膝伸展運動における筋収縮様式-速度が大腿部内側広筋の 酸素動態に及ぼす影響について

谷代 一哉¹⁾ 坂元 孝子²⁾ 石井 友保¹⁾ 鈴川 一宏¹⁾
清田 寛³⁾ 大和 眞³⁾ 中野 昭一^{1,3)}

EFFECT OF MUSCLE CONTRACTION TYPE AND SPEED ON TISSUE OXYGEN DYNAMICS IN THE M. VASTUS MEDIALIS DURING REPEATED KNEE EXTENSION EXERCISE

KAZUYA YASHIRO, TAKAKO SAKAMOTO, TOMOHO ISHII, KAZUHIRO SUZUKAWA,
HIROSHI KIYOTA, MAKOTO YAMATO and SHOICHI NAKANO

Abstract

The purpose of this study was to analyze the relationship between activity pattern and temporal changes in the oxygen dynamics of human femoral medial vastus muscles. Oxygen dynamics were evaluated from the surface of the body by near-infrared spectroscopy (NIRS). Arterial occlusion tests were performed in the femoral region at a cuff pressure of 300 mmHg. Exercise type and speed were controlled by CYBEX 6000. The exercise types examined were concentric contraction (CON) and eccentric contraction (ECC). The 3 angular velocities of 90, 120 and 180 degrees were used as the exercise speeds. Exercise was performed continuously 60 times at maximum effort. The subjects were 7 healthy males with a mean age of 19.6 ± 0.5 years. A transient decrease in oxygen concentration was observed during circulatory occlusion; and rapid hyperemia occurred immediately after the removal of pressure. Oxygen concentration peaked above the control level and then returned to the initial level. In the CON exercise, the initial decrease in oxygen concentration was the largest at CON 90, and a gradual increase in oxygen concentration was clearly observed during exercise. In the recovery stage, after exercise at CON 90, 120 and 180, oxygen concentration exceeded the control level before exercise, then peaked and returned to the initial level. In the ECC exercise, an initial decrease in oxygen concentration was similar to that in the CON exercise, but a gradual increase in oxygen concentration was not observed during the exercise; nor did oxygen concentration exceed the control level in the recovery stage after the exercise.

These results indicate that an increase in oxygen level after the removal of arterial occlusion, during and after the CON exercise was much higher than the control level before the exercise, suggesting the involvement of reactive hyperemia and exercise hyperemia.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2001, 50: 625~632)

key word: concentric contraction (CON), eccentric contraction (ECC), contraction speed, muscular oxygen level

I. 目 的

近年、筋組織の酸素を体表面から測定する近赤

外分光法(NIRS)が開発され、運動やスポーツの
領域において筋活動と酸素の関係が経時的に分析
できるようになってきた^{1~4)}。わが国ではすで

¹⁾ 日本体育大学大学院

〒158-8508 東京都世田谷区深沢7-1-1

²⁾ 日本体育大学スポーツトレーニングセンター

〒158-8508 東京都世田谷区深沢7-1-1

³⁾ 日本体育大学体育研究所

〒158-8508 東京都世田谷区深沢7-1-1

Graduate School of Health and Sport Science, Nippon Sport
Science University.

Sports Training Center, Nippon Sport Science University.

Research and Institute of Physical Education, Nippon Sport
Science University.

にいくつかの報告が行われている⁵⁻⁷⁾。それらによると、筋組織の酸素動態は NIRS で明瞭に測定できるが、運動負荷への応答状況にはいまだ検討が必要とされている。局所の酸素応答が複雑になる大きな理由は、筋細胞内の酸素消費による酸素動態と筋細胞への酸素供給のための輸送変動が共に関係しているからと思われる。したがって、運動では酸素消費の観点に加えて酸素輸送の特性が考察されなければならない。しかしながら、これまでは後者の酸素供給の側面について、特に反応性充血 (Reactive Hyperemia)⁸⁻¹¹⁾ や運動性高血流 (Exercise Hyperemia)^{9, 11-15)} の反応様式を考慮に入れた検討や考察は少ない。

本研究では、筋組織の酸素濃度が近接する動脈の血流制御や血流解除で変化するのは反応性充血の関与に依るとする仮説のもとに、ヒトの大腿部内側広筋のモデルによる血流制御実験を追試し、主実験の短縮性筋活動及び伸張性筋活動に伴う酸素濃度の経時的変化を観察することを目的とした。

