

마이크로 CT를 이용한 BALB/C(흰쥐) 간문맥의 미세혈관 조영 영상

Microvascular Contrast Image in Portal Veins of Rat using Micro-CT

이상호*, 임청환**, 정홍량**, 한범희***, 모은희****, 채규윤*****
 익산병원 영상의학과*, 한서대학교 방사선학과**, 서남대학교 방사선학과***,
 원광대학교병원 영상의학과****, 원광대학교 생명나노학부*****

Sang-Ho Lee(ho8350@hanmail.net)*, Cheong-Hwan Lim(lch116@hanseo.ac.kr)**,
 Hong-Rayng Jung(hrjung@hanseo.ac.kr)***, Beom-Hee Han(raphael121215@hanmail.net)****,
 Eun-Hee Mo(mo0428@hanmail.net)*****, Kyu-Yun Chai(geuyoon@wonkwang.ac.kr)*****

요약

고해상도 엑스선 영상장치인 마이크로 CT를 이용, 흰쥐 간의 전체적인 문맥상과 각 간엽(lobe)의 미세혈관구조를 관찰하여 4개 분절 간엽의 구조를 영상화 하였고, 단축면상의 데이터를 3D영상으로 재구성한 미세혈관 구조의 입체적인 영상을 획득할 수 있는 마이크로 CT에 대한 유용성을 알아보려고 하였다.

5마리의 간 중에서 손상이 가장 적은 1개의 간을 4개의 분절 간엽으로 각각 절단하여 문맥의 미세구조를 이차원으로 구성하였으며, MIP기법을 이용하여 간 문맥 전체 미세혈관의 3D영상을 얻었으며, 각 간엽의 미세혈관은 6분지까지 관찰할 수 있었다. 6분지까지의 크기를 측정된 결과 평균치는 1 branch : 0.51 mm ± 0.08, 2 branch : 0.32 mm ± 0.12, 3 branch : 0.23 mm ± 0.11, 4 branch : 0.19 mm ± 0.08, 5 branch : 0.13 mm ± 0.06, 6 branch : 70.5 μm ± 14.1 로 측정되었다.

본 연구의 실험 결과에서 획득한 3차원의 입체 영상과 미세혈관 구조의 발견은 향후 고해상력의 영상을 얻을 수 있는 마이크로 CT가 많이 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

■ 중심어 : | 마이크로CT | 미세혈관구조 | 3차원의 영상 |

Abstract

The study focuses on the value of Micro CT, a high resolution X-ray imaging device, by using it on rats to observe the overall portal vein image of the liver and the microvasculature of each lobes, visualize the 4 segmental lobes and acquire 3D image of the microvasculature through the reconstruction of sectional image data. Less of the damage to liver of the 5 mice, the device was able to separate the liver into 4 segmental lobes and displayed the 4 portal vein microvasculature in 2D. By using the 3D MIP technique, observation of the whole portal vein system microvasculature in 3D image was made possible along with each of the portal vein segment's branches until the 6th branch. Measured the size of 6branch, the average was measured at 1branch : 0.51 mm ± 0.08, 2 branch : 0.32 mm ± 0.12, 3 branch : 0.23 mm ± 0.11, 4 branch : 0.19 mm ± 0.08, 5 branch : 0.13 mm ± 0.06, 6 branch : 70.5 μm ± 14.1.

The 3D image and the images of the microvasculatures in the result of study proved that the Micro-CT can be considered many useful device in obtaining high resolution images.

■ keyword : | Micro CT | Microvasculature | 3D Image |

I. 서론

X선은 인체, 공업재료, 미생물, 세포, 결정표면, 물의 원자배열과 같은 초미세 구조의 세계까지 탐구할 수 있는 다양한 범위의 응용에 이용되고 있고, 1980년대 이후에는 기초과학의 첨단기술 분야까지 확대되고 있으며, 최근 생체를 고해상도로 살아있는 상태에서 분자 수준의 구조적인 변화와 함께 기능적인 관찰을 할 수 있는 바이오 의료영상기술에 대한 개발에 적용되면서 미래 의료기술의 핵심적인 분야로 인식되고 있다[1].

