신뢰성응용연구
제16권, 제2호. pp.147-154, 2016

정상인의 상지 원위부에 대한 운동학적 분석의 신뢰도

변재현[1] · 홍완기[2†]

[1]조선대학교병원 재활의학과, [2]조선대학교 체육학과

The Reliability of Kinematic Analysis for Distal Upper Extremity in Normal Person

Jae-Hyun Byun[1] · Wan-Ki Hong[2†]

[1]Department of Rehabilitation Medicine, Chosun University Hospital
[2]Department of Physical Education, Chosun University

Purpose: To evaluate statistical differences among three measurements of range of motion (ROM) with Rapael Smart Glove (RSG) group 1, 2 and manual goniometer group. To investigate reference value of the kinematic analysis for range of motion (ROM) of distal upper extremity with Rapael Smart Glove (RSG).
Methods: Sixteen normal persons without limitation of motion (LOM) enrolled in the study. The study was performed at two separate times and by two investigators on 16 normal adults. We compared ROM with RSG for measuring joint angles. We compared degrees of forearm supination/pronation, wrist flexion/extension and radial deviation/ulnar deviation during ROM of 16 participants using RSG. After one week, degrees of each motion were measured in the same way by other investigator to evaluate the reliability.
Results: Statistical differences among three groups were showed. Most results of paired t-test between two RSG groups were over 0.05 and exceptions are supination, extension, and finger %.
Conclusion: Our findings demonstrate that ROM of normal persons obtained by kinematic analysis with RSG are not valid as normal reference value for distal upper extremity motion. But, the reliability of between two RSG groups was showed with paired t-test and Pearson's correlation except supination, extension and finger %.

Keywords: Reliability, Kinematic Analysis, Rapael Smart Glove, Range of Motion, Upper Extremity

1. 서 론

중추신경계질환 환자들의 가장 효과적인 재활은 목표 지향적이고 과제지향적인 훈련을 반복하는 것이다. 이러한 반복 훈련은 뇌가소성을 증진시키는데 중요한 역할을 한다. 하지만 단순반복훈련은 적절한 도전과제를 제시하지 못하여 환자들의 참여도를 떨어뜨리고 이로 인해 뇌가소성 증진을 어렵게 하는 원인이 된다. 더욱이 뇌졸중 등에 의해 재활치료가 필요한 환자들은 상지기능장애를 흔히 동반하고, 이로 인

† 교신저자 bmw2053@naver.com
2016년 6월 1일 접수; 2016년 6월 15일 수정본 접수; 2016년 6월 20일 게재 확정.

해 일상생활에서 운동능력에 많은 제한을 받게 된다. 약 80%의 뇌졸중 환자에서 상지기능의 제한이 있고, 이러한 환자의 50%에서는 장기적으로 관절가동역의 제한을 보인다[1, 2]. 특히, 상지 원위부의 기능적인 사용은 뇌졸중 환자의 삶의 질에 밀접한 관계가 있다[3]. 이들에 대해 적절한 재활치료를 위한 계획 수립을 위해서는 환자의 동작에 대한 정량적인 평가가 필요하다. 그 중에서도 운동범위를 알 수 있는 관절가동역이 정상인에 비하여 어느 정도 수준인지를 평가하여, 재활 프로그램에서 환자 능력에 따른 난이도를 조절하여 개별 맞춤형 훈련을 제공하고 재활의 동기를 부여하는 것은 환자의 재활에 많은 도움이 될 것이다. 또한 객관적인 훈련 결과의 표시를 통해 보다 효과적이고 효율적인 훈련 관리가 가능하리라고 생각된다. 그러나 상지에서의 관절가동역 측정은 여러 관절에 대한 평가가 이루어져야 하며, 또한 여러 방향의 관절가동역 측정이 필요한 관계로 수기로 일일이 측정하는 것은 매우 번거로운 작업에 해당하기 때문에, 일반적으로 재활치료를 시행할 때 마다 측정하지는 않는다. 따라서 치료 후에 객관적인 결과의 흐름을 연속적으로 관찰하기에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 비교적 관절가동역 측정이 용이하게 제작된 라파엘 스마트 글러브를 이용하여 피실험자의 상지 원위부에서의 관절가동역을 측정하였고, 측정값의 신뢰도를 평가하여 임상에서 객관적으로 사용하는데 무리가 없는지 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

