

상지 근전동 의지의 임상적 적용

한림대학교 의과대학 재활의학교실

서 정 훈

Myoelectric Prosthesis Application in Upper Extremity Amputee

Cheong-Hoon Seo, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Hallym University College of Medicine

J Korean Soc Prosthet Orthot 2008; 2: 17-20

서 론

상지 절단은 하지의 절단에 비하여 상대적으로 적은 비율을 차지하지만, 반면에 상지 의지 제작의 특수성과 복잡성 때문에 재활 측면에서 경험하기 어려운 실정이다. 상지 절단환자의 경우 상지 특히 수부의 기능을 잃어버린 상태이기 때문에 환자들은 많은 좌절감과 재활 과정의 어려움을 갖게 된다. 최근에는 기술의 발달로 상지 의지에 전자 기술을 접목한 의지가 개발되어 이용되고 있어 상지 절단 환자에게 다양한 선택을 가능할 수 있게 되었다.¹

상지 의지는 미용 의지와 기능 의지로 구분되고, 기능 의지는 신체 조절형(Body powered type)과 근전동형(myoelectric type), 혼합형(hybrid type) 등이 있다.² 이중 근전동 상지 의지는 절단 부위에 남아 있는 근육의 수축에서 발생하는 활동 전위 신호를 표면 전극을 이용하여 말단 장치 및 주관절의 작동을 조절하게 하는 장치이다. 상지 절단에 사용되는 근전동(Myoelectric) 상지 의지에 대한 구성요소와 재활 치료 과정에 대한 이해가 절단 환자의 재활 치료에 중요한 요소라고 할 수 있다.

본 론

1) 상지 절단의 특수성

상지 절단 환자는 하지 절단에 비하여 절단 수술의 결과를 미리 준비하지 못하는 외상에 의한 절단의 경우가 많다. 따라서 환자는 절단 후 상태에 적응하는데 어려움을 겪고 심리적 불안 및 적응장애를 가질 수 있다. 또한 상지 절단의

경우 외부와의 접촉 시 자신의 절단을 쉽게 다른 사람에게 인식될 수 있는 상태를 갖고 있다.

상지 절단 환자가 의지를 착용하여 얻게 되는 기대 수준이 하지 절단에 비하여 높다. 현재 최첨단의 의지 활용의 한계성에 대한 인식이 필요하다. 상지 절단환자에게는 의지의 구성 요소에 대한 장단점을 미리 알려주어 선택할 수 있는 기회를 제공해야 한다.

상지 절단 후에 잃게 되는 자존심 및 심리적 불안정성에 대한 치료 및 지지는 상지 절단 재활 치료의 중요한 요소이다.

상지 절단인의 경우 성공적 의지사용을 위해서 가장 중요한 것은 절단 수술 후 30일 이내에 의지를 착용하고 사용을 시작해야 하는 것이다. 그 이유는 한 손으로의 생활 습관이 고정되기 전에 양손 이용능력을 습관화 시켜주는 것이 이상적이기 때문이다.³

하지만 상지 절단 환자의 20~40%가 충분한 기능을 얻지 못해 처방된 의지를 사용하지 않고 있다는 보고⁴가 있어 올바른 의지의 처방 및 제작이 필요하다.

2) 상지 의지 처방

(1) 신체조절형과 근전동형: 신체조절형 의지는 가격이 상대적으로 저렴하고 무게가 가벼우며 내구성과 감각 되먹임(sensory feedback)이 좋다. 근전동 의지는 파지력이 크고 외관적으로 유리하며 전완부 절단인 경우 자가 현가(self suspending)이 가능하기 때문에 부가적인 현가장치(harness)가 필요 없다. 하지만 무게가 무겁고 가격이 비싼 단점이 있다(Table 1).⁵

최근 연구에서는 근전동 의지 착용환자의 대부분이 8시간 이상 착용하지만, 의지의 무게 및 말단 장치의 파지 속도에 불만을 갖고 있는 것으로 알려졌다. 또한 엄지, 검지 손가락 및 손목 관절의 독립적 운동, 수부 재질의 향상이 추후 개선점으로 제시 되었다.⁶

