

# 당뇨병 환자를 위한 실내자전거 기반 운동 코칭 시스템

## Exercise Coaching System based on Indoor Bicycle for Diabetic Patients

박제창, 이제훈

강원대학교 공학대학 전자정보통신공학부

Jai-Chang Park(aristojeff@gmail.com), Je-Hoon Lee(jehoon.lee@kangwon.ac.kr)

### 요약

당뇨 환자는 혈당을 정상 범위로 유지하기 위해 운동, 식이, 투약요법을 병행해야만 한다. 운동은 혈당 강하와 정서적 안정에 효과가 크고, 유산소 운동 부하와 혈당 강하간 관계를 규명하려는 많은 연구들이 있다. 그러나, 환자들이 가정에서 쉽게 적절한 운동 부하를 산출하고, 이에 따라 개인별로 운동을 코칭하는 운동 시스템 연구는 부족하다. 본 논문은 실내자전거를 기반으로 운동 정보 자동취득 장치와 모바일 앱을 개발하였고, 이를 통해 개인별 간이 운동 부하 검사와 운동 코칭 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통해, 실내자전거를 이용한 운동 부하 검사와 코칭에 따른 운동전후 혈당 변화를 측정하였다. 모든 실험자의 혈당은 운동 후 감소되었고, 당뇨 환자는 운동 종료 30분 후에도 낮아진 혈당이 유지되었다.

■ 중심어 : | 당뇨 | 운동요법 | 실내자전거 | 운동부하 |

### Abstract

Diabetic patients need exercise, diet and medication to keep normal glucose levels. Therapeutic exercise is good to control the glucose level and emotional stability. There are many studies to identify the relationship between them glucose drop and exercise load. However, there are few studies on exercise system that patients can easily calculate appropriate exercise tolerance at home and coaching exercise by individual. This paper presents simple exercise tolerance test and exercise coaching algorithm with indoor bicycle. We measure the change of glucose level before and after exercise. Then, the coaching program for the exercise is established by the proposed exercise tolerance test. From the simulation results, glucose levels were decreased after exercise for all experimental participants. The diabetics kept the lowered glucose level after 30 minutes of exercise.

■ keyword : | Diabetes | Therapeutic Exercise | Indoor Bicycle | Exercise Tolerance |

## 1. 서론

당뇨병은 체내 혈당 조절을 하는 인슐린이 선천적으

로 부족하거나, 후천적으로 유전, 잘못된 생활습관, 노화로 체내 인슐린이 부족해져 발생한다. 최근 고령 인구가 증가와 생활 습관 변화로 당뇨 환자가 급증하고 있

\* 이 연구는 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2015R1D1A1A01061237). 또한, 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017H1D8A1028271).

접수일자 : 2018년 11월 01일

수정일자 : 2018년 11월 26일

심사완료일 : 2018년 12월 10일

교신저자 : 이제훈, e-mail : jehoon.lee@kangwon.ac.kr

다. 2018년 국내 당뇨 환자는 501만 명으로 성인 10명 중 1명은 당뇨를 앓고 있다[1]. 특히 당뇨는 그 자체보다 신장질환, 망막증과 신경장애 같은 합병증이 더 위험하다. 2014년 합병증이 없는 당뇨 환자는 연평균 118만원을 의료비로 지출하나, 대혈관 합병증을 가진 환자들은 연평균 1,047만원을 지출한다고 보고되었다. 마지막으로, 만성당뇨는 육체적 고통뿐만 아니라 정신적 스트레스로 환자의 삶의 질이 크게 저하된다. 따라서, 당뇨 환자가 생애 전주기간 꾸준히 혈당을 관리하도록 돕는 혈당 관리 프로그램 개발이 필수적이다.

당뇨는 완치보다 혈당을 정상 범위내로 꾸준히 유지하는 것이 치료의 목적이다. 혈당 관리가 소홀한 환자들은 불안, 우울, 후회 등 정서적 스트레스까지 겪는다[2][3]. 꾸준한 혈당 관리를 위해 환자 스스로 주기적인 혈당 측정과 잘못된 생활 습관 개선이 필요하다. 이를 통해 환자 스스로 혈당을 통제하고 조절할 수 있다는 자존감도 높아진다. 환자들은 투약외에 규칙적인 운동과 적절한 열량의 식사 조절이 필요하다. 특히, 운동은 심혈관 관련 합병증 위험 감소와 정서 안정에 효과가 높다. 운동은 이처럼 혈당 관리에 중요하나 환자 스스로 적절한 운동량을 산출하기 어렵다. 개인별로 신체 조건이 달라서, 적합한 운동 강도와 운동량을 알기 위해서는 운동부하검사가 필요하다[4]. 기존 당뇨 환자를 위한 운동요법 연구들은 주로 병원을 내원한 환자를 대상으로 1회성으로 시행되었다. 환자들을 연령과 성별로 나누고, 그룹별로 적정 운동 부하를 산출하거나, 단기간 운동요법의 효능을 산출한다.

