디지털 헬스케어 기술 기반의 연하장애의 평가와 관리

이우형

서울대학교병원 재활의학과, 서울대학교 의과대학 재활의학교실

Evaluation and Management of Dysphagia Based on Digital Health Technologies

Woo Hyung Lee, M.D., Ph.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

The need for non-contact practice during the COVID-19 pandemic has resulted in a rapidly growing interest in digital health technologies (DHTs). Until recently, swallowing evaluations and treatments have been performed face-to-face in the field of dysphagia, which has now encountered huge challenges in the COVID-19 era. This review aims to provide an overview of the DHTs, and investigate the current research trends of DHTs applied to dysphagia evaluation and management. Previous studies on dysphagia using DHTs were reviewed based on four categories: data, machine learning, wearable sensors, and telemedicine. The reports are further discussed for their current limitations and future potentials. We conclude that clinical utility and regulations need to be considered in developing new methods of swallowing evaluation and management based on DHTs. (JKDS 2021;11:105-110)

Keywords: Digital health, Dysphagia, Machine learning, Telemedicine, Wearable sensor

서론

2019년 말경부터 시작된 코로나19 팬데믹이 백신이 공급되고 있는 현재까지도 지속되고 있다. 전문가들은 기존의 의료 체계로 대응하기에 한계가 있음을 지적하며 새로운 대응 체계와 기술의 필요성을 주장하고 있고, 이는 연하장애의 영역 또한 예외가 아니다¹. 코로나19는 중증 호흡기 감염과 함께 연하장애를 유발할 수 있는데, 연하와 호흡은 구강과 인두 등 해부학적 구조물을 공유하기 때문에 연하장애 평가나 치료 등의 진료 과정이 코로나19 감염에 본질적으로 취약한 특성을 지닌다². 연하장애 평가와 치료는 이전부

터 대면 진료에 기반하여 수행되어 왔으나 최근 코로나19 팬데믹에서 매우 도전적인 상황에 직면하게 되었다. 디지털 헬스케어 기술은 코로나19 위기 상황에서 효과적인 비대면 진료의 수단으로 주목받으며, 환자 평가와 관리에 적용될 수 있는 대안이라고 평가되고 있다³. 이에 본 종설에서는 디지털 헬스케어 기술의 정의와 요소기술을 소개하고, 연하장애 영역에서 디지털 헬스케어 기술 기반의 기존 연구들의 현황과 한계, 그리고 향후 발전 방향에 대해서 논하고자 한다.

투고일: 2021년 5월 31일, 심사일: 2021년 6월 7일, 게재확정일: 2021년 6월 16일
책임저자 : 이우형, 서울시 종로구 대학로 101
(03080) 서울대학교병원 재활의학과
Tel: 02) 2072-4178, Fax: 02) 6072-5244
E-mail: whlee909@snu.ac.kr, whlee909@gmail.com

Copyrights © The Korean Dysphagia Society, 2021.

본론

1. 비대면 연하장애 평가 및 관리의 필요성

연하장애에서 비대면 평가 및 치료는 이전부터 크게 주목받거나 활발하게 연구되지는 않았으나, 사실 코로나19 위기상황 이전부터 그 필요성은 제기되고 있었다. 비디오투시연하검사와 같은 도구적 연하평거나 연하치료사로부터 보상방법, 근력강화 및 감각자극 등의 교육과 훈련을 받기 위해서는 병원을 방문하여 평가자나 치료자와 대면해야 한다. 현재 보험 적용이 되는 연하장애 관련 검사와 치료 행위들은 모두 대면 진료에 기반하고 있다. 하지만 연하장애 환자들은 다양한 기저질환으로 보행 기능이 손상되어 있는 경우가 많아 병원을 방문하는 과정에서 어려움을 겪기도 하며, 보호자들 또한 환자를 이송하며 많은 비용과 시간을 써야 한다. 이 때문에 코로나19 위기상황이 고위험 환자들의 이동을 제한하고 있는 현 시점에 비대면 진료의 필요성이 대두되며 현 상황에서 하나의 주요 이슈가 되었다⁴.

