

상지절단자용 전동의수 증례연구

강 주 호, 김 명 회
연세의료원 재활병원 토리보장구실
이 정 원
연세의료원 재활병원 물리치료실

Abstract

A Case Study of Myoelectric Hand Prosthesis for Upper Extremity Amputee

Kang Ju-ho, B.H.Sc., R.P.T.

Kim Myung-hoe, M.S., R.P.T.

*Dept. of Torrey's Prosthesis and Orthosis, Yonsei Rehabilitation Hospital,
Yonsei University Medical Center*

Lee Jeong-weon, B.H.Sc., R.P.T., O.T.R.

*Dept. of Physical Therapy, Yonsei Rehabilitation Hospital,
Yonsei University Medical Center*

The purpose of this case study was to introduce a myoelectric hand prosthesis for upper extremity amputee and prosthetic training program. Limb loss can result from disease, injury, or congenital causes. Trauma has been increasingly important role as the cause of amputaion in young, vigorous, and otherwise healthy individuals. The higher the level of amputation the greater the functional loss of the part, and the more the amputee must depend on the prostheis for fuction and cosmesis. Myoelectrical control of prostheses is a recent development and has been steadily gaining in clinical use over the past 20 years. Such a prosthesis uses signals from muscle contraction within the stump to activate a battery driven moter that operates specific component fuctions of the prosthesis. This twenty years old male case was operated a right above-elbow amputation due to trafffic accident and admitted to Yonsei Rehabilitaion hospital for the preprosthetic and prosthetic training. The case was able to successfully complete his myoelectric hand prosthesis training in the February of 1995.

Key Words : Myoelectric hand prosthesis; Amputation; Prosthetic training.

I. 서론

인간에게 있어서 상지절단은 예민한 감각기능과 섬세한 운동기능의 상실을 의미한다. 따라서 정상적인 직업생활과 일상생활에 많은 장애를 준다. 또한 주변사람들과의 관계가 소원해지는 심리적 문제를 낳기도 한다. 이들로 하여금 사회의 한 구성원으로서 사회에 봉사하고 활동적으로 일생을 살아갈 수 있도록 해주어야 한다(이강목, 1978; 최봉삼, 1989). 현재 과학기술의 비약적인 발전으로 인하여 의학과 공학의 응용분야인 재활공학이 체계화되고 있으며, 재활공학의 발달에 힘입어 인체에서 절단되거나 마비된 부분의 기능을 대신하여 주는 여러가지 인공장치가 개발되고 있다.

오늘날 세계보장구 분야는 미국, 서독, 영국을 중심으로 발전되고 있는데, 유럽국가들은 서독의 영향으로, 그리고 일본, 우리나라 등 기타 국가는 미국의 영향으로 각국의 보장구 발달이 이루어지고 있다. 선진국의 보장구분야 발전단계는 크게 2단계로 나누어진다. 제1단계는 제2차대전에서 발생한 많은 상이군인들의 문제해결 노력이 촉진제가 되어, 의지나 보조기에 대한 집중적인 연구개발이 행해졌다. 제2단계는 '70년대 이후부터 축적된 과학기술을 장애인재활에 적극적으로 활용하는 재활공학적 첨단기술을 이용한 보장구가 개발되기 시작한 단계이다.

의수족 제작에 필요한 기본 이론은 대학의 연구소에 의해서 수행되었으며 버클리대학은 의지 및 보조기에 관한 현대 이론개발의 총본산이라고 할 정도로 지대한 공헌을 하였다. 주로 하지의족에 대한 연구를 맡은 버클리대학은 공과대학, 의과대학 교수들로 자체 연구팀을 구성한 후 서독, 영국등 당시 보장구 분야의 선진국을 수차례 시찰하여 수집한 각종자료를 토대로 인체운동학, 보행분석학등의 이론체계를 완성시켜 오늘날 의수족, 보조기는 물론 재활공학의 기본원리로 널리 활용되고 있다(왕문성, 1990).

