

생명 연장의 꿈, 바이오 인공장기

The dream of life extension, bio-artificial organs

김 수 진 (간호학과)

SUJIN KIM (Dept. of Nursing)

Key Words : artificial organs(인공장기), bioethics(생명윤리),
artificial heart(인공심장), future medicine(미래의학)

ABSTRACT : Despite the development of innovative medical technology, the treatment of end-stage organ failure patients is ultimately organ transplantation. For organ transplantation, bio-artificial organs and electronic artificial organs are being used, and the development of artificial blood vessels, artificial skin, artificial bladders, and artificial breasts is accelerating. For strict evaluation of the stability and reliability of these surgical implant materials, international standards commonly used worldwide are being used, and biomaterial output methods using 3D printers are also being actively developed. However, in Korea, the number of organ donations is decreasing due to a lack of awareness about organ transplantation and legal and institutional problems. Therefore, in anticipation of more innovative development of artificial organs, it is time for institutional improvement and awareness change at the national level regarding organ donation in Korea.

1. 서론

현재 질병의 양상이 복잡해지고 다양해지면서, 만성 장기부전(chronic organ failure)에 다다른 환자들이 증가하고 있다. 최신 의료기술의 발달로 많은 질병과

치료에 대한 표준치료방안이 정립되고 있지만, 아직도 말기 장기부전 환자에 대한 치료는 그 해답이 얻기 어려운 실정이다. 대부분 말기장기부전 환자의 최후 치료 방법은 장기이식 방법이며, 현재 장기이식이 활성화되고 치료 방법 또한 안정화 단계에 이르렀다. ⁽¹⁾

장기이식은 크게 뇌사자로부터 장기를 이식받는 방법과 최신 개발의 속도를 높이고 있는 바이오 인공장기가 있다. 인공장기(artificial organs)는 사람의 손상된 기능이나 결손된 장기 및 인체의 부위를 대체하는 데 사용되는 기계, 장치, 또는 물질을 뜻하며 인공신장 및 인공심장 등이 그 대표적인 예이다. ⁽²⁾

이 글은 현재 의료과학 분야에서 인공장기의 발달 상태를 확인하고, 우리나라의 임상 상황에서 인공장기 이식 현황을 살펴본 후 앞으로 논의가 필요한 의료법적 문제, 사회적 합의에 관한 이슈들, 4D 프린터를 이용한 바이오 인공장기의 개발과 장·단점 등을 생각해 보고자 한다.

2. 본론

2.1. 바이오 인공장기 정의 및 분류

2.1.1. 인공장기의 정의

인공장기는 기능이 불완전한 장기를 대신하기 위해 인체에 적응시킨 인공적 장기로 정의한다. 인공장기는 유전병, 질병, 사고 등으로 기능을 상실한 인체의 조직 및 기관을 생체 조직학적 기반에서 물리·화학적, 기계적, 생리적 기능을 단시간에 회복하고자 하는 것이다. 인공장기는 줄기세포, 생체조직, 동물의 장기(바이오 이종장기)를 이용해 만든 바이오 인공장기와 전기, 기계를 이용해 제작한 전자기기 인공장기로 구분할 수 있다. 인공장기 개발을 위해서는 다양한 학문 분야의 결합을 통해 하나의 인공장기 구현이 가능하며 그중 중요한 하나의 요소가 인공장기를 구성하고 있는 재료이다. 따라서 인공장기를 신소재와 기계공학이 결합 되어 있는 분야라고 할 수 있는데, 이를 생체재료(bio-materials)라 부른다. 생체재료로서 요구되는 특성 중에서 필수 불가결한 특성은 생체적합성이다. 생체적합성(bio-compatibility)이란 인공막과 혈액 사이에 발생하는 상호작용에 대한 전신반응에 관련된 용어으로써 혈액의 구성 성분에 나쁜 영향을 초래하지 않는 것을 말하며, 이와 아울러 기계적, 물리적 성질 및 성형 가공성이 그 사용 목적 및 용도에 따라 요구된다. 가장 핵심적인 내용은 사람이나 동물

의 세포를 체외에서 배양하여 뼈, 연골, 간, 신장, 피부 등의 인공장기를 만드는 것으로 이 기술을 적용한 인공장기를 “하이브리드(hybrid)형 인공장기” 또는 “바이오 인공장기”라고 한다. ⁽³⁾