2. 디지털 헬스

디지털 헬스(Digital health)는 최근 정보기술의 발달에 힘입어 급격히 발전하고 있는 분야로, 특히 의료 분야에 적용되어 의료 접근의 제한에 따른 다양한 문제들을 해결하는데 도움이 될 것으로 기대되고 있다⁵. 경제적 부가가치도를 것으로 예상되어 최근 코로나19 위기상황이 병원과 의료 제공자들에게 부정적 영향을 줄 것이라는 예상과 달리 디지털 헬스에는 긍정적 영향이 있을 것이라는 조사 결과가 발표되기도 하였다⁶. 디지털 헬스는 비교적 최근에 나온 개념으로 디지털 의료(Digital medicine), 디지털 치료제(Digital therapeutics) 등의 용어가 다양한 문맥에서 혼재되어 사용되고 있다. 디지털 치료제 협회(Digital therapeutics alliance)⁷의 다음 3가지 용어에 대한 정의에 따르면, 디지털 헬스는 가장 광의의 개념으로 의료뿐만 아니라 라이프 스타일, 웰니스, 건강과 관련된 목적을 위한 기술이나 플랫폼, 시스템을 총칭한다. 다음으로 디지털 의료는 디지털 헬스에 포함이 되는 개념으로 측정 또는 치료적 개입을 하는 근거 기반의 소프트웨어와 하드웨어를 포함하며, 근거 기반의 의료서비스라는 점에서 라이프 스타일, 웰니스 서비스와 큰 차이가 있다. 마지막으로 디지털 치료제는 디지털 의료에 포함되는 개념으로 근거 기반의 치료적 개입을 하는 의료용 소프트웨어를 말한다. 디지털 의료와 치료제는 모두 일반적인 의료에 해당이 되므로 이들을 환자에게 적용하기 위해서 명확한 의학적 근거가 요구되며, 따라서 규제 적용의 대상이 된다.

미국 식품의약국은 최근 코로나19 팬데믹에서 디지털 헬스의 역할을 강조하며⁸, 이를 맞춤형 진료, 센서와 웨어러블 기기, 모바일 건강서비스, 건강 정보기술, 원격의료 등 5가지 주요 카테고리로 나누어 설명을 하였다⁹. 디지털 헬스를 위 5가지 카테고리로 모두 설명하기 어려울 수는 있으나 디지털 헬스의 핵심이 되는 기술임은 분명하다. 디지털 헬스는 기본적으로 환자 맞춤형 서비스를 지향하며, 웨어러블 센서를 활용하여 환자에게 침습적이지거나 환자를 구속하지 않은 상태에서 데이터를 획득하고, 모바일 기반의 서비스이며, 정보기술을 이용하여 의사와 환자 간의 물리적 거리를 극복하고 진단과 치료, 관리 등을 가능하게 할 수 있다. 디지털 헬스는 다양한 카테고리의 선택적 결합으로 이루어 질 수 있으며, 요소 기술이 충분해지고 성숙되어 의학적 근거가 만들어지면, 이를 하나의 의료 서비스로 활용할 수 있다.