한편 U.C.L.A.의 생체공학연구소는 상지의지의 연구를 전담하여 상지의 해부학, 운동학, 역학의 이론체계를 완성하였고 전동의수를 비롯한 각종의 연구제품을 개발하였다. 이밖에 노스웨스턴대학은 의수족에 관한 각종문헌과 특허의 조사 분석을 담당하였고, 뉴욕대학은 새로이 개발된 연구제품의 실용화 가능성에 대한 임상테스트를 담당하였고, 이들 대학에 의해서 의수족과 보조기 제작에 필요한 기초이론이 모두 완성 되었다.

굿이어(Good Year)타이어 회사는 의족의 발부분 개발에, I.B.M.은 상지전동의수의 개발에, 그리고 호스머 회사는 상지의수의 작업수 개발에 각각 치중하여 현재 사용되고 있는 제품의 원형을 개발하였다. 이밖에 약 20여개의 기업체들은 의수족 및 보조기 재료, 부품, 소재의 개발에 착수하여 각종 제품의 표준규격화가 가능해져 의수족과 보조기 제작의 정밀성 향상 및 내구성 개선 등의 업적을 낳았다.

역사적인 관점에서 볼 때 문헌상 가장 오래된 의수족(artificial limb)은 B.C. 484년경 히랍의 역사가인 Herodotus에 의하여 기록되었으며, B.C. 300년경에 제작된 의수족이 현존하고 있다. 그 후 16세기경에 프랑스의 Pare에 의해서 대퇴용 의족이 고안되었으며, 17세기경에 네델란드의 Verduin에 의해서 하퇴용 의족이 고안되었다. 그 후 20세기를 지나면서 최근에는 의수족의 골격이 정밀 기계화 되어가는 추세이다. 특히 의수는 무게를 줄이기 위해서보다 가벼운 합성수지 또는 엔지니어링 플라스틱(engineering plastic)이 사용되고 있다.

재활공학과 의용공학은 인체의 상실된 손 기능을 대신할 수 있는 전동의수의 실현을 가능케 하였다. 전동의수의 개념은 1954년 미국의 George, C. Devol이 출원한 산업용 로봇에 관한 '반복 작업에 대한 범용성을 갖는 산업용 로봇'를 발표하면서 처음으로 구체화되기 시작했다(김명희, 1990).

인간의 절단된 손의 기능을 대신하여 주는 전동의수에 관한 연구에서 중요한것 중의 하나가 정확한 제어 기술이다. 이와 같은 정확한

제어를 위하여 인체팔의 해부학적, 기능적 고찰은 여러사람에 의해서 시행되었다. 어깨근육의 해부학적인 상호작용에 관한 연구(Deluca, 1973), 전동의수용 전자제어 시스템의 개발(Jacobsen, 1973), 전동의수에 활용되는 피드백 제어 시스템(feedback control system)의 보고(Schmid, 1977), 근골격계의 구성과 상호작용에 관한 보고(Von Mameren, 1979), 전동의수의 다 자유도에 관한 수학적 해석이 완성되었고(Meek, 1982), 상완운동에 관한 최적 설계법도 개발되었다(Atkeson, 1985). 1948년 근전위를 이용한 첫 의수가 보고 되었는데 서류가방 크기의 무거운 것이었다. 1960년 Russian arm으로 불려진 전동의수(myoelectrically controlled prostheses)가 개발되었다(Rusk, 1977). 1971년 스웨덴에서는 선천성 전박결손이 있는 3살난 소아(infants and pre-school children)에게 처음으로 전동의수를 시도해 성공했다(Sorbye, 1989). 지난 10년동안 Detroit's Variety Club Myoelectric Center에서는 1세부터 19세까지 200례중 49%가 4세이하 였다(Brenner, 1990). 현재 서독의 Otto Bock사, 미국의 Fedility사, 일본의 WIME hand, 그 밖의 영국, 캐나다, 오스트리아등 여러나라에서 전동의수를 제작하고 있다. 우리나라에서도 앞으로 이 분야에 관심과 연구개발이 집중되기를 기대하며 증례를 보고 하는 바 이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 환자는 20세 남자로 우측 상완절단자이다. 그는 평소 건강하게 주유소에서 근무해 왔다. 1994년 11월 6일 후진하는 유조차를 안내하던중 그의 오른팔이 전신주와 유조차 사이에 끼는 사고를 당했다. Y의료원 응급센터를 경유해서 정형외과에 입원했다. 그는 심한 복합골절성 외상으로 결국 11월 17일 우측 상완절단 수술을 받았다. 그후 수술 3주째인 1994년 12

월 7일 재활의학과로 전과되어 재활치료를 받았다.

