



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

의학석사 학위 논문

자동화된 안면마비 평가의 신뢰도와
정확도 연구

**Reliability and Accuracy of Automatic Facial Palsy
Assessment**

울산대학교 대학원

의학과

김민기

자동화된 안면마비 평가의 신뢰도와 정확도 연구

지도교수 김대열

이 논문을 의학석사 학위 논문으로 제출함

2024년 2월

울산대학교 대학원

의학과

김민기

김민기의 의학 석사 학위 논문을 인준함

심사위원 김 대 열 (인)

심사위원 김 원 (인)

심사위원 고 은 재 (인)

울 산 대 학 교 대 학 원

2024 년 2 월

국문 요약

안면 마비의 정도를 평가하는 House-Brackmann facial grading system (HB grade)은 표준 방법으로 전세계적으로 사용되고 있다. 하지만 해당 기법은 미세한 변화를 감지하는데 제한점이 있다. 이를 해결하기 위해 다양한 방법들이 시도되었지만, 표준 평가도구로 새로 확립된 검사법은 없었다. 한편 2 차원 분석에 머신러닝 기법을 접목하여 안면인식을 하는 프로그램인 이모트릭스 (Emotrics)가 개발되었으나, 안면 마비에 대한 적용 가능성은 검증되지 않았다. 따라서 저자는 Emotrics 를 사용한 안면 마비 분석의 신뢰도와 정확도를 평가하고자 하였다. 본 연구는 2022 년에 안면 마비를 진단받고 언어 치료를 시행 받은 적이 있는 23 명의 환자를 대상으로 하였다. 언어 치료 중 안면 마비의 중증도 평가를 위해 Emotrics 를 사용하였으며, 2 차원 분석의 한계를 극복하기 위해 표준화된 별도의 프레임을 개발하여 적용하였다. 안구 및 구강 기능과 관련된 지표를 평가하여 급내상관계수를 사용하여 평가자 간, 평가자 내, 피험자 내 신뢰도를 측정하였다. 정확도는 스피어만 상관 분석을 사용하여 각 Emotrics 변수와 HB grades 간의 상관관계를 조사하여 평가하였다. 그 결과 모든 Emotrics 변수들은 유의미한 평가자 내 및 평가자 간 신뢰도를 보였다. 대부분의 변수들은 피험자 내 신뢰도에서도 유의미한 결과를 보였으며, 두 개의 변수들은 상당한 정확도를 보였다. 본 단일 센터 연구는 Emotrics 가 안면 마비를 평가하는 효율적이고 정량적인 방법이 될 수 있으며, 높은 신뢰도를 가짐을 제시하였다. 따라서 Emotrics 는 안면 마비를 정확하게 측정하고 치료 결과를 모니터링 하는 평가법으로 유용하게 사용될 수 있다.

차 례

I. 서론

II. 본론

1. 연구 방법

- 1) 대상자
- 2) 중재
- 3) 기존 특성
- 4) 안면마비 관련 변수
- 5) 프로그램 관련 변수
- 6) 통계 분석

2. 연구 결과

- 1) 기존 특성
- 2) 신뢰도 및 정확도

3. 고찰

III. 결론

IV. 참고문헌 목록

I. 서론

안면 마비는 안면 근육의 움직임 장애를 특징으로 하는 신경학적 질환으로, 표정 제한, 우울증, 삶의 질 저하 등으로 이어질 수 있다^{1,2}. 또한 눈을 완전히 감을 수 없기 때문에 각막염과 심하면 실명에 이를 수 있으며, 입술 움직임의 제한으로 구음 장애와 연하 장애가 발생할 수 있다^{3,4}. House-Brackmann facial grading system (HB grade)은 전세계적으로 널리 사용되는 임상이가 직접 평가하는 방법으로, 이에 대한 평가자 간 신뢰도는 이미 높은 것으로 확인되었다⁵. 그러나 이 평가법의 가장 큰 단점은 안면 마비의 정도를 6단계로만 분류하기 때문에 미세한 변화를 포착하는 데 한계가 있다는 점이다⁶.

안면 마비의 미세한 변화를 감지하기 위해 2차원 (2D), 3차원 (3D), 및 동작 분석 방법 등 다양한 기법이 시도되었다. 그러나 현재까지도 보편적으로 인정되는 객관적인 평가 방법은 HB grade 이외에는 없는 상태이다^{6,7}. 3D 분석 및 동작 분석을 사용하려면 고가의 전문 장비가 필요하고 복잡한 계산이 수반되므로 널리 사용되기엔 접근성이 제한된다^{2,8}. 또한 Banks와 그의 동료들이 개발한 eFACE와 같은 2D 수동 측정법은 결과를 얻는 데 많은 시간이 소요된다^{9,10}. 그러나 Massachusetts Eye and Ear Institute에서 최근에 개발한 Emotrics (v2.05; MEEI, Boston, MA)는 2D 분석에 머신 러닝 기술을 접목한 자동화된 이목구비 인식으로 안면마비 평가가 가능한 프로그램이다¹¹. 이 프로그램은 촬영된 사진으로 안면 마비를 효율적으로 평가할 수 있기 때문에 다양한 임상 환경에서 안면 마비를 쉽게 평가하는 데 유용한 도구가 될 수 있을 것으로 예상된다.