2.1.2. 인공장기의 분류

인공장기의 개발 기술은 인체 내의 장기가 그 기능의 전체 혹은 일부를 상실하였을 때 이를 인공적으로 대체하여 기능을 회복시키기 위한 제반 기술 분야이다. 골근육계, 감각 및 발성계, 순환계를 비롯한 기타 인공장기와 미래 첨단 인공장기에 관한 연구 등이 이에 포함된다. 인공장기 기술은 두 가지 측면에서 분류할 수 있다. 첫째는 일반적인 기술 분류로 인공장기의 개발로 대체될 수 있는 인체 부위에 따라 구분한 것이다. 둘째는 인공장기에 사용되는 생체재료에 따른 분류로 혈액 접촉 재료, 조직 결합성 재료, 대사계 생체재료로 구분할 수 있다. ⁽⁴⁾

2.1.3. 인공장기 연구개발 동향

최초의 인공장기인 인공 뼈를 시작으로 인공 신장, 인공 혈관, 인공 심장에 이어 근래에는 뇌와 일부 위장관 및 내분비 기관을 제외한 거의 모든 장기의 인공화에 대한 연구가 이루어지고 있다. 현재 임상에 응용되고 있는 인공장기로는 인공 피부를 비롯해 수십 종에 이르며, 특히 의료용 생체 재료의 연구가 활발해짐에 따라 우수한 기능을 지닌 인공 신장과 인공 심장이 개발되고 있고, 인공 간 및 인공 췌장에 대한 연구도 활발하다. 국외에서 세포조직 공학을 이용한 인공장기 제조기술은 미국이 가장 앞서 있으며, 미국은 이미 인공 피부와 인공 연골을 상품으로 만들어 내놓고 있다. 이들 인공장기는 연구 특성상 대부분 벤처기업으로 출발해 현재 어드밴스티슈사이언스(Advance Tissue Science : ATS), 바이오메트릭스(Biometrics), 크리에이티브바이오(Creativebio) 등 100여개 업체가 인체 부품을 만들어 내고 있다. 미국이 이렇게 인공장기 개발에 심혈을 기울이고 있는 것은 막대한 인공장기 시장을 의식한 것 이외도 윤리적 문제를 피할 수 있는 대안이기 때문이다.

인공조직, 인공장기는 이제 제품화가 가능한 기술로 받아들여지고 있으며, 임상 치료에서도 새로운 치료방법으로 제시되어 다양한 제품이 FDA에 승인이 되고 있다. 상품화가 되었거나 지금 이상 임상시험 중인 인공장기는 피부, 연골, 간, 방광, 유방 등이 있다. ⁽⁵⁾

2.1.4. 인공장기 표준화 동향

최근 인공 관절, 인공 가슴, 인공 심장판막 등 영구적으로 인체에 이식되는 “외과용 이식재”에 대한 국제 표준이 국내서 논의, 제정되고 있다. 체내 이식형 의료기기는 결함이 발생하면 인체에 치명적인 위해를 줄 수 있다. 따라서 대부분 국가에서 기술규정, 인증 등의 방법으로 제품의 안전성과 신뢰성을 엄격히 규제, 평가 방법으로 국제 표준을 활용하고 있다. 국내의 경우 의료기기 품목 및 품목별 등급에 관한 규정, 의료기기 시험방법 가이드 라인 등을 통해 안전성을 판단한다. 외과용 이식재 소재를 포함해 심혈관 이식재, 스텐트(stent), 인공 관절, 인공 뼈 등 다양한 이식재의 안전성과 성능 시험방법을 마련하기 위해 노력 중이다. ⁽³⁾