2. 실험장치

상완 전동의수는 크게 네 부분으로 나누어진 다. 소켓, 손, 팔꿈치 관절, 그리고 8자형 현수 장치와 조절 및 잠금장치이다.

소켓(socket)은 상완소켓과 전완소켓으로 나뉘고 상완소켓은 다시 내벽소켓과 외벽소켓으로 구성된다. 내벽소켓은 절단부에 직접 접촉되므로 유연성이 있는(flexible region) 재질이 좋다. 소켓의 상단은 견봉 바로 아래까지 오게 하고, 절단단 밑이 직접 소켓에 닿지는 않는다. 그리고 근전위센스가 내장되어 있다. 외벽소켓은 단단하고 하중에 견딜 수 있는 polycote를 사용한다. 전완소켓은 외벽소켓과 같은 재질을 사용하고 전원장치와 손을 연결할 수 있는 장치가 내장되어 있다. 전원은 재충전용 6 volt/220ma Otto Bock nickel-cadmium 전지를 사용한다. 계속 사용할 경우 지속시간이 2시간이며 대개 일상생활에서는 8시간 사용이 가능하다. 여유분으로 충전된 전지 하나를 더 휴대하면 하루를 지낼 수 있다. 충전시 소요되는 시간은 14시간이다.

전동의수(myoelectric hand)의 전자손가락은 5개이며, 전자손가락을 움직이게 하는 소형 전동 모터는 DC-6 volt/220ma(Otto Bock) 서보 모터이며, 소형 바벨기어에 의하여 손가락으로 힘이 전달된다. 전동의수의 기동과 정지는 절단단의 근수축에 의한 근전위차를 근전위센스가 순간적으로 인식하여 자동적으로 손가락을 움직이게 한다. 검지와 가운데손가락이 엄지손가락과 대립되어 움직이는 3점잡기(three-jaw chuck type)구조로 되어 있다. 손은 필요에 따라 원하는 각도로 360도 회전이 가능하다. 또한 손등에 장치된 보조버튼을 눌러 전원을 차단하면 손가락의 현위치 그대로 고정되 기 때문에 장시간 전원 소모없이 물건을 운반하거나 휴대할 수도 있다. 전동의수에 있어 무게의 대부분은 손목의 연결장치가 차지한다. 손을 전

완에 연결할 때에는 연결홈을 잘 맞춘 다음 힘껏 밀어 시계방향으로 가볍게 돌려 주면 된다. 분리 시킬 때는 반시계방향으로 가볍게 돌려 걸리는 부분에서 힘껏 조금만 돌려주면 쉽게 이탈된다. 손을 연결한 다음에 합성수지로 된 미용 장갑을 끼운다. 손의 크기는 소아용 6 1/4, 6 3/4 인치, 성인용 7 1/4, 7 3/4 인치가 있다. 환례의 손의 크기는 7 1/4이고 무게가 480g인 Otto Bock사 Model Myo 2000이다. 손가락을 모으는 속도는 최대 1초에 3인치이며, 힘은 최대 14파운드이다.

팔꿈치관절(elbow unit)상완소켓과 전완소켓을 연결해준다. 조절장치(control cable)에 의한 능동 굴곡과 중력에 의한 수동신전 만 허용되는 hinge관절로 내측과 외측에 있다. 재질은 하중을 충분히 절달할 수 있는 강도가 높

은 것이어야 한다.

8자형 현수장치는 3개의 끈과 하나의 고리로 구성된다. 겨드랑이를 지나고리(axilla loop)로 현수장치를 고정한다. 어깨옆쪽 끈은 견봉돌기 앞을 지나 내벽소켓상부와 연결되어 주현수작용을 한다. 앞쪽끈은 외벽소켓의 앞쪽상단 3분의 1 지점에 연결되어 현수를 돕는다. 잠금장치는 앞쪽끈이 쇄골을 지나는 지점과 내측 팔꿈치관절 축(axis)에 장치된다. 조절각도는 5-150도 사이에서 4도 단위로 섬세한 조절이 가능하다. 한번 당기면 잠기고 다시 당기면 풀리는 조작이 간단 편리하다. 뒤쪽끈은 겨드랑이 지점에서 전완굴곡을 조절하는 줄(control cable)과 연결된다. 줄은 외벽소켓뒤쪽과 옆쪽 고정고리(cable housing)를 지나 전완소켓 내측에 부착된다.