당뇨 환자의 운동요법 연구는 트레드밀, 에르고메터, 스텝퍼같은 기구나 걷기와 뛰기 등 유산소 운동으로 수행한다[5-14]. 에르고메터를 이용한 연구 결과[5], 정상인과 당뇨 환자 모두 운동전 혈당보다 운동 후 혈당이 감소되었다. 정상인은 운동 한시간 후 측정된 혈당이 운동전과 차이가 없으나, 환자군은 운동전 혈당의 80% 수준으로 낮아진다. 당뇨 환자의 운동 강도에 따른 혈당 반응 연구는 고강도 운동이 운동 직후 혈당을 더 크게 내리고, 지속적인 중강도 운동보다 간헐적 고강도 운동을 포함해야 혈당 수치가 더 감소함을 보였다[6]. 유산소 운동에 저항성 운동을 병행하면 효과가 크다[7].

운동요법과 혈당간 영향 분석에 관한 연구는 많으나, 운동기구에 IoT 기술을 접목하여 개인별 운동 코칭을 수행하는 연구 혹은 이를 지원할 수 있는 헬스케어 시스템 개발에 대한 연구는 부족하다. 본 논문은 이를 해결하기 위해 가정용 유산소 운동기구인 실내자전거에 두 가지 기능을 추가하였다. 첫째, 서로 다른 체력에 따라 환자별로 운동 부하를 검사한다. 둘째, 환자가 운동할 때마다 운동량을 자동 기록하고, 환자가 목표한 운동 부하에 따라 운동할 수 있도록 코칭한다.

## II. 당뇨환자를 위한 운동 요법

당뇨 환자에게 운동요법은 식이요법과 함께 중요한 치료 방법이다. 운동요법은 병원에서 환자별로 체력을 검사하고, 운동 부하에 따른 혈당 강하량을 확인 후 처방된다. 운동 강도 측정은 운동 부하 검사중 산소섭취량 혹은 심박수로 평가한다. 미국당뇨병학회는 최대심박수의 50-70%, 일본의학회는 심박수예비량의 40-60%를 2형 당뇨 환자의 적정 운동 강도로 추천한다[15]. 즉, 적정 운동 강도는 환자별로 운동부하검사를 수행한 후, 환자의 최대심박수 혹은 최대산소섭취량에 따라 결정된다. 이들 권고안에 따라 한국 당뇨 환자의 운동 능력을 평가하고, 도출된 최대 심박수에 따라 적정 운동 강도를 결정한 연구가 있다[8]. 581명의 당뇨 환자를 대상으로 최대심박수와 나이간 연관성을 회귀 분석한 후, 최대심박수,  $HR_{max}$ 를 식 (1)과 같이 산출하였다.

$$HR_{max} = 172 - (0.675 * age([year])) \quad (1)$$

운동처방은 운동을 어떤 강도로 하는 지뿐만 아니라 어떤 운동과 이를 얼마나 오래 하는지도 중요하다. 운동 검사는 유산소 운동기구인 에르고메터, 트레드밀과 벤치 스텝 테스트를 주로 한다. 트레드밀은 보행 속도와 경사도로 운동 부하를 주고, 에르고메터는 페달의 저항과 속도로 운동 부하로 준다. 운동 부하 검사 중 혈압과 심박을 측정한다. 혈당은 대부분 운동 부하 검사

진, 검사 직후, 검사후 30분 및 60분 후 혈당을 측정하여 운동 부하와 혈당간 관계를 분석한다. 저강도, 중강도 및 고강도 운동을 각각 수행한 결과, 운동에 따른 혈당 강하량은 운동 강도와 운동 시간 모두에 비례한다[5]. 지속적인 중강도 운동보다 간헐적인 고강도 운동을 포함시 혈당 수치가 더 많이 감소하였다. 즉, 짧은 시간 고강도 운동을 하는 대신, 중강도와 간헐적인 고강도 운동을 45분 이상 하는 것이 혈당 강하에 유리하다.

당뇨 환자의 운동량을 결정하기 위해서는 개인의 체력 수준 파악뿐만 아니라 동일 강도의 운동 반복에 따른 신체 적응도도 고려되어야 한다. 즉, 최대산소섭취량 등 고가의 운동 부하 검사를 당뇨 발병 초기에 한번만 하는 것보다, 자주 사용하는 유산소 운동기구를 이용하여 자주 운동 부하 검사를 수행하는 것이 좋다. 운동 부하 검사시 산소섭취량과 심박수는 일차원적 상관 관계가 있고[8], 산소섭취량에 비해 측정이 간편한 심박수를 활용한 운동 부하 측정이 유리하다.

본 논문은 환자들이 가정에서 실내자전거를 이용하여 환자에게 적합한 운동 부하를 쉽게 측정할 수 있는 방법과 측정된 운동 부하에 따라 개인별로 적합한 운동 방법을 결정하고 운동중에 실시간으로 코칭하는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 매 운동시 운동 정보를 자동으로 획득하고, 사용자가 운동 전후 기록한 혈당 측정값과 비교하여 환자는 혈당 관리에 적합한 운동 강도를 알 수 있다. 운동과 혈당 강하량에 따라 환자 스스로 운동 코칭에 제시된 운동 부하를 조절함으로써 효율적인 운동요법을 지속할 수 있도록 코칭한다.