II. 実験方法

A. 被験者

被験者は、日常特に激しい運動経験のない健康な男子学生 7 名であった。被験者の各身体特性(平均値±標準偏差)は、年齢 19.4 ± 0.5 歳、身長 170.2 ± 5.0 cm、体重 63.5 ± 10.4 kg、体脂肪率 $15.8 \pm 5.3\%$ であった。また、被験者は、すべて右利きであったため、測定は右脚大腿部の内側広筋を対象とした。なお、本実験では、被験者に実験の主旨を説明し、日本体育大学倫理委員会の実験規定に基づく同意を得た上で測定を行った。

B. 運動負荷条件

運動は CYBEX 6000 (Henley Japan 社製) を用いた等速性の膝伸展運動^{16, 17)} であり、被験者には、最大努力で連続 60 回の運動を行わせた。

測定条件は、椅座位にて股関節角度が 90 度になるよう、体幹および腰部をそれぞれベルトで固定し、膝関節可動範囲は屈曲位の解剖学的 90 度から完全伸展位 180 度までの 90 度に設定した。なお、

膝伸展運動の収縮様式は、短縮性収縮 (Concentric Contraction : CON)、および伸張性収縮 (Eccentric Contraction : ECC) の 2 条件を設定し、収縮速度は CON、ECC ともに 90, 120 および 180 deg/sec の 3 条件とした (以下 CON の 90, 120, 180 deg/sec を 90C, 120C, 180C とし、ECC の 90, 120, 180 deg/sec を 90E, 120E, 180E と略す)。本実験では、大腿部伸展筋を対象に測定を行っているため、CON の場合には、屈曲位から伸展位まで最大努力にて伸展運動を行わせ、伸展位から屈曲位までの動作については脱力するよう指示した。また、ECC の場合は、伸展位から屈曲位まで各等速性の条件で動くダイナモメーターに最大努力にて抵抗する運動を行わせた。その際、屈曲位から伸展位までの動作は、機械による自動補助 (アシスト) システムを用い、被験者にはその間、負担のかからないよう脱力をさせた。なお、CON、ECC とも脱力している間の速度は、主運動の収縮速度と同一の速度とした。すなわち、90C と 90E では 1 秒の主運動に対し 1 秒間の脱力を、120C と 120E では、0.75 秒の主運動と 0.75 秒の脱力を、180C と 180E では 0.5 秒の主運動に対し、0.5 秒の脱力を繰り返す運動を全条件ともに 60 回繰り返し行わせた。本測定では、7 人の被験者にそれぞれ 6 条件の運動を行わせ 6 条件の測定試行はランダムとし、各測定の間隔は一週間以上とした。なお、被験者には事前にそれぞれの条件で十分な練習を行わせ測定を行った。

C. 筋組織の酸素動態測定

骨格筋の酸素動態の測定は、近赤外分光法 (Near Infrared Spectroscopy : NIRS) による shimadzu 社製 OM-200 を用い、大腿部の内側広筋 (M. Vastus Medialis : VM) を対象に測定した。NIRS のプローブは筋の筋腹に筋の走行に沿って粘着テープで固定した。筋酸素動態の測定は、座位安静時における大腿部阻血時、60 回の最大筋力発揮時および運動終了後の回復時で行った。この酸素動態測定器は 4 つの異なる波長 (690 nm, 780 nm, 805 nm, 830 nm) からなる赤外線線の吸光度を測定し酸素化ヘモグロビン [Oxy (Hb + Mb)]、脱

酸素化ヘモグロビン [deoxy (Hb+Mb)] を算出したものである。本測定装置はその特性上絶対値の算出が困難なため、安静時の OD (Optical Density) 値の変化率を用いることにした。測定は安静2分間のあと、大腿上部のカフに、水銀血圧計で 300 mmHg の圧力をかけ動脈阻血を行った。その際、モニターで OD 値を観察しながら、その値の低下が安定した点をもって最低値とし、その時点で血圧計での加圧を解放した。Fig. 1 に示す安静時の OD 値を100%，血流阻止による OD 値の最低値を0%とするスケールをつくり、骨格筋内酸素動態の変化を経時的に比較検討した。なお、測定装置の時間分解能は1秒で設定し測定した。

