

의공학 기술을 이용한 바이오 의료 기술 - 초음파 기술을 중심으로

민병현, 최병현(아주대 세포치료센터), 윤정호, 이현정(리젠프라임)

I. 서론

21세기에 접어들면서 정보기술과 의공학기술, 바이오기술 등이 접목되고 발달을 거듭하여 국민 건강과 삶의 질 향상으로 인한 평균수명이 증가하는 추세이다. 또한 복지시설의 발달과 경제적 능력이 향상됨에 따라 수명의 연장 뿐만 아니라, 삶의 질에 대한 관심이 급속히 고양되고 있어 의료 수요의 급격한 증가를 부추기고 있다. 분자 과학, 유전자학과 같은 과학 기술은 바이오 기술과 접목되어 환자 특이적인 맞춤 치료의 기술 개발을 가능하게 하고 있다. 특히 세계적으로 유례를 찾아볼 수 없는 급격한 고령인구의 증가를 보이고 있는 우리나라 현실에 있어서 바이오치료 산업은 무한한 시장 잠재력을 갖고 있고, 노동력 복원, 독립생활 보장 등 사회·경제적인 측면에서도 큰 중요성을 갖는다고 볼 수 있다. 이와 더불어 장기 조직 재생 및 치료를 위한 최첨단 의료기기의 개발을 위한 연구가 진행 중이며, 그 중 기존의 침습적인 치료 방법의 불편함을 최소화 할 수 있는 초음파 치료기의 개발에 주목할 필요가 있다.

본 고에서는 최근 각광받고 있는 초음파 치료기를 이용하여 적용 가능한 치료분야 및 최신 개발동향에 대해 언급하고자 한다.

II. 본론

1. 초음파의 정의

초음파란 인간의 귀로 들을 수 없는 높은 주파수를 갖는 음파(acoustic wave)로서 가청음역의 주파수 20-20kHz를 크게 상회하는데, 임상에서 일반적으로 사용되는 주파수는 3-10MHz이다. 임상에서의 초음파를 크게 두 가지로 분류하면, 진단용(diagnostic ultrasound)과 치료용(therapeutic ultrasound)으로 나누어 볼 수 있다. 초음파는 1950년도 후반에 도입된 이래로 지속적인 연구 및 개발이 이루어져 왔으며, X-ray 다음으로 진단 영상(diagnostic imaging)에 많이 사용되어지고 있다. 초음파검사 촬영은 간이나 콩팥 등의 복강 내 장기는 물론, 최근에는 연골, 뼈, 인대, 근육 등의 골 근육계(musculoskeletal system)에서도 많은 기술적 진전이 있어왔다.

초음파 영상의 원리는 트랜스듀스(transducer) 부터 발생한 초음파가 목표지점에 도달한 뒤, 다시 되돌아오는 신호(reflected wave)를 영상 처리 시스템을 이용하여 2차원상의 이미지로 나타낸다. 이러한 진단 영상에 기초한 특정 질환의 정확한 진단과 처방은 치료효과를 배가시킬 수 있다.

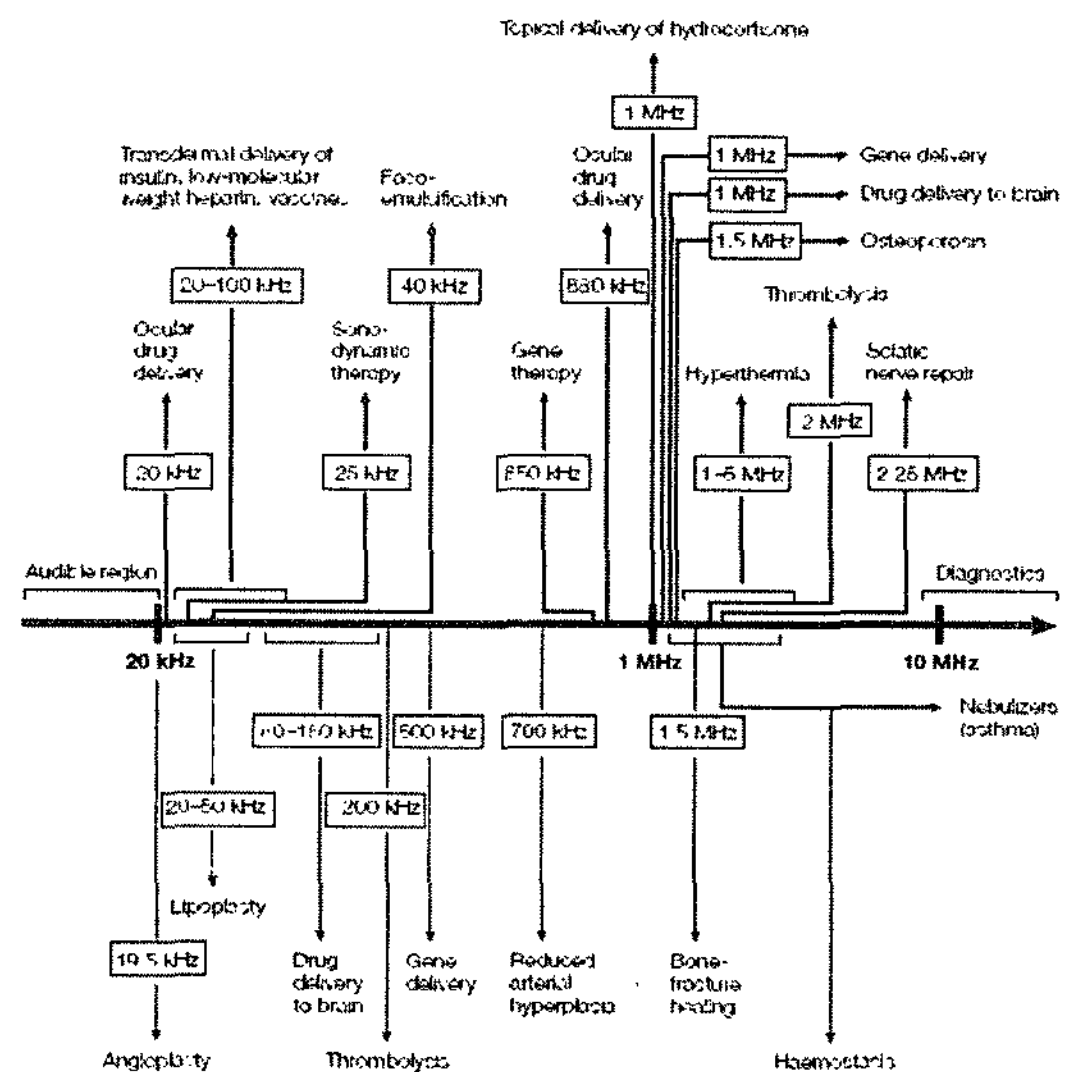
치료목적의 초음파 제원은 그 목적에 적합하도록 다양한 종류의 강도(intensity)와 주파수 (frequency)를 가진다. 효과적으로 골절 부위를 아물게 하는 치료효과(bone fracture healing)는 오래 전부터 임상결과에서 긍정적으로 나타났고, 최근에는 연골치료에까지 그 영역을 넓혀가고 있다. 다른 활용분야로서는 고온 치료 (ultrasound for hyperthermia)가 있는데, 초음파에서 발생하는 고온(thermal energy)을 이용하여, 암과 같은 조직을 절개 수술 없이 비침습적으로 (noninvasive surgery), 그리고 항암치료의 심각한 부작용을 최소화 하면서 치료효과를 보고자 하는데 그 의미가 있다. 쓰이는 목적에 따라서 기존의 방사선과 결합된 형태로서의 초음파 고온 치료기는, 열 방사치료(thermoradiotherapy)가 가능하도록 고안되었다.