다양한 바이오 영상 기술 중에서 X선을 이용한 영상 기술은 짧은 파장으로 인한 고해상도 영상을 얻을 수 있으며, 강한 투과력 때문에 내부물질의 비파괴적 검사가 가능하다. 물질을 구성하는 특징원소에 대한 영상과 분광정보를 동시에 얻을 수 있고, 물질의 밀도에 따른 흡수 차 뿐만 아니라 위상차, 굴절, 회절 등에 의한 풍부한 영상 대조도를 얻을 수 있는 특징을 이용한다. 자기공명영상장치(Magnetic Resonance Image: MRI), 초음파장치(Ultrasound: US), 전산화단층촬영장치(Computed Tomography : CT), 양전자방사 단층촬영장치(Positron Emission Tomography: PET), 광학영상 등의 장치가 사용되고 있으며, 세포와 분자를 표적하여 영상화하기 위한 다양한 나노(Nano: 10억분의 1미터) 입자가 개발되면서 진단 및 치료 등을 위한 광범위한 연구가 진행되고 있다[2].

다 검출기 CT(multi-detector: MDCT)은 1990년대에 나선식 CT(spiral CT)가 개발된 이후 빠른 속도로 발전하여 현재 128채널 MDCT가 시장에 나와 있으며 공간해상력은 1~0.23 mm로 MDCT의 해상력과 스캔시간이 매우 향상된 상태이나 마이크로 CT에 비하여 해상력은 크게 떨어지는 실정으로 크기가 작은 실험동물의 영상을 얻는 것에는 한계점이 있다[3].

마이크로 의료 영상기기란 마이크로(100만분의 1미터)급의 해상도를 가진 인체의 질병검사를 위한 진단용 영상기기로써 현재 사용하고 있는 X선, CT, MRI 등의 수 mm 단위의 육안적 구조변화에 대한 진단한계를 극복하고 마이크로 단위의 구조변화 조기검출 및 기능적 검사가 가능한 차세대 핵심 기술이다[4].

작은 동물 영상촬영장치로는 마이크로 토모그래피(Micro tomography), 작은 동물용 자기공명영상 장치(micro MRD), 마이크로 양전자방출 단층촬영장치(micro PET CT) 등을 들 수 있으며[5], 작은 동물을 희생시키지 않고 비침습적인 방법으로 병의 진행과 경과를 영상으로 확인할 수 있는 고해상도 마이크로 CT는 1980년대 처음 소개된 이후부터 생명공학 연구 분야에 매우 중요한 역할을 하고 있다. 향후 200nm 단위로 암 등 각종 질병의 조기진단이 가능할 뿐 아니라, 신약개발연구, 미생물연구, 단백질 구조연구 등 생명공학 및 의료 연구 분야에 획기적으로 기여함은 물론, 바이오 산업분야까지 광대한 파급효과가 있을 것으로 기대된다[6][7].

지금까지 연구동물에 고식적으로 시행되어왔던 조직학적 구조 분석은 시간이 오래 걸리고 비용이 많이 들며 한번 절편을 내고 난 후에는 절찰에 의한 손상 등으로 다른 검사를 시행할 수 없고 3차원적 정보를 제공하지 못하는 단점이 있었다. 이에 비해 마이크로CT는 비침습적 이면서 고해상도의 영상을 다양한 방법으로 얻을 수 있으며 재구성할 수 있다는 장점이 있다[8][9].

최근에는 컴퓨터의 소프트웨어 발달로 인하여 마이크로 CT를 이용, 작은 동물의 장기에서도 공간분해능이 훌륭한 영상을 얻을 수 있게 되어 간의 미세한 구조와 병변을 발견하는데 있어 더 정확한 영상검사 방법으로 추측 되어 진다[10][11].

