

전파 테라그노시스

- 전파 이용 의료영상 진단 및 치료 융합기술 -

손성호 전순익 이광재* 이호진** 오창현*** 윤준식****

한국전자통신연구원 책임연구원

한국전자통신연구원 선임연구원 *

한국전자통신연구원 본부장 **

고려대학교 전자및정보공학과 교수 ***

고려대학교 구로병원 교수 ****

본 고에서는 진단(diagnosis)과 치료(Therapy)가 융합된 전파 테라그노시스(Radio Theragnosis) 개념을 소개한다. 그리고 이를 실현하기 위한 의료영상 진단 및 치료 신기술들을 중심으로, 임상의료현장의 수요, 국내외 시장 및 제품 현황, 더불어 최신 기술과 향후 발전 방향을 논하고자 한다.

I. 서론

미래 의료는 어떤 모습일까? 최근 화두가 되고 있으며 제 4차 산업혁명을 주도하는 핵심기술인 지능정보기술(사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅(Cloud), 빅데이터(Big Data), 모바일(Mobile))이 의료 분야에 새로운 패러다임을 몰고 올 것으로 많은 연구자들이 예견하고 있다. 그것은 의료 혁신의 목표로서 소위 '4P 의학[18]'으로 불리는 예측의료(Predictive Medicine), 예방의료(Preventive Medicine), 맞춤형의료(Personalized Medicine), 참여의료(Participatory Medicine)의 실현일 것이다. 사실 지금까지도 질병의 예방이 무엇보다도 중요하게 인식되고 있지만 실제 의료현장에서의 의료 서비스는 질병이 발생하면 이를 진단하고 그 진단결과를 바탕으로 치료하며 그 치료결과를 모니터링 하는 분리된 형태를 취하고 있다. 하지만 현대 의학은 각종 의료영상진단 기술과 증재 치료 기술이 발달함에 따라 조기 진단과 빠른 치료적 접근을 통한 치료 효과 증대, 의료비 지출 감소, 치료의 안전성 향상을 위해 진단, 치료, 모니터링 기술들이 융합하는 방향으로 발전하고 있다. 또한, 치료 후 회복 시간의 단축, 출혈, 감염 등의 합병증 발생 위험성 감소와 치료 중 발생하는 환자의 고통 경감을 위해 비침습적 치료의 필요성이 지속적으로 증가하고 있다. 한편,

* 본 내용은 손성호 책임연구원(042-860-1653, shs@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

이러한 새로운 의료 패러다임을 실현하기 위해 전파의료 기술에 있어서도 상당한 발전이 진행되고 있다. 특히, 전파는 일반 방사선 계열의 의료 기술과 달리 매우 안전하다는 장점이 있어 진단과 치료 목적으로 많은 연구 개발이 진행되고 있다. 최근 한국전자통신연구원(ETRI)에서는 진단(Diagnosis)과 치료(Therapy)가 융합된 새로운 개념의 전파 테라그노시스(Radio Theragnosis)[15]를 제시하고 이에 관한 핵심원천기술을 연구하고 있다.

본 고에서는 앞으로 전파 테라그노시스를 실현하기 위한 의료영상 진단 및 치료 융합 신기술을 중심으로 임상의료현장의 수요, 국내외 시장 및 제품 현황, 그리고 최신 기술과 향후 발전 방향 등에 관해 논하고자 한다.

II . 전파의 임상의료적 수요

1. 전파의 임상적 활용 및 효과

전파를 이용한 의료 기술은 크게 두 가지 개념으로 나눌 수 있다. 먼저 진단적인 적용으로 전파를 이용하면 심부기관을 탐색할 수 있고 중재술 시에 바늘이나 관의 위치를 모니터링하고 조직 내 발생하는 정보를 실시간 모니터링하는데 사용할 수 있다. 다음은 치료적 적용인데 전파는 물리적 변환을 통해 생체조직에 열을 발생시킬 수 있으므로 이를 이용하여 심부에 열을 가해 치료효과를 얻어내는 것이다. 전파의료 기술의 장점으로는 넓은 영역의 주파수를 사용할 수 있고 에너지를 한곳에 집중시킬 수 있으며 상대적으로 치료비용이 적게 든다는 것 등이 있다. 하지만 단점으로는 공간해상도가 상대적으로 떨어지고 특별한 기술을 적용하지 않는 한 투과 깊이의 제한이 있다는 것이다.

