

# 運動麻痺患者に対する運動負荷刺激が麻痺部の 血中 HbO<sub>2</sub> ならびに Hb 濃度変化に及ぼす影響

東京慈恵会医科大学 臼井永男

## Effects of Exercise, Tolerance, Stimulation to Change of HbO<sub>2</sub> and Hb Concentration in Blood at Paralysis Region on Motor-Paralytics

by

Nagao Usui

*The Jikei University School of Medicine*

*Department of Physiology (II)*

### ABSTRACT

The purpose of this research is to establish an effective exercise regimen to produce necessary and sufficient blood supply to paralysis regions on motor-paralytics.

Subjects were patients who had hemiplegia (motor paralysis of one lateral half of the body), caused by cerebrovascular disease.

The change of HbO<sub>2</sub> and Hb concentration in blood was determined at the unaffected side and the paralytic region. With the bending and stretching exercise, tolerance stimulation at the forearm was measured by making use of a near-infrared transmission spectrometer (NIRO-500, Hamamatsu Photonics K. K.)

The following results were obtained :

1) As the result of the increased systemic circulation due to exercise tolerance stimulation, the oxygen metabolism had no obvious difference between the unaffected lateral side and the paralytic region.

2) However, the order of the change at the paralytic region is smaller than that of the unaffected lateral side.

3) Besides, it has become clear that the direct effect to the muscle of the paralytic region of motor-paralytics is more pronounced than the increase of systemic circulation.

## 要 旨

本研究は、身体に運動麻痺を有する者の麻痺部に、必要十分な血液を供給するための効果的な運動処方を見出すために行った。

浜松ホトニクス社製の、近赤外透過光分光分析装置 (NIRO-500) を用いて、前腕の屈伸運動負荷刺激を与えた時の、健側部と麻痺部の血中  $\text{HbO}_2$  ならびに  $\text{Hb}$  の濃度変化を測定した。

対象は、脳血管障害によって半身に運動麻痺を呈した患者である。

その結果、以下のことが判明した。

①運動負荷刺激に基づく全身循環の増加による酸素代謝の様相は、健側部と麻痺部に顕著な差は認められなかった。

②しかしその変化の程度は、麻痺部の方が健側部に比べて小さかった。

③なお、運動麻痺を有する者の麻痺部への血液供給には、全身循環を上昇させるよりも、麻痺部の筋肉に直接働きかける方が有効であることが判明した。

## 緒 言

健康人の手において、一側に加えられたストレスは両側の循環に変化を及ぼすことが知られている。また下肢の運動によって、上肢をはじめとする全身循環がそれに反応する。

このことは、たとえば末梢血管の拡張、毛細血管分布拡大のためには、要求される部位の局所的な刺激を必要とせず、任意の運動によって十分可能であることを意味する。

さてここに、何らかの原因によって身体に運動

麻痺を生じた場合、毛細血管網の減少、筋肉の萎縮など、血液供給の減少にともなうさまざまな障害が生じることが予想される。そのため機能回復訓練では、麻痺部にも十分に血液が供給されるように、適切な手立てが講じられなければならない。

本研究は、近赤外透過光分光分析装置を用いて、非侵襲的に麻痺部の血中  $\text{HbO}_2$  ならびに  $\text{Hb}$  の濃度変化を測定することによって、より効果的な運動処方を見出すことを目的とする。

## 1. 方 法

近赤外透過光分光分析装置 NIRO-500 (浜松ホトニクス社製) は、極微弱光検出技術 (フォトンカウンティング法) を用いることによって、厚い組織を透過した非常に弱い光の検出が可能である。

そこで本装置を用いることによって、生体内の血中  $\text{HbO}_2$  ならびに  $\text{Hb}$  の濃度変化を測定した。

装置のブロックダイアグラムを図 1 に、得られたデータの 1 例を図 2 に示した。

プローブを手掌部と手背部に装着し、手部での透過光による分光分析を行った。測定間隔は 1 秒に設定した。なお手指の屈曲が強く、装着が困難な 1 例については前腕部に並置し、反射方式で計測を行った。