하지만, 작은 동물의 형태학적 구조는 물론 미세혈관 구조에 대한 영상은 아직도 미미한 수준이며 특히 흰쥐 간의 문맥혈관상의 영상, 해부학적 영상정보가 부족한 상황이다. 본 논문에서는 국내의 방사선 과학연구소에서 개발한 마이크로CT 영상시스템의 다양한 영상획득 기법을 통해 미세 구성성분의 영상을 획득하여 간의 미세구조를 관찰하고, 임상영상에서 적용할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 실험대상 및 방법

1. 실험대상 및 혈관조영제

본 연구에서 대상으로 한 흰쥐들은 출생 후 7~12주

의 나이를 가졌으며, 체중 20~25g이 된 흰쥐들로 5마리의 BALB/C mice를 대상으로 실험하였다. 일반적인 혈관 조영제는 점성이 낮고 조직내로 침투하여 혈관 조영만을 위한 영상 획득에 어려움이 있어 100 ml 당 140 g의 barium sulfate (BaSO₄)가 혼합된 솔로탑액 140 조영제를 사용하였다.

2. 실험방법

5마리의 흰쥐를 마취제(isoflurane) 4% 와 의료용 산소를 자동 혼합한 호흡마취제 기기로 호흡 마취시킨 후 개복하였다. 생리식염수 20cc가 들어있는 26G의 needle을 간의 문맥 입구에 삽입시키고, 하대정맥을 결찰, 생리식염수 15cc를 needle를 통해 주입하면 간 속의 혈액이 하대정맥을 통해 흘러나온다. 조영제(BaSO₄)를 다시 간 문맥에 주입한 이후 간 전체를 적출하고, 포르말린 속에 정제하여 약 4° 에 냉장 보관한 후 3일 이내에 보관된 조직을 전체 스캔하였다. 스캔된 이미지를 확인하고 4개 lobe를 부분적으로 절개한 후 마이크로 CT로 2차 스캔을 하였다.

Micro-CT에서 스캔된 medial lobe(I, II), Rt lateral lobe, Lt lateral lobe, caudate lobe, 4개 간엽의 3D미세혈관구조를 눈으로 확인 가능한 branch까지 세분한 결과 6branch까지 확인하였고, 그 크기를 모두 측정하였다. [Fig. 1]은 1 ~ 6branch까지의 크기를 측정하기 위한 각 branch의 위치를 표시한 예를 보여준 혈관구조의 모형도이다.

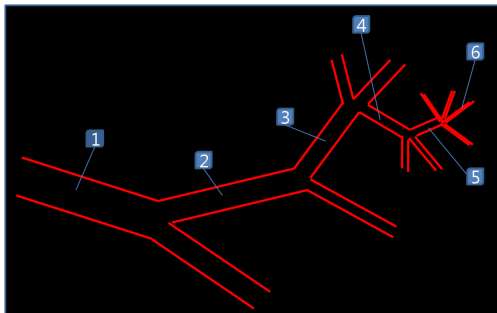


Fig. 1. Size measured location of each branches (1 ~ 6)

III. 결과 및 고찰

마이크로 CT를 이용하여 간의 미세혈관 구조를 약 6분에 걸쳐 촬영하여 이차원의 단면영상을 얻었다. 이 단면영상은 workstation으로 전송되고 MIP기법을 이용한 결과 간 전체가 조영된 문맥의 3D영상으로 미세혈관구조를 관찰 할 수 있었으며, 관찰정도는 미세혈관의 6분지까지 육안으로 관찰이 가능하였다[Fig. 2].

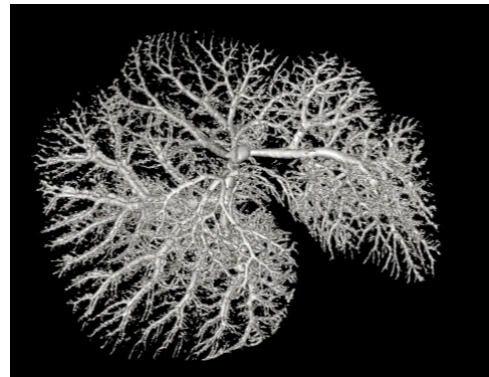


Fig. 2. Liver micro portal vein 3D-CT image of ex-vivo mouse in micro-CT.

