

◆특집◆ 실버공학

노화장기 보조기술

최귀원*

Supporting Technology for Aged Organs

Kuiwon Choi*

Key Words : Supporting technology (보조기술), Aged organs (노화장기), Musculoskeletal organs (근골격계 장기), Sensory organs (감각계 장기), Urinary organs (비뇨기계 장기)

1. 서론

노화에 따른 장기의 기능 약화 및 상실은 노인의 독립적이고 정상적인 생활을 불가능하게 하는 치명적인 요인이다. 그리하여 실버공학 분야의 주요한 연구분야로 간주되고 있다. 현재 일상생활에 지장을 초래하고 있는 대표적인 예로는 근골격계 장기 (뼈, 연골, 근육, 관절 등)의 노화로 인한 운동기능의 약화 및 상실을 들 수 있다. 또한 노인의 경우 청각 및 시각 등의 감각 기능의 약화도 큰 문제점으로 간주된다. 70 대 노인의 70% 이상이 겪고 있는 비뇨기계 질환 역시 일상생활에 지장을 주는 주요한 요인으로 작용하고 있다.

이러한 장기의 기능 약화 및 상실은 단지 노인의 문제만은 아니다. 질병 및 사고로 인한 장애에 의한 환자의 경우도 해당된다. 우리나라 장애인구의 60% 이상을 차지하는 것은 근골격계 장기의 장애로 발생하는 지체장애 이다. 감각계 장애 또한 장애인구의 약 20%를 차지하여 장기의 기능 회복에 소요되는 기술분야는 실제적으로 노

인 뿐 만 아니라 장애인의 치료에도 적용된다.

근골격계 노화로 인한 질병, 질환은 여성의 노화에 필히 동반되는 골다공증, 관절염이 대표적이다. 노화로 인하여 쉽게 발생하는 골절, 근육기능 약화 등도 포함된다. 이를 위한 보조기술로는 관절기능 보조를 위한 인공관절 개발 기술, 조직공학 기술을 이용한 인공뼈 및 인공연골 제조 기술, 근육강화를 위한 유전자 및 호르몬 치료 기술이 있다. 감각계의 경우는 시각기능 회복을 위한 인공각막, 인공망막 칩 (chip), 신경의 인터페이스 기술 및 시력회복 기술을 이용한 인공눈 개발 기술이 있으며, 청각기능 회복에는 인공 이식 내이, 이식형 인공중이 및 디지털 보청기 개발 기술 등이 해당된다. 비뇨기계 장기의 기능회복을 위한 기술로는 전립선염 치료기술, 요실금, 배변장애 치료를 위한 기술 및 넓게는 성기능 회복기술도 포함된다.

노인인구의 95% 이상이 상기의 노화장기 관련 질환을 하나는 지니고 있다고 보고되고 있다. 이는 노인의 삶의 질을 떨어뜨릴 뿐 만 아니라 이로 인한 많은 사회적인 노인문제를 발생시키는 요인으로 작용하고 있다. 실버공학 기술의 근본적인 목표가 노인의 독립적인 일상생활 회복 (ADL: Active Daily Life)에 있다. 노화장기 보조기술은 ADL 회복의 핵심에 위치하고 있으며, 그리하여 국내외 연구활동이 매우 활성화 되고 있는 분야이다.

본 논문에서는 노화장기 보조기술을 크게 장

*한국과학기술연구원 의과학연구센터
책임연구원, 센터장
Tel. 02-958-5921, Fax. 02-958-5909
Email choi@kist.re.kr

실버공학 특히 생체역학, 재활공학 및 조직공학 분야의 연구에 관점을 두고 연구하고있다.

기의 기능 상실의 경우 이를 대체하는 인공장기 기술과 기능 저하의 경우 이를 보조, 치료 하는 보조/치료 기술로 나누어 각 분야의 기술 개요, 국내외 연구 및 시장 현황 등에 대한 소개를 하고자 한다.