본 연구에서의 실험군은 20대에서 40대까지의 건강한 정상 성인 남녀16명을 대상으로 하였고, 조선대학교병원에서 재활의학과 전문의에 의한 연구전단계의 검진 소견상 상지기능에 특이소견이 없음을 확인하였다. 또한 관절가동역에 영향을 미칠 수 있는 골절 및 기타 근골격계 질환 또는 신경병증성 질환 등에 이환되지 않은 이들을 대상으로 하였고, 구두명령을 이해하고 따를 수 있으며, 좌위균형을 유지하여 라파엘 스마트 글러브를 이용하는데 불편함이 없도록 하였다. 실험군은 남녀 16명(남자 7명, 여자 9명)으로 평균 연령은 29.8세(21~46세)이었다. 측정부위는 좌우측 수지 원위부로 좌측에서 16명의 측정치와 우측에서 16명의 측정치를 얻었다. 실험군에게는 실험 전에 라파엘 스마트 글러브의 착용법과 사용법을 충분히 교육하였고, 실험도구의 미숙한 사용으로 인한 측정값의 오차가 없도록 하였다. 연구대상의 상세한 이력은 <Table 1>에 요약하여 나타내었다.

Table 1 Characteristics of the normal persons analysed for this kinematic study

No.	Age	Sex	Dominant Hand	Limitation of Motion
1	32	Male	Right	Normal
2	22	Female	Right	Normal
3	34	Female	Right	Normal
4	27	Female	Right	Normal
5	41	Female	Right	Normal
6	28	Male	Right	Normal
7	26	Female	Right	Normal
8	46	Male	Right	Normal
9	24	Male	Right	Normal
10	40	Male	Right	Normal
11	22	Female	Right	Normal
12	21	Female	Right	Normal
13	25	Female	Right	Normal
14	22	Female	Right	Normal
15	32	Male	Right	Normal
16	35	Male	Right	Normal

2.2 라파엘 스마트 글러브

라파엘 스마트 글러브(Rapael Smart Glove, RSG)는 탄성중합체로 제작된 경량의 인체 공학적인 장비로 실시간 바이오 피드백 기능이 있어 재활 훈련 프로그램 사용 시 집중적, 반복적, 과제지향적으로 훈련이 가능하며, 생체역학적인 평가도구로 수동관절가동역과 능동관절가동역 측정을 통해 훈련성과를 모니터링 할 수 있다. 특히 굽힘에 따라 변수가 측정되는 벤딩 센서는 다관절 움직임에 대한 관절가동역 측정이 가능하며, 손과 손가락의 움직임 분석이 가능하다. 라파엘 스마트 글러브의 착용모습 및 구조는<Fig. 1>에 나타내었다.