5개의 간 중에서 손상이 최소화된 1개의 간을 4개의 분절엽으로 절개한 간 문맥의 미세혈관구조 역시 육안으로 관찰이 가능한 영상을 얻을 수 있었으며, 내엽: medial lobe[Fig. 3], 외측우엽: Right lateral lobe [Fig. 4], 외측좌엽: Left lateral lobe[Fig. 5], 미상엽:caudate lobe[Fig. 6].

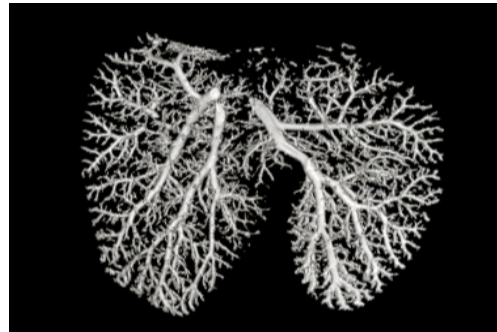


Fig. 3. Medial lobe of liver microvasculature 3D-CTreconstruction image of ex-vivo mouse in micro-CT.

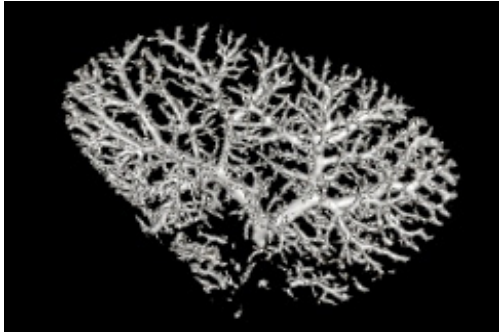


Fig. 4. Right lateral lobe of liver microvasculature 3D-CTreconstruction image of ex-vivo mouse in micro-CT.



Fig. 5. Left lateral lobe of liver microvasculature 3D-CTreconstruction image of ex-vivo mouse in micro-CT.

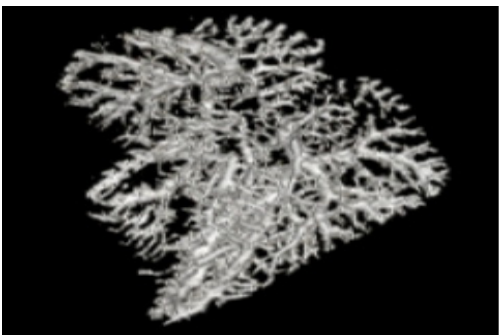


Fig. 6. Caudate lobe of liver microvasculature 3D-CT reconstruction image of ex-vivo mouse in micro-CT.

영상화된 흰쥐 간의 미세혈관 구조를 각 간엽 문맥 (Portal Vein) 1 branch에서 6 branch까지의 크기를 측

정한 결과 평균값은 1 branch : 0.51 mm ± 0.08, 2 branch : 0.32 mm ± 0.12, 3 branch : 0.23 mm ± 0.11, 4 branch : 0.19 mm ± 0.08, 5 branch : 0.13 mm ± 0.06, 6 branch : 70.5 μm ± 14.1 로 측정되었다[Table 1].

Table 1. Size of Portal vein Branchs (Unit : 1,2,3,4,5 - mm, 6 - μm)

Lobe	Hepatic Branchs					
	1	2	3	4	5	6
Medial (I)	0.59	0.27	0.17	0.18	0.14	64.8
Medial (II)	0.46	0.28	0.19	0.18	0.11	84.6
r't lateral	0.45	0.24	0.19	0.18	0.11	68.2
l't lateral	0.64	0.44	0.34	0.27	0.19	75.0
Caudate	0.43	0.38	0.25	0.16	0.11	59.8
Average	0.51	0.32	0.23	0.19	0.13	70.5

기존에는 흰쥐 간의 미세혈관구조를 영상화하기 위해서 혈관 내로 india ink나 방사선 비투과성의 조영물질을 주입한 후, 광학 또는 전자 현미경으로 관찰하는 방법을 사용하거나 미세혈관 조영술을 이용하였다[12].