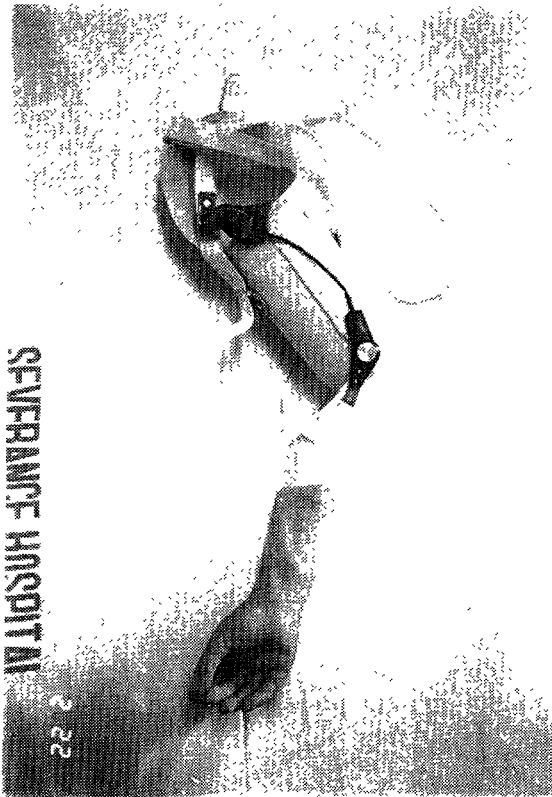


그림1. 전동외수 실험장치

3. 장착훈련

1) 전동의수 착용전 물리치료

환자는 초기평가시 수술한 상처가 잘 아물었으며 능동 관절가동범위에 제한이 없었다. 근육은 보통(moderate musculature)이었으며 절단단의 길이는 29cm 이었다. 도수근력검사상 환측은 전반적으로 G- 였으며 근지구력이 감소되었다. 한편 절단부 부종, 동통, 간헐적으로 찢겨지는 듯한 환상통, 그리고 예민해진 피부감각을 호소했다.

물리치료의 주목적은 통증관리 및 조기 의수 장착을 가능하게 준비하는 것이다. 통증관리를 위해서 경피적전기자극치료기(TENS)와 가볍게 두드리기(tapping) 방법을 사용했다. 사용된 TENS는 자극빈도를 1Hz-100Hz까지 조정이 가능하고 자극강도(predicted intensity)를 1-60까지 조정이 가능하다. 치료는 침자극양상TENS(accumulator-like TENS) 방법으로 3Hz를 선택하여 4개의 도자를 절단단 전후, 좌우에 붙이고 자극강도를 30으로 20분간 적용 했다. 특히 야간에 간헐적인 환상통에 시달릴때에는 전통적인 TENS(conventional TENS) 방법으로 100Hz에서 자극강도를 15로 환상통이 시작될때부터 끝날때까지 통증이 있을때마다 환자 스스로 적용하게 했다. 치료사의 손으로 5분씩 2회 피부감각이 예민해져 있는 절단단을 가볍게 두드리는것을 하루에 두차례 했으며 환자 스스로 자주 두드리게 지도했다. 이때 가급적 일정한 속도와 강도로 두드려야 더 효과적이다. 한편 의수장착을 조기에 하려면 충분한 근력과 지구력 그리고 유연성이나 관절가동범위의 제한이 없어야 좋다. 근력강화를 위한 저항운동과 등척성운동을 치료대에서 하루에 두차례 했다. 지구력강화를 위해서 하루에 4시간이상 2kg weight를 절단부에 매달고 다니게 했다. 그리고 전신적인 운동을 통해서 유연성을 증진하고 관절가동범위를 유지했다.

