

ULTRASOUND의 용량을 선택하는데 필요한 요인

세브란스 병원 재활의학과

김태명·구애련공역

서론

일찌기 1924년 몇몇 일본 연구자들은 높은 강도로 사용하는 Ultrasound의 해로운 효과에 대해 발표한바 있다. 그리고 그후 1927년에 Wood와 Loomis는 하나의 치료형태로서 ultrasound를 가능한 한도내에서 사용하기 위하여 주의를 환기시키바 있다. 제2차세계대전은 ultrasonic energy에 관련된 보다넓은 분야에 걸쳐 더 많은 연구가 촉진되게 하였다. 그리고 1949년 Erlangen은 Medical Ultrasonics에 대한 첫 국제회의에서 신경염, 근육통, 그리고 관절염의 치료에 있어서 낮은 강도로 Ultrasound를 사용하면 효과적 이라는 것을 발표했다. 이 연구의 결과는 유럽과 북미에서 대단히 좋은 반응을 일으켰다. 뒤이어 많은 문헌들이 발간되었음에도 불구하고 용량에 대한 문제에 있어서는 대개가 경험을 토대로 하여 결정해 버리고 말았다. 저자가 최근에 연구한 약간의 임시적 결과와 함께 ultrasound의 주파수, 침투력, 매개물질, 그리고 용량의 결정에 대해서 차례로 논의해 보고자 한다.

주파수

1000 Kc/s(1 Mc/sec)와 860 Kc/s이 치료목적으로 사용되는 두개의 기본적인 주파수이다. 그리고 870 Kc/s와 890Kc/s를 이용하는 기계도 역시 널리 사용되고 있으며 주파수의 이러한 차이는 치료효과에 많은 영향을 끼친다. Griffin등 (1971)은 골관절염으로 많은 고통을 받고 있는 환자의 동통을 감소시키기 위해 890 Kc/sec와 1 Mc/sec의 주파수를 가진 기계의 효과에 대해 연구했다. 그들은 동통의 감소에 있어서 1 Mc/s에서 나오는 energy를 사용할때 보다 890 Kc/s의 energy를 사용할때 현저하게 좋은 효과를 얻었다고 결론 지었다. 일반적으로 ultrasonic wave는 세로형태로 발생하는 조밀한 횡파이다. 이 유파의 발산은 주파수와 반비례한다. 그리고 주파수는 침투력과 반비례한다. 즉 주파수가 증가하면 침투의 깊이는 감소하게 된다. 침투에 관한 문제는 전혀 놓고서라도 여러가지 다른 주파수는 여러가지 다른 생리적 효과를 일으킨다. 이것은 아직도 물리치료계에서 해결해야만 되는 많은 기본적 문제점 중의 하나인 것이다.

침투

효과적이기 위해서 energy는 흡수되어야하고 흡수는 energy가 통과하는 전과정에서 일어난다. 흡수에는 선택적 열작용이라 생각되는 뚜렷한 반사와 굴절을 수반한다. 반사는 두개의 조직층사이에 음파에 대해 저항을 하는 어떤 물체가 있을때 일어나며 굴절은 음파가 한 매개물질에서 다음 매개물질로 지나갈때와 같은 음파의 굴곡을 말한다. 1965년에 여러 생물체에서 ultrasound의 전과성질에 관한 일련의 연구가 시작 되었다. 본질적으로 이러한 연구 결과는 음속과 흡수율과 같은 성질들이 이러한 형태의 energy를 합리적으로 응용하기 위하여 반드시 알려져야만 한다는 것을 시사하였다. 침투의 깊이는 주파수에 반 비례하며 균질의 물체를 통과할때 ultrasound는 점진적으로 흡수된다는 사실은 이미 지적된바 있다. 이것은 Summer W. 와 Patrick, M. K. 에 의하여 보고된 "half value thickness" 라고 불리우는 원리를 낳게 하였다. 그들은 1 Mc/s 주파수의 ultrasonic energy에 대하여 energy의 50%는 조직을 5cm 통과하는 동안 흡수될것이라고 하였다. 이 논리는 생체조직이 균질이 아니므로 어떤 범위내에서만 유효하게 된다. 예를 들어 액체와 고체를 비교하면 ultrasound energy를 흡수할때 그 밀도와 압력이 변하는 그 시기가 다르므로 1 Mc/s 주파수를 가진 ultrasound energy의 50%가 조직을 5cm 통과하는 동안 흡수된다고 단정지을수 없는것이다. 또한 Griffin은 음파전달은 단백질함량과 반비례 관계가 있다는 것을 도표로서 설명하였다. 이런 경우라면, 침투와 전달은 같은 뜻이 된다. 조직에는 많은 단백질이 함유되어 있으며 단백질은 ultrasonic energy를 매우 잘 흡수하는 물질이라는 것을 기억하면 유용하다. 근육은 높은 비율로 단백질을 함유하고 있는데 약 25% 정도이며 뼈에는 15~20%, 신경에는 10~15% 정도를 함유하고 있다. 지방조직 주위에 산재한 교원질이 아미노산 중합체를 함유하고 있기 때문에 자연히 지방조직에는 단백질 함량이 적다.