2.3 운동학적 측정 및 통계 분석

피검자들은 전방에 목표가 표시된 태블릿PC 테이블 앞에서 좌석의 높이가 42cm인 등받이의자에 등을 기대고 앉은 자세를 취하고, 양측 상지를 자연스럽게 늘어뜨려 20cm 높이의 팔걸이에 걸치도록 하였다. 이 때 측정값이 나타나는 태블릿PC는 체간의 정중앙에서 앞쪽으로 위치시켰고, 팔을 의자 팔걸이에 걸쳤을 때, 즉 견관절을 중립위에 위치하고 주관절을 완전히 90도 굴곡 시켰을 때의 위치에 해당하는 자세에서 숙련된 한 명의 검사자가 RSG를 통하여 상지 원위부의 능동관절가동역을 측정하였다. 전완 회내, 전완 회외, 손목 굴곡, 손목 신전, 손목 척골 굴곡, 손목 요골 굴곡은 각도로 측정하였고, RSG의 센서 구조상의 이유로 손가락의 굴곡 정도는 각도가 아닌 수동 굴곡 가능범위에서 능동 굴곡 범위의%로 측정하였다. 그 후 일주일 뒤에 또 다른 한 명의 숙련된 검사자가 RSG를 이용하여 같은 방법으로 측정하였고, 제 3의 숙련된 검사자가 각도기를 사용하여 실제 능동관절가동역을 대학병원 재활의학과 진료실에서 임상진료를 통한 수기로 측정하였다. 이 때 3명의 연구자군에서 측정값들이 유의미한 차이가 있는지 확인하기 위하여null hypothesis로부터 출발하는 post hoc analysis of Tukey's test와 수기 각도기 측정군의 값이 없는 수지 굴곡% 군은 paired t-test를 사용하였다. p-value가 0.05보다 크다고 해서 측정값들이 반드시 유의미한 차이가 없다고 단정 지을 수는 없지만, p-value가 0.05보다 작다면 유의미한 차이가 있다고 결론하였다. 추가적으로 첫 번째 연구자군과 두 번째 연구자군은RSG만을 이용하여 측정하였기에, paired t-test를 통하여 서로 다른 연구자간에 유의미한 차이가 있는지를 확인하였다 또한 Pearson's correlation을 통해 $p = 0.05$ 기준으로 RSG 측정값이 연구자가 바뀌어도 상관관계가 유의미한지 확인하였다.

3. 결 과

3.1 pronation/supination 운동신뢰성 파라미터의 실험적 측정

전완 회내와 전완 회외 운동의 운동형상학적 평가

Fig. 1 The rapael smart glove used for kinematic analysis

결과를 <Table 2>와 <Table 3>에 요약하여 나타내었고, 통계 처리 후 결과를 <Fig. 2>에 정리하였다. 우측 전완 회내 운동의 능동관절가동역은 1st investigator group에서 평균 85.5도, 2nd investigator group에서 81.3도, manual goniometer group에서 71.1도로 p = 0.001로 유의미한 차이가 있었다. 좌측 전완 회내 운동의 능동관절가동역은 1st investigator group에서 평균 82.7도, 2nd investigator group에서 83.6도, manual goniometer group에서 74.2도로 p = 0.086으로 유의미한 차이가 없었다. 우측 전완 회외 운동의 능동관절가

Table 2 Results of kinematic analysis for right distal upper extremity

Mean Joint angle (°)	1st Investigator Group	2nd Investigator Group	manual goniometer group
Forearm Pronation	85.5	81.3	71.1
Forearm Supination	97.9	108.8	76.2
Wrist Flexion	66.4	69.1	62.6
Wrist Extension	55.6	56.3	67.3
Wrist Radial Deviation	34.5	31.9	25.9
Wrist Ulnar Deviation	49.4	50.4	46.2
Finger %	70.1	65.8	*

Table 3 Results of kinematic analysis for left distal upper extremity

Mean Joint angle (°)	1st Investigator Group	2nd Investigator Group	manual goniometer group
Forearm Pronation	82.7	83.6	74.2
Forearm Supination	95.4	101.9	77.5
Wrist Flexion	70.1	74.6	64.6
Wrist Extension	56.3	60.0	72.9
Wrist Radial Deviation	36.1	33.8	28.8
Wrist Ulnar Deviation	51.4	51.0	48.9
Finger %	70.4	60.6	*

