

Haptic 기술을 이용한 뇌졸중 환자의 상지 재활 프로그램의 연구 개발 Development of Upper Limb Rehabilitation Program Using Haptic Technology

#이호규¹, *강상우², 김영탁², 손진원²

#H. K. Lee¹(Hokyu@toyonet.toyo.ac.jp), *S. W. Kang², Y. T. Kim², J. W. SON²

¹Shibaura Institute of Technology, ²중앙대학교 기계공학부

Key words : Haptic, Stroke, Rehabilitation, Upper limb, Robot-aided

1. 서론

최근 사회의 급속한 산업화와 노령화에 따라, 뇌질환 및 노화에 의한 상지 운동기능 장애인이 증가하는 추세이다. 운동 기능 장애 및 운동 능력이 저하된 장애인은 독립된 일상생활을 영위하기가 어렵기 때문에 이들에 대한 재활 훈련의 필요성도 높아지고 있다. 종래의 운동 기능 회복 훈련이나 기능 회복 평가의 방법은 의사나 물리치료사의 관찰에 의한 주관적인 평가가 대부분을 차지하므로, 객관적인 평가 기준이 구축된 더욱 효과적인 재활치료 법이 요구되고 있다. 지금까지 상지 운동 기능 회복 훈련 장치에 Virtual Reality 기술이나 로봇 기술을 응용한 상지 재활 시스템이 도입되었다¹⁾.

본 연구에서는 Haptic 장치를 이용하여 뇌졸중 환자를 대상으로 한 훈련 시스템 및 훈련 프로그램을 연구 개발한다. 훈련은 섭식, 세면, 환복, 물건의 이동 등 일상 생활 동작 (Activities of daily living:ADL)을 수행할 수 있는 기본 동작을 목표로 하고 있다.

장애 환자에게는 장애 정도의 상위성이 있기 때문에, 일차원적인 척도로 파악할 수 없다. 따라서 장애의 정도에 맞춘 훈련 장치 및 훈련 프로그램이 요구된다. 이러한 점에 초점을 두고 개발한 상지 재활 훈련 시스템의 유효성을 검증하기 위해, 이번 연구에서는 건상자를 대상으로 상지 운동의 특성(수행 속도, 오차, 근 활동)을 조사하였다.

2. 시스템의 개요

2.1. 실험 장비의 구성

이 시스템은 Haptic 장치, 모니터, 컴퓨터 및 훈련 프로그램으로 구성되어 있다(Fig. 1). Haptic 장치 본체는 AC Servo 모터, 링크, 손잡이, 힘 센서, 조작 판 등으로 이루어져 있다. AC Servo 모터에 장착된 엔코더로 링크의 회전 각도를 측정할 수 있으며, 손잡이의 위치 정밀도 및 경량화를 위해 패러렐 링크를 이용했다. 손잡이에 가해지는 힘의 크기를 측정하기 위해서는 6축 힘 센서(NITTA Co., Ltd, IFS-90 Series)를 장착했다. Fig.2 에 시스템의 동작 및 조작의 흐름을 나타냈다.

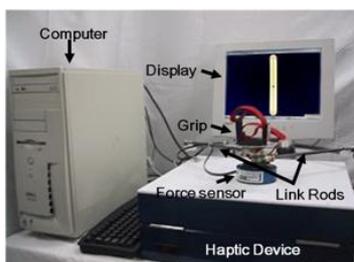


Fig. 1. Haptic system for upper limb rehabilitation

2.2. 실험 프로그램

본 실험에 사용된 프로그램은 기초 훈련 프로그램 중 상지 동작의 가장 기본이 되는 것으로서, 평면 위에서의 직선 운동을 하는 프로그램이다(Fig. 3(a)참조). 직선 운동의

행정은 200[mm]인데 폭이 20[mm]인 가이드 라인으로 화면에 표시하였다. 가이드 라인의 중심에는 붉은 선을 표시해서 피험자가 훈련에 임할 때 보다 더 집중력을 갖고 훈련을 수행할 수 있도록 했다.

한 세트의 실험은 30 초짜리 블록의 3 회 수행으로 구성됐다. 첫 번째 블록은 모터로부터 힘의 제공이 없는 경우이며, 두 번째 블록은 피험자의 위치를 기준으로 해서 전방으로 2.5[N], 세 번째 블록은 후방으로 2.5[N]의 힘이 제공이 되는 경우이다. 2.5[N]의 크기는 선행 연구를 참조해서 선정했다²⁾.

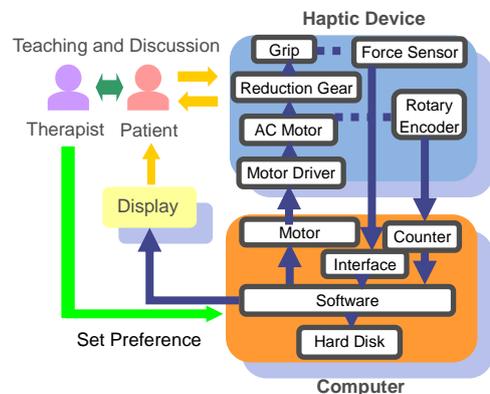


Fig.2. System control architecture of the haptic device.