Emotrics의 장점은 하나의 사진 내에서의 자동화된 평가와 두 개의 이미지에 설정된 표식의 차이를 자동으로 평가하는 데 있다. 이를 이용하여 정적인 이미지와 더불어 두 사진의 비교를 통한 동적인 움직임의 정도 평가를 해볼 수 있다. 이미 해당 프로그램은 다양한 재활 치료 및 성형 수술의 효과를 평가하는 데 적용되고 있다^{9,12-14}. 한편, 수동 측정법인 eFACE는 평가자 간, 평가자 내, 피험자 내 신뢰도가 높은 것으로 이미 보고되었다^{10,15}. 그러나 Emotrics는 애초에 안면 마비의 중증도를 평가하기 위해 설계된 것이 아니기 때문에, HB grade나 다른 수동 측정법과 비교할 때 해당 측정법의 신뢰도와 정확도에 대한 연구가 부족하였다. 이에 대하여 본 2D 분석에서는 머리 회전을 최소화함으로써 양측 비교가 가능하기 때문에, 해당 프로그램이 안면 마비 평가를 정확히 할 수 있는지 조사할 수 있다. 따라서 본 연구는 안면 마비 자동 평가 도구로서 Emotrics의 신뢰도와 정확도를 측정하여 사용에 대한 근거를 마련하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구의 결과가 안면 마비의 효율적이고 정량적인 측정법을 향상시키는 데 기여할 것으로 예상된다.

II. 본론

1. 연구 방법

1) 대상자

본 연구는 단일 기관에서 수행된 후향적 연구로, 2022년 한 해 기간 중 안면 마비로 언어 치료를 받기 위해 본원 재활의학과를 방문한 환자들을 대상으로 하였다. 포함 기준은 재활의학과에서 말초성 또는 중추성 안면 마비 진단을 받은 환자이고, 여러 사진 촬영에 협조할 수 있는 환자로 설정하였다. 안면 마비 정도를 판단하는 데 방해가 되는 안면 기형이 있는 환자, 기타 알려진 안면 통증이나 안면 장애가 있는 환자, 양측이 이환된 환자는 제외되었다.

2) 중재

해당 과에서 환자들에게 적용한 언어 치료는 안구, 하악, 협측, 설측 및 순측 근육을 포함한 다양한 안면 근육의 운동 및 감각 자극을 통해 영향을 받은 안면 근육을 개선하는 것을 목표로 했다. 각 치료 세션에서는 훈련된 언어치료사가 Emotrics 및 HB grade로 안면 마비를 평가하였다. 사진 촬영은 본원에서 별도로 제작한 얼굴과 카메라 받침대가 있는 프레임을 사용하여 하단에 기술된 프로토콜에 따라 진행하였다 (Figure 1). 모든 촬영은 동일한 카메라를 사용했으며, 얼굴과 카메라 사이 거리는 70cm로 고정된 상태로 추가적인 확대 없이 사진을 촬영하였다. 안면부의 회전을 최소화하기 위해 프레임에 있는 표지자와 외이도의 위치를 확인하여 양쪽 귀의 노출을 동일하게 하였다. 눈썹 관련 표식의 인식률을 높이기 위해 머리카락을 뒤로 넘겼으며, 입술 관련 표식의 인식률을 향상시키기 위해 촬영 전에 면도를 진행하였다. 렌즈에 의한 주변부 왜곡을 최소화하고 표준화하기 위해 얼굴을 카메라 렌즈와 평행하게 두었으며, 화면 중앙에서 위치하도록 촬영하였다. 세부적인 촬영 프로토콜은 다음과 같다.

- 카메라와 안면부 간 거리는 70cm로 고정한다.
- 얼굴과 카메라는 평행하게 유지한다.
- 얼굴을 사진의 중앙에 배치한다.
- 안면부의 회전을 최소화한다. (기울기는 제한 없음)
- 면도를 미리 시행한다.
- 앞머리가 눈썹을 가리지 않도록 필요하다면 뒤로 넘긴다.

명시된 방식으로 세션당 세 장의 사진(편하게 눈을 감은 상태, 자연스럽게 눈을 뜬 상태, 미소를 지은 상태)을 촬영하였다. 본 연구는 첫 번째 치료 세션과 이후 일주일 이내에 실시되는 두 번째 세션에 촬영된 사진을 사용하여 분석하였다.

3) 기존 특성

기존 특성은 대상자의 성별, 연령, 안면 마비 관련 특성은 전자의무기록 시스템에서 수집했다. 여기에는 안면 마비의 유형 (말초성 또는 중추성), 이환된 방향, 발병 원인에 대한 정보와 숙련된 언어치료사가 실시한 안구 및 구강 기능의 평가가 포함되었다.

