

## 근육의 근적외선산란화상으로부터 얻은 감쇠곡선의 모형화

리영우, 변영희

근적외선분광법은 근육과 다른 조직들에서 산소의 농도를 측정할수 있는것으로 하여 체육과 보건분야에서 근육산소포화도와 산화에네르기대사들을 평가하는데 많이 리용되고 있다.[4] 다중광원이나 화상장치들을 리용하면 근육의 각이한 부분들에서 근육산소포화도의 차이와 물질대사과정을 알아낼수 있다.[3, 4]

련속과근적외선분광법에 의하여 근육산소포화도를 측정하는 경우 피부지방층의 두께가 큰 영향을 미친다. 사람마다 지방층의 두께가 다르므로 주어진 분리거리에서 측정한 결과를 서로 정량적으로 비교하기 어렵다. 최근에 연구자들은 일정한 분리거리(3cm)에서 초음파법으로 결정한 지방층의 두께와 시간분해분광법으로 결정한 평균빛행로사이의 상관성을 해석하여 얻은 교정곡선을 리용함으로써 초음파를 리용하지 않고도 근육산소측정의 정확성을 높이는 방법을 제기하였다.[5]

근육산란화상측정에 대한 수감부로 CCD촬영기를 쓰는 경우에는 촬영기의 매개 화소가 다 검출기로 리용되므로 하나의 산란화상으로부터도 분리거리에 따르는 감쇠곡선을 얻을수 있다.[1, 2] 이 감쇠곡선에는 피부지방층과 근육층에 의한 감쇠가 다 반영되어있다. 이 감쇠곡선으로부터 근육산소포화도와 함께 피부지방층의 두께에 대한 정보를 다같이 얻어내자면 감쇠곡선을 어떤 수학적함수로 모형화하고 이러한 정보들을 반영하는 파라메터들을 선정하여야 한다.

우리는 CCD촬영기를 수감부로 하여 측정한 감쇠곡선들이 형태적류사성을 가지며 그것이 S자형에 가깝다는 사실로부터 감쇠곡선을 S자형함수로 모형화하고 그로부터 헤모글로빈성분들의 흡수계수와 피부지방층의 두께를 반영하는 파라메터들을 결정하였다.

### 실험 방법

확산반사모형[6]에서는 공기와 접촉한 근육조직이 광학적으로 균일하다고 가정하였으나 실제로 공기측에서 광원으로부터 빛이 수직으로 입사하는 경우 빛은 피부와 지방층을 지나서 근육에 도달한다.(그림 1)

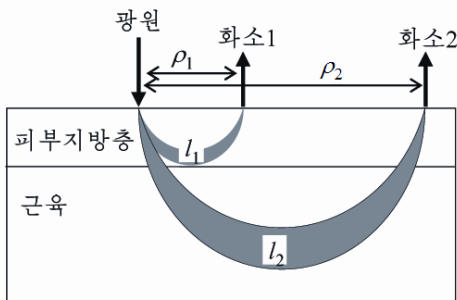


그림 1. 근육조직에서의 산란모형

근육의 산란화상을 측정하는 경우에는 화상수감부의 매개 화소가 하나의 검출기로 작용하므로 모든 분리거리에서의 산란빛을 동시에 측정하는것으로 된다. 따라서 분리거리에 따르는 감쇠값의 변화에는 피부와 지방층, 근육층에 대한 감쇠가 다 반영된다.

그러나 그림 1에서 보는바와 같이 분리거리가  $\rho_1$ 보다 작은 화소들에서의 감쇠는 오직 피부와 지방층에서의 흡수와 산란에 의한 감쇠이다. 분리거리가

$\rho_1$ 보다 큰 화소들에서의 감쇠는 피부, 지방층과 근육에서의 흡수와 산란에 의한 감쇠이다.

