

スポーツ競技者のための筋有酸素機能の実用的評価指標の開発

～近赤外分光法を用いた筋有酸素機能の評価指標の実用化を目指して～

研究代表者：永 澤 健

一 目 次

I. 目的……………2

II. 方法……………4

III. 結果……………7

IV. 考察……………8

V. 参考資料……………11

VI. 図表……………14

スポーツ競技者のための筋有酸素機能の実用的評価指標の開発

～近赤外分光法を用いた筋有酸素機能の評価指標の実用化を目指して～

永澤 健* 市村 志朗** 森口 哲史***

要 約

【目的】 近赤外分光法 (NIRS) を用いて測定した運動後の筋の再酸素化時間は、筋有酸素機能の指標として利用されるようになっている。しかしながら、運動強度が運動後の再酸素化時間に与える影響については十分に検討されていないため、どのような運動強度が、再酸素化時間による筋有酸素機能の評価に最適であるかは明らかでない。そこで、本研究では、異なる運動強度の運動後の筋の再酸素化時間と全身有酸素性能力 (最大酸素摂取量) との関係について検討することを目的とした。

【方法】 8 名の健康成人男性を対象として、自転車によるランプ負荷法を用いた最大運動と最大下運動後の筋の再酸素化時間を測定した。最大下運動は、30%、50%および70% $\dot{V}O_{2max}$ の運動強度で6分間の自転車運動とした。NIRS の測定部位は外側広筋とした。筋の再酸素化時間は、運動後の筋酸素化ヘモグロビン/ミオグロビンの回復のハーフタイム (T1/2 reoxy) により評価した。

【結果】 運動強度間でT1/2 reoxy に有意な差はなかった。30% $\dot{V}O_{2max}$ 強度のT1/2 reoxy は $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関 ($r = 0.77$ $p < 0.05$) を示した。一方、50%、70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度および最大運動後のT1/2 reoxy は $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関を認めなかった。

【結論】 本研究結果から、最大下強度 (30% $\dot{V}O_{2max}$ 強度) の運動により得られたT1/2 reoxy が筋有酸素機能の評価指標として有用であることが示唆された。最大下強度の運動は身体的に負担が少ないことから、繰り返しの計測が容易であり、NIRS を用いて測定した最大下運動後のT1/2 reoxy がスポーツ競技者のための筋有酸素機能の実用的評価指標として、今後活用できるものと考えられた。

*国立沖縄工業高等専門学校

〒905-2192 沖縄県名護市字辺野古 905 番地

** 東京理科大学理工学部

***日本伝統医療科学大学院大学

I. 目的

筋有酸素機能の代表的な評価法として現在、筋生検法および磁気共鳴分光法がある。筋生検法による筋組織の生化学的分析は侵襲的手法であるために繰り返しの測定が困難であることという欠点がある。また、磁気共鳴分光法を用いて運動後のクレアチンリン酸回復動態から筋有酸素能の評価する手法 (Arnord et al. 1984; McCully et al. 1993) は、装置が大型かつ高価であるため利用できる施設が極めて少ないこと、運動様式が局所の運動に限られること等の欠点がある。したがって、これらの評価方法は、スポーツ選手に対して適用するには問題点があり、筋有酸素機能の実用的評価指標とするには限界がある。

近赤外分光法 (NIRS) は、筋内の酸素化動態を非侵襲的に測定可能な方法として利用されるようになっている (McCully and Hamaoka 2000)。NIRS により測定した筋内の酸素化動態は、筋への酸素供給と消費のバランスを反映する。NIRS 装置は、小型で携帯性に優れ、比較的低価格かつ操作が簡便なことが魅力的な点である。NIRS を用いた筋有酸素機能の評価指標として、運動終了後の筋再酸素化時間 (Chance et al. 1992; Hamaoka et al. 1992; Ichimura et al. 2006; McCully et al. 1994)、運動開始時の筋内脱酸素化速度 (Hamaoka et al. 1998)、筋酸素消費量の回復時定数 (Motobe et al. 2004; Nagasawa et al. 2003)、最大随意筋収縮直後の再酸素化速度 (Kime et al. 2003) などがある。これら NIRS を用いた筋有酸素機能の評価の中で運動後の筋の再酸素化時間は、動脈血流遮断を行わずに測定できることが利点である。先行研究において最大自転車運動後の再酸素化時間が全身レベルでの有酸素性能力 (最高酸素摂取量) と関連すること (Ichimura et al. 2006)、最大下運動後の再酸素化時間は、持久性スポーツ選手の方が身体活動レベルの低い (sedentary) 被検者と比較して短くなることが報告されている (Hamaoka et al. 1992)。運動後の筋の再酸素化は筋への酸素供給と消費を合わせた有酸素機能を反映しており、運動後の筋の再酸素化動態が、クレアチンリン酸回復動態とが一致すること (McCully et al. 1992) が報告されている。このように、NIRS により測定した運動後の筋の再酸素化時間は、筋有酸素機能の実用的な評価指標になり得るものと考えられる。しかしながら、運動強度が運動後の再酸素化時間に与える影響については十分に検討さ