매개물질

현재 많은 매개물질이 사용되고 있지만 그들의 효과를 밝힌 문헌은 별로 없다. 서로 다른 두 매개물질 사이에서 energy의 일부는 전달되고 일부는 반사된다는 것은 이미 알려진바 있다.

Ludwig은 음파 energy의 1%중 $\frac{1}{100}$ 보다 더 적은 양이 석영으로부터 공기로 통과 한다고 주장한 Schwann과 Carstensen의 소견을 입증하였고, 더우기 공기에서 조직으로 통과하는 양은 석영에서 공기로 통과되는 양의 1%중 다만 $\frac{1}{10}$ 만이 통과할 수 있다. 따라서 효과적인 치료를 하고자 한다면 공기를 매개물질로 하는 것은 피하여야 한다. 이와같이 매개물질이 중요함에도 불구하고 여러가지 매개물질의 효과를 비교검토 하는 것을 소홀히 해왔다. 치료사들은 과학적 이치 보다는 실리적인 이유때문에 여러 매개물질중에서 취사선택하는것 보다는 한가지만을 선택하여 사용 하는데, 그 실리적인 이유를 보면 다음과 같다. 매개물질의 유용성, 치료부위의 모양, 치료사의 성격적 편애, 매개물질의 구입가격과 매개 물질의 점성도 등등이다.

문헌을 검토하여보면 용량선택에 대하여 많은 논란이 되어 왔음을 알수있다. 비록 0.2~3.0 watts/cm²와 같이 짧은 범위내라고 할지라도 각기 다른용량은 조직의 치유, 신경의 전도와 세포의 삼투성에 각기다른 효과가 있다는것은 명백히 증명 되었다. 이와같은 다른 효과에

필요한 강도의 변경범위는 0.5 watts/cm² 만큼이나 작을수도있다. 이러한 연구자들의 제의에 따르면 sound head가 내보내는 energy의 얼마만큼이 환자에게 전달되는가 그리고 매개물질을 통과할때 얼마만큼이 소실되는가를 안다는 것은 대단히 중요한 일이다. 아직까지도 이러한 지식이 잘 알려져 있지 않았기 때문에 ultrasound의 효과에 대한 많은 연구가 조심스럽게 진행되어야 한다. 최근 저자들은 870Kc/s의 ultrasound로 치료할때 사용되는 매개물질의 효과를 연구하였는데, 매개물질은 임상에서 이용하는 빈도를 토대로 선택하였으며 그 매개물질은 Aquasonic gel, glycerol, mineral oil, electrocardiogram cream, 증류수, 와 물 등이다. 이들은 영리적물질, 채소기름, 광물성기름, 염류성연고, 물 그리고 매개물질이 아닌것 으로 넓게 분류되어진다.

TABLE 1

매 개 물 질	영 역
Aquasonic Gel (®)	Commercial Thixotropic Agent
Glycerol	Vegetable Oil
Cardio-cream (®)	Salt based E.K.G.paste
Liquid petrolatum	Mineral Oil
Distilled Water	Water
Air	No coupling agent

저자의 연구에서 사용된 여러 매개물질들은 그것들이 속해있는 넓은 영역으로 분류되어 맞은 편에 기록되었다.

