

환자 치료 분야의 의공학 기술현황과 전망



글·민 병 구 |
서울대학교 의과대학 의공학교실 교수

의공학은 공학적 혹은 자연과학적 지식을 생명현상의 규명이나 진단 및 치료기기의 개발에 응용하는 실용학문이며, 기계공학, 전기전자공학, 재료공학, 물리학, 화학, 생물학 등 이공학의 전문가 뿐 아니라 의학 분야의 전문인들과의 협동연구가 요구되는 복합학문이다. 의공학의 여러 응용분야 중에서 실질적으로 환자의 치료와 직접적으로 연관된 분야가 주목을 받는 이유는 개발된 기술이나 기기가 그 동안 치료가 어려웠던 질환을 치료할 수 있는 길을 제시하거나 혹은 좀 더 쉬운 치료 방법을 제시할 수 있기 때문일 것이다.

그 동안 의공학적 기술들은 환자의 치료기기의 개발이나 치료기법의 발전에 많은 기여를 해왔다. CT나 MRI와 같은 전문 방사선 진단기기 뿐 아니라 인공 고관절, 보청기 등 신체의 주요 기능들의 보조 및 대체 기능의 개발에서도 중요한 역할을 수행해오고 있다. 본 글에서는 주요 장기의 치료나 장기 이식을 위한 가교용으로 사용되는 인공 장기에 대한 소개와 전망을 살펴보고 수술 부위를 최소화하는 최소 침습적 치료기술 및 원격 치료기법에 대한 소개를 통하여 환자 치료분야에서 의공학의 현황과 전망을 짚어보고자 한다.

인공심장

인공심장은 크게 회복 불가능할 정도로 손상된 자연심장을 체내에서 제거하고, 그 기능을 완전히 대체하기 위한 목적의 완전인공심장(Total Artificial Heart, TAH)과 기능이 일부 손상된 자연심장의 혈액 박출 기능을 보조하기 위한 심실보조장치(Ventricular Assist Device, VAD)로 구분된다. 체외에서 작동하는 인공심장의 경우 이미 80년대 후반부터 널리 사용되고 있으며 90년대 중반 이후로는 체내 이식형 심실보조장치가 널리 사용되고 있다. 몇 년 전에는 언론에서 보도된 바와 같이 완전 이식형 인공심장의 임상시험이 진행되고 있는 상황이다. 그동안 개발된 인공심장들이 용적형(volume replacement type)이라면 90년대 초반부터 이식형 인공심장의 소형화를 목적으로 개발되고 있는 원심형 혹은 축류형 혈액펌프들은 연속류형(continuous flow type)이다. 이들 연속류형 혈액펌프들은 소형 경량을 장점으로 급속도의 발전을 거듭해 일부 모델의 경우 유럽 및 미국에서 임상시험이 진행중이다. 혈압의 변화가 거의 없는 연속류형 심실보조장치에 대한 장기적 생체적합성에 대한 논란은 아직도 계속되고 있으나 성공적인 장기 임상시험 결과들이 발표되고 있는 상황에서 이들 연속류형 심실보조장치의 전망은 매우 밝다고 할 수 있겠다.

국내에서는 서울대학교 의공학교실과 흉부외과 교실과의 공동연구를 통하여 이식형 인공심장과 체외형 심실보조장치에 대한 연구를 수행한 바 있으며 현재는 고려대학교에 설치된 한국인공장기학회의 주관으로 차세대 소형 인공심장의 개

발이 활발히 진행중에 있다.

인공심장의 개발에서 의공학은 많은 기여를 한 것이 사실이다. 특히 혈액과의 접촉부위가 넓고 적용기간이 비교적 장시간이라는 인공심장의 특성상 혈액적합성을 향상시키기 위한 각종 연구와 기술들이 동시에 발전하였다. 또한 이미 산업에서 널리 사용되고 있는 기계장치의 구동방식을 인공심장에 적합하도록 소형화 정밀화시키고 생리적인 요구에 능동적으로 대응할 수 있는 제어기법들의 개발 또한 의공학 분야의 업적이라고 할 수 있겠다.

인공폐 (산화기)

1953년에 이미 임상에 적용되고 현재 널리 사용되고 있는 체외형 심폐기(cardiopulmonary bypass)에서 가장 중요한 부분인 산화기(oxygenator)가 곧 인공폐에 해당되며 이는 혈액산화기(blood oxygenators), 기포산화기(bubble oxygenators), 디스크 산화기(disk oxygenators) 그리고 막산화기(membrane oxygenators) 등으로 개발되어 왔다. 초기에 많이 사용된 기포산화기는 용혈(hemolysis)의 위험성과 기포를 나중에 제거해야 하는 등 단점이 많이 나타나 현재는 막산화기가 주로 사용되고 있다. 최근에 이르러 펌프를 필요로 하지 않고 또한 체내에 이식될 수 있는 인공폐의 개발이 상당한 수준으로 진척되고 있다. 이식형 인공폐는 환자의 흉곽에 이식되는 모델과 정맥에 이식되는 모델 등이 대표적이다. 흉곽에 이식되는 인공폐는 폐동맥과 폐정맥 사이에 압력 손실이 작은 이식형 중공사막을 장착하여 혈액펌

프 없이도 우심실의 박출력만으로 구동이 가능한 형태이다. 한편 정맥내 막산화기는 풍선펌프 (balloon pump)와 박형 산화기를 혼합한 형태로 대정맥에 삽입되어 정맥혈의 산소교환을 수행한다. 산화기의 개발에서도 혈액손상을 최소화하면서 장기간 사용 가능한 산화기의 개발이 진행중이다.