2.2. 3D 프린터 이용 인공장기

2.2.1. 3D 프린터 이용 인공장기 개발 동향 및 전망

2.2.1.1. 3D 프린터 산업 개요

3D 프린터는 미세한 양의 액체 혹은 분말 가루를 조금씩 분사해 층을 쌓아가면서 굳혀서 물건을 만드는 방식으로, 3D 프린터 기술은 완구용 캐릭터 미니어처, 보석 및 액세서리 등 소비재에서 자동차 외관, 전투기용 티타늄 부품, 정밀기계까지 쓰임새가 다양하다. 인공 간세포와 기관지, 치아 임플란트 등 이식용 인공장기까지 설계 도면만 있으면 제작이 가능해졌다. 이처럼 의료, 기계, 전자 등 거의 모든 산업에서 활용 가능하여 3D 프린터 기술은 차세대 성장동력 산업으로 꼽힌다. 시장조사기관 Wohlers Associates 에 따르면 2012년 47억 달러(약 4조 8010억원)이던 시장은 2023년에는 261.9억 달러에 이를 정도로 성장할 것으로 내다봤다. 3D 프린터 산업에 공격적으로 투자하고 있는 국가는 미국, 독일, 중국이다. 미국은 제조업 부흥을 위한 10개 핵심 제조기술 중 하나로 3D 프린팅 기술을 선정하고, 큰 규모의 투자도 발표하고 있다. 반면 국내 기업 중 3D 프린터 생산기술을 독자적으로 보유한 기업은 소수에 불과하여 앞으로 더 많은 투자와 산업 육성이 필요할 것이다. ⁽³⁾

2.2.1.2. 3D 프린터 이용 인공장기 개발 동향

꾸준하게 성장해 온 3D 프린터는 단순히 집에서 필요한 제품을 만드는 일뿐 아니라 의학 분야에서 특히 외과 및 생명공학 분야에서는 3D 프린터가 중요한 도구로 여겨지면서 인간의 세포조직을 프린트하는 기술에 대한 연구개발을 진행하고 있다. 이

미 의수나 의족과 같이 비교적 제작이 단순한 신체 부위를 만들기 위해 3D 프린터를 사용하는 것은 최근 10년간 미국 내에서 상당히 보편화되어가고 있다. 또한 3D 프린터로 제작한 조직은 환자 자신의 몸에서 채취한 세포 조직을 체외에서 배양하여 프린트하는 것으로 타인의 장기 이식시 발생 되는 면역억제제 약 복용과 거부반응 등의 위험 없는 이식이 가능해진다.

3D 프린팅으로 실용화에 가장 근접한 장기는 간이다. 간은 스스로 재생하는 능력이 뛰어나기 때문에 간경화나 간암으로 손상된 부분을 떼어내고 나머지 정상적인 부분에 체외에서 배양한 정상 간세포를 3D 프린터로 프린트해서 일부 이식하면 타인의 간을 제공 받는 것보다 더 수월하게 회복될 수 있다. 또한 치과에서는 이미 3D 프린터가 활발하게 사용되고 있다. 환자의 턱뼈를 스캔해서 3D 프린터로 모조 턱뼈를 만들고 임플란트 수술을 하기 전에 충분히 복제품으로 연습을 한 후에 임플란트를 시행해서 의료사고를 줄이고 있다.

한편, 3D 프린터로 인공조직을 만드는 방식은 크게 두 가지로 나뉜다. 3차원 틀을 찍어낸 뒤 그 안을 인간 세포로 채워 발육시키는 방법과 줄기세포 등 생체재료를 직접 출력해 곧바로 인공조직을 만들어 내는 방법이다. 세계적으로 두 가지 모두 시도되고 있고, 성공 사례도 보고되고 있다. 실례로 미국 메사추세츠 종합병원 연구팀은 3차원 귀 모형에 소의 콜라겐 결합조직과 양의 귀 연골세포를 입히는 방식으로 “인공 귀”를 만들었다. 국내에서는 서울성모병원 의료진은 3D 프린터로 만든 인공 얼굴 뼈 보형물을 이식하는 데 성공하였다. ⁽⁶⁾

2.3. 인공심장 개발 동향 및 적용 실태

2.3.1. 인공심장 개념 및 분류

2.3.1.1. 인공심장 개요

심장혈관질환은 심장과 주요 동맥에 발생하는 질환으로서 주요 혈관계 질환은 대동맥, 폐동맥, 목동맥, 뇌혈관, 신장동맥, 하지동맥 등 주요 동맥이 막히거나 늘어나거나 터지는 출혈이 일어나는 질환이 있으며, 주된 원인으로 죽상경화증, 고혈압, 퇴행성 변화, 유전병 등을 들 수 있다. 좌심실 기능 부전에 따른 심부전 진행으로 약물이나 수술로 치료할 수 없는 경우 마지막 수단으로 인공 심장(artificial heart)을 사용하게 된다. 이러한 인공심장은 심장근육이나 혈관 등에 이상이 생긴 환자가 정상 박동을 유지할 수 있도록 도와주는 장치이다. 최근 보조장치의 크기와 무게가 축소되어 몸

