간 바로 직전 시간에 대한 혈당 정보)의 측정 시간의 차이 값일 수 있다. 즉, 제1 시간은 1초 내지 10분 중에 어느 하나일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0051] 한편, 「기준 시간 혈당」 및 「기준 시간 혈당 변화율」만을 이용하여 저혈당 발생을 예측하는 기술(이하, “기타 예측 기술”이라 지칭함)이 있을 수 있다. 하지만, 기타 예측 기술의 경우, 2가지의 요소만을 이용하여 저혈당 발생을 예측하므로, 식후에 일어나는 급격한 혈당 변화의 상황을 반영할 수 없다. 따라서, 기타 예측 기술을 통해 식후 저혈당 발생을 예측할 경우에 그 정확도가 떨어질 수 있다. 「기준 시간 혈당」 및 「기준 시간 혈당 변화율」만 이용하여 저혈당 발생을 예측하는 실험(제1 비교 실험 및 제2 비교 실험) 및 그 결과에 대해서는 후술하도록 한다.

- [0052] 이에 반하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 「기준 시간 혈당」과 「기준 시간 혈당 변화율」 외에도, 식후에 일어나는 급격한 혈당 변화의 상황을 반영하는 요소까지 이용하여 저혈당 발생을 예측한다. 즉, 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」과 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」은 식후에 일어나는 급격한 혈당 변화의 상황을 반영할 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 높은 정확도로 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있는 이점이 있다.
- [0053] 한편, 식후 저혈당의 발생은 식사 때에 주입 또는 복용되는 인슐린 또는 (경구용) 혈당 강하제와, 식사량에 의해 영향을 받을 수 있다. 이때, '식사 때'는 식전 일정 시간 내지 식후 일정 시간 중 어느 시간을 의미한다. 예를 들어, '식사 때'는 식전 30분 내지 식후 15분 중 어느 시간일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0054] 하지만, 기타 예측 기술의 경우, 식사 때의 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 영향을 반영하지 않는다. 따라서, 식사 때에 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용 후, 피크 혈당치가 예상보다 늦거나 낮은 경우나, 계산된 식사량 보다 더 많은 양의 인슐린 또는 혈당 강하제가 주입 또는 복용되는 경우에 식후 저혈당이 발생할 수 있으나, 기타 예측 기술로는 이를 예측하지 못한다.
- [0055] 이에 반하여, 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」과 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」은 식후의 급격한 혈당 변화를 반영하는 요소로서, 식사로 인한 혈당 변화뿐 아니라 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용으로 인한 영향까지도 반영할 수 있다.
- [0056] 특히, 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」은 식사의 양이 적거나 식사 시 탄수화물의 비중이 낮은 경우에 피크 혈당치가 낮아 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당 발생 가능성이 높아지는 현상을 반영할 수 있다. 또한, 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」은 피크 혈당치 이후로 혈당 하강이 급격할수록 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 저혈당 발생 가능성도 높아지는 현상을 반영할 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 높은 정확도로 '인슐린 주입' 또는 '혈당 강하제 복용'에 따른 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있는 이점이 있다.
- [0057] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 식후로부터 연속해서 실시간으로 혈당 관련 정보를 생성할 수 있다. 이에 따라, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 생성된 혈당 관련 정보를 이용하여 식후로부터 연속해서 실시간으로 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다. 다만, '연속해서 실시간으로 식후 저혈당 발생 예측'은 일정 시간 간격(예를 들어, 1초 내지 10분 중 어느 하나) 마다 또는 불규칙한 시간 간격 마다 식후 저혈당 발생을 예측하는 경우도 포함한다.
- [0058] 식후 저혈당은 식후에 바로 나타나지 않으며, 식후로부터 일정 시간이 지난 후(예를 들어, 식후 30분 이후)에 발생한다. 특히, 식후 저혈당이 발생한 후에 조치를 취하는 경우에 그 후유증이 남을 수 있고, 혈당을 상승시키기 위해서는 일정 시간이 필요하다. 즉, 식후 저혈당 발생이 예측될 경우, 식후 저혈당이 발생되기 일정 시간 전에 미리 조치를 취해야 한다. 또한, 저혈당 현상은 한번 발생하면 일정 시간(예를 들어, 최소 15분) 동안에 계속 지속된다.
- [0059] 따라서, 상술한 바와 같이, 식후로부터 일정 시간 후에 식후 저혈당이 발생하고 식후 저혈당 발생의 일정 시간 전에 식후 저혈당 예방 조치가 이루어져야 하며 일정 시간 동안 지속되는 저혈당 현상의 특징 내용을 반영하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 기준 시간 이후 일정 시간 구간에서의 식후 저혈당 발생을 예측하는 것이 바람직할 수 있다.
- [0060] 예를 들어, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 기준 시간 이후 30분 내지 45분 사이에 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다. 이 경우, 식후 식후로부터 연속해서 실시간으로 앞으로 30분 내지 45분 사이에 식후 저혈당 발생 여부를 예측한다. 이에 따라, 식후 저혈당 발생이 예측되더라도 최소 30분 가량의 충분한 대처 시간이 주어진다. 이와 같이 충분한 대처 시간이 주어짐에 따라, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 식후 저혈당 발생 및 그 후유증을 미연에 방지할 수 있는 이점이 생길 수 있다. 즉, 저혈당 현상이 발생하는 경우, 포도당 캔디를 먹거나 수분 내에 혈당이 상승하는 음료를 마심으로 저혈당 현상을 극복하게 되는데, 30분이 라면 혈당이 충분히 상승을 하여 저혈당 현상을 미리 방지할 수 있는 충분한 시간이 될 수 있다. 또한, 향후 30분 내지 45분 사이의 시간 구간에 대한 식후 저혈당을 예측함으로써, 한번 발생하면 최소 15분 동안 지속되는 식후 저혈당의 예측을 최대 45분까지로 늘려주는 이점이 생긴다.
- [0061] 다만, '기준 시간 이후 일정 시간 구간'이 30분 내지 45분인 것은 하나의 실시예에 불과하며, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법이 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0062] 특히, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 머신 러닝 모델(machine learning model)(이하, “저혈당 예측 모델”이라 지칭함)을 이용하여 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다. 이때, 저혈당 예측 모델은 머신 러닝 기법으로 학습시킨 모델로서, 종래 혈당 관련 정보(입력값 또는 관측값) 및 그 식후 저혈당 발생 여부(출력값 또는 목표값)로 이루어진 트레이닝 데이터(training data)를 사용하여 지도 학습시킨 모델이다.
- [0063] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법은 트레이닝 데이터를 통해 학습된 저혈당 예측 모델에 현재 혈당 관련 정보를 입력시킴으로써 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다. 예를 들어, 저혈당 예측 모델은 결정 트리(Decision tree) 기법을 이용한 결정 트리 모델(Decision tree model)이거나, 심층 학습(Deep learning) 기법을 이용한 심층 학습 모델(Deep learning model)일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0064] 이하, 저혈당 예측 모델을 구현하는 실시예에 대해서 보다 상세하게 설명하도록 한다.
- [0065] 먼저, 저혈당 예측 모델이 결정 트리 모델인 경우의 구현 과정에 대해서 설명하도록 한다. 저혈당 예측 모델이 결정 트리 모델로 구현될 경우, 식후 저혈당 예측에 필요한 연산량이 작아 고속 연산이 가능할 뿐 아니라, 간단한 장치로도 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있는 이점이 있다.
- [0066] 구체적으로, 결정 트리 모델 구현 과정은 제1 과정 내지 제3 과정을 포함할 수 있으며, 이들 과정의 내용은 다음과 같다.
- [0067] 1) 결정 트리 모델 구현 제1 과정 : 실험용 데이터 수집 과정
- [0068] 결정 트리 모델 구현 제1 과정은 실험용 데이터를 수집하는 과정이다. 즉, 결정 트리 모델을 구현을 위해, 우선적으로 트레이닝 데이터(training data) 및 테스트 데이터(test data)를 수집해야 한다. 이때, 트레이닝 데이터는 결정 트리 모델을 생성하기 위해 결정 트리 기법의 학습 데이터로 사용되는 데이터이며, 테스트 데이터는 학습 데이터를 통해 학습된 결정 트리 모델의 성능을 테스트하기 위해 사용되는 데이터이다. 이하, 트레이닝 데이터 및 테스트 데이터를 합쳐 “실험용 데이터”라 지칭하도록 한다.
- [0069] 실험용 데이터는, 종래 혈당 관련 정보와, 식후 저혈당 발생 여부 정보를 하나의 데이터 셋(data set)으로 포함하며, 복수개의 데이터 셋을 포함한다. 또한, 식후 저혈당 발생 여부 정보는 해당 종래 혈당 관련 정보와 관련된 피검자가 해당 과거 시간 이후로 식후 저혈당이 실제로 발생했는지에 대한 정보이다.
- [0070] 특히, 식후로부터 일정 시간 후에 식후 저혈당이 발생하고 식후 저혈당 발생의 일정 시간 전에 식후 저혈당 예방 조치가 이루어져야 하는 내용을 반영하기 위해, 식후 저혈당 발생 여부 정보는 해당 과거 시간 후로 일정 시간 구간(예를 들어, 30분 내지 45분)에서 식후 저혈당이 실제 발생했는지에 대한 정보일 수 있다.
- [0071] 2) 결정 트리 모델 구현 제2 과정 : 결정 트리 모델 형성
- [0072] 결정 트리 모델 구현 제2 과정은 결정 트리 모델을 형성하는 과정이다. 즉, 결정 트리 모델 구현 제1 과정 이후, 수집된 실험용 데이터 중 일부를 트레이닝 데이터로 구별하고, 나머지를 테스트 데이터로 구별한다. 이후, 구별된 트레이닝 데이터를 학습 데이터로 사용하여 결정 트리 알고리즘을 통해 지도 학습시켜, 입력값(또는 관측값)과 출력값(또는 목표값)을 연결시키는 결정 트리 모델을 형성한다. 이때, 트레이닝 데이터에서 종래 혈당 관련 정보가 입력값에 해당하며, 식후 저혈당 발생 여부 정보가 출력값에 해당한다. 예를 들어, 결정 트리 알고리즘으로는 ID3 (Iterative Dichotomiser 3), C4.5 (successor of ID3), C5.0 (successor of ID4), CART (Classification And Regression Tree), CHAID (CHi-squared Automatic Interaction Detector), MARS (Multivariate adaptive regression splines) 등을 사용할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0073] 한편, 실험 특성 상, 수집된 실험용 데이터 중에서 식후 저혈당 발생의 데이터 수는 식후 저혈당 미발생의 데이터 수에 비해 적을 수밖에 없다. 이에 따라, 상대적으로 수가 적은 식후 저혈당 미발생의 데이터 수를 반영하여 결정 트리 모델을 형성할 수 있다. 예를 들어, 식후 저혈당 발생의 데이터 수와 식후 저혈당 미발생의 데이터 수에 대한 가중치(weight)를 반영하거나, 식후 저혈당 발생의 데이터 수를 오버샘플링(oversampling)하도록 테스트 데이터를 가공할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0074] 3) 결정 트리 모델 구현 제3 과정 : 결정 트리 모델에 대한 성능 테스트
- [0075] 결정 트리 모델 구현 제3 과정은 형성된 결정 트리 모델에 대한 성능 테스트를 수행하는 과정이다. 즉, 결정 트리 모델 구현 제2 과정 이후, 테스트 데이터를 사용하여 형성된 결정 트리 모델에 대한 성능 테스트를 수행한다. 구체적으로, 테스트 데이터의 종래 혈당 관련 정보를 형성된 결정 트리 모델에 입력값으로 입력시킨다. 이후, 출력되는 식후 저혈당 발생 예측 결과와 해당 테스트 데이터의 식후 저혈당 발생 여부 정보를 비교한