디지털 헬스에서 데이터, 센서, 머신러닝, 원격의료 체계 등은 주요 구성 요소로서 주목할 필요가 있다⁵. 첫째, 디지털 데이터는 디지털 헬스에서 가장 기본이 되는 구성 요소이다. 디지털 데이터는 전자의무기록 내의 다양한 임상 정보, 의료영상 저장전송시스템(Picture Archiving and Communication System, PACS)의 영상, 개인의 일상 기록인 라이프로그, 유전체 정보 등을 모두 포함하는 등 넓은 스펙트럼을 보인다. 최근 컴퓨팅 기술이 발달하며 정밀하고 정확한 진단 및 치료에 활용될 수 있는 데이터 중심 모델(data-driven model)의 개발에서 빅데이터의 중요성이 더욱 강조되고 있다¹⁰. 둘째, 웨어러블 센서는 데이터 획득을 위한 효과적인 수단으로 최근 급속히 대중화된 스마트폰, 스마트워치, 스마트밴드 등의 기기에 내장되어 있다. 웨어러블 센서를 이용하여 일상생활 활동과 관련된 데이터 획득이 용이해졌으며, 분석 및 시각화 알고리즘 기반의 소프트웨어를 통해서 가독성이 높고 이해하기 쉬운 형태로 가공되어 사용자에게 제공되고 있다. 셋째, 머신러닝은 의료 영역에서 높은 성능의 자동화된 프로세스 개발에 필수적인 것으로 기대되는 기술이다. 최근 건강 또는 의료 데이터를 이용하여 의료 전문가 수준의 높은 정확도의 진단 알고리즘이나 기존에 존재하지 않았던 새로운 예후 예측 알고리즘이 개발되고 있으며^{11,12}, 연하장애 영역 또한 다양한 머신러닝 기술들이 적용되고 있다¹³. 마지막으로 원격의료는 원격리에서 의사가 환자에게 비대면으로 진단 및 치료를 수행하기 위한 일종의 통합 시스템이며, 환자는 원격의료를 통하여 의사를 방문하지 않고도 필요한 의료정보들을 얻을 수 있고 약 처방을 포함한 치료를 받을 수 있다. 코로나19 위기상황으로 대면 진료에 어려움을 겪는 국내 상황에서 원격의료는 한시적으로 허용되고 있고 잠재적 활용가능성이 충분하지만, 침

예한 법적 이슈들이 존재하여 논란의 중심에 있다.

3. 연하장애 영역의 디지털 헬스

아쉽게도 연하장애 영역에서 임상에 활용이 가능할 정도의 양질의 디지털 헬스 서비스는 개발되지 않았으며, 기존의 연구들은 디지털 헬스의 요소 기술들을 개발하거나 이를 결합한 결과를 주로 보고하였다. 본 종설은 연하장애 영역의 디지털 헬스 기반의 연구들을 데이터, 센서, 머신러닝, 원격의료 등 데이터 헬스의 구성 요소 차원에서 나누어 이들의 다양한 결합방식에 따라 살펴보고자 하겠다.

비디오투시연하검사는 연하평가를 위한 표준검사로서, 검사 중 획득된 영상 데이터는 연하기능을 반영하는 중요한 시각 정보가 담겨있어 이를 기반으로 머신러닝 기술을 사용하여 높은 정확도의 자동화된 연하평가 시스템을 개발하는 연구들이 수행되었다. Lee 등은 뇌졸중후 연하장애가 있는 환자와 건강한 성인들의 비디오투시연하검사 영상 데이터를 대상으로 서포트벡터머신 알고리즘을 이용하여 연하장애를 진단하는 알고리즘을 개발하였다¹⁴. 비디오투시연하검사 영상 데이터에서 설골의 위치 정보를 추출하고, 연하 중의 설골의 움직임을 운동학적 분석을 통하여 특징을 추출하였으며, 추출한 특징을 기반으로 서포트벡터머신 알고리즘을 이용하여 연하장애와 정상연하를 AUC 0.927의 정확도로 분류하였다. Lee 등은 연하장애가 있는 환자들에게 획득한 비디오투시연하검사 영상 데이터에서 음식물의 기도 흡인이 있는 데이터와 없는 데이터로 분류하여 신경망 기반의 머신러닝 알고리즘인 U-Net을 이용하여 흡인 유무를 분류하였다¹⁵. 이를 통하여 비디오투시연하검사의 중요한 목표인 음식물의 흡인 여부의 확인을 위한 자동화된 진단 프로세스로 개발하였으며 93.2%의 정확도를 보였다. 이러한 연구들은 향후 임상에서 컴퓨터보조진단(computer-aided diagnosis)으로서 활용될 잠재력이 있는 자동화된 프로세스를 개발하였다는 의미가 있다.