4) 안면마비 관련 변수

안면신경 손상 특히 말초성 안면마비에서 전세계적으로 사용되는 HB grade를 사용하여 본 연구에서 안면마비 정도를 평가하였다. 이마, 눈, 입 세 부위에서 평가를 진행하지만, 본 연구에서는 눈, 입 두 부위의 수치를 분석하였다. 각 단계는 1 단계에서 6 단계 까지로, 1 단계는 정상, 6 단계는 가장 심한 단계로 움직임이 아예 관찰되지 않는 상태이다.

5) 프로그램 관련 변수

Emotrics는 적용된 사진에서 자동으로 이목구비를 식별하여 68개의 표식을 위치시키고 분석하여 얼굴 기능과 대칭에 대하여 정량적으로 평가한다. 해당 평가에서 표식들 간 거리를 기준으로 눈썹의 대칭성, 움직임의 정도, 웃을 때 입술의 대칭성을 평가하였다 (Figure 2). 머신 러닝의 특성상 동일한 이미지임에도, 여러 번 자동 평가할 경우 결과값이 다소 변동이 생긴다. 이에 자동 평가의 정확도를 확인하기 위해 자동 평가와 수동 평가를 비교 분석하여 평가자 간 신뢰도를 확인하였다. 또한 테스트-재테스트 신뢰도를 확립하기 위해 동일한 이미지에 대한 여러 번의 자동 평가를 비교하여 평가자 내 신뢰도를 확인하였다. 분석에 사용된 변수에는 눈과 관련된 눈꺼풀 틈새의 간격 (Palpebral fissure, PF)과 눈썹 높이 (Brow height, BH), 입과 관련된 미소 각도 (Smile angle, SA), 치아 표시 (Dental show, DS) 및 입술 끝 변화 (Commissure excursion, CE)가 포함되었다. 휴식 상태에서의 양쪽 PF의 차이를 비율로 표현한 PF_Affected-Unaffected (A-U)은 '(영향을 받은 쪽의 PF - 영향을 받지 않은 쪽의 PF)/영향을 받지 않은 쪽의 PF'로 정의했다. 휴식 상태와 눈을 감은 상태에서의 해당 값의 차이 (resting state - eye closing state, r-c)는 PF_r-c로 정의했다. BH_A-U와 BH_r-c도 동일한 방식으로 정의되었다. 또한 입과 관련된 SA, DS, CE의 경우 r-c 값을 계산하지 않고 휴식 상태와 웃는 상태에서의 해당 값의 차이 (resting state - smiling state, r-s)를 계산했으며, 이에 해당하는 값으로 SA_A-U, SA_r-s, DS_A-U, DS_r-s, CE_A-U, CE_r-s를 동일하게 정의하였다.

6) 통계 분석

통계 분석은 Windows용 IBM SPSS Statistics, version 25 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하였다. Emotrics 변수의 신뢰도는 급내상관계수 (Intra class coefficient, ICC)를 사용하여 평가하였다. 평가자 간 신뢰도는 자동과 수동 평가 결과를 비교하여 계산하였다. 첫 번째 세션에서 촬영한 사진에 대하여 자동으로 두 번 평가한 값의 평균과 숙련된 의사가 수동으로 두 번 평가한 값의 평균값을 ICC (2,1)으로 분석하였다. 앞서 언급한 것처럼 동일한 사진을 반복적으로 자동 분석하더라도 평가할 때마다 결과가 달라지기에, 자동 평가의 평가자 내 신뢰도를 확인하기 위해 첫 번째 치료 세션의 두 번 자동 평가된 값들을 ICC(2,1)를 사용하여 비교하였다. 마지막으로, 첫 번째와 두 번째 치료 세션에서 자동으로 평가된 값을 ICC(2,1)를 사용하여 비교하여 피험자 내 신뢰도를 계산하였다. 또한 각 ICC의 95% 신뢰 구간 값을 명시하였다. 신뢰도는 ICC 값에 따라 다음과 같이 분류하였다; poor (0.20 미만), fair (0.21~0.40), moderate (0.41~0.60), good (0.61~0.80), very good (0.81~1.00). 각 변수들과 HB grade에 대한 스피어만 상관 분석을

시행하여 정확도를 평가하였으며, 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

2. 연구 결과

1) 기존 특성

2022년 1월부터 11월까지 안면 마비 진단을 받은 총 796명의 환자가 이 연구에 등록되었으며, 모든 대상자는 아시아 인종, 특히 한국인으로만 구성되었다. 이 중 23명은 두 차례 이상의 언어 치료 세션과 Emotrics 평가를 받았다 (Table 1). 대상군의 평균 연령은 49.4세였으며, 성별과 좌우 측의 이환여부는 비슷한 분포를 보였다. 말초성 안면 마비가 중추성 안면 마비보다 더 많았으며, 중증도는 눈 쪽이 HB grade I인 환자가 10명, 입 쪽이 HB grade IV 또는 V인 환자가 20명이며 이외에는 다양하게 분포되었다.

