

연하장애 환자의 혀 운동 및 측정 도구에 대한 고찰

김진영*, 손영수**, 홍덕기***

*다빈치병원 작업치료사

**비에스의료재단 브레인재활요양병원 작업치료사

***원광대학교 의과대학 작업치료학과 교수

국문초록

서론 : 본 연구는 연하장애 환자의 혀 운동 및 측정 도구들에 대한 고찰을 통해 도구의 원리와 특징을 확인하여 임상 적용을 위한 정보를 제공하고자 하였다.

본론 : 연하재활 분야에서 혀 운동 및 측정 도구로 활용되고 있는 15개의 도구를 확인하였고, 원리에 따라 벨브 센서 원리, 저항 센서 시트 원리, 마우스피스형 센서, 기타 기술의 도구로 분류하였다. 벨브 센서는 IOPI, KSA, TPM-01이 있었으며, 사용방법이 다소 간편하지만 혀의 압력 측정 시 위치 고정에 대한 제한점이 있었다. 저항 센서 시트는 I-SCAN, KEI, IPMD, PRESLA가 있었고, 모두 입천장에 고정이 가능하여 벨브 센서 원리에 비해 안정적인 위치에서 혀 압력 측정이 가능하다. 하지만 제작과정이 복잡하고, 많은 비용이 소모된다는 단점이 있었다. 마우스피스형 원리는 MOST, T-Station, SwallowSTRONG, LFDS가 있었으며, 도구의 특성상 개인의 구강에 맞게 제작되어 혀 압력 측정 시 고정이 가능하고, 안정적인 측정이 가능하다. 하지만 제작 과정에서 많은 비용이 발생하며, 세밀한 움직임의 측정과 내구성에 제한점이 있었다. 기타 도구로는 OPG, TTS, OroPress, TPWA가 있으며, 빛 감지의 원리와 무선 측정이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 신뢰도와 타당도가 입증되지 않아 추후 연구가 필요한 실정이다.

결론 : 본 연구는 1990년대부터 현재까지 개발된 혀 운동 및 측정 도구들의 분석을 통해 연하재활 분야에서 활용할 수 있는 정보를 제시하였다. 이에 임상에서 도구의 선택 과정에 도움이 될 것으로 판단된다. 향후에는 기존 도구들의 장단점들을 고려하여 임상뿐만 아니라 가정에서도 활용 가능한 혀 운동 및 측정 도구 개발이 필요하다.

주제어 : 연하장애, 측정 도구, 혀 운동

I. 서 론

혀는 해부학적으로 혀 끝, 혀 몸통, 혀 바닥으로 구분하며, 각 4쌍의 내재근(intrinsic muscle)과 외재근(extrinsic muscle)으로 구성된다. 내재근은 혀 내부에 위치하여 혀의 모양 변화에 관여하고, 외재근은 혀 바깥쪽에 위치하여 혀의 올림, 내림, 내밌, 뒤당김의 움직임을 수행한다(Fregosi & Lodlow, 2014). 또한 혀는 구강 혀와 인두 혀로 분류하며, 각 삼킴 단계에서 기능적 역할을 담당한다(Stone et al., 2018). 구강 혀는 구강 준비기와 운반기 단계에서 음식덩이를 형성하고 앞쪽 입천장 활(anterior faucial arch)로 음식덩이를 운반한다(Hiimae & Palmer, 2003; Kays & Robbins, 2006; Robbins et al., 2005). 인두 혀는 인두기 단계에서 혀 바닥 뒤당김을 통해 인두 내 양압을 형성하여 음식덩이의 이동을 촉진하며, 후두계곡 잔여물이 발생하지 않도록 하는 역할을 한다(Jaffer et al., 2015; Kahrilas et al., 1993). 삼킴 과정에서 혀의 역할이 충분하지 못하면 구강 및 인두 잔여물과 음식덩이 통과 시간 증가로 인해 기도 흡인을 야기할 수 있다(Kahrilas et al., 1993; Youmans & Stierwalt, 2006; Youmans et al., 2009). 이처럼 혀는 삼킴 단계 전반에 걸쳐 작용하며 안전한 삼킴을 위한 중요한 요소로서 연하재활 분야에서 필수적으로 다뤄야 할 기관이다(Lee et al., 2016).

혀 기능 손상은 혀 위축을 유발시켜 연하 압력이 약화되는 결과를 초래해 삼킴을 방해한다. 따라서 연하장애 환자에게 혀 기능 증진을 위한 연하재활치료 기법이 시행되어야 한다(Hewitt et al., 2008). 저항을 통한 혀 운동은 연하장애 환자의 삼킴 기능을 향상시킬 수 있다(Kang et al., 2013). Robbins 등(2005)은 혀의 저항 운동을 연하장애 환자들에게 적용한 결과 혀의 부피 증가, 근력 향상, 흡인 감소와 삼킴의 안정성이 증가되었다고 보고하였다. Lazarus 등(2003)은 혀를 단단입천장에 대항하여 압력을 가하는 방식인 혀-압력 저항 훈련(Tongue-Pressure Resistance Training; TPRT)이 혀의

힘을 강화시켜 삼킴에 긍정적인 영향을 미친다고 발표하였다. 이처럼 저항 요소를 반영한 치료 기법들은 혀의 기능 향상을 위해 효과적으로 적용될 수 있다. 이와 더불어 연하재활 분야에서는 혀의 저항 운동 뿐만 아니라 기능적 측정을 위한 방법 및 도구들이 활용된다. 구강운동(oro-motor)검사는 혀 근력과 움직임을 평가하는 전통적인 임상 평가로(Choi et al., 2018), 설압자와 육안을 통해 외형, 긴장도, 협응력, 근력 등을 확인할 수 있다(Song, 2014). 검사 항목에는 혀 내밀기와 측면 움직임의 범위, 저항 평가가 포함되며, 구강기를 포괄적으로 검사할 수 있어 임상에서 많이 활용되고 있다(Clark et al., 2003). Clark 등(2003)은 총 63명의 연하장애 환자를 대상으로 구강운동검사를 통해 혀의 근력과 구강기의 삼킴 기능과의 관계를 연구한 결과 혀의 근력 약화를 보인 환자들은 구강기의 연하장애 위험이 높은 것으로 나타났다. 하지만 저항 운동 기법과 구강운동 검사 과정에서 구강 내 혀의 움직임을 외부에서 명확하게 관찰하는데 한계가 있으며, 표준화된 프로토콜의 부재로 임상가의 역량에 따라 검사 결과에 대한 검사자 간 신뢰도에 문제가 생길 수 있다는 한계가 있다(Choi et al., 2018).