비디오투시연하검사의 영상 데이터 이외에도 웨어러블 센서를 이용하여 데이터를 획득하고 이를 기반으로 연하장애를 진단하는 연구들이 발표되었다. 웨어러블 센서는 주로 관성센서 또는 소리감지센서 등이 사용되었는데, Dudik 등은 관성센서와 소리감지센서를 목 전방에 부착하여 센서 신호 데이터를 획득하였고 연하장애환자군과 건강한 대조군에서 센서 신호의 양상이 차이가 있음을 확인하였다¹⁶. Sarraf Shirazi 등은 연하 중 흡인이 발생할 위험성이 높은 환자들을 대상으로 소리감지센서를 이용하여 연하 중 흡인 여부를 추정하는 머신러닝 기반 알고리즘을 개발하였다¹⁷. 비디오투시연하검사는 투시검사실에서만 시행이 가능함을

고려할 때 위 연구들은 일상에서도 쉽게 적용이 가능한 웨어러블 센서를 활용하여 연하기능을 반영하는 데이터를 획득하고 분석하는 프로세스를 개발하였다는 의미가 있다. 하지만 센서 기반의 데이터에 비디오투시연하검사의 영상 데이터와 같이 연하기능을 반영하는 정보가 불충분할 수 있어 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 수 있다.

최근까지 연하장애 환자를 대상으로 원격의료의 효과를 분석한 연구는 거의 발표된 바 없으며¹⁸, 기존의 원격의료로 적용한 연하장애 연구들은 주로 비디오투시연하검사의 영상 또는 웨어러블 센서 신호를 이용하여 연하장애 진단 또는 관리를 원격으로 수행하기 위한 프로세스를 개발하는 방향으로 수행되어 왔다. Malandraki 등은 2011년 원격리에서 비디오투시연하검사를 시행하여 연하장애를 진단하는 원격 진단 시스템을 제안하였다¹⁹. Jayatilake 등은 스마트폰과 소리감지센서를 이용하여 병원이 아닌 일상에서 식사 중의 연하상태를 원격으로 모니터링하는 시스템을 개발하여 보고하였다²⁰. 연하장애 환자는 소리감지센서를 목에 부착한 상태에서 음식물 섭취를 하게 되고, 센서를 통해 획득된 소리 신호는 스마트폰을 통해 실시간으로 시각화가 되어 서버로 전달 및 저장이 되는 프로세스로 구동된다. 아직까지 임상 현장에서 식이 과정 중의 연하상태를 정밀하게 모니터링할 수 있는 도구는 개발되지 않았기 때문에, 이러한 원격 연하 모니터링 시스템은 임상적 의미가 클 수 있다.

연하장애 영역에서 원격 비디오투시연하검사 또는 기도 흡인 모니터링 시스템 개발 이외의 연구로, Freed 등은 안전한 연하를 위한 원격 연하 보상 자세 코칭 시스템을 개발하여 제안한 바 있다²¹. 개발된 연하 보상 자세 코칭 시스템은 환자가 정확하게 턱 당기기 자세를 취하는지 확인하기 위하여 환자가 식이를 진행할 때 2차원 영상을 획득하고, 머신러닝 기반 얼굴 인식 알고리즘을 통해 식이 중 환자의 턱 당기기 자세에 대해서 피드백을 제공한다. 물론 턱 당기기 자세만으로 안전한 식이를 위한 충분한 보상이 이루어지지 않을 수 있으나, 가정에서 안전하게 식이를 진행하기 위한 피드백 시스템 개발의 초기 연구로서 의미가 있다. 이와 함께 화상으로 제공하는 원격 리실버만 음성치료 훈련 시스템²², 교육 비디오와 영상 및 설명 등이 프로토콜에 따라 환자에게 제공되어 가정에서 혼자 훈련할 수 있도록 하는 가정 기반 원격 연하훈련 시스템 등이 제안된 바 있다²³.