2) 신뢰도 및 정확도

Emotrics의 신뢰도는 앞서 언급한 10개의 변수를 사용하여 평가하였다. 평가자 간 신뢰도와 평가자 내 신뢰도는 모든 변수에서 통계학적으로 유의한 일관성을 보였으며, BH_r-c의 평가자 간 신뢰도(ICC = 0.61 [95% CI, 0.02-0.84])를 제외한 대부분의 변수가 0.80 이상의 ICC 값을 보였다 (Table 2). 또한 A-U 값은 r-c 또는 r-s 값에 비해 더 높은 신뢰도를 보이는 경향이 관찰되었다. 피험자 내 신뢰도는 여러 변수들에서 유의미한 신뢰도를 보였지만, 다른 유형의 신뢰도에 비해 낮은 값을 보였다. 피험자 내 신뢰도는 PF_A-U, BH_A-U, SA_A-U, SA_r-s, CE_A-U, CE_r-s의 경우 0.68 이상의 ICC 값을 보였으나, 다른 변수들에서는 통계학적으로 유의하지 않은 ICC 값이 확인되었다. 정확도를 평가하기 위해 변수를 HB grade와 비교했을 때 두 개의 변수들 (BH_r-c 및 PF_r-c) 만이 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다 (Table 3).

3. 고찰

본 연구에서 자동화된 안면마비 평가법으로서 Emotrics는 모든 변수들에서 일관되게 통계학적으로 유의한 평가자 간 신뢰도와 평가자 내 신뢰도를 보였다. 피험자 내 신뢰도는 전체 변수 중 네 개에서 유의미한 수치임을 확인할 수 있었다. 또한 본 연구는 모든 안면마비 유형들을 대상으로 분석하였다. 말초성과 중추성 안면마비의 구분을 위해 사용되는 이마의 움직임과는 다르게, 안륜근은 일부만 양측 신경의 지배를 받기 때문에 중추성 안면 마비에서도 눈을 감는 행위는 경미한 장애를 보일 수 있다¹⁶. 따라서 안면마비의 유형에 관계없이 Emotrics의 중요성을 기대하였으나, 말초성 안면마비의 평가에서 사용되는 HB grade와 비교한 Emotrics의 정확도 평가에서는 두 개의 변수만 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다.

Emotrics의 기존 개발 목적은 안면 마비의 중증도를 평가하는 것이 아니라 이목구비의 인식률을 높여 표식으로 단순히 안면부의 여러 측정값을 계산하는 것이었지만¹¹, 안면 마비 중증도 척도에 이 프로그램을 사용할 수 있는 가능성을 입증하기 위해 이 연구를 계획하였다. 이를 위해 얼굴 회전을 최소화함으로써

양측 표식이 대칭을 이루도록 하여 양측 변수를 비교할 수 있도록 하였다. 이 연구에서는 타 연구와 비슷하게 안면 마비 환자에 대한 Emotrics의 신뢰도를 평가자 간 평가, 평가자 내 평가, 피험자 내 평가를 통해 평가하였다². 자동 측정의 정확도를 평가하기 위해 자동 측정과 수동 측정을 통해 얻은 데이터를 비교하여 평가자 간 신뢰도를 평가하였다. 또한 2D 분석의 한계를 극복하기 위해 모든 사진은 특별히 설계된 프레임을 사용하여 표준화된 조건에서 촬영하였다⁶. 렌즈로 인한 주변부 왜곡을 최소화하기 위해 얼굴을 사진 중앙에 배치하였다. 마지막으로 2D 평면과 3D 랜드마크 사이의 표준화된 위치 관계를 설정하기 위해 카메라를 얼굴과 평행하게 배치하였다¹⁸. 그 결과 눈과 입 기능과 관련된 대부분의 변수에서 very good의 신뢰도를 보였다. Emotrics는 머신 러닝을 통해 지속적으로 평가 기능을 개선할 것으로 예상되지만, 현재 시스템 자체 만으로도 이미 의미 있는 결과를 확인할 수 있었다^{11,17}.

이전 연구에서는 안면 마비로 인해 눈이 완전히 감기지 않는 환자군에서 안검 성형 수술 후 임상적인 호전과 더불어 Emotrics를 사용한 PF 및 BH의 개선을 제시한 바 있다⁹. 다른 선행 연구들에서도 입 주위 성형 수술 혹은 재혈치료 후 SA, DS, CE의 개선과 안면마비의 호전이 관계됨을 밝힌 바 있다¹²⁻¹⁴. 이러한 결과들은 Emotrics의 변수들이 임상적 개선을 정확하게 반영하며 임상에서 신뢰할 수 있는 평가 방법으로 사용될 수 있음을 시사한다. 그러나 본 연구 이전에 시행된 Emotrics의 신뢰도와 정확도에 대한 연구는 찾을 수 없었다.