なお被験者は車椅子を使用しており、測定はすべて坐位姿勢にて行った。

数分の安静の後、上肢の屈伸運動、あるいは挙上運動を 2 分間継続負荷した。屈伸運動のインターバルはとくに指定せず、任意に行わせたが、およそ 2 秒に 1 度の頻度で実施された。

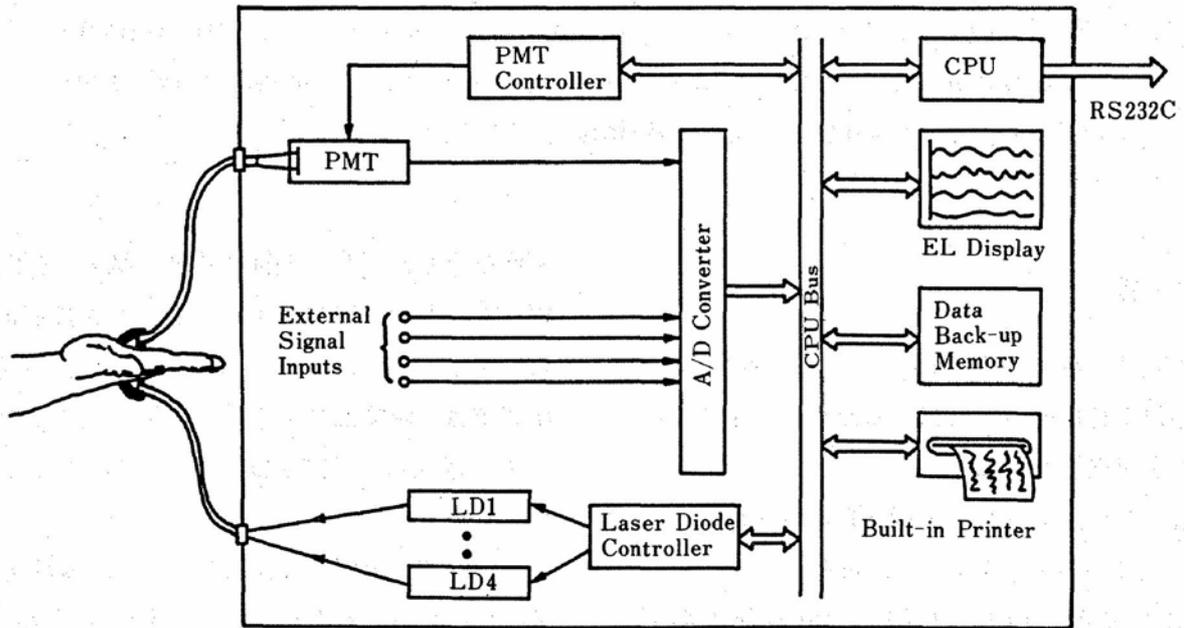


図1 測定装置のブロックダイヤグラム

運動負荷強度としては、安静時の脈拍数に対して、10～20/min 増加する程度であって、いずれも100/min を越えることはなかった。

なお、自分の意志で上肢を挙上することができない例に対しては、験者によって他動的に負荷を与えた。

測定は、以下に示す4種類について行った。

- ① 健側前腕の屈伸運動を行った時の、健側手部の変化
- ② 患側前腕の屈伸運動を行った時の、健側手部の変化
- ③ 健側前腕の屈伸運動を行った時の、患側手部の変化
- ④ 患側前腕の屈伸運動を行った時の、患側手部の変化

測定対象は、脳出血によって半身麻痺を呈した50～82歳の男女で、いずれも内科的な疾患は持たない5名である。

## 2. 結果

濃度変化の程度こそ違いが見られるが、ほぼ同様の傾向が認められたので、代表的な1例の測定

結果を示した(図3)。なお、図の縦軸は、Path length 1.0 cm 相当に換算された相対的濃度を示している。

図3-1は健側前腕の屈伸運動を行った時の、健側手部の濃度変化を記録したものである。

運動開始と同時に、 $\text{HbO}_2$ ならびにHbともその濃度が著しく低下し、運動終了にしたがって上昇した。なおこの例では安静値に戻っていないが、3例については運動終了とともにほぼ安静値に戻った。