광학영상의 기법 중 Luciferase의 경우는 발광영상은 표적/배후도가 높고 세포에서 방출하는 빛의 양이 분자변화나 세포수와 비례하기 때문에 정량적인 분석도 가능한 점 때문에 hypersensitive CCD(cooled charge-coupled device) camera를 이용하여 쥐, 토끼와 같은 소동물의 영상을 얻었다[13]. 공간 분해능이 여러 방법 중 가장 좋고 분자 영상학 연구에 널리 사용되고 있기 때문에 이 방법을 쉽게 영상에 시도할 수 있고 방사선이나 방사능을 사용하지 않고 빠르게 영상화가 가능한 장점 때문에 소형동물수준의 연구가 많이 이루어지고 있으나, 광학영상은 투과력이 좋지 않아 사람에서 심층부를 영상화하기 어렵고 신호의 산란이 많아 단층영상을 만들고 정량화 하는데 부적합하다 [24].

이 단점들을 보완하기 위해서 미세절단술을 사용하여 간의 단면을 제작한 후 관찰하였다. 그러나 다수의 단면을 제작해야만 하며, 온전한 간 조직이 단면 제작 과정에서 손상되어 다른 방향의 연구가 불가능하다는 점 등으로 전반적인 간의 미세 혈관구조를 알기에는 부족하였다[14].

작은동물 영상 촬영장치인 고해상도의 엑스선 영상 장치인 마이크로 CT는 가장 우수한 해상도를 나타내며, 다양한 영상획득 기법을 통해 간의 형태학적 혈관의 구조는 물론 미세혈관구조 영상과 분광정보를 동시에 얻을 수 있으며, 생체의 미세구조와 기능탐구, 분자생물학적 영상으로 비침습적으로 생체 세포의 구조와 변화를 탐색하고 면역화학기법을 이용한 특정단백질을 영상화 할 수 있으므로 생체에서의 진단 및 치료기법의 개발에 새로운 시발점이 되고 있다.

또한 실시간으로 살아있는 조직 또는 세포를 고해상도로 촬영하는 광결맞음 단층 촬영기술(Optical Coherence Tomography, OCT)을 이용하면 현재 생명과학 특히 in vivo영상이 요구되는 생체시료 가장 높은 해상도를 구현하는 바이오 시료에 매우 적합한 방법으로 알려져 미세혈관 구조의 구성 요소 미세부분까지도 구별이 가능할 뿐 아니라 복잡한 기능적 단위의 신경세포까지 가시화 할 수 있다 [24]. 따라서, 수 μm 이하의 광원크기를 갖는 X선 발생장치를 이용하고, 상대적으로 낮은 X선 광원의 세기에 대하여 고감도 타입의 검출기를 채용하고, 생체세포의 유지 및 방사선으로부터 보호와 영상의 대조도를 증가시키기 위하여 위상차 영상획득 기술을 적용, 기존 의료영상 촬영 시스템들보다 훨씬 높은 고해상도를 갖는 마이크로 CT의 개발이 이루어지면, 쥐 등의 작은 동물에서 미세 혈관구조의 동적영상을 영상화 할 수 있을 것으로 생각한다[15].

인간의 간에 대한 분절 해부학은 현재까지 선행연구에서 많은 연구가 있었으나, 간문맥과 간정맥을 지표로 삼고 있는 couinaud분류가 많이 이용되고 있고[16], [17]등(Gray's Anatomy)은 분절을 4부분(Right, left, caudate, quadrate)으로 분류하였다. 간은 falciform인 대에 의하여 좌, 우엽으로 구분할 수 있으나 최근에는 크게는 우전엽, 우후엽, 좌내엽 및 좌외엽의 4부분으로 구분할 수 있다. 이러한 4부분을 좀 더 세분화하면, 우전엽은 V번과 VIII 번엽으로, 우후엽은 VI 번과 VII 번엽으로 나누어지며, 좌외엽은 II번과 III번엽으로, 좌내엽은 IV 번엽으로 구분하였다.