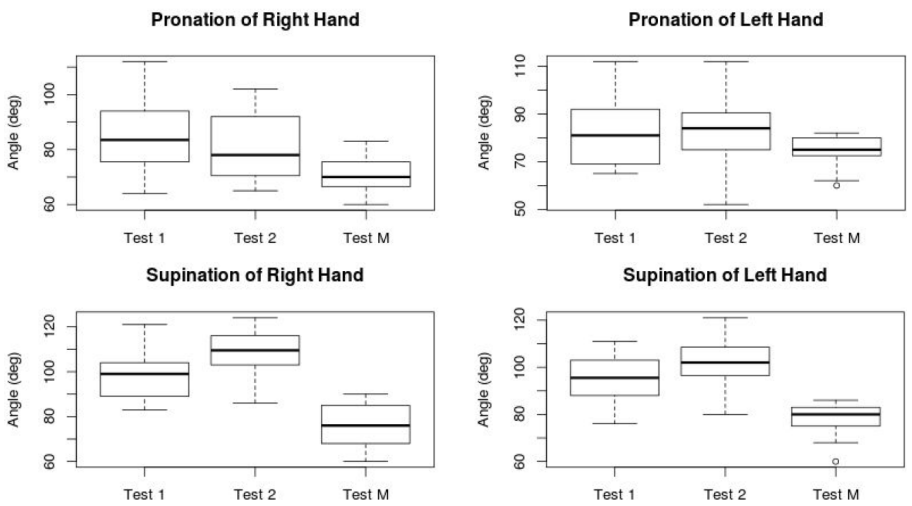

Fig. 2 Test results of pronation and supination of right and left hand, respectively

동역은 1st investigator group에서 평균 97.9도, 2nd investigator group에서 108.8도, manual goniometer group에서 76.2도로 $p < 0.0001$로 유의미한 차이가 있었다. 좌측 전완 회외 운동의 능동관절가동역은1st investigator group에서 평균 95.4도, 2nd investigator group에서 101.9도, manual goniometer group에서 77.5도로 $p < 0.0001$로 유의미한 차이가 있었다.

3.2 flexion/extension 운동신뢰성 파라미터의 실험적 측정

손목 굴곡, 손목 신전 운동의 운동형상학적 평가 결과를 <Table 2>와 <Table 3>에 요약하여 나타내었고, 통계 처리 후 결과를 <Fig. 3>에 정리하였다. 우측 손목 굴곡 운동의 능동관절가동역은1st investigator group에서 평균 66.4도, 2nd investigator group에서 69.1도, manual goniometer group에서 62.6도로 $p < 0.0001$로 유의미한 차이가 있었다. 좌측 손목 굴곡 운동의 능동관절가동역은1st investigator group에서 평균 70.1도, 2nd investigator group에서 74.6도, manual goniometer group에서 64.6도로 $p = 0.0288$로 유의미한 차이가 있었다. 우측 손목 신전 운동의 능동관절가동역은 1st investigator group에서 평균 55.6도, 2nd investigator group에서 56.3도, manual goniometer group에서 67.3도로 $p < 0.001$로 유의미한 차이가 있었다. 좌측 손목 신전 운동의 능동관절가동역은1st investigator group에서 평균 56.3도, 2nd investigator group에서 60.0도, manual goniometer group에서 72.9도로 $p < 0.0001$로 유의미한 차이가 있었다.

3.3 radial deviation/ ulnar deviation 운동신뢰성 파라미터의 실험적 측정

손목 요골 굴곡, 손목 척골 굴곡 운동의 운동형상학적 평가 결과를 <Table 2>와 <Table 3>에 요약하여 나타내었고, 통계 처리 후 결과를 <Fig. 4>에 정리하였다. 우측 손목 요골 굴곡 운동의 능동관절가동역은 1st investigator group에서 평균 34.5도, 2nd investigator group에서 31.9도, manual goniometer group에서 25.9도로 $p = 0.0055$로 유의미한 차이가 있었다. 좌측 손목 요골 굴곡 운동의 능동관절가동역은1st investigator group에서 평균 36.1도, 2nd investigator group에서 33.8도, manual goniometer group에서 28.8도로 $p = 0.0116$으로 유의미한 차이가 있었다. 우측 손목 척골 굴곡 운동의 능동관절가동역은1st investigator group에서 평균 49.4도, 2nd investigator group에서 50.4도, manual goniometer group에서 46.2도로 $p = 0.51$로 유의미한 차이가 없었다. 좌측 손목 척골 굴곡 운동의 능동관절가동역은 1st investigator group에서 평균 51.4도, 2nd investigator group에서 51.0도, manual goniometer group에서 48.9도로 $p = 0.71$로 유의미한 차이가 없었다.