다. 테스트 성능의 평가 지수로는 Sensitivity, Specificity 및 Accuracy 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.

[0076] 성능 테스트 결과, 결정 트리 모델이 일정 이상의 성능을 가지는 경우, 해당 결정 트리 모델을 최적 성능 결정 트리 모델로 선택할 수 있다. 또한, 결정 트리 모델 구현 과정 2를 복수 회 수행하여 얻어진 복수의 결정 트리 모델 중에서 가장 높은 성능을 가지는 결정 트리 모델을 최적 성능 결정 트리 모델로 선택할 수 있다.

[0078] 상술한 결정 트리 모델 구현 과정의 내용을 바탕으로 제1 실험 내지 제3 실험을 수행하였으며, 이들 실험의 결과 비교하기 위한 제1 비교 실험 내지 제5 비교 실험을 수행하였다. 이들 실험의 내용은 다음과 같다.

[0079] <제1 실험>

[0080] 제1 실험은 특별한 시간 제한 없는 결정 트리 모델을 형성하는 실험으로서, 식후부터 연속해서 실시간으로 식후 피크 혈당을 찾고 해당 식후 피크 혈당 이후로 30분 내지 45분 구간에 대해 식후 저혈당 발생 여부를 예측하는 결정 트리 모델을 형성한다.

[0081] 한편, 제1 실험은 인슐린 주입에 따른 식후 저혈당 발생 여부를 예측하는 결정 트리 모델을 형성하지만, 제1 실험의 과정 및 결과는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당 발생 여부를 예측 하는 결정 트리 모델에도 동일하게 적용할 수 있다.

[0082] - 제1 실험의 결정 트리 모델 구현 제1 과정 관련 내용

[0083] 제1 실험을 위해, 총 104명 환자(제1형 당뇨병 환자 : 52명, 제2형 당뇨병 환자 : 52명)에 대한 연속 혈당 정보를 연속혈당측정기(CGM : Continuous Glucose Monitoring)를 통해 5분 간격으로 측정하였다. 다만, 104명 중 3명에 대해 2번 중복 테스트함으로써, 총 107명 환자에 대한 연속 혈당 정보를 측정하였다. 실험 대상 환자들에 대해 정리한 내용은 아래의 표 1과 같다.

표 1

	제1형 당뇨병 (52명)	제2형 당뇨병 (52명)
나이 (years)	40.0 (29.0-52.0)	63.5 (54.3-68.0)
성별 (남자 : 여자)	21 : 34	21 : 31
몸무게 (kg)	60.48 (52.35-69.41)	60.75 (54.60-70.37)
BMI (kg/m ²)	22.85 ± 3.26	24.60 ± 2.62
당뇨 기간 (years)	11.0 (6.0-18.0)	19.0 (13.3-25.0)
인슐린 치료 (인슐린 치료 0 : 인슐린 치료 X)	55* : 0	43 : 9
Insulin regimen (basal : intermediate-acting : premix : MDI : CSII)	3 : 1 : 6 : 44 : 1	20 : 3 : 11 : 9 : 0
하루 인슐린 주입량 (IU/day)	42.3 ± 17.7	28.6 ± 18.1
몸무게 당 하루 인슐린 주입량 (IU/day/kg)	0.68 (0.53-0.82)	0.50 (0.30-0.60)
eGFR (ml/min/1.73 m ²)	83.05 (71.98-96.95)	70.40 (51.30-82.50)
End stage renal disease [n (%)]	4 (7.3)	2 (3.8)
간경변 [n (%)]	2 (3.6)	0 (0.0)
Heart failure with reduced ejection fraction [n (%)]	0 (0.0)	1 (1.9)
췌장 절제 [n (%)]	2 (3.6)	0 (0.0)
습성 전염병 [n (%)]	0 (0.0)	1 (1.9)
임신 [n (%)]	1 (1.8)	0 (0.0)
헤모글로빈 A1c (%)	7.94 ± 1.13	8.31 ± 1.32
Fasting C-peptide (ng/mL)	0.02 (0.02-0.15)	1.46 (0.80-2.44)

[0085] 상기 표 1에서, 'BMI'은 'body mass index', 'MDI'는 'multiple daily injections', 'CSII'는 'continuous subcutaneous insulin infusion', 'eGFR'는 'estimated glomerular filtration rate'를 나타낸다.