ICC 값을 분석할 때 평가자 간 신뢰도가 높다는 것은 수동으로 얻은 결과와 자동으로 얻은 결과가 비슷하다는 것을 의미한다. 이는 머신 러닝을 통해 얻은 Emotrics의 자동 결과가 의미 있고 신뢰할 수 있음을 나타낸다. 추가적으로 A-U 값, 평가자 간 신뢰도, 피험자 내 신뢰도 등 단일 사진으로 도출한 결과가 r-c, r-s 값, 피험자 내 신뢰도 등 이중 사진으로 도출한 결과보다 높은 ICC 값을 보였다. 이는 새로운 사진을 촬영할 때마다 결과가 달라질 수 있음을 시사하며, 이는 2D 분석의 한계로 추정된다. 따라서 이를 최소화하기 위하여 보다 정밀한 촬영 프로토콜을 구축할 필요가 있다. 그러나 대부분의 신뢰도 지표에서 good에서 very good의 신뢰도를 보였으며, 이는 많은 시간을 들여 정밀하게 평가하는 다른 수동 평가들과 유사한 결과를 보였다^{2,10,15}. 그렇기에 본 프로그램은 자동화된 평가로 즉각적이고 의미 있는 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

미세한 변화를 감지할 수 없다는 한계에도 불구하고 HB 등급은 안면 마비를 평가하는 표준으로 널리 받아들여지고 있다. 스피어만 상관 분석 결과 대부분의 변수들과 HB grade 간에는 유의미한 상관관계가 없는 것으로 나타났다 (Table 3). PF_r-c와 BH_r-c는 HB grade와 유의미한 상관관계를 보였지만, 해당 변수들은 피험자 내 신뢰도가 유의미하지 않았다. 본 연구 대상자의 분포에서 눈의 경우 경증 환자 (HB grade I)가 절반을 차지한 반면, 입의 경우 중증 환자 (HB grade IV 및 V)가 대부분을 차지한 것을 확인할 수 있다. 이러한 왜곡된 분포는 연구에 상당수의 중추성 환자가 포함되었기 때문이며, 해당 중추성 환자를 제외한 하위 그룹 분석에서는 원래 모집단 분석에 비해 전반적으로 상관 계수가 증가한 것을 확인할 수 있다 (Table 4). 이는 보다 고른 분포를 가진 환자 집단에서 더 강력한 상관관계가 관찰될 수 있음을 시사한다.

본 연구에는 몇 가지 제한점들이 있다. 첫번째로 본 연구 결과는 소규모의 불균등하게 분포된 환자 그룹을 대상으로 실시한 탐색 연구에서 도출된 결과라는 점에 유의해야 한다. 따라서 프로그램의 정확도를 평가하기 위해서는 보다 대표적이고 고르게 분포된 집단을 대상으로 한 대규모 연구가 필요하다. 또한 Emotrics는 서양에서 개발되어 백인을 대상으로 하였으나, 본 연구는 아시아인을 대상으로 한 점이 중요한데, 그로 인해 피부색이 상대적으로 어두운 경우 표식 배치의 정확도가 낮아져 오류가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 다양한 인종 그룹을 대상으로 한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다. 두번째로 2D 분석의 한계를 극복하기 위해 프레임을 사용하는 촬영 프로토콜을 적용하였으나, 이러한 접근 방식은 해당 프로그램에 대한 임상적의 접근성을 제한할 수 있다. 따라서 프레임을 사용했을 때와 사용하지 않고 촬영한 사진을 비교하는 추가 연구를 수행하면 접근성을 개선할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 세번째로 해당 연구들을 더 진행한다면 이를 바탕으로 HB grade와 상관관계가 있는 특정 변수를 선택하여 각 HB grade에 대한 기준점을 설정할 수 있을 것이다. 이로써 Emotrics 결과에 대한 보다 표준화되고 임상적으로 적용 가능한 해석을 제공할 수 있다. 넷째, 이 평가 도구는 안면마비의 특징인 신경재생지배로 인한 연합 운동 (synkinesis)을 평가할 수 없기에 추가적인 평가법에 대한 고민이 필요할 것으로 보인다⁵. 다섯째, 기존 HB grade는 말초성 안면마비의 평가법으로, 중추성 안면마비에서의 효용성은 잘 밝혀져 있지 않기에 이로 인한 편향이 존재할 수 있다. 마지막으로 미소와 같은 비언어적 의사 소통을 해석하는 평가법이 추가된다면 안면 기능에 대한 종합적인 평가를 할 수 있을 것이다¹⁹.