2. 초음파의 응용분야

초음파의 응용연구로서는 유전자 전달(gene delivery) 및 약물 전달 (drug delivery)분야가 있다. 효과적인 유전자 전달을 위해, 특정 유전자를 기존의 방법과는 달리 초음파를 이용해서 세포막의 투과성 (cell membrane permeability)을 일시적으로 높여 필요한 유전

자를 세포내로 전달하는 방식을 취하며, 초음파 사용에서 우려되는 세포손상은 거의 없는 저주파수 초음파(20-100kHz)가 사용된다. 약물 전달의 정확한 기전은 아직 밝혀지지 않았지만, 투여하고자 하는 특정부위에 약물을 효과적이며 정확하게 전달함으로써, 기존의 전신투여(systemic delivery)의 부작용을 최소화하는 이점이 있다. 피부를 통한 약물 전달 외에도 최근 연구에 의하면 무릎 관절 내 활액막 (synovial membrane)에서 고분자 약물의 투과성이 초음파 적용시 증가되는 결과들이 보고되고 있다. 이외에도 초음파 기술을 응용해서 인슐린을 모니터링 할 수 있는 시스템도 개발되었다.

이러한 임상과 기초연구에서의 성과들을 바탕으로 초음파에 대한 연구 및 개발이 앞으로 더욱 활발히 진행되면서 새로운 의료기술이 개발되고 상품화되리라고 예상할 수 있다.



〈그림 1〉 A partial summary of ultrasound frequencies used for medical applications. (Nature Reviews Drug Discovery, 2005)

3. 치료용 초음파(therapeutic ultrasound)

치료목적의 초음파는 치료 목적에 따라 다양한 종류의 강도(intensity)와 주파수 (frequency)를 가지며, 피부 재생 및 이미용, 골유합, 지방 제거, 연골치료 및 치아재생, 약물전달 등 여러 분야에 걸쳐 적용되고 있고 대개 물리치료용으로 가장 많이 보급되어 있다.

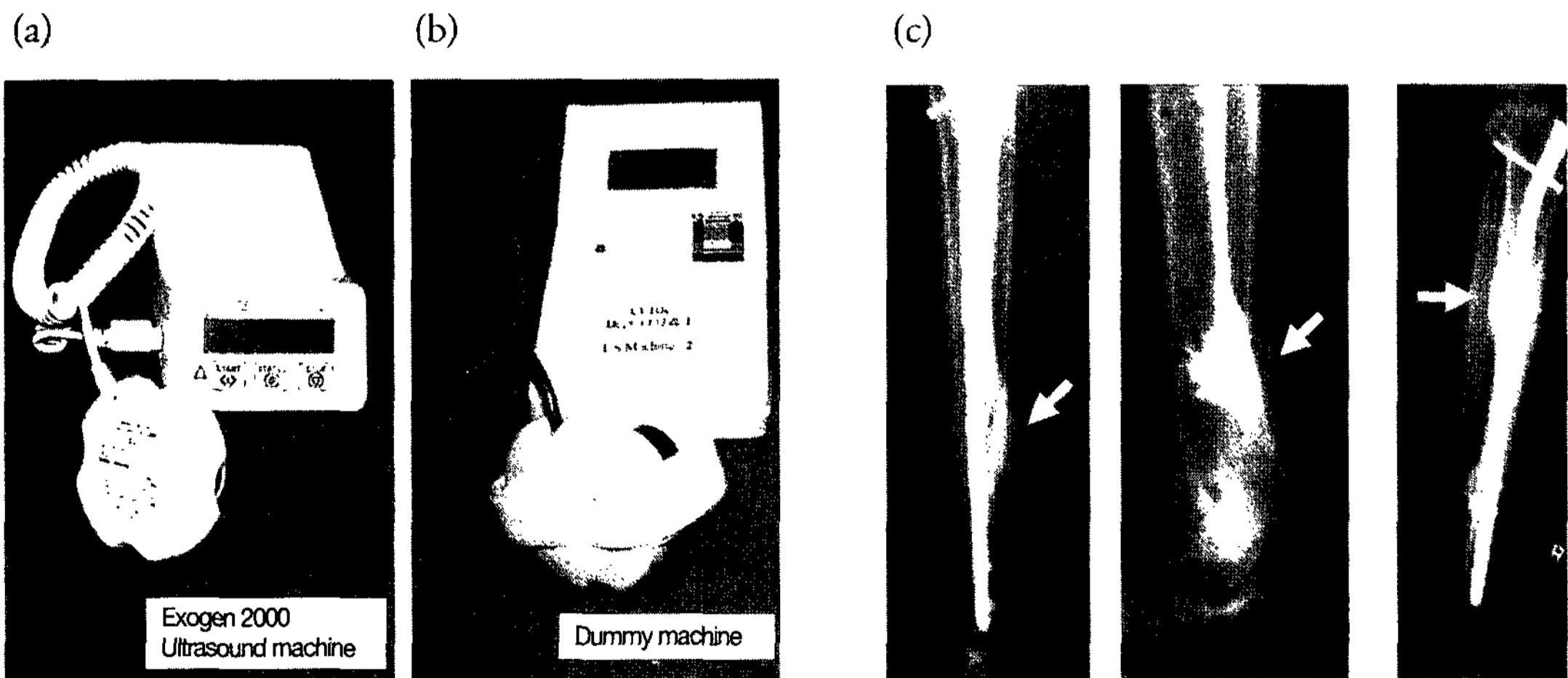
3-1. 골절 접합 (bone fracture healing)

뼈가 부러진 경우, 초음파가 아주 효과적으로 골절 부위를 아물게 하는 치료효과는 오래 전부터 임상결과에서 나타나고 있다. 독일의 Smith & Nephew에서 개발된 저강도 초음파 치료기로 복합골절 환자 (n=16) 에게 저강도 (30mW/cm²)의 초음파를 20분씩 90일을 처치

