

基本 原理

※ご注意

ここに記載された内容は、皆様に理解し易くする為に説明の都合上、学問的に正確でない点もありますので、論文等への引用は、堅くお断り申し上げます。また、他社のレーザー組織血液酸素モニターについて本文を参考にされることはお断りいたします。

(1) 考え方

レーザー組織血液酸素モニターBOMシリーズのレーザー光を光ファイバーを通して組織に照射し、照射点から数 cm 程度離れた点のディテクタで組織を透過してきたレーザー光の強度を測定します。

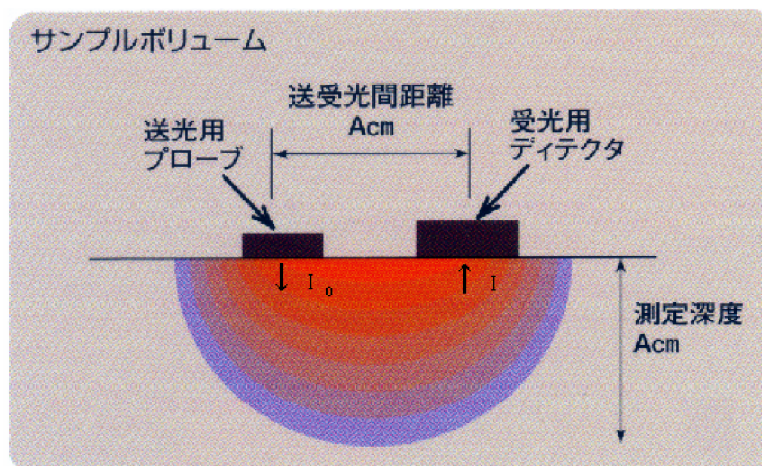


図 T 1 サンプルボリューム

酸素化赤血球(または酸素化ヘモグロビン)と脱酸素化赤血球(または脱酸素化ヘモグロビン)の光吸収スペクトルは異なっており、何種類かの異なる波長の光の吸収度合の変化を調べることで、測定対象とする組織中の酸素化赤血球と脱酸素化赤血球量を知ることができます。

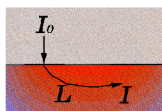
(極端に考えますと、酸素化赤血球に吸収されやすい波長の光を照射し、その吸収量から酸素化赤血球の量の情報を知ることができ、脱酸素化赤血球に吸収されやすい波長の光を照射し、その吸収量から脱酸素化赤血球の量の情報を知ることができます。)

測定光は組織中での光の透過性が良い近赤外光を用います。また、用いている光がレーザー光であるにかかわらず、この測定方法を近赤外分光法(近赤法)と呼びます。

サンプルボリュームは送受光間の距離を測定深度の限界とする半円球状で表面から深部に向かって指数関数的に強度が減衰するような形状です。測定深度は、最大で送受光間距離程度です。

(2) 光の減衰方程式

強度 I_0 の光を組織に照射し、組織を通過して距離 L 進んだ光の強度を I とします。



組織を通過した光は指数関数的に減衰しますので、次のように表すことができます。

$$I = I_0 e^{(-\alpha V L)} \quad \text{----- ①}$$

ここで α は吸収係数、 V は吸収体の量(密度)である。

< T 5 > 参照

式を展開して

$$\text{Log} (I / I_0) = -\alpha V L \quad \text{----- ②}$$

< T 1 >

(3) BOM-L1、BOM-L1Wの測定原理（2波長）

・ ・ ・ ・ ・ 酸素化Hb、脱酸素化Hbの変化量を求める考え方

酸素化Hbを取り出して各波長による光の減衰のしかたを実験でもとめることにより、図T2のように光の波長に対する吸光度の関係を求めることができます。脱酸素化Hbについても同様に求めることができます。