규제

글로벌 시장에서 두각을 나타내는 디지털 헬스 서비스로 웰닥의 블루스타(Bluestar)와 피어 테라퓨틱스의 리셋

(reset) 등이 있으나²⁴, 국내 시장에서 디지털 의료에 해당하는 서비스는 아직 출시된 바 없다. 국내에서는 디지털 의료 서비스가 원격의료 및 데이터 관련 규제에 저촉될 수 있어 이에 대한 논의가 진행 중이다. 디지털 의료 분야에서 누적 투자액 기준으로 글로벌 상위 100개 기업들 중 국내 규제에 저촉되지 않고 서비스 제공이 가능한 기업은 일부에 불과할 수 있으며, 이는 대부분의 디지털 의료 기업들의 서비스 초점이 원격의료와 유전자 검사, 데이터 기반의 서비스에 있기 때문일 수 있다.

국내에서는 의료법 제 34조에 따라 의료인이 타의료인에게 지식과 기술을 지원하는 행위만이 허용 가능한 원격의료 행위이며, 원거리에 있는 의료인이 비대면으로 진단과 치료를 하는 행위는 불법에 해당한다²⁵. 2020년 감염병의 예방 및 관리에 관한 법률이 개정되어 코로나19 감염병의 위기 대응 심각단계의 위기경보 발령 기간 동안에는 한시적으로 의사의 판단에 따라 안전성 확보가 가능한 경우 비대면 진료에 허용되었다²⁶. 하지만 이러한 법률 개정이 원격의료의 전면 허용으로 가는 시작 단계라고 보기는 어려우며, 의료법 개정과 함께 원격의료 영역의 요소 기술들의 성숙도, 환자 안전과 효과에 대한 명확한 임상적 증거, 다양한 이해관계자들의 이해상충, 비용 대비 효과와 같은 경제적 평가, 건강보험 적용 및 수가 등 다양한 문제들에 대해서 충분한 논의가 이루어져야 한다.

디지털화된 건강정보, 특히 의료정보는 민감정보로 간주되며 개인정보보호법, 의료법, 국민건강보험법 등에 의해 보호되고 있다. 2020년에 데이터 이용에 관한 규제 혁신과 신산업 육성을 이유로 데이터 3법 개정(약칭 개인정보보호법, 신용정보법, 정보통신망법의 개정)이 되었으며, 의료 영역에서도 이를 기반으로 디지털 헬스 산업 추진이 탄력을 받을 것으로 기대된다²⁷⁻²⁹. 기존에 모호하였던 개인정보의 판단 기준이 명확하게 되어 개인정보, 가명정보, 익명정보가 정의되었으며, 익명정보의 법 적용이 배제되었고, 감독 기구가 개인정보보호위원회로 일원화되었다. 하지만 여전히 다양한 문제들로 인하여 의료정보의 산업목적의 활용은 제한적일 수 있다. 예를 들어 가명화된 개인정보는 통계작성, 연구목적, 공익적 기록보존 용도로만 활용이 가능하고, 의료 정보는 의료법과 국민건강보험법의 적용을 함께 받기 때문에 이와 충돌한 가능성도 있으며, 개인정보는 익명화가 된다고 하더라도 재식별화의 위험성이 있다는 점도 고려가 필요할 수 있다.

향후 연구를 위한 제언

코로나19 위기 상황에서 기존에 수행하던 연하평가와 치료 방식은 도전적인 상황에 직면하고 있으며 이를 타개하기 위한 새로운 접근법이 요구되고 있다³⁰. 디지털 헬스는 연하장애 영역에서 코로나19 위기상황에 대응하기 위한 효과적인 대안으로 거론될 수 있으나 아직 임상시험을 포함한 양질의 임상연구는 충분하지 않고 요소 기술의 개발 결과들이 일부 보고되었을 뿐이다. 한편으로 코로나19 위기상황에서 비대면 진료가 주목을 받고 있으며 개정된 감염병의 예방 및 관리에 관한 법률에 따라 한시적으로 국내에서도 비대면 진료가 가능해졌다. 하지만 이는 어디까지나 한시적인 조치이며 국내에서 단기간에 의료 전반, 특히 영하장애 영역에서 비대면 진료가 일상화되기는 어려울 것이다. 비록 디지털 헬스 기술이 급격하게 발전하고 있음에도 불구하고 연구 결과가 충분히 축적되어 있지 않고 다양한 규제가 여전히 존재하는 현 상황을 고려하였을 때, 디지털 헬스 기술이 연하장애에 대한 기존의 진료를 대체하기보다 보조적인 방법으로써 추가적인 이득을 발생시킬 수 있는 접근 방향이 적절할 수 있다.

