

스마트병원 서비스 국외 사례의 시사점

공현중 (서울대학교병원 융합의학과/교수), 권혁태 (서울대학교병원 가정의학과/교수),
이호영 (분당서울대학교병원 핵의학과/교수), 차원철 (삼성서울병원 응급의학과/교수)

I. 서론

1. 스마트병원의 등장 배경

- 최근 의료분야는 의료소비자를 중심으로 질병의 치료에서 예방중심의 의학으로 전환되고 있다. 이 같은 변화에 발맞추어 병원이 4차산업혁명과 관련한 AI(인공지능), 로봇공학 및 신기술을 도입하여 질병의 진단 및 치료의 품질 향상에 대한 기대감이 높아지고 있다.
- 이러한 최신 정보통신기술을 통합하여 클리닉·약국·재활센터 등 지역사회의 다른 연관 의료시설과 상호 연계하며, 다양한 건강 정보를 제공하여 환자 스스로 치료 방법을 선택할 수 있도록 ‘환자 중심적’인 서비스를 제공함으로써 국가적 의료비용 절감의 필요성이 대두되고 있다[1,2].
- 이러한 이유로 주요국에서는 스마트병원 관련 산업 육성을 위한 다양한 지원책들이 추진 중이고, 전 세계적으로 스마트병원 관련 시장이 확대되고 있다[1].

2. 스마트병원의 국외사례 조사의 필요성

- 정보통신기술을 의료현장에 적용하기 위한 노력은 과거부터 지속적으로 이루어져 왔고, 이러한 관점이 병원 단위로 적용된 첫 사례로 ‘디지털병원’의 개념이 존재한다.
- ‘디지털병원’은 국내에서는 2000년대 초반 대두된 개념으로, 기존의 환자 진료에 관한 모든 기록을 차트, 필름, 슬립, 종기와 펜을 중심으로 한 아날로그 업무 방식에서 벗어나, 처방전달시스템(CPOE), 의료영상전달시스템(PACS), 전자의무기록시스템(EMR), 병원업무시스템 구축을 통해, 4-Less(Filmless, Chartless, Slipless, Paperless) 방식으로 병원 업무의 완전 전산화를 선언한 개념이다[3,4].
- 이러한 디지털병원은 병원 업무 방식의 디지털 전환의 개념임에 반해, 스마트병원은 최근의 글로벌 정보통신 분야 혁신 기술을 의료서비스에 적용하는 것을 특징으로 하고 있지만, 스마트병원의 개념이 학술적으로 명확하게 정의된 것은 아니다.

- 스마트병원은 그 효과성에 대한 사례가 부족하긴 하지만, 시장조사기관, 정보통신단체, 의료서비스업체, 의료기관 등에서는 산업적, 기술적 관점에서 그 개념을 다음과 같이 다양하게 정의하고 있다.

표 1. 스마트병원에 대한 다양한 정의[2,5,6]

구분	내용
Frost & Sullivan	정보통신 기반의 통합솔루션을 이용하여 이용자의 과잉 지출을 최소화하고 의료사고를 미연에 방지할 수 있는 의료 행위를 제공하는 의료기관
카렌 테일러	기존 환자 치료절차를 개선하고 새로운 기능을 도입을 목표로 ICT 환경을 최적화하고 자동화 프로세스를 구축한 의료기관
ENISA	IoT 기술에 기반해 환자 치료 과정을 개선하고, 병원 내부 자산과 연결된 ICT 환경을 구축해 자산 관리를 최적화하고, 업무 자동화 프로세스를 활용하는 병원
윤여동(2018)	병원이 보유하고 있는 의료인력, 시설, 정보, 장비 등의 다양한 자원을 ICT를 활용하여 환자의 안전한 돌봄과 효율적인 병원 관리를 위한 통합관리 시스템을 구축한 의료기관
서울아산병원 이노베이션디자인센터	4차 산업혁명관련 기술을 활용해 의료의 질, 환자안전, 환자경험, 생산성에서 기존병원의 한계를 뛰어넘는 차세대 병원
보건복지부	환자안전 강화, 진단 및 치료 질 제고, 비용절감 등 의료서비스 개선을 위해 5G, 아이오티(IoT) 등 ICT를 적용해 의료서비스를 제공하는 병원

- 본고에서는 스마트병원의 정의 및 서비스 유형을 알아보고 유형별 국외사례와 효과성을 조사하여, 국내 의료기관의 스마트병원 적정 도입 범위 및 수준과, 육성 및 확산방안을 제안하고자 한다.

II. 스마트병원의 개념 탐색

1. 스마트병원 관련 문헌 조사

- 스마트병원과 유사한 개념으로 미국에서는 2009년 RFID Educational Foundation에서 후원하는 ‘RFID in Healthcare Consortium’에서 ‘Intelligent Hospital’이라는 용어를 사용하기 시작하였다. 이 개념을 통해 실시간 위치추적 기술, 통신 기술 및 상호운용성 기술 등을 수술실, 입원실, 외래 등 병원 내 다양한 공간에 적용하는 서비스를 제시하였다[7].
- 이러한 Intelligent Hospital 제품 및 서비스 업체들을 중심으로 미국에서 Intelligent Health Association (IHA)이라는 단체가 설립되어, 양질의 관련 기술 교육을 제공하여 산업계에 신기술 채택 및 구현, 그리고 시장 확대를 유도하고 있다. 또한, 의료기관에서는 Intelligent Hospital 서비스를 통해 환자 관리 및 안전을 향상시키고, 의료비용을 절감하며, 환자경험 혁신을 추구하고 있다. IHA 산하에는 유기적 관계를 갖는 여러 기술 그룹들이 존재하고, 이들은 자체 경영진과 자문단을 구성하여 외부 교육프로그램 운영하고 있다. IHA는, 생체인식, RFID, NFC, 센서, 나노기술, 블루투스, MEMS (Micro-

Electro Mechanical Systems) 기술, 무선통신망, 스마트폰, 태블릿, 웨어러블기기 등을 중점기술로 선정하였고, 이를 활용할 수 있는 의료 서비스 분야로 병원, 생활보조시설, 요양원, 호스피스, 소비자 건강 프로그램을 제공하는 체인형 약국 등을 제시하고 있다[8].

- 맥킨지 헬스는 스마트병원의 주요 특징을 다음과 같이 6가지 관점에서 소개하였다[5,9].

표 2. 맥킨지 헬스가 소개한 스마트병원의 주요 특징[5,9]

구분	내용
1 시스템의 상호운영성 확보	사람, 시스템 및 프로세스가 서로 연결되어 효율적으로 데이터를 공유하고 진단, 치료, 관리 및 비즈니스 의사결정에 도움이 될 수 있도록 통합운영 되어야 한다.
2 모바일 통합 솔루션	사람, 장비, 기술 등 모든 자원이 모바일로 통합되어 치료의 시점을 최대한 좁히는데 있다.
3 모든 정보의 디지털화	병원에서 생성되는 모든 정보는 가능하면 보고 및 분석에 사용될 수 있도록 개별 및 구조화된 형식으로 저장되어 종이 없는 자동화된 작업흐름을 지향한다.
4 통일된 의사소통 체계 구축	오디오, 비디오, 데이터의 통합을 통해서 환자와 보호자, 의료진 등 모든 이해관계자 간의 원활하고 안전한 의사소통을 가능하게 한다.
5 안정적인 핵심 인프라 제공	안정적인 고속 네트워킹, 완벽한 식별기술, 센서 네트워크 및 임베디드 시스템 등의 상호연결을 한다.
6 시스템의 자동화	이러한 모든 특징은 병원관리의 효율성과 생산성을 높여 더욱더 향상된 환자치료 경험에 기여할 수 있어야 한다.

- 한국보건산업진흥원에 의하면, 스마트병원은 의료진의 수작업 대신 다양한 정보통신 기술을 활용하여 의료서비스의 생산성과 정확도를 개선하고, 새로운 스마트 의료 기술들을 도입하여 환자 만족도를 증가시키며, 의료소비자 중심적 서비스를 제공할 수 있다고 하였다. 또한 빅데이터 분석 기술을 통해 질병의 정확한 진단·조기발견·치료가 가능해지고, 고급 IT기술 뿐 아니라 다른 의료 생태계와 연계가 가능하며 의사·간호사·관리직 등 모두의 참여를 필요로 하는 전체론적 시스템 구축 접근법이 필요하다고 하였다[1].

