

## 척수손상 장애인 재활 위한 미래형 바이오닉스 기술 개발

**현**재 우리나라는 인구의 고령화와 다양한 사고로 인한 신경계 관련 질환으로 고생하는 환자 및 장애인의 수가 급격하게 증가하고 있으며, 이에 따른 경제적·사회적 손실이 천문학적으로 증가하고 있다. 사회적으로 소외돼 왔던 신경계 관련 장애인들의 사회참여에 대한 요구가 점점 확대되고 있으며, 그들의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 새로운 의료복지 기술의 개발이 국가적 차원에서 요구되고 있는 실정이다.

1970년대 외화 TV 시리즈로 이름을 날렸던 '600만불의 사나이'를 많은 사람들이 기억하고 있을 것이다. 사고로 치명적인 신체 손상을 입은 군인이 과학의 힘을 빌려 초자연적인 힘을 발휘하는 영웅이 된다는 공상과학 영화에서나 있을 수 있는 소재로 많은 사람에게 꿈과 희망을 주었다.

첨단과학의 기술을 이용하여 손상된 신체의 기능을 복원시키는 기술은 과연 가능한가? 또 이를 위한 과학기술은 어디까지 와 있는가? 공상과학과 현실의 경계에서 과연 우리는 '600만불의 사나이'를 재탄생시킬 수 있을까? 우리는 이에 대한 답을 과학에서 찾고자 한다.

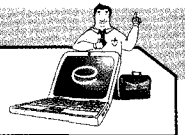
### 척수손상 환자 90%가 40년 이상 생존

한국사회의 고령화(2026년 고령인구의 비 : 20.8%)에 따른 퇴행성 질환으로 인한 장애인의 증가와 더불어 신체장애 분류의 대부분을 차지하는 신경계 장애인구의 급격한 증가(장애인 출현율 : 인구 100명당 5명)는 중대한 사회적·경제적 문제를 초래하고 있으며, 이는 국가적 차원의 대응이 필요한 중대한 국가적 의제로 부각되고 있다.

신경은 수많은 뉴런(신경세포)으로 구성되



글 **최기원** 한국과학기술연구원  
의공학연구소 연구소장  
choi@kist.re.kr  
골손이는 서울대학교 기계  
설계학과 졸업 후 동대학원  
에서 석사학위를 받았으며,  
미국 미시간대학교에서 의  
공학 전공으로 박사학위를  
받았다. 현재 미래 유망 융  
합기술 파ioni어 사업 인  
공신경 네트워크 융합연구  
단 단장을 겸임하고 있다.



**척수손상 환자수**

미국: 70만 명  
 한국: 25만 명  
 세계: 300만 명

**척수손상 환자 기대수명**

보존적 치료기술의 발전으로  
 장애를 가진 채 오래 생존

**환자 1인당 치료비용**

2천 5백만 원 / 연  
 8억 3천만 원 / 평생  
 (25세 여자마비환자 기준)

**대다수 성장년층에서 발생  
 (평균연령: 32.8세)**

**평균 65.3세  
 (20세 여자마비 환자 기준)**

**심적 경제적 부담  
 (환자와 가족, 사회에 부담 전가)**

· NPO, Voluntary organization, 척수장애의 권위자도



▶▶ 척수손상 연구의 필요성

어 있다. 기능적 측면에서 신경은 인체 운동과 인지를 총괄하는 뇌에 복잡하고 다양한 정보를 양방향으로 전달하는 전기적 신호 전달통로의 역할을 수행한다. 그리하여 몸의 안팎의 각종 변화에 대처하여 몸의 각 부분의 기능을 종합 통제하는 기관이라고 할 수 있다. 신경세포의 본체의 집합체를 중추 또는 신경중추라고 하며, 척추동물의 뇌와 척수가 이에 해당한다. 이 중추에서 각 신경세포의 축삭돌기가 뻗어 나와 몸의 여러 곳에 분포되어 체내외의 각종 변화를 중추에 전달하고, 또 중추로부터의 자극을 몸의 각 부분에 전달하고 있다. 중추에서 뻗어 나와 있는 이들 신경섬유를 말초신경이라고 한다.