이에 혀의 기능을 객관적이고 정량적으로 측정 및 훈련의 용도로 활용할 수 있는 도구들이 개발되었다. 대표적으로 스트레인 게이지 압력기(strain gauge manometry), 힘 감지 저항기(force-sensitive resistors), 벌브 압력 센서(bulb pressure sensor)와 같은 인체공학 기술이 적용되어 혀의 근력, 지구력 및 움직임을 감지한다(Crow & Ship, 1996; Nagao et al., 2002; Tsuga et al., 2003). 대표적인 벌브 압력 센서의 원리인 Iowa Oral Performance Instrument(IOPI)와 Digital Swallowing Workstation(DSW; Model 7100; KayPENTAX, Montvale, NJ, USA)은 구강 내 혀의 압력을 통한 측정 및 훈련 도구로 알려져 있다(Choi et al., 2018). 지구력 및 정확도 훈련에 활용할 수 있지만 벌브 위치에 오류가 발생할 수 있다는 단점을 보완하고자 벌브 대신 저항 또는 압력 감지 센서를 활용한 연구가

보고되고 있다(McCormack et al., 2015; Robbins & Hind, 2015). 특히 벌브의 위치 고정의 문제를 개선하기 위해 인공 구개판을 제작하여 센서를 부착하거나, 센서 시트(Sensor sheet)를 입천장에 고정시키는 방법이 보고되었다(Hori et al., 2009; Ono et al., 2004). 그리고 개인별 구강 구조에 맞는 마우스피스 또는 의치에 센서를 삽입한 연구(Hewitt et al., 2008; Kieser et al., 2008), 입 밖으로 튜브와 전선이 없는 무선 측정 방법(Liu et al., 2021) 등 다각적인 공학 기술을 적용한 도구 개발이 진행되고 있다. 이와 관련된 선행 연구로 Shaker와 Lang(1994)은 압력계(manometer)를 사용하여 구강 내 다양한 부위의 압력을 측정하였고, Trawitzki 등(2011)은 전자 압력계(manufacturer: Kratos Equipmentos Industriais, Cotia, Sao Paulo, Brazil)을 사용하여 혀 압력을 측정하였다. 또한 Kay digital swallowing workstation (Model 7100; Kay elemetrics, Lincoln Park, NJ, USA)과 Kay swallowing signals lab(Model 7120; Kay elemetrics)의 연구들이 제시되고 있으며, Handy probe(TPS-350, Alnic, Higashihiroshima, Japan), Sensory sheet system(Nitta, Osaka, Japen) 등의 다양한 원리를 바탕으로 개발된 장비들이 혀 압력과 움직임을 측정하는데 사용되어지고 있다(Lenius et al., 2009; Yoshida et al., 2007; Yoshikawa et al., 2011).

1990년대부터 현재까지 다양한 혀 운동 및 측정 도구들이 개발되었는데, 이러한 연구들의 궁극적인 목적은 삼킴 과정에서 혀의 기능을 명확히 측정하고, 이에 근거하여 연하장애 환자의 안전한 삼킴을 위한 훈련 도구로서의 유용성을 입증하는 것이라고 할 수 있다. 혀 운동 및 측정 도구는 과학 기술의 발전에 따라 새로운 인체공학 기술들이 기존 도구들의 제한점을 개선하며 발전하고 있다. 따라서 본 연구는 혀 운동 및 측정 도구들에 대한 고찰을 통해 도구의 원리와 특징들을 확인하고, 임상에서 혀 운동 및 측정을 위한 도구 선택에 있어서 필요한 정보를 제공하고자 한다.

II. 본 론

혀 기능에 대한 객관적인 특성을 파악하기 위해 다양한 원리의 도구들이 개발되었으며, 벌브(Bulb), 압력 센서 등의 시스템 설계로 이어져 왔다(Nagao et al., 2002; Robinovitch, 1991; Shaker et al., 1988). 최근 기술의 발전으로 혀와 입천장의 접촉 여부, 생성된 혀 압력, 수축 지속시간을 측정할 수 있으며 저항 운동 도구로써도 사용하고 있다(Chiba et al., 2003; Hori et al., 2005; Nagao et al., 2002; Ono et al., 2004).

본 연구에서는 연하재활 분야에서 사용하고 있는 혀의 기능적인 측정과 더불어 저항 운동으로 적용이 가능한 도구들의 고찰을 통해 정보를 분석하였다. 검색 엔진은 PubMed, Google scholar를 사용하여 검색하였으며 'tongue strength', 'tongue pressure', 'tongue evaluation', 'tongue exercise device'와 같은 다양한 용어를 혼용하여 검색하였다. 1992년부터 2021년까지 최근 30년간 개발된 연하재활과 관련된 도구로 혀의 기능적인 측정과 저항 운동의 적용이 가능한 도구들을 선정하였다. 또한 선정된 연구에서 사용된 참고문헌을 토대로 추가적인 검색을 통해 15개의 도구를 최종 선정하였다.

선정된 도구는 공기가 들어있는 벌브를 혀로 누르는 방식을 적용한 벌브 센서(Bulb sensor) 원리, 입천장에 센서를 부착하여 정확한 위치와 혀가 만들어내는 압력까지 측정할 수 있는 방식인 저항 센서 시트(Resistive sensor sheet) 원리, 마우스피스나 의치에 센서를 부착하는 방식인 마우스피스형 센서(Mouthpiece with sensor), 빛 감지 및 무선 어플리케이션을 활용한 기타 기술(Other techniques)의 도구로 측정 원리에 따라 4가지로 분류하여 분석하였다(Table 1). 분류된 도구는 원리, 개발 목적, 적용 결과와 현재까지 연구된 신뢰도와 타당도 등을 제시하였다.

Table 1. List of Tongue Exercise and Measurement Device

Author(year)	Device name	Principle	Stability of the sensors	Patient usage	Reliability	Validity
Robin & Luschei. (1992)	Iowa Oral Performance Instrument		Poor	Hand held device	Yes	Yes
Robbins et al. (2005)	Kay Swallow Three Air-Filled Bulb	Bulb sensor	Poor	Fixed position	Yes	Yes
Yoshida et al. (2006)	JMS Tongue Pressure Measurement-01		Good	Hand held device	Yes	Yes
Hori et al. (2009)	I-SCAN		Good	Fixed position	Yes	Yes
Ono et al. (2004)	Kyowa Electric Instrument		Good	Fixed position	No	Yes
Kieser et al. (2008)	Intraoral Pressure Measuring Device	Resistive sensor sheet	Good	Fixed position	No	No
Mirchandani et al. (2021)	PRESSION de la Langue(PRESLA)		Good	Fixed position	No	No
Hewitt et al. (2008)	Madison Oral Strengthening Therapeutic		Good	Fixed position	Yes	Yes
Furlan et al. (2019)	T-Station	Mouthpiece with sensor	Good	Fixed position	No	No
Robbins & Hind (2015)	SwallowsSTRONG		Good	Hand held device	No	No
Sangave et al. (2008)	Lingual Force Detection System		Good	Fixed position	Yes	No
Wagner et al. (2021)	Optopalatography	Optical proximity sensing principle	Good	Hand held device	No	No
Sardini et al. (2013)	Tactile Sensor Fabricate over a Plastic Sheet	Other techniques	Good	Hand held device	No	No
McCormack et al. (2015)	OroPress	Wireless tactile sensor	Good	Fixed position	Yes	Yes
Liu et al. (2021)	Tongue Pressure Wireless Application	Wireless pressure	Good	Fixed position	No	Yes

1. 벌브 센서(Bulb sensor) 원리

1) Iowa Oral Performance Instrument (IOPI)