本測定は運動開始後、運動中および運動終了後の経時的な延べ3分間の酸素変動をそれぞれ5秒ごとに平均値を算出しこれらを解析対象とした。また回復過程に関しては運動終了後から回復後30秒までを比較検討した。なお、今回における実験では局所血流を酸素と並行して測定していないが、椅座位での局所血流の阻止実験および負荷実験の際は全身血圧の安定が必須条件となってい

る。

D. 統計処理

実験成績は7名の平均値 (mean) と標準誤差 (± SE) を求めた。時間経過にともなう収縮様式の違いの比較では、二元配置の分散分析を用いた。また危険率はいずれも5%未満を有意とした。

Ⅲ. 実験成績

A. 動脈血流の阻止および解除後の酸素動態

図1は、筋組織への血流阻止および運動負荷による組織の酸素濃度の動態を記録した典型例である。安静時の筋組織の酸素濃度は大腿動脈の血流阻止 (カフ圧 300 mmHg) で、前半の4分間に急速に、続くおよそ4.5分が徐々に減少した。血流阻止の解除後の酸素濃度は急激に増大し対照値を超えてピークに達した。その後は減少に転じおよそ3分で対照値に復帰した。また、図1の実験で引き続いて行った2分間の筋活動による酸素濃度の変化は開始直後からおよそ30秒ほど低下を示し、その後は増大に転じた。酸素濃度は筋活動中であ

Fig. 1. Representative recordings of oxygen changes in M. vastus medialis during and after occlusion of femoral artery, and the following concentric (CON) muscle contraction in the repeated knee extension exercise.

Records showed typical patterns of hyper oxygen after release of occlusion and of oxygen increase during exercise.

Fig. 2. Percent changes of oxygen level in M. vastus medialis during and after the repeated exercise of concentric (CON) and eccentric (ECC) muscle contractions. Angular velocities in both contractions were 180 deg/sec.

Asterisks (*) indicate the increase of concentric contraction (CON vs ECC), which was significant ($p < 0.05$).

Fig. 3. Percent changes of oxygen level in M. vastus medialis during and after the repeated exercise of concentric (CON) and eccentric (ECC) muscle contractions. Angular velocities in both contractions were 120 deg/sec.

Asterisks (*) indicate the increase of concentric contraction (CON vs ECC), which was significant ($p < 0.05$).

Two types of muscle contraction produced the unique responses in oxygen changes during and after exercise. In the concentric muscle contraction, muscle oxygen dynamics showed an initial rapid decrease, reversal increase and post exercise increase compared to the control.

Fig. 4. Percent changes of oxygen level in M. vastus medialis during and after the repeated exercise of concentric (CON) and eccentric (ECC) muscle contractions. Angular velocities in both contractions were 90 deg/sec.

Asterisks (*) indicate the increase of concentric contraction (CON vs ECC), which was significant ($p < 0.05$).

Muscle oxygen markedly decreased in both types. In particular, eccentric muscle contraction type showed continuously lower oxygen during exercise and a lower post exercise oxygen level.

るにもかかわらず、対照値を越えて増大しピーク値に達した。運動中止後の数分はそのピークを持続した。

B. 短縮性および伸張性運動による酸素動態

短縮性および伸張性運動による酸素動態は運動初期時、運動継続時および運動終了後回復時でそれぞれ、特有の変化を示した(図2, 3, 4)。

短縮性運動での酸素濃度の変化は三種類の収縮速度の相違が顕著に現われ、運動初期には、180Cで $59.4 \pm 4.3\%$ 、120Cで $33.8 \pm 6.1\%$ 、90Cで $21.7 \pm 6.5\%$ にまで低下をした。運動継続時では、各収縮速度の運動とも酸素濃度の漸増が観察された。回復時では各運動様式ともに安静時を上回る急激な増大の過度相を伴い収束に向かった。運動終了後の回復期の酸素動態(最大)は、180Cで $161.4 \pm 13.8\%$ 、120Cで $135.0 \pm 4.9\%$ 、90Cで $131.1 \pm 16.3\%$ に達した。

一方、伸張性運動では、運動初期の低下は各運

動様式とも短縮性運動に近いレベルであったが、運動継続時では漸増傾向が現われなかった。運動終了後の増大は各運動様式とも観察されたが、増大のピークレベルは安静時のレベル内であった。