안으로 완전히 이식될 수 있는 기술에 이르렀고, 원래 심장이 있던 자리에 대신 대체 되어 온몸을 지탱해주는 새로운 완전 이식형 인공심장이 미국에서 처음 개발되었고, 환자는 인공심장을 이식받고 일상으로 복귀도 가능해졌다. ⁽⁷⁾

2.3.1.2. 인공심장의 분류

인공심장을 기능에 따라 분류하면 전체 심장 기능을 대신하는 완전인공심장(TAH, total artificial heart)와 부분적으로 기능을 대신하는 심실보조장치(VAD, Ventricular Assist Device)로 나눌 수 있다. 심실보조장치는 그것이 자연 심장의 어느 부분을 보조하는가에 따라서 좌심실 보조장치(LVAD: Left VAD), 우심실 보조장치(RVAD: Right VAD), 그리고 양심실 보조장치(BVAD: Biventricular Assist Device)로 분류할 수 있다. 이런 완전 인공심장 장치는 그 사용 목적에 따라 그 이상의 치료행위를 전제로 하지 않고 영원히 이식되는 경우와 자연 심장이식을 전제로 그 이전까지 일시적으로 이식되는 가교로서 응용되는 경우로 나눌 수 있다. ⁽⁸⁾

2.3.1.3. 인공심장의 필요성

선진국일수록 심장질환에 의한 사망률이 높으며, 우리나라에서도 심장질환으로 인한 사망자 수와 비율이 증가하는 추세이다. 세계보건기구(WHO)의 조사에 따르면 2011년의 전세계 사망원인 1위가 허혈성 심장질환으로 나타났다. 또한, 국내 심장이식은 공급이 수요에 대비해 부족하며, 국내 심장이식 대기자의 수는 2014년 10월 기준으로 468명으로 수요에 턱없이 부족한 현실이다.

2.3.1.4. 인공심장 이식과 관련 동향

국내 의료업체인 씨유메디칼은 세계 최대 심장센터를 보유한 미국기업(Cleveland Heart International, Inc.)과 공동으로 인공심장 개발 사업에 참여하였다. 또한 프랑스에서 심장 전체를 대체하는 완전 인공심장 이식수술이 두 번째로 이뤄졌다. 하지만 2013년 12월 카르마의 첫 번째 인공심장 이식수술을 받은 76세 환자는 수술 75일 만에 심장마비로 사망한 바 있으며, 2016년 12월 프랑스 언론 보도에 따르면 3년 동안 5명이 사망하는 결과를 초래해 잠정적 수술 중지가 내려졌다고 한다.

한편, 영국의 에이버태이 대학 연구팀은 자체적으로 뛰는 작은 심장 배양에 성공했다고 발표했다. 지름 1mm의 극히 작은 이 심장은 줄기세포로 만들 것으로 분당 30번을 뛰며 건강 상태도 매우 양호하였다고 보고 하였다. 연구팀이 이렇게 작은 심장

을 만들어 낸 것은 인간에게 이식하는 용도는 아니다. 심장이 비대해져 갑자기 사망에 이를 수도 있는 심장비대증을 치료하기 위한 실험체로 개발되었다고 한다.

2.3.1.5. 국내 인공심장이식 현황

삼성서울병원 심장혈관센터 이영탁, 전은석 교수팀은 2012년 8월 인공심장 수술(LVAD)을 실시하였고, 2018년 10월까지 20명의 환자에게 인공심장을 이식했다. 이번에 쓰인 인공심장은 미국의 인공 보조 심장 전문 제조사인 소라텍사의 ‘하트메이트 II’란 제품으로 혈액펌프가 구동해서 좌심실과 대동맥 사이에서 혈액 흐름을 보조하며, 경피케이블(percutaneous cable)을 통해 외부 시스템제어기 및 외부 전원 공급장치와 연결되어 있는 형태의 좌심실 보조장치이다. 시스템제어기와 배터리 2개를 합치면 약 2KG이 조금 덜 되며 조끼나 벨트 형태로 편하게 착용하면 된다. ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

현재까지 삼성서울병원은 인공심장 이식수술을 25건 정도로 시행하였으며, 한국의 인공심장 2년 생존률 80% 정도로 보고되고 있다.