국내에서는 중공사막에 대한 연구가 한국과학기술연구원에서 이루어진 바 있으며 이식형 인공폐에 대한 연구는 전남대와 한려대에서 공동으로 수행중이다.

의공학 분야에서는 이러한 연구의 일환으로 중공사막을 위한 새로운 재료를 개발하고 혈액적합성을 향상시키는 표면처리법을 개발하고 있으며 산소교환 효율을 향상시킬 수 있고 사용의 편의를 증대시킬 수 있는 적용법 등을 개발하고 있다.

인공신장 (혈액투석기)

혈액 투석은 신부전으로 고통받는 환자들을 치료하는데 이용되고 있으나 최대의 결점은 주당 2~3회에 걸쳐 시행되는 투석으로 인한 사회활동의 장애와 경제적 손실 그리고 거둬지는 혈관내의 접근으로 인한 감염 위험성 등이다. 감염 위험성을 해결하기 위하여 개발된 것이 동정맥 셉트 (arteriovenous shunt)이다. 그러나 이 또한 시술이 간단치 않고 적용이 불가능한 환자도 있어 최근에 이식형 도관이 개발되고 있는데 투석을 위한 외부 연결 포트가 개폐식으로 되어 있고 이식된 도관이 포트와 혈관을 연결해주는 방식이다. 투석의 부작용 중 하나인 혈액응고제의 사용을 줄이

기 위한 방법의 복막투석법 (peritoneal dialysis)에 투석액 재생시스템을 부착한 착용형 투석 시스템이 개발되고 있다. 새로운 시스템이 아닌 기존 투석방법의 변화를 통하여 투석환자의 불편을 감소하고자 하는 연구가 진행 중인데 그 일환으로 제시되고 있는 것이 일일투석이다. 일일투석은 매일 1시간 내외의 투석을 시행하는 것으로 병원에 내원하지 않고 가정에서 투석을 시행하는 개념이다. 이러한 연구들은 아직은 초기 개발단계이지만 장차 투석환자의 자유로운 사회생활을 보장할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이상에서 언급한 신기술들에 대한 연구개발이 많은 의공학 연구진들에 의해 수행되고 있으며 이외에도 투석으로 인한 부작용을 해소하기 위한 생리적 투석 기법에 대한 연구도 진행되고 있다. 국내에서는 연세대학교 의공학과에서 투석기의 국산화에 대한 연구를 수행한 바 있으며 서울대학교 의공학과에서 일일 투석 시스템을 개발중에 있다.

인공간

전격성 간부전 (fulminant hepatic failure) 혹은 간기능이 급격히 나빠진 만성 간부전 환자의 치료를 위해 그들의 간이 스스로 재생하여 회복하거나 이식수술로 대체할 수 있을 때까지 간의 기능을 보조할 목적으로 개발되고 있다. 그 필요성 때문에 1950년대부터 개발이 시작되었으나 아직까지 만족할 만한 수준의 인공간은 개발되지 않았다. 다른 동물의 간을 이용하는 방식과 여과기를 이용하여 독소를 제거하는 방식, 그리고 간세포를 이용한 방식 등이 개발되었다. 최근에는 여과기의

기능을 개선하여 독소 제거의 효율을 높인 Molecular Adsorbent Recycling System (MARS) 기술이 개발되어 임상시험 중에 있다. MARS는 피를 albumin-coated membrane을 통하여 투석을 하는 방식이다. Albumin-bound된 독소가 있는 혈액을 membrane을 관류시키면서 membrane의 다른 편에는 albumin이 과량 함유된 액체를 흘리면서 투석하는 방법이다. 간세포를 이용한 방법은 독소 처리기능 뿐 아니라 간세포의 단백질 합성 기능을 함께 이용하는 것이다. 이 방식 또한 임상시험 단계에 있는데 중공사막으로 분리된 혈액과 간세포 사이의 물질 전달 효율과 인공간안에 이식된 간세포의 생리적 환경의 유지가 중요한 난제이며 많은 의공학 연구자들이 이 문제의 해결을 위하여 노력하고 있다.

국내에서는 이중간을 이용한 방법과 간세포를 이용한 방법에 대한 연구가 서울대학교 의과와 서울대학교 의공학과에서 연구되고 있다.