いま、図 T 3 のように、組織に強度 I_0 の光を照射して距離 d 離れた点で受光した光の強度を I とします。

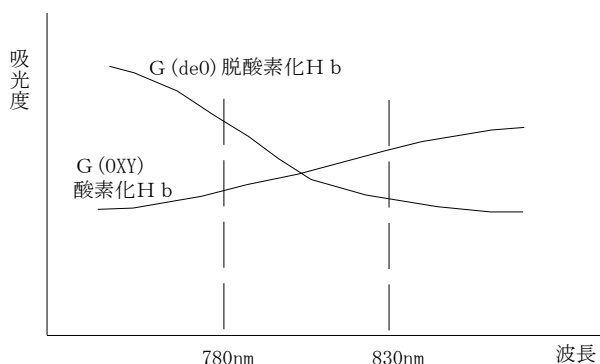
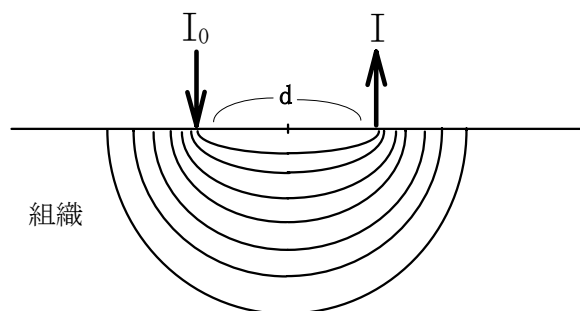


図 T 2 : 光の波長と吸光度



図T3：組織への光の照射と受光

酸素化Hb、脱酸素化Hbの量(密度)をそれぞれHb OXY、Hb deOXY
組織での減衰：S

吸光度： $\text{Log} (I / I_0)$

酸素化ヘモグロビンの吸収係数：G(OXY)

脱酸素化ヘモグロビンの吸収係数：G(deO)として

波長 **780nm**、**830nm** でのそれぞれの関数を後ろに **780**、**830** とつけることで表わすと
式②から、

$$\mathrm{Log} \left(I / I_0 \right)_{780} = \left[G(\mathrm{OXY})_{780} \cdot H_{\mathrm{bOXY}} + G(\mathrm{deO})_{780} \cdot H_{\mathrm{bdeOXY}} + S_{780} \right] L$$

$$\mathrm{Log} \left(I / I_{\odot} \right)_{830} = [G(\mathrm{OXY})_{830} \cdot Hb_{\mathrm{OXY}} + G(\mathrm{deO})_{830} \cdot Hb_{\mathrm{deOXY}} + S_{830}] \cdot L$$

と表わせます。

いま、時間に変化して吸光度： $\text{Log} (I / I_0)$ が変化したとする。

その変化分を $\Delta \text{Log} (I / I_0)$ とする。

光の強度が変化したのは血液の変化によるもので、組織による変化は無いと考えると、

$$\Delta S_{780} = 0, \quad \Delta S_{830} = 0$$

$$\Delta \text{Log} (I/I_0)_{830} = [G(\text{OXY})_{830} \cdot \Delta H b_{\text{OXY}} + G(\text{deO})_{830} \cdot \Delta H b_{\text{deOXY}}] L$$

と表わせます。

Lは送受光間の距離dの4倍と仮定することで求めることが可能になります。

G(OXY)₇₈₀などの青色の関数は規定値(図T2 から求まる)、 $\Delta \text{Log} (I/I_0)_{780}$ などの緑色は測定値なので、 ΔHb_{OXY} と ΔHb_{deOXY} はこの2式から求めることができる。

また、全血液変化量 ΔHb_{TOTAL} は、以下の式から求められます。

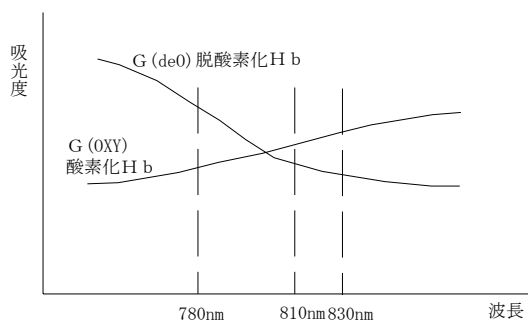
$$\Delta H_{b\text{ TOTAL}} = \Delta H_{b\text{ OXY}} + \Delta H_{b\text{ deOXY}}$$

(4) BOM-L1TR、BOM-L1TRWの測定原理 (3波長)

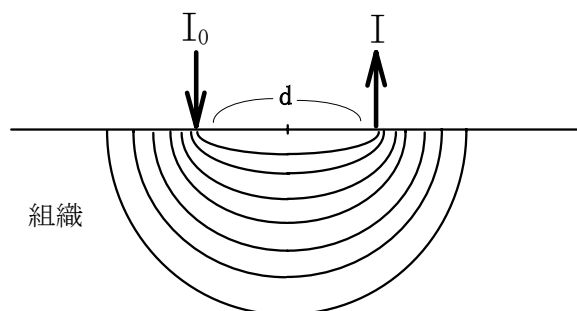
・ ・ ・ ・ ・ 酸素化Hb、脱酸素化Hbの絶対量を求める考え方

酸素化Hbを取り出して各波長による光の減衰のしかたを実験でもとめることにより、図T4のように光の波長に対する吸光度の関係を求めることができます。脱酸素化Hbについても同様に求めることができます。