제안된 실내자전거 기반 운동 부하 측정 방법은 다음과 같다. 기존 운동부하검사법은[5][7]은 에르고메터에 초기 20 혹은 25 Watts 부하로 운동을 시작하고, 매 2분 20 혹은 25 Watts의 부하를 증가시킨다. 그 후 피검자가 운동을 지속할 수 없을 때까지 실시하고, 운동 중단은 운동부하검사시 중지기준[19]에 따른다. 본 연구는 에르고메터와 달리 운동부하를 Watts로 강제할 수 없기에 실내자전거 회전 속도로 운동 부하를 결정한다. 운동 부하 검사가 시작되면, 사용자는 초기 2분동안 20km/h의 속도까지 운동 속도를 상승시킨다. 그 후, 매 2분마다 운동 속도를 2km/h씩 증가시키고, 환자가 운

동을 지속할 수 없는 상태까지 운동한다. 제안된 실내자전거는 사용자가 운동 속도가 검사 목표치보다 낮을 경우 사용자에게 안내한다. 운동부하검사가 종료된 후, 검사 시간내 측정된 심박수중 최대값을 사용자의 최대 심박수로 결정한다. 최대심박수의 50%-70% 구간을 사용자에게 적합한 운동 강도 구간으로 추천한다. 사용자는 운동 부하 검사가 필요할 때마다 언제든지 실행할 수 있다. 즉, 사용자가 장기간 자전거로 운동하여, 자전거 운동이 익숙해져 운동 부하가 예전보다 줄어들었다고 자각되거나, 운동 전후의 혈당 감소량이 줄어들었다고 판단될 때, 사용자는 운동 부하 검사를 수행한다.

당뇨 환자를 위해 제안된 운동 코칭 방법은 다음과 같다. 제안된 실내자전거의 운동 코칭은 환자의 운동 부하 검사 결과를 토대로 결정되며, 환자가 목표한 운동 강도 구간과 운동 강도 주기를 수동으로 조절할 수 있다. 첫째, 운동 강도 구간은 중강도와 고강도 운동으로 구성된다. 자동으로 구성된 운동 코칭은 중강도 운동을 최대심박수의 50% 이상 그리고 70% 이하 구간으로, 고강도 운동을 최대심박수의 60% 이상 그리고 80% 이하 구간으로 구성한다. 환자는 수동으로 이 구간을 변경할 수 있다. 운동중 환자에게 추천된 최대심박수 구간을 벗어날 때 환자에게 이를 알려준다. 둘째, 최대 심박수의 60% 수준의 중강도 운동과 간헐적으로 최대 심박수의 70% 수준의 고강도 운동을 각각 9대 1 비율로 10분 간격으로 한 세트를 구성하고, 사용자는 이를 수정할 수 있다. 30분을 기본 운동 시간으로 설정하고, 환자는 운동 중 10분 간격으로 운동 시간을 늘릴 수 있다. 마지막으로, 환자의 운동전후 혈당 측정값과 운동량을 자동으로 자동 기록하여, 환자 스스로 운동전 미리 측정한 혈당값에 따라 운동량과 운동 강도를 조절토록 한다.

### III. 혈당 관리를 위한 실내자전거 및 모바일 앱

본 장은 개인별 운동 코칭에 따라 환자가 실내자전거로 운동하고, 결과를 자동 기록할 수 있는 실내자전거 기능 추가 방법 및 모바일 앱 연동 방법을 제안한다.

제안된 시스템은 [그림 1]과 같이 구성되고, 네 가지 주요 기능을 갖는다. 첫째, 사용자가 운동할 때, 실내자전거와 웨어러블 밴드에서 운동 정보와 심박 정보를 수집하고, 이를 통해 간이 운동 부하 검사를 수행한다. 이 결과에 따라 개인별 운동 코칭 프로그램이 추천된다. 둘째, 사용자가 운동 중 획득된 운동 정보를 실시간으로 메모리 저장 및 스마트폰 앱으로 전송한다. 셋째, 사용자에게 운동 중 실내자전거와 스마트폰으로 실시간 운동 코칭하고, 이에 따르지 않으면 화면 혹은 음성으로 알린다. 마지막으로 실내자전거에 저장된 운동 정보는 스마트폰 애플리케이션으로 전송되고, 앱은 운동 결과와 혈당 측정값과 비교함으로써, 사용자는 스스로 자가 혈당 관리에 가장 적합한 운동 방법을 체득한다.

실내자전거로 간이 운동 부하 검사를 실시하거나 운동 중 운동 정보 획득을 위해, [그림 2]에 나타난 것처럼 실내자전거의 자전거 패달에 연결된 회전링과 그 고정 축간에 운동 정보 자동 취득 장치를 추가한다. 자전거 패달과 연결된 회전링에 영구자석을 그리고 회전링이 1회전할 때마다 자계를 검출할 수 있는 위치에 자계 감지 센서와 운동 컨트롤러를 설치한다. 운동 컨트롤러는 32-비트 프로세서, 메모리 및 블루투스 통신 모듈을 포함한다. 환자는 블루투스 통신 가능한 심박 센서를 착용한다. 운동 컨트롤러는 회전링의 회전 속도로 운동 속도를 검출하고, 운동 시간과 사용자 심박수를 종합하여 운동 정보를 생성한다. 이렇게 생성되는 운동 정보 실시간으로 사용자에게 보여지고 동시에 메모리부에 저장된다. 운동 컨트롤러는 저장된 운동 정보를 스마트폰 애플리케이션으로 전송하고, 이는 환자의 혈당 측정값 등 의료 정보를 추가하여 웹 서버에 저장된다.