IV. 考 察

本研究は、近赤外分光分析法(NIRS)で測定される局所酸素動態が筋組織の活動様式で、どのように変化するかについて検討を試みたものである。実験はヒトの下肢大腿部の内側広筋で行った。静的組織を扱った大腿動脈の血流阻止実験では、その組織の酸素濃度が経時的に顕著な減少を示すこと、また血流阻止の解除後においては、組織の酸素濃度が一時的に対照値を上回る回復過程を経ること、活動組織の実験では短縮性収縮の運動が伸張性収縮のそれに比べ運動中の組織酸素の経時的な濃度増大が顕著であり、さらに運動後の回復期酸素の濃度も対照値を越える大きなピーク値を経て復帰することなどの変化が観察された。

NIRS の分析では酸素濃度の絶対値の定量が容易でなく, そのためには筋組織の酸素を限りなくゼロ値に近い低酸素状態の測定を行うことで, 分析のスケールがつくられる. 測定筋への動脈血流の阻止は, そのスケール設定の手段のひとつとして採用されてきた. 一方, この血流阻止という負荷法自体は末梢循環機能の応答特性の検討など脈管領域の分析法として早くから活用されている^{8,9,11,12)}.

ここでは最初にこの領域を反応性充血の知見と比較しながら検討を進める. 図1は血流阻止に伴う, 酸素の動態を経時的に記録したものであるが, 血流阻止とその解除後の酸素動態は, 典型的な反応性充血のパターンに類似している. 動脈血の阻止による酸素濃度の減少には筋細胞の酸素消費と血流の減少による酸素供給の低下が相乗効果となって最低のレベルを示していると思われる. 一方, 解除後の酸素濃度の急激な増大と, 対照値を越えるピーク値の出現は局所組織の静的な酸素消費だけからでは十分に理解できるものではない. 人間の指プレスチモ実験や動物実験の後肢血流の観察から^{10,15)}, 血流阻止の解除後には顕著な血流増大現象が見られる. この現象は循環血圧の定常状態下で発現するので, 血流の変動は局所に限られた血管抵抗の変化と見なすことが出来る¹⁵⁾. 一般に局所の低酸素等は局所細動脈の血管平滑筋に弛緩作用すなわち血管拡張現象を惹起することが知られており^{9,18)}, 局所の血流の増大すなわち酸素濃度の増大が存在するものと推察される. 他の理由には血流阻止に伴う下流の血管内圧の減少が同じように血管平滑筋の緊張低下を起し(血管拡張), 解除後の血流増大となることが推察される. 両機構は相乗的に作用していると思われる.

この点を踏まえ, 運動様式の相違と酸素動態を運動初期, 運動継続中および運動後回復期の三過程に分けて検討した. 運動初期では局所組織の酸素濃度は急激に減少した(図2, 3, 4). この傾向は両運動様式に共通した変化であるが, 短縮性運動では筋運動の開始4試行で酸素濃度が最低に達し, 酸素濃度も角速度 90 deg/sec で最も大きく減少し, 120, 180 deg/sec の順で減少が浅くな

った. また, その酸素濃度の低下度は短縮性運動が伸張性収縮よりやや深くなった. 運動初期の酸素濃度が急激に減少することについては, 両運動様式ともに最大努力の運動が指示されているので, 筋血流の機械的な抑制が関与していると思われる^{15,19)}, その関与度の大きさが酸素濃度の低下に連動するものと考えられる.

運動継続中では, 短縮性運動の酸素濃度が減少のおよそ15秒後から増大に反転し, そのまま漸増している(図2, 3, 4). 一方, 伸張性運動にはその傾向が現れていない. 短縮性と伸張性の運動様式の相違が酸素動態にこのような差を生む理由は現在のところ明瞭ではない. 内側広筋の伸張性活動中では酸素消費の進行が優位にあり, 一方, 短縮性活動の過程では酸素濃度のバランスが酸素供給側にシフトし始めたように観察される^{2,5,20)}. 筋末梢循環の運動性高血流(Exercise hyperemia)の知見によると局所の筋運動はその筋組織の代謝性要因で血管平滑筋を弛緩させ血管拡張による血流増大を惹起する. 一方, 筋収縮の機械的, 力学的な作用や交感神経作用は血管抵抗の増大を促し, その結果血流は抑制的になる. 動物後肢の筋血流の調節測定の知見では, 激運動の開始およそ15秒間では血流の顕著な抑制が起こり, 約15秒後を境に運動中でありながら, 血流は増大に反転していく¹⁵⁾. 運動性の酸素動態にはこのような局所の微小循環応答が深く呼応しているように思われる.