れていない。そのため、どのような運動強度が、再酸素化時間による筋有酸素機能の評価に最適であるかが明らかにされていない。また、運動後の筋の再酸素化時間と筋の持久性パフォーマンスとの関係についても十分に検討されていない。

先行研究において、安静時の動脈血流遮断解放後の再酸素化時間は筋への酸素供給機能を反映するものと考えられている (McCully et al. 1999; Olive et al. 2002) しかしながら、安静時の再酸素化時間と有酸素性能力 (最大酸素摂取量)、および筋の持久性パフォーマンスとの関係については明らかにされていない。

そこで、本研究では、運動強度が運動後の筋の再酸素化時間に与える影響を検討するとともに、異なる運動強度の運動後の筋の再酸素化時間と最大酸素摂取量および筋の持久性パフォーマンスとの関係について検討することを目的とした。さらに、安静時の再酸素化時間と有酸素性能力との関係についても検討した。どのような運動強度が、再酸素化時間による筋有酸素機能の評価に最適であるかを明らかにすることで、スポーツ競技者のための筋有酸素機能の評価指標として応用可能な基礎的資料が得られるものと考えられる。

II. 方 法

1. 被検者

一般健康成人男性8名(年齢 26.3 ± 4.2 才, 身長 174.5 ± 3.3 cm, 体重 70.8 ± 8.0 kg, 平均 $\pm$ 標準偏差)を対象とした。全ての被検者に対してあらかじめ実験の主旨と内容について口頭と文書により十分説明した後, 被検者として自主的に実験へ参加することの同意を署名により得た。

2. 実験手順

各被検者は, ランプ負荷による最大運動, 最大下固定負荷運動, 安静時の動脈血流遮断の4条件の測定を行い, 各条件における筋の再酸素化時間を計測した。最大運動では最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2ma}$)と運動持続時間を, 筋持久力は等尺性の膝伸展運動により計測した。

筋の再酸素化時間は, NIRS を用いて測定した。NIRS の測定部位は右脚大腿部の外側広筋とした。筋の再酸素化時間は, 筋酸素化ヘモグロビン/ミオグロビン(oxy-Hb/Mb)の回復のハーフタイム($T_{1/2reoxy}$)により評価した(図1)。運動後の $T_{1/2reoxy}$ の評価は, 運動終了時のoxy-Hb/Mbの値を0%, 運動終了後の3分間のoxy-Hb/Mbの最高値を100%として, 運動終了時からoxy-Hb/Mbが50%の値に到達する時間とした。安静時動脈遮断後の $T_{1/2reoxy}$ は, 動脈血流遮断終了時のoxy-Hb/Mbの値を0%, 回復期のoxy-Hb/Mbの最高値を100%として評価した。 $T_{1/2reoxy}$ の測定中は, 測定部位の筋活動が生じないように細心の注意を払った。また, 運動後の $T_{1/2reoxy}$ の測定中は, 右脚を安静時と同じ位置に保持させるようにした。

各被検者に対して測定前日の激しい運動およびアルコールの摂取を避けるように指示した。被検者は, 実験室に到着後30分以上安静を保った後に測定を開始した。各実験の間隔は2日以上空けた。実験室の気温は $23 \sim 25^{\circ}\text{C}$, 相対湿度は50~60%に維持した。