IOPI는 구강에 생성된 압력을 측정하기 위한 목적으로 Robin과 Luschei(1992)에 의해 고안되었다. 벌브는 압력 측정에 사용되는데 개발 초기에 액체형으로 제작되었지만 이후 개발된 IOPI(IOPI Medical LLC, Carnation, WA, U.S.A)는 공기형 벌브로 변형되었다. 벌브는 5센트 동전 크기(2cm x 1cm X 0.5cm)의 플라스틱 재질이며, 도구 작동 시 벌브의 내부가 공기로 채워지게 된다(Robbins et al., 2005). 이후 혀와 단단입천장 사이에 위치시킨 후 센서가 압력을 감지하여 정량적으로 수치화(kPa)된 결과를 확인할 수 있어 지구력 및 정확도 훈련에도 활용할 수 있다. IOPI는 혀의 기능적 훈련 수행이 가능하며, 저항 운동 시에는 필요한 저항의 수준을 설정할 수 있다(Adams et al., 2013). 본체 전면 에 위치한 램프는 벌브에 가해진 압력에 따라 점화되는데, 이는 환자의 혀 움직임 수행에 대한 시각적 피드백도 가능하다(Adams et al., 2015). IOPI는 평가자 내 신뢰도 .76에서 .99로 높은 신뢰도를 보이고 현재 국내에서 높은 빈도로 사용된다(Choi et al., 2018; Mirchandani, 2019; Youmans & Stierwait, 2006). 하지만 안정적인 위치 설정에 제한이 있어 압력 측정에 오류가 발생할 수 있다(Arakawa et al., 2020; Takahashi et al., 2016).

2) Kay Swallow Three Air - Filled Bulb (KSA)

Kay Swallow Three Air - Filled Bulb는 Robbins 등(2005)에 의해 개발된 도구로 혀 압력과 삼킴 과정의 생리학적 정보를 비디오투시연하검사(Videofluoroscopy Swallow Study; VFSS)와 함께 실시간으로 기록할 수 있는 도구이다(Nicosia et al., 2000). 혀 압력은 변환기(Kay PENTAX)에 연결된 실리카 스트립(silica strip)에 의해 측정된다(Yoshikawa et al., 2011). 공기가 채워진 3개의 벌브(직경 13mm, 간격 8mm)는 입천장의 정중선(Midline)에 따라 세로로 부착

한다. 앞쪽 벌브는 치조 능선(Alveolar ridge)에 배치하고 뒤쪽 벌브는 물렁입천장과 단단입천장의 접합부(Junction)에 위치시켜 압력을 측정한다(Robbins et al., 2005). Ball 등(2006)의 연구에 따르면 실리카 스트립을 휴대한 상태와 입천장에 고정 배열한 상태에서의 측정 값을 두경부암 환자를 대상으로 비교한 결과 고정 배열 후 측정하는 방식에서 더 높은 신뢰도 (ICC: .86-.94)가 나타났다고 보고하였다(Ball et al., 2006).

3) JMS Tongue Pressure Measuring instrument (TPM-01)

TPM-01은 Yoshida 등(2006)이 구강 기능의 객관적인 수치를 측정하기 위해 개발한 도구이다. 넓이 18mm, 높이 25mm의 프로브(Probe)와 넓이 6mm, 높이 10mm의 플라스틱 튜브로 구성되었다. 프로브에 채워지는 초기 압력은 19.6kPa이며, 직경 18mm, 부피 3.7ml가 측정의 기준점이 된다(Yoshida et al., 2006). 입천장과 혀 사이에 프로브를 위치시키고 압력을 측정하는 방식에서 IOPI와 유사하다. 이에 두 도구 사이의 측정 압력을 비교한 결과, 중간 정도의 상관관계($r=.39, p<.049$)를 입증했다(Yoshikawa et al., 2011). IOPI의 벌브는 얇은 튜브로 설계되어 있어 잘못된 위치에서 반응할 수 있기 때문에 전반적으로 높은 압력이 측정된다. 반면 TMP-01은 프로브가 파이프에 연결되어 있어 IOPI에 비해 상대적으로 안정적인 측정이 가능하다고 보고하였다(Yoshikawa et al., 2011).

2. 저항 센서 시트(Resistive sensor sheet) 원리

1) I-SCAN

I-SCAN은 Hori 등(2005)에 의해 개발되었으며, 혀의 움직임과 압력을 실시간으로 확인할 수 있는 도구이다. 세 가지 크기로 제작된 T형의 센서 시트는 0.1mm의 두께로 불편함을 최소화하고, 입천장과 의치(Denture)

의 표면에 접착제를 사용하여 직접 부착한다. 측정 위치는 정중선을 따라 3개, 뒤쪽 좌·우측 영역에 2개로 총 5개가 배치된다. 연결된 와이어는 구강 전정을 통해 외부로 연결되어 혀 압력 수치를 기록한다. 튜브를 앞으로 고정하는 벨브 센서 방식과 달리 입을 다물고 음식을 삼키는 과정에서도 측정이 가능하다(Hara et al., 2014). I-SCAN에 사용된 센서 시트와 압력 센서 사이의 상관관계를 확인한 결과, 센서 시트의 출력 레벨(Output level)은 압력 센서보다 낮게 측정됐지만 두 원리 사이의 높은 상관관계를 확인하였다($r=0.952$, $p<0.001$). 하지만 개인의 구강 크기에 따라 센서 시트의 크기를 고려해야 하며, 의치 등의 보조적 도구를 착용해 본 경험이 없는 경우 센서 시트에 적응 기간 별도로 필요할 수 있다고 하였다(Hori et al., 2009).

2) Kyowa Electric Instrument (KEI)

KEI는 Ono 등(2004)이 혀 압력 측정 방식을 개선하기 위해 개발한 도구로 치아가 없는 환자에게도 적용할 수 있는 도구이다. 총 직경과 두께가 각각 6.6mm, 0.9mm로 7개의 디스크 모양 압력 센서이다. 압력 센서는 위 턱의 구조물인 치조궁(Dental arch)과 앞니유두(Incisive papilla), 교합평면(Hamular notch)의 해부학적 주요 위치를 기반으로 배치된다. 3개의 센서(Ch. 1-3)는 물렁 입천장의 정중선을 따라 배치되며, Ch. 4는 왼쪽 전방 1/3 지점, Ch. 5는 왼쪽 후방 1/3 지점, Ch. 6-7은 Ch. 4-5 반대쪽에 위치시킨다. 혀 압력 생성 과정을 조사한 결과 혀의 앞쪽 중앙 부분에서의 압력이 뒤쪽 중앙 부분에서 보다 크게 형성됨을 확인하였다. 혀 압력 생성의 평균 지속 시간은 앞쪽 중앙 부분에서 0.90초, 뒤쪽 중앙 부분에서 0.62초로 나타나 Shaker 등(1988)에 의해 보고된 혀 앞쪽 부분 0.99초, 혀 뒤쪽 중앙 부분 0.77초의 값과 유사하였다. 이에 액체를 삼키는 동안 물렁입천장의 각 부분에서 생성되는 혀 압력의 순서, 기간, 크기에 대한 정보를 확인할 수 있다. 하지만 센서 제작 과정은 상대적으로 많은 비용이 소모되고, 제조 과정이 복잡하다는 제한점이 있다(Ono et al., 2004).