2. 스마트병원 관련 전문가 인터뷰

- 의료기관에서 병원정보시스템 운영 및 개발 관련 전담 부서(e.g. 정보화실, 의료정보센터, 빅데이터센터 등)에서 업무 경험이 있는 상급종합병원 소속의 전임 교원이나, 헬스 IT 관련 전문 학술단체(e.g. 대한의료정보학회, 대한의료인공지능학회, 대한영상정보학회 등) 활동 경험을 보유한 연구자를 대상으로 스마트병원 개념 및 서비스 유형에 대한 인터뷰를 진행하였다.
- 최종적으로 헬스 IT 분야 전문 학술단체장과 상급종합병원 경영진 이력을 보유한 임상 연구자에게 해당 개념과 서비스 유형에 대해 감수를 진행하였다.

3. 스마트병원의 개념 정의 및 서비스 유형

- 위와 같은 문헌조사 및 전문가 인터뷰 과정을 통해 스마트병원의 개념을, ‘의료 기관에서

정보통신 분야의 혁신 기술을 바탕으로 환자안전, 의료의 질, 비용 효율성, 환자중심 서비스 관점에서, 기존의 의료 서비스에서 제공하지 못했던 새로운 가치와 통찰력을 창출하여 환자와 의료진에게 제공할 수 있는 병원'으로 정의하였다.

- 또한 스마트병원의 대표 서비스 유형으로, 관련 요소기술 중심으로 ① 위치인식 및 추적 기술 기반 서비스, ② 초고속 통신망 기반 서비스, ③ 사물인터넷(IoT) 기반 서비스, ④ 모바일단말 기반 서비스, ⑤ 인공지능 기반 서비스, ⑥ 로봇 서비스, ⑦ 확장현실(AR/VR/MR) 서비스, ⑧ 비대면 의료서비스(Telehealth)를 도출하였다.

III. 스마트병원의 유형별 국외 대표 사례 및 효과성 조사

1. 위치인식 및 추적 기술 기반 서비스[11-19]

- 근거리통신 기술 기반의 위치인식 및 추적 기술은 특정 공간에서 사물의 위치정보를 측정 및 모니터링하여 다양한 서비스를 제공할 수 있다[10]. 이와 관련된 근거리통신 기술은, 비콘, 블루투스, 와이파이(WiFi), 지그비(Zigbee), RFID, GPS, A-GPS, 바코드, QR코드, 초광대역(UWB) 통신(5G) 등이 있다.
- 여러 의료기관에서는 특히 비콘 센서 및 태그 기반의 실시간 자산(e.g. 의료기기, 의료소모품, 약제품 등) 추적 시스템을 도입하여 병원 업무 관련 물류 관리의 효율성과 의료진의 업무 흐름을 개선할 수 있다.

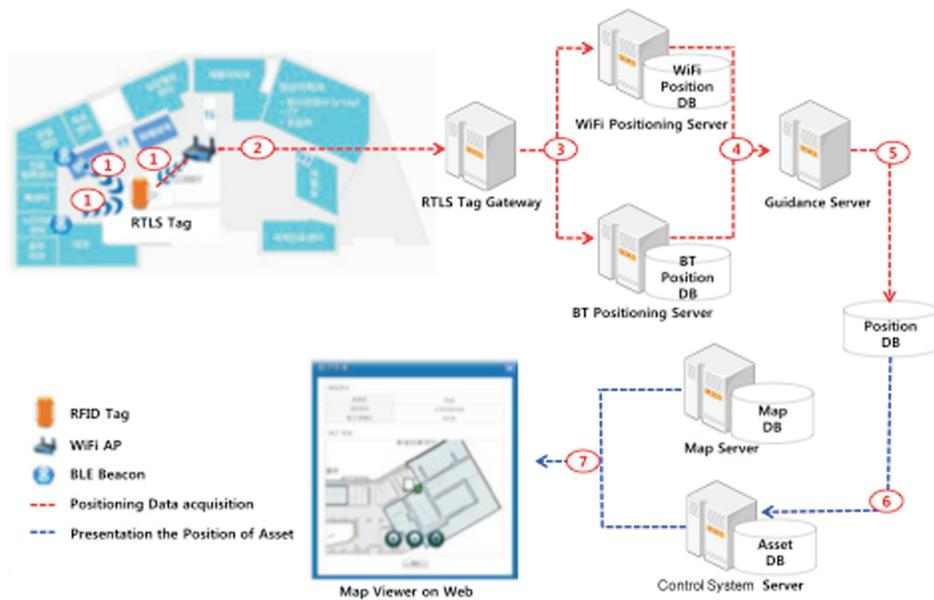


그림 1. 건물 내 실시간 위치 추적을 이용한 자산 관리 서비스의 예

- 스마트 약물주입펌프 관리 서비스: 생산성, 신뢰성 및 비용 효율성 평가 사례

- 미국 내 의료기관인 University Health System (UHS)은, RFID가 부착된 스마트 약물주입펌프(Infusion Pump)를 도입하여 실시간 위치 모니터링을 통해, 의료진의 해당 의료기기 원내 사용까지의 소요 시간을 기존의 최대 2시간에서 8~12분으로 줄였다.



그림 2. 스마트 약물주입펌프(Infusion Pump) 서비스 구성요소

2. 초고속 통신망 기반 서비스[11-19]

- 5G 초고속통신 및 Wi-Fi 6 등 초고속 통신망 기반 서비스는 새로운 무선 통신기술을 기반으로 기존의 데이터 수집, 활용, 커뮤니케이션의 한계를 넘어서 향상된 의료서비스를 제공한다.
- 의료기관에서는 웨어러블 2.0, 머신러닝, 빅데이터와 같은 최첨단 기술을 결합하여 당뇨병 환자를 위한 감지 및 분석 알고리즘을 생성하여 개인화된 진단 및 치료 제안이 가능하다.

표 3. Diabetes 1.0과 2.0, 5G Smart Diabetes의 비교

구분	비용	사용 편의성	네트워크 지원	개인화	지속성	확장성	치료 패턴
Diabetes 1.0	고	저	N/A	저	저	저	입원, 수동 측정, 수동 주입
Diabetes 2.0	중	중	Social network	중	저	저	자동 및 스마트 혈당 감지 장치, 약물 효과 대조 분석, 베타 세포 복원, 베타 세포 보존
5G-Smart Diabetes	저	고	5G networks, social networks, big data networks	고	고	고	사용자 중심 데이터 융합, 데이터 분석을 통한 치료 인텔리전스

- 의료서비스에서 Wi-Fi 6 적용: 환자안전, 비용 효율성 평가 사례[20]
 - Wi-Fi 6는 트래픽과 변화가 많은 환경인 병원시스템에서 활용하기 적합하다. 정확한 환자기록 및 실시간 데이터 분석이 가능하며, 간호사는 단일 시스템에서 원격으로 초 단위 데이터를 모니터링하여 많은 환자를 관찰할 수 있으며, 의사는 정확한 최신 환자데이터로 기반으로 객관적인 의사결정에 따른 정확한 투약으로 진료 결과를 개선할 수 있다.
 - 데이터 전송시간을 조정할 수 있는 주입 펌프와 같은 Wi-Fi 6 지원 의료기기는 사용자 간의 진료 중첩을 줄일 수 있다. OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access:Wi-Fi 6의 기술로 요구사항이 다른 여러 클라이언트가 단일 AP에 동시에 접속 할 수 있는 기술)기술을 활용하면 최대 30개의 다른 장치가 순서를 바꾸지 않고

주입 펌프와 채널을 공유하여 장비의 운영, 유지보수의 효율성이 증가한다.

- 따라서, Wi-Fi 6 지원 주입 펌프 및 기타 무선 의료기기는 기존 장비보다 환자안전, 비용 효율성 측면에서 우수하다.