병리학적 측면에서 신경계 질환은 뇌, 척수, 말단신경에 관련된 다양한 질병들이 있으며, 특히, 척수신경은 손상 후 재생 및 기능적 회복이 가장 어려운 인체조직 중 하나로 알려져 있다. 척수손상을 받게 되면 손상 하단부의 운동 및 감각기능이 영구적 마비를 초래하여 심각한 기능장애가 발생된다. 사고로 인한 척수손상의 원인은 자동차사고(47.5%), 낙상(22.9%), 폭력(13.8%), 운동(8.9%) 등으로 발생된다. 척수손상은 운동기능의 마비 뿐 아니라 심한 통증을 수반하며, 방광염, 욕창, 자율과잉반사증, 근육 경련, 이소성골화증 등 여러 가지 합병증으로 인해 환자들은 평생 동안 고통 속에서 살아가게 된다.

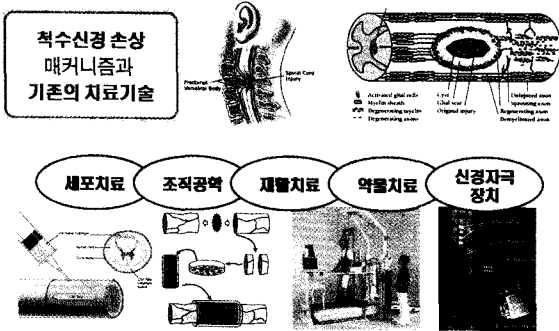
척수손상 환자 수는 미국의 경우 약 70만 명, 국내는 약

25만 명으로 추정되며, 전 세계적으로 매년 약 300만 명의 새로운 환자가 생겨나는 추세이다. 다른 질병을 가진 환자와 달리 척수손상 환자는 90% 이상이 40년 이상 생존하기 때문에 평생 주위 사람들의 도움과 막대한 치료비가 필요한데, 우리나라의 경우 연간 약 6조 원으로 추산하고 있다.

현재 임상에서는 척수손상 환자를 위한 다양한 치료기술이 적용되고 있으며, 이는 4가지 치료법으로 요약할 수 있다. 첫째, 세포 치료방법은 척수신경의 손상으로 생긴 마비를 치료하기 위해서 골수유래 줄기세포를 손상 신경부에 주입하여 신경조직의 재생을 통한 기능복원을 목적으로 한다. 척수 내 공동은 여전히 제거가 어려우며 주입된 줄기세포의 경우는 체내 생존율이 낮아 제한적 치료 효과가 보고되고 있다. 둘째, 조직공학적인 치료방법은 조직공학용 지지체 또는 줄기세포를 이용한 신경조직 재생이 목적이다. 최근 연구가 많이 진행되고 있으나, 이는 자연적 재생능이 뛰어난 말단신경의 재생에 적용되고 있고 척수신경의 경우 재생 길이의 한계 때문에 적용범위가 한정되어 임상 적용까지는 많은 기술적 문제를 풀어야 한다.

셋째, 약물 및 재활 치료방법은 척수신경의 재생을 통한 기능의 재활보다는 환자의 통증완화를 위한 보조치료에 주된 목적이 있으며, 장기적인 효과는 기대하기 어려운 실정이다.

넷째, 신경소자를 이용한 신경자극 장치는 약물 투여 없



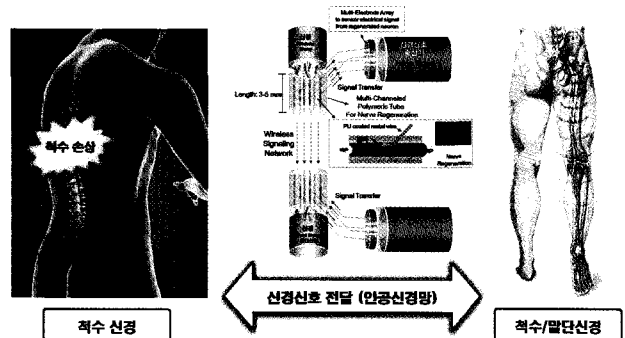
▶ 척수손상 기전과 기존치료의 한계점

이 전기 자극장치 등을 통하여 이식형 전기·전자기구와 이를 조절하는 소프트웨어 등을 이용한 IT에 기반을 둔 치료법으로 신경 자극기 위주의 연구가 진행되고 있고, 주로 통증제어를 위한 목적으로 활용되고 있다. 기존 치료법의 한계를 극복하고 손상된 척수 신경망의 기능을 대체하여, 척수신경 장애인의 운동 및 생리기능 복원, 인체기능 복원을 위한 인간-기기 연계 기술, 나아가서 다양한 신경계 장애의 인체기능 복원에 기술적 적용이 가능케 하는 융합 의료기술의 개발이 절실히 필요하다.