また濃度変化は、 $\text{HbO}_2$ の方がHbに比べて顕著であった。

図3-2は患側前腕の屈伸運動を行った時の、健側手部の濃度変化を記録したものである。

この例は、自力で患側上肢の挙上が不可能であったため、験者によって他動的に負荷を与えた。

Hbの濃度はほとんど変化しなかった。他の2例において、わずかに低下の様相が観察された。

$\text{HbO}_2$ は運動開始時に、ごくわずかに低下の様相が伺える。他の3例については、多少明確にその様相が観察された。

ID No. ....  
 Path Length 1.0cm  
 Time 16:10

Date 09/09/92

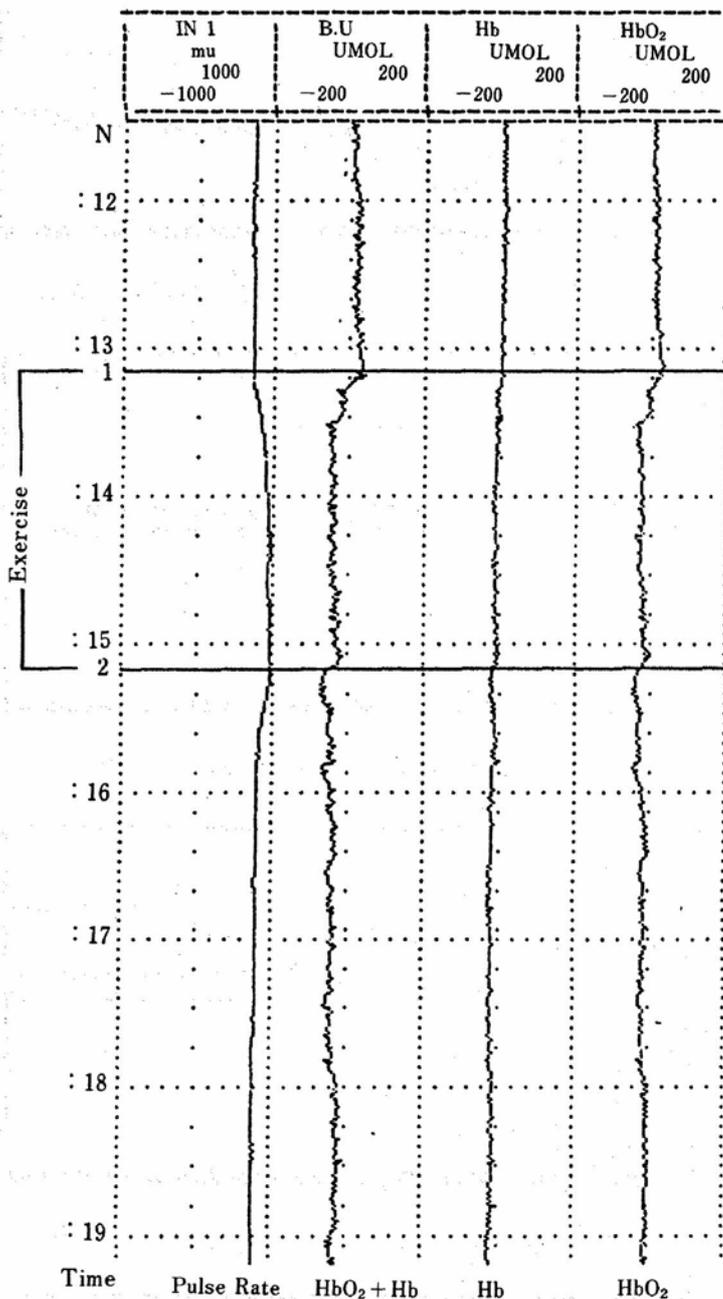


図2 測定例

図3-3は健側前腕の屈伸運動を行った時の、患側手部の濃度変化を記録したものである。

運動負荷によって、HbO<sub>2</sub>とHbのいずれもその濃度が上昇した。そして運動終了後も、その濃度は安静値に戻らなかった。他の3例も同様の傾向であったが、1例はほぼ安静値に達した。