3. 사물인터넷(IoT) 기반 서비스

- IoT 기반 서비스는 각종 사물에 센서와 통신 기능을 내장하여 인터넷에 연결하는 기술을 의미하며, 사물 신원 확인, 네트워크 구축, 센서부착(감각부여), 행동지시(컨트롤) 등의 기술로 구성된다[21].
- IoT와 Intelligent building 기술을 병원에 활용하여, 운영 비용감소, 처치효과 증대, 진단 지연감소, 약화 조기감지, 장비 활용성 증대, 환자안전 제고, 병원 건물의 에너지 효율성 증대, 수익성 증대, 사용자 경험 개선, 운영 효율 증대 및 자원보호 등 광범위한 목적으로 활용될 수 있다[22,23].

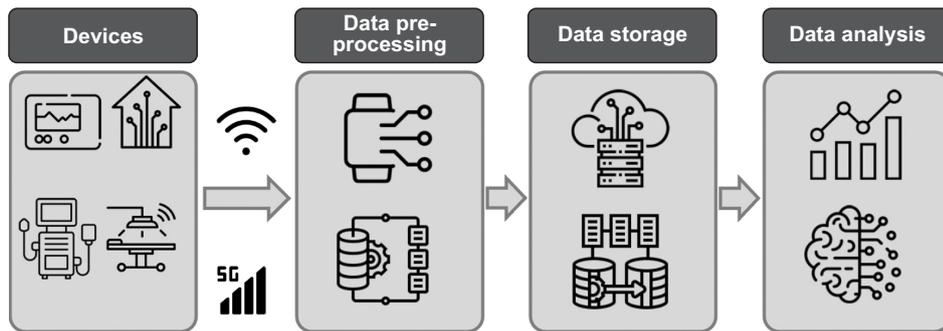


그림 3. IoT sensor 데이터 흐름의 모식도

- 병원의 간호영역에서는, IoT를 활용하여 환자의 활력징후 및 각종 지표 측정을 자동화할 수 있다. IoT 기반 활력징후 측정센서는 아래 그림과 같이 점차 소형화되면서, 부착형 혹은 체내 삽입형으로 변화하고 있으며, 환자의 자세, 보행 수와 같은 새로운 지표가 추가되고 있다.



그림 4. 필립스에서 생산하는 패치형 모니터[24]

- 병원 스마트빌딩에는 바코드·RFID·지문·홍채·안면인식·초음파기반 인식시스템 등의 기술이 활용된다. 이 중 가장 활발히 활용되는 것은 RFID 시스템으로, 사람 및 건물, 의료기기에 활용되고 있으며 mobile NFC 활용연구 또한 진행되고 있다[25-29]. 현재에도 조명, 공조, 상하수, 유통 등 관련된 다양한 기기들이 활용되고 있으며, 기존 기반설비들의 통합과 시스템 보안 및 환자정보 보호가 가장 중요한 주제이다.

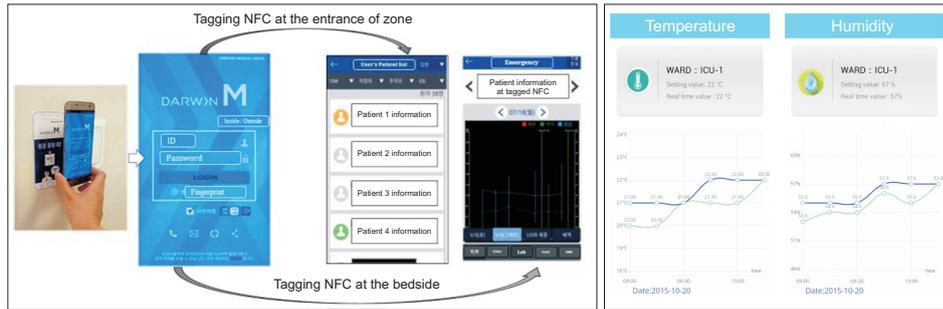


그림 5. Near-Field Communication과 환자 mobile EMR을 활용한 연구(좌) [30], 중환자실과 병실의 IoT 활용 실시간 온도/습도 모니터링(우) [31]

• 사물인터넷(IoT) 기반 서비스: 환자안전, 비용효율성 평가 사례

- 미국의 Academic Medical Center에서는 중환자실 환자에게 아래 그림처럼 신체 위치를 측정하는 패치를 부착하고, 대시보드를 통해 간호사에게 알람을 전달하는 시스템을 사용하여 환자의 욕창 발생을 약 1/3로 줄였다[32].
- 병원 응급실에서 근거리 통신 기술 기반 mobile EMR 시스템의 효과를 측정한 결과, 아래 그림과 같이 의료진 동선을 줄이고, IT 장비 조작시간을 줄여, 환자 진료 시간을 증가시켰다[28].

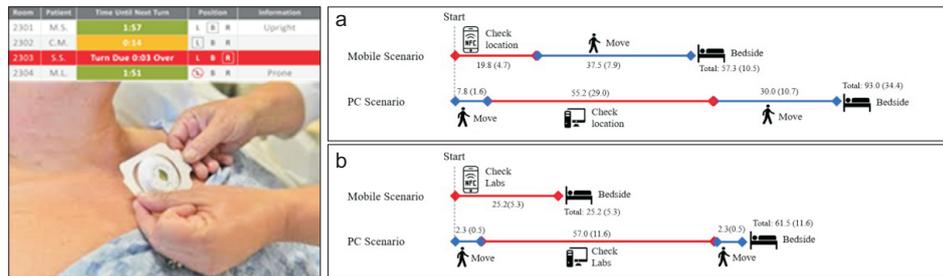


그림 6. 환자의 자세 측정 패치와 대시보드의 조합(좌) [32], RFID와 mobile EMR을 활용한 시스템의 동선 효율화(우) [28]

4. 모바일 단말 기반 서비스

- 모바일 단말 기반 서비스란 휴대전화, 태블릿, 웨어러블 기기 등 모바일 단말 기반 서비스를 의미한다.
- 모바일 단말 기반 서비스인 PHR은 아래 그림과 같이 다양한 의료기관에 흩어져있는 환자의 진료, 검사 정보와, 스마트폰으로 수집된 활동량, 데이터, 체중, 혈당 등의 정보를 취합해 스스로 열람하고 관리할 수 있도록 구축한 건강기록 시스템이다[33].

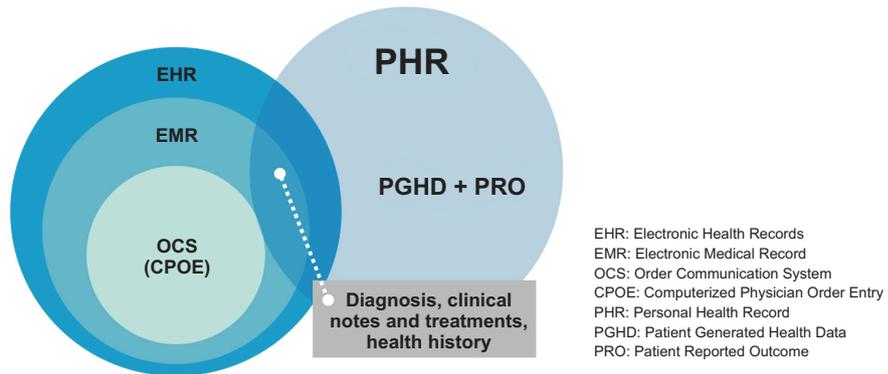


그림 7. Personal Health Record (PHR)과 EMR과의 관계

- 기존의 의료서비스 장소와 주체가 세분화되면서, 아래 그림과 같이 의료진이 다양한 장소에서 환자와의 접점을 만들기 위해 활용하는 모바일 EMR 등 서비스의 요구도도 상승하고 있다.