실내자전거에서 운동 정보 취득은 [그림 3]과 같다. 실내자전거의 운동량은 축과 연결된 회전링의 회전 속도가 된다. 회전링이 회전할 때마다 축에 부착된 자계 감지 센서는 자계의 크기로 회전을 인지한다. 프로세서는 회전 수를 카운트하여, 식 (2)에 나타난 것처럼 운동 거리를 계산한다. 실내자전거 기기에 장착된 회전링의 반지름의 크기에 따라 1회전의 거리가 달라진다. 즉, 회전링이  $t$ 회전시, 회전링의 원주의 길이,  $2\pi r$ 과 회전수  $t$ 의 곱이 운동 거리가 된다. 순간 운동 속도는 식 (3)와

같다. 현재 시각  $t$ 와 이전 시각  $t-1$ 의 시간차,  $\Delta t$ 와 식 (2)의 결과인 이동 거리 변화량,  $d_t$ 로 순간 속도를 구한다.

$$d_t = (2\pi r) \cdot t \tag{2}$$

$$v_t = \frac{d_t}{\Delta t} \tag{3}$$

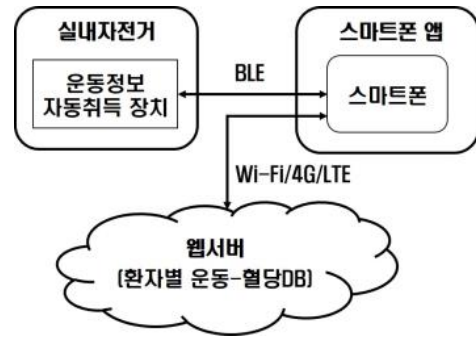


그림 1. 제안한 실내자전거와 스마트폰앱 연동

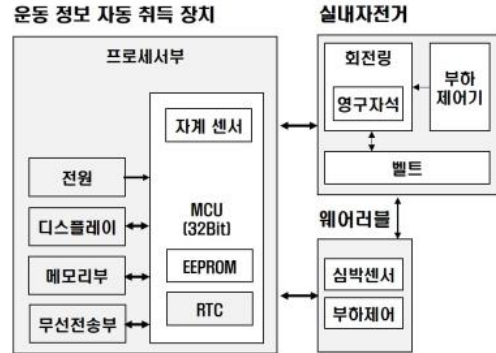


그림 2. 실내자전거 운동 정보 자동 취득 장치

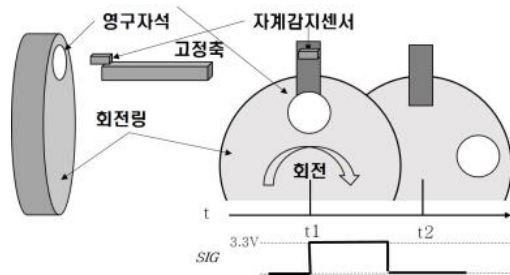


그림 3. 실내자전거 운동 정보 신호 취득 방법

표 1. 실내자전거에 저장하는 운동 정보

데이터 명	Bytes	비고
index	2	메모리 인덱스를 불러오거나 저장.
DateTime	7	운동 종료 날짜, 시간정보 저장.
Mean Speed	2	평균 속도 저장.
Distance	2	운동 거리 총합 저장.
Mean Heart Rate	1	평균 심박수 정보 저장.
Kcal	2	소모 열량 저장.
WorkoutTime	2	운동 시간 저장.

표 2. 제한하는 실내자전거 운동파라미터 실시간 전송, 데이터 동기화를 위한 BLE GATT 프로파일

Service	Characteristic / Uuid 128bit
Fitness machine[16]	Indoor Bike Data 00002AD2-0000-1000-8000-00805f9b34fb
	Treadmill Data 00002ACD-0000-1000-8000-00805f9b34fb
Date time sync (0xAAA0)	Date Time 00000001-0000-1000-8000-00805f9b34fb
	Result String 0000FFF0-0000-1000-8000-00805f9b34fb
Device authentication (0xEEE0)	Encryption 0000EEE1-0000-1000-8000-00805f9b34fb
Data sync (0xFFFO)	Record Control Point 0000FFF1-0000-1000-8000-00805f9b34fb
	Data Sync 0000FFF2-0000-1000-8000-00805f9b34fb

실내자전거에서 획득되는 운동 정보는 [표 1]과 같이, 운동 종료 시각, 운동 시간, 평균 속도, 이동 거리, 운동 부하(평균심박수), 소모 열량으로 구성된다. 개인별로 저장된 운동 부하 검사 결과와 운동 정보를 토대로 환자의 목표 혈당 구간을 유지하는 운동 코칭이 결정된다.

실내자전거와 스마트폰 애플리케이션은 블루투스로 통신하고 실시간 전송과 동기화 전송으로 나뉜다. 환자가 운동 중일 때, 운동 정보를 실시간 전송하고, 그 외의 경우, 스마트폰이 운동 기기 근처에 있을 때 데이터를 동기화한다. 블루투스 GATT (generic attributes)는 [표 2]와 같고, Bluetooth SIG에서 정의한 Fitness machine 서비스[16]를 적용한다. 운동 정보 전송과 기기 동기화를 위해 날짜 시간 동기화, 디바이스 인증, 데이터 동기화의 서비스 프로파일을 수행한다. 디바이스 인증은 보안 강화를 위해 사용되고, 데이터 동기화는 운동 정보 전송을 위해 사용된다. 데이터 동기화는

[그림 4]와 같이, 날짜-시간 동기화와 사용자와 디바이스 인증의 두 사전 인증으로 구성된다. 인증은 AES-128 CBC (cipher block chaining) 모드로, 시스템 결함을 발생시키는 데이터 스푸핑과 환자 정보 패킷 가로채기를 대비한다.