기존의 연하장애 평가와 치료 및 관리에 추가적으로 디지털 헬스 기술을 적용하였을 때 환자에게 새로운 이득이 발생할 수 있는 분야를 탐색하는 것이 중요할 것이다. 스마트폰과 웨어러블 센서를 이용한 연하 모니터링 프로세스 개발은 유망한 분야 중 하나일 것으로 보인다²⁰. 비디오투시연하검사는 환자의 표준 연하 검사법이지만 단일 시점의 연하 기능만을 평가하며 지속적 모니터링을 수행하지는 않으며, 의식장애 또는 기침반사의 저하로 연하기능의 변동가능성이 높거나 소량의 연하훈련식이를 주의해서 시작해야 하는 환자에서 연하 모니터링이 필요할 수 있다³¹. 연하장애 환자에서 비디오투시연하검사에 더하여 안전하게 연하식이를 진행하기 위한 원격 모니터링 시스템이 개발되어 환자에게 적용된다면 흡인성 폐렴 발생률 감소에 도움이 될 수 있다. 또한 경구식이를 안전하게 진행하기 위하여 머신러닝 분야 중 하나인 컴퓨터 비전 기술을 활용한 보상 자세의 모니터링 및 피드백 시스템의 개발도 고려할 수 있을 것이다. 많은 환자들이 보상 자세를 적절히 취하는 데에 어려움을 겪고 있고 상당한 훈련 시간이 필요하기 때문에, 가정에서 보상 자세에 대한 모니터링 및 피드백은 안전한 경구 식이 진행에 도움이 될 것이다. 한편으로 연하장애가 있는 노인 환자들은 영양 결핍의 위험성이 높으며³², 영양결핍의 고위험군 환자들에게 식이의 열량과 영양소, 총 식사 시간 등에 대한 정보 획득 및 이에 대한 적절한 피드백을 통해서 영양 공급

의 가이드를 제공해줄 수 있다.

향후 연하장애 영역에서 디지털 헬스 기술을 개발하고 임상에 적용하기 위해서는 다양한 이슈들의 고려가 필요할 것으로 보인다. 먼저 웰니스와 의료, 이 두 가지의 목표에 따라 규제 적용과 개발과 입증의 과정이 크게 달라질 수 있음을 인지하고 목표를 명확하게 해야 할 것이다. 의료서비스를 목표로 한다면 질병이 있는 환자를 대상으로 임상시험을 통해 효과 또는 비용-효과분석을 수행하는 것이 필요하며, 이는 특히 디지털 치료제 개발에서 필수적이다³³. 또한 디지털 헬스 기술에 기반한 의료 행위가 의료법과 개인정보 보호법 등 다양한 규제에 저촉되지 않는지 면밀히 살필 필요가 있다. 디지털 의료 기술은 개발, 심사 및 허가, 평가가 예측 가능한 범위 내에서 수행이 가능할 때 지속적인 개발 시도가 이루어질 수 있으므로 이에 대한 의료계와 다양한 정부 부처의 공동의 노력이 필요하다. 최근 국내에서 식품의약품안전평가원의 디지털 치료기기 허가 및 심사 가이드라인이 발표된 것은 디지털 의료 기술 개발을 위한 이러한 요구를 반영하기 위한 조치라고 볼 수 있다³⁴. 한편, 개발된 디지털 의료 서비스를 제도권으로 진입시키기 위한 급급화가 요구될 것이므로 신의료기술 및 요양급여 대상 여부의 확인과 신속하게 평가를 수행하기 위한 제도 정비와 함께 이러한 과정에서 중립적 위치에 있는 학회의 역할이 필요할 수 있다. 신의료기술로 등재되기 위해서는 기존의 진료 서비스가 제공하지 못하는 새로운 의학적 정보를 제공하거나 기존 의료행위 대비 진단 또는 치료 능력이 향상되는 등의 환자에게 제공되는 이익과 비용효과성이 입증되어야 하기 때문에 개발자들은 이를 유념해야 한다³⁵. 개발하고자 하는 의료 서비스의 해외 진출을 고려한다면 국가별로 다른 의료 체계와 규제 사항에 대한 고려가 필요할 수 있다.