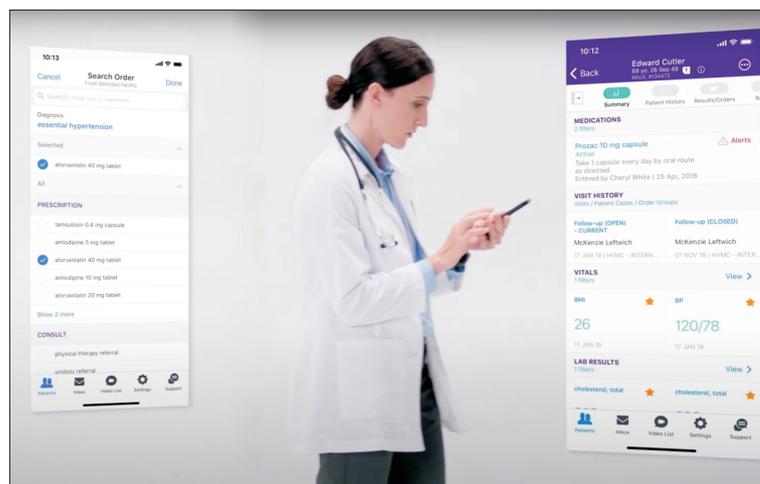


그림 8. Athenahealth에서 제공하는 의료진용 모바일 서비스[34]

- 영국 NHS 기반의 앱에서는 병원의 전자의무기록에 대한 접근, 처방 리필, 진료예약, 치료계획 검토 등의 기능을 제공하고 있다[35].

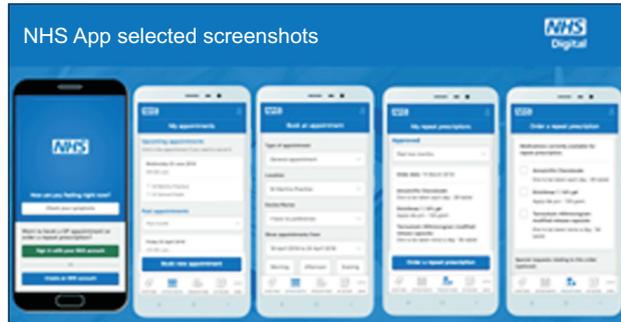


그림 9. 영국 NHS에서 제공하는 PHR 서비스[35]

• PHR 서비스: 환자중심성 평가 사례

- 스마트병원을 고려한 PHR 연구는 많지 않고, 대부분 환자중심성에 많은 비중을 두고 있다. 따라서 사용성과 환자의 참여도 증가 관련 연구가 대부분이지만, 가시적인 결과가 없는 상황이다[36,37]. PHR의 지속적인 효과성 개선을 위해서는 연령대, 성별, IT 기기 친숙도, 통화나 대면진료 선호, 환자의 질환 대응자세, PHR에 대한 의료진의 부정적 자세, 개인정보 보안, EMR과의 연계성 부족 등의 과제가 남아있다[38].

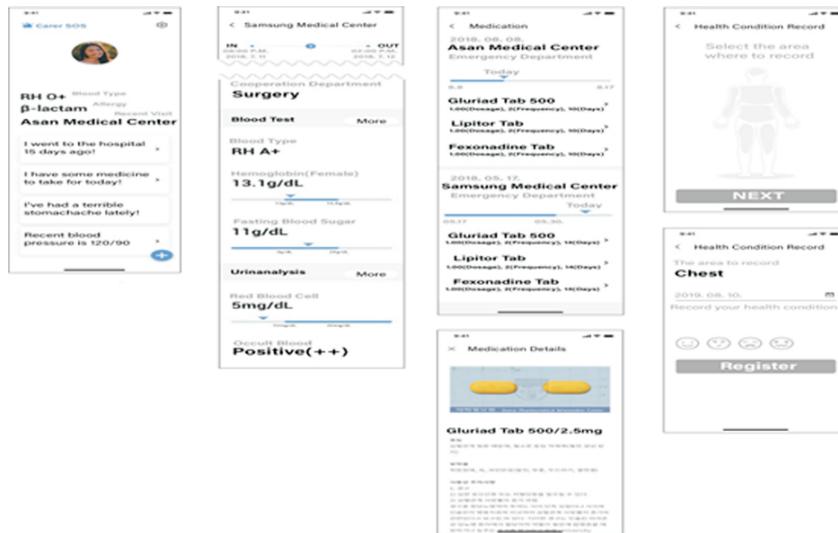


그림 10. 병원기반 PHR 서비스 예시[35]

• 의료진용 mobile EMR: 비용효율성 평가 사례

- 의료진용 mobile EMR에 대한 서비스 효과 또한 제한적으로 연구되고 있다. mobile EMR 효과성 측정은 해당 시스템의 활용이, 실제 근무 효율을 일부분 증가시키는 것으로 확인되었다. 하지만 결과가 국내에 한정된 경우가 많으며, 활용대상과 콘텐츠에 관한 내용이 연구의 대부분이다[39].

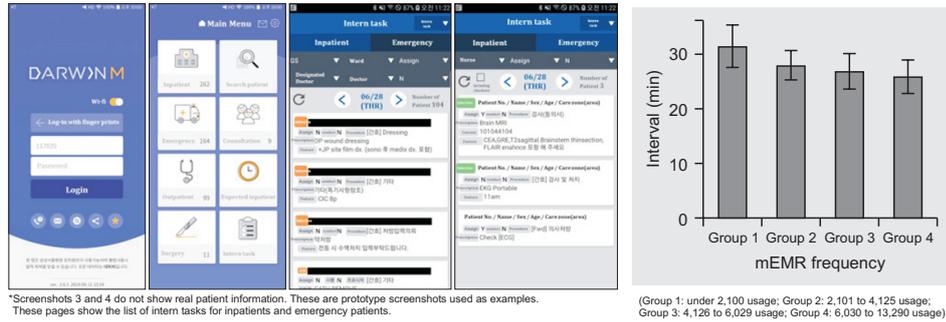


그림 11. mobile EMR(좌)의 사용성과 의사의 업무속도와의 관계개선 정도(우) [39]

- 스마트워치로 측정된 심박수 변화와 코로나 바이러스 감염여부의 연관성: 의료의 질 향상 사례[40]
 - 미국 마운트 시나이 아이칸 의과대학 연구진은, 의료분야 종사자들 대상으로 심박수 변화 (HRV:Heart Rate Variability)를 측정하는 앱이 장착 된 스마트워치를 착용하도록 한 후 해당 자료를 분석한 결과, 증상이 없는 경우에도 코로나 감염을 HRV의 변화를 통하여 감지하였다.
 - 스탠퍼드대학의 실험에서도, 스마트워치나 피트니스추적기를 착용한 실험 참가자의 81%가 코로나19 증상이 시작되기 최대 9일 전부터 심장 박동에 변화가 있었다.

5. 인공지능 기반 서비스

- 인공지능 기반 서비스란, 인공지능의 주요 기술요소인 지능(학습능력, 추론능력, 지각능력, 이해능력)을 질병의 진단, 예측에 사용하는 의료서비스를 의미한다[41,42].
- 여러 의료기관에서 환자의 기본적(비의료적) 요구사항을 수행할 수 있는 인공지능 스피커 도입을 실험하고 있다.
- 인공지능은 의료진의 임상적 결정인 진단과 처방에 도움을 주는 시스템인 Clinical Decision Support System (CDSS)의 엔진으로 작용하여, 진료의 효과성, 효율성, 안전성을 높이는 역할을 하고 있다. 특히, 이미지 자료 기반 인공지능 서비스가 가장 빠르게 개발되고 있다.
- 미국의 Johns Hopkins 병원은 GE의 Capacity Command Center (CCC)를 도입하여, 병원시스템 효율성을 극대화했다.
- 국내에서는 Lunit과 Vuno와 같은 스타트업이 두각을 나타내고 있으며, 의료 이미지 데이터 판독에서 나아가, 임상 데이터를 활용하여 결정하는 단계까지 개발이 진행되고 있다.



그림 12. 존스홉킨스 병원의 Capacity Command Center (CCC) 전경(좌) [43], Vuno社의 Clinical Decision Support 솔루션(우) [44]

• 인공지능 기반 서비스: 환자중심성 평가 사례

- 여러 병원에서 스마트 스피커 도입에 노력을 기울이고 있으나, 아직 확정적인 결과보고는 많지 않다. 최근 2~3년 동안 스마트 스피커의 성능 개선과 일반인들의 인지도 향상으로 많은 연구결과가 기대되며, 주된 연구결과로 환자들이 쉽게 시스템을 활용하고, TV 제어 등 평소에 사용하였던 기능 위주로 활용하고 있으며 개인정보 보호가 주요한 쟁점이다[45,46].