- [0086] 107명의 환자들로부터 측정된 연속 혈당 정보를 가공하여 종래 혈당 관련 정보를 추출하였다. 또한, 각 종래 혈당 관련 정보의 해당 과거 시간으로부터 30분 내지 45분 후에 식후 저혈당의 발생 여부를 체크하여 식후 저혈당 발생 여부 정보를 추출하였다. 이와 같이 추출된 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부 정보를 데이터 셋(data set)으로 하는 실험용 데이터를 수집하였다. 수집된 실험용 데이터들은 5분 간격의 시간 차이를 가진다. 이하, 이와 같이 수집된 실험용 데이터를 “제1 실험용 데이터”라 지칭하겠다.
- [0087] 특히, 제1 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」과, 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」에 대해서는 식후부터 연속해서 실시간으로 식후 피크 혈당을 찾아 반영하였다.
- [0088] 한편, 짧은 시간 간격 내에 식사를 연이어서 한 경우, 즉 4시간 이내 제1식사 후 제2식사를 한 경우, 제1식사 때에 주입했던 인슐린이 제2식사 이후에도 영향을 미쳐 피크 혈당치가 발생하지 않을 수 있다. 이에 따라, 4시간 이내에 연속적인 식사를 한 경우는 실험 데이터에서 제외하였다.
- [0089] - 제1 실험의 결정 트리 모델 구현 제2 과정 관련 내용
- [0090] 제1 실험에서 결정 트리 모델 구현 과정 2를 실험하기 위한 툴(tool)로 매트랩(Matlab)을 사용하였다.
- [0091] 구체적으로, 수집된 제1 실험용 데이터의 70%를 무작위로 트레이닝 데이터로 구별하였으며, 나머지 30%를 테스트 데이터로 구별하였다. 즉, 과거 시간 순서로 나열된 제1 실험용 데이터에 대해 'randsample'의 매트랩(Matlab) 함수를 사용하여 무작위 시간 순서로 섞은 후, 그 중 70%는 트레이닝 데이터로 구별하였으며, 나머지 30%는 테스트 데이터로 구별하였다. 이하, 이와 같이 구별된 트레이닝 데이터 및 테스트 데이터를 각각 “제1 구별 트레이닝 데이터” 및 “제1 구별 테스트 데이터”라 지칭하겠으며, 제1 구별 트레이닝 데이터 및 제1 구별 테스트 데이터를 합쳐 “제1 구별 실험용 데이터”라 지칭하겠다.
- [0092] 이후, 제1 구별 트레이닝 데이터를 기반으로 'fictree'의 매트랩 함수를 사용하여 hyperparameter을 최적화하는 방법으로 트리(tree)를 형성한다. 이때, MinLeafSize라는 hyperparameter를 최적화하기 위해, cross-validation loss를 최적화 하는 방법으로 트리 모델을 형성하였다. 이와 같이 형성된 트리 모델은 가지치기가 되어 단순해진다.
- [0093] 이후, 모델의 성능 테스트를 평가하였다. 성능 테스트의 평가 지수로는 Sensitivity, Specificity 및 Accuracy 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.
- [0094] 한편, 수집된 제1 실험용 데이터 중에서 식후 저혈당 발생의 데이터 수는 식후 저혈당 미발생의 데이터 수에 비해 약 1/10 정도가 되었다. 이에 따라, 결정 모델 형성 시에 아래와 같은 Misclassification cost matrix를 구성하여, 이를 반영한 매트랩(Matlab) 함수를 사용하여 형성되는 결정 트리 모델의 깊이와 마디(node)의 개수를 최적화(optimization)할 수 있다.

표 2

	예측 저혈당 현상 미발생	예측 저혈당 현상 발생
실제 저혈당 현상 미발생	0	1
실제 저혈당 현상 발생	10	0

- [0095] - 제1 실험의 결정 트리 모델 구현 제3 과정 관련 내용
- [0096] 결정 트리 모델 구현 과정 2를 10회 수행하였으며, 각 과정 마다 최적의 MinLeafSize를 찾는 방법을 통해 가장 높은 성능의 결정 트리 모델을 선별하였다. 선별된 10개의 결정 트리 모델에 대하여 제1 구별 테스트 데이터를 이용하여 그 성능 테스트를 수행하였다.
- [0097] 성능 테스트의 평가 지수로는 Sensitivity, Specificity 및 Accuracy 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 다만, 성능 테스트 결과, Sensitivity가 가장 높은 모델을 최적 성능 결정 트리 모델로 선정하였다. 이때, Sensitivity를 성능 테스트의 평가 지수로 선택한 이유는 다음과 같다.
- [0098] 즉, 당뇨병 환자 입장에서는 실제 식후 저혈당이 발생했지만 이를 예측하지 못한 경우(이하, “제1 경우”라 지칭함)가 실제 저혈당이 발생하지 않았지만 저혈당 현상 발생을 예측한 경우(이하, “제2 경우”라 지칭함)보다 더 위험한 경우에 해당한다. 이때, Sensitivity는 제1 경우의 발생을 줄이는데 참고할 수 있는 성능 지수에 해당한다. 또한, Specificity 또는 Accuracy는 제2 경우의 발생을 줄이는데 참고할 수 있는 성능지수에 해당한다.

다. 이에 따라, Specificity 또는 Accuracy 보다는 Sensitivity가 최적 성능 결정 트리 모델 선택을 위해 우선적으로 고려해야 할 성능 지수에 해당한다. 만일, 동일 또는 일정 오차 범위 내의 Sensitivity인 경우, Specificity 또는 Accuracy가 최적 성능 결정 트리 모델 선택을 위해 고려해야 할 성능 지수에 해당한다.

[0100] 한편, Sensitivity는 다음의 식을 이용하여 계산한다.

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{True positive}}{\text{True positive} + \text{False negative}}$$

[0101]

[0102] 또한, Specificity는 다음의 공식을 이용하여 계산한다.

$$\text{Specificity} = \frac{\text{True negative}}{\text{True negative} + \text{False positive}}$$

[0103]

[0104] 또한, Accuracy는 다음의 공식을 이용하여 계산한다.

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{True negative} + \text{True positive}}{\text{all events}}$$

[0105]

[0106] 이때, 'True positive'는 실제 저혈당이 발생했으며 저혈당 발생을 예측한 경우를 지칭한다. 'True negative'는 실제 저혈당이 미발생했으며 저혈당 미발생을 예측한 경우를 지칭한다. 'False positive'는 실제 저혈당이 발생했으나 저혈당 미발생을 예측한 경우를 지칭한다. 'False negative'는 실제 저혈당이 미발생했으나 저혈당 발생을 예측한 경우를 지칭한다.

[0107] 이하, 제1 실험을 통해 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 “제1 예측 모델”이라 지칭하겠다.

[0108] <제1 비교 실험>

[0109] 제1 비교 실험은 제1 실험을 통해 선정된 제1 예측 모델의 성능을 비교하기 위한 비교 모델을 생성하는 실험이다. 제1 비교 실험은 제1 구별 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보만 제외하고 그 외에는 제1 실험과 동일하다. 따라서, 이하에서는 제1 비교 실험의 종래 혈당 관련 정보에 대해서만 설명하고 나머지 설명을 생략하도록 한다.

[0110] 구체적으로, 제1 비교 실험에서는 제1 구별 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에서 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」 및 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」을 제외하였다. 즉, 제1 비교 실험의 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보로는 제1 구별 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에 「기준 시간 혈당」 및 「기준 시간 혈당 변화율」만이 이용되었다.

[0111] 한편, 제1 비교 실험을 통해 최적 성능 결정 트리 모델을 선정하였다. 이하, 제1 비교 실험의 최적 성능 결정 트리 모델을 “제1 비교 모델”이라 지칭하겠다.

[0112] <제1 실험과 제1 비교 실험의 결과 비교>

[0113] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법의 제1 실험에 따라 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 나타낸다.

[0114] 제1 실험의 결과로 선정된 제1 예측 모델은 도 2와 같다. 다만, 도 2에서 'X1'은 「기준 시간 혈당」, 'X2'은 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」, 'X3'은 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」, 'X4'은 「기준 시간 혈당 변화율」을 각각 나타낸다. 또한, 도 2에서 'true'는 식후 저혈당 발생이 예측되는 경우를 나타내고, 'false'는 식후 저혈당 미발생이 예측되는 경우를 나타낸다.

[0115] 한편, 제1 예측 모델과 제1 비교 모델에 대한 성능 테스트를 수행한 결과는 아래 표 3과 같다.

표 3

[0116]

모델 종류	Sensitivity	Specificity	Accuracy	제1 경우 발생 횟수 (조건 1)	제1 경우 발생 횟수 (조건 2)	제1 경우 발생 횟수 (조건 3)	전체 제1 경우 발생 횟수	식후 저혈당 발생 전체 횟수

제1 예측 모델	92%	87%	87%	5	26	72	103 (8%)	1363
제1 비교 모델	90%	87%	88%	17	32	98	147 (11%)	1363

※ 제1 경우 : 실제 식후 저혈당이 발생했지만 이를 예측하지 못한 경우
 ※ 조건 1: 혈당이 2.2 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당
 ※ 조건 2: 혈당이 2.2 mmol/L 초과 내지 3.0 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당
 ※ 조건 3: 혈당이 3.0 mmol/L 초과 내지 3.9 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당

[0117] 즉, 성능 테스트 수행 결과, 제1 예측 모델은 제1 비교 모델에 비해, Sensitivity가 높았고 제1 경우 발생 횟수도 작아, 전체적으로 더 좋은 성능을 나타냈다. 특히, 저혈당 여부를 판단하는 조건이 더 엄격할수록(조건 3에서 조건 1으로 갈수록), 제1 예측 모델은 제1 비교 모델에 비해 더 좋은 성능을 나타냈다.

[0118] <제2 실험>

[0119] 제2 실험은 통상적으로 식후 90분 내에 발생한다고 알려진 식후 피크 혈당에 대한 시간 제한의 내용을 반영한 결정 트리 모델을 형성하는 실험이다. 즉, 제2 실험은 식후 2시간 내의 구간에서 식후 피크 혈당을 찾고 그 이후로 30분 내지 45분 구간에 대해 식후 120분 내지 식후 210분까지 연속해서 실시간으로 식후 저혈당 발생 여부를 예측하는 결정 트리 모델을 형성한다.