運動後の回復期では運動中の酸素濃度の増大傾向が更に顕著になり, やがてピークを経て対照値のレベルに減衰していく. この現象は運動後血流増大現象(Postexercise hyperemia)によく似たパターンを示している^{13,15)}. 本論の短縮性運動の終了後の酸素動態は, いずれの運動負荷速度も対照値を上回る高酸素現象になっている. 一方, 伸張性運動ではすべての運動負荷速度で, 運動後の酸素濃度は増大の応答を示しているが, 対照値を越える大きさまでには至っていない. この運動様式の違いと, 運動後の酸素動態の差については, 今のところよく判らない.

以上のことから, 人間の最大努力性の運動負荷

は筋収縮性の機械的な血管圧迫による血管抵抗の増大を誘発し、特に伸張性運動では、全運動過程で酸素供給の抑制が見られており、これは血流の抑制によると考えている。一方、短縮性運動では運動初期の酸素低下に続く運動中の酸素増大という反転現象が起こり、酸素供給が酸素消費を上回るかたちになっている。これについては、短縮性運動は伸張性運動に比べ1回ごとのわずかな運動後の脱力があり、筋末梢循環のポンプ作用に有利な状況を呈していると考えられることもできよう。短縮性運動の終了後に現れる対照値を越える酸素濃度の増大については、知見より運動後血流増大現象との関係で今後検討していくことができると思われる。

V. 結 論

本研究の目的は、局所筋の活動様式と酸素動態の関係を経時的に分析することにある。対象はヒトの大腿部内側広筋であり、酸素は近赤外分光法(NIRS)で体表から測定した。血流阻止実験は大腿部のカフ加圧 300 mmHg で行った。運動様式と運動速度はCYBEX 6000で制御され、運動様式は短縮性収縮(CON)および伸張性収縮(ECC)の二種類で、運動速度の変化は各速度90, 120, および 180 deg/sec の三種類であった。最大努力による連続60回の運動が負荷された。被験者は健康な男子7名であった。(平均年齢 19.4 ± 0.5 歳)。血流阻止実験では酸素の一過性減少が、また解除直後からは急激な酸素増大が出現し、対照値のレベルを越えてピーク値に達したあと元のレベルに復帰した。短縮性運動では運動初期の酸素減少がCON 90で最も顕著なこと、運動継続では、酸素の漸増が明瞭なこと、運動終了後の回復期ではCON 90, 120 および180のいずれも運動前の対照値を越えて増大しピーク値を経て復帰する結果が得られた。伸張性運動では運動初期の減少度は短縮性運動とほぼ同じであったが、運動継続期の漸増は見られず、また回復期ではいずれの負荷とも対照値を越える酸素の増大はなかった。

以上より、血流阻止の解除後にみられる酸素の増大減少や短縮性運動中の経時的な酸素増大現象

および運動後酸素増大現象などはすべて運動前の対照値をはるかに越えていることから、反応性充血や運動性高血流の関与が推察される。

(受理日 平成13年8月16日)