2. 인공장기 기술

2.1 기술 개요

1988 년 미국의 National Science Foundation 의 정의에 의하면 인공장기 기술이란 의학 및 공학의 기본 개념과 기술을 통합, 응용하여 생체조직 및 장기의 구조와 기능 사이의 상관관계를 이해하고, 나아가서 생체에 적합한 기능성 재료를 개발하며, 세포 / 조직 배양을 통하여 기능적인 생체조직 및 장기를 재생하는 것을 말한다 (조직공학적 인공장기). 또한 전기기계식 인공장기를 개발하여 노화로 인한 장기의 기능을 향상 또는 복원하는 것을 목적으로 하는 응용과학 기술을 말한다. 인공장기 기술은 다학제간 융합기술, 복지기술, 미래 산업기술 및 환경친화적 기술로 간주된다.

조직공학적 인공장기로는 인공뼈, 인공연골, 인공혈관, 인공피부 등이 있으며, 전기기계식 인공장기로는 인공관절, 인공눈 및 인공귀 등이 있다. Fig. 1 은 인공장기 기술의 기술체계를 도식화 한 그림으로 요소기술의 구성을 나타낸다.

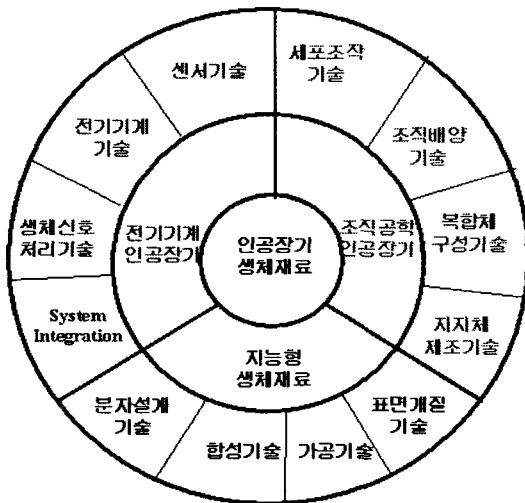


Fig. 1 Technology tree for artificial organs

인공뼈의 경우 고분자, 금속, 세라믹 지지체를 (scaffold) 이용한 뼈조직 개발 및 인체내 주입형 (injectable) 인공뼈 물질의 개발이 주요 연구기술이다. 인공연골의 경우 실험실에서 연골조직을 배양하여 시술하는 기술과 손상된 연골부위에 연골세포를 이식하는 기술이 있다. Fig 2(a)는 인공연골을 2(b)는 인공뼈의 그림이다.



Fig. 2(a) Artificial cartilage

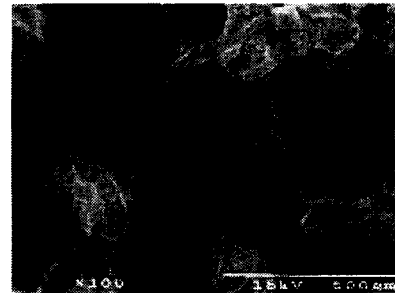


Fig. 2(b) Structure of artificial bone

인공혈관의 경우 인공 생체재료를 사용하는 혈관 및 혈관내피세포를 이용한 혈관 제조 기술이 있다. 4mm 이하의 소구경 인공혈관 제조에 있어 혈전생성으로 인한 혈관 막힘의 문제점을 해결하는 것이 현재 key technology 이다. 인공피부의 경우는 다른 인공장기에 비해 상품화 개발이 상당히 진척되어 있다. 임상에서 사용되고 있지만 피부 조직을 보다 빨리 대량으로 생산할 수 있는 기술의 개발이 요구되고 있다.

전기기계식 인공장기의 대표적인 기술로 인공관절 제조기술이 있다. Fig. 3 은 인공무릎관절을 보여 주는 그림이다. 인공관절 개발의 요소기술

및 제반 기술에 대해서는 한국정밀공학회지 제 17 권 11 호에 상세히 설명되어 있다. 간략히 설명하면, 인공관절을 설계하고 이를 생체역학적으로 예비 검증하는 기술, 예비 검증 후 생체재료를 이용하여 가공하는 기술, 가공 후 생물학적 및 기계적 기능을 검증하는 기술로 분류된다. 또한 생체적합성을 높이기 위한 표면처리기술도 주요 기술이다.