3. 最大運動

最大運動は自転車エルゴメータ (75XL II コンビ社製) により行った。0Wでの1分間のウォームアップ後に、1分間で20Wを増加させるランプ負荷法を実施し、運動終了後のT1/2reox_yを計測した。自転車のペダル回転数は60bpmとした。規定のペダル回転数が維持できなくなった時点を経済困憊とした。 $\dot{V}O_{2max}$ は自動呼吸ガス代謝測定装置 (AE-300S ミナト医科学社製) を用いて Breath-by-breath 法により測定した。 $\dot{V}O_{2max}$ の判定基準は、 $\dot{V}O_2$ のレベルリングオフの出現および予測最大心拍数の90%以上の両条件を満たすこととした。酸素摂取量の10秒間の平均値を $\dot{V}O_{2max}$ として採用した。経済困憊に至る時間 (all out time) を測定した。

4. 最大下運動

最大下運動は 30%、50%および70% $\dot{V}O_{2max}$ の運動強度で6分間の自転車運動を行い、各運動後のT1/2reox_yを測定した。最大下運動の運動強度は事前に測定した最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) を基準とした。運動強度はランプ負荷運動中の運動強度 (Watt) と $\dot{V}O_2$ との一次回帰直線から求めた。自転車のペダル回転数は60bpmとし、ウォームアップを行わずに各運動を開始した。

5. 等尺性の持久性運動

等尺性の持久性運動は、一側 (右脚) の膝伸展運動による最大随意筋力 (MVC) の50%の固定負荷運動とした。運動時間は50%MVCの張力が維持できる時間までとし、運動後のT1/2reox_yを計測した。等尺性運動時の膝関節角度は90度とした。運動は膝伸展筋力測定装置 (T.K.K.5710m, 竹井機器工業) を用い、筋張力はストレンゲージによる張力アタッチメント (T.K.K.1269f, 竹井機器工業) により計測した。筋持久力は、運動の持続時間から評価した。運動中、各被検者は、調整器 (T.K.K.5710a, 竹井機器工業) にデジタル表示された張力を常に確認して、一定の張力が持続できるようにした。経済困憊の判定は、規定の張力が3秒間連続して持続できなくなった時点とした。

6. 安静時の動脈血流遮断

安静時の $T_{1/2\text{reoxy}}$ は、4 分間の動脈血流遮断開放後の oxy-Hb/Mb の回復により評価した。動脈血流遮断は、右脚大腿部に装着した加圧帯を用いて 280mmHg 以上で急速 (1 秒以内) に加圧することにより行った。

7. 近赤外分光法

再酸素化時間の測定には近赤外分光法装置 (浜松ホトニクス社製、NIRO200) を使用した。この NIRS 装置はプローブとコンピュータ制御の本体から成り、プローブには近赤外光の光源部と受光部がある。光源に 775nm、810nm、850nm の 3 波長のレーザーダイオードを使用し、受光にはフォトダイオードを使用している。各波長の吸光度変化から Modified Beer-Lambert (MBL) 方式を用いて、oxy-Hb/Mb を算出した。本研究では測定部位の光路長を測定していないため、データの定量化は困難である。したがって、各測定データは測定開始時からの相対的变化量で表した。プローブの送受光間距離は 3.0cm とした。この場合の測定深度は皮膚表面から 1~2cm の筋組織であると推定される。NIRS のデータの測定間隔は 0.5 秒毎とした。NIRS のプローブは外側広筋の表面上 (膝上 10~12cm の位置) に置いた。プローブは粘着テープで装着した後、ずれないように弾性包帯を用いて適度な圧で固定した。

8. 統計処理

各測定値は平均 $\pm$ 標準偏差で表した。平均値の差の検定は一元配置分散分析を行った後、F 値に有意差が認められた場合には多重比較検定 (Tukey-kramer 法) を行った。相関の検定はピアソンの積率相関分析により解析した。有意水準は 5%未満とした。

III. 結 果

運動後のT1/2reoxy の典型例を, 図 1 に示した. 各運動後のT1/2reoxy は運動終了後, 時間経過に伴い回復を示した. 各運動後と安静時のT1/2reoxy の平均を表 1 に示した. 運動強度間でT1/2reoxy に有意な差はなかった. 一方, 安静時のT1/2reoxy は $70\%\dot{V}O_{2max}$ 強度のT1/2reoxy と比較して有意に小さかった ($p<0.01$).

$30\%\dot{V}O_{2max}$ 強度のT1/2reoxy は $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関 ($r = 0.77$ $p<0.05$) を示した. 一方, 50% , $70\%\dot{V}O_{2max}$ 強度および最大運動後のT1/2reoxy は $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関を認めなかった. 各運動後のT1/2reoxy は筋持久力と有意な相関を認めなかった. 安静時のT1/2reoxy は, $\dot{V}O_{2max}$ および筋持久力と有意な相関を認めなかった.