의지 처방 시 사용의 편리성(comfort), 기능(function), 의

접수일: 2008년 10월 15일, 게재승인일: 2008년 11월 5일

교신저자: 서정훈, 서울시 영등포구 영등포동 94-200

☎ 150-719, 한림대학교 한강성심병원 재활의학과

Tel: 02-2639-5730, Fax: 02-2633-7571

E-mail: chseomd@gmail.com

Table 1. Advantages and Disadvantage of Various Upper Limb Prosthesis

Type	Pros	Cons
Cosmetic (passive)	Most light weight Best cosmesis Least harnessing	High cost if custom made Least function Low-cost glove stains easily
Body powered	Moderate cost Moderately lightweight Most durable Highest sensory feedback	Most body movement to operate Most harnessing Least satisfactory appearance
Externally powered (myoelectric and switch control)	Moderate or no harnessing Least body movement to operate Moderate cosmesis More function-proximal levels	Heaviest Most expensive Most maintenance Limited sensory feedback
Hybrid (cable elbow/electric TD)	All-cable excursion to elbow Increased TD pinch	Electric TD weights forearm (harder to lift) good for elbow disarticulation (or long above elbow)
Hybrid (electric elbow/cable TD)	All-cable excursion to TD Low effort to position TD Low maintenance	Least cosmesis Lower pinch force for TD

TD: terminal device.

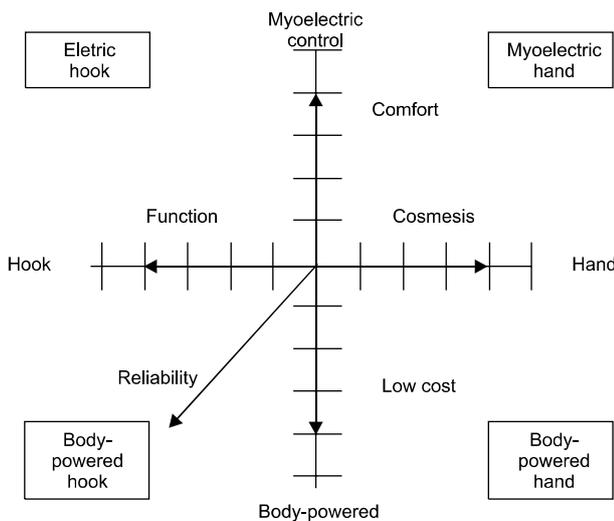


Fig. 1. Upper extremity amputee prescription comparing function, cosmesis, reliability, and cost for body-powered and myoelectric control.

관(cosmesis), 내구성(durability), 가격(cost) 등의 고려가 필요하여, 환자에게 적절한 의지 사용이 될 수 있어야 한다 (Fig. 1).⁷

(2) 전완 절단(Transradial amputation): 근전동 의지는 상지 부착을 위한 하네스 혹은 조절을 위한 케이블이 필요하지 않게 된다. 그리고 작동을 위해 상대적으로 작은 힘이 필요하다.

전완부의 근육의 신호를 대부분 이용하는데 손목 신전근

은 말단장치의 열림, 손목 굴곡근은 말단장치의 닫힘을 위한 신호로 이용한다. 근육의 신호는 표면전극을 이용하여 의지 소켓에 부착하게 한다.

대부분의 근전동 의지의 말단장치는 손 모양을 사용하지만, 일부 말단장치는 후크형도 이용될 수 있다. 일반적인 의지 외에 기능적으로 보완된 장치(greifer) 등이 사용될 수 있어 산업현장이나 일상생활 수행에 도움이 된다.

(3) 상완 절단(Transhumeral amputation): 상완 절단인이 근전동 의지를 적용하여 기능적인 회복을 얻는 것은 전완 절단보다 복잡하여 일반 신체조절형 의지에 비하여 환자에게 적용하고 활용하게 하는데 보다 세밀한 노력이 필요하다.