실내자전거의 동작 시나리오는 [표 3]와 같이 6개로 구성되며, 환자의 운동 및 무선 연결 여부에 따라 구분된다. 실시간 전송은 환자가 운동중이고, 서로 연결되면 수행된다. 저장된 운동 정보 동기화는 환자가 운동을 하지 않고, 애플리케이션과 실내자전거간 연결이 성립될 때 수행된다. 즉, 서로 블루투스 연결이 되었다면 실시간 운동 정보를 전송하는 실시간 모드로 동작하며 운동 중이지 않을 때만 데이터 동기화 작업을 진행한다.

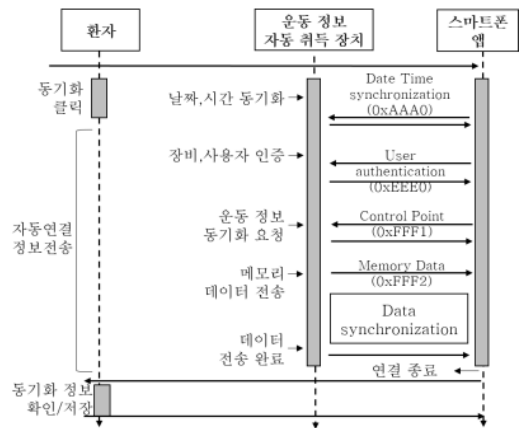


그림 4. 실내자전거와 앱간 데이터 동기화

표 3. 지원하는 시스템 시나리오

시나리오	내용
1	사용자 운동 아님. 앱과 자전거간 블루투스 미연결.
2	사용자 운동 아님. 앱과 자전거간 블루투스 연결.
3	사용자 운동 중. 앱과 자전거간 블루투스 미연결.
4	사용자 운동 중. 앱과 자전거간 블루투스 연결.
5	사용자 잠시 휴식중. 앱과 자전거간 블루투스 연결.
6	사용자 운동 종료. 앱과 자전거간 블루투스 연결 해제.

운동 정보 자동 취득 장치의 동작 순서는 [그림 5]와 같다. 부트로더에서 시스템이 부팅되면 모든 시스템 변

수는 초기화된다. 시스템에 필요한 주변장치 기능 설정, 블루투스 프로파일 설정, 메모리부의 인덱스 저장, 디스플레이 초기화 순으로 설정한다. 시스템 초기화 완료후, 블루투스 연결 여부를 판단하고, 연결되었다면 [표 3]에 도시한 시나리오 2, 4, 5, 6 상태를, 그렇지 않다면, 시나리오 1, 3, 5, 6 상태를 갖는다. [그림 6]은 [그림 5]의 checkUserWorkoutState() 함수를 도시한 것이다. 이 함수의 처리 과정은 환자의 운동 상태와 운동 자동 종료 여부를 판단하는 알고리즘이다. 시나리오 5는 환자가 운동 중 잠시 쉬는 동작으로 3초 이상 자계센서 입력이 없을 경우 실시간 운동 변수를 초기화한다. 시나리오 6은 운동 자동 종료 판단 과정으로 환자가 30초 이상 운동을 지속하지 않은 경우로 설정하였다. 운동 종료로 판정하면, 시스템은 모든 운동 정보를 처리 및 메모리부에 저장하고, 모든 시스템 변수를 초기화한다. 운동 강도는 개인 최대심박수의 50-70%로 설정한다. 이 범위를 벗어나면 경고 알람 및 화면이 실내자전거의 운동 파라미터 자동취득 모듈 또는 이동 단말 애플리케이션에서 발생한다.

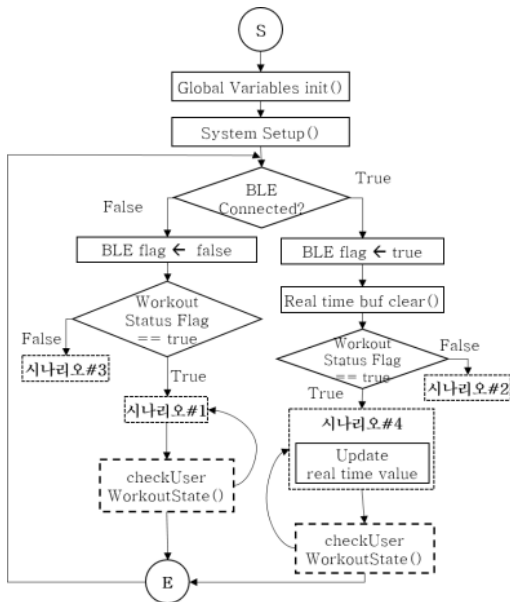


그림 5. 시스템 동작 알고리즘

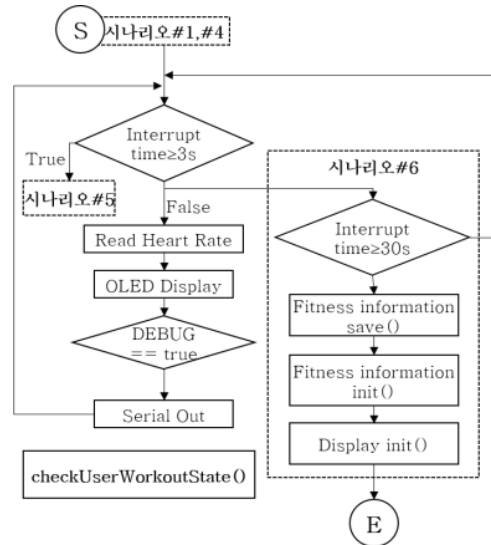


그림 6. 운동 상태 확인과 자동 종료 알고리즘

#### IV. 연구 결과

본 연구는 당뇨 환자가 실내에서 쉽게 운동요법을 할 수 있는 실내자전거와 운동요법 스마트폰 애플리케이션을 제안하였다. 실험을 위해 상용 실내자전거에 운동 정보 자동 취득 장치를 추가하였고, 안드로이드 기반 애플리케이션을 개발하였다.