현재 전파의 치료적 임상의료 활용 분야에서 크게 온열치료(Diathermy)와 최소 침습 시술(Ablation)로 나눌 수 있다. 이 기술을 이용하면 전파를 적용하고자 하는 심부 부위에 정밀하게 조준(Focusing)하여 물리치료, 통증신경제거술 같은 신경 근골격계 치료부터 종양 질환 치료, 약물 전달, 그리고 피부 미용 분야까지 다양하게 적용할 수 있다. 실제로 현재 의료현장에서 사용되고 있는 열 치료에 대해 살펴보면 열은 통증 및 염증 치료에서부터 종양 치료까지 다양하게 사용되고 있다. 먼저 조직을 손상시키지 않는 범위에서는 특히 근골격계 질환에서 널리 사용된다. 구체적으로 여러 부위의 건염, 건초염, 윤활막염, 관절염 등의 염증성 질환과 요통, 경추통,

근막통 등의 질환에서 염증과 통증 감소를 위해 적용된다. 관절, 근육 및 힘줄의 구축이나 단축이 있을 경우에도 스트레칭 요법과 더불어 사용된다. 또한, 43℃ 이상의 열은 각종 종양 치료에 사용된다.

열의 의학적인 효과에 대해서는 여러 연구를 통해 알려진 바 있다. 약 40℃ 정도의 낮은 온도에서 비교적 짧은 시간에 걸쳐 적용되는 열은 조직을 파괴시키지 않는다. 위와 같은 적절한 수준의 열에너지는 물리학 분야에서 치료적 목적으로 널리 사용된다. 열은 혈관을 확장시키고 조직의 혈액순환을 증가시키므로 백혈구나 항체와 같은 몸의 방어 인자를 조직으로 유입시키고, 염증반응 물질 및 죽은 조직세포 조각 등 유해한 물질을 배출시켜 염증반응을 해소시키는 데 도움을 준다[2],[6]. 또한, 신경 전도속도를 증가시키며 관절과 연부조직의 뻣뻣함을 감소시키고 힘줄이 쉽게 늘어나게 한다[14]. 이 외에도 통증 경감 효과와 전반적인 이완 효과를 기대할 수 있다. 반면, 강한 열에너지로 목표조직을 고온으로 가열하는 경우에는 세포 및 조직의 괴사를 유발하여 조직을 불가역적으로 손상시킬 수 있다.

현재 사용되고 있는 열치료 기술에는 여러 한계가 존재한다. 먼저 근골격계 치료 장비에서는 초음파가 널리 사용되고 있는데, 초음파는 뼈를 통과하지 못하고 아주 깊은 부위까지 심부열을 전달하기 어려우며 심부열을 원하는 부위에 정밀하게 전달하지 못한다. 또한, 조직의 현재 온도에 대한 정보를 실시간으로 모니터링할 수 없다. 치료적 영역에서는 고주파 중재술이 사용되고 있으나 이는 환자의 심부까지 굵은 바늘을 삽입하는 과정이 포함되어 있는 침습적인 시술이라는 단점이 있다. 따라서 의료현장에서는 위와 같은 한계를 극복하고자 하는 미충족 수요가 존재하게 된다.

2. 임상의료 미충족 수요

미충족 수요에 대한 전파의 활용은 진단과 치료 영역에서 모두 존재한다. 먼저 진단감시영역에서는 전파를 활용하여 신체 물성을 비교하고 그 물성이 커지고 작아지는 정도를 파악할 수 있는 전파기술을 활용할 수 있다. 이를 이용하면 간편하고 빠르게 유방암, 골육종 같은 연부조직의 암이나 간암, 폐암 등 거대 장기조직의 암의 위치를 빠르고 간편하게 확인하는데 활용할 수 있다. 또한, 응급상황에서 휴대용 전파기기로 빠르고 간편하게 뇌출혈과 뇌경색 등 뇌혈관 질환의 진단 및 감별에도 활용할 수 있다. 그 밖에도 연하곤란 환자를 대상으로 음식물이 이동하는 상황을 파악하여 식도에 음식물이 남아 있는지 등을 감별하는 기법에도 적용이 가능하다. 전파기술은 실시

간 감시 기술로도 활용할 수 있는데, 뇌출혈, 뇌경색 등 중추신경계 질환에서 새로운 뇌출혈의 발생여부나 뇌경색의 범위가 넓어지는 상태 등을 전파를 이용하여 감시하는 치료 모니터링 기법 등으로도 활용이 가능하다. 이에 따라 현재 컴퓨터 전산화 단층촬영 등의 기법들에 의해서는 연속적인 모니터링이 불가능하다는 단점을 극복할 수 있으므로 중환자실 등에서 휴대용으로 손쉽게 적용할 수 있을 것으로 보인다.