いま、図 T 5 のように、組織に強度 I_0 の光を照射して距離 d 離れた点で受光した光の強度を I とします。



図T4：光の波長と吸光度



図T5：組織への光の照射と受光

酸素化Hb、脱酸素化Hbの量(密度)をそれぞれHb OXY、Hb deOXY

吸光度： $\text{Log} (I / I_0)$

組織での減衰：S

酸素化ヘモグロビンの吸収係数：G(OXY)

脱酸素化ヘモグロビンの吸収係数：G (deO)として

波長 780nm、810nm、830nm でのそれぞれの関数を後ろに 780、810、830 と付けることで表わす。

波長が接近しているため組織での吸光度 S は各波長で同じであるとする と次式で表わすことができます。

$$\mathrm{Log} \left(I / I_0 \right)_{780} = \left[G(\mathrm{OXY})_{780} \cdot H_{\mathrm{bOXY}} + G(\mathrm{deO})_{780} \cdot H_{\mathrm{bdeOXY}} + S \right] L$$

$$\text{Log} \left(I / I_0 \right)_{810} = [G(\text{OXY})_{810} \cdot H_{b\text{OXY}} + G(\text{deO})_{810} \cdot H_{b\text{deOXY}} + S] \cdot L$$

$$\mathrm{Log} \left(I / I_0 \right)_{830} = [G(\mathrm{OXY})_{830} \cdot H_{\mathrm{bOXY}} + G(\mathrm{deO})_{830} \cdot H_{\mathrm{bdeOXY}} + S] \cdot L$$

Lは送受光間の距離dの4倍と仮定することで求めることが可能になります。

G(OXY)780 などの青色の関数は規定値 (図 T 4 から求まる)、**L_g (I / I₀) 780** などの緑色は測定値なので **H_b OXY** と **H_b deOXY** はこの 3 式から求めることができる。

また、全血液量 Hb_{TOTAL} 、組織の酸素飽和度 StO_2 は以下の式から求められる。

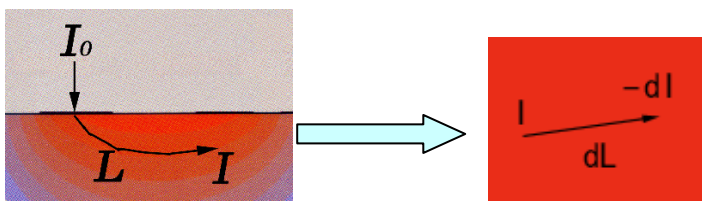
$$H\ b\ TOTAL = H\ b\ OXY + H\ b\ deOX$$

$$\text{StO}_2 = (\text{Hb OXY} / \text{Hb TOTAL}) \times 100 \%$$

(5) 追記 光の減衰微分方程式

光の減衰方程式 $I = I_0 e^{(-\alpha V L)}$ の式がどのようにして導かれたかを紹介します。

吸収体を有する材質に光を照射して距離 L での光強度 I の減衰する程度 $-dI/dL$ は光強度 I に比例するから、



$$dI/dL = -\alpha VI \text{-----} 1)$$

と表されます。ここで α は吸収係数、 V は吸収体の体積密度です。

この式は

$$\frac{dI}{I} = -\alpha V dL \text{-----} 2)$$

と書けます。両辺を積分して

$$\log I = -\alpha V_L + C \text{-----} 3)$$

となります。ただし、 C は定数です。

$L = 0$ における光強度を I_0 とします。3) 式に $L=0$ を代入しますと

$$C = \log I_0 \text{-----} 4)$$

となります。従って、3) 式に4) 式を代入して整理しますと

$$\log I - \log I_0 = -\alpha V_L \text{ ----- 5)}$$

さらに整理して

$$\log(I/I_0) = -\alpha V_L \text{-----} 6)$$

と表され、

$$I/I_0 = \exp(-\alpha VL)$$

$$I = I_0 \exp(-\alpha VL) \text{ ----- } 7)$$

が得られます。

関連論文

鹿嶋 進：近赤外光による血液動態測定、日本赤外線学会誌、20,18（2011）

Susumu Kashima : Spectroscopic measurement of blood volume and its oxygenation
in a small volume of tissue using red laser lights and differential
calculation between two point detections,
Optics & Laser Technology 35 (2003) 485 - 489



〒183-0021 東京都府中市片町 2-20-3 サンプル 2F

TEL: 042-352-1171

FAX: 042-352-1173

URL: <http://www.omegawave.co.jp>