III. 결론

전반적으로 Emotrics 변수는 평가자 간, 평가자 내, 피험자 내 신뢰도가 good에서 very good 수준이며, 통계적으로도 유의한 것으로 확인되었다. 이 단일 기관 연구는 Emotrics가 기존 방법보다 안면 마비의 중증도 변화를 더 세밀하게 파악할 수 있음을 시사한다. 결론적으로 정량적이고 자동화된 평가법인 Emotrics는 안면 마비를 신속히 평가하고, 치료 효과를 모니터링하는 데 유용한 도구가 될 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 참고문헌 목록

1. Robinson, M.W.; Baiungo, J. Facial Rehabilitation: Evaluation and Treatment Strategies for the Patient with Facial Palsy. *Otolaryngol. Clin. N. Am.* 2018, 51, 1151–1167.
2. Demeco, A.; Marotta, N.; Moggio, L.; Pino, I.; Marinaro, C.; Barletta, M.; Petraroli, A.; Palumbo, A.; Ammendolia, A. Quantitative analysis of movements in facial nerve palsy with surface electromyography and kinematic analysis. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2021, 56, 102485.
3. Bhama, P.; Bhrany, A.D. Ocular protection in facial paralysis. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2013, 21, 353–357.
4. Saleem, F.; Munakomi, S. Pseudobulbar Palsy; StatPearls: St. Petersburg, FL, USA, 2022.
5. Coulson, S.E.; Croxson, G.R.; Adams, R.D.; O'Dwyer, N.J. Reliability of the “Sydney,” “Sunnybrook,” and “House Brackmann” facial grading systems to assess voluntary movement and synkinesis after facial nerve paralysis. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2005, 132, 543–549.
6. Dusseldorp, J.R.; van Veen, M.M.; Mohan, S.; Hadlock, T.A. Outcome Tracking in Facial Palsy. *Otolaryngol. Clin. N. Am.* 2018, 51, 1033–1050.
7. Rodriguez Colon, R.; Park, J.J.; Boczar, D.; Diep, G.K.; Berman, Z.P.; Trilles, J.; Chaya, B.F.; Rodriguez, E.D. Evaluating Functional Outcomes in Reanimation Surgery for Chronic Facial Paralysis: A Systematic Review. *Plast Reconstr. Surg. Glob. Open* 2021, 9, e3492.
8. Azuma, T.; Fuchigami, T.; Nakamura, K.; Kondo, E.; Sato, G.; Kitamura, Y.; Takeda, N. New method to evaluate sequelae of static facial asymmetry in patients with facial palsy using three-dimensional scanning analysis. *Auris Nasus Larynx* 2022, 49, 755–761.
9. Greene, J.J.; Tavares, J.; Guarin, D.L.; Hadlock, T. Clinician and Automated Assessments of Facial Function Following Eyelid Weight Placement. *JAMA Facial Plast. Surg.* 2019, 21, 387–392.
10. Banks, C.A.; Bhama, P.K.; Park, J.; Hadlock, C.R.; Hadlock, T.A. Clinician-Graded Electronic Facial Paralysis Assessment: The eFACE. *Plast Reconstr Surg.* 2015, 136, 223e–230e.
11. Guarin, D.L.; Dusseldorp, J.; Hadlock, T.A.; Jowett, N. A Machine Learning Approach for Automated Facial Measurements in Facial Palsy. *JAMA Facial Plast. Surg.* 2018, 20, 335–337.
12. De Stefani, E.; Barbot, A.; Zannoni, C.; Belluardo, M.; Bertolini, C.; Cosoli, R.; Bianchi, B.; Ferri, A.; Zito, F.; Bergonzani, M.; et al. Post-surgery Rehabilitative Intervention Based on Imitation Therapy and Mouth-Hand Motor Synergies Provides Better Outcomes in

Smile Production in Children and Adults With Long Term Facial Paralysis. *Front. Neurol.* 2022, 13, 757523.

13. Koo, W.Y.; Park, S.O.; Ahn, H.C.; Ryu, S.R. Facial reanimation using the hypoglossal nerve and ansa cervicalis: A short-term retrospective analysis of surgical outcomes. *Arch. Craniofac. Surg.* 2021, 22, 303–309.

14. Tzafetta, K.; Ruston, J.C.; Pinto-Lopes, R.; Mabvuure, N.T. Lower Lip Reanimation: Experience Using the Anterior Belly of Digastric Muscle in 2-stage Procedure. *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open* 2021, 9, e3461.

15. Banks, C.A.; Jowett, N.; Hadlock, T.A. Test-Retest Reliability and Agreement Between In-Person and Video Assessment of Facial Mimetic Function Using the eFACE Facial Grading System. *JAMA Facial Plast. Surg.* 2017, 19, 206–211.

16. Blumenfeld, H. *Neuroanatomy through Clinical Cases with ebook*; Sinauer: Sunderland, MA, USA, 2011; p. 517.

17. Guarin, D.L.; Yunusova, Y.; Taati, B.; Dusseldorp, J.R.; Mohan, S.; Tavares, J.; van Veen, M.M.; Fortier, E.; Hadlock, T.A.; Jowett, N. Toward an Automatic System for Computer-Aided Assessment in Facial Palsy. *Facial Plast. Surg. Aesthet. Med.* 2020, 22, 42–49.