만일 피부와 지방층, 근육층이 각각 광학적으로 균일하다면 다시말하여 매 층에서의 흡수계수와 산란계수가 일정하다면 매 층에서의 감쇠값( $A$ )은 매 층의 두께에 해당하는 분리거리(층의 두께의 약 2배에 해당하는 분리거리)안에서 각각 선형적으로 변하게 된다.[7]

$$A = \mu_{a1} \cdot l_1 \cdot \rho + s_1 \quad (0 < \rho \leq \rho_1) \quad (1)$$

$$A = \mu_{a1} \cdot l_1 \cdot \rho_1 + s_1 + \mu_{a2} \cdot l_2 \cdot \rho + s_2 \quad (\rho_1 \leq \rho \leq \rho_2) \quad (2)$$

여기서  $\mu_{a1}$ ,  $\mu_{a2}$ 는 두 층에서의 흡수계수,  $l_1$ ,  $l_2$ 는 미분경로인자 그리고  $s_1$ ,  $s_2$ 는 산란으로 인한 감쇠항이다.

분리거리에 따르는 감쇠값변화가 식 (1), (2)에 따른다고 하면 근육속에서의 흡수가 피부와 지방층에서의 흡수보다 더 크므로 감쇠값은 피부지방층의 두께에 해당하는 분리거리  $\rho_1$ 보다 작을 때에는 작은 경사( $\mu_{a1} \cdot l_1$ )를 가지고 선형적으로 변하다가 분리거리가  $\rho_1$ 보다 커지면 더 큰 경사( $\mu_{a2} \cdot l_2$ )를 가지고 선형적으로 변하게 된다.(그림 2)

실제적인 생체조직에서는 피부지방층과 근육층이 광학적으로 완전히 균일하지 않으므로 산란화상으로부터 얻어지는 평균적인 감쇠곡선이 S자에 가까운 모양을 가지게 되는것이다.[1]

우리는 이러한 감쇠곡선을 재현하기 위하여 식 (3)과 같은 함수모형을 리용하였다.

$$A(\rho) = \frac{1}{c + a \exp(-b \cdot \rho)} \quad (3)$$

식 (3)에서  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 는 모형파라미터이며  $\rho$ 는 분리거리,  $A(\rho)$ 는 감쇠값이다.

식 (3)에서 파라미터  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 의 크기가 곡선의 형태에 주는 영향을 보기 위하여  $a[1, 10]$ ,  $b[1, 10]$ ,  $c[0.1, 0.5]$ 구간에서 감쇠곡선을 작성하였다.(그림 3)

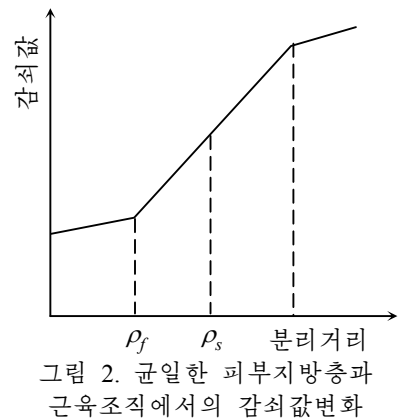


그림 2. 균일한 피부지방층과 근육조직에서의 감쇠값변화

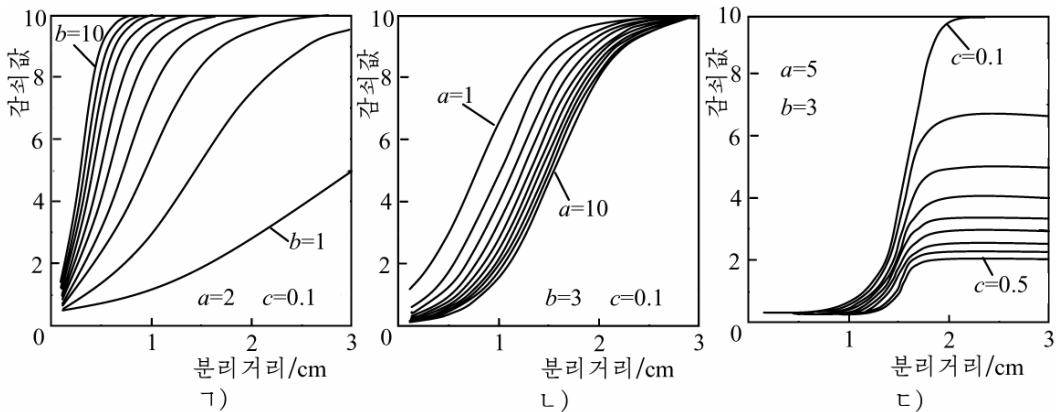


그림 3. 파라미터의 변화에 따르는 감쇠곡선의 변화

ㄱ)  $a=2$ ,  $b=1 \sim 10$ ,  $c=0.1$ , ㄴ)  $a=1 \sim 10$ ,  $b=3$ ,  $c=0.1$ , ㄷ)  $a=5$ ,  $b=3$ ,  $c=0.1 \sim 0.5$