2) 전동의수 조작훈련

근전도(EMG)를 이용해서 전동의수를 움직

이는데 가장 적합한 센스도자(sense electrode) 부착점을 찾아 표시했다. 의수를 펴는것(open)은 삼두박근에서, 오므리는것(close)은 이두박근에서 찾은다음, 표시된 곳에 센스도자를 테이프로 고정했다. 센스감도는 6번부터 0번까지 있으며 숫자가 낮을수록 근수축시 전위발생이 높음을 의미한다. 즉, 전위발생이 높을수록 손의 움직임이 빨라지고 작은 근수축으로도 손의 동작을 용이하게 조절할 수 있게 된다. 대개 3번 정도의 센스감도를 사용한다. 6번부터 시작하여 점차 낮은 숫자로 내려 가면서 자유로이 손가락을 펴고 오므리게 훈련했다. 두 도자 사이에 전위차가 생겨야 움직임이 일어나므로 삼두박근과 이두박근이 협력수축(cocontraction)을 하면 움직임이 일어나지 않는다. 따라서 이두박근이 수축 할때는 삼두박근이 이완되게, 또는 삼두박근이 수축 할때는 이두박근이 이완되게, 상실된 전박이 있다는 생각으로 전완을 굴곡시켜 손가락을 오므리고 전완을 신전시켜 손가락을 펴게 훈련 시켰다. 환자는 하루에 전지 한개를 다 소모하도록 했으며 2주 후에는 3번 센스감도에서 자유로이 손가락을 펴고 모을 수 있었다.

3) 전동의수 장착후 훈련

먼저 충전된 전지(battery)를 끼우고 의수의 착탈을 훈련했다. 의수장착은 왼손으로 의수를 잡고 절단단에 밀어 넣은다음, 절단지를 몸통에 밀착시켜 의수가 빠지지 않게한다. 왼손으로 8자형 현수장치를 잡아 왼팔에 끼운다. 그리고 현수장치가 꼬이거나 거드랑이가 불편하지 않게 점검하고, 의수가 바르게 장착되었을 때 적절하게 끈을 조절 한다. 의수를 벗을때는 왼손으로 의수의 전박을 잡고 머리위로 들어올려 절단단을 의수에서 빼낸다음, 왼팔을 현수장치에서 빼내면된다. 의수의 착탈은 수 초 이내에 할 수 있도록 했다.

전완의 굴곡과 고정 및 해체를 능숙하게 하는데는 많은 훈련이 필요했다. 전완의 굴곡은 견관절의 굴곡과 외전, 견갑골의 외전을 통해서 전완소켓에 부착되어 상완소켓을 지나 8자

형 현수장치의 어깨 뒤쪽 끈에 연결된 줄이 잡아 당겨져 전완이 구부러진다. 굴곡의 고정(flexed fixation)과 해제는 원하는 각도 만큼 전완을 굴곡 시킨다음, 견관절의 외전과 신전을 통해서 팔꿈치 내측관절(medial hinge joint)에 고정되어 8자형 현수장치의 어깨 앞쪽 끈에 연결된 잠금장치를 '딱' 소리가 나도록 한번 당기면 고정되고 다시한번 더 당기면 해제되어 전완이 중력에 의해서 신전된다.

물건을 잡거나 내려놓는 것은 일상생활에 가장 유용한 훈련이다. 한장의 종이에서 유리컵에 이르기까지 다양한 재질과 다양한 크기와 모양의 물건을 잡고 내려놓는 훈련을 할 때는 손에 감각이 없기 때문에 눈으로 확인을 하면서 잡고 내려놓는 속도와 강도를 조절하도록 반복 훈련했다. 손에 물건을 들고 다니거나 옮길 때는 손등에 장치된 보조버튼을 눌러 전원을 끄면, 손이 현상대로 고정되어 전지의 소모없이 물건을 운반할 수 있도록 했다. 환자는 그 밖에 일상생활에 필요한 여러 동작이나 기구사용을 할 수 있도록 3주동안 기본적인 것만 훈련 했다.