표 4. 상용 앱들과 제안된 앱의 기능 비교

프로그램명	혈당기록	보행기록	운동기록	운동코칭
삼성헬스[20]	자동	자동	자동	실시간
당뇨수첩[21]	수동	자동	수동	-
스마트로그[22]	자동	미지원	수동	
코치코치당뇨[23]	자동	자동	수동	
iCared[24]	자동	자동	수동	
inPHRdiab[25]	자동	자동	수동	
제안한 앱	자동	자동	자동	실시간

제안된 연구와 기존 상용 앱들간의 기능 비교는 [표 4]와 같다. 대부분 혈당 관리 앱들은 혈당측정기와 연동되고, 혈당 측정값이 앱에 자동 저장된다. 기존 앱들의 경우 보행 혹은 운동 기록들은 당뇨 환자가 수동으로 입력한다. 삼성헬스와 코치코치당뇨 등 스마트폰 혹은

웨어러블 밴드와 연동되는 앱들은 자동으로 보행 기록을 저장한다. 특히, 삼성헬스는 다양한 운동들에 대한 실시간 코칭 기능을 제공하나 당뇨 환자를 위한 특정 목적의 운동 코칭은 지원하지 않는다. 당뇨 환자는 혈당 관리를 위해 유산소 운동이 중요하고, 개인적 운동 능력과 운동량에 따른 혈당 강하량을 고려한 운동 코칭이 요구된다. 제안된 앱은 실내자전거에 IoT 기술을 추가하여, 운동 정보를 자동으로 기록한다. 뿐만 아니라, 사용자가 직접 간이 운동 부하 검사를 실시하고, 이 결과에 따라 개인별 운동 코칭을 지원한다.

운동 정보 자동 취득 장치는 32-비트 프로세서, 자계 센서, SD카드, BLE 모듈로 구성되며, [그림 7]과 같이 PCB로 구현된다. [그림 8]은 스마트폰 앱 화면을 나타내며, [그림 8 (가)]는 실내자전거들과 혈당계의 장치 등록 화면이고 [그림 8 (나)]는 운동 코칭 화면이다. 이는 장치별 동기화, 실시간 전송 모드, 장치 상세 정보와 장치 삭제를 포함한다. 안드로이드 앱은 Java 1.8과 Kotlin[17]로 제작되었고, 운영체제 최소 버전은 API 19 (version name : Kitkat)으로 설정하였다.

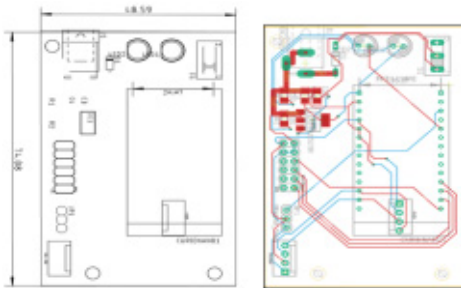


그림 7. 운동 정보 자동 취득 장치 PCB 패턴 결과

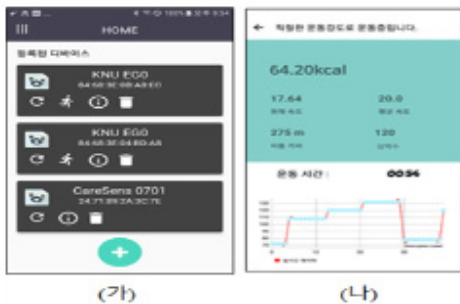


그림 8. 제안한 스마트폰 앱 UI (가) 장치 등록 화면, (나) 실시간 운동 코칭 화면

모듈 구성 및 스마트폰 앱 설계 후, 이들을 연동하여 운동 부하 검사 동작을 검증하였다. 일반 성인 실험자 3인의 개인 최대 심박수검사와 심박수를 사용한 운동 부하검사, 혈당 변화를 측정하였다. 최대심박수 검출을 위해 운동 속도를 처음에 20.0 km/h로 시작한 후, 운동을 지속할 수 없을 때까지 매 2분간 2.0 km/h씩 운동 속도를 증가시켰다. 운동 시간은 대한당뇨병학회에서 권장한 30분부터 1시간 사이로 설정하였다. 운동 부하 검사는 초기 10분은 15-20 km/h의 중강도, 10분부터 20분 사이는 20km/h 이상 고강도, 그리고 마지막 30분까지 다시 15-20 km/h의 중강도 운동으로 설정하였다. 운동 부하 측정은 심박수를 기준하였다. 실내자전거에 채택한 심박 센서와 대조군으로 사용한 Polar T-34간 평균 오차는 1.92, 오차율 평균은 1.5%로 98.5%의 정확도를 보였다. 또한, 환자의 운동 자각도를 1(쉽다)부터 5(매우 힘들다)까지 5단계 범위를 설정하고 심박수와 동일하게 30초 간격으로 개인이 느끼는 운동 강도를 질의를 통해 기록했다. 정확한 운동과 혈당간 영향 분석을 위해 운동은 식후 30분 실험을 수행하였고, 운동 시작 전, 운동 시작 후 10분 간격으로 혈당 측정기로 혈당 변화를 기록하여 유산소 운동 후 혈당 변화를 관찰하였다.