그림 13. 미국 Cedars-Sinai 병원의 Alexa 기반의 Smart Speaker 시스템[46]

• CDSS 기반 서비스: 의료의 질 평가사례

- 의료기관 대상 AI 적용 연구 중 가장 활발한 분야는 CDSS와 관련된 연구이다. 머신러닝, 딥러닝을 통해 이전의 분석 모델로 추정하기 어려운 사례들을 해석하고 있으며, 실제 의료 전문가들과 유사하거나, 우월한 많은 사례가 있다. 최근에는 의료진의 지식과 AI를 연결하여, 나은 수준의 임상 의사결정을 지원하는 전략이 수립되고 있으며, 이미지 분야에서 전반적인 임상 분야로 적용 분야를 넓히고 있다.

• Dashboard 디자인 및 구축 서비스: 비용 효율성 평가사례

- CCC와 같은 Dashboard 디자인 구축 연구결과는 다수 있으나, 시스템 개선 결과는 드물다. CCC의 경우, 2016년에 적용되었으나, 사용성 사례만 보고되고 있다[47]. AI dashboard에 대한 효과의 사례는 제한적이나, 데이터 자체를 활용한 시스템 개선 효과는 다양한 관점에 입증되어 왔으며, 인적자원 활용의 최적화, 워크플로우 개선, 시설 최적화 등에 적용되고 있다[48].

6. 로봇 서비스

- 의료현장에서 로봇이 인간을 대신하여 의료행위를 수행하는 것을 의미하며 그 범위는 수술, 재활, 간병, 물류 등 다양한 분야에 활용할 수 있다.
- 운반 및 운송로봇으로 미국의 ‘에톤(Aethon)’은 자율운반로봇인 ‘터그(TUG)’를 통해 혈액,

약품, 식사, 쓰레기 등의 운반업무를 수행하였으며, 소프트뱅크 그룹 산하의 ‘와이어리스 시티플래닝’은 인체 감지센서, IoT를 이용해 건물 내에서 엘리베이터를 타고 이동하는 로봇인 ‘큐보이드’를 개발하여 건물 내 물류 배송 서비스를 개시할 예정이다. ‘파나소닉’은 자율운반로봇 ‘호스피(HOSPI)’는 병원 내 물류운반에 이미 적용 중이다[41].



그림 14. 자율운반로봇 TUG[49]

- 방역로봇으로 ‘다이머UVC이노베이션스(Dimer UVC Innovations)’는 항공기용 멸균로봇인 ‘점팔콘(GermFalcon)’을 미국공항에 무상으로 제공하였으며, 덴마크 로봇회사 UVD Robots에서 개발한 ‘UVD’ 로봇은 자외선(UV)를 이용해 병실과 수술실을 소독하는 기능을 제공하는데, 수백대가 중국에서 소독업무를 수행하고 있다[41].



그림 15. 점팔콘(좌) [50], UVD(우) [51]

- 원격협진로봇으로 ‘INF로보틱스’는 노인이나 상이군인을 도와주는 간병 및 원격의료 로봇인 ‘루디(Rudy)’를 개발하였으며 급약시간 안내, 물류이동, 원격의료상담서비스뿐 아니라 게임과 같은 사회적 기능도 제공이 가능하다[41].
- 돌봄서비스 로봇으로, 재활로봇전문업체 ‘사이버다인’은 라이더 센서, 인공지능(AI)기술을 활용하여 노인들의 화장실 이동을 도와주는 배설지원로봇 시제품을 2019년 9월 개발하였다[41].



그림 16. 원격의료 로봇 루디(Rudy)(좌) [52], 사이버다인의 배설지원로봇(우) [53]

• 원격협진 로봇 서비스: 비용 효율성 평가사례[54]

- 베트남 하이퐁어린이병원은 원격지의 사용자와 인터랙션이 가능한 텔레프레젠스(Telepresence) 기술을 사용하여 개발한 환자와 의료진 간 직접적인 의사소통을 도와 원격협진이 가능한 로봇시스템(서울대학교병원 개발)의 경제성 평가를 진행하였다.
- 테스트를 진행한 결과 로봇 기반 원격의료시스템의 연간비용은 6,056 USD로 추정되는 반면, 전통적인 외래 환자 서비스의 연간비용은 1,508 USD로 추정되어 로봇당 연간 4.01명의 의사방문을 줄였다.



그림 17. 원격협진 로봇의 테스트 장면[55]

• 반려동물 로봇 기반 치매 관리 서비스: 의료의 질 평가사례[56]

- Baylor Scott and White Health Care System에서는 FDA 승인을 받은 바이오 피드백 장치인 PARO 애완로봇의 치매 관련 증상 치료에 대한 효과를 평가하였다.
- 평균 연령이 83.4세인 61명의 환자가 대조군과 치료군으로 무작위 배정되었고, 치료군에서 RAID (Rating Anxiety in Dementia: 치매불안측정척도), CSDD (Cornell Scale for Depression in Dementia: 코넬 치매 우울척도), GSR (galvanic skin response: 전기 피부 반응) 및 맥박 산소 측정치가 증가한 반면, 대조군에서는 맥박수, 진통제 및 정신 활성 약물 사용이 감소했다.



그림 18. PARO 로봇[57]

- 입원 환아를 위한 소셜 로봇 서비스: 의료의 질 평가사례[58]
 - Boston Children’s Hospital에서는 3세에서 10세 사이의 54명의 어린이에게 대화형 소셜로봇(SR) 테디 베어, 태블릿기반 아바타버전의 곰인형, 봉제테디베어를 무작위로 제공하여 감정적 영향, 불안 및 통증 강도의 사전/사후 개입을 평가하였다.
 - 연구결과, 소셜로봇(SR)에 노출된 아이들이 감정적 영향에 긍정적인 결과가 있는 것으로 나타나 소아환자 대상 소셜로봇의 활용에 잠재적인 이점이 있었다.



그림 19. 임상연구 시 제공한 3가지 형태의 곰인형[59]

7. 확장현실(eXtended Reality, XR) 서비스

- 확장현실(XR, eXtended Reality)은, 가상현실과 증강현실, 혼합현실 기술 등의 실감기술을 포함하는 초실감형 기술 및 서비스를 의미한다. 가상현실(VR, Virtual Reality)은 사용자의 감각에 가상의 신호를 제공하여 가상의 경험이 가능하도록 하는 기술이며, 증강현실(AR, Augmented Reality)은 실제 현실에 디지털의 정보를 제공하여 현실을 증강하는 기술을 뜻한다. 혼합현실(MR, Mixed Reality)은 가상현실과 현실세계에 증강현실을 혼합한 기술을 의미한다[60].
- AR을 활용한 의약품정보 제공기술을 통해 환자는 약물의 작용기전을 3차원 그래픽 구조로

확인할 수 있다[61].



그림 20. AR을 활용한 의약품 정보 제공[61]

- 미 국방성과 서던 캘리포니아 대학교(USC)가 개발한 BraveMind중의 Virtual Iraq 프로그램은 임상 데이터를 기반으로 VR프로그램을 제작하여 군인들의 외상 후 스트레스장애(PTSD)를 치료한다. 환자의 표정, 몸짓, 말투 등을 분석해 우울증 징후를 탐지하고 이에 적합한 VR 경험을 제공해 증상 완화를 지원할 수 있다.

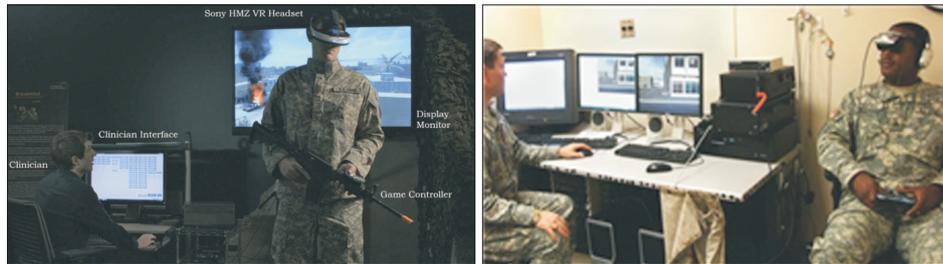


그림 21. 가상현실을 활용한 PTSD 치료[62,63]

- Vipaar는 북미에서 MR을 활용한 원격의료지원기술을 개발하여 서비스하고 있다. 특히 원격지의 환자지원을 위한 텔레프레젠스(telepresence)기술을 주력으로 개발하고 있다.