図3-4は患側前腕の屈伸運動を行った時の、患側手部の濃度変化を記録したものである。

濃度変化はわずかに小さいが、健側における測定結果(図3-1)ときわめてよく似た様相を示した。

他の2例も同様であった。しかし残りの2例は

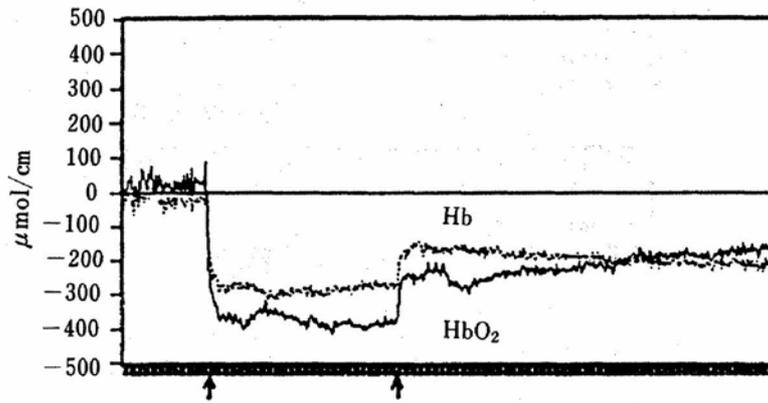


図 3-1 健側前腕の屈伸運動を行った時の健側平部の変化

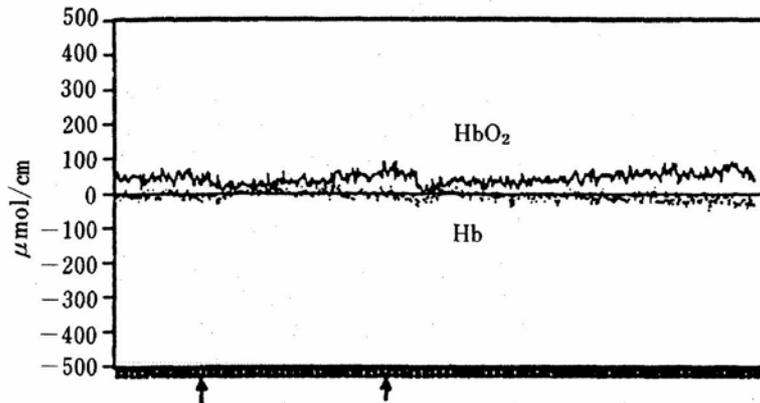


図 3-2 患側前腕の屈伸運動を行った時の健側手部の変化

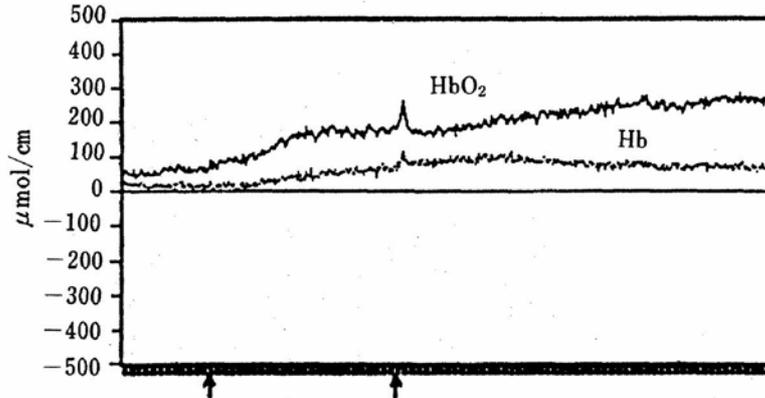


図 3-3 健側前腕の屈伸運動を行った時の患側手部の変化

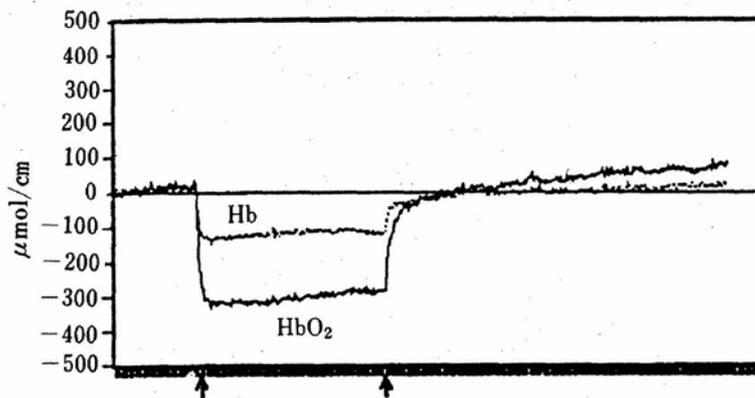


図 3-4 患側前腕の屈伸運動を行った時の患側手部の変化 (矢印は運動開始と終了を示す)