실험동물 중 흰쥐 간 모델은 사람의 간 모델로 흔히 사용되는데 이것은 흰쥐간이 형태학적 및 기능적으로

사람과 유사하기 때문이며, [18]등은 미세혈관의 분포에 따라서 흰쥐 간의 형태를 네 부분(right, left, median, caudate)으로 구분하였다. 이러한 기능적 분류는 간의 영상 자료를 해석하는 과정에 필수적으로 Synchrotron를 이용 미세혈관구조를 고해상도 영상을 얻을 수 있다고 보고 하였으며[19], 최근에는 골 구조물외에 장기조직의 연구에 마이크로 CT를 사용하는 것이 시도되고 있는데, [20]등은 마이크로 CT를 통하여 요석의 미세구조를 알아보고자 하였고, [21]등은 관상동맥의 동맥경화성 병변의 정량적 분석에 마이크로 CT를 이용하였으며 마이크로 CT영상이 조직학적 검사와 비슷한 정도의 정보를 제공한다고 보고하였다. 본 연구에서는 간의 각각의 네 구역의 혈관 구조를 영상을 통해 비교할 수 있었으며 기존의 미세혈관 촬영술 등으로는 정량분석이 불가능하였으나, 마이크로 CT를 이용하여 흰쥐 간을 직접적으로 5부분을 절단하여 각 간엽의 미세 혈관 구조를 영상화할 수 있음은 물론 간의 각 분절당 혈관의 비율, 혈관의 크기와 같은 정량화된 정보를 얻을 수 있으며, 간 조직의 손상 없이 온전한 상태로 영상화할 수 있을 뿐 만 아니라 이를 각각 삼차원적으로 관찰할 수 있었다.

마이크로 CT를 이용한 작은 동물의 영상화는 많이 다루어지고 있지만, 본 연구에서도 그렇듯 연구과정과 실험 중에서 몇 가지 제한점과 어려움이 있었다.

첫째는 혈관의 분지가 적절하게 조영되지 않았거나 지나친 경우라고 생각되며 비록 연구에서 적절한 미세혈관 구조 영상을 획득하기 위해 고전적인 방법을 이용하였지만, 연구자의 수동적인 조영제의 주입으로 작은 소동물의 간의 미세혈관에 조영제가 도달치 않을 수 있으며, 간 적출 시 손상에 의한 구조의 변화가 발생할 수 있는 점이다.

둘째로 고식적 혈관 조영술과 비교가 이루어지지 않은 점이다. 그러나 혈관평가에 있어서 삼차원 혈관 촬영술이 고식적 혈관 촬영술의 대처방법이 될 수 있다는 연구 결과들을 참고하여 볼 때[22], 이번 연구에 큰 영향을 주지 않으리라 사료된다.

셋째로는 마이크로 CT로 흰쥐 간의 미세혈관들을 조영하기 위해서는 조영제의 점도가 적당하여 주입한 조

영제가 실험 과정에서 역류가 되지 않고 혈관에 집적되어 있어야 한다는 점이다.

이러한 이유로 [23]등은 증류수에 BaSO₄와 gelatin을 혼합하여 사용한 연구에서는 8% weight/volume의 gelatin을 사용한 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서는 BaSO₄를 혈관 내에 주입하여 실험을 하였는데, 이 조영제를 선택함에 일반적인 실험용 조영제가 없으므로 조영제의 선택이 연구자에게 의존되어 객관성을 증명하기 어려웠지만, 최종적으로 얻어진 마이크로 CT에서 만족할 만한 영상을 얻을 수 있었다.

IV. 결론

본 연구는 마이크로 CT를 이용한 흰쥐 간문맥의 미세혈관구조 3D영상을 얻기 위하여 5마리의 간 중에서 결찰 과정에서 손상이 가장 적은 1마리의 간을 4개 간엽부위로 분류하여 각각의 2차원 영상과 3차원 영상을 획득하였고, 영상에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 5마리의 흰쥐에서 4개의 간을 적출하여 모든 쥐의 간에 조영제를 주입한 간문맥 전체의 분지영상과 혈관영상을 얻을 수 있었다.
2. 간을 4개의 분절엽로 절단하여 획득한 이차원 CT 영상에서 내엽(medial lobe), 외측우엽(right lateral lobe), 외측좌엽(Left lateral lobe), 미상엽(caudate lobe)의 미세혈관구조를 관찰할 수 있었다.
3. 실험과정 중 손상을 최소화한 1개의 간을 4개의 분절간엽으로 각각 절단하여 4개 문맥의 미세구조를 이차원적으로 관찰 할 수 있었으며, 3D MIP 기법을 이용한 결과 간 문맥 전체 미세혈관의 입체적 영상과 각 문맥간엽의 미세혈관 6분지까지 관찰할 수 있었다.
4. 쥐 간의 미세혈관 6분지 크기를 측정한 평균치는 1 branch : 0.51 mm ± 0.08, 2 branch : 0.32 mm ± 0.12, 3 branch : 0.23 mm ± 0.11, 4 branch : 0.19 mm ± 0.08, 5 branch : 0.13 mm ± 0.06, 6 branch : 70.5 μm ± 14.1로 측정되었다.