[0120] 한편, 제2 실험은 인슐린 주입에 따른 식후 저혈당 발생 여부를 예측하는 결정 트리 모델을 형성하지만, 제2 실험의 과정 및 결과는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당 발생 여부를 예측 하는 결정 트리 모델에도 동일하게 적용할 수 있다.

[0121] - 제2 실험의 결정 트리 모델 구현 제1 과정 관련 내용

[0122] 제2 실험은 제1 실험과 동일한 107명 환자에 대한 연속 혈당 정보를 이용한다. 즉, 제1 실험과 동일하게 107명의 환자들로부터 측정된 연속 혈당 정보를 가공하여 식후 120분 내지 식후 210분에 대한 종래 혈당 관련 정보를 추출하였다. 또한, 식후 2시간 이내의 연속 혈당 정보로부터 식후 피크 혈당을 찾은 후, 해당 시간으로부터 30분 내지 45분 후에 식후 저혈당의 발생 여부를 체크하여 식후 저혈당 발생 여부 정보를 추출하였다. 이와 같이 추출된 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부 정보를 데이터 셋(data set)으로 하는 실험용 데이터를 수집하였다. 수집된 실험용 데이터들은 5분 간격의 시간 차이를 가진다. 이하, 이와 같이 수집된 실험용 데이터를 “제2 실험용 데이터”라 지칭하겠다.

[0123] 특히, 제2 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」과, 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」에 대해서는 식후 2시간 내에서 식후 피크 혈당을 찾아 반영하였다.

[0124] - 제2 실험의 결정 트리 모델 구현 제2 과정 관련 내용

[0125] 제2 실험에서 결정 트리 모델 구현 과정 2를 실험하기 위한 툴(tool)로 매트랩(Matlab)을 사용하였다. 또한, 수집된 제2 실험용 데이터의 70%를 무작위로 트레이닝 데이터로 구별하였으며, 나머지 30%를 테스트 데이터로 구별하였다. 이하, 이와 같이 구별된 트레이닝 데이터 및 테스트 데이터를 각각 “제2 구별 트레이닝 데이터” 및 “제2 구별 테스트 데이터”라 지칭하겠으며, 제2 구별 트레이닝 데이터 및 제2 구별 테스트 데이터를 합쳐 “제2 구별 실험용 데이터”라 지칭하겠다.

[0126] 이후, 제2 구별 트레이닝 데이터를 사용하여 결정 트리 모델을 형성하였으며, 트리 형성 내용은 제1 실험의 결정 트리 모델 구현 제2 과정 관련 내용에서 “제1 구별 트레이닝 데이터”를 “제2 구별 트레이닝 데이터”로, “제1 구별 테스트 데이터”를 “제2 구별 테스트 데이터”로, “제1 구별 실험용 데이터”를 “제2 실험용 데이터”로 치환하는 것과 전체 데이터의 저혈당 데이터의 수가 변화되어 Misclassification matrix cost의 값은 10:1에서 9:1로 변경한 것 외에는 동일하므로, 이하 이에 대한 상세한 설명은 생략하도록 한다.

[0127] - 제2 실험의 결정 트리 모델 구현 제3 과정 관련 내용

[0128] 제2 실험의 결정 트리 모델 구현 제3 과정 관련 내용은 제1 실험의 결정 트리 모델 구현 제3 과정 관련 내용과 동일하므로, 이하 이에 대한 상세한 설명은 생략하도록 한다.

[0129] 다만, 이하에서는 제2 실험을 통해 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 “제2 예측 모델”이라 지칭하겠다.

[0130] <제2 비교 실험>

[0131] 제2 비교 실험은 제2 실험을 통해 선정된 제2 예측 모델의 성능을 비교하기 위한 비교 모델을 생성하는 실험이다. 제2 비교 실험은 제2 구별 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보만 제외하고 그 외에는 제2 실험과 동일하다. 따라서, 이하에서는 제2 비교 실험의 종래 혈당 관련 정보에 대해서만 설명하고 나머지 설명을 생략하도록 한다.

[0132] 구체적으로, 제2 비교 실험에서는 제2 구별 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에서 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」 및 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」을 제외하였다. 즉, 제2 비교 실험의 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보로는 제2 구별 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에 「기준 시간 혈당」 및 「기준 시간 혈당 변화율」만이 이용되었다.

[0133] 한편, 제2 비교 실험을 통해 최적 성능 결정 트리 모델을 선정하였다. 이하, 제2 비교 실험의 최적 성능 결정 트리 모델을 “제2 비교 모델”이라 지칭하겠다.

[0134] < 제2 실험과 제2 비교 실험의 결과 비교>

[0135] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법의 제2 실험에 따라 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 나타낸다.

[0136] 제2 실험의 결과로 선정된 제2 예측 모델은 도 3과 같다. 다만, 도 3에서 'X1'은 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」, 'X2'은 「기준 시간 혈당」, 'X3'은 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」, 'X4'은 「기준 시간 혈당 변화율」을 각각 나타낸다. 또한, 도 3에서 'true'는 식후 저혈당 발생이 예측되는 경우를 나타내고, 'false'는 식후 저혈당 미발생이 예측되는 경우를 나타낸다.

[0137] 한편, 제2 예측 모델과 제2 비교 모델에 대한 성능 테스트를 수행한 결과는 아래 표 4와 같다.

표 4

모델 종류	Sensitivity	Specificity	Accuracy	제1 경우 발생 횟수 (조건 1)	제1 경우 발생 횟수 (조건 2)	제1 경우 발생 횟수 (조건 3)	전체 제1 경우 발생 횟수	식후 저혈당 발생 전체 횟수
제2 예측 모델	93%	86%	87%	2	6	19	24(7%)	365
제2 비교 모델	90%	88%	88%	5	9	23	37(10%)	365

※ 제1 경우 : 실제 식후 저혈당이 발생했지만 이를 예측하지 못한 경우
 ※ 조건 1: 혈당이 2.2 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당
 ※ 조건 2: 혈당이 2.2 mmol/L 초과 내지 3.0 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당
 ※ 조건 3: 혈당이 3.0 mmol/L 초과 내지 3.9 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당

[0139] 즉, 성능 테스트 수행 결과, 제2 예측 모델은 제2 비교 모델에 비해, Sensitivity가 높았고 제1 경우 발생 횟수도 작아, 전체적으로 더 좋은 성능을 나타냈다. 특히, 저혈당 여부를 판단하는 조건이 더 엄격할수록(조건 3에서 조건 1으로 갈수록), 제2 예측 모델은 제2 비교 모델에 비해 더 좋은 성능을 나타냈다.

[0140] <제1 실험과 제2 실험의 결과 비교>

[0141] 한편, 실험 대상 환자들의 실험용 데이터를 확인해본 결과, 식후 2시간 이내에 저혈당 현상이 발생하는 경우가 있었다. 제2 예측 모델의 경우, 식후 2시간 내의 식후 피크 혈당을 찾아 식후 2시간 이후의 저혈당 발생 여부를 예측하므로, 식후 2시간 이내에 발생하는 저혈당 현상을 예측할 수 없다.

[0142] 이에 반하여, 제1 예측 모델은 식후부터 연속해서 실시간으로 식후 피크 혈당을 찾아 식후 저혈당 발생 여부를 예측하므로, 식후 2시간 이내에 발생하는 저혈당 현상을 예측할 수 있다. 즉, 제1 예측 모델은 식후에 바로 발생하는 식후 저혈당도 예측할 수 있으므로, 제1 예측 모델이 제2 예측 모델에 비해 더 적합한 모델이라 할 수 있다.

[0143] 제1 예측 모델은 「기준 시간 혈당」의 일정 값을 기준으로 입력값을 분류하는 뿌리 마디(root node)를 포함한다. 또한, 제1 예측 모델은 복수의 제1 중간 마디(first intermediate node), 복수의 제2 중간 마디(second

intermediate node) 등을 포함한다. 이때, 뿌리 마디는 입력값에 대한 분류를 시작하는 마디이다. 또한, 제1 중간 마디는 뿌리 마디로부터 분기된 첫째 마디이다. 제2 중간 마디는 뿌리 마디로부터 분기된 둘째 마디로서, 제1 중간 마디로부터 분기된 마디이다.

[0144] 제1 예측 모델의 뿌리 마디는, 도 2에 도시된 바와 같이, 기준 시간 혈당이 5.95 mmol/L 인지 여부에 따라 2개의 제1 중간 마디로 입력값을 분류할 수 있다.