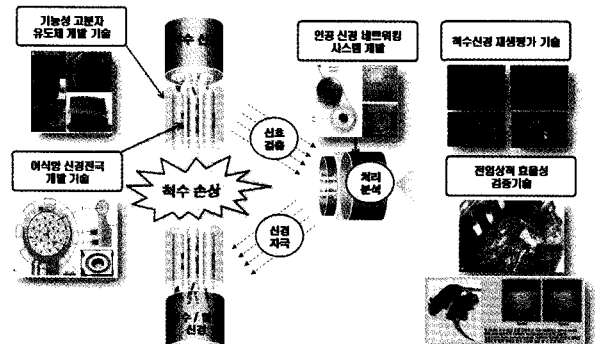
### 바이오닉스 기술로 손상된 신경 기능 대체·복구

바이오닉스(Bionics) 기술의 사전적 의미는 생물학(Biology)과 전기공학(Electronics)의 합성어로 의학적 의미는 파손된 조직이나 신체의 일부를 기능성 인공물로 대체하는 기술로 알려져 있다. 최근 바이오닉스 관련 연구는 대표적인 융합연구로 주목을 받고 있으며, 기계공학, 전기·전자공학, 생물학, 의공학, 재료공학, 의학 등 기초과학에서 응용연구에 이르는 다 분야의 원천기술을 융합한 연구분야로 발전하고 있다. 특히, 국내외 IT, 나노, MEMS, 바이오 관련 첨단기술의 눈부신 발전으로 각 요소 원천기술을 융합·응용하는 기술의 범위가 점차 확대될 것으로 기대하고 있다.

바이오닉스 연구의 임상적 응용분야는 신체기능을 회복시킬 수 있는 모든 의료부분에 적용이 가능하며, 최근 손상된 신경기능의 복원을 위한 바이오닉스 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다. 대표적인 예로, 심박동 조절기는 심장의 박동을 인위적으로 유발시키는 전기적 신호를 제



▶ 인공신경 네트워킹 기술의 개념도



▶ 다공성 고분자 전극을 이용한 인공신경 네트워킹 기술의 요소 기술

공하는 기술로 심장관련 질환의 치료에 이용되고 있다. 기능형 의수족은 기계공학 및 메카트로닉스 등의 로봇 기술과 생체 신호를 활용한 인간-기계 인터페이스 기술을 활용하여 사지의 기능이 손상된 장애인의 일상생활 복원을 도울 수 있는 기술이다. 인공와우는 청각신경이 손상된 장애인의 청각기능 복원을 위한 기술로 외부 소리를 전기신호로 변환하여 청신경을 직접 자극하는 기술이다. 앞서 얘기한 이식형 통증 치료기는 중추신경계에 전기적 자극을 가하여 통증으로 유발되는 신경 전이를 변이시켜 환자의 통증을 완화시키는 기술로 알려져 있다. 이 외에도 시신경 장애, 치매 진단·치료, 언어장애, 연하장애, 이뇨장애, 수면 무호흡증, 파킨슨병 등의 기능성 신경장애를 치료하기 위한 바이오닉스 기술이 계속적으로 개발되고 있으며 임상적 적용이 부분적으로 진행되고 있다.