3) Intraoral Pressure Measuring Device (IPMD)

IPMD는 물을 삼키는 동안의 압력 변화를 평가하기 위해 Kieser 등(2008)에 의해 개발되었다. 구강 내의 여러 위치에서 지속적으로 관찰할 수 있으며, 저작 중에도 착용할 수 있는 도구이다. 이에 구강 내의 다양한 위치에서 동시 압력을 측정하기 위해 3mm 이하의 얇은 크롬-코발트 성분의 합금으로 제작되었다. 센서의 두께는 0.508mm, 직경 2.67mm로 삼키는 과정에서의 압력을 측정하기 위해 각각 8개의 센서를 배치하였다. 센서의 위치는 좌측 앞니, 송곳니, 첫 번째 어금니의 바깥쪽과 안쪽에 각각 한 쌍 씩 센서를 배치하여 혀의 가장자리와 볼의 압력을 측정할 수 있고, 입천장의 정중선에 대한 압력은 두 개의 센서로 측정된다. 다른 도구들과 달리 본 도구는 삼키기, 말하기 등 여러 종류의 움직임을 수행하는 동안의 잠재적인 압력을 측정할 수 있으며, 센서가 위치하는 특징에 따라 입천장, 볼, 입술의 압력 변화도 동시에 측정이 가능하다(Kieser et al., 2008).

4) PRESSion de la LANGue (PRESLA)

PRESLA는 의치(Denture)에 생성된 6개의 구멍에 센서를 삽입하여 언어 생성과 삼키는 과정의 압력 패턴을 확인할 수 있는 도구로써 Material Science and Engineering C.(Jeannin et al., 2008)에 의해 발표된 시스템을 기반으로 Mirchandani 등(2021)에 의해 개발되었다. PRESLA는 의치를 착용하는 사람들에게 적용이 가능하다. 센서의 위치를 결정하기 위해 유색 스프레이를 의치에 도포하고, 언어 생성과 삼킴 시행 후 생성된 구개도(Palatogram)의 위치 따라 센서를 삽입하게 된다. 압력 측정의 정확도는 1.5~4kPa의 범위에서 측정 가능하며, 물 삼킴에 대한 압력을 연구한 결과 초기 최대 신호로 시작하여 양압 단계(Positive pressure)에서는 압력이 서서히 감소한다고 보고하였다. 또한 마찰음과 같은 언어 생성을 하는 경우보다 물 삼킴에서 20배 가량 더 큰 압력이 형성된다는 결과를 확인하였다(Mirchandani et al., 2021).

3. 마우스피스형 센서(Mouthpiece with sensor)

1) Madison Oral Strengthening Therapeutic (MOST)

Hewitt 등(2008)은 혀 압력 측정 장치의 한계를 해결하기 위하여 치과용 퍼티(Putty)를 활용한 MOST- I, II 를 개발하였다. MOST는 탄성 중합체 압력 측정 센서(Elastomer strain gauge sensor)가 전자회로와 연결되어 구강 압력의 기록과 판독이 가능하다. 대상자의 구강 형태에 맞춘 마우스피스는 여러 위치에서 동시에 생성되는 압력을 일관성 있게 측정할 수 있다. 또한 도구의 사용이 비교적 단순하며, 작고 휴대가 가능하다. 건강한 성인의 최대 등척성 혀 압력은 40~84kPa로 나타났다. MOST와 IOPI의 비교 결과 MOST- I의 경우 IOPI보다 낮은 압력 값이 측정되었지만 MOST-II의 마우스피스의 압력 값의 높은 상관관계를 확인하였다(Hewitt et al., 2008). 이후 Greuel 등(2012)에 의해 감각 운동 요소를 세밀하게 측정하기 위해 개선된 디자인의 MOST가 개발되었다. 센서는 동시 압력 측정을 위해 5개가 부착되고, 생성 압력은 헥토파스칼(hPa) 단위로 기록된다. 하지만 한쪽 끝의 자동 제어 장치와 혀에 연결된 금속 막대의 내구성에 제한점이 있으며, 혀가 최대 수직 거리로 이동할 경우 금속 막대가 함께 구부러져 압력이 낮아지는 현상도 나타날 수 있음을 보고하였다(Greuel et al., 2012).

2) Tongue Station (T-Station)

컴퓨터 게임을 접목시켜 흥미를 유발하고 개별적인 혀 운동을 제공할 수 있는 T-Station은 Furlan 등(2019)에 의해 개발되었다. 움직임 훈련을 위해 마우스가드(Mouth guard)를 장착하고 게임에서 요구하는 방향에 대해 조이스틱을 혀로 조절하는 방식이다. 혀의 움직임 정도의 오류를 최소화하기 위해 턱을 받칠 수 있는 지지대를 제공하였으며, 조이스틱을 각 방향으로 움직이면 신호를 캡처한 센서가 활성화되어 입력된 정보가 컴퓨

터로 전달된다. 게임이 종료되면 결과 기록지가 생성되어 진행사항을 모니터링 할 수 있다. 적용 결과 연령에 따라 혀 움직임 방향과 근력 유지 시간에 차이가 있음을 확인하였으며, 지구력은 게임 시간과 라운드 수에 따라 변화되었지만 성별에서는 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 도구의 특성 상 마우스가드를 장착한 측면에서 혀의 내뱉(Protraction) 동작에 제한이 발생하고, 혀의 기민성(Dexterity)이나 운동 협응(Motor coordination)을 측정하는데 한계가 있다고 보고하였다(Furlan et al., 2019).

3) Swallow STRENGTHENING OropharyNGeal (SwallowSTRONG)

Wisconsin-Madison 대학에 의해 개발된 도구로 MOST의 이후 제품인 SwallowSTRONG을 설계하였다(Robbins & Hind, 2015). 가장 적합한 방법의 측정을 위해 용이성, 정량성, 구강 내 배치의 신뢰성, 내구성과 비용 등 다양한 요인을 고려하여 개발되었다. 다중 센서가 장착되어 있는 맞춤형 마우스피스는 클라우드 기반의 시스템을 갖추고 있어 중재의 상황과 프로토콜 준수 여부에 대해 원격 모니터링이 가능하다. SwallowSTRONG을 활용한 중재 결과, 연하장애 환자의 폐렴 증상이 84% 감소했고, 입원 시 병상 일수도 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 삼킴에 대한 노력 정도의 유의한 감소($p=.001$), 식욕 증가($p=.001$), 치아 사이 음식 잔여물($p=.05$), 액체 마실 때 기침($p=.07$)의 항목에서도 점수의 변화를 관찰하였다고 보고하였다. 또한 추가적으로 시행된 SWAL-QOL의 설문 조사에서도 하위 척도 11개 중 8개의 항목에서 유의미한 개선을 나타냈다.