運動終了後もその濃度は低下したままであった。

### 3. 考 察

近年、近赤外線を持つ特殊性を活用し、非侵襲的に生体内の酸素代謝を測定する試みがなされている<sup>6-8)</sup>。

とりわけ新生児未熟児を対象にした、脳内の酸素代謝の様相をモニターする試みが盛んに行われてきた<sup>1,4)</sup>。しかし、この方法を運動生理学の分野にも活用できることが明らかとなった。すなわち、運動負荷刺激に対する全身循環の監視や、活動筋の酸素代謝とその回復の様相から、筋持久力を評価する試みもなされている<sup>3,9)</sup>。

この測定原理に関しては古くから明らかにされていたが<sup>5)</sup>、高精度のレーザーダイオードやフォトマル(ディテクター)、さらにソフトウェアの開発にともなって、装置の商品化が可能となったことがこれらの研究を促進させたものと思われる。

さらに、これまで観血的な手法によって測定が行われてきたが<sup>2)</sup>、被験者に与える苦痛は計り知れないものがある。非観血的にモニターできることも研究を進めていく上に重要な意義があるものと確信する。

さて、今回使用した NIRO-500 は 700 ~ 900

nm の 4 つの異なる波長のパルスレーザーダイオードを用いたものである。

レーザーの安全性に関しては、この装置が医療機として認可を受けたことにより、生体に与える影響は無視することができる。

さてこの装置によって得られた HbO<sub>2</sub> と Hb の濃度変化が、血中の、とりわけ動脈血のものを反映していることを確認するために、以下の実験を行った。

血圧計のカフを用いて、上腕を最高血圧よりもさらに 20 ~ 30 mmHg 加圧して保持させた時の前腕部の濃度変化を記録した。その結果を図 4 に示した。止血時間は 8 分である。

その結果、止血と同時に HbO<sub>2</sub> の濃度は速やかに下降し、およそ数分で定常状態になった。これに対して Hb の濃度は、HbO<sub>2</sub> とは対称的な変化の様相を示した。すなわち、速やかに上昇し、およそ数分で定常状態になった。なおこの時、HbO<sub>2</sub> + Hb の濃度には大きな変化は見られなかった。