그림 3에서 보는바와 같이 매 파라미터가 곡선모양에 주는 영향이 다르다. 다시말하면  $b$ 가 클수록,  $c$ 가 작을수록 감쇠경사가 크며  $a$ 가 작을수록 곡선은 S자모양으로 다가간

다. 그러므로 실험에서 얻은 감쇠곡선과 일치되도록 모형함수의 파라미터  $a$ ,  $b$ ,  $c$ 값을 최소제곱법으로 결정하면 감쇠곡선을 해석적으로 표시할수 있다.

식 (3)으로부터 함수의 1계 및 2계미분을 해석적으로 구하고 변곡점에 해당하는 분리거리  $\rho_s = \lg(a/c)/b$ 와 변곡점에서의 감쇠경사  $(dA/d\rho)_s = b/(4c)$ 를 근육에 의한 본격적인 흡수가 나타나는 분리거리와 근육층에서 헤모글로빈성분들의 흡수결수를 반영하는 파라미터로 각각 선정하였다. 또한 감쇠곡선에서 피부지방층에서의 감쇠를 나타내는 부분의 접선과 변곡점에서의 접선의 사립점에 해당하는 분리거리( $\rho_f$ )를 피부지방층의 두께를 반영하는 파라미터로 선정하였다.

사립점의 위치는 피부지방층구간의 방향결수를  $p_f$ , 절편값을  $d$ 라고 할 때 다음과 같다.

$$\rho_f = ((b/4c)\ln(a/c)/b + 1/(a+c) - d) / p_f$$

이와 같이 근육의 근적외선산란화상으로부터 평균적인 감쇠곡선을 구하고 그것을 식 (3)과 같이 모형화하면 모형화파라미터로부터 근육산소포화도[1]뿐아니라 피부지방층의 두께와 같은 조직의 구조도 평가할수 있을것이다.

## 실험결과 및 고찰

50명(남자 30명, 여자 20명)의 대상들에 대하여 측정한 손바닥근육의 산란화상을 선행방법[1]으로 해석하여 분리거리에 따르는 감쇠곡선을 얻었다. 우에 서술한 방법으로 감쇠곡선을 수학적으로 모형화하고 피부지방층의 두께와 밀접한 연관을 가진다고 볼수 있는 파라미터  $\rho_f$ 와  $\rho_s$ 를 결정하였다. 그리고 일반적으로 손바닥근육피부층의 두께는 나이와 성별에 따라 다르기때문에 결정된 파라미터들이 대상들의 나이와 성별과 어떤 상관이 있는가를 고찰하였다.

먼저 성별에 관계없이 일정한 나이구간에 속하는 대상들에 대하여 파라미터들의 평균값을 구한 다음 그 경향성을 고찰하였다.(표 1)

표 1. 나이별파라미터  $\rho_f$ ,  $\rho_s$ 의 평균값

파장	파라미터	10대 (8명)	20대 (14명)	30대 (7명)	40대 (7명)	50대 (9명)	60대 (5명)
740nm	$\rho_f$	0.71	0.71	0.68	0.71	0.72	0.72
	$\rho_s$	1.00	1.13	1.12	1.15	1.14	1.19
850nm	$\rho_f$	0.69	0.75	0.93	0.77	0.78	0.79
	$\rho_s$	0.80	0.91	0.92	0.93	0.94	0.97

표 1에서 보는바와 같이 파라미터  $\rho_f$ ,  $\rho_s$ 값들이 나이에 따라 점차 커지는데 이것은 나이에 따라 손바닥근육의 피부층이 두꺼워진다는 사실을 잘 반영한다.