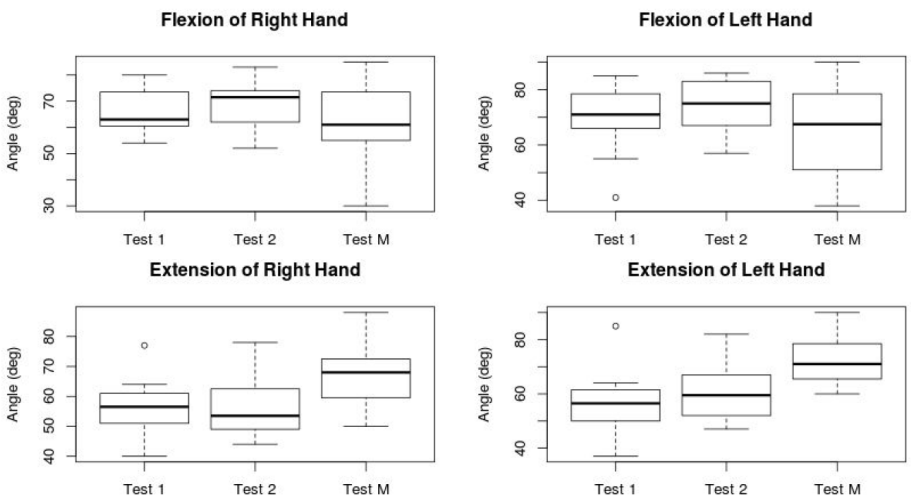

Fig. 3 Test results of flexion and extension of right and left hand, respectively

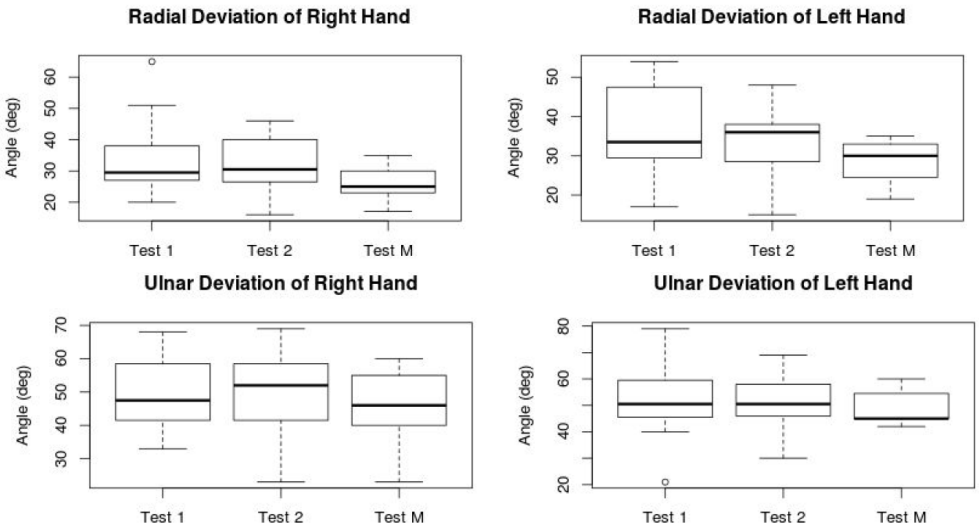

Fig. 4 Test results of radial and ulnar deviation of right and left hand, respectively