IV. 考 察

本研究の主要な知見は、30% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動後の T1/2reox_y が有酸素性能力の指標である $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関を示したこと、一方、50%、70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度および最大運動後の T1/2reox_y は $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関を認めなかったことである。最大下強度の運動は被検者の身体的負担が少ないことから、最大下運動である 30% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動後の T1/2reox_y が有酸素性能力の評価に有用であることが示唆された。

運動強度が運動後の T1/2reox_y に与える影響について検討した報告は少ない。本研究では、T1/2reox_y が運動強度間で差を認めなかった。足底屈運動を用いた先行研究では、最大運動と最大下運動後の再酸素化の回復時間には有意な差がなかったことが報告されており (McCully et al. 1994)、本研究は、この先行研究を支持するものであった。

本研究で観察された T1/2reox_y は、平均 15.1 秒から 22.3 秒であった。先行研究では運動様式や運動強度、などの実験条件が本研究とは異なる場合が多く、T1/2reox_y の値を単純に比較するのが困難である。また、運動後の再酸素化時間の評価に時定数 (Time constant) を用いている研究がいくつかあり (Hanada et al 2000; McCully et al. 1994)、本研究とは再酸素化時間の評価方法が異なる。本研究と運動条件に近いものとして、身体活動レベルの低い (sedentary) 被検者において、約 50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での 2 分間の自転車運動後の T1/2reox_y は、平均 14.7 秒を示したことが報告されている (Hamaoka et al. 1992)。本研究において 50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の T1/2reox_y は、15.3 秒でありこの先行研究とほぼ一致する結果であった。一方、中年から高齢者における最大自転車運動後の T1/2reox_y は平均 22.5～45.7 秒であったことが報告されている (Ichimura et al. 2006)。本研究の最大運動後の T1/2reox_y は平均 15.1 秒であり、この先行研究よりも小さい値であった。このように結果が異なった理由のひとつに、対象とした被検者の年齢や有酸素性能力の違い等が考えられよう。

筋内 pH が低下するような運動強度の場合は、運動後のクレアチンリン酸の回復速度から筋の有酸素機

能は評価できないことが知られている (Arnold et al. 1984). 筋内 pH の低下はミトコンドリアでの酸素消費の抑制を引き起こして、酸素消費の回復速度を反映するクレアチンリン酸の回復速度が低下すること (Arnold et al. 1984) が理由である. 先行研究において筋内 pH が 7.0 よりも低下すると、NIRS により測定した運動後の再酸素化動態が筋有酸素機能の指標として知られているクレアチンリン酸の回復動態と一致しなくなることが報告されている (McCully et al. 1994). このことは、血中 pH が低下するような運動強度の場合は、 $T_{1/2\text{reoxy}}$ から筋の有酸素機能が評価できない可能性を示唆している. 本研究において $30\%\dot{V}O_{2\text{max}}$ 強度の運動では筋内 pH の変動がほとんどなかったと推察され、このことが $30\%\dot{V}O_{2\text{max}}$ 強度の $T_{1/2\text{reoxy}}$ だけが $\dot{V}O_{2\text{max}}$ と有意な相関を示した理由のひとつとして考えられる.

NIRS を用いて測定した筋の oxy-Hb/Mb の変動は、筋への酸素供給と消費のバランスを反映する. このことから、 $T_{1/2\text{reoxy}}$ は筋への酸素供給と酸素消費の両方を合わせた筋有酸素機能の指標であると考えられることができる. 運動後の $T_{1/2\text{reoxy}}$ が短い被検者は、運動後の回復期において、筋への酸素供給と筋での酸素消費の片方かあるいは両方の回復速度が速いことを示しているものと考えられる. 先行研究では最高酸素摂取量が高いほどクレアチンリン酸の回復が速いことが報告されており (Kent-Braun et al. 2000), クレアチンリン酸の回復は筋での酸素消費の回復を反映することが知られている (Arnold et al. 1984). したがって、本研究において、高い $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を有する者ほど $T_{1/2\text{reoxy}}$ が短かったことの理由のひとつに、運動後において筋での酸素消費の回復が速かったことが考えられる.