이러한 물질들은 21°C로 유지되어 연구 되었다. 이 온도가 전달에 대단히 중요한 요인이라고 1960년에 Lehman씨등이 예증했기 때문이다. 21°C나 그이하로 mineral oil을 사용하면 심부조직에서 열이 가장 높으며 22°C나 그이상일때는 표면 조직에서 최고의 열이 발생되며 대조적으로 24°C의 물을 사용하면 심부조직에서 가장높은 열이 발생된다.

1 분간격으로 연속5분동안 0.7, 1.4, 2.1, 2.8, 3.5watts/cm²의 강도를 연구하였다. 역전류검출관(Oscilloscope)을 이용하여 살펴보면 sound head의 출력과 매개물질을 통과한 energy의양 두가지 모두가 전압에 의하여 변화된다. receiver에 도달한 음파의양 (즉 효과적인 치료 energy)은 출력의 퍼센트로 표현되었다. 독립변수는 강도와 매개물질이며 5 가지 세기와 5 가지 매개 물질을 각기 적용시켜 연구가 시작되었다. 비독립변수는 매개물질의 유도 계수다. 매개물질과 receiver에 계속적인 고주파 sound wave에 대하여 가능한 연속적 효과를 조절하기 위해서 매개물질과 강도의 순서는 Latin Square 인 counter balance technique 로 결정되었다.

TABLE II

매 개 물 질	개개의매개물질을 통하여 전달된 출력 퍼센트의 1주일간의 평균					전체적인 평균 전달율
	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	
Aquasonic Gel ®	68.53	71.86	73.91	73.59	75.15	72.60%
Glycerol	66.02	66.40	66.59	69.05	70.70	67.75%
Distilled Water	54.88	58.59	60.82	62.46	62.17	59.38%
Cardio Cream®	25.93	24.33	24.92	30.97	26.82	26.60%
Mineral Oil	20.25	17.81	18.15	19.01	20.08	19.06%
Air	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00%

이표는 일정한 출력의 범위안에서 각각의 매개물질에 대한 1주간의 평균을 밝혀 놓았다. 마지막난에는 여러 매개물질의 효과를 쉽게 비교하도록 전체적인 평균 전달율이 기록되어 있다. 출력량의 단위는 watt/cm^2 이며 다른 모든 숫자들은 원래 출력량의 몇% 인가로 표시되어 있다.

Table II에서 보여지는 결과는 선택된 출력범위안에서 각 매개물질의 평균전달백분율이다. 이것에서 전달의 모든 평균을 추정하였다. 서열제 1위의 매개물질은 commercial gel인 Aquasonic인데 낮을때는 68.53% 높을때는 75.15%가 전달되어 평균을 내어보면 출력의 72.60%가 전달되는 것이다. 서열 제 2위는 채소기름인 glycerol인데 낮을때는 출력의 66.02%, 높을때는 70.70% 그래서 평균 67.75%가 전달되며, 증류수는 낮을때 56.88%, 높을때는 62.82% 그래서 평균 59.38%가 전달된다. E·K·G. 검사하는데 사용되는 하나의 접착연고인 cardio-cream은 낮을 때 24.33% 높을때는 30.97% 그러니까 평균 26.60%가 전달된다. 놀랍게도 Petrocatum®액 (mineral oil)은 현재 가장 널리 사용되고 있는 매개물질인데 그 전달량은 낮을때 17.81% 높을때 20.25% 그래서 평균 19.06%가 전달된다. 예측한바대로 공기는 측정될 만큼의 sound양을 전달하지 못했다. 일반적으로 세기가 증가되면 각각의 매개물질을 통해 전달되는 sound의 평균백분율도 증가한다.

저자들은 이연구를 토대로 해서 매개 물질을 commercial thixotropic gel과 glycerol로 대체시켜야 한다고 주장하는 바이다. 치료받는 부위에서 transmitter head와 피부 사이가 잘 접촉되지 않는다면 매개물질로 사용 할수도 있다. 그렇지만 초음파 치료처방을 쓸때나, 경혈적 통제를 비교검토할때 사용하는 매개물질의 단점을 고려하여 조절하여야 한다. 부가하여 "half value thickness" 이론에 나오는 수치들을 볼것 같으면 기체에서 나오는 강도와 피부에 침투하는 강도가 같다고 하였는데, 이와같은 모든 매개물질중에서 출력이 모두 소실되거나 하나도 소실되지 않는다는 것은 역설이다.