REFERENCES

1. Kumar A, Gupta PK, Srivastava A. A review of modern technologies for tackling COVID-19 pandemic. *Diabetes Metab Syndr Clin Res Rev*. 2020;14:569-573.
2. Freeman-Sanderson A, Ward EC, Miles A, et al. A Consensus Statement for the Management and Rehabilitation of Communication and Swallowing Function in the ICU: A Global Response to COVID-19. *Arch Phys Med Rehabil*. 2021;102(5):835-842. doi:10.1016/j.apmr.2020.10.113
3. Budd J, Miller BS, Manning EM, et al. Digital technologies in the public-health response to COVID-19. *Nat Med*. 2020;26(8):1183-1192. doi:10.1038/s41591-020-1011-4
4. Salawu A, Green A, Crooks MG, Brixey N, Ross DH, Sivan M. A proposal for multidisciplinary tele-rehabilitation in the assessment and rehabilitation of COVID-19 survivors. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(13):1-13. doi:10.3390/ijerph17134890
5. Solomon DH, Rudin RS. Digital health technologies: opportunities and challenges in rheumatology. *Nat Rev Rheumatol*. 2020;16(9):525-535. doi:10.1038/s41584-020-0461-x
6. Market Research Future. Impact of COVID-19 on the Telehealth Market.; 2019.
7. Goldsack J, Coder M, Fitzgerald C, Navar-Mattingly N, Coravos A, Atreja A. Digital Health, Digital Medicine, Digital Therapeutics (DTx): What's the difference? <https://dtxalliance.org/2019/11/11/digital-health-digital-medicine-digital-therapeutics-dtx-whats-the-difference/>.
8. Kadakia K, Patel B, Shah A. Advancing digital health: FDA innovation during COVID-19. *npj Digit Med*. 2020;3(1):1-3. doi:10.1038/s41746-020-00371-7
9. U.S. Food and Drug Administration. What is Digital Health? <https://www.fda.gov/medical-devices/digital-health-center-excellence/what-digital-health>. Published 2020.
10. Dash S, Shakyawar SK, Sharma M, Kaushik S. Big data in healthcare: management, analysis and future prospects. *J Big Data*. 2019;6(1). doi:10.1186/s40537-019-0217-0
11. Lee WH, Lim MH, Seo HG, Seong MY, Oh BM, Kim S. Development of a Novel Prognostic Model to Predict 6-Month Swallowing Recovery after Ischemic Stroke. *Stroke*. 2020;440-448. doi:10.1161/STROKEAHA.119.027439
12. Koenigkam Santos M, Raniery Ferreira Júnior J, Tadao Wada D, Priscilla Magalhães Tenório A, Henrique Nogueira Barbosa M, Mazzoncini De Azevedo Marques P. Artificial intelligence, machine learning, computer-aided diagnosis, and radiomics: Advances in imaging towards to precision medicine. *Radiol Bras*. 2019;52(6):387-396. doi:10.1590/0100-3984.2019.0049
13. Lee SJ. Application of Artificial Intelligence in the Area of Dysphagia. *J Korean Dysphagia Soc*. 2020;10:4-9. doi:10.1007/s11684-020-0770-0
14. Lee JC, Seo HG, Lee WH, Kim HC, Han TR, Oh BM. Computer-assisted detection of swallowing difficulty. *Comput Methods Programs Biomed*. 2016;134(September 2013):79-88. doi:10.1016/j.cmpb.2016.07.010
15. Lee SJ, Ko JY, Kim H Il, Choi S Il. Automatic detection of airway invasion from videofluoroscopy via deep learning technology. *Appl Sci*. 2020;10(18). doi:10.3390/AP10186179
16. Dudik JM, Kurosu A, Coyle JL, Sejdíć E. Dysphagia and its effects on swallowing sounds and vibrations in adults. *Biomed Eng Online*. 2018;17(1):1-18. doi:10.1186/s12938-018-0501-9
17. Sarraf Shirazi S, Birjandi AH, Moussavi Z. Noninvasive and automatic diagnosis of patients at high risk of swallowing aspiration. *Med Biol Eng Comput*. 2014;52(5):459-465. doi:10.1007/s11517-014-1151-0
18. Nordio S, Innocenti T, Agostini M, Meneghello F, Battel I. The efficacy of telerehabilitation in dysphagic patients: A systematic review. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2018;38(2):79-85. doi:10.14639/0392-100X-1816