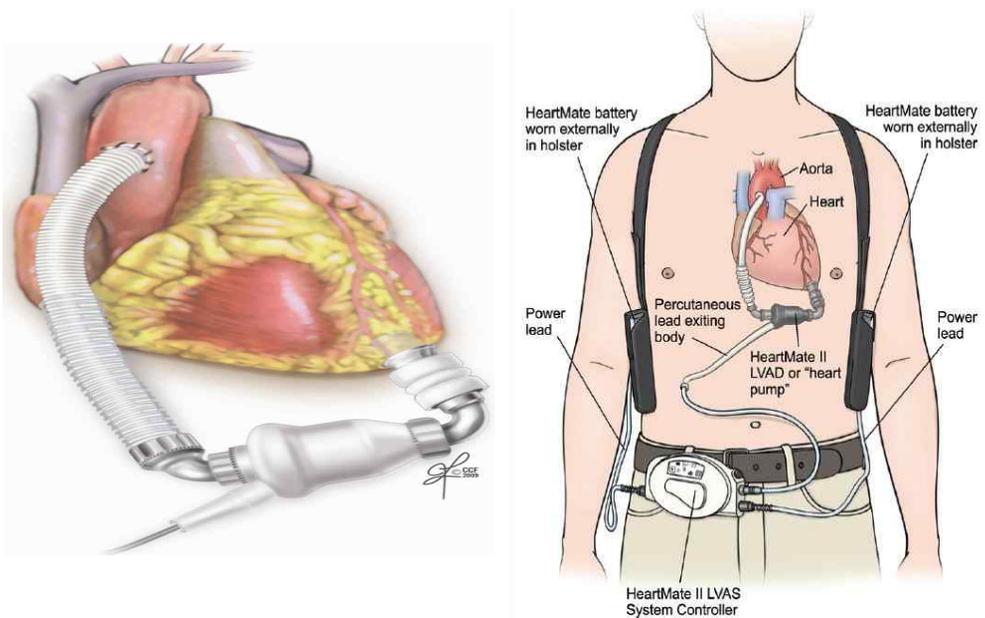


Fig 1. Schematic diagram of HeartMate II

2.3.2. 장기이식에 관한 법률안 검토

우리나라에서 장기이식에 관한 사회적인 윤리 문제는 1990년 강동성심병원에서 뇌사자 이식문제로 시작해 대한의사협회 등의 노력 끝에 2000년 2월 9일 “장기 등 이식에 관한 법률”을 제정되었다. 그 후 4년간 법률을 바탕으로 장기이식이 이루어졌으며 문제점을 보완하여 2003년 3월 개정된 법률이 발표되었다. “장기 등 이식에 관한 법률”에 대해 전체적으로 지적된 문제는 국가가 장기이식을 독점 관리함으로 뇌사자의 이식용 장기기증 건수가 감소하였다는 점이다.⁽¹⁰⁾ 이러한 문제의 배경이 되는 원인은 동의, 뇌사판정, 장기 분배, 살아있는 자에 대한 이식 시 순수성 평가 방식 문제 등이며, 이에 대해 현행법의 문제 제기에 주안점을 두고 살펴보고자 한다.

2.3.2.1. 동의 문제

2003년 제정된 법률에는 장기기증자가 살아있을 때 자기의 의사를 표시한 자기 결정권과 가족(유족)의 사망자에 대한 보고권 간에 동의의 문제가 있다. 현행법상으로 장기이식을 할 때 “동의” 부분에서 문제가 되는 것은 선순위자가 없을 때 차순위를 인정하는 것인데, 법에서 정한 차순위는 가족(유족)이 없는 경우 4촌 이내의 친족까지 하고 있으며, 그 이상에 대한 언급이 없다. 즉 4촌 이내가 없는 경우도 있을 수 있고, 뇌사자가 동의하였더라도 가족의 반대 시에는 장기이식을 할 수 없다는 규정이 있으며, 이와 더불어 고아 뇌사자의 경우에 사전에 장기 등 적출에 관해 동의한 경우에도 현재는 뇌사 기증자에서 제외되었다. 결국 뇌사자의 기증여부에 대한 동의의 경우 본인의 의사보다는 가족들의 동의에 따라야 한다는 것이 법률상의 문제이다.⁽¹¹⁾