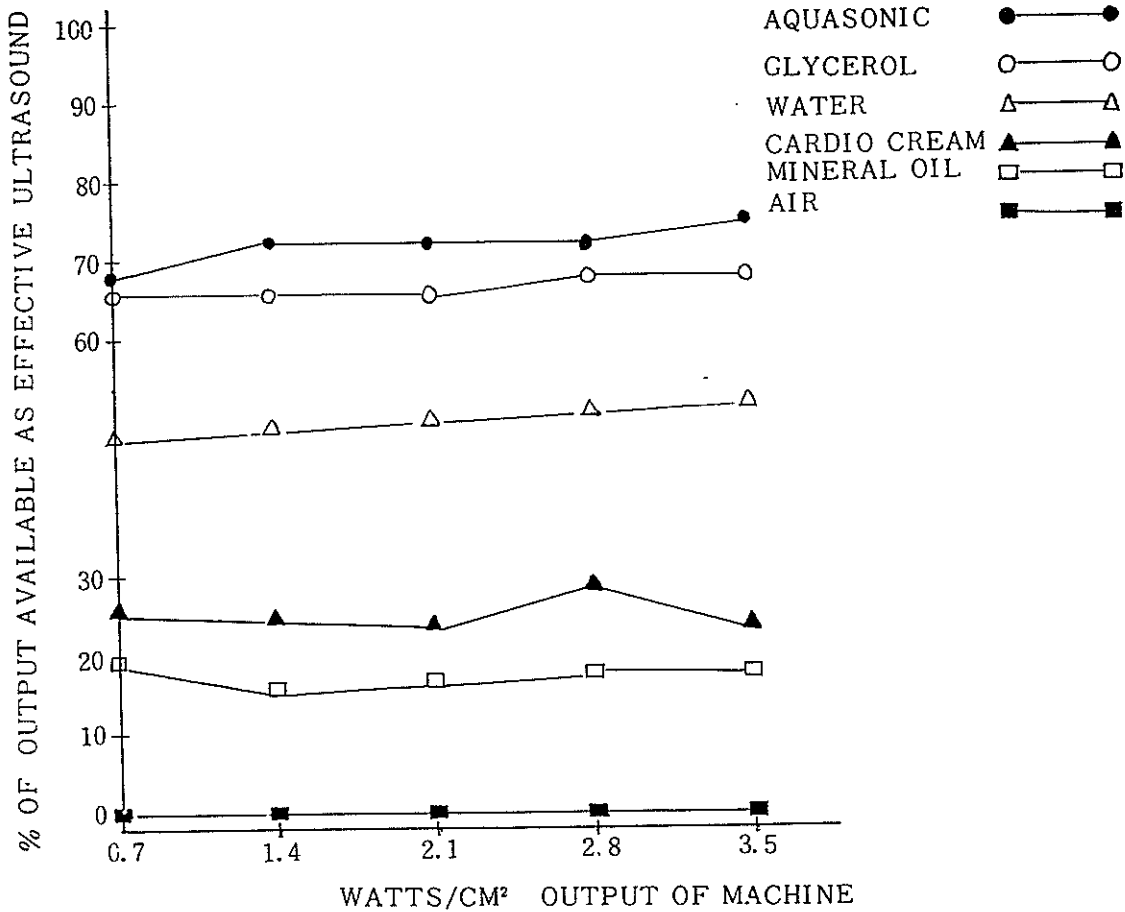


Figure 1 : 이 Graph는 매개물질을 3mm 통과한후에 나타나는 ultrasound 출력의 퍼센트를 표시한다. 더욱 효과적인 매개물질을 사용하므로써 전달 퍼센트는 증가한다.