그림 22. 혼합현실을 활용한 원격의료지원[64]

- ‘Surgical Navigation advanced Platform (SNAP)은 두경부 수술 중 뇌의 혈관과 신경의 입체적 구조를 파악하여 의사가 정밀하고 안정적인 수술 계획을 수립할 수 있도록 지원하는

증강/가상현실 솔루션이다.



그림 23. SNAP을 활용한 증강가상현실 솔루션 활용[65,66]

- 관통혈관이 있는 3D 혈관모델 활용 사지재건 수술을 위한 증강현실(홀로렌즈): 의료의 질 평가 사례[67]
 - Imperial College Healthcare NHS Trust에서는 AR을 통해 수술 전 컴퓨터단층촬영 혈관조영술(CTA)영상 정보를 가져와 절개없이 해부학적 구조를 파악할 수 있는 시스템을 개발하여 환자 6명의 수술에 활용하였다.
 - AR을 통해 식별된 혈관 위치와, 기존 표준탐색 방법인 도플러 초음파와 데이터를 비교한 결과, 홀로렌즈를 사용한 시스템은 도플러 초음파보다 신뢰도가 높고 시간이 줄어들어 수술과 관련된 마취 시간과 수술 관련 합병증을 줄일 수 있으며, 수술 훈련시간 단축과 원격 수술지원을 받을 수 있는 장점이 있었다.

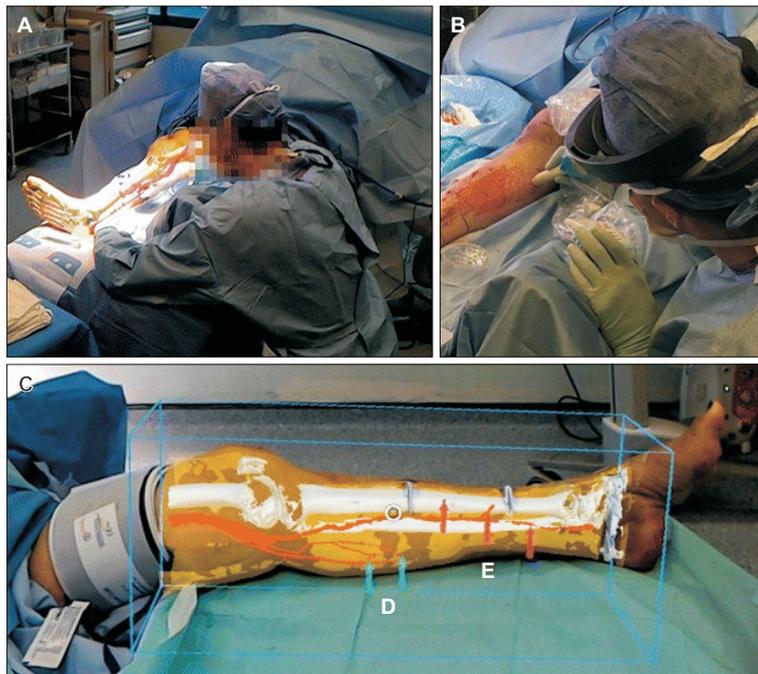


그림 24. AR기술을 활용한 사지재건 수술[67]

- ADHD 치료용 앱 'AKL-T01': 의료의 질 평가사례[68]
 - 필라델피아 아동병원에서는 ADHD로 진단된 아동에 대하여 일본의 시노오기 제약에서 개발한 디지털치료용 앱인 'AKL-T01'에 대한 효과성을 검증하였다.
 - 앱을 사용하는 아동은 스마트폰이나 태블릿PC를 통해 개별적으로 최적화된 난이도의 게임을 지속적으로 수행하여, 인지기능에서 중요한 역할을 하는 뇌의 전두엽을 활성화하고 증상을 개선시킬 수 있는지 조사한 결과, ADHD로 진단된 600명 이상의 아동을 대상으로 실시한 5개의 임상시험 결과를 진행하였으며, 유의한 개선이 인정됐으며, 유해 현상은 나타나지 않았다.

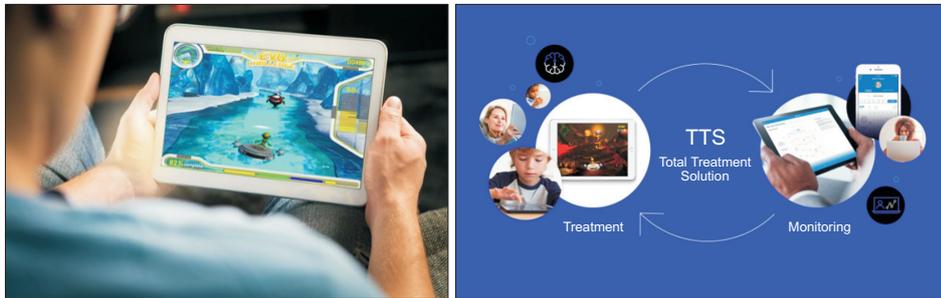


그림 25. ADHD 치료용 앱 'AKL-T01' [69]

- 앱으로 약물중독을 치료하는 '리셋(reSET)': 의료의 질 평가사례[70]
 - 디지털 헬스 기업 페어세러퓨틱스가 개발한 약물중독 치료앱 '리셋(reSET)'은 알코올이나 약물중독 환자에게 의사가 처방하며, 환자는 앱을 내려받아 약물 사용 여부 등을 입력하고 앱을 통해 충동을 조절하는 법 등의 도움을 받는다.
 - 임상시험 결과, 리셋을 사용한 환자군에서 금욕을 유지한 비율이 40.3%로, 앱을 사용하지 않은 환자(17.6%)보다 높았다.
 - 비슷한 치료방식으로 마약성 진통제인 오피오이드 중독을 치료하는 앱 '리셋오(reSET-O)'와 불면증 치료앱 '솜리스트(Somryst)'도 개발해 FDA의 허가를 받았다.

8. 비대면 의료서비스(Telehealth) [11-19]

- ICT를 이용하여 원거리에 의료서비스를 제공하는 형태를 의미하며, tele-ICU Tele-Intensive Care Units: 원격중환자실), tele-consulting, tele-collaboration 등의 개념이 있다.
- 통신기술의 발달과 웨어러블기기의 발달로 외국의 다양한 회사들이 원격 1차 의료서비스를 제공하고 있다. 미국에서는 American Well 및 Doctor on Demand가 원격지에 거주하는 사람들에게 1차 의료서비스를 제공하고 있다. Fitbit이 인수한 Twine Health는 환자가 의사와 협력하여 실행 계획을 만든 다음, 기기와 앱을 사용하여 진행 상황을 확인하고

행동변화를 유도한다. 태블릿을 통해 환자는 건강 코치와 논의하고 치료계획 성취를 확인하며 자신의 치료에 참여한다. TytoCare는 일반 사용자인 부모가 자녀의 질환을 모니터링하고 결과를 분석하기 위해 영상채팅으로 이미지와 기록을 공유하여 임상과의 상담할 수 있는 휴대용 장치이다.



그림 26. American Well (좌), Twine Healthcare & Fitbit (중), Tyco care (우)

- Tele-ICU 서비스: 의료의 질 및 비용 효율성 평가사례
 - Tele-ICU의 외부 지휘센터를 통해, 중환자실은 실시간 시청각 및 전자적 수단을 통해 원거리 중환자실(ICU)에 있는 환자 및 의료진과 연결된다. 또한, 이를 통하여 의료정보의 교환이 이루어진다.
 - 존스홉킨스 병원 Breslow의 연구에 의하면, Tele-ICU 프로그램의 재정적 효과측정을 위한 컨설팅 결과, ICU의 LOS (Length of Stay, 재원기간)가 짧아지고 임상 결과가 개선되어 사례 당 24.6%의 비용이 감소하였다.
 - Tele-ICU는 특히, ICU 관련 의료진 수가 제한되어 있는 미국의 경우 유용하게 활용될 것으로 보인다.