Ⅲ. 고찰

사람을 '도구의 인간'이라 이름 지을 수 있는 것은 사람에게 손이 있기 때문일 것이다. 한 인간에게 있어 상지의 절단은 지금까지 해오던 다양한 쥐기(prehention)기능과 예민한 감각을 가지고 일상생활과 직업생활에서 해오던 많은 부분을 할 수 없게 되고 주변사람들과의 관계가 소원해지는 신체적 심리적 문제를 낳기도 한다(Durance와 Shea, 1988). 또한 절단원인의 대부분이 외상성이며(송명자와 박영옥, 1988; Durance와 Shea, 1988; 조은수 등, 1990), 외상으로 인한 상지절단의 기회는 날로 증가하고 있을 뿐만아니라, 평균연령이 30대 중반의 생산연령층 이므로 이들이 사회에 공헌하고 활동적으로 일생을 살아갈 수 있어야 할 것이다. 우

리나라 장애인의 출현율은 90년 한국보건사회연구원 자료에 의하면 전인구의 2.21%, 15세 이상 전인구 대비 장애인 비율은 2.84%이다(강필수, 1992). 94년 6월 30일 현재 등록 장애인의 67%가 지체장애이며 상지 절단자의 대부분은 2급 지체장애이다. 그 기준을 살펴보면 다음과 같다(서광윤, 1989). 두 손의 손가락을 잃은 자, 한 팔의 상완 1/2 이상을 잃은 자, 한 팔의 기능을 완전히 잃은 자, 두 팔에 완전장식 고도의 부분장식 또는 마비로 기능에 뚜렷한 장애가 있는자이다.

의수를 이용한 재활에는 의수에 대한 인식 및 요구정도와 경제적 여건등의 환자적 요인과 의수의 제작기술, 장착후 충분한 기능적훈련 및 교육등의 의료적 요인, 의수의 활용이 허용되어져야 할 사회적 요인이 있다(조은수 등, 1990). 절단은 일반적으로 생명을 구할 목적, 지체의 위중한 병소를 제거할 목적, 무용한 지체를 제거하려는 목적으로 시행하며, 상지절단의 경우 절단단이 길면 길수록 좋다. 상지절단의 경우 손과 상지의 기능을 기술적으로 재현하기 어려운 점과 감각기능을 되살릴 수 없는 점 등으로 인하여 의수에 의한 기능적 재활에는 한계가 있다(이강목, 1979). 최근 재접합술이 보편화되고 있으나 사지나 수지의 재접합술을 시행하기 위해서는 절단부위에 혈관의 재관류가 절대적으로 필요하다. 그러나 혈관의 봉합은 물론 신경 및 건의 정확한 정복이나 봉합없이는 절단지에 완전한 기능회복은 기대하기 어렵다(김경희, 1986). 또한 일측성 절단인 경우 건측의 뛰어난 보상능력으로 인하여 상지 절단자의 의수장착과 훈련에 대한 욕구는 비교적 낮은 편이다(Friedman, 1988). 대다수 환자의 의수는 비기능적 미용손이었고 그 활용 빈도에 있어서도 직업적인 일이나 일상생활 동작에서의 이용보다 미용상의 이용이 대부분이었으며 그에따라 전반적인 의수만족도도 비교적 낮았다(송명자와 박영옥, 1988).

그러나 지난 20년 동안 절단단의 남아있는 근육의 수축과 전지의 힘으로 의수가 움직이는 '전동의수'에 대한 꾸준한 연구 개발은 크게

고무적이다. 미국을 비롯한 선진 각국에서 기능이 뛰어나고 가볍고 조작성이 간단한 근전위에 의해 제어되는 보다 기능적인 전동의수의 개발에 노력을 경주하고 있으며, 의수장착전.후 적절한 물리치료와 훈련 프로그램이 실시되고, 장애인 고용촉진법이 현실화 된다면 재활에 필요한 제반 여건이 성숙되었다 할 것이다. 장애인과 의료인과 사회가 하나로 노력함이 바람직하다고 사료된다.

IV. 결론

이 실험의 목적은 상지절단자에게 첨단전동 의수를 제작하여 전동의수 장착전.후 물리치료를 통하여 기능적 재활을 하기 위함이다.