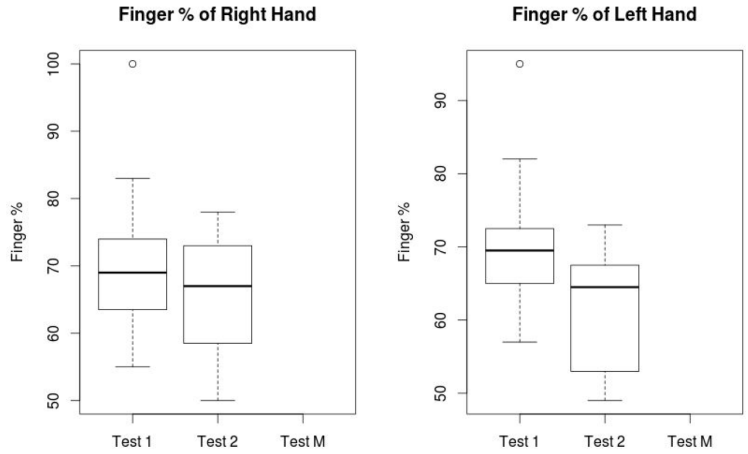

Fig. 5 Test results of finger percent of right and left hand, respectively

3.4 finger % 운동신뢰성 파라미터의 실험적 측정

손가락 굴곡 운동의 수동관절가동역에 대한 능동관절가동역의 %로 표시하는 운동형상학적 평가 결과를 <Table 2>와 <Table 3>에 요약하여 나타내었고, 통계처리 후 결과를 <Fig. 5>에 정리하였다. 우측 손가락 굴곡 운동의 finger %는 1st investigator group에서 평균 70.1%, 2nd investigator group에서 65.8%이었으며, $p = 0.28$로 유의미한 차이가 없었다. 좌측 손가락 굴곡 운동의 finger %는 1st investigator group에서 평균 70.4%, 2nd investigator group에서 60.6%이었으며 $p = 0.006$으로 유의미한 차이가 있었다.

3.5 RSG group 간의 상관관계 평가

첫 번째 연구자군과 두 번째 연구자군은 RSG만을 이용하여 측정하였기에, paired t-test를 통하여 서로 다른 연구자간에 유의미한 차이가 있는지를 확인하였다. 또한 Pearson's correlation을 통해 $p = 0.05$ 기준으로 RSG만을 이용한 측정값이 연구자가 바뀌어도 상관관계가 유의미한지 확인하였다. 대부분의 측정값은 $p > 0.05$로 유의한 차이는 관찰되지 않았지만, 우측 회외, 좌측 회외, 좌측 손목 신전, 좌측 손가락 굴곡 %에서 $p < 0.05$로 두 연구자군 간의 유의한 차이가 관찰되었다. 추가적으로 시행한 Pearson's correlation

test에서 대부분의 측정값은 $p < 0.05$ 또는 $p\sim0.1$로 서로 다른 연구자간에 유의한 상관관계가 있었다. 예외적으로 좌측 회내, 우측 척골 굴곡, 좌측 손가락 굴곡%, 우측 손가락 굴곡%에서는 서로 다른 연구자간에 상관관계를 보이지 않았다.