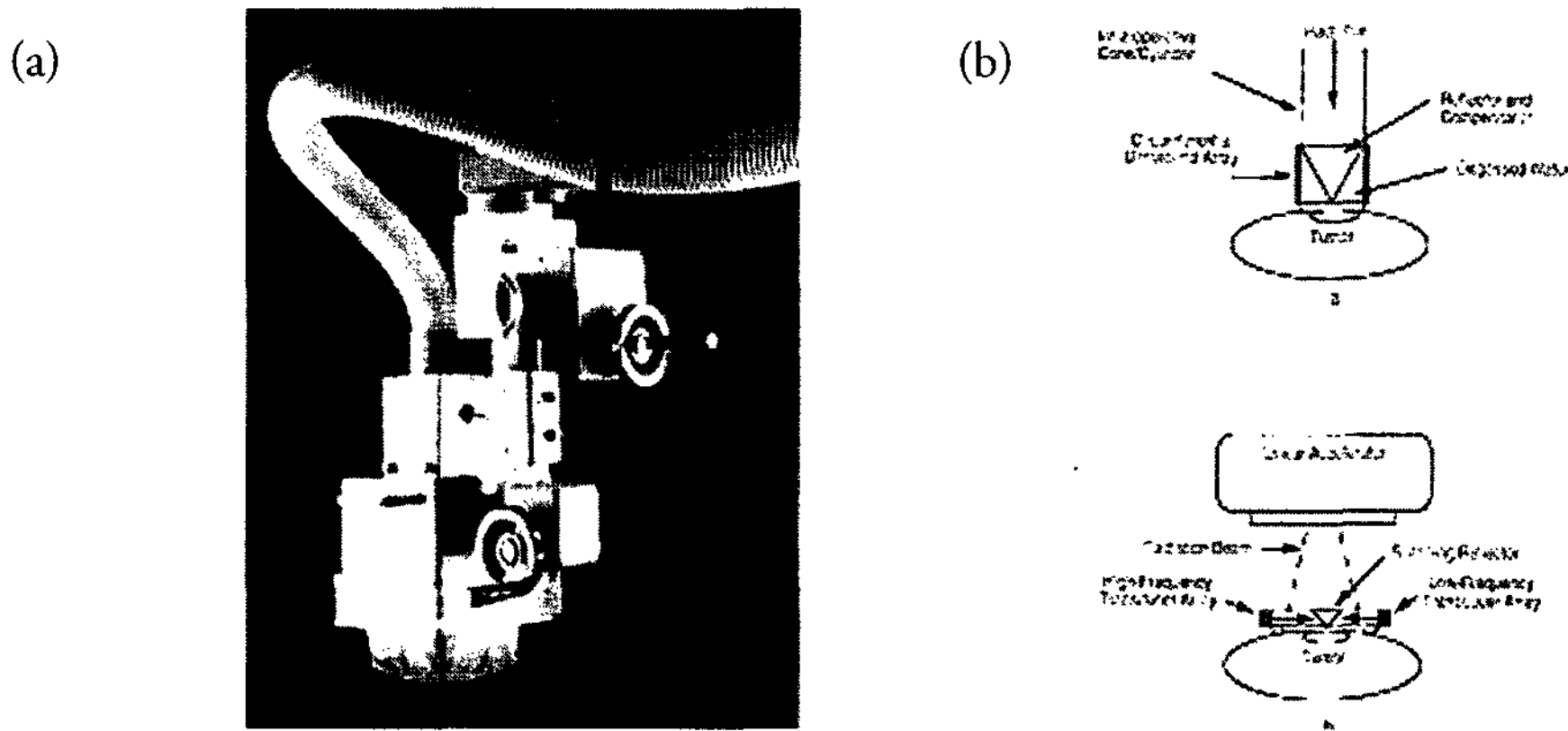
한 결과 초음파를 처리하지 않은 대조군에 비해 짧은 시간에 가골형성(callus)이 나타나는 등 상당한 치료효과 (statistically significantly better healing)를 보였다 (그림 2) (Leung et al. 2004, *Ultrasound in Med. & Biol.*, 30, p389-95).

3-2. 고온 치료(ultrasound for hyperthermia)

초음파에서 발생하는 고온을 이용하여, 암과 같은 조직을 절개 수술을 통하지 않고, 항암치료의 심각한 부작용을 최소화하여 치료 효과를 극대화할 수 있다. 임상에 쓰이는 목적에 따라서 다양한 형태의 초음파 고온 치료기가 있는데, 아래 그림 3에서 보는 시스템은 치료목적에 따라서 초음파의 적용면적과 깊이 (deep or superficial target sites)를 조절할 수 있고, 총 16개의 sectors들 중에서 주변부나 중심



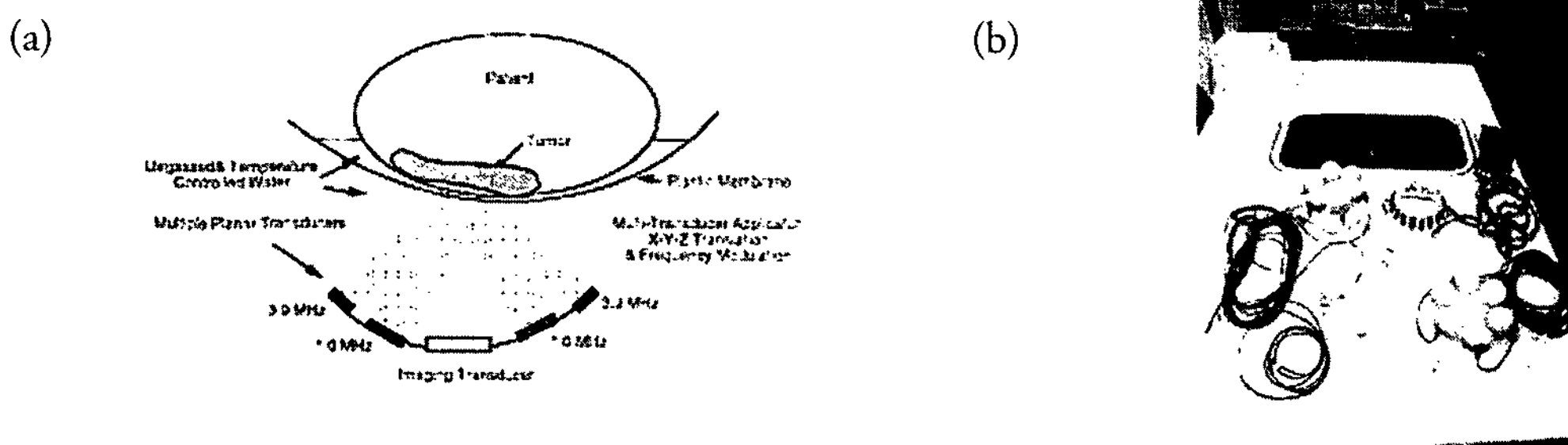
〈그림 2〉 US devices used in this study. (a) Exogen 2000 device (Smith & Nephew, Inc.) for treatment group. The US signal is of 1.5MHz frequency, 1kHz repetition rate, 200s pulse duration and 30mW spatial-average temporal-average (SATA) intensity. (b) A dummy machine for control group. The equipment has a digital clock that stops automatically at 20 min, with red light flashing from the LED. (c) X-ray films of fractures treated with LIPUS showing callus (arrows) on the posterolateral surface of the tibiae. US probe was applied on the anteromedial surface.



〈그림 3〉 Multi-element planar applicator (Sonotherm 1000TM) for superficial HT, with 15.2 cm x 15.2 cm square array of 16 sectors with separately controllable power levels, that can be operated at 1.0 MHz or 3.4 MHz. Fig. 11. Generalized schematic of two multielement ultrasound systems that allow for the simultaneous application of hyperthermia and external-beam radiation: (a) an intraoperative system with a circumferential transducer array and reflector configuration (Montes and Hynynen 1995) and (b) a low-profile scanning reflector system (Moros et al. 1995).

부를 on or off 함으로써 power level을 적절히 조절한다 (그림 4). 초음파와 방사선을 효과적으로 결합한 형태로 암 조직을 공격할 수 있는 intraoperative system인 것이 특징이며, 고강도나 저강도의 transducer를 동시에 가지고 암 부위를 스캐닝 하는 형태로 일명 scanning ultrasound reflector linear array system

(SURLAS)이라 불리며, 동시적인 열방사치료 (simultaneous thermoradiotherapy)가 가능하다. 다양한 초음파 주파수를 가지는 transducer로 구성되며 초음파의 투과깊이 (penetration depth)에 따른 적정 주파수를 사용함으로써, 적용 가능한 target region이 상당히 넓다.



〈그림 4〉 (a) Diagram of mechanically scanned ultrasound system for superficial hyperthermia (Anhalt et al. 1992). (b) Scanned ultrasound system shown with an assortment of focused and nonfocused transducer arrays used for heating superficial and deep tumors.