일부의 상완 절단 환자에게는 신체조절형과 근전동형의 혼합형(hybrid type)의 적용이 높은 기능을 얻게 할 수 있다. 모든 처방의 경우에 사용하는 환자의 작동 능력에 따라 구성 요소를 결정할 수 있다.

3) 상지 의지 훈련

(1) 의지 착용전의 재활 치료: 상지 의지의 제작 이전에 절단단에 대한 재활 치료는 중요하다. 의지착용 전 재활치료의 목적은 절단단의 부종 및 모양을 향상시키고, 탈감작, 정상 관절 움직임의 유지, 근력 향상, 일상생활동작에 필요한 수행 능력의 극대화, 환자 교육, 향후 계획 수립에 있다. 특히 전동수의 적용 시에는 전극위치 결정의 과정이 필요하다(Table 2).

절단 부위의 상처 치료 및 흉터의 유착부위를 확인하고, 관련되는 통증 및 피부 변화의 해결이 필요하며, 부종의 감

Table 2. Goals of a Postoperative Program

Promote wound healing
Control incisional and phantom pain
Maintain joint ROM (to prevent contractures)
Explore patient's and family's feelings about change in body
Obtain adequate financial sponsorship for prosthesis and training

소와 관절 조직의 유착 방지, 관절 운동 치료 및 근력 강화 운동의 재활 프로그램을 시작해야 한다(Table 3). 상지 절단 환자에 생기는 절단부위 통증, 환상통 및 피부 병변에 대한 치료도 동시에 이루어져야 한다.^{2,5}

(2) 전극 부착 부위를 위한 훈련: 근전동 의지를 적용하기 위해 정확한 표면 전극 위치 적용 부위를 찾는 것은 의수 제작 및 착용에 중요한 요소이다.⁸

근전도 신호를 조절하기 위해서는 주로 이중 전극(dual-electrode) 시스템이 이용된다. 이중 전극 시스템은 두 별개의 전극을 이용하여 절단 부위 근육 중 주동근과 길항근에 각각 부착하여 직관적으로 말단장치의 작동을 유도하게 하는 장치이다. 근육 수축의 세기에 따라 말단 장치 작동의 속도와 힘이 조절되는 장치가 개발되어 사용되고 있다. 이중 전극의 경우 근육 수축을 짧게 동시에 일어나도록 작동하여 조절 모드를 바꿀 수 있는 방법도 이용할 수 있다. 전극 부착이 여의치 않은 경우 단일 전극 시스템을 이용하여 근육의 자발적인 수축의 힘에 따라 동작을 바꿀 수 있게 이용할 수 있다.

일반적인 근육부위의 선택은 다음과 같다.

- (1) Radial: Wrist extensor/flexors for terminal device
- (2) Transhumeral: Biceps-elbow flexion/extension, Triceps-terminal device opening/closing
- (3) Shoulder disarticulation, forequarter: Deltoid, trapezius, latissimus, pectoralis

올바른 근육부위를 찾기 위해선 EMG(electromyography) 신호를 측정할 수 있는 장치가 필요한데, 일반적인 근전도 장비나 상업적으로 개발된 제품(Myoboy, Myotester)의 시각적, 청각적 신호를 이용해 나타내는 최대 신호 부위를 위치로 정한다. EMG 신호 검사는 절단부의 원위부 근육을 이용한다.

(3) 근전동 의지 훈련의 초기 단계: 처음에는 의지의 구조에 대한 교육이 필요하다. 배터리 구동 및 관리 방법, 구조 명칭 및 작동 방법 소개에 대한 교육을 실시한다. 이후 독립적 착용, 탈착 방법에 대한 교육을 실시한다. 또한 의지 착용 스케줄에 대한 방법을 교육한다. 초기에는 30분 이내에서 착용하며 착용 부위와 절단부위의 피부 변화를 수시로 관찰하게 한다. 피부 부위의 발적이 20분 이상 지속되면 소켓에 문제가 있는지 확인한다. 피부의 자극이 없는 상태라면 착용시간을 점차 증가 시킨다. 절단단은 저자극성 비누

Table 3. Preprosthetic Program

Residual limb shrinkage and shaping
Residual limb desensitization
Maintenance of normal joint ROM
Increasing muscle strength
Instruction in proper hygiene of limb
Maximizing independence
Myoelectric site testing and training
Orientation to prosthetic option
Exploration of patient goals regarding the future

나 세정제로 깨끗이 유지할 수 있게 한다.