[0145] 또한, 어느 한 제1 중간 마디는 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」의 일정 값을 기준으로 입력값을 분류할 수 있다. 다른 한 제1 중간 마디는 「기준 시간 혈당」의 다른 일정 값(뿌리 마디에서의 값과 다른 값)을 기준으로 분류할 수 있다.

[0146] 즉, 어느 한 제1 중간 마디는, 도 2에 도시된 바와 같이, 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」이 0.0681366인지 여부에 따라 2개의 제2 중간 마디(second intermediate node)로 입력값을 분류할 수 있다. 또한, 다른 한 제1 중간 마디는 「기준 시간 혈당」이 4.65 mmol/L 미만이면 식후 저혈당이 발생(true)하는 것으로 예측하고, 4.65 mmol/L 이상이면 다른 제2 중간 마디로 입력값을 분류할 수 있다.

[0147] <제3 실험>

[0148] 제3 실험은 제1 실험과 동일한 실험 과정을 다시 수행하는 실험으로서, 제1 실험과 동일한 제1 실험용 데이터를 사용한다. 다만, 제3 실험에서는 제1 실험용 데이터를 무작위로 70%를 트레이닝 데이터로, 나머지 30%를 테스트 데이터로 다시 구별한다. 따라서, 제3 실험에서 구별된 실험용 데이터는 제1 실험의 제1 구별 실험용 데이터와 달라, 그 성능 테스트 결과도 제1 실험과 달라진다. 이하, 제3 실험에 의해 구별된 트레이닝 데이터 및 테스트 데이터를 각각 “제3 구별 트레이닝 데이터” 및 “제3 구별 테스트 데이터”라 지칭하겠으며, 제3 구별 트레이닝 데이터 및 제3 구별 테스트 데이터를 합쳐 “제3 구별 실험용 데이터”라 지칭하겠다.

[0149] 제3 실험은 제1 실험에서 “제1 구별 트레이닝 데이터”를 “제3 구별 트레이닝 데이터”로, “제1 구별 테스트 데이터”를 “제3 구별 테스트 데이터”로, “제1 구별 실험용 데이터”를 “제3 실험용 데이터”로 치환하는 것과, 전체 트리를 형성한 후에 10-fold cross validation을 통해서 cross-validation loss가 가장 작아지는 트리의 레벨로 가지치기를 한 것 외에는 동일하므로, 이하 이에 대한 상세한 설명은 생략하도록 한다.

[0150] 다만, 이하에서는 제3 실험을 통해 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 “제3 예측 모델”이라 지칭하겠다.

[0151] <제3 비교 실험 내지 제5 비교 실험>

[0152] 제3 비교 실험 내지 제5 비교 실험은 제3 실험을 통해 선정된 제3 예측 모델의 성능을 비교하기 위한 비교 모델을 각각 생성하는 실험이다. 제3 비교 실험 내지 제5 비교 실험은 제3 구별 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보만 제외하고 그 외에는 제3 실험과 동일하다. 따라서, 이하에서는 제3 비교 실험 내지 제5 비교 실험 각각의 종래 혈당 관련 정보에 대해서만 설명하고 나머지 설명을 생략하도록 한다.

[0153] 구체적으로, 제3 비교 실험에서는 제3 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에서 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」 및 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」을 제외하였고, 「기준 시간으로부터 제1 시간만큼 이전에 측정된 피검자의 혈당치」를 추가하였다. 즉, 제3 비교 실험의 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보로는 「기준 시간 혈당」, 「기준 시간 혈당 변화율」 및 「기준 시간으로부터 제1 시간만큼 이전에 측정된 피검자의 혈당치」가 이용되었다. 이때, 「기준 시간으로부터 제1 시간만큼 이전에 측정된 피검자의 혈당치」는 연속 혈당 정보가 5분 간격으로 측정되므로, 「기준 시간 혈당」시간의 5분전 혈당치이다.

[0154] 제4 비교 실험에서는 제3 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에서 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」 및 「기준 시간 혈당 변화율」을 제외하였다. 즉, 제4 비교 실험의 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보로는 「기준 시간 혈당」 및 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」이 이용되었다.

[0155] 제5 비교 실험에서는 제3 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보 중에서 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」을 제외하였다. 즉, 제4 비교 실험의 실험용 데이터의 종래 혈당 관련 정보로는 「기준 시간 혈당」, 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」 및 「기준 시간 혈당 변화율」이 이용되었다.

[0156] 한편, 제3 비교 실험 내지 제5 비교 실험을 통해 최적 성능 결정 트리 모델을 선정하였다. 이하, 제3 비교 실험

내지 제5 비교 실험의 최적 성능 결정 트리 모델을 각각 “제3 비교 모델”, “제4 비교 모델” 및 “제5 비교 모델”이라 지칭하였다.

[0157] <제3 실험과, 제3 비교 실험 내지 제5 비교 실험의 결과 비교>

[0158] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법의 제3 실험에 따라 선정된 최적 성능 결정 트리 모델을 나타낸다.

[0159] 제3 실험의 결과로 선정된 제3 예측 모델은 도 4와 같다. 다만, 도 4에서 'X1'은 「기준 시간 혈당」, 'X2'은 「식사 시간에서부터 식후 피크 혈당 시간까지의 혈당 변화율」, 'X3'은 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」, 'X4'은 「기준 시간 혈당 변화율」을 각각 나타낸다.

[0160] 한편, 제3 예측 모델과, 제3 비교 모델 내지 제5 비교 모델에 대한 성능 테스트를 수행한 결과는 아래 표 5와 같다.

표 5

모델 종류	Sensitivity	Specificity	Accuracy	제1 경우 발생 횟수 (조건 1)	제1 경우 발생 횟수 (조건 2)	제1 경우 발생 횟수 (조건 3)	전체 제1 경우 발생 횟수	식후 저혈당 발생 전체 횟수
제3 예측 모델	92.1%	86.9%	87.4%	5	16	82	103	1304
제3 비교 모델	89.1%	87.7%	87.9%	12	23	107	142	1304
제4 비교 모델	89.9%	86.9%	87.1%	8	23	101	133	1304
제5 비교 모델	90.3%	88%	88.2%	7	19	100	126	1304

※ 제1 경우 : 실제 식후 저혈당이 발생했지만 이를 예측하지 못한 경우
 ※ 조건 1: 혈당이 2.2 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당
 ※ 조건 2: 혈당이 2.2 mmol/L 초과 내지 3.0 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당
 ※ 조건 3: 혈당이 3.0 mmol/L 초과 내지 3.9 mmol/L 이하인 경우에 저혈당에 해당

[0162] 즉, 성능 테스트 수행 결과, 제3 예측 모델은 제3 비교 모델 내지 제5 비교 모델에 비해, Sensitivity가 높았고 제1 경우 발생 횟수도 작아, 전체적으로 더 좋은 성능을 나타냈다. 특히, 저혈당 여부를 판단하는 조건이 더 엄격할수록(조건 3에서 조건 1으로 갈수록), 제3 예측 모델은 제3 비교 모델 내지 제5 비교 모델에 비해 더 좋은 성능을 나타냈다.

[0163] 제3 예측 모델은 「기준 시간 혈당」의 일정 값을 기준으로 입력값을 분류하는 뿌리 마디(root node)를 포함한다. 또한, 제3 예측 모델은 복수의 제1 중간 마디(first intermediate node), 복수의 제2 중간 마디(second intermediate node) 등을 포함한다.

[0164] 제3 예측 모델의 뿌리 마디는, 도 4에 도시된 바와 같이, 기준 시간 혈당이 5.95 mmol/L 인지 여부에 따라 제1 중간 마디로 입력값을 분류할 수 있다.

[0165] 또한, 제3 예측 모델의 어느 한 제1 중간 마디는 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」의 일정 값을 기준으로 입력값을 분류할 수 있다. 또한, 제3 예측 모델의 다른 한 제1 중간 마디는 「기준 시간 혈당」의 다른 일정 값(뿌리 마디에서의 값과 다른 값)을 기준으로 분류할 수 있다.

[0166] 즉, 제3 예측 모델의 어느 한 제1 중간 마디는, 도 4에 도시된 바와 같이, 「식후 피크 혈당 시간에서부터 기준 시간까지의 혈당 변화율」이 0.0721241인지 여부에 따라 2개의 제2 중간 마디로 입력값을 분류할 수 있다. 또한, 제3 예측 모델의 다른 한 제1 중간 마디는 「기준 시간 혈당」이 4.65 mmol/L 미만이면 식후 저혈당이 발생(true)하는 것으로 예측하고, 4.65 mmol/L 이상이면 다른 제2 중간 마디로 입력값을 분류할 수 있다.

[0168] 다음으로, 저혈당 예측 모델이 심층 학습 모델인 경우의 구현 과정에 대해서 설명하도록 한다.