$\dot{V}O_{2\text{max}}$ は、心臓や肺、骨格筋などを含めた全身レベルでの有酸素性能力の指標である. したがって、高い $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を有する者は、心臓や肺の機能が優れているだけでなく、筋レベルにおいても有酸素機能が優れていると考えられる. 本研究では、高い $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を有する者ほど $T_{1/2\text{reoxy}}$ が短かった. $T_{1/2\text{reoxy}}$ が筋レベルでの有酸素機能を反映すると考えれば、本研究結果は、高い $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を有する者は、筋レベルにおいても有酸素機能が優れていることを示していると考えられる.

先行研究において、4 分間の動脈血流遮断は筋内クレアチンリン酸の分解が生じないこと、および筋の酸素消費が変化しないことから、安静時の 4 分間の動脈血流遮断開放後の再酸素化時間が筋の酸素供給機能を反映するものと考えられている (McCully et al. 1999; Olive et al. 2002). 本研究では、安静

時の $T_{1/2\text{reoxy}}$ と $\dot{V}O_{2\text{max}}$ および筋持久力との関係についても検討したところ、安静時の $T_{1/2\text{reoxy}}$ は、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ および筋持久力と有意な相関を認めなかった。このことは、安静時の $T_{1/2\text{reoxy}}$ から評価した筋の酸素供給機能が有酸素性能力や筋持久力を反映しないことを示している。安静時の $T_{1/2\text{reoxy}}$ は、運動を負荷する必要がないことから、簡便な筋酸素供給能の指標になり得る可能性がある。安静時の $T_{1/2\text{reoxy}}$ のスポーツ競技への応用については今後さらに検討する価値があろう。

本研究では、 $30\%\dot{V}O_{2\text{max}}$ 強度の運動後の $T_{1/2\text{reoxy}}$ が有酸素性能力の評価に有用であることが示唆された。しかしながら、 $30\%\dot{V}O_{2\text{max}}$ 強度のように $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を用いて運動強度を設定するためには被検者に対して最大運動を負荷する必要があり、身体的な負担度が大きくなる。したがって、今後は、 $\%HR_{\text{max}}$ や心拍予備、自覚的運動強度 (RPE) を基準にした運動強度の設定が、 $T_{1/2\text{reoxy}}$ による筋有酸素機能の評価に利用できるかについて検討する必要がある。今後、高い有酸素機能を有すると考えられる持久性競技選手の再酸素化時間のデータを収集することで、持久性スポーツ競技に対する本研究成果の応用性を検討できるものと考えられる。

以上のことから、最大下運動である $30\%\dot{V}O_{2\text{max}}$ 強度の自転車運動後の $T_{1/2\text{reoxy}}$ が筋有酸素機能の評価指標として有用であることが示唆された。本研究成果は、NIRS を用いたスポーツ選手の筋有酸素機能の評価に今後応用可能な基礎資料になるものと考えられる。例えば具体的な応用例として、トレーニングの効果判定やフィジカルコンディショニングのチェックなどが考えられる。NIRS 装置は非侵襲的に測定が可能だけでなく、小型で携帯性に優れ、比較的低価格かつ操作が簡便なことが利点である。最大下強度の運動は身体的に負担が少ないことから、繰り返しの計測が容易であり、NIRS を用いて測定した最大下運動後の $T_{1/2\text{reoxy}}$ がスポーツ競技者のための筋有酸素機能の実用的評価指標として、今後活用できるものと考えられる。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました財団法人スポーツ・教育財団に深謝いたします。

V. 参 考 資 料

Arnord D, Matthews P, Radda G. (1984) Metabolic recovery after exercise and the assessment of mitochondrial function in vivo in human skeletal muscle by means of ³¹P NMR. *Magn Reson Med* 1:307-315.

Chance B, Dait M, Zhang C, Hamaoka T, Hagerman F. (1992) Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscle of elite competitive rowers. *Am J Physiol* 262:C766-775.

Hamaoka, T., C. Albani, B. Chance, and H. Iwane. (1992) A new method for the evaluation of muscle aerobic capacity in relation to physical activity measured by near-infrared spectroscopy. *Med Sport Sci* 37:421-429.

Hamaoka T, Mizuno M, Katsumura T, Osada T, Shimomitsu T, Quistorff B. (1998) Correlation between indicators determined by near infrared spectroscopy and muscle fiber types in humans. *Jpn J Appl Physiol* 28:339-344.

Hanada A, Okita K, Yonezawa K, Ohtsubo M, Kohya T, Murakami T, Nishijima H, Tamura M, Kitabatake A. (2000) Dissociation between muscle metabolism and oxygen kinetics during recovery from exercise in patients with chronic heart failure. *Heart* 83:161-166.