다음으로 치료 및 중재 분야에서는 전파를 이용하면 인체 심부에 정확하게 선택적으로 조절할 수 있고 조사부위에 열을 발생시키는 기술을 활용하여 기존에 널리 사용되는 초음파의 단점을 극복하고 근골격계 질환의 정밀한 심부열치료(Diathermy)를 적용할 수 있다. 이는 전파의 중첩 및 상쇄 효과 등을 이용하여 뼈와 같은 구조물에 방해 받지 않고 정밀하게 조직심부에 심부열을 전달하는 기술이다. 또한, 중재술시 비침습적 방법으로서의 암세포 고주파 제거술, 척추 통증 시술 등의 중재술을 기대할 수 있다. 특히, 척추 통증시술의 경우 기존의 침습적 방법의 한계를 극복하고 비침습적으로 피부를 뚫지 않고 외부에서 정밀하게 파괴하고자 하는 신경에 열을 가할 수 있을 것으로 기대된다. 이처럼 의료현장에서 새로운 전파기술의 활용 가능성은 진단 및 치료, 감시 등 여러 분야에서 무궁무진하다. 원천기술의 연구 및 개발과 제품화가 완료 되면 전파기술을 임상의학 분야에서 널리 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

III . 국내외 시장 동향

고령화 사회의 도래 및 웰빙 문화의 확산과 중국, 인도 등 후발공업국의 급성장으로 고급 의료 서비스 수요가 증가함에 따라 세계 의료기기 시장은 크게 확대되고 있는 추세이다[17]. 세계 의료기기 시장은 2014년 기준 3,403억 달러 규모로 연평균 6.5%의 성장률을 유지하고 있으며, 상위 3개 국가인 미국, 일본, 독일이 세계 시장의 과반 규모(56.3%)를 차지하고 있다[16],[17].

국내 의료기기 시장은 4.6조 원 규모(세계 시장의 1.3%)에 불과하며, 의료기기 산업에서 생산액은 상위기업에 편중되어 있는 한편, 중저가 단순 범용제품을 위주로 생산하는 영세업체가 난립하고 있어 이들의 경쟁력이 미약한 기형적인 산업 생태계를 형성하고 있다[17]. 최근에는 IT 기술을 바탕으로 기술력이 성장하는 등 시장 경쟁력이 상승 중이며, 대기업도 신성장 유망 의료기기 산업에 관심을 가지고 진출하고 있으나, 고가의 첨단혁신적인 제품 개발에서 우리나라 기업들의 자체 역량은 여전히 부족한 것으로 평가되고 있다[17].

한편, 지금까지의 의료기기 시장에서 진단영상기기가 차지하는 비중이 상대적으로 큰 반면에 치료기기의 비중이 크지 않은 이유는, 일반적으로 병원에서의 치료가 의료진이 직접 집도하고 이에 따라 고가의 기술집약형 치료장비가 필요하지 않는 침습수술이 중심인 것에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 최근 세계 의료기기 시장에서는 침단의 비침습 치료기기 제품들이 등장하여 기존 진단영상기기 중심의 시장을 재편하려 하고 있으며, 해외 시장조사 예측기관에서도 발전된 형태의 고가 침단혁신 진단치료 통합기기의 출현으로 의료기기 시장에서 비침습 치료기기가 점점 점유율을 확대하고 성장할 것으로 전망하고 있다[3].

1. 비침습 치료기기 시장 동향

치료기기 시장에서는 현재 고가의 비침습 치료기기인 HIFU(High Intensity Focused Ultrasound) 제품이 새로운 시장을 형성하고 있다. 비침습적 기술이 특성인 HIFU 치료기기는 비침습 치료기기 분야에서 경쟁할 수 있는 신기술이 출현하기 이전까지 기존 종양치료기기 시장의 상당부분을 대체할 것으로 전망되고 있다[19]. HIFU 치료기기는 미국에서 자궁근종과 골전이의 통증완화 치료에 대해 FDA(Food and Drug Administration)의 승인을 받았으며, 유럽 및 기타 국가에서도 15개 이상의 임상 응용 분야 사용에 대해 승인을 받았다. 또한, 제조사는 전세계적으로 2000년 10개의 업체에서 2014년 28개의 업체로 증가하는 추세이고, 2014년도 기준으로 전 세계에서 8,000명 이상의 환자를 대상으로 치료에 사용되었으며, 현재까지 약 9만 명의 환자에 대해 HIFU 치료가 수행되고 있는 등 독자적인 HIFU 치료기기 시장을 형성하고 있다.