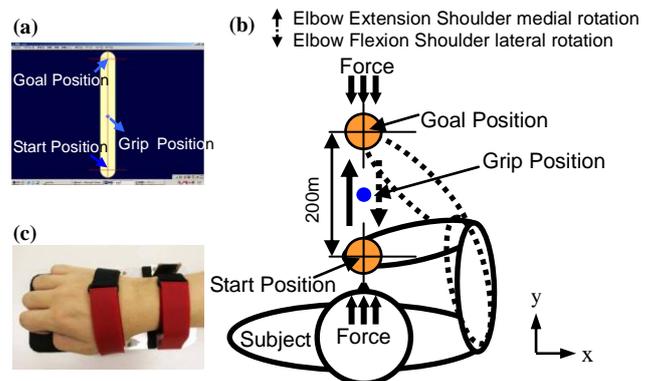


Fig. 3. Image of training method ; (a) Screen image of the training program. (b) Method of experiment (reaching exercise). (c) The external view of the fixed subject's hand and wrist to the grip.

3. 실험

개발한 상지 재활 훈련 시스템의 효과를 검증하기 위해, 단순한 훈련 프로그램을 수행할 때의 수행 능력 및 특성을 조사하는 실험을 실시했다.

실험에 참가한 피험자는 과거 신경학적 병력이 없고, 유사한 실험의 경험이 없으며 오른손잡이인 성인 남성 13 명을 대상으로 했다(신장 172.6±8.6, 체중 63.3±6.4 kg, 연령 25±3.3 세, 평균 표준 편차).

실험 기간은 월요일부터 금요일까지 2 주간, 총 10 회 실시했다. 피험자에게는 실험의 의의에 대해 충분히 설명한

다음, 실험 참가의 동의를 얻었다.

피험자는 Haptic 장치의 앞에 앉아, 손목을 손잡이의 중심에 맞추고 손등과 손목을 고정했다(Fig. 3(c)참조). 피험자의 앉은 자세는 의자 높이를 조절해서 팔꿈치를 기준으로 10 [cm] 낮은 위치에 Haptic 장치의 손잡이가 위치하도록 했다. 또한 피험자가 상지를 신전시켰을 때 손잡이의 위치가 훈련 프로그램의 도착 지점에 위치하도록 Haptic 장치와 피험자 사이의 거리를 조정했다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 4(a)는 실험 결과의 예로, 직선 운동 프로그램을 수행하였을 때의 손잡이 궤적을 나타낸다. 프로그램 수행 동안의 가이드라인 중심선에 대한 좌우 위치 오차는 최대 4 [mm] 정도이며, 거의 정확하게 가이드 라인을 따라 이동한 것을 확인할 수 있다. Fig. 4(b)는 손잡이의 동작 속도를 나타낸다. 수행 중 손잡이의 평균 속도는 약 70[mm/sec], 최대 속도는 약 100[mm/sec]이다. 신전과 굴곡의 속도는 동작 방향에 따라 경향은 다르지만, 각각의 방향에서 거의 같은 속도로 동작을 수행했다. Fig. 5 는 총 실험기간 동안 피험자들이 수행한 프로그램의 평균 동작 속도를 나타낸다. 실험 첫 날의 평균 속도는 50[mm/sec]를 밑돌았지만, 실험을 거듭함에 따라 동작 속도가 상승하였으며, 8 일째부터는 속도의 변화가 안정되는 경향을 보였다. 손잡이의 평균 위치 오차는 1[mm]정도며, 10 일간 큰 변화는 볼 수 없었다.

Fig. 6 은 직선 운동 프로그램을 수행할 때, 상지의 주요 골근(brachioradialis:BR), 상완이두근(biceps brachii:BB), 상완삼두근(triceps brachii:TB)의 근 활동을 측정할 근전도(electromyogram:EMG)를 나타낸다. 피험자의 최대 수의적 수축(maximum voluntary contraction:MVC) 시의 EMG 를 측정하지 않고, 동작에 따라 작용하는 근육 조사하기 위해 프로그램 수행 시의 EMG 를 측정했다. Fig. 6(a)는 첫째 날에 측정된 EMG 의 예이며, 위로부터 BR, BB, TB 의 EMG 를 나타낸다. 신전 시는 주동근인 TB 만 활동했다. 그리고 굴곡 동작에서는 BR, BB 가 협조 운동으로 동작을 할 것이라 추측할 수 있지만, BR 의 근 활동은 보이지 않았고 BB 만 활동하는 것이 확인됐다. Fig. 6(b)는 10 일째 측정된 EMG 를 나타낸다. 굴곡 동작을 실시할 때 첫째 날에는 활동하지 않았던 BR 이 10 일째에는 BB 와 협조 운동을 한 것이 확인 되었다. 또한 A 와 B 의 부분을 보면 BB 활동이 감소했을 때에는 BR 활동이 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

그 이유로서 다관절로 구성된 상지는 동작을 수행할 시, 보다 빠르고 정확한 동작을 하기 위해 사용하지 않았던 근육을 이용해서 동작을 수행하기 때문이다. 그러나 같은 자세로 반복 운동을 실시할 경우, 근육 협조 동작이 이루어지지만 동작을 상세히 관찰하면 동시적 협조 동작이라기보다 분리 동작을 하게 된다. BB 활동 후 BR 이 활동하는 것을 보면 운동 학습으로 인해서 새로운 운동 학습이 형성되었다고 추측할 수 있다.