2.3.2.2. 뇌사판정 문제

뇌사판정에 대한 논의는 뇌사를 죽음으로 인정한다는 전제하에 이루어져야 한다. 뇌사판정에서 가장 중요한 것은 뇌사판정의 신속함과 정확성에 있다. 뇌사 발생으로부터 장기이식까지 소요 시간과 관련하여 뇌사자의 장기 기능 상태를 최고로 유지하는 것이 요구되기 때문이다. 기증자로 판정이 날 때까지 걸리는 시간이 연장될수록 장기의 기능 저하, 관리에 따르는 비용 증가 등으로 뇌사자나 수혜자 양자에게 불리할 수 있다. 그러므로 뇌사판정은 신속하고 정확하게 이루어져야 한다. 이러한 점을 고려할 때 우리나라의 뇌사판정 문제점은 뇌사판정을 하는 의사의 숫자, 뇌사판정 위원회의 구성 및 소집 시간의 연장, 뇌사판정 내용 등의 엄격함으로 인하여 뇌사자가 발생한 시점에서부터 장기이식까지 시간이 많이 소요된다는 것이다. 뇌사조사서 첨부

를 위해 의사 3인이 함께 작성하여야 하며, 주말이나 휴일의 경우 뇌사판정위원회 소집 기간이 더 오래 걸린다. 뇌사판정을 위해서는 뇌사판정기준에 따라 성인의 경우 6시간 간격으로 2회에 걸쳐 뇌사 조사와 뇌사판정 위원회의 회의를 통해 판정을 받아야 하는 어려움이 있다.

2.3.2.3. 장기 분배 문제 : 뇌사판정대상자 전문의료기관(HOPO)에 우선권을 주는 문제

장기 분배의 원칙은 장기 대기자들에게 정의로운 분배가 이루어져야 한다는 점이다. 생명에 대한 기본권은 만민이 동등하게 건강과 생명의 보호를 위해 배려받을 권리를 지님을 의미한다. 이러한 권리는 사회·경제적 상황과 무관하게 또한 사회에서의 유용성에 무관하게 최상의 진료를 받을 권리로 보장된다. 장기 등 이식에 관한 법률 5조에는 '장기 등의 이식을 필요로 하는 모든 사람이 장기 등을 공평하게 이식받을 수 있는 기회가 보장되도록 하여야 하며, 장기 등의 적출 및 이식이 적정하게 이루어지도록 하여야 한다'라고 명시되어 있다. 그와 상반되는 것으로 제 18조에는 '뇌사자 관리 하고 있는 법 제 16조의 규정에 의한 HOPO에 등록된 신장이식 대기자 1인'이라고 되어 있다. 상기 조항은 HOPO에게 장기이식 우선권을 주는 것으로 일차적으로 뇌사자 관리를 적극적으로 유도하는 목적으로 만들어진 법률이다. 이 경우에 우리나라의 HOPO만 혜택을 받게 되므로 전체 장기 이식병원에 미치는 영향은 크다. HOPO인 경우는 이식의 기회가 늘어나므로 이식 대상자들이 몰릴 우려가 있으므로 전국민적인 차원에서 공평성과 형평성에 어긋난다. 우리나라의 뇌사자 적출이 가능한 병원은 14곳 정도이고, 이런 특정 병원에 혜택이 몰려 환자들의 선택이 제한될 수 있다. 또한 이식 건수에 의해 결정되는 이식 지정 병원의 존폐에도 영향을 미칠 것이며 현대식 장비와 기술을 겸비한 HOPO들의 특화는 당연한 결과라고 할 수 있으나 전국민들에게 의료의 혜택은 골고루 주어야 하는 형평성을 고려하지 않을 수 없다.