최근 작은 동물 장기의 영상검사를 위하여 여러 가지 방법들이 개발되고 있으며 다양한 동물을 대상으로 미세구조의 변화와 기능에 관한 연구가 진행되고 있는 추세이다.

본 연구의 실험 결과에서 최근 개발한 마이크로CT를 이용하여 흰쥐 간의 미세혈관구조를 3차원적 입체영상 정보를 획득할 수 있었다. 따라서, 향후에도 지속적으로 많은 연구가 진행된다면 작은 동물의 장기 및 구조를 연속적인 in vivo imaging에 사용될 수 있을 것으로 기대될 뿐 아니라, 분자 수준의 진단과 유전자 치료 등의 다양한 바이오 의료의 연구 분야에 적용될 수 있는 기초 자료를 제공할 수 있으며 이를 통해 인간생명의 건강에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] S. Bourquin, Opt.Express, 3290, 2003.
- [2] J. F. Hainfeld, D. N. Slatkin, and H. M. Smilowitz, "The use of gold nanoparticles to enhance radiotherapy in mice," Phys Med Biol, 49:N309- N315, 2004.
- [3] G. F. Paciotti, L. Myer, and D. Weinreich, "Colloidal gold: a novel nanoparticle vector for tumor directed drug delivery," Drug Deliv, Vol,11, pp.169-183, 2004.
- [4] J. Chen, F. Saeki, and B. J. Wiley, "Gold nanocages bioconjugation and their potential use as optical imaging contrast agents," Nano Lett, Vol,5, pp.473-477, 2005.
- [5] M. C. Daniel and D. Astruc, "Goldnanoparticles assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis, and nanotechnology," Chem Rev, Vol.104, pp.293-346, 2004.
- [6] R. L. sandberg, C. Song. P and W. Waehulak O, "A Raymondsono High numerical aperture tabletop soft x-ray diffratio microscopy with