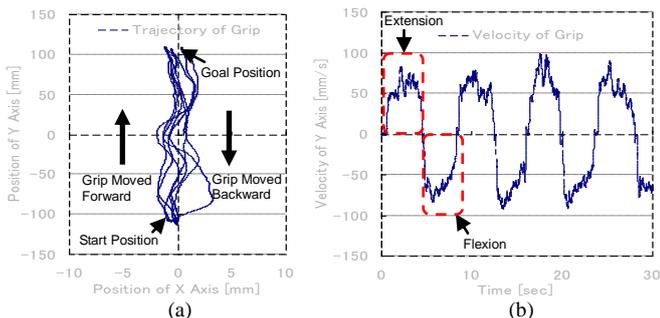


Fig. 4. Typical profiles of the relationship between the grip position(a), and velocity(b) in one subject

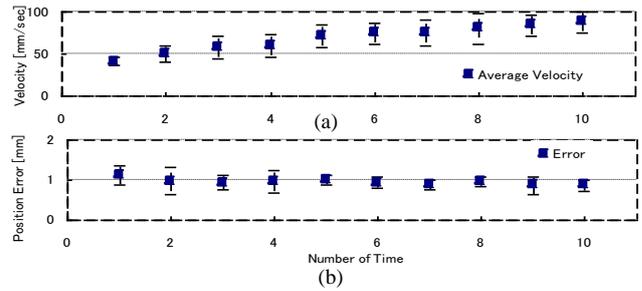


Fig. 5. Result of the experiment for 10 days: (a) position of the grip, (b) velocity of the grip

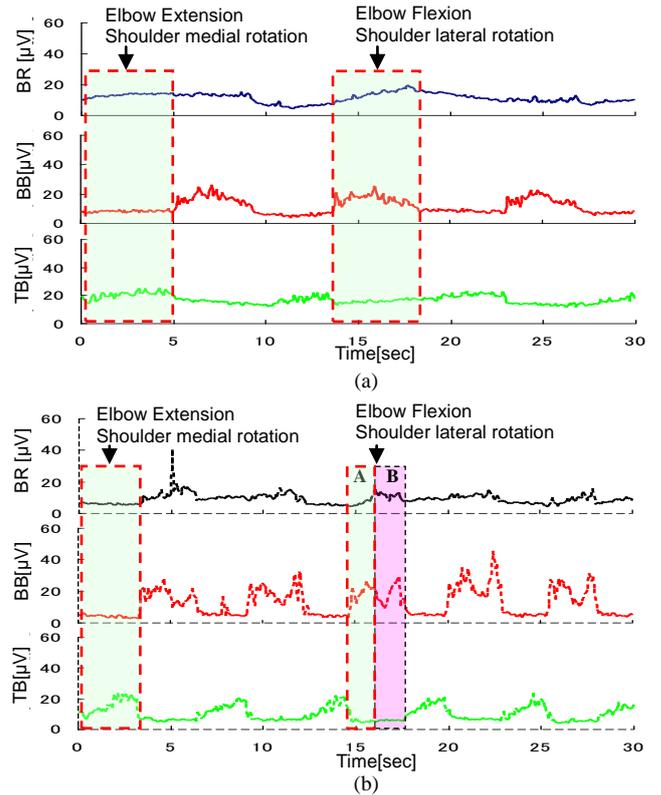


Fig. 6. EMG of BR, BB and TB; (a) first day, (b) after 10 days

5. 결론

Haptic 장치를 이용한 뇌졸중 환자의 상지 재활 장치 및 훈련 프로그램을 개발하였다.

본 훈련 장치를 이용해서 일반인이 훈련 프로그램을 수행할 때의 동작 속도 및 오차를 얻을 수 있었다. 일반인의 경우 대체적으로 굴곡과 신전의 차이가 거의 없었으며, 동작 속도는 훈련을 거듭함에 따라 상승했지만 오차의 변화는 볼 수 없었다. 또한, 빠르고 정확한 동작을 위해서, 사용하지 않았던 근육이 이용되어 협조 동작을 형성하는 특성을 발견할 수 있었다. 향후, 환자의 운동 기능 장애의 정도에 맞춘 프로그램을 개발하는데 유효한 결과를 얻었다고 생각할 수 있다.

참고문헌

1. H.I.Krebs, N.Hogan, M.L.Aisen and B.T.Volpe: Robot- aided neurorehabilitation, Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions, Vol.6, pp.75-87 (1998)
2. H. Lee, Y. Takahashi, T. Miyoshi, T. Terada, K. Inoue, Y. Ito, Y. Ikeda, K. Suzuki and T. Komeda: "Basic Experiments of Upper Limb Rehabilitation Using Haptic Device System", Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics 2005 pp. 444-447 June 2005.