止血解除と同時に急激に安静時の値に戻るが、この時、HbO<sub>2</sub> の濃度は一過性に安静値を越える濃度にまで上昇した後、安静値に戻った。

Hb の濃度も同様に、安静値を越える濃度にまで下降した後、安静値に戻った。

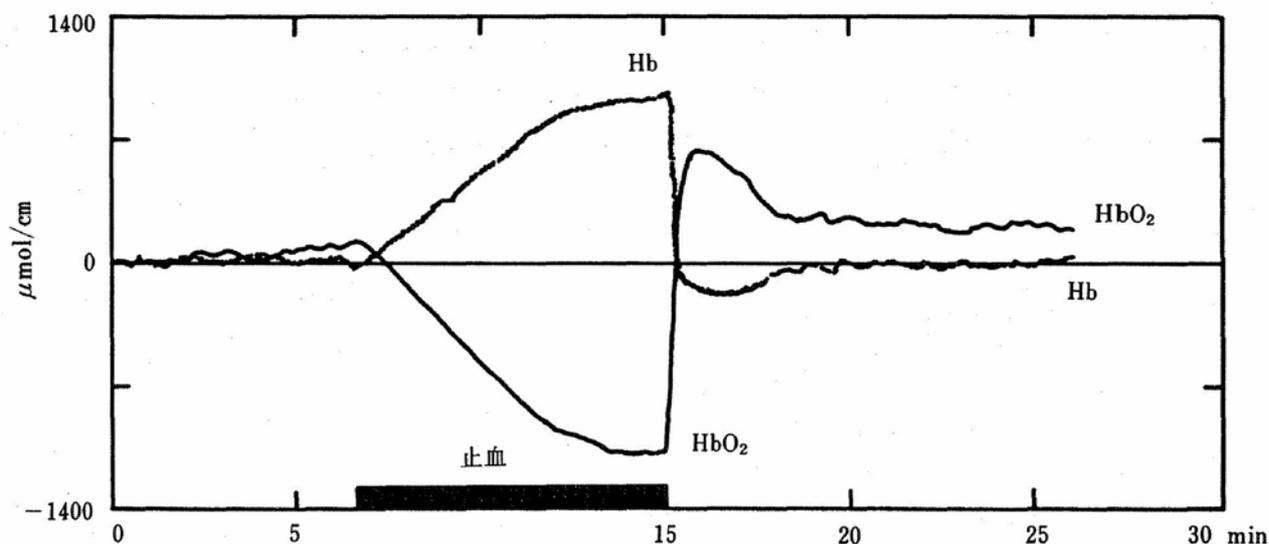


図 4 上腕を止血した時の前腕部の HbO<sub>2</sub> と Hb の濃度変化

なお、 $\text{HbO}_2 + \text{Hb}$  の濃度は、止血解除と同時に上昇の様相を示した後、安静値よりもやや大きな値を示し、定常状態となった。

これらのことは、血液供給が閉ざされた閉鎖系での酸素代謝を十分に説明できるものである。

前腕部の組織による酸素消費の結果、 $\text{HbO}_2$  の濃度が低下し、それと同濃度の  $\text{Hb}$  が増加した。その後の定常状態は、動脈血からの酸素供給能力が限界に達したことによるものと考えられる。

止血解除と同時に  $\text{HbO}_2 + \text{Hb}$  の濃度が増加したが、これは第一に動脈血の急激な輸送能力に対して、静脈血のそれが小さいために、一時的に血液量が増加したためであると考えられる。

なお、この方法による  $\text{HbO}_2$  と  $\text{Hb}$  の濃度測定は、ミオグロビンも同時に監視しており、両者の総和としてモニターされる。しかし、ミオグロビンの変化は、きわめて小さいものであって、ここでは無視することができる。

以上のことから、今回使用した装置によって得られた  $\text{HbO}_2$  ならびに  $\text{Hb}$  の濃度変化は、主として動脈血の酸素代謝を反映しているものと思われる。

さて今回、脳血管障害によって片麻痺を呈した中高年者を対象に、運動負荷刺激を与えた時の健側部と麻痺部の血中  $\text{HbO}_2$  ならびに  $\text{Hb}$  の濃度変化を測定した。

その結果、健側部や患側部にかかわらず、屈伸運動負荷を与えている方の手部の  $\text{HbO}_2$  ならびに  $\text{Hb}$  の濃度が著しく低下し、負荷停止とともに安静値に戻る様相を示した。また負荷途中で安静値に回復する例も見られた。

それに対して、運動負荷を与えた側とは反対の手部における  $\text{HbO}_2$  ならびに  $\text{Hb}$  の濃度変化は、いずれもきわめて小さかった。

なお、測定側が健側部や患側部にもかわらず、運動負荷刺激が健側である方が、患側よりもその濃度変化は大きかった。

これらのことから、今回行った前腕の屈伸運動刺激による、手部の  $\text{HbO}_2$  ならびに  $\text{Hb}$  の濃度変化の様相は、活動筋への血液供給と、静脈還流の促進に起因するものと考えられる。

また健側部の刺激によって、患側部に影響を及ぼすことは容易なことではなく、直接患側部を刺激する方が効果的であることが判明した。もし健側部の刺激によって、患側部に影響を及ぼすことを試みるならば、全身循環を著しく促進させる必要がある。

今回実施した運動負荷は、きわめて局所的なものであり、またその強度も、脈拍数が安静値の 10～20 拍上昇する程度のものである。対象者が中高年であり、また車椅子での生活を余儀なくされていることから、日常の身体活動は、健常な若年者に比べて、きわめて小さいものである。このような対象に全身循環を促進させるような運動負荷は、危険もともない、きわめて困難であると思われる。