18. Kim, D.; Park, J.; Jung, J.; Kim, T.; Paik, J. Lens distortion correction and enhancement based on local self-similarity for high-quality consumer imaging systems. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2014, 60, 18–22.

19. Dusseldorp, J.R.; Guarin, D.L.; van Veen, M.M.; Jowett, N.; Hadlock, T.A. In the Eye of the Beholder: Changes in Perceived Emotion Expression after Smile Reanimation. *Plast. Reconstr. Surg.* 2019, 144, 457–471.

Table 1. Baseline characteristics of the patients.

Characteristics	Total Patients (N = 23)
Age, years	49.4 ± 17.9
Sex	
Female	11/23 (47.8%)
Male	12/23 (52.2%)
Facial-palsy-related feature	
Laterality	
Right	12/23 (52.2%)
Left	11/23 (47.8%)
Type	
Central type	9/23 (39.1%)
Peripheral type	14/23 (60.9%)
Etiology	
Bell's palsy	4/23 (17.4%)
Cerebrovascular accident	6/23 (26.1%)
Brain tumor	10/23 (43.5%)
Trauma	2/23 (8.7%)
Unidentified	1/23 (4.3%)
House–Brackmann facial palsy scale	
Eye	
1	10/23 (43.5%)
2	4/23 (17.4%)
3	1/23 (4.3%)
4	4/23 (17.4%)
5	3/23 (13.0%)
6	1/23 (4.3%)
Mouth	

2	3/23 (13.0%)
4	10/23 (43.5%)
5	10/23 (43.5%)

Values are n/N (%) or mean \pm standard deviation.

Table 2. Interrater, intrarater, and intrasubject reliability of Emotrics parameters.

Characteristics	Interrater Reliability	Intrarater Reliability	Intrasubject Reliability
PF_A-U	0.92 CI (0.80, 0.97) *	0.92 CI (0.81, 0.97) *	0.73 CI (0.33, 0.89) *
PF_r-c	0.82 CI (0.57, 0.93) *	0.82 CI (0.56, 0.93) *	0.55 CI (-0.12, 0.82)
BH_A-U	0.99 CI (0.98, 0.99) *	0.97 CI (0.94, 0.99) *	0.76 CI (0.41, 0.90) *
BH_r-c	0.61 CI (0.02, 0.84) *	0.95 CI (0.88, 0.98) *	-0.82 CI (-3.48, 0.26)
SA_A-U	0.96 CI (0.91, 0.98) *	0.96 CI (0.90, 0.98) *	0.78 CI (0.45, 0.91) *
SA_r-s	0.86 CI (0.65, 0.94) *	0.80 CI (0.51, 0.92) *	0.68 CI (0.21, 0.87) *
DS_A-U	0.99 CI (0.97, 0.99) *	0.97 CI (0.92, 0.99) *	-0.37 CI (-3.10, 0.54)
DS_r-s	0.98 CI (0.96, 0.99) *	0.96 CI (0.90, 0.98) *	-0.17 CI (-2.48, 0.61)
CE_A-U	0.99 CI (0.97, 0.99) *	0.93 CI (0.82, 0.97) *	0.88 CI (0.69, 0.95) *
CE_r-s	0.89 CI (0.74, 0.96) *	0.85 CI (0.64, 0.94) *	0.69 CI (0.24, 0.87) *

Values are intraclass correlation coefficient (ICC) value, 95% confidence interval (CI). * $p < 0.05$. Abbreviations: PF, palpebral fissure; A-U, difference between affected and unaffected side; r-c, difference between resting and closed eye state; BH, brow height; SA, smile angle; r-s, difference between resting and smile state; DS, dental show; CE, commissure excursion.

Table 3. Relationship between the Emotrics parameters and House–Brackmann facial palsy scale.

Characteristics	Correlation with HB_E *	Coefficient	Correlation with HB_M *	Coefficient	p-Value
PF_A-U	0.28	-	-	-	0.22
PF_r-c	-0.64	-	-	-	< 0.01
BH_A-U	-0.07	-	-	-	0.75
BH_r-c	0.81	-	-	-	< 0.01
SA_A-U	-	-	-0.18	-	0.44
SA_r-s	-	-	-0.20	-	0.39
DS_A-U	-	-	-0.40	-	0.11
DS_r-s	-	-	0.10	-	0.71
CE_A-U	-	-	-0.26	-	0.25
CE_r-s	-	-	-0.10	-	0.66

* Spearman's correlation. Abbreviations: HB_E, House–Brackmann facial palsy scale of eye; HB_M, House–Brackmann facial palsy scale of mouth; PF, palpebral fissure; A-U, difference between affected and unaffected side; r-c, difference between resting and closed eye state; BH, brow height; SA, smile angle; r-s, difference between resting and smile state; DS, dental show; CE, commissure excursion.

Table 4. Relationship between the Emotrics data and House–Brackmann facial palsy scale (peripheral facial palsy group).