또한 성별에 따라 일정한 나이구간에 속하는 대상들에 대하여 파라미터들의 평균값을 구하고 그 경향성을 해석하였다.(표 2, 3)

표 2와 3에서 보는바와 같이 남자와 여자의 피부층두께에서는 특별한 차이가 없으며 어느 경우에도 나이에 따라 파라미터값들이 다 커지는 경향성을 나타낸다.

표 2. 나이별파라미터  $\rho_f$ ,  $\rho_s$ 의 평균값(남자)

파장	파라미터	10대(8명)	20대(11명)	40대(4명)	50대(5명)	60대(2명)
740nm	$\rho_f$	0.72	0.71	0.72	0.71	0.69
	$\rho_s$	1.01	1.13	1.13	1.07	1.14
850nm	$\rho_f$	0.69	0.75	0.78	0.72	0.77
	$\rho_s$	0.80	0.92	0.92	0.94	0.93

표 3. 나이별파라미터  $\rho_f$ ,  $\rho_s$ 의 평균값(여자)

파장	파라미터	20대(3명)	30대(7명)	40대(3명)	50대(4명)	60대(3명)
740nm	$\rho_f$	0.72	0.69	0.71	0.74	0.76
	$\rho_s$	1.19	1.12	1.17	1.19	1.28
850nm	$\rho_f$	0.80	0.93	0.76	0.84	0.82
	$\rho_s$	0.90	0.92	0.96	0.96	1.06

우에서 측정한 대상들의 근적외선산란화상을 모형화하여 얻은 총헤모글로빈의 상대 농도와 혈색소측정자료와의 상관성을 고찰하면 상관결수는 740, 850nm에 대하여 각각 0.792, 0.864이다. 이로부터 근육의 근적외선산란화상을 측정하여 헤모글로빈성분들의 농도와 근육산소포화도를 결정할수 있을뿐만아니라 매 대상들에 대한 피부지방층의 상대적두께를 초음파나 시간분해분광법을 이용하지 않고도 결정할수 있다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

손바닥근육의 근적외선산란화상으로부터 헤모글로빈성분들의 농도와 피부지방층의 두께에 대한 정보를 얻기 위하여 화상으로부터 얻은 감쇠곡선을 S자형함수로 모형화하였다. 감쇠곡선에서 피부지방층의 감쇠경사를 나타내는 접선과 변곡점에서의 접선이 사귀는 점에 해당하는 분리거리 그리고 변곡점에 해당하는 분리거리를 피부지방층의 두께를 반영하는 파라미터로 선정하였다. 50명의 대상들에 대한 실험결과는 이 파라미터들이 대상들의 나이와 좋은 상관을 가진다는것을 보여주었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 리영우 등; 화학과 화학공학 3, 2, 주체105(2016).
- [2] Ri Yong Wu et al.; arXiv.org/abs/1409. 12, 9, 4246, 2014.
- [3] V. Quaresima et al.; Biochem. Biophys. Res. Commun. 285, 1034, 2001.
- [4] Takafumi Hamaoka et al.; Phil. Trans. R. Soc., A 369, 4591, 2011.
- [5] Etsuko Ohmae et al.; Journal of Biomedical Optics, 19, 6, 067005, 2014.
- [6] T. J. Farrell et al.; Medical Physics, 19, 879, 1992.
- [7] D. T. Delpy et al.; Phys. Med. Biol., 33, 1433, 1988.

## **Modeling of the Attenuation Curve obtained from NIR Scattering Images of Muscle**

*Ri Yong U, Pyon Yong Hui*

The attenuation curve from the near-infrared scattering image of palm muscle was modeled on sigmoid in order to obtain information about the thickness of skin-fat layer and the concentrations of hemoglobin components. Separation distance corresponding to the point where the tangential line in inflection point is crossed with the tangential line indicating attenuation slope of skin-fat layer as well as separation distance corresponding to the inflection point are selected as the parameters reflecting thickness of skin-fat layer. The results with 50 volunteers showed that these parameters had a good correlation with ages of them.

Key words: NIR, scattering image, muscle