19. Malandraki GA, McCullough G, He X, McWeeny E, Perlman AL. Teledynamic evaluation of oropharyngeal swallowing. *J Speech, Lang Hear Res.* 2011;54(6):1497-1505. doi:10.1044/1092-4388(2011/10-0284)
20. Jayatilake D, Suzuki K, Teramoto Y, et al. Swallowscope: A smartphone based device for the assessment of swallowing ability. 2014 IEEE-EMBS Int Conf Biomed Heal Informatics, BHI 2014. 2014:697-700. doi:10.1109/BHI.2014.6864459
21. Freed M, Burns B, Heller A, Sanchez D, Beaumont-Bowman S. A prototype intelligent assistant to help dysphagia patients eat safely at home. *AAAI Work - Tech Rep.* 2016;WS-16-01-:24-28.
22. Howell S, Tripoliti E, Pring T. Delivering the Lee Silverman Voice Treatment (LSVT) by web camera a feasibility study. *Int J Lang Commun Disord.* 2009;44(3):287-300. doi:10.1080/13682820802033968
23. Wall LR, Ward EC, Cartmill B, Hill AJ, Porceddu S V. Adherence to a Prophylactic Swallowing Therapy Program During (Chemo) Radiotherapy: Impact of Service-Delivery Model and Patient Factors. *Dysphagia.* 2017;32(2):279-292. doi:10.1007/s00455-016-9757-z
24. Patel NA, Butte AJ. Characteristics and challenges of the clinical pipeline of digital therapeutics. *npj Digit Med.* 2020;3(1):1-5. doi:10.1038/s41746-020-00370-8
25. Article 34, Section 1 Establishment of medical institutions, Chapter III Medical institution, Medical service act. 2010
26. Article 49-3, Chapter VIII Preventive measures, Infectious disease control and prevention act. 2020
27. Personal information protection act. 2020
28. Credit information use and protection act. 2021
29. Act on promotion of information and communications network utilization and information protection, 2020
30. Bordsky MB, Gilbert RJ. The Long-Term Effects of COVID-19 on Dysphagia Evaluation and Treatment. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101:1662-1664.
31. Ko S-H. Risk Factors and Assessment of Aspiration. *J Korean Dysphagia Soc.* 2019;20(50612):55-60.
32. Shin W. Future Perspective of the Elderly Food in a Super-Aged Society. *J Korean Dysphagia Soc.* 2021;11:1-8.
33. Wang W, Gellings Lowe N, Jalali A, Murphy SM. Economic modeling of reSET-O, a prescription digital therapeutic for patients with opioid use disorder. *J Med Econ.* 2021;24(1):61-68. doi:10.1080/13696998.2020.1858581
34. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Approval of digital therapeutics · Review guideline. 2020
35. Health Insurance Review and Assessment Service, Assessment guideline of insurance benefits for innovative medical technologies: AI-based medical technologies (pathology). 2021