3-3. 근골격계 치료

저강도 초음파는 조직 내의 세포를 기계적으로 자극할 수 있는 수단으로 뼈의 성장, 골절, 근육 조직의 치유 등 손상된 조직의 수복에 효과적이며, 특히 골절의 수복에 있어서 연골세포의 증식을 촉진하여 뼈의 유합을 촉진한다. 초음파 치료기는 족저근막염(Plantar fasciitis), 상완골외과염(Tennis elbow, Lateral epicondylitis), 석회화 근염 (Calcific tendinitis of shoulder), 지연, 불유합 (Delayed union or nonunion of fracture), 골유합(fracture healing), 골관절염(Degenerative osteoarthritis)등의 다양한 질환에 적용이 가능하다.

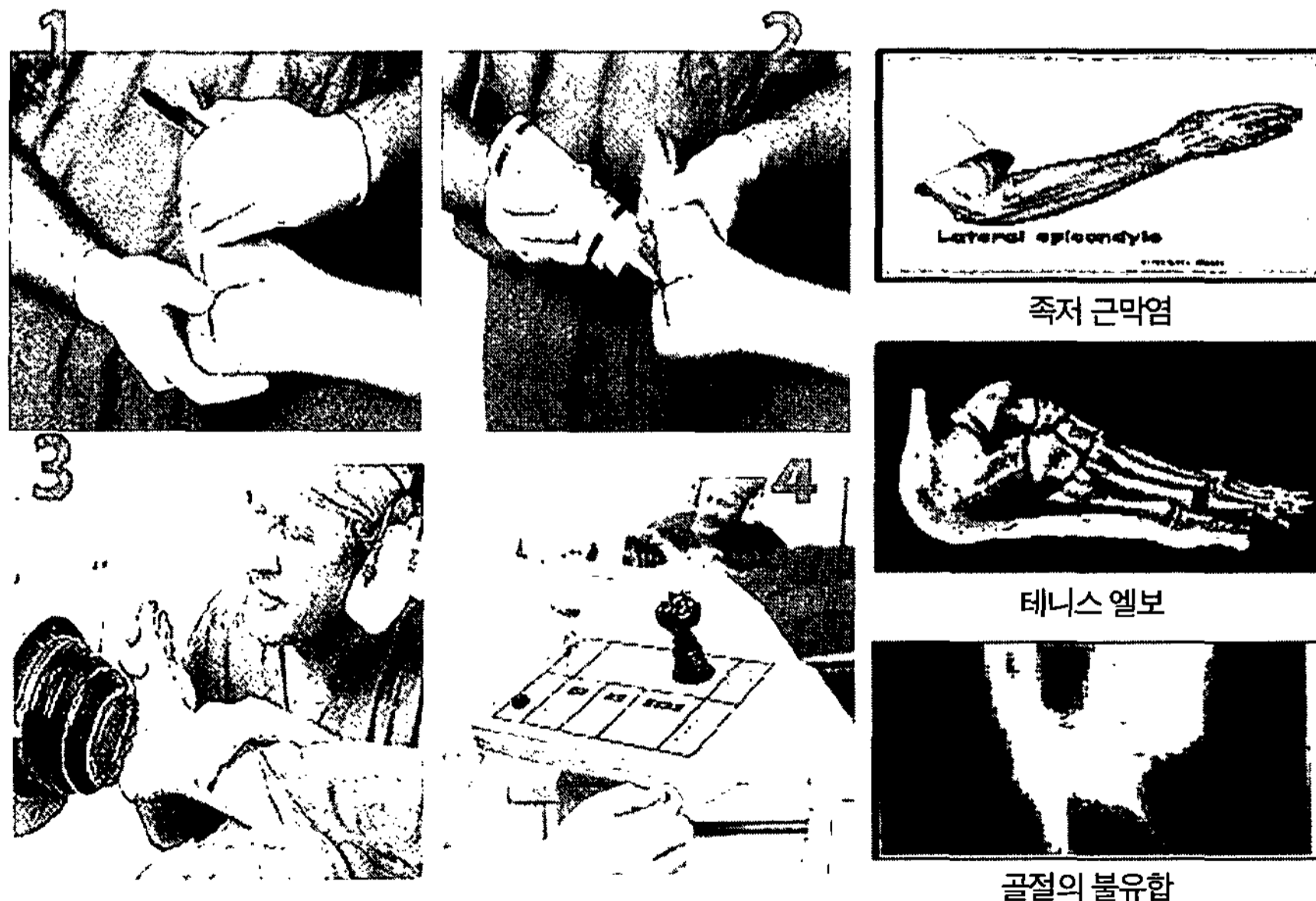
임상적으로 족저근막염의 치료에서 유효성과 안정성을 검증 받아 정형외과 영역에서 사용되고 있는 OssaTron 초음파 기기는 고 에너지 초음파 충격파 시스템으로서 1991년부터

유럽에서 사용되기 시작하여 FDA허가를 받았다 (그림 5). 이 시스템은 비수술적인 방법으로 하루에 30분 정도의 치료시간이 소요되며 외래치료가 가능하며 체중부하 및 정상적인 활동이 가능하다.

4. 초음파의 연구 방향

4-1. 세포치료제의 적용

세포치료제 (Cell therapy)는 환자에게 직접 세포를 주입하여 손상된 세포의 기능이나 조직을 회복시킬 수 있으므로 인체 내 독성이 없고 인체 본래의 기능을 재생 및 유지시킴으로써 수술요법이나 약물요법이 할 수 없는 근원적인 치료방법으로 최근 많은 연구 결과를 바탕으로 다양한 분야에서 임상으로까지 적용 가능하게 되었다. 세포치료제로 가장 많이 주



〈그림 5〉 발뒤꿈치 부분에서 압통이 가장 심한 부분을 표시하고 초음파 전용 젤을 바르고 OssaTron 기기로 초음파 자극을 줌.

목을 받고 있는 것이 줄기세포 분야이며, 줄기 세포는 성인의 골수에서도 손쉽게 채취가 가능하여 자가이식이 가능하다. 골수로부터 분리한 중간엽 줄기세포는 조혈모세포와 함께 골수 내에 존재하는 세포로, *in vitro* 배양 시 증식력이 탁월하고 적절한 배양환경이 주어지면 다양한 계통의 세포로 분화할 수 있는 다분화능(multipotent)의 특성을 지니고 있어 임상적인 효용가치가 매우 높은 세포이다. *In vivo* 상태에서의 골수유래 줄기세포는 매우 이질적 상태 (heterogeneous)로 골수 세포 10만 개 중 1개 정도의 낮은 비율로 존재하며, 나이가 증가할수록 그 비율은 감소하는 것으로 알려져 있다. *In vitro* 배양 시의 중간엽 줄기세포는 자가 복제능 (self renewal capacity)이 있어 증식에 용이하지만 계대배양이 진행될수록 그 능력은 감소하여 결과적으로 임상적용에 필요한 순수하고 많은 양의 줄기세포를 얻는데에 한계가 있다.