今回実施した運動負荷刺激は、骨格筋の血流を著しく促進するものではなく、またそれを目的とするものではない。

心臓血管系に、過度の負荷をかけることなく、効率よい血液循環を促すためには、今回用いた手法がきわめて有効であると考えられる。

なお  $\text{PaO}_2$  や血流量の絶対値については計測していないが、今回用いた方法は、運動負荷刺激による変動を非観血的に、リアルタイムに監視できることから、おのおのに最適な運動処方を実施することができるものである。

今後は、経時的な観察によって、治療過程における変化の様相を明らかにするとともに、脳内の酸素代謝についても計測を行う予定である。

#### 4. 結 語

脳血管障害などによって、半身に運動麻痺を呈した者の麻痺部に、必要十分な血液を供給するた

めの効果的な運動処方を見出すことを目的として、浜松ホトニクス社製の、近赤外透過分光分析装置 (NIRO-500) を用いて、前腕の屈伸運動負荷刺激を与えた時の、健側部と麻痺部の血中 HbO<sub>2</sub> ならびに Hb の濃度変化を測定した。

その結果、以下のことが判明した。

①運動負荷刺激に基づく全身循環の増加による酸素代謝の様相は、健側部と麻痺部に顕著な差は認められなかった。

②しかしその変化の程度は、麻痺部の方が健側部に比べて小さかった。

③なお、運動麻痺を有する者の麻痺部への血液供給には、全身循環を上昇させるよりも、麻痺部の筋肉に直接働きかける方が有効であることが判明した。

稿を終えるにあたり、終始ご指導、御校閲いただきました東京慈恵会医科大学第二生理学教室の栗原 敏教授、ならびに同小児科学教室の前川喜平教授、放送大学の平沢彌一郎教授に深く感謝いたします。

また測定に御協力いただきました浜松リハビリテーションセンターの月村泰治先生と石塚和重先生に、そして浜松ホトニクス株式会社の大村弘司と中嶋由晴の両氏に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) A. D. Edwards, J. S. Wyatt, Clare Richardson, D. T. Delpy, M. Cope, E. O. R. Reynolds; Cotside measurement of cerebral blood flow in ill newborn infants by near infrared spectroscopy, *LANCET*, 770-771 (1988)
- 2) 広瀬好文; 運動負荷時の Initial Period における血液ガスの変動についての考察, *横浜医学*, 38 (5), 645-653 (1987)
- 3) 本間幸子, 福岡義之, 藤井宣晴, 江田英雄, 池上晴夫; 近赤外分光法を用いた活動筋の循環動態の評価-自転車運動時の大腿活動筋について, *体力科学*, 41 (5), 586-594 (1992)
- 4) J. S. Wyatt, M. Cope, D. T. Delpy, Susan Wray, E. O. R. Reynolds; Quantification of cerebral oxygenation and haemodynamics in sick newborn infants by near infrared spectrophotometry, *LANCET*, 1063-1066 (1986)
- 5) 野村保友, 田村 守, 有我達也; 光を用いた生体の非破壊計測-光 CT とピコ秒分光, *生物物理*, 29 (3), 129-135 (1989)
- 6) Osamu Hazeki, Mamoru Tamura; Quantitative analysis of hemoglobin oxygenation state of rat brain in situ by near-infrared spectro-photometry, *J. Appl Physiol.*, 64 (2), 796-802 (1988)
- 7) 田村 守; 光を使った生体計測-光 CT への道, *O plus E*, 93, 113-117 (1987)
- 8) 田村正秀, 橘 秀光, 竹内章二, 久保良彦, 鮫島夏樹, 田村 守, 山崎栄紀; 近赤外光を用いる脳代謝無侵襲測定の新しい試み, *呼吸と循環*, 35 (5), 527-534 (1987)
- 9) 臼井永男, 尾泉 博, 栗原 敏, 前川喜平; 運動負荷時の血中酸素濃度変化を無侵襲的に測定する試み, *体力科学*, 39 (6), 526 (1990)