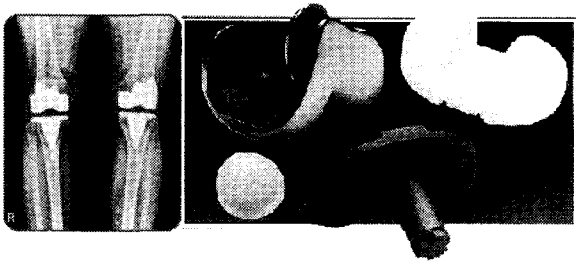


Fig. 3 Artificial knee joint

인공눈의 경우 핵심기술은 인공 각막 및 망막 개발 기술과 대뇌 시각 피질을 자극하는 기술 등이 있다. 또한 망막의 신경과 연결할 수 있는 마이크로 시각 센서의 개발 기술 및 신경 인터페이스 기술, 인공망막 chip 개발 기술 등이 주요 기술로 간주되고 있다. Fig. 4는 인공눈의 모식도이다.

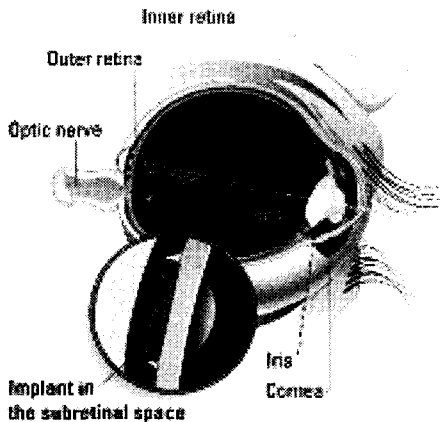


Fig. 4 Artificial eye

세계 인구의 약 15%가 청각장애를 가지고 있다. 이 중 보청기를 착용하는 사람은 이 인구의 10% 미만이며, 인공귀를 착용하는 사람은 미미한

실정이다. 이는 기술적인 어려움으로 인한 완벽한 인공귀의 생산에 한계가 있기 때문이다. 인공귀는 귀 속에 이식되는 이식형 인공와우 (고도의 난청 환자를 위함) 및 인공내이, 인공중이가 있으며, 음성처리기술, 신경 인터페이스 기술, 신경전극 기술, 고성능 마이크로폰 개발 기술 등이 요소기술이다. Fig. 5는 인공귀 이식의 모식도 이다.

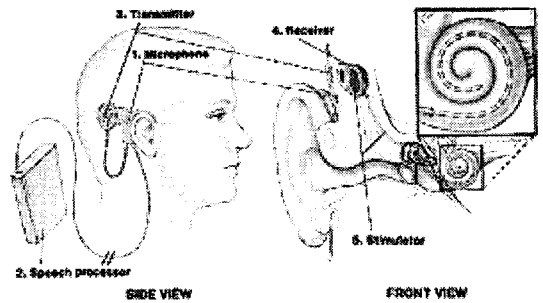


Fig. 5 Artificial ear

2.2 국내의 연구 및 시장 현황

인공장기 기술의 세계적인 기술 수준은 기술 개발 수준에서 벗어나 점차 상업적으로 성공하기 시작한 단계라고 볼 수 있다. 인공장기용 생체재료의 개발은 피동적인 생체적합성 개념의 재료에서 차원이 높은 선택적 생체재료 개발 방향으로 진행되고 있으며, 생체계면 조절 기술을 이용한 기능적인 첨단 재료의 개발이 이뤄지고 있다. 또한 다양한 형태의 세포로 분화가 가능한 줄기세포 (stem cell)을 이용하여 필요한 조직 및 장기의 재생에 활용하는 연구가 진행되고 있다. 나아가서 cytokine 등 신호전달 물질의 응용, 인공 생체재료와 줄기세포와의 복합화 기술 분야에 연구가 집중되고 있다. 전기기계식 인공장기 분야는 환자의 개개인의 상황에 적합한 주문형 장기개발 기술이 증가하고 있으며, 점차 소형화, 고성능화로 기술의 발전이 이뤄지고 있다.