현재까지 임상치료가 수행된 대상 질병으로 전립선암, 자궁근종, 간암 등이 약 97%를 차지하고 있으며, 유방암, 뇌질환 및 다양한 임상 분야에 대해서도 치료가 수행되고 있다[19]. 종양치료시장은 연평균 12% 이상의 성장률이 유지되고 향후에도 지속적인 성장세가 기대되고 있다[19]. HIFU 및 향후 출현할 신기술을 포함하는 비침습 치료기기들이 주로 종양치료에 사용되고 있으므로 이들의 전체 시장도 종양치료와 동일한 성장률을 보일 것으로 예상된다.

2. 진단치료 통합기기 시장 동향

HIFU와 같이 비침습이 특징인 고가의 치료기기는 현재 MR(Magnetic Resonance) Guidance와 US(Ultra Sound) Guidance 등에 의해 진단기기와 통합되는 방향으로 기술이 발전하여 새로운 시장을 형성해 가고 있다. 진단치료 통합기기 시장은 2000년대에 접어들어 비침습의 경우 HIFU

분야에서 성장세를 보이고 있다. 2015년 미국 FDA에서 USgHIFU(US guided HIFU: Sonablate) 장비에 의한 전립선암 치료를 최종 승인한 이후로 세계 19개의 제조사가 USgHIFU를 시장에 공급하고 있고, USgHIFU 시스템 제조사들은 주로 전립선암, 자궁근종, 간암, 신장암, 유방암 등의 임상 분야에 대해 제품군을 형성하여 판매하고 있으며, 국내의 경우는 Alpinion Medical Systems 1개 업체가 자궁근종치료용 USgHIFU 장비를 임상시험 중에 있다[19].

MRgHIFU(MR guided HIFU)의 경우는 1개 업체가 독자 개발하는 형식보다 MRI(Magnetic Resonance Imaging) 전문 업체와 FUS(Focused Ultra Sound) 전문 업체 간의 합작생산이 주로 이루어지고 있으며, HIFU 제조사 전체의 약 32%인 9개의 업체가 시장에 진출하고 있는 것으로 파악된다. 그러나 국내의 경우 MRgHIFU 제작업체는 전혀 없다[19].

의료기기 시장은 전형적인 선진국 중심의 시장이며, 신제품 개발 시 신뢰성 검증이 필요하여 기술진입 장벽이 높는데, 특히 기술집약형 첨단의료기기(최소침습형 수술/진단기기, 휴대용 진단/치료기기 등) 분야는 선진국에서도 아직 시장이 미성숙 단계이고 아직까지 시장을 독점하고 있는 기업도 없다[16]. 특히, 비침습 치료기기나 진단치료 통합기기의 경우에는 보다 새로운 미개척 시장 영역이라 할 수 있다. 이러한 첨단의료기기 분야는 제품개발 시에 우리가 높은 기술적 우위를 선점할 수 있고, 해당 의료기기 세계시장을 선점하여 지속적인 고수익을 창출할 수 있는 분야라 할 수 있다.

IV . 국내외 제품개발 동향

본 절에서는 비침습 치료기기 중심으로 현재 출시되어 있는 제품들을 소개하고자 한다. 최근에는 정밀 치료를 위해 MRI 장비 또는 초음파영상기기와 같은 영상유도 기기와 결합되고 있는 추세이다. 초음파(US)를 이용하는 치료법인 HIFU는 고강도 초음파를 체내에 집속하여 종양 등을 태우는 방식으로 외과적으로 절개하지 않는 비침습적 치료방식이다. USgHIFU로는 Alpinion사의 ALPIUS 900이 있다[1]. 기존의 HIFU 장비에 초음파 영상 기능을 더해 시술을 진행 유도하고 시술되는 병변을 모니터링하는 방식이다. 기본적인 HIFU의 진행 방향과 시술 결과를 실시간으로 모니터링하여 더 정확히 예측한다는 장점을 가지고 있다. 간이나 신장 같이 움직이는 장기에 생긴 종양 치료에 유리한 측면이 있다. 다만, 초음파영상 특유의 낮은 조직 대조도로 인해 정교한 병변 조준에 기술적 숙련도를 요구한다. 또한, 영상 범위도 좁아 인근 장기에 대한 관찰