4) Lingual Force Detection System (LFDS)

LFDS는 두 개의 마우스가드에 장착된 압력 저항 센서를 통해 혀의 힘을 측정하는 도구로 Sangave 등(2008)에 의해 개발되었다. 센서는 스테인리스 재질의 지지판과 인체에 무해하고, 실리콘 고무로 제작된

1.58mm의 펍(puck) 사이에 배치된다. 혀와 접촉하는 면 13mm x 8mm, 다른 면은 8mm x 8mm로 제작되었는데, 이는 넓은 영역의 센서가 작은 영역에 전달하는 힘을 최대화하기 위함이다. LFDS는 구강 안에서 신속하게 혀의 힘을 측정할 수 있고 기존에 저장된 데이터와 비교가 가능하다. 또한 혀의 피로도와 지구력을 측정할 수 있으며, 정상 임계값 보다 낮게 나타날 경우 의사 및 치료사에게 알람을 전송하여 약화된 위치를 파악할 수 있다. 본 도구의 실험 결과 센서의 전도도(Conductance)와 반복 측정 시 정확도에 대해 높은 상관계수를 나타냈고, 혀의 힘과 지구력을 측정함에 있어 체계적인 자료 수집이 용이하다. 하지만 사용된 센서는 인장력(Tensile force)으로 인해 도구의 사용 시 오작동이나 고장을 초래할 수 있다는 제한점이 있다(Sangave et al., 2008).

4. 기타 기술(Other techniques)

1) Optopalatography (OPG)

OPG는 Wagner 등(2021)에 의해 개발되었으며, 반사되는 빛의 양을 측정하는 광학 근접 감지 원리이다. 혀의 움직임 범위를 측정하기 위한 9개의 광학 센서는 4mm x 2.1mm x 1.35mm의 크기이며, 이는 191명의 성인을 대상으로 단단입천장 크기의 표준치를 측정할 데이터를 기반으로 제작하였다. 센서 부착 위치는 구강의 중앙선을 따라 5개, 좌·우 측면에 4개가 배치된다. 센서 부착용 접착제는 인체에 무해하며, 최소 측정 시간인 15분 동안 접착을 유지할 수 있도록 별도의 제품을 개발하여 사용하였다. 9명의 건강한 성인을 대상으로 적용한 결과 높은 정확도로 혀의 동작을 분류할 수 있었고, 혀 움직임에 대한 실시간 피드백 또한 가능하였다. 이에 의료인과 대상자 모두에게 시각적 피드백을 제공한다는 점에서 연하재활 치료를 제공하는데 도움이 될 수 있을 것이라 제안하였다. 하지만 혀로 입천장에 대하여 강한 힘을 제공했을 때 과도한 압력을 견디지 못하여 이후 개발 연구에서 개선해야 할 부분으로 보고하였

다(Wagner et al., 2021).

2) Tactile sensor fabricate over a plastic sheet (TSS)

TSS는 연하장애 및 언어장애를 가진 환자들의 치료와 입천장에 가해지는 혀의 압력을 측정하기 위한 도구로 Sardini 등(2013)에 의해 개발되었다. 플라스틱 시트는 인체에 무해한 재료로 제작되었으며, 6개의 촉각 센서와 1개의 데이터 전송 센서로 총 7개의 센서가 위치한다. 시트는 환자 개개인의 구강 형태에 맞도록 얇게 제작되어 불편감을 줄이는데 효과적이다. 최대 80kPa 까지 압력 측정이 가능하고, 측정 결과를 판독 장치에 무선으로 전송하도록 설계되었다. 센서 시트는 센서 패드(P1-P6)에 6개의 감지 지점을 형성하며, 측정 지점은 정중선, 후면, 측면에 각각 2개씩 배치된다. 본 도구는 얇은 플라스틱 재질로 만들어졌기 때문에 구강 내에서 불편함을 다소 감소시킬 수 있고, 무선으로 측정이 가능하여 삼킴 시 세부적인 압력을 확인할 수 있다는 장점이 있다(Sardini et al., 2013).

3) OroPress

OroPress는 McCormack 등(2015)에 의해 개발된 도구로 측정된 데이터를 무선으로 전송할 수 있도록 제작되었다. 혀 압력을 측정하기 위한 센서의 크기는 높이가 3mm, 직경 16mm이고, 압력 측정 범위는 1mmHg 단위로 0-225mmHg 범위에서 높은 정확도의 측정이 가능하다. 센서 칩(Chip)은 구강 내부에 붙지 않도록 코팅되었으며, 보호 겔(Gel)로 보호되어 측정값의 오염도를 최소화 할 수 있어 액체나 반고형(Semisolid) 음식물의 삼킴 과정 중에도 혀 압력의 측정이 가능하다. 측정된 압력은 화면을 통해 그래프로 표시되어 압력 수준에 대한 시각적인 피드백이 가능하다(Giggins et al., 2013). 35명의 건강한 성인을 대상으로 혀 압력을 측정한 결과 0.861의 높은 신뢰도를 나타냈다. 또한 도구의 특성 상 휴대가 가능하고, 안전한 과정에서 혀 압력을 측정할 수 있다(McCormack et al., 2015).

4) Tongue Pressure Wireless Application (TPWA)

TPWA는 Liu 등(2021)에 의해 개발된 기존에 개발된 별브 센서 원리 도구에 무선 연결 기능을 추가한 도구이다. 블루투스 연결을 통해 측정된 정보를 본체 모니터와 스마트폰의 어플리케이션(APP)을 통해 동시에 확인할 수 있다. 마우스피스에는 입천장모양을 본 뜬 실리콘 재질의 별브와 교합 위치를 조정할 수 있도록 제작된 플라스틱 튜브로 설계되었다. 압력은 2.5%의 오차 범위에서 0~1000kPa까지 측정할 수 있고, 측정된 결과는 본체와 클라우드에 저장이 가능하다. 젊은 성인 52명과 노인 40명을 대상으로 실험을 진행한 결과 연령과 성별에 따라 혀 압력 측정값이 유의한 차이를 나타냈지만 노인의 경우 남성의 혀 압력이 여성보다 낮게 측정되었다. 타당도 입증에 위해 혀의 압력을 TPM-01과 비교한 결과 TPWA는 $p=.772$, TPM-01은 $p=.768$ 로 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. TPWA는 상대적으로 저렴하고 마우스피스의 재사용이 가능하기 때문에 위생과 실용성, 경제적 측면을 보완할 수 있으며 개인적으로 구매하여 가정에서 활용할 수 있다(Liu et al., 2021).

III. 결 론

본 연구는 1990년대 이후 개발된 혀 운동 및 측정 도구를 분석하였다. 분석된 도구는 센서의 특성을 고려하여 별브 센서 원리, 저항 센서 시트 원리, 마우스피스형 센서, 기타 기술의 도구 4가지로 분류하였다. 각각 분류별 도구의 원리, 개발 목적, 적용 결과, 신뢰도와 타당도를 제시하여 현재까지 개발된 도구들의 특징을 분석하였다.