운동 부하 검사인 심박수, 개인 운동 자각도 결과는 [그림 9]와 같다. 이는 운동 코칭 알고리즘에서 설정한 운동 강도 변화에 따라 운동한 실험자의 심박 수 변화를 나타낸다. 중강도 운동 시 모든 실험자에게서 심박 수 상승을 보였고 고강도 운동 구간에서 개인 최대 심박수의 80%까지 심박 수치 상승을 보였다. 이어진 중강도 운동 구간에서 심박수가 안정상태로 하강하는 경향을 보였다. 또한, 모든 실험자가 운동 속도가 증가함에 따라 운동 부하 즉, 심박 수가 비례적으로 증가함을 보였다.

운동부하 실험에 대한 혈당 변화 결과는 [그림 10]과 같다. 실험 시작 전 혈당과 유산소 운동 후 혈당은 차이가 있으며 모든 실험자에 대해서 운동 종료 10분 후 혈당은 운동 시작 전 혈당 대비 감소했다. 그러나 고강도 운동 종료 후 모든 실험자에게서 혈당 상승을 보이는데 이는 선행 연구[18]과 같이, 고강도의 짧은 운동 수행 시 포도당 생성이 증가해 발생한 혈당 증가로 보인다.

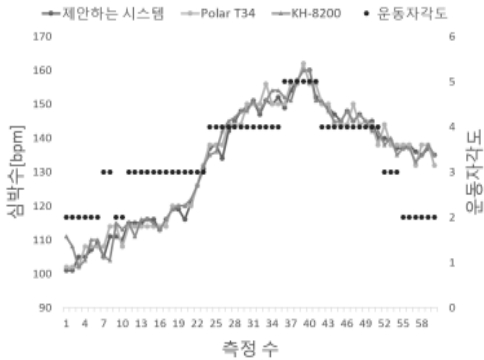


그림 9. 운동부하실험 심박수

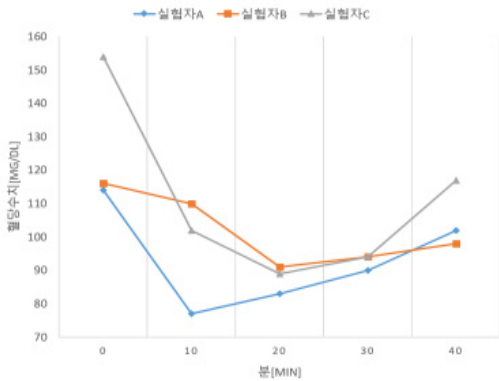


그림 10. 운동부하실험시 실험자 혈당 변화

## V. 결론

당뇨병 환자에게 운동요법은 혈당 관리외에도 심혈관 관련 합병증 예방과 스트레스 해소 등 정서적 안정에 큰 효과가 있다. 당뇨 환자를 위한 운동요법은 유산소 운동을 중심으로 수행되며, 환자에게 적절한 운동 강도와 운동 시간을 알기 위해 운동 부하 검사를 수행한다. 본 논문은 실내자전거를 기반으로 환자 스스로 간이 운동 부하 검사와 이를 통해 결정된 운동 코칭 알고리즘으로 운동할 수 있는 실내자전거 및 스마트폰 어플리케이션을 제안한다. 운동 부하 검사 동작을 검증하기 위해 일반 성인 실험자 3인의 개인 최대 심박수검사와 심박수를 사용한 운동부하검사, 혈당 변화를 측정하

였다. 실내자전거에 채택한 심박 센서와 대조군으로 사용한 Polar T-34간 평균 오차는 1.92, 오차율 평균은 1.5%로 98.5%의 정확도를 보였다. 운동부하 실험에 대한 혈당 변화는 실험 시작 전 혈당과 유산소 운동 후 혈당은 차이가 있으며 모든 실험자에 대해서 운동 종료 10분 후 혈당은 운동 시작 전 혈당 대비 감소하였다. 제안된 실내자전거를 이용한 헬스케어 시스템을 이용하여 당뇨병 환자는 저혈당에 대한 걱정 없이 스스로 적합한 운동 강도를 파악하고, 이에 따라 운동하여 효과적으로 혈당을 관리할 수 있다. 향후, 본 연구를 다른 유산소 운동 기구에 적용하는 방법에 대한 추가 연구가 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] Korean Diabetes Association, *Diabetes Fact Sheet in Korea 2018*, KDA, 2018.
- [2] 장수미, “가족유형과 가족지지가 노인 당뇨병환자의 우울에 미치는 영향,” *한국가족복지학*, 제22권, 제4호, pp.35-66, 2008.
- [3] 이한울, 박현순, “당뇨병 환자의 자가-관리 행동에 대한 영향 변인 탐구 : 계획된 행동이론을 적용하여,” *한국광고홍보학보*, 제12권, 제4호, pp.327-362, 2010.
- [4] 남상남, 박정범, 이형주, “당뇨 유·무에 따른 VO<sub>2</sub> peak가 복부둘레, 혈중지질 및 혈압에 미치는 영향,” *한국콘텐츠학회논문지*, 제12권, 제12호, pp.363-371, 2012.
- [5] 이태임, “당뇨 환자에서 자전거 운동 측력계를 이용한 운동 부하 검사,” *Annals of Rehabilitation Medicine*, 제21권, 제2호, pp.414-420, 1997.
- [6] 이상현, 박동호, “운동 강도에 따른 제1형 당뇨병 환자의 혈당 반응,” *운동과학*, 제23권, 제2호, pp.139-147, 2014.
- [7] 안근희, 민경완, 한경아, “비만하지 않은 제2형 당뇨병 환자에서 유산소 운동훈련과 저항성 운동훈련의 효과,” *Diabetes and Metabolism Journal*, 제