상지절단의 원인은 다양하다. 그중 외상성이 대부분이며 점차 증가하고 있다. 상지 절단자는 절단단이 짧을수록 상지의 기능은 떨어지고 그만큼 더 의수에 의존하게된다. 절단지의 완벽한 재접합술도 어렵고 의수를 하더라도 비기능적 미용손이 대부분이며 의수에 대한 만족도도 낮다. 뿐만아니라 의수장착시 갖게되는 의수조작의 육체적, 정신적 노력, 탈감각 상태, 의수의 하중, 불결, 손상에 대한 부담은 숙제가 되고 있다. 첨단전동의수가 이러한 문제를 어느정도 해결 해준다.

본 20세 남자 환자는 교통사고로 인해 1994년 11월 17일 우측 상완절단 수술을 받고 3주 후부터 재활 치료를 받았다.

4주동안 전동의수 장착전 물리치료를 받았으며, 2주동안 전동의수 조작훈련을 받았으며, 3주동안 전동의수 장착후 기본적인 기능훈련을 성공적으로 마치고 1995년 2월 11일 퇴원하였다.

첨단의용공학의 발전에 힘입어 미용상 적합하고, 편안하며, 동시에 기능적으로 일상생활과 직업생활을 할 수 있는 새로운 전동의수를 통하여 상실된 절단지의 기능을 대체할 수 있기를 기대한다.

인용문헌

- 강필수. 장애인의 범위 조정 및 확인, 편의지원 방안 연구. 한국 장애인 고용촉진공단. 1992.
- 김경희. 절단사지 재접합술 후의 근전도 소견과 기능적 결과. 1986;10(1):73-79.
- 김명희. 장애인 재활용 인공손 개발에 관한 연구. 연세대학교 산업대학원 석사학위논문. 1990.
- 서광윤. 장애자의 정의 및 범위. 장애인복지 대책위원회. 1989.
- 송명자, 박영옥. 상지절단의 의수활용실태. 대한재활의학회지. 1988;12(1):117-24.
- 왕문성. 보철용 인공팔의 제어를 위한 표면근전도 신호처리에 관한 연구. 연세대학교 대학원 박사학위논문. 1990.
- 이강목. 사지절단과 의지. 대한재활의학회지. 1979;3(2):75-9.
- 조은수, 문혜원, 김연희, 최영태. 상지절단자의 재활상태에 대한 추적관찰. 대한재활의학회지. 1990;14(2):241-246.
- 최봉삼. 지체장애자의 재활에 영향을 미치는 요인에 대한 분석. 연세대학교 대학원 석사학위논문. 1989.
- Atkeson CG. Kinematic features of unrestrained vertical arm movement. J Neuro Sci. 1985;5.
- Brenner CD. Fitting infants and children with electronic limbs: the Detroit experience from 1981-1990. J of the Asso of Chil Ortho-Prosth Clin. 1990;25:2.
- Deluca CJ. Force analysis of individual muscles. J Biomech. 1973;6.
- Durance JP, O'Shea BJ. Upper limb amputees: a clinic profile. Int Disabil Studies. 1988;10:68-72.
- Friedman LW. Rehabilitation of the amputee. In: Goodgold J ed. Rehabilitation

- Medicine, St Mosby Co.: Louis, 1988:601-45.
- Jacobson SC. Control systems of artificial arms(Dissertation). The MIT press, 1973.
- Meek SG. Command inputs for a mutiple degree of freedom of a artificial arm controller(Dissertation). University of Utah, 1982.
- Mendel S, David B. A myoelectrically controlled wrist-hand orthosis for brachial plexus injury: A case study. JOP. 1992;4:171-4.
- Nisim B, Steven B. Myoelectric hand orthosis. JPO. 1900;2:149-54.
- Rusk HA. Rehabilitation Medicine: priciples of orthotics and prosthetics. 4th ed. Mosby; 1977:242.
- Schmid H. The importance of information the feedback in prosthetics for the upper limbs. Prosth and Ortho Int. 1977.
- Sorbye R. Upper-extremity amputees: Swedish experiences concerning children. In: Atkins DJ, Meiel RH III, eds. Comprehensive Management of the Upper-Limb Amputee. New York: Springer-Verlag, 1989.
- Von Mameren H. Attachment of competition of skeletal muscles in relation to their function. J Biomech. 1972;12.