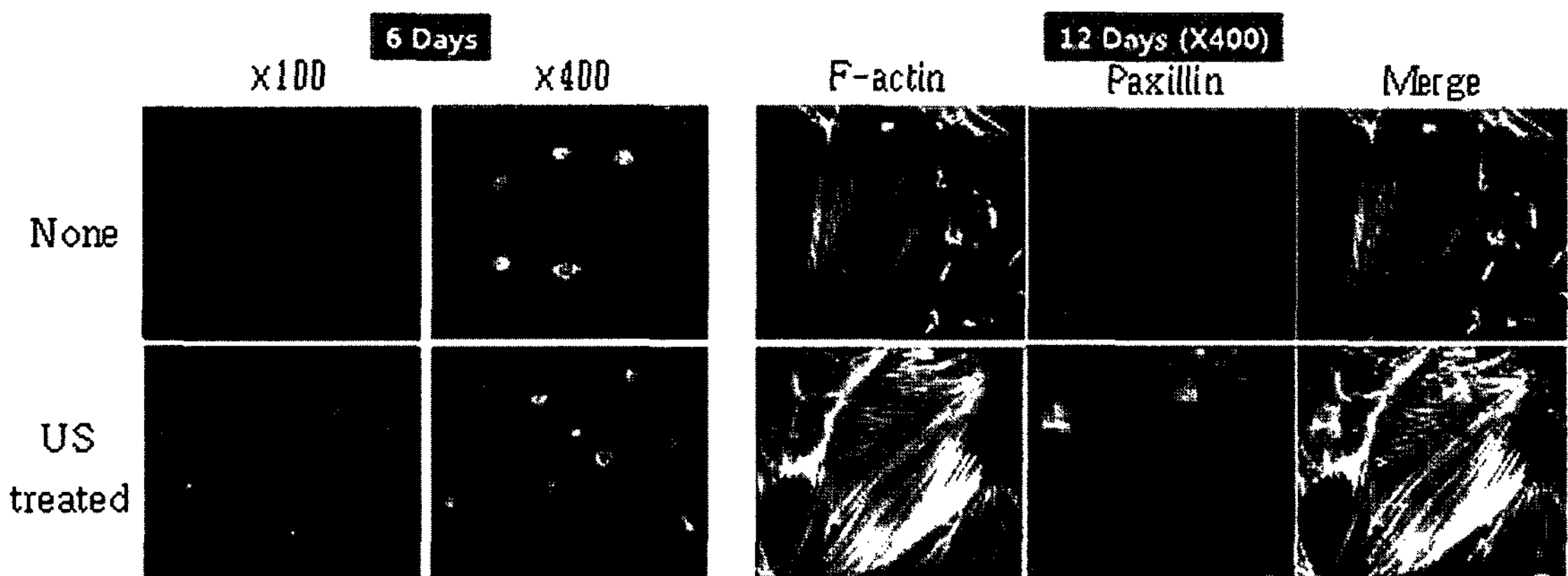
이러한 한계점을 극복하기 위한 방법으로 배양 초기 골수에서 얻은 줄기세포에 저장도 초음파를 처리한 결과, 줄기세포의 다분화능

(multipotent)한 특성이나 분화 능력에는 영향을 미치지 않으면서, 세포의 군집(colony)이 증가한 것을 확인하였다. 또한 부착과 관련된 유전자 또는 단백질이 저장도 초음파를 처리한 세포에서 발현이 증가하였다(그림 6).

4-2. 조직공학 분야에의 적용

조직공학은 손상된 조직이나 장기를 복원, 재건, 재생, 또는 대체하여 정상적인 기능을 하게 하는데 그 목적이 있으며, 1980년 미국 매사추세츠공과대학 (MIT)에서 화상환자를 위한 인공피부가 제작되면서 새로운 학문 분야로 인정받기 시작하였다. 현재 조직공학 기법을 이용한 인공피부는 이미 개발되었으며, 연골·요도·방광 등의 조직재생에 대한 연구도 임상단계에 있다. 또한 심장판막, 뼈와 같은 구조적 장기와 혈관, 이자, 간, 신장, 신경조직과 같은 기능적 장기의 재생에 대해서도 활발한 연구가 이루어지고 있다.

골절 및 관절 물리치료에 효과적인 초음파의 이용은 생체에 직접 자극하여 치료하는 방법도 있지만, 생체 외에서 제작된 인공연골 조



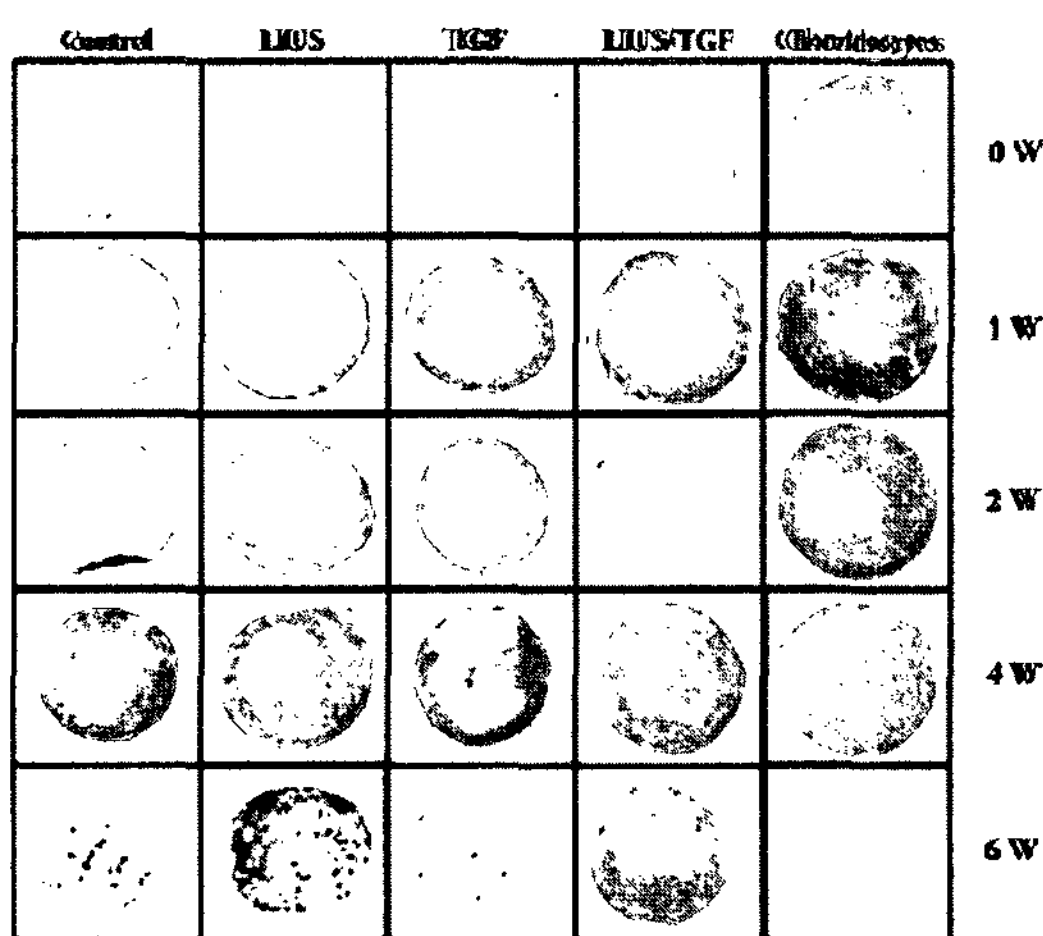
〈그림 6〉 면역염색법으로 F-actin과 focal adhesion의 발현 관찰 결과, 초음파 처리에 의해 발현이 증가함.