4. 고 찰

본 운동신뢰성 평가 연구에서는 라파엘 스마트 글러브를 이용한 정상인 상지 원위부의 다관절에서 관절가동역 측정 시 신뢰도가 어느 정도인지 알아보았다. 완관절과 수지관절은 관절의 수가 많을 뿐만 아니라, 운동방향도 여러 가지로 가능하다보니 임상 진료 시 수시로 간단하게 측정하는 데는 손이 많이 가고 번잡스러워 치료 시작 시점이나 종료 시점 정도에 증상 변화 관찰을 위해 측정하는 경우가 많았다. 하지만, 라파엘 스마트 글러브는 의도적으로 시간을 들여 측정하지 않아도, 치료 프로그램을 사용하면서 실시간으로 관절가동역이 기록되므로 매일매일의 변화를 연속적으로 가늠할 수 있다. 또한 능동가동역의 경우는 사용자 스스로 움직이는 범위만 센서가 인지하기에 보다 정확하게 측정 가능하리라는 추정 하에 연구를 진행하였다. 하지만 실험결과는 관절가동역의 절대치는 신뢰도가 낮아 임상에서 적용하기에는 한계가 있었다. 실제 피실험자의 동작을 센서가 관절의 중심에서 관절 축을 인식하여 측정하는 것이 아니라, 관절의 위에서 굽혀지며 움직이는 정도를 상대적으로 인식하는 장치이기에 한계가 있는 것으로 평가된다. 그러나, 라파엘 스마트 글러브를 서로 다른 사용자가 사용하여 평가하는 경우에, 사용자간에는 어느 정도의 신뢰도는 유지되었다. 이는 측정의 절대치는 정확도가 낮지만, 상대적인 측정값의 기준은 사용자가 서로 달라도 일정하게 유지할 수 있다는 것을 반영한다. 따라서 상대적인 측정값의 보정과정을 통하여 절대치와 가깝게 측정될 수 있도록, 그러한 가능성에 염두를 두고 추가적인 연구가 필요하리라고 사료된다. 피실험자의 손의 크기에 따라서 센서의 위치가 변동 가능하므로, 손의 크기에 따른 글러브의 다양성이 확보되어야 한다. 응용 프로그램의 개발 시에 준비 운동 및 마무리 운동에 해당하는 능동관절가동역 운동을 치료 전후로 삽입하여 평가에 도움이 되도록 하는 것이 좋을 것으로 평가된다. 임상에서 뇌졸중 환자를 대상으로 사용할 때는 절대적인 평가보다는 응용 프로그램을 이용한 운동학습과 지속적인 도전을 위한 재활학습 알고리즘으로 다양한 기능적 과제에 대한 학습을 향상시키기 위해 개별 맞춤 과제와 적절한 난이도를 사용하는 것이 효과적일 것이다. 또한 사용자의 훈련경과, 처방, 흥미, 운동기능점수 등의 데이터를 통합하여 개개인의 수준에 맞는 훈련으로 사용자 친화적인 치료를 통해 훈련 진행 과정에 대한 피드백을 실시간으로 제공하여 지속적인 재활을 유지하는 것이 바람직할 것이다. 특히, 뇌졸중 후 상지 운동기능의 자발적 회복이 이루어지는 시기는 일반적으로 발병 후 6개월 이내로 제한이 될 수 있으므로[4, 5], 초기에 적극적인 관절가동역 운동 시 라파엘 스마트 글러브의 사용이 도움이 될 것이다. 일반적으로 중추신경계 질환에 의한 근육의 마비는 그 회복에 있어서 신경학적 회복이 결정적인 역할을 하게 되며 특히 상지의 경우는 미세운동의 수의적 운동과 조절이 이루어져야 기능적 회복을 얻을 수 있다[6]. 중추신경성 마비에 대한 여러 치료 방법들이 있는데, 보존적 치료방법, 촉진기법, 근육 재교육 등의 결과에 대한 객관적인 평가는 미비하다[7-10]. 라파엘 스마트 글러브가 위와 같은 여러 가지 치료 방법에 대한 객관적인 평가도구로 사용가능한지 가능성을 갖고, 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 수지기능 개선을 위해 편마비 환자의 손목과 수지의 신전근군에 표면전극을 부착하고 전기자극을 시행한 연구도 있었고[11], 뇌졸중 환자의 손목 신전을 촉진시키기 위한 전기자극을 시행한 연구도 있었지만[12], 치료를 하는 동안의 과정을 실시간으로 연속적인 동작분석을 통해 연동하기에는 한계가 있고, 또한 매번의 치료마다 결과를 평가하는 데는 현실적인 어려움이 있다. 이 또한 라파엘 스마트 글러브에서 해결 가능한 실마리가 있기에 상대적인 측정값의 부정확성을 보정하여 신뢰도를 높일 수 있도록 하여야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 정상인의 상지 원위부에서의 운동신뢰성을 평가하기 위해, 좌상지와 우상지의 원위부에서 7가지의 상지동작 파라미터를 운동형상학적으로