[0169] 구체적으로, 심층 학습 모델의 구현 과정은 제1 과정 내지 제3 과정을 포함할 수 있으며, 이들 과정의 내용은 다음과 같다.

[0170] 1) 심층 학습 모델 구현 제1 과정 : 실험용 데이터 수집 과정

- [0171] 심층 학습 모델 구현 제1 과정은 실험용 데이터를 수집하는 과정이다. 다만, 심층 학습 모델 구현 제1 과정은 결정 트리 모델 구현 제1 과정의 내용에서 “결정 트리 모델”을 “심층 학습 모델”로 치환하는 것 외에는 동일하므로, 이하 이에 대한 상세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0172] 2) 심층 학습 모델 구현 제2 과정 : 심층 학습 모델 형성
- [0173] 심층 학습 모델 구현 제2 과정은 심층 학습 모델을 형성하는 과정이다. 즉, 심층 학습 모델 구현 제1 과정 이후, 수집된 실험용 데이터 중 일부를 트레이닝 데이터로 구별하고, 나머지를 테스트 데이터로 구별한다. 이후, 구별된 트레이닝 데이터를 학습 데이터로 사용하여 심층 학습 알고리즘을 통해 지도 학습시켜, 입력값(또는 관측값)과 출력값(또는 목표값) 간의 연결 함수인 심층 학습 모델을 형성한다. 이때, 트레이닝 데이터에서 종래 혈당 관련 정보가 입력값에 해당하며, 식후 저혈당 발생 여부 정보가 출력값에 해당한다. 예를 들어, 심층 학습 알고리즘으로는 DNN(Deep Neural Network), RNN(Recurrent Neural Network), CNN(Convolutional Neural Network), DBN(Deep Belief Network) 등을 사용할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0174] 한편, 실험 특성 상, 수집된 실험용 데이터 중에서 식후 저혈당 발생의 데이터 수는 식후 저혈당 미발생의 데이터 수에 비해 적을 수밖에 없다. 이에 따라, 상대적으로 수가 적은 식후 저혈당 미발생의 데이터 수를 반영하여 심층 학습 모델을 형성할 수 있다. 예를 들어, 식후 저혈당 발생의 데이터 수와 식후 저혈당 미발생의 데이터 수에 대한 가중치(weight)를 반영하거나, 식후 저혈당 발생의 데이터 수를 오버샘플링(oversampling)하도록 테스트 데이터를 가공할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0175] 3) 심층 학습 신경망 구현 제3 과정 : 심층 학습 모델에 대한 테스트
- [0176] 심층 학습 신경망 구현 제3 과정은 형성된 심층 학습 모델에 대한 성능 테스트를 수행하는 과정이다. 다만, 심층 학습 모델 구현 제3 과정은 결정 트리 모델 구현 제3 과정의 내용에서 “결정 트리 모델”을 “심층 학습 모델”로 치환하는 것 외에는 동일하므로, 이하 이에 대한 상세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0178] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법에 대하여 설명하도록 한다.
- [0179] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법은 저혈당 예측 모델을 생성하는 방법으로서, 저혈당 예측 모델 생성 장치에 의해 수행될 수 있다.
- [0180] 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법은 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용하여 학습시킨 머신 러닝 모델(machine learning model)을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0181] 특히, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법은 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당 발생을 예측하는 저혈당 예측 모델을 생성할 수 있다.
- [0182] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법은 일정 주기 마다, 선택된 주기 마다, 또는 실시간으로 이미 생성된 머신 러닝 모델을 업데이트하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0183] 다만, 저혈당 예측 모델(머신 러닝 모델) 및 그 생성 과정에 대해서는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법에서 상술하였으므로, 이하 이에 대한 상세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0185] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치에 대해서 설명하도록 한다.
- [0186] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 도 1 내지 도 4에 따라 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법을 수행하는 장치로서, 혈당 관련 정보를 이용하여 식후 저혈당 발생을 예측하는 장치이다. 특히, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당 발생을 예측할 수 있다.
- [0187] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 혈당 관련 정보를 직접 생성하거나, 다른 장치로부터 전달 받을 수 있다. 혈당 관련 정보를 직접 생성하는 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 연속 혈당 정보가 필요하다. 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 연속 혈당 정보를 직접 측정하거나, 다른 장치로부터 전달 받을 수 있다. 예를 들어, 연속 혈당 정보를 측정하는 장치는 연속혈당측정기(CGМ: Continuous Glucose Monitoring)일 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 연속혈당측정기를 포함하거나, 연속혈당측정기와 연결될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0188] 예를 들어, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치는 인슐린 펌프(insulin pump), 연속혈당측정기(CGМ),

인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치, 인공췌장 장치, 웨어러블(wearable) 장치, 및 휴대용 단말기 중 어느 하나일 수 있다.

- [0189] 인슐린 펌프는 체내에 인슐린을 주입하는 장치이다. 예를 들어, 인슐린 펌프는 주입 유닛 및 본체를 포함할 수 있다. 이때, 주입 유닛은 사용자의 피부에 삽입되는 니들(needle) 및 니들과 본체 사이를 연결하는 연결부를 포함할 수 있다. 또한, 본체는 사용자의 벨트, 옷 등에 착용되어 인슐린 주입을 제어할 수 있다. 즉, 본체는 니들을 통해 사용자의 체내로 일정량의 인슐린을 지속적으로 주입하거나 사용자의 설정에 따라 식사량에 따른 인슐린을 체내로 주입할 수 있다.
- [0190] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치가 인슐린 펌프인 경우, 인슐린 펌프는 다른 장치로부터 전달 받은 연속 혈당 정보를 가공함으로써 혈당 관련 정보를 직접 생성하거나, 다른 장치로부터 혈당 관련 정보를 전달 받을 수 있다.
- [0191] 연속혈당측정기는 연속 혈당 정보를 실시간으로 측정하는 장치이다. 예를 들어, 연속혈당측정기는 혈당 센서, 송신부 및 본체를 포함할 수 있다. 이때, 혈당 센서는 체내에 삽입/부착되어 사용자의 현재 혈당을 실시간으로 측정할 수 있다. 또한, 송신부는 혈당 센서에서 측정된 사용자의 혈당값을 유/무선으로 본체에 송신할 수 있다. 본체는 송신부로부터 수신한 사용자의 현재 혈당치를 저장하며, 현재 혈당과 혈당 변화 추세를 표시할 수 있다. 혈당이 너무 높거나 낮은 경우, 본체는 사용자에게 경고 신호를 송출할 수 있다.
- [0192] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치가 연속혈당측정기인 경우, 연속혈당측정기는 연속 혈당 정보를 직접 측정 및 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성할 수 있다.
- [0193] 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치는 상술한 인슐린과 연속혈당측정기를 함께 포함하는 장치이다. 다만, 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치는 하나의 본체에서 인슐린 펌프의 본체와 연속혈당측정기의 본체 기능을 수행할 수 있다.
- [0194] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치가 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치인 경우, 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치는 연속 혈당 정보를 직접 측정 및 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성할 수 있다.
- [0195] 인공췌장 장치는 췌장의 기능을 대신하는 인공장기 장치이다. 즉, 인공췌장 장치는 혈당을 연속적으로 측정할 수 있으며, 측정된 혈당 수치에 따라 자동적으로 필요한 만큼의 인슐린을 체내로 주입할 수 있다. 예를 들어, 인공췌장 장치는 혈당 센서, 인슐린 주입부 및 제어부를 포함할 수 있다. 이때, 혈당 센서는 체내에 삽입/부착되어 사용자의 현재 혈당을 실시간으로 측정할 수 있다. 또한, 인슐린 주입부는 인슐린을 체내로 주입할 수 있다. 제어부는 연속 혈당 정보를 기반으로 필요한 만큼의 인슐린이 주입되도록 제어할 수 있다.
- [0196] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치가 인공췌장 장치인 경우, 인공췌장 장치는 연속 혈당 정보를 직접 측정 및 가공함으로써 혈당 관련 정보를 생성할 수 있다.
- [0197] 웨어러블 장치는 신체 일부에 접촉, 부착, 착용, 또는 삽입되는 단말기이다. 예를 들어, 웨어러블 장치는 전자 장갑, 전자 안경, 전자 의복, 전자 팔찌, 전자 목걸이, 전자 액세서리(accessory), 스마트 워치(smart watch), 스마트 글라스(smart glass) 또는 스마트 패치(smart patch) 등일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0198] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치가 웨어러블 장치인 경우, 웨어러블 장치는 다른 장치로부터 전달 받은 연속 혈당 정보를 가공함으로써 혈당 관련 정보를 직접 생성하거나, 다른 장치로부터 혈당 관련 정보를 전달 받을 수 있다.
- [0199] 휴대 단말기는 사용자에게 의해 휴대 가능한 단말기이다. 예를 들어, 휴대 단말기는 휴대폰(mobile phone), 스마트 폰(smartphone), 스마트패드(smartpad), 태블릿 PC(tablet personal computer), 화상전화기, 전자북 리더기(e-book reader), 랩탑 컴퓨터(laptop personal computer), 넷북 컴퓨터(netbook computer), PDA(personal digital assistant), PMP(portable multimedia player) 등일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0200] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치가 휴대 단말기인 경우, 휴대 단말기는 다른 장치로부터 전달 받은 연속 혈당 정보를 가공함으로써 혈당 관련 정보를 직접 생성하거나, 다른 장치로부터 혈당 관련 정보를 전달 받을 수 있다.
- [0201] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)의 블록 구성도를 나타낸다.
- [0202] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)는, 도 5에 도시된 바와 같이, 제1 저장부(11) 및 제1 제어부

(12)를 포함할 수 있다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)는 제1 입력부(13), 제1 출력부(14), 제1 측정부(15), 또는 제1 통신부(16)를 추가로 포함할 수 있다.