별브 센서의 원리는 IOPI, KSA, TPM-01이 있었으며, 세 가지 도구 모두 별브에 공기를 주입하여 압력을 측정하는 방식이다. 별브 센서의 방식은 상용화하기 쉽고, 혀의 최대 압력 측정에 용이하다는 장점이 있다. 특히 IOPI는 사용법과 휴대 방식이 간편하여 높은 빈도로 사용하고 있지만 혀 기능의 평가 시 별브의 위치가 고정

되지 않는다는 단점이 공존한다. Arakawa 등(2020)의 연구에 따르면 목표 부위에 위치하지 못할 경우 압력 측정 과정에서 오류가 발생할 수 있어 활용 시 주의가 필요하다고 언급하였으며, Choi 등(2018)은 별브 위치에 따른 혀 압력 측정값에 차이가 있다고 하였다(Choi et al., 2018). KSA는 3개의 별브로 구성되어 고정된 위치에서 혀의 압력 측정이 가능하다. IOPI의 별브 위치 설정에 대한 단점을 보완하고자 개발된 TPM-01은 IOPI와의 높은 상관관계를 입증하였지만 프로브와 연결된 파이프를 앞으로 고정해야 하기 때문에 직접 음식물 삼킴 과정에서 압력 측정이 어려울 수 있다는 제한점이 있다. 이와 같이 별브 센서는 혀의 압력 측정 시 위치 고정에 제한점이 있다.

저항 센서 시트 원리는 입천장 또는 의치 표면에 접착제를 활용하여 부착하고, 마른 침 삼킴이나 식이 과정에서 혀 압력의 측정이 가능하다. 본 연구에서 조사된 도구는 I-SCAN, KEI, IPMD와 의치에 센서를 부착한 방식의 PRESLA였다. I-SCAN, KEI의 경우 신뢰도와 타당도에 대해서 연구가 진행된 반면 다른 저항 센서의 경우 후속 연구들이 보고되지 않았다. 저항 센서 시트는 공통적으로 입천장에 고정되기 때문에 별브형 압력 센서에 비해 안정적인 위치에서 혀 압력을 측정할 수 있고, 구강의 교합을 허용하여 음식물을 삼키는 과정에서도 압력 측정이 가능하다. 또한 센서의 위치를 다양하게 부착할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 복잡한 제작 과정, 많은 비용이 소모되는 점, 의치와 같은 보조적 도구를 사용해본 경험이 없는 경우 적응 기간이 별도로 필요하다는 제한점이 있다.

마우스피스형 센서는 MOST- I, II, T-Station, Swallow STRONG, LFDS 도구로 분류되었다. 고찰 결과 마우스피스형 센서 원리의 장비는 개인의 구강에 맞게 제작되어 혀 압력 측정 시 고정되어 있어 안정적으로 측정할 수 있다. 또한 생성된 압력을 일관적으로 정확도 높게 측정할 수 있고 적합한 운동을 제공할 수 있는 도구이다. 하지만 일부 도구는 실제 구강을 본 떠 만들기 때문에 직접 제작을 해야 하며 이로 인한 비용이

발생할 수 있다. 센서의 안정성은 Swallow STRONG만 손으로 들고 운동과 측정을 수행하는 방식이고, 나머지 도구는 구강 내에 고정하는 방식으로 구성되었다. 하지만 MOST-I, II를 제외한 도구들은 신뢰도와 타당도가 입증되지 않은 상태였으며, Swallow STRONG은 환자를 대상으로 시행한 연구 결과가 있는 반면 T-Station과 LFDS는 연하장애 환자를 대상으로 한 연구 결과가 제시되지 않았다. 또한 마우스피스형 도구는 공통적으로 세밀한 움직임의 측정과 내구성에 제한점이 있는 것으로 조사되었다.

기타 방법으로는 기존 도구의 원리에 새로운 공학기술인 빛 감지센서, 무선 정보 처리 기술을 결합하여 제작되었다. OPG는 반사되는 빛의 양으로 혀의 압력을 측정하는 원리이며 TSS, OroPress, TPWA는 삼킴 시선의 불편함을 고려하여 무선으로 측정할 수 있다. 특히 TPWA는 휴대폰 어플리케이션으로 실시간 모니터링이 가능하다는 장점이 있다. 빛 감지 센서는 연하재활 분야에서 새로운 측정 방법으로 임상 적용 가능성을 시사하고 있으나 감지 방식의 한계로 혀의 모든 움직임을 측정하기에는 어려움이 따른다. 무선 정보 처리 기술은 실시간으로 어플리케이션 또는 모니터에 기록되어 실시간으로 시각적인 피드백이 가능하다는 장점이 있다. 특히 TSS는 튜브나 전선이 나오지 않도록 제작되어 삼킴 시 대상자의 불편함을 최소화하고 구강 내 압력이 밖으로 새어나오지 않는다는 장점이 있다. 그러나 신뢰도와 타당도가 입증되지 않았으며 추후 연구가 필요한 실정이다.

본 고찰을 통해 혀의 측정 및 운동을 위한 도구들의 종류를 알아보고, 각 도구별 특징과 장단점 등을 확인하였다. 하지만 본 연구의 제한점으로 체계적인 문헌의 검색이 이루어지지 않았으며, 연구자들의 문헌의 질 평가 및 일치도가 제시되지 않았다는 점이다. 이에 본 연구에서 포함되지 않은 혀 운동 및 측정 도구의 개발 문헌이 다수 있을 것으로 판단되며, 추후 관련 연구에서는 주제범위 문헌고찰 또는 체계적 문헌고찰을 통해 문헌의 검색 과정과 문헌의 질 평가가 함께 이루어져야

할 것으로 판단된다.

본 연구는 연하재활 분야의 혀 운동 및 측정 도구들의 특징들을 종합적으로 분석하여 임상에서 도구 활용 시 필요한 정보를 제시한 점에서 의의가 있다. 과학기술이 발전하면서 혀 측정 도구에 적용할 수 있는 인체공학 기술이 발전하고 있다. 이에 따라 기존의 제한점들을 개선하며 발전하고 있지만 비용적인 측면과 제조과정이 복잡하다는 점 등 한계가 뒤따른다. 또한 개인의 부담비용을 줄이면서 정량적으로 측정할 수 있는 도구가 부재하다. 따라서 추후 연구에서는 본 고찰을 바탕으로 정량적이고 객관적으로 혀의 기능을 측정할 수 있으며, 임상 및 가정에서도 활용이 가능한 혀 운동 도구 개발이 필요할 것으로 사료된다.

References

- Adams, V., Mathisen, B., Baines, S., Lazarus, C., & Callister, R. (2013). A systematic review and meta-analysis of measurements of tongue and hand strength and endurance using the Iowa Oral Performance Instrument (IOPI). *Dysphagia*, 28(3), 350-369. <https://doi.org/10.1007/s00455-013-9451-3>
- Adams, V., Mathisen, B., Baines, S., Lazarus, C., & Callister, R. (2015). Reliability of measurements of tongue and hand strength and endurance using the Iowa Oral Performance Instrument with elderly adults. *Disability and Rehabilitation*, 37(5), 389-395. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.921245>
- Arakawa, I., Abou-Ayash, S., Genton, L., Tsuga, K., Leles, C. R., & Schimmel, M. (2020). Reliability and comparability of methods for assessing oral function: Chewing, tongue pressure and lip force. *Journal of Oral Rehabilitation*, 47(7), 862-871. <https://doi.org/10.1111/joor.12976>
- Ball, S., Idel, O., Cotton, S. M., & Perry, A. (2006). Comparison of two methods for measuring tongue pressure during swallowing in people with head and neck cancer. *Dysphagia*, 21(1), 28-37. <https://doi.org/10.1007/s00455-005-9008-1>
- Chiba, Y., Motoyoshi, M., & Namura, S. (2003). Tongue