용량문제

ultrasound의 여러다른 용량은 다른효과나 때로는 반대의 효과를 나타낼수 있다는 것은 확실하다. 이럼에도 불구하고 특수한 상태에 사용할 올바른 용량에 관해서 아직도 상당한 논쟁이 일고있다. ultrasound의 이런면에서는 무엇보다도 경험에 근거를 두고있다. 크게 문제시 되는것은 치료사들이 생리학적 또는 치료적 반응에 필요로 되는 용량을 선택하기 보다는 오히려 주어진 병리적 상태에 따라 용량을 선택하는 경향이 있다는 점이다. 게다가 더욱 나쁜것은 어떤 치료사들은 환자의 상태가 각기 다름에도 불구하고 모든 상태에 한가지 용량을 사용하는 것이다.

치료의 범위내에서 ultrasound는 기계적 動因이라고 간주된다. 어쨌든 많은 기계적 진동 energy는 열로 전환된다. 기계적 energy와 열energy의 결과는 2차적효과인 생물학적, 화학적효과로 나타나게된다. 열효과는 조직사이에서 상당히 많이 작용하므로 골막화상의 원인이 될 수 있다. 2차적효과를 받는 심부조직에 느껴지는 불편함과 통증이 용량을 제한하는 요인중의 하나이다.

어떤 생리학적효과는 관련된 조직에 온도가 증가하는데 근거를 두어 쉽게 설명될수 있다. 그렇지만 열효과 한가지 만으로는 다른 사실을 설명하기에 충분치 못하다. 치료기계에서 주파수와 강도를 쉽게 조절할수 있으므로 조직에 공동(cavitation)이 생길수 있다는 두려움은 근거 없는 것이다. 이것은 임상에서 결코 위험한것이 아니라. Arnt-Shultz이론은 대단히 많이 인용되어 왔고 그이론은 자극을 일으킬수 있는 최소의 양보다 조금적은 energy의 양은 뚜렷한 생리적 변화를 일으키지 못한다고 하며, 자극을 일으킬수 있는 최소의 energy 양이나 그 이상의 energy 양을 적용하면 흡수되는 조직이 정상적인 기능을 발휘할수 있도록 자극할 것이다. 결국 최대의강도를 넘어서는 energy를 적용시키게 되면 흡수하는 조직은 파괴되거나 정상적 기능을 발휘할수 없게된다. 따라서 확실한 것을 제외하고는 이 논리가 용량을 선택하는데 아무런 도움을 주지 못한다. 왜냐하면 어떤 특수한 세포나 조직을 위한 subthreshold, threshold, supramaximal로 구분된 energy의 양에 관하여는 동의를 받지 못하기 때문이다. 어쨌든 그것은 소홀한 치료는 매우 위험하다는 것을 뜻하며 이점이 아마 가장 중요한 점일 것이다.

낮은 강도는 자극을 주지만 높은강도 (2.0watts/cm^2 이상)는 치료율을 지연시킨다는 것은 분명하다. 조직에 아주 적은 열효과를 바라는 경우에 있어서는 continuous ultrasound의 낮은 강도 (1.0watts/cm^2 이하)가 사용되어야 한다. 반대로 pulsed ultrasound의 약간 높은 강도가 사용될 수도 있다. 근본적인 연구와 임상적 관찰에 관한 모든 문헌을 광범위하게 찾아보고 연구해 보더라도 각가지 임상상태에 적용될수 있는 최대의 반응이 나타난다고 자신있게 말할수 있는 최적용량의 수치를 공식화 한다는 것은 불가능한 일이다. 만약에 심부조직만을 치료하고자 하지 않는다면 continuous ultrasound 치료에 1.5watts/cm^2 이상의 강도를 거의 사용하지 않는다. 그러한 경우에 보다 센 강도 즉 1.5watts/cm^2 이상을 사용하는 경우는 흡수력을 보충하기 위하여 사용될수도 있다. 위의 사실로 인하여 "ultrasound의 효과는 축적이 되는가?" 라는 물음에 답이 난처하게 된다. 예를들면 1watts/cm^2 로 5분간 치료했을때나 0.5watt/cm^2 로 10분간 치료할때 총 watt가 둘다 매분 5 watt이므로 그효과는 같은가?