- 10-nm reduction," *proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 105-24, 2008.
- [7] C. T. Badea, B. Fubara, L. W. Hedlund, and G. A. Johnson, "4-D micro-CT of the mouse heart. *Mol Imaging*," Vol.4, pp.110-116, 2005.
- [8] M. J. Paulus, S. S. Gleason, S. J. Kennel, P. R. Hunsicker, and D. K. Johnson, "High resolution X-ray computed tomography: an emerging tool for small animal cancer research," *Neoplasia*, Vol.2, pp.62-70, 2000.
- [9] E. L. Ritman, "Micro-computed tomography-current status and developments," *Annu Rev Biomed Eng*, Vol.6, pp.185-208, 2004.
- [10] Winter TCIII, Freeny PC and Nghiem HV, et al "Hepatic arterial anatomy in transplantation candidates: evaluation with three-dimensional CT arteriography," *Radiology*, 195:363-370, 1995.
- [11] S. Takahashi, T. Murakami, and M. Takamura, "Multi-detector row helical CT angiography of hepatic vessels : depiction with dual-arterial phase acquisition during single breath hold," *Radiology*, 222:81-88, 2002.
- [12] J. W. Ludders, J. W. Wilson, and G. A. Ribble, "Microangiography and correlated histology: research technique for examining renal microcirculation," *Am J Vet Res*, 46:2536-8, 1985.
- [13] T. F. Massoud, "Gambhir imaging in living subjects: seeing fundamental processes in a new light," *Genes Dev*, 7:545-80, 2003.
- [14] M. D. Bentley, M. C. Ortiz, E. L. Ritman, and J. C. Romero, "The use of microcomputed tomography to study microvasculature in small rodents," *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 282:F1267-79, 2002.
- [15] P. Soyer, "Segmental anatomy of liver, Utility of a nomenclature accepted worldwide," *AJR*, 161:572-573, 1993.
- [16] H. Bismuth, "Surgical anatomy and anatomical surgery of the liver," *World J Surg*, 6:3-9, 1982
- [17] "Gray's Anatomy," via Wikipedia, 1918.
- [18] T. Harada, "Liver and Gallbladder," Chapter 7 in *Pathology of the Mouse*.
- [19] E. L. Ritman, S. M. Jorgensen, P. E. Lund, P. J. Thomas, J. H. Dunsmuir, and J. C. Romero, "Synchrotron -based micro-CT of in-situ biological basic functional units and their integration," *Proc Soc Photo Opt Instrum Eng* : 3149:13-24, 1997.
- [20] C. A. Zarse, J. A. McAteer, A. J. Sommer, S. C. Kim, E. K. Hatt, and J. E. Lingeman, "Nondestructive analysis of urinary calculi using micro computed tomography," *BMC Urol*, 13:4-15, 2004.
- [21] A. C. Langheinrich, R. M. Bohle, S. Greschus, N. Hackstein, G. Walker, and von Gerlach S, "Atherosclerotic lesions at micro CT: feasibility for analysis of coronary artery wall in autopsy specimens," *Radiology*, 231:675-681, 2004.
- [22] Winter T III, Freeny P and H. Nghiem, "Hepatic arterial anatomy in transplantation candidates ; evaluation with three-dimensional CT arteriography," *Radiology*, 195:363-370, 1995.
- [23] E. Toyota, Y. Ogasawara, K. Fujimoto, T. Kajita, F. Higeto, and T. Asano, "Global heterogeneity of glomerular volume distribution in early diabetic nephropathy," *Kidney Int*, 66:855-61, 2004.
- [24] 엄태중, 강철, "바이오 포토닉스 영상기술," 물리학과첨단기술, pp.65-69, 2007(6).

저 자 소 개

이 상 호(Sang-Ho Lee)

정회원



- 2009년 8월 : 한서대학교 방사선학과(방사선학석사)
- 2009년 ~ 현재 : 원광대학교 화학과 (박사과정)
- 2000년 8월 ~ 현재 : 익산병원 영상의학과

▪ 2010년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 방사선학과 겸임교수
 <관심분야> : 방사선학, 전산화단층기술학

임 청 환(Cheong-Hwan Lim)

정회원



- 1997년 8월 : 단국대학교 대학원 보건행정학과(보건학 석사)
- 2005년 2월 : 경원대학교 의료경영학과(보건학 박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 방사선학, 전산화단층기술학

정 흥 량(Hong-Rayng Jung)

정회원



- 1995년 2월 : 단국대학교 행정대학원 보건행정학과(보건학 석사)
- 2004년 8월 : 순천향대학교 환경보건학과(보건학 박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 방사선학, 보건역학, 의료경영관리

한 범 희(Beom-Hee Han)

정회원



- 2009년 2월 : 한서대학교 방사선학과(방사선학석사)
- 2009년 3월 : 전북대학교 방사선과학기술학과(박사과정)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 서남대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 방사선학, 방사선관리, 방사선방호법

모 은 희(Eun-Hee Mo)

정회원



- 2009년 8월 : 한서대학교 방사선학과(방사선학석사)
- 2010년 ~ 현재 : 전북대학교 방사선과학기술학과(박사과정)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 원광대학교병원 영상의학과

<관심분야> : 방사선학, 전산화단층기술학, 유방영상기술학

채 규 윤(Kyu-Yun Chai)

정회원



- 1990년 2월 : 경희대학교 화학과(이학박사)
- 1990년 ~ 현재 : 원광대학교 생명나노학부 교수

<관심분야> : 무기화학, 천연화합물, 의약품합성