표 4. Tele-ICT 관련 연구 동향

Study	Hospital	ICU Mortality Change	Average Length of Stay(LOS) Change
Rosenfeld et al. 2000.	A ten-bed surgical ICU in at Johns Hopkins Medical Institution.	Severity-adjusted Mortality rate in - ICU is decreased by 46% - Hospital by 30%	ICU length of stay decreased by 30%
Zawada et al. 2009	Conducted in Avera Health System (One large tertiary hospital, three rural hospitals, two community hospitals and 9 critical care centers	Adjusted mortality rate range between unchanged and 29% reduction.	LOS reduction ranged from 45% to 22.5%. (9 sites)
Morrison et al. 2010 Lilly, C., et al. 2011	Two community hospitals in the metropolitan Chicago area University of Massachusetts	No significant effect on ICU/non- ICU/total mortality 2.1% decrease	No effect on LOS. 1.9 days decrease
Young, L., et al. 2011	Review	Odds ratio for pooled data was 0.80 which shows reduction	1.26 days decrease

IV. 스마트병원 국외 사례의 시사점

1. 국내 스마트병원 적정 도입 범위 및 수준

- 스마트병원은 의료 기관에서 정보통신 분야의 혁신기술을 바탕으로 환자안전, 의료의 질, 비용 효율성, 환자중심 서비스의 관점에서, 기존의 의료서비스에서 제공하지 못했던 새로운 가치와 통찰력을 창출하여 환자와 의료진에게 제공할 수 있는 병원을 의미한다.
- 스마트병원 도입에 따라 기존과 달리 의료기관에서 공간, 환경, 사람, 사물과 관련된 다방면의 데이터를 세밀하게 수집 가능해진다. 수집된 데이터를 바탕으로 스마트병원이 지향하는 핵심 가치들과 관련된 구체적인 세부 지표들을 정의하여, 그것들을 정량적으로 측정할 수 있어야 하고, 보건 의료 정책에 환류될 수 있어야 한다.
- 스마트병원은 기존 병원의 물리적 공간 제약을 넘어서서 ‘병원의 가상확장’을 통해 개인의 일상생활로 찾아가는 고객중심 의료서비스 실현에 기여할 수 있어야 한다. 모바일, 웨어러블 센서 등 최신 ICT를 활용해 가정, 직장 등 지역사회 다양한 생활공간에서 예방적 건강관리를 제공함으로써, 새로운 의료적 가치 창출이 가능하도록 해야 한다.

2. 국내 스마트병원 육성 및 확산방안 제언

- 스마트병원 관련 산업 생태계를 활성화할 수 있는 다양한 정책을 통해 시장규모를 확대하고, 기존병원이 스마트병원으로 변모할 수 있는 동기를 부여해야 한다.
- 스마트병원 서비스라는 새로운 개념의 정착을 위해서는, 정부의 적절한 유인 정책이 필요하다. 의료기관 인증, 관련 수가 책정 등 직간접적 인센티브를 통해 스마트병원 확산을 유도할 필요가 있다.
- 현재 단계의 스마트병원 개념은 기존의 디지털병원 개념에 ICT 혁신기술들이 의료기관의 각종 서비스에 적용되는 개념이 강하다. 향후 스마트병원의 발전과 도약을 위해서는 ICT뿐 아니라 건축, 에너지, 기계, 설비 등의 분야와 통섭적 융합연구가 필요하며, 이를 활성화 할 수 있는 기반을 조성해야 한다.
- 병원 신축 시, 기존 의료서비스에 ICT의 단순 적용을 넘어서서, 스마트병원 서비스의 요소기술들이 병원 업무 프로세스에 유기적으로 결합할 수 있도록 공간설계에 적극 개입할 필요가 있다.
- 스마트병원 관련 서비스가 효과적으로 정착하기 위해서는 관련 산업체를 의료서비스 생태계의 일원으로 적극 포함시켜야 한다. 산업계는 스마트병원 관련 기술 개발 시 서비스의 수요처인 의료기관과의 긴밀한 협력관계를 유지하고, 의료 현장에서의 실증을 바탕으로 관련 기술의 상용화를 추구할 필요가 있다[71].
- 스마트병원과 관련된 개인 건강기기, 교류 콘텐츠, 기준규격 및 제도, 데이터 전송

포맷, 보안 및 인증, 사용자 어플리케이션, 개체 식별정보, 용어표준, 외부서비스 연동, 인공지능기술 등의 영역에서 국내외적인 표준화 활동을 병행하고, 산업계의 확산을 통해 관련시장에서의 경쟁력 향상에 이바지해야 한다.

- 스마트병원과 관련하여 미성숙한 기술, 마케팅 관습, 규제 등으로 스마트병원 활성화에 걸림돌이 존재할 수 있다. 하지만, 의료기관, 학계, 산업계, 소비자가 연대하여 정책당국과 원활한 의사소통과 설득의 과정이 필요하다.

V. 참고문헌

1. KHISS 보건산업통계. 스마트병원의 등장 배경 및 특성 분석. 글로벌 보건산업동향. 2019 07 22; Volume 325: 1-4.
2. 서울아산병원 이노베이션디자인센터. 우리는 인간 중심의 병원을 만든다.서울:클라우드나인;2020.
3. KOHEA. 디지털병원의 개요 [온라인페이지]. [cited 2021 1 8]; Available from: http://kor.kohea.co.kr/hospital_overview/
4. 조남욱. [인터뷰] 내년 6월 개원 앞둔 서울대 분당병원 성상철 원장.파이낸셜뉴스 [인터넷]. 2002 8 4 [cited 2021 1 8]; Available from: <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LPOD&mid=e tc&oid=014&aid=0000026478>
5. 윤여동. Smart Hospital 관련 기술 현황 및 전망. KESSIA ISSUE REPORT. 2018 12 :2018-12:1-9.
6. 의료정보정책과. 스마트병원, 4차 산업혁명 시대 의료서비스 혁신 기반을 열다. 보도참고자료. 2020 8 27.
7. Paul Frisch. What Is an Intelligent Hospital?: A place where technology and design converge to enhance patient care. IEEE Pulse. 2014; Volume: 5, Issue: 6. 10-15.
8. <http://ihassociation.org/>
9. www.mackenziehealth.ca/en/about-us/smart-hospital-vision.aspx
10. 연구개발특구진흥재단. 실시간 위치 추적 시스템 시장. 연구개발특구기술 글로벌 시장동향 보고서. 2018 2.
11. Bashshur RL, Shannon GW. History of Telemedicine. Mary Ann Liebert; 2009.
12. Merrel RC. Geriatric telemedicine: background and evidence for telemedicine as a way to address the challenges of geriatrics. J Healthc Inform Res. 2015;21(4):223-229.
13. Yoo S, Kim S, Kim E, Jung E, Lee KH, Hwang H. Real-time location system-based asset tracking in the healthcare field: lessons learned from a feasibility study. BMC Med Inform Decis Mak. 2018; 18: 80.
14. Kumar S, Merchant S, Reynolds R. Tele-ICU: Efficacy and Cost-Effectiveness Approach of Remotely Managing the Critical Care. Open Med Inform J. 2013; 7: 24-29.
15. Rosenfeld BA, Dorman T, Breslow MJ, et al. Intensive care unit telemedicine: Alternate paradigm for providing continuous intensivist care. Crit Care Med 2000; 28(12): 3925-31
16. Zawada ET Jr, Herr P. Impact of an intensive care unit telemedicine program on a rural health care system. Postgrad Med 2009; 121(3):160-70.
17. Breslow MJ, Rosenfeld BA, Doerfler M, et al. Effect of a multiple- site intensive care unit telemedicine program on clinical and economic outcomes: An alternative paradigm for