<자료> Alpinion

[그림 1] ALPIUS 900



<자료> Philips

[그림 2] Sonalleve MR-HIFU

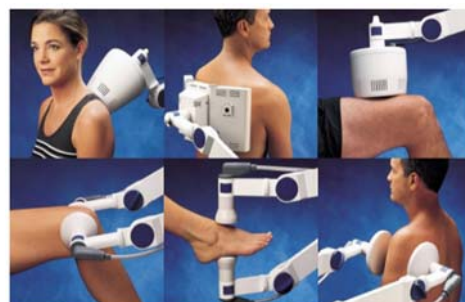
이 불리한 단점이 있다. 이러한 치료기술의 안전성에 대한 단점을 개선하는 장비로 MRgHIFU가 있으며, Philips 사의 Sonalleve MR-HIFU가 대표적이다[12]. 진단영상을 MRI로 획득하여 정확한 해부학적 정보를 파악 후, HIFU로 종양을 제거하며, 소작되고 있는 치료 부위에 대한 온도 측정이 가능한 장치이다. 시술 중 종양이나 인근 정상 장기가 필요 이상의 온도로 상승하면 기기는 시술을 중단하고 쿨링 작업을 한다. 이를 통해 HIFU의 부작용인 정상조직 손상을 최소화 한다. MRI 특유의 높은 조직 해상도와 넓은 영상 범위를 가지는 장점도 있다.

전파를 이용하는 치료법에는 단파 투과열요법과 마이크로파 투과열요법이 있다. 단파 방식은 10~30MHz 단파 주파수를 사용하는데, Oncotherm 사의 EHY-2000 모델은 정전방식 어플리케이터(Capacitive Applicator)를 이용하는 대표적인 단파 투과열치료 장비로, 부인과 악성종양, 심부암, 위장 종양 치료에 적용되고 있다[11]. 근골격계 질환 온열치료 장치로는 Mettler Electronics Corp.사의 AutoTherm 395 모델이 있으며, 재활치료 장치로 널리 쓰이고 있다[10].



<자료> Oncotherm

[그림 3] EHY-2000



<자료> Mettler Electronics Corp.

[그림 4] AutoTherm 395

마이크로파 방식은 915MHz 나 2,456MHz 의 주파수를 흔히 사용하며, 수분에 의해 선택적으로 더 흡수가 잘되어 근육의 온도를 잘 높이는 것으로 알려져 있다. 최근에는 항암치료와 방사선 치료의 효과를 증진시키기 위해 사용되기도 한다. 시장 제품으로는 Pyrexar 사의 BSD 시리즈가 있다[13]. BSD-500 은 얇은 침투 깊이(2cm)의 표재성(Superficial) 열치료 목적으로 활용되며, 이동성이 뛰어난 장점을 가지고 있다. 운용주파수 915MHz, 최대 출력 400W(RF)의 도파관 방사 방식 어플리케이션(Radiating Waveguide Applicator)를 적용했으며, 서미스터(Thermistor) 기반의 온도 센서를 통해 치료 모니터링을 한다. 항문, 유방, 자궁, 방광, 머리/목, 식도, 직장 부위를 치료 대상으로 적용하고 있다.

BSD-2000 시리즈는 BSD-500 과는 달리 골반, 복부, 흉부 등 심부를 치료대상으로 하는 제품으로 환형 배열 어플리케이션(Annular Phased Array Applicator)를 적용하였다. 운용주파수는 마이크로파 대역보다 상대적으로 낮은 주파수 대역의 75~120MHz 로 운용하며 최대 출력 1,300~1,800W 의 고출력으로 주파수, 진폭, 위상, 전력 조절로 열선량(Thermal Dose) 조절이 가능하다. 이 때문에 전자파 차폐 치료실을 필요로 하고 있다. 치료용 소프트웨어 프로그램에서는 치료 대상 환자의 MRI 영상을 기반으로 치료 계획을 하며, 치료 모니터링을 위해서 서미스터 소자를 카테터를 통해 인체의 강 내로 삽입하여 운용하고 있어 환자에서 상당한 불편이 있다. BSD-2000 3D 에서는 환형의 다이폴소자 배열을 이용하여 체내 넓은 범위에 에너지를 가하고 있다. 그 후속 차세대 모델인 BSD-2000 3D MR 은 치료 모니터링을 위해 MRI 장비와 결합한 것이다. 이 장비는 아직 미국 내에 판매되지 않고 있으나, MRI 와 연동하지 않는 BSD-2000 은 10 여 간의 다양한 임상연구 및 온열암치료 검증을 거쳐 2011년 11 월 미국 FDA 의 승인을 받은 장비로 국내에서는 2014년 11 월 KFDA 인가를 받아 판매를 시작하였다.