이에 비교하여 국내의 연구 현황은 아직 초기 단계라고 사료된다. 최근 보건복지부를 통한 인공장기 및 생체재료에 대한 연구가 활성화 되고는 있지만, 선진국에 비해 그 규모나 기술 수준이 뒤떨어지고 있는 실정이다. 조직공학적 인공장기

기술의 개발은 KIST, 서울의대, 연세대, 한국화학연구소 등에서 주로 수행되고 있다. Biotech 기업의 활성화 분위기에 따라서 최근 다수의 벤처기업이 창업되었으나 아직은 초기단계에 머무르고 있다.

인공관절 분야의 국내연구는 타 인공장기에 비해 비교적 기초기술이 확보되어 있다. 국내 기술 만으로도 상품화가 가능하나, 현재 산업체의 열악한 상황으로 인해 상품화가 지연되고 있다. 시각기능 회복에 대한 국내 연구는 KAIST, 서울대, 경북대 등에서 기초연구가 수행된 바 있으나 아직 연구개발 실적은 미흡한 수준이다. 청각 분야 역시 미흡한 수준으로 경북대에서 이식형 인공중이가 개발되었지만 상품화 단계에는 이르지 못하고 있다. 인공 와우의 경우는 국내 기술이 전무한 실정이다.

Fig. 6 은 인공장기 분야의 국내 기술발전 roadmap 을 나타낸다. 향후 10 년, 국내의 인공장기 기술의 발전을 예측할 수 있다.

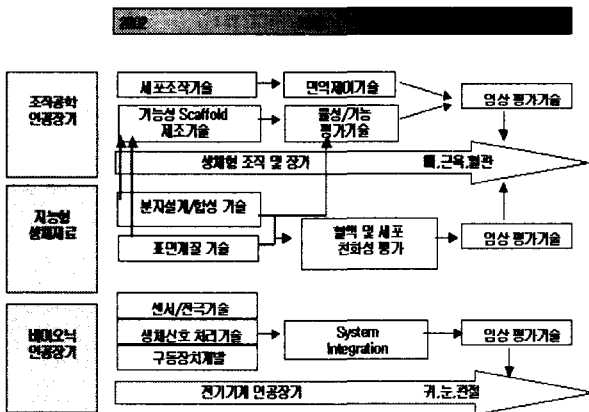


Fig. 6 Technology roadmap for artificial organs

인공장기 기술 분야의 시장은 실로 거대하다. 2001 년 보건산업진흥원의 보건산업기술동향에 따르면, 국내 시장 규모는 약 5000 억원, 세계 시장 규모는 약 100 조원에 달한다고 보고되고 있다. 2010 년 예상되는 세계 시장 규모는 1000 조원 가량으로 미래 주요 산업 군으로 간주되고 있다. 국내 수요의 대부분은 현재에도 수입에 의존하고 있다. 인공연골, 인공피부 등이 국내 벤처회사에서

개발되어 상용화 단계에 있으며, 다른 제품은 아직 국산화 개발이 이뤄지지 않고 있는 실정이다.

3. 보조/치료 기술

3.1 기술 개요

노화장기의 보조/치료기술은 주로 노화로 인한 심혈관계, 비뇨기계 및 관절계 장기의 치료를 위한 최소침습 수술기술, 인공근육 강화 기술, 청각 기능 보조를 위한 보청기 개발 기술, 나아가서 성 기능 보조기술 등이 포함된다.

최소침습 수술기술은 노화장기 보조/치료 기술에 있어서의 주요 분야이다. 저자는 기계저널 2004 년 1 월호에 최소침습 수술기술에 대해 자세히 설명한 글을 게재하였으며, 본 논문에서는 개요만을 설명하고자 한다.

노화로 인한 질환 중 사망원인 1 위는 뇌졸중을 비롯한 심혈관계 장기의 이상으로 발생한다. 또한 대부분의 노인이 지니고 있는 비뇨기계 질환, 관절질환의 치료에 최소침습수술이 널리 활용되고 있다. 심혈관계의 경우 미세도관을 이용한 혈전 제거 및 색전물질의 주입을 통한 뇌출혈 방지기술이 대표적이다. Fig. 7 은 터지기 직전의 뇌혈관에 미세도관을 이용해 색전물질을 주입하는 그림이다.