직의 분화 및 재생에도 탁월한 기계적 자극으로 제시되고 있다. 골관절염은 전 국민의 10~15%를 차지할 정도로 매우 유병율이 높은 질환이며, 연골 스스로의 재생이 불가능하여 생체조직공학적인 재생법이 필수적이다. 체외에서 연골조직 제작 시, 세포를 3차원 배양하면서 저강도 초음파를 반복적으로 조사하여 연골화에 미치는 영향을 관찰한 결과 연골 세포의 특성을 나타내는 제2형 교원질 (type II collagen) 과 어그리칸 (aggrecan) 등의 단백질 발현이 증가하였다. 또한 체외에서 제작된 연골조직에 저강도 초음파를 전처리하여 동물 모델에 이식하여 관찰한 결과, 초음파를 처리하지 않은 그룹에서는 혈관형성이 촉진되어 골형성이 유도된 반면, 초음파 처리 그룹에서는 연골조직의 특성을 더욱 더 오래 유지하였다(그림 7).

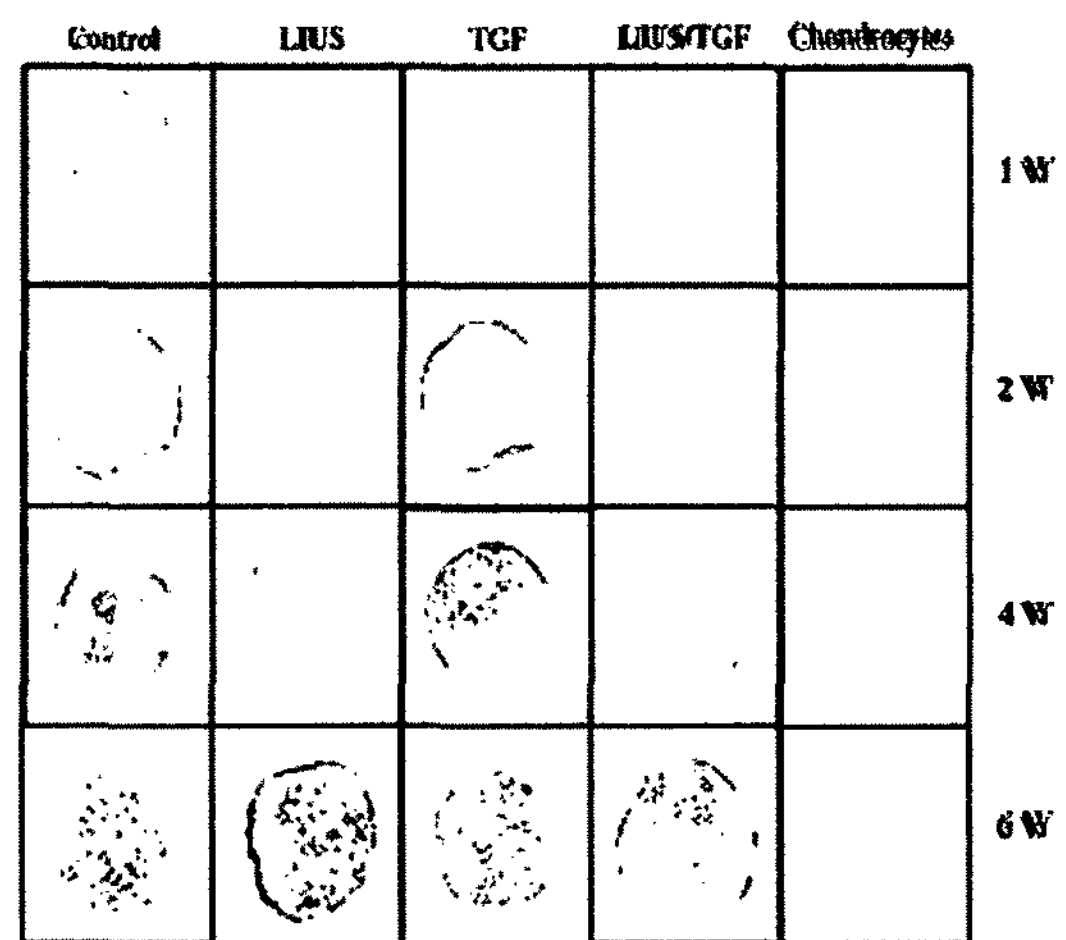
4-3. 약물 전달에의 응용

초음파의 약물전달에 대한 정확한 기전은 아직 정확히 밝혀지지 않았지만, 투여하고자 하는 특정부위에 약물을 효과적이고 정확하게 전달함으로써, 기존의 전신투여(systemic delivery)의 부작용을 최소화하고 효율적인 치료를 그 목적으로 한다. SonoPrep 기술로 저분자량 및 고분자량 약물의 피부전달을 100배나 향상시킬 수 있으며, 이를 통해 통증 없이 약물을 빠르게 전달하여 보다 낮은 용량 투여로도 목적하는 약물농도에 도달할 수 있어 부작용도 줄이는 장점이 있다. 일례로 피부를 통한 약물 전달에서 초음파의 기계적 에너지가 피부에 적용되면 압력파(pressure wave)가 생겨 피부에 공동화(cavitation)효과를 유발하게 된다. 즉 이러한 초음파 압력파가 갑자기 감소되면 피부 조직액 내에 가스나 기포(bubbles)가 생기게 되고, 피부의 보호 층인 고도로 organized

(a)



(b)



〈그림 7〉 (a) Safranin-O와 (b) Von-Kossa 조직학적 염색법을 통해 초음파 자극에 의해 연골조직의 특성이 오래 유지되고 있음을 관찰함 (Cui JH, et al., Tissue engineering, 2007).

되어 있는 표피층의 지질을 교란(disorganize)시켜서 피부의 투과성이 증가하는 것으로 해석되고 있다.

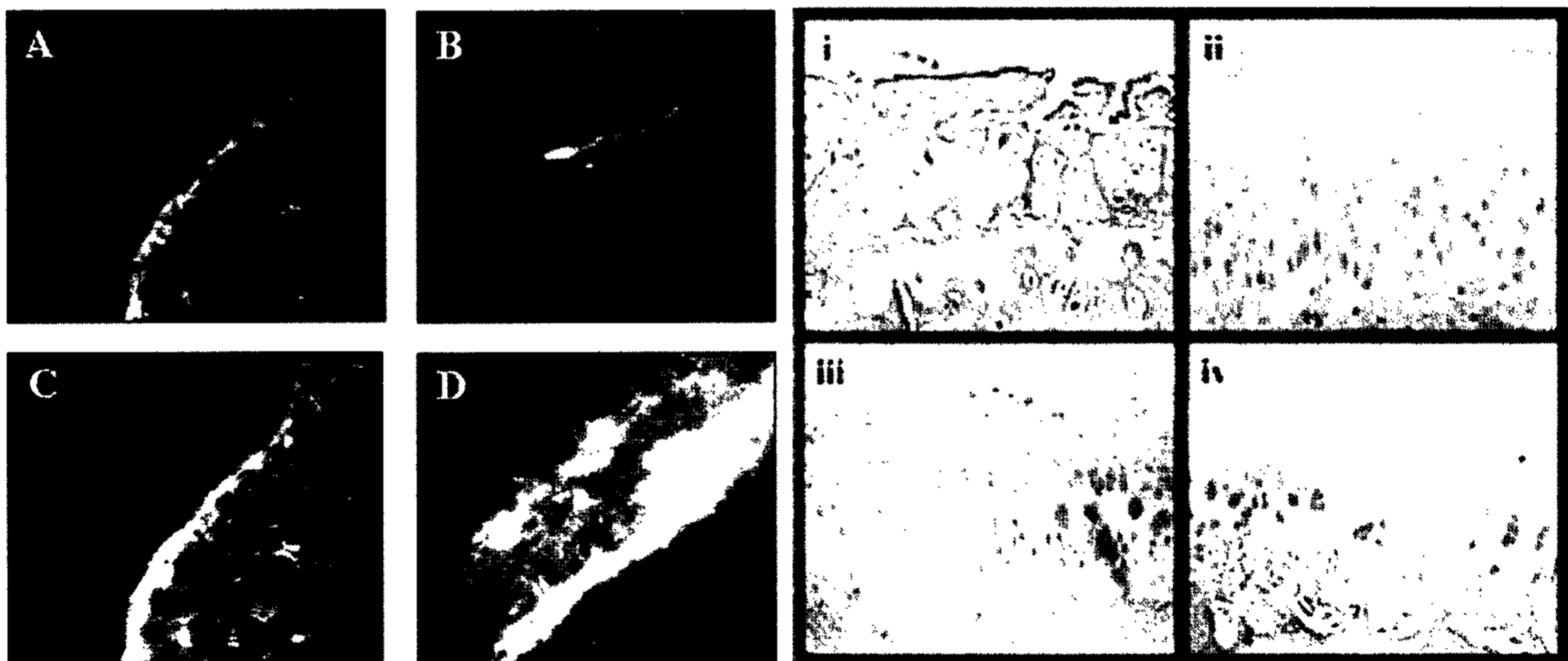
최근 연구에 의하면 초음파를 이용한 피부뿐만 아니라 인슐린, 활액막(synovial membrane), 세포막의 투과성도 높여 약물의 전달을 증가시킬 수 있다는 보고들이 있다(그림 8). 골관절염으로 인해 증가된 관절 내 활액의 부피가 초음파에 의해 감소됨을 확인하였고, 연골을 구성하는 세포외기질(extracellular matrix; ECM)을 분해하는 MMP 등의 효소분비가 억제되었다.