29권, 제5호, pp.486-494, 2005.

[8] 안근희, 한경아, 민경완, “한국인 제2형 당뇨병 환자의 운동능력 평가 및 실측한 최대 심박수에 근거한 적절한 운동강도 산출법,” *Diabetes and Metabolism Journal*, 제29권, 제5호, pp.479-758, 2005.

[9] 구윤희, 구보경, 안희정, 정지연, 석희근, 김호철, 한경아, 민경완, “제2형 당뇨병환자에서 유산소 운동 강도에 따른 인슐린저항성의 변화,” *Diabetes and Metabolism Journal*, 제33권, 제5호, pp.401-411, 2009.

[10] 손희정, 김채문, 어수주, 김창근, 김효정, “일회성 운동이 제 2형 당뇨병환자의 경구당부하에 의한 당 대사 및염증지표에 미치는 영향,” *한국스포츠학회지*, 제9권, 제3호, pp.553-562, 2011.

[11] 제갈윤석, 이미경, 김은성, 박지혜, 이현지, 한승진, 강은석, 이현철, 김소현, 전용관, “걸기량과 신체활동이 제2형 당뇨병환자들의 혈당에 미치는 영향,” *Diabetes and Metabolism Journal*, 제32권, 제1호, pp.60-67, 2008.

[12] 최은진, “제2형 당뇨병 환자의 신체활동이 혈당 조절에 미치는 영향,” *성인간호학회지*, 제23권, 제3호, pp.298-307, 2011.

[13] 임강일, 김규호, “여성노인 당뇨병 환자의 심폐 체력 평가를 위한 Tecumesh step test의 타당성,” *한국특수체육학회지*, 제25권, 제1호, pp.149-160, 2017.

[14] 최필병, 이명천, “최신 당뇨병과 운동치료,” *코칭 능력개발지*, 제8권, 제2호, pp.23-29, 2006.

[15] R. J. Sigal, G. P. Kenny, D. H. Wasserman, C. Castaneda-Sceppa, and R. D. White, “Physical activity/exercise and type 2 diabetes,” *Diabetes Care*, Vol.29, No.6, pp.1433-1438, 2006.

[16] [https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/viewer?attributeXmlFile=org.bluetooth.service.fitness\\_machine.xml](https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/viewer?attributeXmlFile=org.bluetooth.service.fitness_machine.xml), 2018.9.21.

[17] <https://kotlinlang.org>, 2018.10.7.

[18] E. Marliiss and M. Vranic, “Intense exercise

has unique effects on both insulin release and its roles in gluco-regulation,” *Diabetes*, Vol.51, No.1, pp.S271-283, 2002.

[19] L. Hermansen and I. Stensvol, “Production and removal of lactate during exercise in man,” *Acta Physiol Scand*, Vol.86, No.2, pp.191-201, 1972.

[20] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sec.android.app.shealth&hl=ko>, 2018.11.7.

[21] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.smc.mobile.diabetesdiary>, 2018.11.7.

[22] <https://play.google.com/store/apps/details?id=air.SmartLog.android>, 2018.11.7.

[23] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sktelecom.sktdmb2c>, 2018.11.7.

[24] <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.co.mediex.icared>, 2018.11.7.

[25] <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.co.softnet.inPHRdiab>, 2018.11.7.

#### 저 자 소 개

#### 박 제 창(Jai-Chang Park)

준회원



- 2017년 2월 : 강원대학교 전자정보통신공학부 전자공학전공(공학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 전자정보통신공학과

<관심분야> : 모바일 헬스케어, 사물인터넷, 웨어러블 기기, 앱 프로그래밍

이 제 훈(Je-Hoon Lee)

정회원



- 1999년 8월 : 충북대학교 정보통신공학(공학사)
  - 2001년 2월 : 충북대학교 통신회로및시스템공학(공학석사)
  - 2005년 2월 : 충북대학교 통신회로및시스템공학(공학박사)
  - 2005년 4월 ~ 2006년 4월 : Univ. of Southern California, USA 박사후연구원
  - 2008년 8월 ~ 2008년 12월 : Murdoch Univ, Australia 초빙연구원
  - 2006년 7월 ~ 2009년 8월 : 충북대학교 BK21 정보문화사업단 초빙조교수
  - 2017년 1월 ~ 2018년 1월 : Cal. Poly, Pomona 방문연구원
  - 2009년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 전자정보통신공학부 부교수
- <관심분야> : 저전력 회로설계, 임베디드시스템, 헬스케어 시스템, IoT