Fig. 7 Treatment for stroke prevention using micro catheter system

미세도관시스템에서 주요한 기술은 도관을 복잡한 혈관 내부를 자유롭게 항해할 수 있도록 항해가 능동적으로 가능한 도관을 개발하는 것이

다. 전기감응식 고분자재료 및 형상기억합금을 이용한 steerable 미세도관의 개발이 요구된다.

비뇨기계 장기의 노화로 인한 질환은 전립선염, 방광염, 요실금 등이 대표적이다. 전립선 및 방광 질환 치료에는 방광경이 사용되고 있으며, 요실금의 경우에는 다양한 전기자극 및 자기적 자극을 이용한 치료기술이 응용되고 있다. 배변장애로 인한 노인 환자의 수는 일반인이 상상하기 어려울 만큼 많다. 최근 인공항문이 개발되어 임상에서 사용되고 있다. Fig. 8(a)는 방광경, 8(b)는 자기장을 이용한 요실금 치료기, 8(c)는 인공항문을 나타낸다.

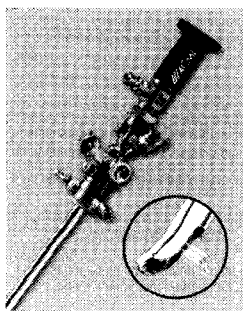


Fig. 8(a) Cystorethroscope



Fig. 8(b) Urinary incontinence treatment system

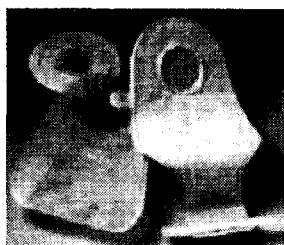


Fig. 8(c) Artificial anus system

관절계 노화장기의 보조/치료기술은 관절경 수술 기술이 그 대표적이다. 최소침습 수술기술의 하나로 관절 속에 내시경시스템, 수술시스템을 주입하여 수술하는 기술이다.

인공근육 강화를 위한 기술은 국내외적으로 연구의 초기단계에 있다. 유전자 치료 및 호르몬 치료를 통해 저하된 근육을 강화하는 기술이다.

청각기능을 보조하는 기술로는 보청기 개발 기술을 들 수 있다. 인공귀의 개발에 필요한 기술들이 보청기에도 적용된다.

노인들의 심각한 문제 중의 하나는 성기능 장애이다. 드러내길 꺼리는 질환의 하나로 정확한 환자의 수가 파악되지는 않지만 최근 비아그라를 비롯한 성기능 장애 치료제의 폭발적인 수요는 많은 수의 노인이 이러한 기능 장애를 겪고 있다는 것을 반증하고 있다. 성기능 보조기술은 크게 성기능 보조약물의 전달 기술 및 기능성 생체재료를 이용한 보형물 개발 기술이 대표적인 기술이다

3.2 국내의 연구 및 시장 현황

노화장기 보조/치료 기술 분야 역시 선진국에서 주도하고 있으며, 국내의 연구활동은 초기단계이며 미미한 실정이다.

심혈관계 장기 보조/치료기술의 경우 기존의 미세도관시스템을 보다 유연하게 하면서 동시에 강도를 높이는 기술이 적용되고 있으며, 혈관을 능동적으로 항해할 수 있는 steerable mechanism의 적용을 시도하고 있다. 또한 미세도관 표면을 처리하여 미끄럼이 증가하게 하는 기술 개발도 선진국에서 수행 중이다. 향후 미세한 혈관의 내부벽 및 혈관두께를 영상화 할 수 있는 기술의 적용이 예상된다.

비뇨기계 장기의 보조/치료 기술에서는 기존 방광경의 문제점을 해결하기 위한 flexible 방광경의 개발이 이뤄지고 있다. Glass optic fiber 대신 plastic optic fiber를 이용하여 유연성을 증가시키며, 반복되는 굽힘에도 내구성을 증가시키며, 동시에 외경을 4-5 mm 정도로 소형화 하는 기술이 개발되고 있다.