5. 초음파 치료기 작용기전

초음파의 물리적인 힘은 관절내의 연골세포까지 전달되어 cell membrane permeability를 변

화시키고, 칼슘 channel을 활성화 하여, Ca²⁺의 유입을 증가시킴으로써 연골세포의 활성화에 직접적인 영향을 준다고 보고되고 있다.

유압(shear stress), 인장력(strain), 압력(compression)등의 물리적인 자극에 따른 연골세포의 신호전달체계를 포함한 대사 변화에 관하여 많이 보고되고 있는데, 주로 Ca²⁺, K⁺ ion channel에 따른 세포 내 Ca²⁺농도 변화와 integrin, stretch activated channel (SAC)등의 mechanoreceptor를 통해 전달된 신호가 IL-1b, TNF 신호전달경로를 따라 관여하는 단백질을 인산화함으로써 활성을 변화시켜 연골세포의 증식과 염증반응을 조절하는 것으로 알려져 있다. 본 저자는 사람의 관절연골세포에서 저장도 초음파자극의 작용기전을 규명하기 위한 연구를 진행중에 있으며, 현재까지의



〈그림 8〉 관절강에 고분자인 3000kDa 히알루론산을 주입하였을 때, 정상적인 조건하에서 활액막에 흡수가 불가능했던 것이 관절외부로부터 1MHz의 초음파 자극을 주었을 때 흡수가 증가하는 것 (C and D)을 관찰함으로써 관절염 치료에 초음파가 효과적으로 응용될 수 있음을 제시함 (Min et al. 2003). 활막내로 흡수된 히알루론산의 양(형광물질이 표지된 HA의 양을 형광현미경으로 측정한 사진). A: 1000kDa HA 만을 주사, B: 3000kDa HA 만을 주사, C: 1000kDa 주사와 초음파 병행, D: 3000kDa HA 주사와 초음파 투사를 병행 (Park SR, et al., Ultrasound in Med & Biol., 2005).

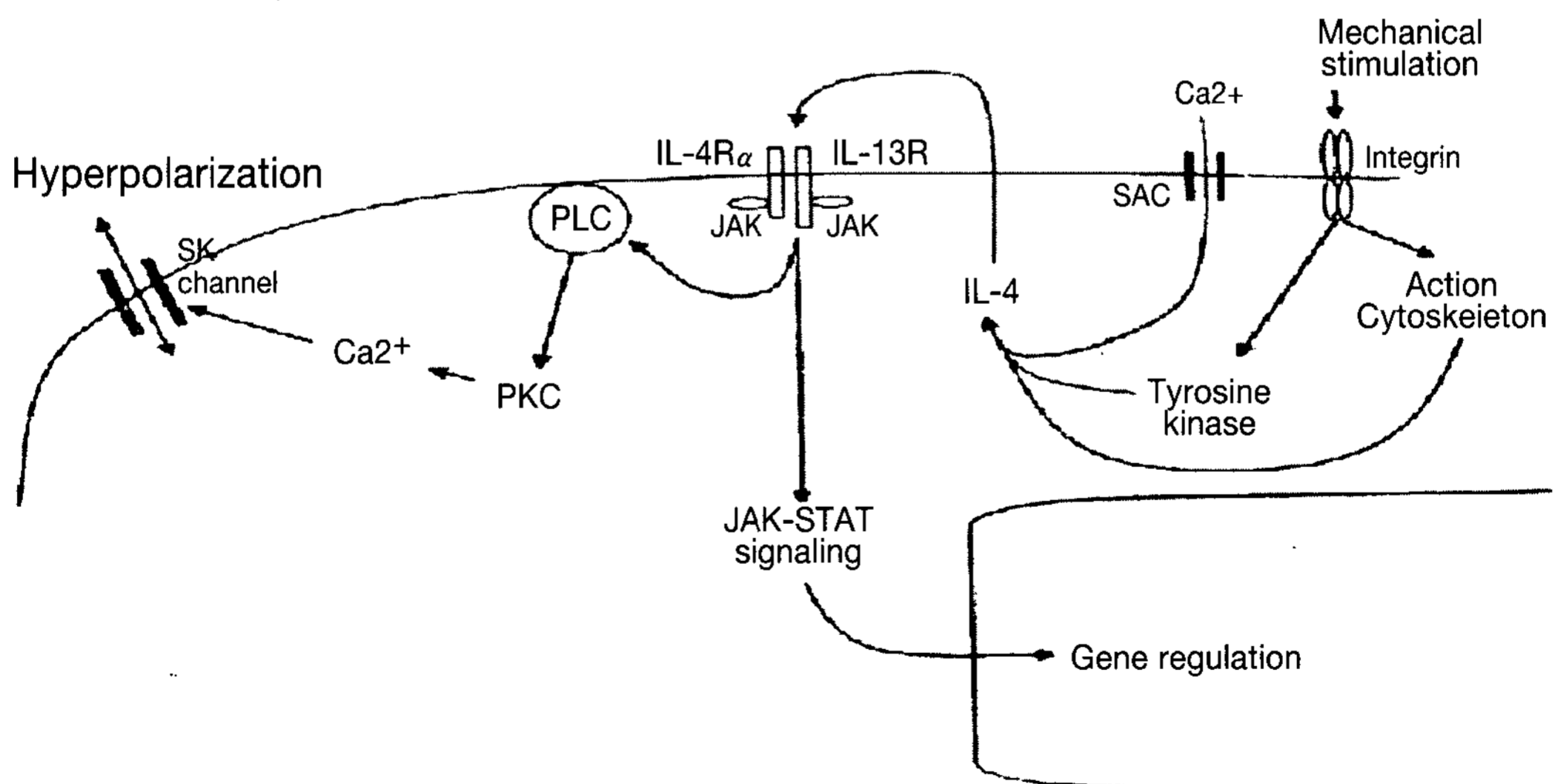
연구결과에 의하면 초음파자극은 연골세포막에 존재하는 integrin과 stretch-activated channel을 통해서 연골세포내로 자극을 전달하고, 세포내의 자극전달 pathway 중 MAP Kinase인 ERK 단백질의 인산화가 연골기질의 합성 및 세포 증식을 촉진하는 것으로 관찰되었다. 이와 같은 결과는 다른 연구자들에 의해서 보고되고 있는 연골세포에 유효한 기계적 자극들과 저장도 초음파자극은 유사한 세포내 기전에 의하여 치료효과를 유발할 가능성을 제시한다.