参 考 文 献

- 1) De, Blasi, R. A., M. Ferrarini, A. Natali, G., Conti, A. Mega., A. Gassparetto. Noninvasive measurement of forearm blood flow and oxygen consumption by near-infrared spectroscopy. *J. Appl. Physiol.* (1994), **76**, 1388-1393.
- 2) Hamaoka, T., Iwane, H., Shimomitsu, T., Katsumura, T., Murase, N., Nishio, S., Osada, T., Kurosawa, Y., B. Chance. Noninvasive measures of oxidative metabolism on working human muscles by near-infrared spectroscopy. *J. Appl. Physiol.*, (1996), **81** (3), 1410-1417.
- 3) Neil, B. Hampson., Claude, A. Piantadosi. Near infrared monitoring of human skeletal muscle oxygenation during forearm ischemia. *J. Appl. Physiol.* (1988), **64** (6), 2449-2457.
- 4) Shiga, T., Tanabe, K., Fukao, A., Hamaoka, T., Iwane, H., B. Chance. Development of a Portable Tissue Oxygen Monitor with Near Infrared Light., *Therapeutic Research*, (1995), **16** (9), 255-258.
- 5) 本間俊行, 本間幸子, 加賀谷淳子. 膝伸展運動時にみられる協働筋間での酸素供給・消費バランスの相違. *体力科学*, (1998), **47**, 525-534.
Homma, T., Homma, S., Kagaya, A. Difference in oxygen supply-consumption balance in thigh muscle working together during knee-extension exercise. *Jpn. J. Phy. Fitness Sports Med.* (1998), **47**, 525-534 (in Japanese)
- 6) 桑森真介, 岩根久夫, 浜岡隆文, 村瀬訓生, 黒澤裕子. 前腕の運動時における活動筋の酸素化ヘモグロビン・ミオグロビン濃度およびリン酸化化合物濃度と細胞内 pH との関係. *体力科学*, (1995), **44**, 465-474.
Kuwamori, M., Iwane, H., Hamaoka, T., Murase, N., Kurosawa. Relationships of intracellular pH to oxygenated hemoglobin/myoglobin and to phosphate compounds in active muscles during forearm exercises. *Jpn. J. Phy. Fitness Sports Med.* (1995), **44**, 465-474 (in Japanese).
- 7) 岡本孝信, 増原光彦. 動的膝伸展運動時における運動強度と大腿直筋の酸素動態の関係について. *体力科学*, (2000), **49**, 203-210.
Okamoto, T., Masuhara, M. Relationship between the intensity of muscle contraction and muscle oxygenation of the m. rectus femoris during dynamic knee extension. *Jpn. J. Phy. Fitness Sports Med.* (2000), **49**, 203-210 (in Japanese)
- 8) Burton KS, Johnson PC., Reactive hyperemia in individual capillaries of skeletal muscle. *Am J Phy.*

- (1972), **223**(3), 517-24
- 9) Haddy, F. J. and Scott, J. B. Active hyperemia, reactive hyperemia, and autoregulation of blood flow. In., Kaley, G and Altura, B. M (eds), *Microcirculation*, Vol II, University Park Press, Baltimore, Maryland, (1978), 531-544.
 - 10) 樋口雄三, 大腿動脈閉鎖による骨格筋の反応性充血と venous hematocrit の変動について. 杏林医学会雑誌. (1979), **10**(4), 313-320.
 - 11) Johnson, P. C. *Peripheral Circulation*, John Wiley and Sons, New York. (1978), 193-230.
 - 12) Folkow, B. and Neil, E. *Circulation*. Oxford University Press. 循環. 入内島十郎訳, 振興貿易医書出版部, 353-367. 1973
 - 13) Hilton, S. M. Experiments on the post-contraction hyperemia of skeletal muscle. *J. physiol.* (1953), **120**, 230-245.
 - 14) Mellandar, S. and Lundvall, J. The role of tissue hyperosmolality in exercise hyperemia. Local regulation of blood flow. *Circ. Res. (suppl. 1)*, (1971), **28**, 39-45.
 - 15) Takemiya, T., Higuchi, Y., and Nagashima, Ch., Influence of short, prolonged and ischemic exercise on local blood flow, Hematocrit, Plasma protein concentration and osmolality of rabbit hindlimbs. *Health and Sport Science, Univ. of Tsukuba*, (1981), **4**, 139-151.
 - 16) Raymond, Che, Tin, Li., Yi, Wu., Nicola, Maffulli., Kai, Ming., Chan, Julie, L, C, Chan. Eccentric and concentric isokinetic knee flexion and extension: a reliability study using the Cybex 6000 dynamometer. *Br. F. Sports. Med.* (1996), **30**, 156-160.
 - 17) Snow, C., Johnson, K. Reliability of two velocity-controlled tests for the measurement of peak torque the knee flexors during resisted muscle shortening and resisted muscle lengthening. *Phys. Ther.* (1988), **68**, 781.
 - 18) Sun, D, Kaley, G, and Koller, A. Characteristics and origin of myogenic response in isolated gracilis muscle arterioles. *Am. J. Physiol.* (1994), **266**, H1177-H1183.
 - 19) F, Bonde-Petersen, A. L. Mork., E. Nielsen. Local muscle blood flow and sustained contractions of human arm and back muscles. *Eur. J. Appl. Physiol* (1975), **34**, 43-50.
 - 20) Azuma, K., Homma, S., Kagaya, A. Oxygen supply-consumption balance in the thigh muscles during exhausting knee-extension exercise. *J. Biomedical. Optics.* (2000), **5**(1), 97-101.