관절경 시스템 기술은 시스템을 구성하는 각 요소부품을 유기적으로 통합시킨 시스템이 요구되며, 기능상으로는 고해상도 CCD 카메라, 고휘도 냉광원, 고속의 Autosaver, 그리고 Digital Recording Device가 통합되는 통합시스템의 개발이

진행되고 있다. 이러한 통합시스템은 조작성의 편의성을 제공할 것이며, 시스템의 원가를 절감하고 수술실에서의 공간을 절약하는 차세대 시스템이 될 것이다.

보청기 기술에는 소형화 기술이 적용되어 외관적으로 표시가 나지 않도록 설계되며, 디지털 보청기가 개발되고 있다.

국내의 연구 현황은 시작 단계에 있다. 일부 중소기업에서 제품개발을 시도하고 있지만 대부분의 경우 상품화는 아직 이루지 못하고 있다. 자기를 이용한 요실금 치료기는 선진국 수준의 기술을 보유하여 제품화를 완료한 분야이다. 또한 국내에서 개발된 plastic optic fiber 는 세계적인 기술, 제품으로 향후 방광경 및 내시경시스템의 적용이 예상된다.

국내 기술의 미비로 노화장기 보조/치료 시스템의 대부분이 수입되고 있다. 인공장기 기술 분야에 비해 현재 시장 규모는 작은 편이다. 국내 시장이 약 1000 억원 정도로 예상된다.

4. 결론

노화장기 보조기술은 노화장기 기능이 상실한 경우 이를 대체하는 인공장기 기술과 기능이 저하된 경우 보조를 하는 보조/치료기술로 분류하여 각각의 기술 개요 및 국내외 연구, 시장 현황을 살펴보았다. 모든 노화장기 보조기술을 분석하지는 못하였지만 중요한 기술들은 누락되지 않았다고 판단된다.

현재 국내에 사용되고 있는 기술 및 제품은 거의 대부분이 수입에 의존하고 있다. 향후 세계적인 거대 산업 군을 형성할 노화장기 보조기술 분야의 연구의 활성화가 시급하게 요구된다. 노인 인구의 증가로 이어지는 노령화 사회에서 필수적으로 요구되는 분야이기 때문이다. 대부분의 기술 분야에서 선진국에서도 시작한 지 그리 오래되지 않았기 때문에 우리나라와의 기술격차가 타 분야에 비해 심하지는 않다. 국내에 존재하고 있는 타 공학분야의 첨단기술을 융합하여 새로운 idea 로 제품을 개발한다면 빠른 시일 내에 선진국과 기술적 경쟁이 가능한 연구분야로 사료된다. 최근 국가적인 관심을 끌고 있는 노인문제의 해결 방안으로 실버공학 연구에 대한 정부의 지원이 시

작되고 있다. 보다 집중적인 연구투자 및 산업계를 활성화하는 방안이 요구되고 있다.

참고문헌

1. Charnley, J., "Total hip replacement by low-friction arthroplasty" Clin. Orthop. Rel. Res., Vol. 72, pp. 7 - 21, 1972.
2. Carlsson, A., and Gentz, C-F., "Mechanical loosening of the femoral head prosthesis in the Charnley total hip arthroplasty," Clin. Orthop., Vol. 147, pp. 262 - 270, 1980.
3. Harris, W., McCarthy, J. and O'Neill, D., "Femoral component loosening using contemporary techniques of femoral cement fixation," J. Bone Joint Surg., Vol. 64, pp. 1063 - 1067, 1982.
4. Choi, K., "Joint Prosthesis and Engineering Technology," J. Kor. Soc. Pres. Eng., Vol. 17, pp. 17-24, 2000.
5. Choi, K., "Mechanical Engineering in Biotechnology," J. Kor. Soc. Mech. Eng., Vol. 41, pp. 54-58, 2001.
6. 최귀원, "의학자 114 인이 내다보는 의학의 미래," 한국의학원, 제 8 부 제 15 장 (영구적 경조직 고정장치), 2003.
7. 최귀원, "노인성 질환 치료를 최소침습 수술기술," 기계저널, 2004 (개재예정)
8. 생산기술연구원, "실버산업 기술개발을 위한 연구기획," 2002.
9. 보건산업진흥원, "보건산업기술동향," 2001.