<자료> Pyrexar

[그림 5] BSD-500



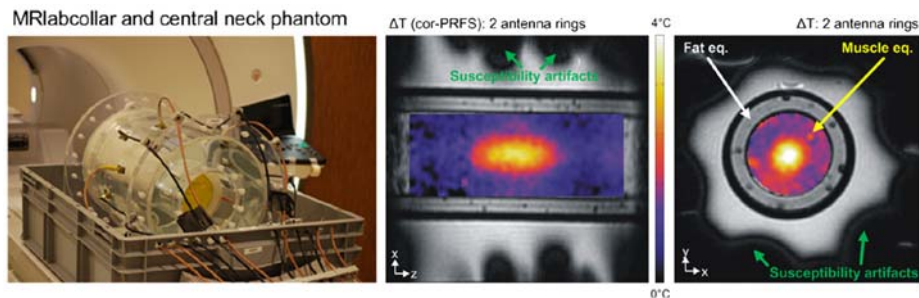
<자료> Pyrexar

[그림 6] BSD-2000

V . 최신 기술 및 발전 방향

전파와 초음파는 인체 안전성과 환자 친화도가 높기 때문에 생체 내 종양 또는 근골격계 질환을 비침습적으로 치료하고자 하는 요구가 의료현장에서 상당히 높다. 따라서 최근에는 지금보다 고도화된 기술을 이용하여 생체 내에 정밀하게 에너지를 집속하는 기술에 대한 연구자의 관심도 높아지고 있으며, 세계적으로 2010년도 이후로 많은 연구결과들이 보고되고 있다. 이것은 전파기술뿐만 아니라 생체 다중물리 해석 기술 등의 융복합 기술의 발달로 결과 예측이 가능한 설계가 가능해졌고, 또한 열에 대한 임상적 효과가 과학적으로 검증되고 있기 때문일 것이다. 본 절에서는 비침습 전파 에너지 치료와 모니터링에 관련된 국내외 대표적인 최신기술을 소개하고 향후 발전 방향에 대해 논하고자 한다.

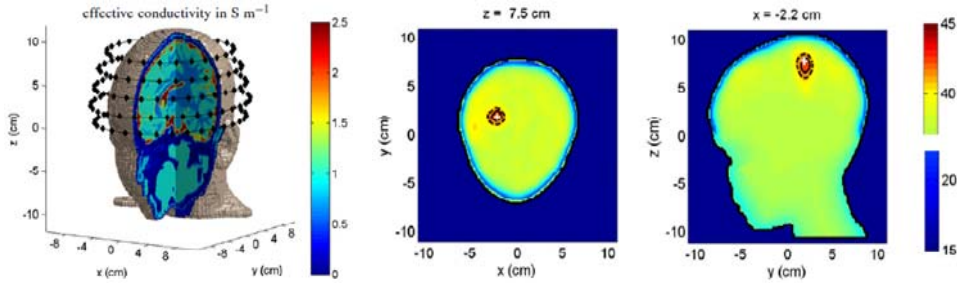
네덜란드 연구그룹(세계적인 글로벌 기업 GE 연구팀)은 머리(Head)와 목(Neck) 심부에 위치한 종양을 온열치료하기 위한 목적으로 434MHz RF 주파수에서 동작하는 전파집속 시스템을 연구하였다(그림 7 참조)[8],[9]. 특히, 이 실험장치는 MR 스캐너와 호환되도록 설계하여 실험에 사용한 목 팬텀의 내부 온도가 300W 의 RF 전력으로 6 분에 4.5℃ 상승함을 확인하였다. 한편, 이 시스템은 생체 심부 종양의 넓은 부위에 전파집속을 목적으로 하고 있어 높은 공간해상도로 정밀하게 위치를 제어하는 기술은 아직 보여주지 못하고 있다.



<자료> M.M. Paulides et al., "Laboratory prototype for experimental validation of MR-guided radiofrequency head and neck hyperthermia," *Physics in Medicine and Biology*, Vol. 59, No. 9, 2014, pp. 2139-2154.