- pressure on loop of transpalatal arch during deglutition. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 123(1), 29-34. <https://doi.org/10.1067/mod.2003.51>
- Choi, S. H., Kim, H. H., Choi, C. H., Seo, H. N., & Park, C. R. (2018). Characteristics of tongue pressures based on swallowing tasks in Korean healthy older adults. *Audiology and Speech Research*, 14(3), 194-203. <https://doi.org/10.21848/asr.2018.14.3.194>
- Clark, H. M., Henson, P. A., Barber, W. D., Stierwalt, J. A., & Sherrill, M. (2003). Relationships among subjective and objective measures of tongue strength and oral phase swallowing impairments. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 12(1), 40-50. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2003/051\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2003/051))
- Crow, H. C., & Ship, J. A. (1996). Tongue strength and endurance in different aged individuals. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 51(5), 247-250. <https://doi.org/10.1093/gerona/51A.5.M247>
- Fregosi, R. F., & Ludlow, C. L. (2014). Activation of upper airway muscles during breathing and swallowing. *Journal of Applied Physiology*, 116(3), 291-301. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00670.2013>
- Furlan, R. M. M. M., Santana, G. A., Bischof, W. F., Motta, A. R., & de Las Casas, E. B. (2019). A new method for tongue rehabilitation with computer games: Pilot study. *Journal of Oral Rehabilitation*, 46(6), 518-525. <https://doi.org/10.1111/joor.12775>
- Giggins, O. M., Persson, U. M., & Caulfield, B. (2013). Biofeedback in rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>
- Greuel, M., Lieberthal, T., Hannenken, K., & Wong, D. (2012). *Developing a 3D model of the tongue and mouth to assess pressure generation and predict bolus flow when swallowing*. BME DESIGN PROJECTS, USA, University of Wisconsin-Madison. https://bmedesign.engr.wisc.edu/projects/f12/mouth_model
- Hara, M., Ishida, R., Ohkubo, M., Sugiyama, T., & Abe, S. (2014). Effects of varying fixed lingual apex positions on tongue pressure during straw drinking. *Journal of Oral Rehabilitation*, 41(5), 374-380. <https://doi.org/10.1111/joor.12154>
- Hewitt, A., Hind, J., Kays, S., Nicosia, M., Doyle, J., Tompkins, W., Gangnon, R., & Robbins, J. (2008). Standardized instrument for lingual pressure measurement. *Dysphagia*, 23(1), 16-25. <https://doi.org/10.1007/s00455-007-9089-0>
- Hiiemae, K. M., & Palmer, J. B. (2003). Tongue movements in feeding and speech. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 14(6), 413-429. <https://doi.org/10.1177/154411130301400604>
- Hori, K., Ono, T., Iwata, H., Nokubi, T., & Kumakura, I. (2005). Tongue pressure against hard palate during swallowing in post-stroke patients. *Gerodontology*, 22(4), 227-233. <https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2005.00089.x>
- Hori, K., Ono, T., Tamine, K. I., Kondo, J., Hamanaka, S., Maeda, Y., Dong, J., & Hatsuda, M. (2009). Newly developed sensor sheet for measuring tongue pressure during swallowing. *Journal of Prosthodontic Research*, 53(1), 28-32. <https://doi.org/10.1016/j.jprior.2008.08.008>
- Jaffer, N. M., Edmund, F. W. F. A., & Steele, C. M. (2015). Fluoroscopic evaluation of oro-pharyngeal dysphagia: Anatomy, technique, and common etiologies. *American Journal of Roentgenology*, 204(1), 49-58. <https://doi.org/10.2214/AJR.13.12374>
- Jeannin, C., Perrier, P., Payan, Y., Dittmar, A., & Grosgeat, B. (2008). Tongue pressure recordings during speech using complete denture. *Materials Science and Engineering: C*, 28(5-6), 835-841. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2007.10.079>
- Kahrilas, P. J., Lin, S., Logemann, J. A., Ergun, G. A., & Facchini, F. (1993). Deglutitive tongue action: Volume accommodation and bolus propulsion. *Gastroenterology*, 104(1), 152-162. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(93\)90847-6](https://doi.org/10.1016/0016-5085(93)90847-6)
- Kang, B. M., Kwon, H. C., Kim, H., & Cho, Y. N. (2013). Effect of orofacial exercise on the swallowing function of stroke patients. *Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 21(3), 57-69.
- Kays, S., & Robbins, J. A. (2006). Effects of sensorimotor exercise on swallowing outcomes relative to age and age-related disease. *In Seminars in Speech and Language*, 27(4), 245-259. <https://doi.org/10.1055/s-2006-955115>
- Kieser, J., Singh, B., Swain, M., Ichim, I., Waddell, J. N., Kennedy, D., Foster, K., & Livingstone, V. (2008). Measuring intraoral pressure: Adaptation of a dental appliance allows measurement during function.