Characteristics	Correlation with HB_E * (n = 14)	Coefficient with HB_M * (n = 14)	Correlation Coefficient	p-Value
PF_A-U	0.43	-		0.19
PF_r-c	-0.77	-		<0.01
BH_A-U	-0.17	-		0.62
BH_r-c	0.92	-		<0.01
SA_A-U	-	-0.18		0.59
SA_r-s	-	-0.50		0.12
DS_A-U	-	-0.41		0.21
DS_r-s	-	0.32		0.34
CE_A-U	-	-0.26		0.24
CE_r-s	-	-0.17		0.62

* Spearman's correlation. Abbreviations: HB_E, House–Brackmann facial palsy scale of eye; HB_M, House–Brackmann facial palsy scale of mouth; PF, palpebral fissure; A-U, difference between affected and unaffected side; r-c, difference between resting and closed eye state; BH, brow height; SA, smile angle; r-s, difference between resting and smile state; DS, dental show; CE, commissure excursion.

(A)



(B)

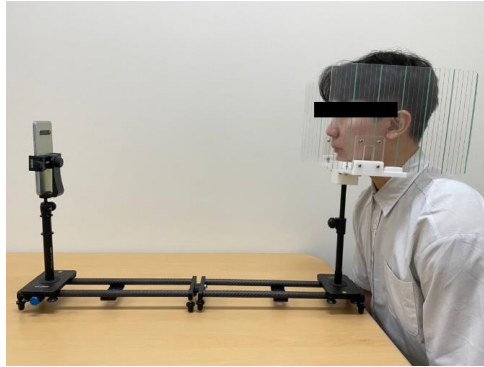
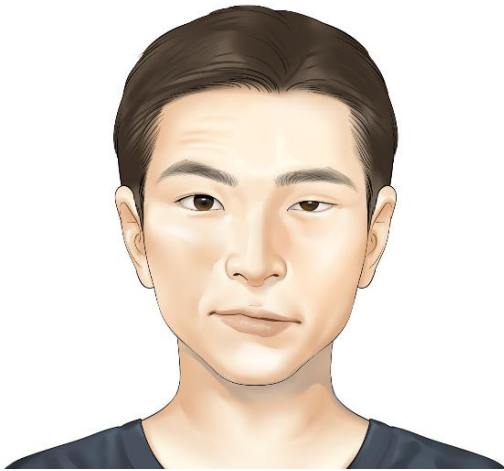


Figure 1. Composition of the frame. (A) The frame was composed of a phone holder on one side and a chin rest on the other. The distance was fixed with a bar. To confirm a neutral position, markings were placed bilaterally next to the chin rest, (B) The heights of the phone holder and chin rest could each be individually adjusted for the patient.

(A)



(B)

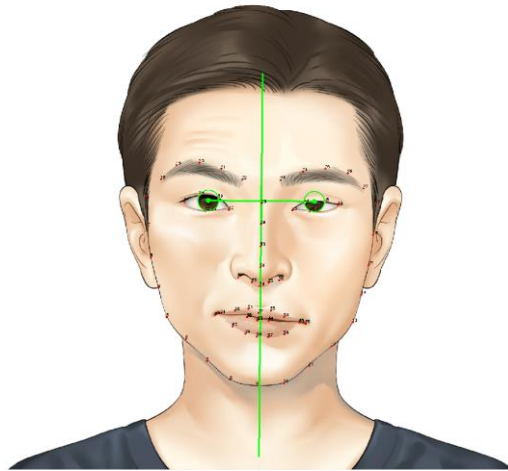


Figure 2. Landmarks placement of the program. (A) A typical peripheral type of facial palsy was depicted. (B) Automatic placement of landmarks according to machine learning. If the program analyzed photographs, it automatically calculated the parameters.

영문 요약

The House-Brackmann facial grading system (HB grade) is widely accepted as the standard method for evaluating facial palsy. However, it has limitations in capturing subtle changes. Various methods have been attempted to address this issue, but there is no worldwide accepted evaluation tool that is both efficient and quantitative. On the other hand, a new two-dimensional analysis incorporating machine learning techniques, Emotrics, has been appeared in clinical settings. However, its reliability and accuracy have not been established. Therefore, we aimed to assess the reliability and accuracy of Emotrics. This study included patients who had previously undergone facial palsy speech therapy in 2022. Emotrics was routinely used in speech therapy to assess the severity of facial palsy. A standardized frame was developed to overcome the limitations of the two dimensional analysis. Intra-, inter-rater, and intrasubject reliability were measured using intraclass correlation coefficients by assessing indicators related to ocular and oral functions. Accuracy was assessed by examining the correlation between each Emotrics parameter and the HB grades using Spearman's correlation. A total of 23 patients were analyzed. All parameters showed significant intra- and inter-rater reliability. Most parameters also demonstrated significant intrasubject reliability. Two parameters showed a significant accuracy. This single center study shows that Emotrics could be an efficient and quantitative method for evaluating facial palsy, with high reliability. Hence, Emotrics has the potential to play a crucial role in accurately measuring facial palsy and monitoring treatment outcomes.