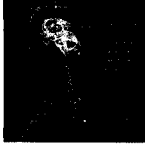
신경의 퇴화나 손상으로 분류되는 대부분의 신경계 질환이 인체 기능장애를 유발하고 있으며, 바이오닉스 기술은 손상된 신경의 기능을 대체하거나 복구할 수 있는 기술에 중점을 두고 연구가 진행되고 있다. 특히 인체에서 발



기능영역



뇌 자극기



Pacemaker



치매 진단기



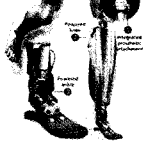
언어장애 치료



언어장애 지도



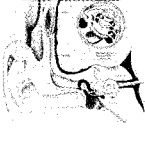
기능영수족



통증 지도기



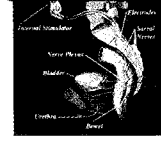
청력 지도기



시신경 자극기



이노장애 치료



수면 무호흡증



▶ 바이오닉스 기술의 활용가능성

생되는 생체신호를 검출·인지하여 인공기기와 연계시키는 기술과 기기에서 수집된 정보를 인간이 인지할 수 있도록 피드백시키는 기술에 초점이 맞추어지고 있다. 이와 관련된 기술을 인간-기기 연계기술, 뇌-기기 연계기술, 뇌-컴퓨터 연계기술이란 용어로 학계에서는 보편적으로 사용되고 있으며, 관련 기술의 성공여부는 신경신호를 비롯한 생체 신호를 어떻게 효율적으로 기기와 연계시키느냐가 중요한 핵심기술로 고려되고 있다.

### 다공성 고분자 전극으로 인공신경 네트워킹 기술 개발

현재 교육과학기술부에서 추진하는 미래 유망 융합기술 파ioni어 사업 중 하나인 '인공신경 네트워킹 융합연구단'은 손상된 척수신경의 기능복원을 위한 다공성 고분자 전극 기반의 인공 신경 네트워킹 시스템을 개발하고, 척수신경 재생 및 기능복원 평가를 통하여 임상적용의 가능성을 타진하고 있다. 대상 기술은 신경소자 개발 기술(NT+IT)과 조직공학 기술(BT)을 융합하는 '고위험 고수익'의 새로운 개념의 원천기술로 기존 의학기술로는 불가능하게 여겨졌던 손상된 척수신경의 기능 복원을 NT-IT-BT 요소기술의 융합을 통해 가능하게 한다. 인공신경 네트워킹 융합연구단은 한국과학기술연구원의 의공학연구소를 중심으로 경희대학교, 서울 아산병원과 협력하여 5개의 핵심기술 개발 융합연구를 진행하고 있다.

각 요소기술을 정의하면 첫째, 기능성 고분자 유도체의 개발 기술은 손상된 척수신경 내 신경세포의 성장을 효과적으로 유도할 수 있는 세포적합성·생리활성을 갖는 유

도형 나노 섬유지지체의 개발 기술을 말한다. 둘째, 이식형 신경소자 개발 기술은 신경 손상을 최소화할 수 있는 신경유도 재생을 통하여 신경이 자연스럽게 신경소자와 접촉할 수 있는 신경소자 개발 기술을 말한다. 셋째, 인공 신경 네트워킹 시스템 개발 기술은 복잡한 신경 및 신경망의 신호 검출, 분석, 전달, 자극이 가능한 인공 신경 네트워킹 시스템 개발 기술이다. 넷째, 생물학적 척수신경 재생연구 및 평가기술은 이식된 신경재생 유도체에 최적의 신경재생 환경을 만들어줄 수 있는 기술의 개발 및 신경재생의 정도를 생물학적·동물학적으로 평가하는 기술을 말한다. 다섯째, 전임상 실험을 통한 인공 신경 네트워킹 시스템 기능 평가 기술은 동물실험을 통한 전임상적 해석 및 임상적용 가능성 평가 및 인공 신경 네트워킹 시스템의 최적화 기술이다.

연구가 성공적으로 진행된다면 2013년까지 전임상 동물실험을 통해 다공성 신경전극의 임상적용 가능성을 타진할 수 있을 것으로 예상되며, 연구단은 빠른 기간 내에 기술의 완성도를 높여 척수손상 장애인의 손상된 신경망을 대체하고 신체기능을 복원시킬 수 있는 기술을 완성할 계획이다. 복잡한 척수신경의 신경신호를 인공신경 네트워킹을 통하여 손상된 신경망을 대체할 수 있는 본 연구단의 기술은 척수손상 장애인의 신체기능 회복뿐만 아니라, 뇌졸중, 치매, 파킨슨병, 난청 등의 노인성 신경관련 질환 또는 정신분열증, 자폐증, 우울증과 같은 뇌질환 환자 등에 적용할 수 있는 핵심 바이오닉스 기술로 활용이 가능할 것으로 기대된다. **ST**