(4) 근전동 의지 작동 재활: 물체를 잡고 놓고 하는 간단한 훈련을 여러 가지 크기 및 모양, 질감을 가진 물체를 이용해 훈련한다. 환자가 물체를 실제적으로 잡는 것을 시각적으로 느끼게 하는 것이 중요하다. 대부분의 상지 절단 환자는 물건을 잡으려고 할 때 의지가 아닌 몸통을 움직여 물건을 잡기 위한 전단계 자세를 취하려는 경향이 있는데 이는 피해야 할 습관이다. 거울을 이용하여 정상측 팔이 어떻게 움직이는지 익힐 수 있는 방법으로 사용될 수 있다.

근전동 의지 재활 훈련에서 또 다른 중요한 요소는 말단 장치의 파지력을 조절하는 것이다. 물체를 잡는 힘의 조절을 위한 훈련으로 스티로폼이나 면솜, 스폰지를 이용한 훈련이 실제적으로 일상에서 사용하는 물건에 대한 교육이 될 수 있다. 물건을 잡고 놓는 등의 기능 훈련이 자연스럽게 자동적으로 움직일 수 있도록 훈련해야 한다.

(5) 일상생활동작 훈련(ADL training): 근전동의지 훈련은 양측 손을 이용한 훈련에 중요하다. 일상생활동작은 일반적으로 정상측과 환측의 조화로 이루어질 수 있어 병뚜껑 열기, 칼질하기, 치약 짜기 등의 실제적인 동작훈련을 실시해야 한다. 작업이나 운동 시에 사용할 수 있게 개발된 의지(Activity-specific Prosthesis)를 이용하여 말단장치를 특수한 환경에 쓸 수 있다.

4) 상지 의지의 기술 발전

말단장치는 Motion Control Hand, Ottobock Greifer 장치, Sensor Speed Hand 등이 있고 Touch Bionics의 iLIMB hand의 손가락 관절 수부 장치나 감각 신경 되먹이 기능 작용이 있는 장치 등이 개발 중이다.⁸

주관절장치는 Boston Digital Arm System, Utah Arm 3, Dynamic Arm 등이 소개되고 있어 말단장치와 조화를 이루게 하는 장치 등이 개발 되었고, 근전동 전극이 실리콘 라이너에 포함되어 있는 장치가 소개되었다.

Kuiken 등^{9,10}은 짧은 상완 절단이나 견관절 이단 절단 부위에 적용 할 수 있는 targeted reinnervation 방법을 소개하였는데, 이는 현재의 조절 시스템의 한계를 극복하기 위해 절단부위 신경을 흉곽부위 근육으로 신경 이식하여 새로운

근전도 신호를 이용할 수 있게 하는 것으로 이를 이용한 의지 활용에서 운동 능력뿐만 아니라 감각 기능에도 호전된 결과를 나타냈다.

5) 화상 환자의 절단

3도 이상의 심한 화상에서는 피부뿐만 아니라 신경, 혈관 조직이나 골조직까지도 심각한 손상을 입어 회생(salvage)이 어려운 경우에는 불가피하게 절단이 시행되는데, 고압 전기 화상에서 특히 자주 볼 수 있다. 고압전기 화상에서 조직의 파괴는 주로 손가락, 발가락, 손목, 발목 같은 작은 부피의 조직들이 가장 많이 손상 된다.¹¹ 이러한 손상들은 외부에서 잘 나타나지 않는 내부의 조직 손상을 동반할 가능성을 항상 염두에 두어야 한다.