[그림 7] MR 스캐너와 결합된 전파온열치료 실험장치 및 실험결과

정밀 전파집속 알고리즘 측면에서 몇 가지 최신기술을 소개하면 대표적으로 시간역행(Time Reversal) 원리를 이용한다. 이것의 기본 원리는 집속하고자 하는 지점에서 전파를 송신하고 그 산란된 파를 생체 외부에서 수신하고(이 과정은 컴퓨터 시뮬레이션으로 이루어짐), 그 수신된 전파신호를 실제 대상체에 시간적으로 거꾸로(또는 위상을 반대로) 송신하게 되면 다시 원래



<자료> M.J. Burfeindt et al., "Microwave beamforming for non-invasive patient-specific hyperthermia treatment of pediatric brain cancer," Physics in Medicine and Biology, Vol. 56, No. 9, 2011, pp. 2743-2754.

[그림 8] 소아 뇌종양 치료를 위한 전파집속 시뮬레이션 결과

목표 지점으로 전파가 모이게 된다는 것이다. 이를 이용한 대표적인 연구결과로는 스웨덴 Chalmers 공대 연구그룹에 의해 수행된 머리(Head)와 유방(Breast) 심부에 존재하는 종양을 치료하기 위해 전파 에너지를 집속하는 컴퓨터 시뮬레이션 연구가 있다[5]. 또한, 미국 Wisconsin 대학 연구그룹에서는 1GHz 마이크로파 빔포밍 기술을 이용하여 소아 뇌종양에 전파를 집속하는 알고리즘을 제안하였고, 이에 대한 3 차원 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보고하였다(그림 8 참조)[7]. 하지만 이 결과는 상당한 수의 방사소자를 구성하고 있어 실제 구현 면에서 상당한 어려움이 있다. 한편, 전파에 의한 비침습적 열치료 기술이 발전함에 따라 그 기술의 모니터링 기술 또한 상당히 중요하여, 현재 MR 스캐너에 의한 온도 모니터링뿐만 아니라 직접 전파를 이용하여 생체 온도를 모니터링 하는 연구가 시작되고 있다[4].

국내의 경우, 전파집속치료 핵심원천기술 개발을 위해 유일하게 한국전자통신연구원(ETRI)에서 2016년부터 현재까지 연구 중에 있으며, 2017년에는 생체 내부 직경 10mm 부위에 전파 에너지를 정밀하게 집속하는 기술을 검증하기 위한 실험장치를 완성하였다(그림 9 참조). 이 실험



<자료> 한국전자통신연구원(ETRI)

[그림 9] 정밀 전파집속치료 실험장치 및 실험결과

장치는 925MHz 의 전파를 방사하는 16 개의 원형 배열 안테나로 생체 내 임의의 지점에 전파 에너지를 집속할 수 있다. 특히, 세계 최초로 생체치료용 근육 모방 팬텀을 개발하여 이 실험에 활용하였다. 그 실험 결과로 임의의 원하는 지점에 100W 의 송신전력으로 10 분 동안 조사하여 약 9℃ 온도를 상승시킬 수 있었다. 이 결과는 실제 종양 또는 근골격계 질환의 정밀치료에 활용될 수 있음을 본 연구에 참여하고 있는 고려대학교 구로병원 의료진들로부터 확인하였다. 이 기술은 현재 세계적으로 연구되고 있는 전파집속 치료기술 보다 우수한 집속 공간해상도로 더욱 세밀한 집속 위치 제어가 가능하다. 더욱이 뼈를 포함하는 부위에 대해서도 적용이 가능해 뼈 투과에 어려운 초음파치료기기의 한계를 극복할 수 있어 보다 경쟁력 있는 전파치료기기의 개발이 가능해졌다고 본다. 그리고, 현재 ETRI 는 실시간 마이크로파 이미징 원천기술도 연구 중에 있으며, 이를 열치료 모니터링 또는 뇌출혈 진단과 같은 여러 임상 분야에 적용하기 위한 탐색연구 또한 진행 중이다.

정밀한 전파집속 위치제어를 위해서는 우선 기존의 진단치료 융합의료기기와 같이 MRI 장비와 전파집속기기를 결합할 수 있다. 하지만 궁극적으로는 치료대상자의 해부학적 정보가 없어도 원하는 지점에 전파를 집속하고, 실시간 모니터링할 수 있는 타 의료기기의 도움 없이 하나의 전파기기 자체로 환자를 진단하고 동시에 시술을 위한 목표를 설정하고, 이에 따라 시술을 진행하며, 또한 그 시술 상태를 모니터링 하는 것이 가능해야 할 것이다. 이것이 앞으로 궁극적으로 실현되어야 할 전파 테라그노시스 개념이라 할 수 있겠다.