Griffin은 그 효과는 같지 않다고 주장하지만 어떤 경험적 바탕이 극히 없는 주장이다. 그렇지만 그는 pulsed ultrasound의 효과적인 용량을 측정하는데 있어서 반드시 진동수를 고려하여야 한다고 주장한다. 예를들면, 1 : 5의 비율을 가진 ultrasound기계는 $\frac{1}{5}$ 만큼의 시간을 가지고 효과적으로 전달한다. 다시말하면 continuous ultrasound를 5分동안 1.0watts/cm^2 로 사용한것과 pulsed ultrasound를 25分동안 1.0watts/cm^2 사용한것은 둘다 $5\text{watts/cm}^2\text{min}$ 을 전달한 것이다. 임상에서 치료시간이 길어서는 결코 안된다. 그렇지 않습니까?

경제적, 시간적 요인으로 말미암아 관습적으로 하루에 한번 또는 일주에 3번 치료하게 된다. 어쨌든 experimental hematomas는 하루에 2번씩 치료하므로써 더욱 빨리 재흡되었다는 사실이 선임저자들의 연구결과에서 볼수있다. 이러한 제언은 임상에서 좋은결과로 증명되었으므로 기회가 있을때 마다 항상 마음속에 기억하고 있어야 하겠다. 적합한 환자를 선택하는 것이 결국엔 시간을 절약하는 것이다. 치료의 처방을 쓰고 시간을 결정할때 그 시간에 할수있는 치료과정을 세우는 것이 대단히 중요하다.

처방된 시간의 길이는 치료하는 head 크기의 2 배만한 면적에 관하여 명시 해야 된다. 그러나 “1.0watts/cm² for 5 min”라는 처방으로 8×4 cm 혹은 치료하는 head 크기의 2 배만한 면적과 같이 작은 면적을 치료할때 5분의 소요 될것이다. 바꾸어 말하면, 같은 처방으로 8×16cm만한 면적을 치료한다면, 그면적은 치료하는 head 크기의 약4 배가 되므로 치료시간은 10분이 소요될것이다. 이 사실로 미루어 보면 모든 부분은 각각의 치료처방을 가지고 있다. 단지 이러한 기준을 이용한다거나 비슷한 기준중에서 필요한 처방을 선택하기 위해서 치료사들은 다른 치료사 들이나 의사들과 함께 의의있는 대화를 나눌 수 있는것이다.

결 론

이 논문의 가장 중요한 점은 기록을 함에 있어서 표준적인 방법을 주장하고자 하는 것이며 그 기록으로 치료사들은 다른 치료사들이나 의사들과 함께 논의 할수 있다고 생각된다. 동시에 예시한 “1.0 watts/cm² for 5 min”라는 ultrasound의 표준처방은 만족할 만한 것이며, 치료기록은 더욱 정확 명료해야 한다.

치료기록에는 ultrasound 기계의 주파수, continuous ultrasound 또는 pulsed ultrasound, 소요된 시간의 총합과 함께 치료한 부위의 면적, 사용된 매개물질의 종류를 반드시 기록해야 한다. 용량을 고려할때, 치료사는 치료하는 조직의 깊이, ultrasound head와 손상받은 부위 사이에 있는 조직의 형태, 부가하여 위에 언급된 요인들에 대해서 조절을 해야 한다는 것은 필수적인 것이다.

끝으로 이러한 요인은 효과적인 치료를 위해서 사용되는 ultrasound의 출력중 높게는 약75% 낮게는 20%라는 차이점을 유발시키므로 저자는 사용되는 매개물질의 종류에 따라 변하는 수치에 대한 중요성을 강조 하고자 한다. 이런 종류의 논문은 해답보다는 의문이 더 많이 일어나는 것은 어쩔수 없다. 그러나 이것은 사실상 기술이 발달된 상태에서는 반영할 수 있는 것이며 좋은 연구와 치밀한 임상기록을 하기 위해서는 새로운 노력이 요구된다.

From the March 1973 Issue of

Physiotherapy Canada. Vol. 25 No. 1 pp. 5-9

원제목 : Factors in Selecting the Dosage of Ultrasound

DAVID C. REID

저자 :

GARNET E. CUMMINGS