- [0203] 제1 저장부(11)는 식후 저혈당 예측에 필요한 다양한 정보를 저장한다. 예를 들어, 제1 저장부(11)는 연속 혈당 정보, 혈당 관련 정보, 머신 러닝 알고리즘 정보 등을 저장할 수 있다. 또한, 제1 저장부(11)는 도 1 내지 도 4에 따라 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법에 대한 제어 프로그램을 저장할 수 있다. 또한, 제1 저장부(11)는 학습된 저혈당 예측 모델(예를 들어, 상술한 제1 예측 모델 내지 제3 예측 모델 중 어느 하나)을 저장할 수 있다.
- [0204] 예를 들어, 제1 저장부(11)는 그 유형에 따라 하드디스크 타입(hard disk type), 마그네틱 매체 타입(magnetic media type), CD-ROM(compact disc read only memory), 광기록 매체 타입(Optical Media type), 자기-광 매체 타입(magneto-optical media type), 멀티미디어 카드 마이크로 타입(multimedia card micro type), 플래시 메모리 타입(flash memory type), 롬 타입(read only memory type), 또는 램 타입(random access memory type) 등일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 제1 저장부(11)는 그 용도/위치에 따라 캐시(cache), 버퍼, 주기억장치, 보조기억장치, 또는 별도로 마련된 저장 시스템일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0205] 제1 제어부(12)는 제1 저장부(11)에 저장된 정보를 이용하여 도 1 내지 도 4에 따라 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법의 수행을 제어할 수 있다. 또한, 제1 제어부(12)는 연속 혈당 정보의 측정, 또는 혈당 관련 정보의 생성을 제어할 수 있다. 다만, 제1 제어부(12)가 수행하는 저혈당 예측 방법은 상술하였으므로, 이하 이에 대한 상세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0206] 특히, 제1 제어부(12)는 제1 입력부(13), 제1 출력부(14), 제1 측정부(15), 또는 제1 통신부(16)를 제어할 수 있다. 즉, 제1 제어부(12)는 제1 저장부(11)로부터 특정 정보를 읽거나 제1 저장부(11)에 특정 정보를 저장하도록 제어할 수 있다. 또한, 제1 제어부(12)는 제1 입력부(13)에 수신된 입력 정보를 전달 받을 수 있으며, 제1 출력부(14)를 통해 출력 신호가 출력되도록 제어할 수 있다.
- [0207] 또한, 제1 제어부(12)는 제1 측정부(15)에서 측정된 연속 혈당 정보를 제1 저장부(11)에 저장하도록 제어할 수 있으며, 연속 혈당 정보를 이용하여 혈당 관련 정보를 생성해 제1 저장부(11)에 저장하도록 제어할 수 있다. 또한, 제1 제어부(12)는 제1 통신부(16)를 통해 특정 정보가 전송되도록 제어하거나, 제1 통신부(16)에 수신된 특정 정보를 전달 받을 수 있다.
- [0208] 제1 입력부(13)는 다양한 입력 명령을 사용자로부터 입력 받는다. 특히, 제1 입력부(13)는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)가 혈당 관련 정보를 직접 생성하는 경우에 구비될 수 있다. 이 경우, 제1 입력부(13)는 사용자로부터 식사 시간을 입력 받아 제1 제어부(12)로 전달한다. 예를 들어, 제1 입력부(13)는 버튼 형태, 접촉 형태 등 다양한 형태로 이루어질 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0209] 제1 출력부(14)는 다양한 출력 신호를 사용자에게 전달한다. 출력 신호는 시각 신호, 소리 신호, 또는 촉각 신호 등일 수 있다. 특히, 제1 출력부(14)는 제1 제어부(12)에서 수행한 식후 저혈당 예측 결과의 출력 신호를 사용자에게 전달할 수 있다. 예를 들어, 제1 출력부(14)는 디스플레이, 스피커, 또는 촉각 액츄에이터(actuator) 등일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0210] 제1 측정부(15)는 연속 혈당 정보를 실시간으로 측정하는 구성이다. 특히, 제1 측정부(15)는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)가 연속 혈당 정보를 직접 측정하는 경우에 구비될 수 있다. 제1 측정부(15)는 측정된 연속 혈당 정보를 제1 제어부(12)로 전달할 수 있다.
- [0211] 제1 통신부(16)는 다른 장치와 특정 정보를 송수신한다. 특히, 제1 통신부(16)는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)가 혈당 관련 정보를 직접 생성하지 않는 경우에 구비될 수 있다. 이 경우, 제1 통신부(16)는 다른 장치로부터 혈당 관련 정보를 수신하여 제1 제어부(12)로 전달할 수 있다.
- [0212] 또한, 제1 통신부(16)는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)가 연속 혈당 정보를 직접 측정하지 않되 혈당 관련 정보를 직접 생성하는 경우에 구비될 수 있다. 이 경우, 제1 통신부(16)는 다른 장치로부터 연속 혈당 정보를 수신하여 제1 제어부(12)로 전달할 수 있다.
- [0213] 제1 통신부(16)는 통신망에 연결되는 유선 통신 모듈 또는 무선 통신 모듈을 포함한다. 예를 들어, 유선 통신 모듈로는 LANs(Local Area Networks) 모듈, WANs(Wide Area Networks) 모듈, MANs(Metropolitan Area Networks) 모듈, 또는 ISDNs(Integrated Service Digital Networks) 모듈 등일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 무선 통신 모듈로는 와이파이(WiFi) 모듈, 블루투스(bluetooth) 모듈, 지그비(ZIGBEE) 모듈, 이