측정하였고, 그 결과를 통계적으로 비교 분석하였다. 운동 파라미터 측정 결과, 라파엘 스마트 글러브를 이용한 평가 시 절대값의 신뢰도는 낮았지만, 상대적인 측정값은 일정하게 유지되어 신뢰도가 있었다. 따라서 상대값의 보정 과정을 통해 절대값과 가까운 측정이 가능하도록 추가적인 연구가 필요하리라고 사료된다. 또한 중추신경계질환 환자들의 재활을 돕기 위해 사용하는 재활프로그램에서 환자에 따라 개별 맞춤형으로 적절한 난이도의 과제를 시행할 때, 라파엘 스마트 글러브는 실시간으로 평가가 병행되므로, 이를 연동하여 환자, 보호자, 치료자 모두 연속적인 모니터링이 가능하도록 간단한 연동 프로그램을 응용 소프트웨어로 개발하여 접근성을 확보하는 것이 많은 도움이 될 것으로 사료된다. 본 연구를 통해 평상시에는 일반적으로 자주 측정하지 않았던 수지관절부의 관절가동역에 깊은 관심을 갖고, 측정값의 신뢰도를 유지하기 위한 추가적인 연구가 필요하리라고 사료된다.

References

[1] Kwakkel, G., Kollen, B. J., van der Grond, J. and Prevo, A. J. (2003). “Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke”. Stroke, Vol. 34, No. 9, pp. 2181-2186.

[2] BROEKS, G. J., Lankhorst, G. J., Rumping, K. and Prevo, A. J. H. (1999). “The long-term outcome of arm function after stroke: results of a follow-up study”. Disability and rehabilitation, Vol. 21, No. 8, pp. 357-364.

[3] Wolf, S. L. *et al*. (2006). “Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: the EXCITE randomized clinical trial”. Jama, Vol. 296, No. 17, pp. 2095-2104.

[4] Bard, G. and Hirschberg, G. G. (1965). “Recovery of voluntary motion in upper extremity following hemiplegia”. Archives of physical medicine and rehabilitation, Vol. 46, pp. 567-572.

[5] Twitchell, T. E. (1951). “The restoration of motor function following hemiplegia in man”. Brain, Vol. 74, No. 4, pp. 443-480.

[6] Basmajian, J. V., Gowland, C., Brandstater, M. E., Swanson, L. and Trotter, J. (1982). “EMG feedback treatment of upper limb in hemiplegic stroke patients: a pilot study”. Archives of physical medicine and rehabilitation, Vol. 63, No. 12, pp. 613-616.

[7] Basmajian, J. V. (1979). “Introduction: Principles and background in biofeedback principles and practice for clinicians”. Williams & Wilkins.

[8] DeLisa, J. A. (1988). “Rehabilitation medicine: principles and practice”. Lippincott Williams & Wilkins. pp. 269-271, 295-306, 565-582.

[9] Lucca, J. A. and Recchiuti, S. J. (1983). “Effect of electromyographic biofeedback on an isometric strengthening program”. Physical therapy, Vol. 63, No. 2, pp. 200-203.

[10] Brandstater, M. E. and Basmajian, J. V. (1979). “Stroke rehabilitation”. Williams & Wilkins, pp. 80-105, 156-178.

[11] Baker, L. L., Yeh, C., Wilson, D. and Waters, R. L. (1979). “Electrical stimulation of wrist and fingers for hemiplegic patients”. Physical Therapy, Vol. 59, No. 12, pp. 1495-1499.

[12] Bowman, B. R., Baker, L. L. and Waters, R. L. (1979). “Positional feedback and electrical stimulation: an automated treatment for the hemiplegic wrist”. Archives of physical medicine and rehabilitation, Vol. 60, No. 11, pp. 497-502.