<자료> 한국전자통신연구원(ETRI)

[그림 10] 스마트 전파 테라그노시스 개념도

VI . 결론

본 고에서는 치료의 안전성, 효용성, 정확성을 높이기 위해 병변에 대한 진단 및 표적 설정,

그리고 치료과정에서 모니터링을 가능하게 하는 의료영상과 융합된 비침습 치료기기에 대한 동향과 신기술을 살펴보았다. 그 최신기술로 한국전자통신연구원의 정밀 전파집속치료 기술을 소개하였다. 이 기술은 기존의 초음파 내지 방사선을 이용하는 치료기기의 한계를 극복하거나 상호보완할 수 있는 신기술이며, MR 영상 또는 초음파영상과 결합되어 진단과 치료, 그리고 모니터링을 함께 가능하게 할 것이다. 또한, 전파는 진단을 위한 의료영상화도 가능한데, 전파영상화 기술은 최신 지능정보 기술과의 접목으로 앞으로 상당한 발전이 예상된다. 즉, 간단한 하나의 전파기기로 질병 예측을 포함한 진단과 치료가 동시에 가능한 스마트 전파 테라그노시스 기술이 실현되어 국민 건강과 국가 이익 창출에 궁극적으로 이바지할 것으로 생각한다.

[참고문헌]

- [1] Alpinion, <http://alpinion.co.kr>
- [2] D.I. Abramson et al., "Effect of Tissue Temperatures and Blood Flow on Motor Nerve Conduction Velocity," The Journal of the American Medical Association, Vol.198, No.10, 1966, pp.1082-1088.
- [3] Frost & Sullivan 2017 Report, 2017 Market Snapshot, Top Predictions for 2017.
- [4] G. Chen et al., "Real-Time 3D Microwave Monitoring of Interstitial Thermal Therapy," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2017. DOI 10.1109/TBME.2017.2702182
- [5] H.D. Trefná et al., "Time-reversal focusing in microwave hyperthermia for deep-seated tumors," Physics in Medicine and Biology, Vol.55, 2010, pp.2167-2185.
- [6] K.L. Schmidt et al., "Heat, cold and inflammation(A review)," Zeitschrift fur Rheumatologie, Vol.28, 1979, pp.391-404.
- [7] M.J. Burfeindt et al., "Microwave beamforming for non-invasive patient-specific hyperthermia treatment of pediatric brain cancer," Physics in Medicine and Biology, Vol.56, No.9, 2011, pp.2743-2754.
- [8] M.M. Paulides et al., "Laboratory prototype for experimental validation of MR-guided radiofrequency head and neck hyperthermia," Physics in Medicine and Biology, Vol.59, No.9, 2014, pp.2139-2154.
- [9] M.M. Paulides et al., "Status quo and directions in deep head and neck," Radiation Oncology, Vol.11, No. 1, 2016.
- [10] Mettler Electronics Corp., www.mettlerelectronics.com
- [11] Oncotherm, <http://oncotherm.com>
- [12] Philips Healthcare, <https://www.philips.co.uk/healthcare>

* 본 연구는 한국전자통신연구원 연구운영비 지원 사업의 일환으로 수행되었음. [17ZR1400, 전파 치료를 위한 정밀조사 알고리즘 연구]

- [13] Pyrexar, www.pyrexar.com
- [14] V. Wright and R.J. Johns, "Quantitative and qualitative analysis of joint stiffness in normal subjects and in patients with connective tissue disease," *Annals of the Rheumatic Diseases*, Vol.20, 1961, pp.36-45.
- [15] 손성호 외, "전파 테라그노시스: 전파 의료영상 및 치료 융합기술," 2017년도 한국전자파학회 하계종합학술대회 논문집, Vol.2, No.1, 2017. 8.
- [16] 한국과학기술기획평가원, "의료기기 개발 동향," KISTEP 동향브리프, 2010-06 호.
- [17] 한국과학기술기획평가원, "헬스케어산업 활성화를 위한 의료기기 R&D 발전방안," Issue Paper, 2015-06 호.
- [18] 한국보건산업진흥원, "디지털 헬스케어 시대의 대응방안," 보건산업동향, 2016. 2, pp.12-17.
- [19] 한국산업기술평가관리원, "영상유도 고강도집속초음파(HIFU: High Intensity Focused Ultrasound) 치료기기의 기술과 산업동향," KEIT PD Issue Report, Vol.15-11, 2015.10, pp.30-44.