저전압 손상의 경우 손가락과 발가락의 부분 절단이 주로 발생한다. 반면 고전압 손상의 35%에서 주된 사지의 절단이 발생한다.¹⁰ 고압전기 화상에서 가장 심각한 손상은 고압전기의 입력 부위나 출력 부위의 인접부위에서 잘 볼 수 있다. 전기감전은 팔다리의 절단을 초래할 수도 있는데, 손가락 절단, 하퇴 절단이 가장 많다. 전기 감전에서 절단은 주로 '우성 손'으로 전기가 들어간 경우 손에서 절단이 되는 경우가 많았으며, 몸의 여러 군데에 동시에 절단되는 경우도 많다.

화상환자의 절단단은 피부상태가 좋지 않으므로 의지 착용 시 자주 문제가 되는데 적은 마찰력에 의해서도 쉽게 피부박리(skin breakdown)가 일어나므로 소켓처방에 신중을 기해야 한다. 또한 화상환자에서는 절단 원위관절과 절단단 근처에 이소성 골화증이 가끔 발생하므로 재활훈련에 제한이 되기도 한다. 화상 절단환자의 82%에서 절단단의 골극 형성이 발생한다. 평균 38주에 발생하고, 12%에서는 수술이 필요하다.¹¹ 이러한 절단부 상태가 좋지 않은 화상 후 절단 환자에게 근전동 의지사용을 대안으로 적용할 수 있다.

화상 환자의 절단 재활에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 화상 환자만이 갖는 고유의 문제를 가질 수 있다. 중증 환자의 경우 어렵고 장기적인 문제에 봉착하게 된다. 따라서 이런 일상생활동작의 제한을 극복시키기 위해 적절한 의지를 사용하게 하는 것이 절단 재활의 목적이라 할 수 있다. 의지는 가능한 사용하기 편리해야 하며 간소하게 제작되어야 한다.

결 론

상지 근전동 의지 환자의 재활은 의지에 대한 깊은 지식뿐만 아니라 절단 환자의 상태의 이해가 필요하다. 의지 기술의 발달은 지속적으로 진행되고 있어 의지 환자들에게 다양한 선택의 기회와 양질의 재활 치료를 시행할 수 있도록 지속적인 교육 및 연구가 필요하다. 환자와 의지보조기 기사를 포함한 의지재활치료팀의 포괄적인 재활 프로그램이 의지 사용의 효율성을 극대화 시킬 수 있다.

참 고 문 헌

1. Meier RH III. Amputation and prosthetic fitting. In: Fisher SV, Helm PA, eds. Comprehensive rehabilitation of burns. Baltimore: Williams & Wilkins, 1984: 267-310.
2. Esquenazi A, Leonard JA, Meier RH, et al., Prosthetics, orthotics, and assistive devices: III. Prosthetics. Arch Phys Med Rehabil 1989;5:S206-S209.
3. Malone JM, Fleming LL, Roberson J, et al. Immediate, early, and late postsurgical management of upper-limb amputation. J Rehabil Res Dev 1984;21:33-41.
4. Dudkiewicz I, Gabrielov R, Seiv-Ner I, Zelig G, Heim M. Evaluation of prosthetic usage in upper limb amputees. Disabil Rehabil 2004;26:60-63.
5. Lake C, Dodson R. Progressive upper limb prosthetics. Phys Med Rehabil Clin N Am 2006;17:49-72.
6. Pylatiuk C, Schulz S, Doderlein L. Results of an internet survey of myoelectric prosthetic hand users. Prosthet Orthot Int 2007;31:362-370.
7. Meier RD, Atkins DJ. Functional restoration of adults and children with upper extremity amputation. 1st ed. New York: Demos, 2004.
8. Kelly BM, Spires MC, Restrepo JA. Orthotic and prosthetic prescriptions for today and tomorrow. Phys Med Rehabil Clin N Am 2007;18:785-858.
9. Kuiken T. Targeted reinnervation for improved prosthetic function. Phys Med Rehabil Clin N Am 2006;17:1-13.
10. Kuiken TA, Miller LA, Lipschutz RD, et al. Targeted reinnervation for enhanced prosthetic arm function in a woman with a proximal amputation: a case study. Lancet 2007;369:371-380.
11. Herndon DN. Total burn care. 3rd ed. New York: WB Saunders, 2007.