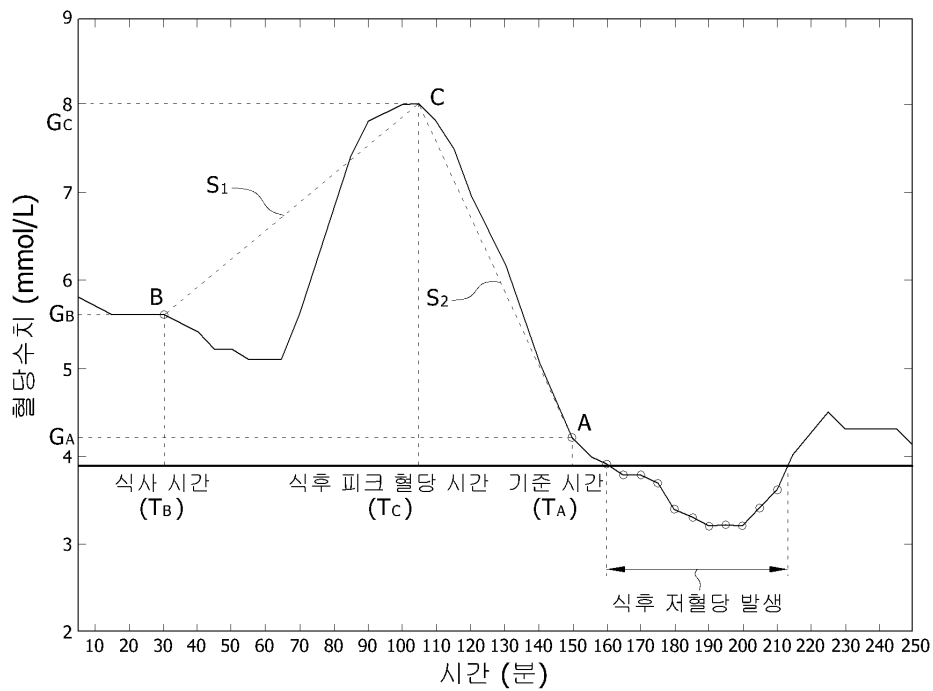
동통신 모듈, 또는 위성 통신 모듈 동일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0215] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치에 대해서 설명하도록 한다.
- [0216] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법을 수행하는 장치로서, 저혈당 예측 모델을 생성하는 장치이다.
- [0217] 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 종래 혈당 관련 정보 및 그 식후 저혈당 발생 여부로 이루어진 트레이닝 데이터를 사용하여 학습시킨 머신 러닝 모델(machine learning model)을 생성한다.
- [0218] 특히, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 인슐린 주입 또는 혈당 강하제 복용에 따른 식후 저혈당 발생을 예측하는 저혈당 예측 모델을 생성할 수 있다.
- [0219] 다만, 저혈당 예측 모델(머신 러닝 모델) 및 그 생성 과정에 대해서는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 방법에서 상술하였으므로, 이하 이에 대한 상세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0220] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 혈당 관련 정보를 직접 생성하거나, 다른 장치로부터 전달 받을 수 있다. 혈당 관련 정보를 직접 생성하는 경우, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 연속 혈당 정보가 필요하다. 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 연속 혈당 정보를 직접 측정하거나, 다른 장치로부터 전달 받을 수 있다. 예를 들어, 연속 혈당 정보를 측정하는 장치는 연속혈당측정기(CGM: Continuous Glucose Monitoring)일 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 연속혈당측정기를 포함하거나, 연속혈당측정기와 연결될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0221] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 일정 주기 마다, 선택된 주기 마다, 또는 실시간으로 이미 생성된 저혈당 예측 모델을 업데이트할 수 있다.
- [0222] 예를 들어, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치는 인슐린 펌프(insulin pump), 연속혈당측정기(CGM), 인슐린 펌프와 연속혈당측정기의 복합 장치, 인공췌장 장치, 웨어러블(wearable) 장치, 휴대용 단말기 및 서버 중 어느 하나일 수 있다. 이때, 서버를 제외한 나머지 장치는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)에서 상술하였으므로, 이하 이에 대한 설명은 생략하도록 한다.
- [0223] 서버는 생성되거나 업데이트된 저혈당 예측 모델을 자신에게 접속된 단말기로 전송한다. 즉, 서버는 일정 주기 마다, 선택된 주기 마다, 또는 실시간으로 생성되거나 업데이트된 저혈당 예측 모델을 단말기로 전송할 수 있다. 예를 들어, 서버에 접속하는 단말기는 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 장치(10)일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0224] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치(20)의 블록 구성도를 나타낸다.
- [0225] 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 장치(20)는, 도 6에 도시된 바와 같이, 제2 저장부(21) 및 제2 제어부(22)를 포함할 수 있다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 장치(20)는 제2 입력부(23), 제2 측정부(24), 또는 제2 통신부(25)를 추가로 포함할 수 있다.
- [0226] 제2 저장부(21)는 저혈당 예측 모델을 생성하거나 업데이트하는데 필요한 다양한 정보를 저장한다. 예를 들어, 제2 저장부(21)는 연속 혈당 정보, 혈당 관련 정보, 머신 러닝 알고리즘 정보 등을 저장할 수 있다. 또한, 제2 저장부(21)는 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법에 대한 제어 프로그램을 저장할 수 있다. 또한, 제2 저장부(21)는 생성되거나 업데이트된 저혈당 예측 모델을 저장할 수 있다.
- [0227] 예를 들어, 제2 저장부(21)는 그 유형에 따라 하드디스크 타입(hard disk type), 마그네틱 매체 타입(magnetic media type), CD-ROM(compact disc read only memory), 광기록 매체 타입(Optical Media type), 자기-광 매체 타입(magneto-optical media type), 멀티미디어 카드 마이크로 타입(multimedia card micro type), 플래시 메모리 타입(flash memory type), 롬 타입(read only memory type), 또는 램 타입(random access memory type) 동일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 제2 저장부(21)는 그 용도/위치에 따라 캐시(cache), 버퍼, 주기억장치, 보조기억장치, 또는 별도로 마련된 저장 시스템일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0228] 제2 제어부(22)는 제2 저장부(21)에 저장된 정보를 이용하여 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 저혈당 예측 모델 생성 방법의 수행을 제어할 수 있다. 또한, 제2 제어부(22)는 연속 혈당 정보의 측정, 또는 혈당 관련 정보의 생성을 제어할 수 있다. 다만, 제2 제어부(22)가 수행하는 저혈당 예측 모델 생성 방법은 상술하였으므로,

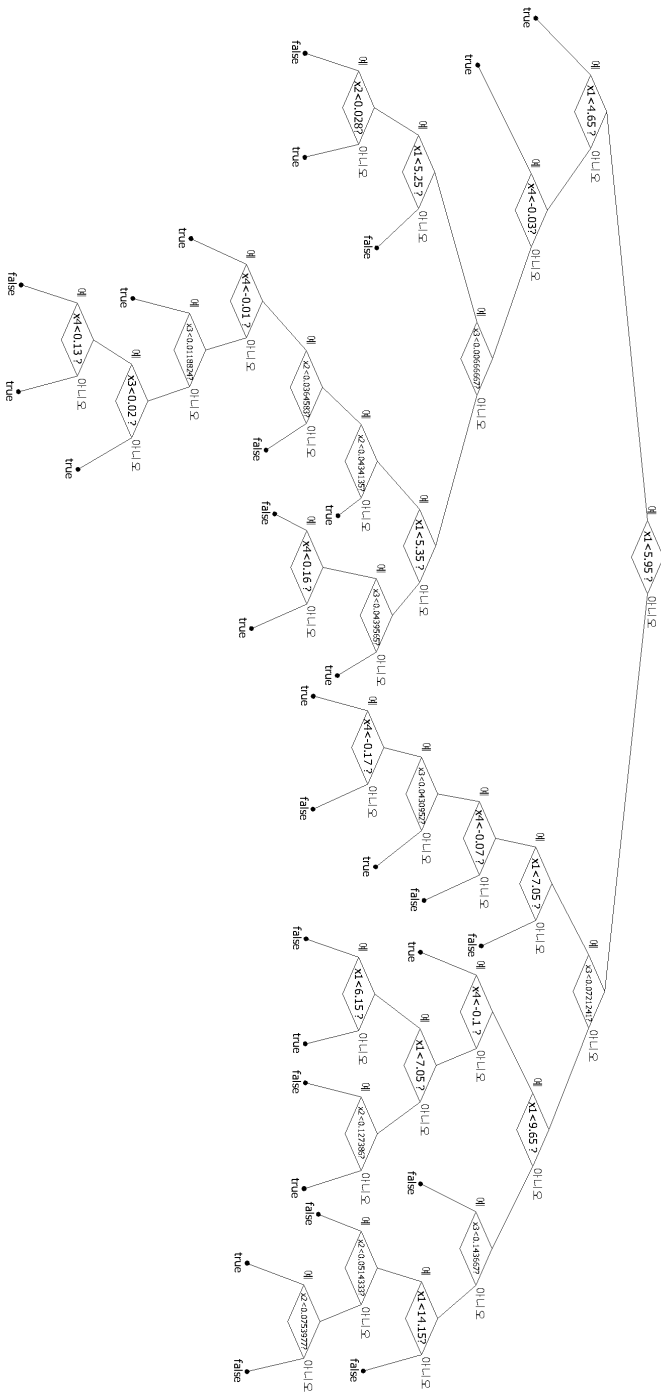
- | | |
|-------------|----------------------|
| 12 : 제1 제어부 | 13 : 제1 입력부 |
| 14 : 제1 출력부 | 15 : 제1 측정부 |
| 16 : 제1 통신부 | 20 : 저혈당 예측 모델 생성 장치 |
| 21 : 제2 저장부 | 22 : 제2 제어부 |
| 23 : 제2 입력부 | 24 : 제2 측정부 |
| 25 : 제2 통신부 | |

도면

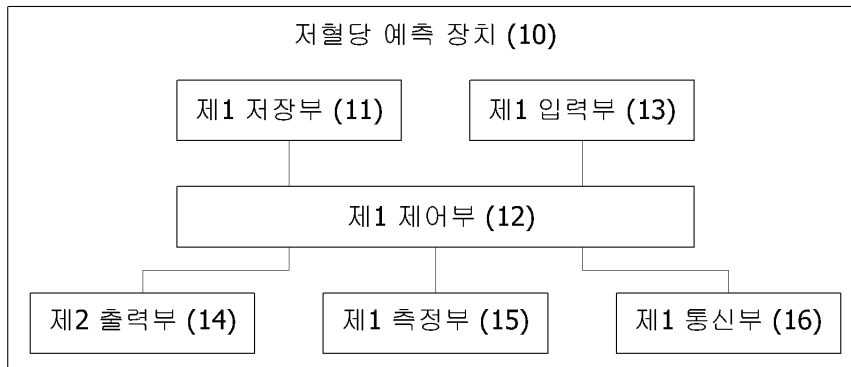
도면1



도면4



도면5



도면6