- intensive staffing. *Crit Care Med* 2004; 32(1): 31–8.
18. Lilly CM, Cody S, Zhao H, et al. Hospital mortality, length of stay and preventable complications among critically ill patients before and after tele-ICU reengineering of critical care processes. *JAMA* 2011; 305(21): 2175–83.
 19. Young LB, Chan PS, Lu X, Nallamothu BK, Sasson C, Cram PM. Impact of telemedicine intensive care unit coverage on patient outcomes. *Arch Int Med* 2011; 171(6): 498–506.
 20. <http://www.wi-fi.org/beacon/jay-white/wi-fi-6-and-healthcare>
 21. <https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%82%AC%EB%AC%BC%EC%9D%B8%ED%84%B0%EB%84%B7>
 22. Darshan KR, Anandakumar KR, editors. A comprehensive review on usage of Internet of Things (IoT) in healthcare system. 2015 International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT); 2015 17–19 Dec. 2015.
 23. Omar O. Intelligent building, definitions, factors and evaluation criteria of selection. *Alexandria Engineering Journal*. 2018;57(4):2903–10.
 24. <https://www.usa.philips.com/healthcare/product/>
 25. Wu B, Liu Z, George R, Shujaee K, editors. eWellness: Building a smart hospital by leveraging RFID networks. 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference; 2006: IEEE.
 26. Guinard PFD, editor Building a smart hospital using RFID technologies. European Conference on eHealth 2006; 2006: Gesellschaft für Informatik eV.
 27. Joo-Hee P, Jin-An S, Young-Hwan O, editors. Design and implementation of an effective mobile healthcare system using mobile and RFID technology. Proceedings of 7th International Workshop on Enterprise networking and Computing in Healthcare Industry, 2005 HEALTHCOM 2005; 2005 23–25 June 2005.
 28. Jung KY, Kim T, Jung J, Lee J, Choi JS, Mira K, et al. The Effectiveness of Near-Field Communication Integrated with a Mobile Electronic Medical Record System: Emergency Department Simulation Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2018;6(9):e11187–e.
 29. Essink HM, Knops A, Lung AMAL, Meulen CNvd, Wouters NL, Molen AJvd, et al. Real-Time Person Identification in a Hospital Setting: A Systematic Review. *Sensors*. 2020;20(14):3937.
 30. Jung KY, Kim T, Jung J, Lee J, Choi JS, Mira K, et al. The Effectiveness of Near-Field Communication Integrated with a Mobile Electronic Medical Record System: Emergency Department Simulation Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2018;6(9):e11187–e.
 31. Guo B, Wang X, Zhang X, Yang J, Wang Z. Research on the Temperature & Humidity Monitoring System in the Key Areas of the Hospital Based on the Internet of Things. *Int J Smart Home*. 2016;10(7):205–16.
 32. Pickham D, Berte N, Pihulic M, Valdez A, Mayer B, Desai M. Effect of a wearable patient sensor on care delivery for preventing pressure injuries in acutely ill adults: A pragmatic randomized clinical trial (LS-HAPI study). *Int J Nurs Stud*. 2018;80:12–9. Epub 2018/01/15.
 33. http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_health_record

34. <http://athenahealth.com>
35. <http://www.nhs.uk>
36. Kim SM, Kim T, Cha WC, Lee J-H, Kwon IH, Choi Y, et al. User Experience of Mobile Personal Health Records for the Emergency Department: Mixed Methods Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2020;8(12):e24326.
37. Dameff C, Clay B, Longhurst CA. Personal Health Records: More Promising in the Smartphone Era? *Jama*. 2019;321(4):339-40. Epub 2019/01/12.
38. Niazkhani Z, Toni E, Cheshmekaboodi M, Georgiou A, Pirnejad H. Barriers to patient, provider, and caregiver adoption and use of electronic personal health records in chronic care: a systematic review. *Bmc Med Inform Decis*. 2020;20(1):153.
39. Kim S, Ku S, Kim T, Cha WC, Jung KY. Effective Use of Mobile Electronic Medical Records by Medical Interns in Real Clinical Settings: Mixed Methods Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2020;8(12):e23622.
40. 이정현. 스마트워치가 코로나19 조기 발견...”증상 7일전 감지. 지디넷코리아 [인터넷]. 2021 1 1 [cited 2021 1 19]; Available from: <https://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LS2D&mid=shm&sid1=105&sid2=731&oid=092&aid=0002211136>
41. 이슈퀘스트 편집부. 의료, 헬스케어용 인공지능(AI)과 서비스 로봇 기술개발 실태와 시장 전망.서울: 이슈퀘스트;2020.
42. 한국특허전략개발원 미래기술팀. 특허 메가트렌드 분석보고서 바이오. 서울:한국특허전략개발원;2019.
43. <http://hopkinsmedicine.org>
44. www.vuno.co
45. <http://medium.com/dice-group/can-smart-speakers-improve-the-patient-experience-at-hospitals-69241a849937>
46. <http://www.cedars-sinai.org/newsroom/cedars-sinai-taps-alexa-for-smart-hospital-room-pilot/>
47. Martinez DA, Kane EM, Jalalpour M, Scheulen J, Rupani H, Toteja R, et al. An Electronic Dashboard to Monitor Patient Flow at the Johns Hopkins Hospital: Communication of Key Performance Indicators Using the Donabedian Model. *Journal of Medical Systems*. 2018;42(8):133.
48. Kasten JE. Big Data Applications in Healthcare Administration. *Int J Big Data Anal Healthc*. 2020;5(2):12-37.
49. <http://aethon.com/>
50. <http://www.dimeruv.com/>
51. <http://www.uvd-robots.com/>
52. <http://infrobotics.com/>
53. 장길수. 일본 사이버다인, 배설지원 로봇 개발. 로봇신문 [인터넷]. 2019 9 30 [cited 2021 1 19]; Available from: <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=18361>
54. Jang SM, Lee K, Hong YJ, Kim J, Kim S. Economic Evaluation of Robot-Based Telemedicine Consultation Services. *Telemed J E Health*. 2020 Sep;26(9):1134-1140. doi: 10.1089/tmj.2019.0211. Epub 2020 Jan 22.

55. Lee HS, Kim J. Scenario-Based Assessment of User Needs for Point-of-Care Robots. *Healthc Inform Res*. 2018 Jan;24(1):12-21.
56. Petersen S, Houston S, Qin H, Tague C, Studley J. The Utilization of Robotic Pets in Dementia Care. *J Alzheimers Dis*. 2017;55(2):569-574.
57. <http://www.verywellhealth.com/paro-the-therapeutic-robot-seal-1123855>
58. Logan DE, Breazeal C, Goodwin MS, Jeong S, O'Connell B, Smith-Freedman D, Heathers J, Weinstock P. Social Robots for Hospitalized Children. *Pediatrics*. 2019 Jul;144(1):e20181511.
59. <http://www.verywellhealth.com/paro-the-therapeutic-robot-seal-1123855>
60. 김수범. 보건산업 4차 산업혁명 시리즈: 메디컬 증강현실(AR)/가상현실(VR) 시장동향 분석. 2017 12 01; Volume 251.
61. <http://medicalfuturist.com/augmented-reality-in-healthcare-will-be-revolutionary/>
62. http://www.researchgate.net/publication/341359217_Iterative_Participatory_Design_for_VRE_T_Domain_Transfer_From_Combat_Exposure_to_Military_Sexual_Trauma
63. <http://anton.treskunov.net/>
64. <http://helplightning.com/>
65. <http://www.insider.com/virtual-reality-brain-surgery-2016-7>
66. <http://www.medicalexpo.com/>
67. Pratt P, Ives M, Lawton G, Simmons J, Radev N, Spyropoulou L, Amiras D. Through the HoloLens™ looking glass: augmented reality for extremity reconstruction surgery using 3D vascular models with perforating vessels. *Eur Radiol Exp*. 2018;2(1):2.
68. 최선례. “시오노기 ADHD 치료용 앱 美FDA 승인 받아”. 약업닷컴 [인터넷]. 2020 06 25 [cited 2021 1 12]; Available from: <http://m.yakup.com/?m=n&mode=view&nid=245990>
69. <http://automaton-media.com/articles/newsjp/20181112-79498/>
70. 유지한. 약물 대신 게임·앱·VR로… ‘디지털 치료’ 세상이 열린다. 파이낸셜뉴스 [인터넷]. 2020 6 22 [cited 2021 1 12]; Available from: http://www.chosun.com/site/data/html_dir/2020/06/21/2020062102171.html
71. 김홍진. 강진형 교수 “디지털헬스케어, 기존 체계 무너뜨릴 것”. 히트뉴스 [인터넷]. 2021 1 18 [cited 2021 1 19]; Available from: <http://www.hitnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=32291>