- Dysphagia*, 23(3), 237-243. <https://doi.org/10.1007/s00455-007-9126-z>
- Lazarus, C., Logemann, J. A., Huang, C. F., & Rademaker, A. W. (2003). Effects of two types of tongue strengthening exercises in young normals. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 55(4), 199-205. <https://doi.org/10.1159/000071019>
- Lee, J. H., Kim, H. S., Yun, D. H., Chon, J., Han, Y. J., Yoo, S. D., Kim, D. H., Lee, S. A., Joo, H. I., Jin, C. K., & Soh, Y. (2016). The relationship between tongue pressure and oral dysphagia in stroke patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 40(4), 620-628. <https://doi.org/10.5535/arm.2016.40.4.620>
- Lenius, K., Carnaby-Mann, G., & Crary, M. (2009). The relationship between lingual-palatal pressures and submental surface electromyographic signals. *Journal of Oral Rehabilitation*, 36(2), 118-123. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2008.01921.x>
- Liu, H. Y., Chen, C. H., Kuo, C. H., Feng, M. C., Chen, J. H., Wang, H. W., Chen, K. C., & Lin, C. L. (2021). A novel tongue pressure measurement instrument with wireless mobile application control function and disposable positioning mouthpiece. *Diagnostics*, 11(3), 1-11. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11030489>
- McCormack, J., Casey, V., Conway, R., Saunders, J., & Perry, A. (2015). OroPress a new wireless tool for measuring oro-lingual pressures: A pilot study in healthy adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0024-6>
- Mirchandani, B. (2019). *Study and measure of the mechanical pressure exerted by the tongue on the complete denture during the production of speech and swallowing*. (Doctoral dissertation). Université de Lyon.
- Mirchandani, B., Perrier, P., Grosogeat, B., & Jeannin, C. (2021). Accurate tongue-palate pressure sensing device to study speech production and swallowing in patients with complete denture. *European Journal of Dentistry*, 15(2), 302-306. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1717002>
- Nagao, K., Kitaoka, N., Kawano, F., Komoda, J., & Ichikawa, T. (2002). Influence of changes in occlusal vertical dimension on tongue pressure to palate during swallowing. *Prosthodontic Research & Practice*, 1(1), 16-23. <https://doi.org/10.2186/prp.1.16>
- Nicosia, M. A., Hind, J. A., Roecker, E. B., Carnes, M., Doyle, J., Dengel, G. A., & Robbins, J. (2000). Age effects on the temporal evolution of isometric and swallowing pressure. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(11), M634-M640. <https://doi.org/10.1093/gerona/55.11.M634>
- Ono, T., Hori, K., & Nokubi, T. (2004). Pattern of tongue pressure on hard palate during swallowing. *Dysphagia*, 19(4), 259-264. <https://doi.org/10.1007/s00455-004-0010-9>
- Robin, D. A., & Luschei, E. S. (1992). *System and method for detecting pressure of selected body parts*. University of Iowa. https://iro.uiowa.edu/discovery/delivery/01IOWA_INST:ResearchRepository/12727340610002771?l#13727379550002771
- Robbins, J., Gangnon, R. E., Theis, S. M., Kays, S. A., Hewitt, A. L., & Hind, J. A. (2005). The effects of lingual exercise on swallowing in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(9), 1483-1489. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53467.x>
- Robbins, J., & Hind, J. (2015). Swallow stronger and safer: Past, present, and future of the swallowSTRONG device. *Perspectives on Swallowing and Swallowing Disorders (Dysphagia)*, 24(2), 65-70. <https://doi.org/10.1044/sasd24.2.65>
- Robinovitch, S. N., Hershler, C., & Romilly, D. P. (1991). A tongue force measurement system for the assessment of oral-phase swallowing disorders. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 72(1), 38-42. <https://doi.org/10.5555/uri:pii:000399939190077V>
- Sangave, A., Manuccia, T., Kay, M., & Zderic, V. (2008). Lingual force detection system. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 4844-4847. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2008.4650298>
- Sardini, E., Serpelloni, M., & Fiorentini, R. (2013). Wireless intraoral sensor for the physiological monitoring of tongue pressure. In *2013 Transducers & Eurosensors XXVII*, 1282-1285. <https://doi.org/10.1109/Transducers.2013.6627010>
- Shaker, R., Cook, I. J., Dodds, W. J., & Hogan, W. J. (1988). Pressure-flow dynamics of the oral phase of swallowing. *Dysphagia*, 3(2), 79-84. <https://doi.org/10.1007/BF02412424>

- Shaker, R., & Lang, I. M. (1994). Effect of aging on the deglutitive oral, pharyngeal, and esophageal motor function. *Dysphagia*, 9(4), 221-228. <https://doi.org/10.1007/BF00301914>
- Song, Y. (2014). Characteristics of maximal tongue and lip strength and tongue endurance scores according to age and gender in healthy Korean adults. *Phonetics and Speech Sciences*, 6(2), 97-106. <https://doi.org/10.13064/KSSS.2014.6.2.097>
- Stone, M., Woo, J., Lee, J., Poole, T., Seagraves, A., Chung, M., Kim, E., Murano, E. Z., Prince, J. L., & Blemker, S. S. (2018). Structure and variability in human tongue muscle anatomy. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, 6(5), 499-507. <https://doi.org/10.1080/21681163.2016.1162752>
- Takahashi, M., Koide, K., Suzuki, H., Satoh, Y., & Iwasaki, S. I. (2016). Evaluation of reliability of perioral muscle pressure measurements using a newly developed device with a lip piece. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 18(1), 145-153. <https://doi.org/10.5277/ABB-00319-2015-02>
- Trawitzki, L. V. V., Borges, C. G. P., Giglio, L. D., & Silva, J. B. (2011). Tongue strength of healthy young adults. *Journal of Oral Rehabilitation*, 38(7), 482-486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2010.02182.x>
- Tsuga, K., Hayashi, R., Sato, Y., & Akagawa, Y. (2003). Handy measurement for tongue motion and coordination with laryngeal elevation at swallowing. *Journal of Oral Rehabilitation*, 30(10), 985-989. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2003.01077.x>
- Wagner, C., Stappenbeck, L., Wenzel, H., Steiner, P., Lehnert, B., & Birkholz, P. (2021). Evaluation of a non-personalized optopalatographic device for prospective use in functional post-stroke dysphagia therapy. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 68(1), 356-365. <https://doi.org/10.1109/TBME.2021.3094415>
- Yoshida, M., Groher, M. E., Crary, M. A., Mann, G. C., & Akagawa, Y. (2007). Comparison of surface electromyographic (sEMG) activity of submental muscles between the head lift and tongue press exercises as a therapeutic exercise for pharyngeal dysphagia. *Gerodontology*, 24(2), 111-116. <https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2007.00164.x>
- Yoshida, M., Kikutani, T., Tsuga, K., Utanohara, Y., Hayashi, R., & Akagawa, Y. (2006). Decreased tongue pressure reflects symptom of dysphagia. *Dysphagia*, 21(1), 61-65. <https://doi.org/10.1007/s00455-005-9011-6>
- Yoshikawa, M., Yoshida, M., Tsuga, K., Akagawa, Y., & Groher, M. E. (2011). Comparison of three types of tongue pressure measurement devices. *Dysphagia*, 26(3), 232-237. <https://doi.org/10.1007/s00455-010-9291-3>
- Youmans, S. R., & Stierwalt, J. A. (2006). Measures of tongue function related to normal swallowing. *Dysphagia*, 21(2), 102-111. <https://doi.org/10.1007/s00455-006-9013-z>
- Youmans, S. R., Youmans, G. L., & Stierwalt, J. A. (2009). Differences in tongue strength across age and gender: Is there a diminished strength reserve? *Dysphagia*, 24(1), 57-65. <https://doi.org/10.1007/s00455-008-9171-2>

A Literature Review of Tongue Movement and Measurement Tools for Dysphagia

Kim, Jin-Yeong^{*}, B.H.Sc., O.T., Son, Yeong-Soo^{**}, M.S., O.T.,
Hong, Deok-Gi^{***}, Ph.D., O.T.

^{*}Davinci Hospital, Occupational Therapist

^{**}BS Brain Rehabilitation Hospital, Rehabilitation Center, Occupational Therapist

^{***}Dept. of Occupational Therapy, Wonkwang University, Professor

Objective : This review aimed to provide information for clinical application by confirming the principles and characteristics of the tool through a review of tongue movement and measurement tools for patients with swallowing disorders.

Results : We identified 15 tools used as tongue exercises and measurement tools in the field of dysphagia. According to principle, the tools were classified as either a bulb sensor, resistive sensor sheet, mouthpiece with sensor, or other techniques. The bulb sensor was easy to use but had limitations in fixing the position when measuring tongue pressure. The resistive sensor sheet could be measured at a more stable position than the bulb sensor. A mouthpiece with a sensor could be used in an individual's oral cavity such that the position was fixed when measuring the tongue pressure. Other techniques had the advantage of being wireless and capable of sensing light.

Conclusion : Based on this literature review, it is necessary to facilitate the selection of the best tool for quantitative tongue measurement in dysphagia. The review can also be used to develop a Korean tongue movement tool model that can be used in hospitals and community centers.

Keywords : Dysphagia, Tongue exercise, Tongue measurement