



Physics of transcranial Doppler sonography

고려의대 신경과

김 치 경

소리는 공기나 물 같은 매질의 진동을 통해 전달되는 종파(longitudinal wave)이다. 소리는 종파이므로 매질을 압축 및 팽창 시키면서 전달되는 에너지의 일종이다. 소리는 파동이므로 진폭, 파장, 주기, 진동수, 강도, 속도, 방향으로 기술될 수 있다. 초음파는 사람이 들을 수 있는 범위 이상의 진동수를 가지는 음파를 뜻하며 보통 사람이 들을 수 있는 범위는 20kHz 이하이다. 보통 의학적으로 사용하는 초음파는 1-20 MHz로 구성되며 초음파 영상은 초음파의 투과와 반사에 의해서 이루어진다. 평균적인 조직에서 초음파의 속도는 1540 m/s으로 측정되면 초음파는 매질에서 투과, 반사, 굴절, 감쇠, 흡수를 보일 수 있다. 초음파의 감쇠는 초음파의 강도가 줄어드는 현상으로 매질의 특성인 매질의 감쇠계수, 진동수, 초음파가 전달된 깊이와 연관관계가 있다. 또한 초음파의 임피던스(impedance)는 소리의 전달에 대한 매질의 저항으로 매질의 밀도, 소리의 속도와 연관이 있다. 일반적으로 밀도가 높은 매질은 소리 전파의 속도가 빠르나 감쇠와 임피던스가 모두 큰 특성을 가지고 있다. 영상의 분해능(resolution)를 높이고 생체 조직의 위치를 파악하기 위해서는 연속성 도플러(continuous wave Doppler)보다 간헐적 파동이 발사되는 맥파 도플러(pulse wave Doppler)를 사용하는데 분해능이 증가되어 질 높은 영상을 얻을 수 있으나, 에일리어싱(aliasing) 효과에 주의해야 한다. 맥파 도플러는 맥파의 주기, 공간적 맥파의 길이, 맥파 반복 주기, 맥파 반복 진동수, 의무 인자(duty factor)를 가진다. 분해능은 두 개의 사물을 공간적으로나 시간적으로 구별할 수 있는 능력을 뜻하는 것인데 축방향의 공간 분해능은 맥파의 길이와 음의 상관관계가 있으며, 수평 방향의 공간 분해능은 변환기의 빔의 너비와는 양의 상관 관계 초음파의 진동수와는 음의 상관관

계를 가진다. 낮은 진동수의 파동에 비해 높은 진동수의 파동은 짧은 파장과 높은 축 분해능을 가지지만, 낮은 투과율을 보인다. 가장 고전적인 초음파 영상인 A(amplitude)-mode 영상은 현재 사용되지 않고 있으며, 특정 조직의 깊이를 파악하는 것에 사용되었다. B(brightness)-mode 영상은 물체에 대한 흑백 영상을 제공하며, 다양한 깊이에서 반사되는 초음파를 점으로 표시하고 반사되는 강도에 따라서 밝기를 조절하며 영상을 획득하게 된다. 경두개 초음파 검사에서 활발하게 활용하고 있는 도플러 영상은 음파의 도플러 현상을 이용하여 획득하게 된다. 도플러효과는 파동을 발생시키는 파원과 그 파동을 관측하는 관측자 중 하나 이상이 운동하고 있을 때 발생하는 효과로, 파원과 관측자 사이의 거리가 좁아질 때에는 파동의 주파수가 더 높게, 거리가 멀어질 때에는 파동의 주파수가 더 낮게 관측되는 현상이다. 적혈구의 움직임의 속도와 방향을 통해 두개내 혈류 속도를 파악하는 도플러 영상을 획득할 수 있다. 상기 속도는 진동수 이동을 통해 계산해 낼 수 있는데 진동수 이동에 영향을 미치는 인자는 전달된 초음파의 기존의 진동수, 음파의 속도, 적혈구의 속도 및 혈류 대비 조향된 음파의 각도이다. 이러한 도플러 효과에 의해서 경두개 뇌혈류 초음파 검사에서는 수축기 속도(cm/s), 이완기 속도, 평균 속도, 박동지수, 저항지수, 혈류 가속 등을 확인할 수 있다. 혈류의 속도는 혈관이 좁아진 정도, 혈압, 혈류의 점도 및 병변의 길이에 따라 변할 수 있으며, 이러한 혈류 속도와 더불어 와류의 발생여부도 도플러 검사를 통해 확인할 수 있다. 에일리어싱은 간헐적 맥파 도플러 검사인 뇌혈류 초음파 검사에서 발생할 수 있는 대표적인 왜곡 현상이며 진동수 이동이 pulse repetition frequency의 50% 이상을 초과할 때 발생하게 된다. 이러한

현상은 음파의 속도를 높이거나, pulse repetition time을 증가시키거나 진동수가 낮은 변환기, 혹은 연속파 도플러를 사용하는 것으로 교정할 수 있다 기존에 사용하는 도플러에 비해서 transcranial color-coded doppler는 혈관의 주행방향을 알 수 있으며 협착의 위치 정보를 보다

시각적으로 보다 정확하게 나타내는 장점이 있으나, 느린 속도의 혈류의 측정이 어렵고 양측 측두창이 좋지 않을 경우 혈류 탐색이 어렵다는 약점이 있어 이에 대한 개량이 향후 필요할 수 있다.