인공눈

일반적으로 인공눈 혹은 인공 안구는 크게 두 가지로 분류된다. 미용적인 관점에서 이식시키는 의안과 시력의 회복을 위한 전자공학적 장치의 인공눈이 있는데 본 글에서는 시력회복 기능이 있는 인공눈에 대하여 논하고자 한다. 일부 선진 연구진에서 임상시험 단계에 있는 인공눈은 외부에 장착된 카메라에서 획득한 영상을 안구내의 시신경에 이식된 전극을 통하여 직접 자극을 전달하는 장치이다. 이 전극의 배열에 따라 이식받는 환자가 볼 수 있는 해상도가 결정되기 때문에

많은 연구가 이 부분에 집중하고 있다. 그 일환으로 뇌의 시각 피질에 직접 전극을 삽입하는 연구가 진행중이다. 인공눈은 시신경의 기능을 인공적인 장치로 보조하거나 치환해주는 것이므로 의공학 연구가 중요한 비중을 차지하고 있다. 특히 시신경에 전기자극을 전달하는 전극은 인공눈의 기능을 좌우하는 매우 중요한 요소로 최근에 개발되고 있는 MEMS (Micro-ElectroMechanical System) 가공기술을 이용하고 있다.

방사선 치료

방사선 치료는 전리방사선인 X-선 (γ 선), 전자선 (β 선), 중성자선, 하전입자선 (α 선) 등이 물체에 조사될 때, 물질과 상호작용을 일으키는 원리를 이용한다. 특히 생체조직에 강력한 방사선이 조사되었을 때 조직을 이루는 단백질의 화학적 조성이 변화하고 세포의 기능이 파괴될 수 있다. 그러나 방사선을 이용하여 악성 종양이나 어떤 특정 조직을 제거하려 할 때, 목표로 하는 조직 뿐 아니라 그 외의 다른 정상 조직에도 영향을 미치기 때문에, 치료의 범위 치료의 목적에 따라 방사선의 조사 방법을 달리하고 있다.

방사선치료에 이용되는 3차원 조사 방식을 SRS (Stereotactic Radiation Surgery)라고 한다. CT 및 MRI image를 이용하여 병소와 주변의 정상조직을 computer planning system을 이용하여 3차원적으로 재구성하고 치료계획을 수립한 뒤 선형가속기나 감마나이프 등을 이용하여 치료한다. SRS는 주변 조직에 최대한 영향을 주지 않도록 고안된 조사 방식이지만, 한번에 높은 선량의 방사선을

죄어 병소를 치료하기 때문에 여전히 위험성이 존재한다. 이에 비해 FSRT (Fractionated Stereotactic Radiation Therapy) 방식은 여러 차례에 걸쳐 방사선을 분할하여 죄어 주는 방식으로 부작용의 위험도를 낮추기 때문에 사용횟수가 늘고 있다.

의공학에서는 이러한 방사선의 치료과정에서 발생할 수 있는 위험성을 줄이기 위한 다양한 조사방법에 대한 연구와 함께 방사선 치료기기의 개발에도 많은 공헌을 하고 있다.

원격 의료

정보통신 기술과 통신망의 발달로 대용량 의료정보의 전송이나 원격진료는 이미 실용화된 기술이다. 최근에는 이러한 기반 위에 원격지에 떨어져 있는 의사가 환자의 응급 수술을 시행할 수 있도록 하는 원격 수술의 개념이 제안되고 있다. 또한 장치의 고장이 심각한 결과를 초래할 수 있는 인공심장 이식환자의 원격 감시에 응용하고자 하는 시도도 있다. 원격 수술은 원격지에서 수술을 집도하는 의사의 동작을 환자가 있는 병원에서 구현해 줄 수 있는 수술 로봇 기술이 뒷받침되어야 한다. 수술 로봇은 일반적인 외과적 수술의 보조로봇에서부터 직접 수술을 수행하는 로봇으로 크게 구분할 수 있고 적용분야에 따라 세분화된다. 특히 시야의 제약이 많은 내시경 수술이나 뇌수술이 가능한 로봇이 개발되고 있다. 일반적인 의공학 뿐만 아니라 전통적인 기계 및 전자 공학적 기술들이 모두 집약된 분야라 할 수 있다. 국내에서는 한국과학기술원에서 슬관절 수술보조

로봇을 개발한 바 있으며 국립암센터에서 복부 내시경 수술이 가능한 수술로봇을 개발하고 있다.

이외에도 유전자 치료법, 줄기세포를 이용한 세포치료법, 조직공학적 치료법 등 최근에 개발되고 있는 각종 바이오 기술들을 접목한 치료법등이 연구되고 있고 각 연구분야에 많은 의공학 연구진들이 참여하고 있다.

그 동안 치료기술이나 치료기기의 개발에 많은 발전이 있어왔던 것이 사실이다. 그로 인해 치료가 불가능한 질환들이 많이 줄어들었고 치료기간 또한 획기적으로 줄어든 것이 사실이다. 그러나 앞으로도 새로운 기술들이 계속해서 발전할 것이고 그에 따라 이러한 치료기술의 발전으로 계속될 것이다. 그 발전을 위하여 국내외 수많은 의공학 연구자들은 공학과 의학의 복합 학문이라는 본래의 의미에 충실하며 공학적 지식의 의학적 응용과 의학적 발견의 공학적 해석을 성실히 수행해나갈 것이다. 