2.3.2.4. 살아있는 자로부터 이식 시 순수성 평가 방식의 문제

살아있는 자(생체)의 장기기준에 대한 순수성 평가는 장기 등의 매매행위를 금지하기 위한 목적으로 각 기관에서 관련 직원들과 보증인들이 관여하여 이루어지고 있다. 단지 기증자가 작성한 '신청서와 동의서류' 그리고 자체 순수성 평가로 이식을 진행할 수 있도록 기관장이 승인을 하는 경우가 대부분이다. 그러므로 순수성 평가과정의 형식에 그쳐 법적인 승인하에 매매거래를 할 수 있는 여지가 있다. 자신이 원하지 않는 이식을 강요 당하는 경우도 있으며 미성년자인 16세 기준으로 본인과 부모의 동

의로 결정하는 것도 문제이다. 따라서 조사 관리자, 조사 서류 확인 방법, 동의서, 미성년자 보호, 기증 후 발생 되는 기증자의 처우 등에 대한 개선이 필요하며, 타의에 의한 이식 강요도 해결되어야 한다.

3. 결론

앞서 살펴보았듯이 말기장기부전 환자의 최후 선택은 장기이식 수술이다. 이들의 삶은 끝없는 기다림의 연속이다. 과학의 발달로 이제는 그들의 또 다른 삶을 위해 생체 장기이식과 인공장기 이식이 활용될 수 있다. 하지만 앞으로 사회적으로 논의되어야 할 문제는 아직 많다. 우리나라의 경우는 '장기 등 이식에 관한 법률'이 2000년에 제정되어 시행되고 있으나 법 규정이 엄격하여 뇌사자를 포함한 장기기증이 줄어들고 있고, 장기기증 홍보 역시 미미하여 장기부족이 심각하다. 장기기증에 대한 사회적 인식은 이후 많이 개선되었으나 사망 후 실제 기증으로 이어지는 사례는 아직 10% 미만으로 보고되고 있으며, 제때 장기를 이식받지 못해 매년 200 - 300명이 숨지고 있다. 하여 인공장기에 대한 의생명과학의 혁신적인 발전을 기대하며, 생체장기 이식도 활성화될 수 있도록 사회문화적, 법률적, 의료복지 측면 등 다각적 노력을 기울여야 한다.

참고문헌

- (1) Malchesky P. S., 2020, Artificial Organs 2019: A year in review. *Artificial organs*, 44(3), 314-338. <https://doi.org/10.1111/aor.13650>
- (2) 곽진영, 2007, 뇌사자 장기이식과 장기 등 이식에 관한 법률. *대한이식학 회지*, 21(1), 1-3.
- (3) 바이오 인공장기 및 생체재료 기술, 시장동향. *임팩트출판사*, 2014, 155-185.
- (4) 강길선, 이일우, 이종문, & 이해방, 2002, [일반총설] 조직공학을 이용한 인공 장기 산업화의 현황. *Polymer Science and Technology*, 13(2), 226-232.
- (5) Yun, J. Y., & Jeon, J. H., 2004, 생체세라믹스 기술개발 현황. *기계와재료*, 16(3), 21-30.
- (6) 박소현, 임상구, 양승윤, & 김세현, 2015, [기획특집: 3D 프린팅 기술] 생체 의료 분야 응용을 위한 3D 프린팅 기술. *Korean Industrial Chemistry News*, 18(1), 67-78.
- (7) 선경, 손호성, 정재승, 정봉규, 이성호, 신재승, 김광택, 이해원, 민병구, 김형묵, 2002, 한국형 인공심장 (AnyHeart) 의 임상경험. *Journal of Chest Surgery*, 35(7), 548-552.
- (8) Saeed, O., & Jorde, U. P., 2017, Advances in continuous flow left ventricular assist device support for end-stage heart failure: a therapy in evolution. *Cardiology in Review*, 25(2), 84-88.
- (9) Saeed, O., Shah, A., Kargoli, F., Madan, S., Levin, A. P., Patel, S. R., ... & Jorde, U. P., 2016, Antiplatelet therapy and adverse hematologic events during Heart Mate II support. *Circulation: Heart Failure*, 9(1), e002296.
- (10) Sathishkumar, S., Kodavatiganti, R., Plummer, S., & High, K. (2012). Perioperative management of a patient with an axial-flow rotary ventricular assist device for laparoscopic ileo-colectomy. *Journal of anaesthesiology, clinical pharmacology*, 28(1), 101.

- (11) 정연철, 2008, 장기이식에 관한 헌법적 고찰: 일본과 독일을 중심으로. 공법학 연구, 9(2), 183-207.
- (12) 한성숙, 홍현자, & 전희옥, 2004, " 장기등이식에관한법률" 의 내용 및 시행상의 문제점 및 개선점. 한국의료윤리학회지, 7(1), 15-34.