III. 결 론

초음파 치료의 장점으로서는 첫째, 비침습적이고 인체에 무해하며 환경친화적이다. 둘째, 손상부위가 크거나 여러 곳에 있어도 장기를

보존하면서 치료할 수 있다. 따라서 이러한 장점을 가진 초음파 치료기의 개발을 위해서는 다른 치료기와는 차별화된 초음파 트랜듀서, 핵심 소자인 압전 세라믹스의 개발이 우선적이며 이에 따른 구체적인 기전 연구와 임상결과가 뒷받침되어야 할 것이다.

현재 초음파 치료기는 대부분 물리치료를 목적으로 사용되고 있지만, 최근 저장도 초음파 자극에 의한 줄기세포의 연골 분화 촉진, 연골세포의 성장 인자 작용기전 규명, 동물실험에 의한 부종 완화 효과, 연골 구성 고분자 약물 전달 효과 등의 세포치료 연구가 체계적으로 진행되고 있다. 이러한 상업적 부가가치가 높고 개발이 용이한 초음파 치료기의 세포에 자극되어 활성화되는 기전 연구와 임상 연구 결과를 바탕으로 최첨단 전자의료기 분야와 적극 활용한 초음파 치료기 시장형성을 적극 기대해본다.



〈그림 9〉 제안된 초음파의 자극 전달 경로

참고 문헌

1. 민병현, 최병현, 박소라. Low intensity ultrasound as a supporter of cartilage regeneration and its engineering, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 12, 22-31, 2007.
2. 박소라, 민병현, 박상혁, 이현정. 연골화 분화를 위한 기계적 응용. *Tissue engineering and Regenerative Medicine*. 2(2), 77-85, 2005.
3. Samir Mitragotri. Healing sound: the use of ultrasound in drug delivery and other therapeutic application. *Nature Reviews Drug Discovery*. 4, 255-260, March, 2005.
4. 박소라, 장경화, 박상혁, 조홍식, 김성철, 최민주, 정수일, 민병현. The effect of sonication on simulated osteoarthritis part I: Effects of 1MHz ultrasound on uptake of hyaluronan into the rabbit synovium. *Ultrasound in Med & Biol*. 31(11), 1551-1558, 2005.
5. 한국과학기술정보연구원. 실버의료기기 - 실버계층의 구매력과 사업기회 분석 보고서, 6월, 2004년.
6. 이현정, 최병현, 민병현, 손영숙, 박소라. Low-intensity ultrasound enhances chondrogenic differentiation in alginate culture of mesenchymal stem cells. *Artificial Organs*. 30(9), 707-715, 2006.
7. 최기호, 박소라, 박귀덕, 최병현, 민병현. Preconditioning of mesenchymal stem cells with low intensity ultrasound for cartilage formaion in vivo. *Tissue Engineering*. 13(2), 351-360, 2007.

저자소개



민병현

1983년 2월 연세대학교 의과대학 의학사
 1989년 9월 연세대학교 대학원 의학과 석사
 1993년 2월 연세대학교 대학원 의학과 박사
 1986년 5월-1987년 2월 연세의료원 인턴
 1987년 3월-1991년 2월 연세의료원 정형외과 수련의
 1991년 3월-1994년 2월 연세의료원 정형외과 연구강사
 1994년 3월-1995년 2월 Participate in the Pacific Rim Fellowship, Program in Southern California Center for Sport Medicine, Long Beach, California, USA(Supervisor: Douglas W. Jackson, MD)
 1995년 3월-1999년 3월 아주대학교 의과대학 정형외과학교실 조교수
 1999년 4월-2004년 2월 아주대학교 의과대학 정형외과학교실 부교수
 1997년 12월- 현재 Senior research associate Bone Research Laboratory, Oxford University, UK.
 2004년 3월-현재 아주대학교 의과대학 정형외과학교실 교수
 2003년 3월-2006년 12월 아주대학교 의공학센터 소장
 2004년 9월-현재 아주대학교 세포치료센터 소장
 2007년 3월-현재 아주대학교 연골재생센터 소장

주 관심분야 : 연골 조직공학, 연골 재생, 줄기세포의 연골 분화, 초음파를 이용한 성체 및 줄기세포 분화 유도

E-mail : bhmin@ajou.ac.kr

저자소개



최병현

- 1991년 2월 서울대학교 동물학과 이학학사
 1993년 2월 서울대학교 분자생물학과(유전공학 전공) 이학석사
 1999년 2월 서울대학교 분자생물학과(분자유전학 전공) 이학박사
 1996년 4월-1996년 6월 미 국립 보건원 연수
 National Heart, Lung and Blood Institute, NIH, USA
 1998년 9월-1999년 8월 서울대학교 자연과학대학 연구 조교
 1999년 3월-2000년 3월 박사 후 연구원 서울대학교 세포 분화 연구 센터
 2000년 4월-2002년 1월 박사 후 연구원 Harvard Medical School, Institute of Chemistry and Cell Biology
 2002년 2월-2002년 12월 연구원 LG Biomedical Institute in San Diego, Target Validation Group
 2003년 1월-2004년 5월 가톨릭 대학교 가톨릭뇌신경센터 연구 교수
 2004년 7월-2007년 2월 인하대학교 의과대학 신경재생센터 연구 교수 인하대학교 의과대학 의과학연구소 연구 교수
 2007년 3월-현재 아주대학교 의과대학 세포치료센터 연구조교수

주 관심분야 : 기계적 자극을 이용한 줄기세포 분화, 연골 재생 및 분화, 조직공학

저자소개



윤정호

- 1990년 2월 KAIST 생명과학과 이학사
 1992년 2월 서울대학교 자연대학원 분자생물학과 이학석사
 1998년 2월 서울대학교 자연대학원 분자생물학과 이학박사
 1998년 3월-1999년 2월 서울대학교 세포분화연구센터 Post Doc.
 1999년 5월-1999년 12월 삼성생명과학연구소 Post Doc.
 2000년 1월-2000년 7월 성균관대학교 계몽기능제어연구단 선임연구원
 2000년 8월-2005년 12월 디지털지노믹스(주)대표이사/사장
 2006년 1월-2007년 2월 디지털지노믹스(주)기술이사/부사장
 2000년 10월-2007년 2월 디지털지노믹스(주)연구소장
 2007년 3월-2007년 10월 (주)랩지노믹스 기술이사/사업본부장
 2008년 2월-현재 (주)필미아젠 대표이사
- 주 관심분야 : 세포치료제, 바이오소재, 의료기기



이현정

- 2001년 2월 건국대학교 의과대학 의공학과 학사
 2003년 2월 아주대학교 일반대학원 의용공학과 석사
 2007년 8월 아주대학교 일반대학원 분자과학기술학과 박사
 2007년 9월-2007년 12월 아주대 세포치료센터 Post-Doc
 2008년 1월-현재 (주)필미아젠 선임연구원
- 주 관심분야 : 기계적 자극을 이용한 줄기세포 분화, 연골 재생 및 분화, 조직공학