Ichimura S, Murase N, Osada T, Kime R, Homma T, Ueda C, Nagasawa T, Motobe M, Hamaoka T, Katsumura T. (2006) Age and activity status affect muscle reoxygenation time after maximal

cycling exercise. Med Sci Sports Exerc 38:1277-1281.

Kent-Braun JA, Ng AV. (2000) Skeletal muscle oxidative capacity in young and older women and men. J Appl Physiol 89:1072-1078.

McCully K, Fielding R, Evans W, Leigh J Jr, Posner J. (1993) Relationships between in vivo and in vitro measurements of metabolism in young and old human calf muscles. J Appl Physiol 75:813-819.

McCully K, Iotti S, Kendrick K, Wang Z, Posner J, Leigh J Jr, Chance B. (1994) Simultaneous in vivo measurements of HbO₂ saturation and PCr kinetics after exercise in normal humans. J Appl Physiol 77:5-10.

McCully KK, Natelson BH. Impaired oxygen delivery to muscle in chronic fatigue syndrome. (1999) Clin Sci 97:603-608.

McCully K K, Hamaoka T. (2000) Near-infrared spectroscopy: what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle? Exerc Sport Sci Rev 28:123-127.

Motobe M, Murase N, Osada T, Homma T, Ueda C, Nagasawa T, Kitahara A, Ichimura S, Kurosawa Y, Katsumura T, Hoshika A, Hamaoka T. (2004) Noninvasive monitoring of deterioration in skeletal muscle function with forearm cast immobilization and the prevention of deterioration. Dyn Med 3:1-11.

Nagasawa T, Hamaoka T, Sako T, Murakami M, Kime R, Homma T, Ueda C, Ichimura S, Katsumura T. (2003) A practical indicator of muscle oxidative capacity determined by recovery of muscle O₂ consumption using NIR spectroscopy. Eur J Sport Sci 3:1-10.

Olive JL, DeVan AE, McCully KK. (2002) The effects of aging and activity on muscle blood flow. Dyn Med 1:1-7.

VI. 图 表

Table 1. T1/2 reoxy time after arterial occlusion at rest and submaximal and max exercise.

	Rest	30% VO ₂ max	50% VO ₂ max	70% VO ₂ max	Max exercise
T1/2 reoxy time (sec)	6.1 ± 4.0*	16.3 ± 7.1	15.3 ± 3.9	22.3 ± 9.3	15.1 ± 4.7

Values are Mean ± SD. *p<0.01 significant difference from 70% VO₂max.

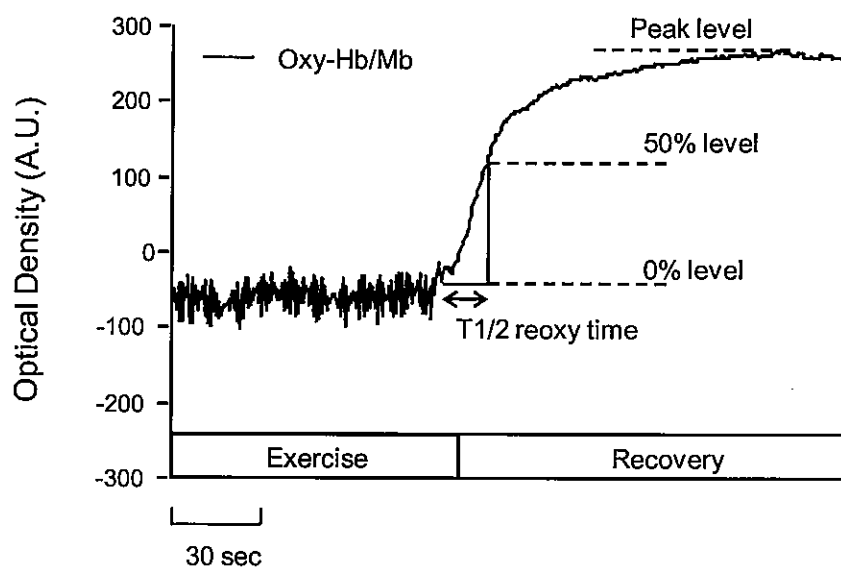


Fig.1. Typical changes in oxy-Hb/Mb during and after exercise and method of evaluating T1/2 reoxy time.

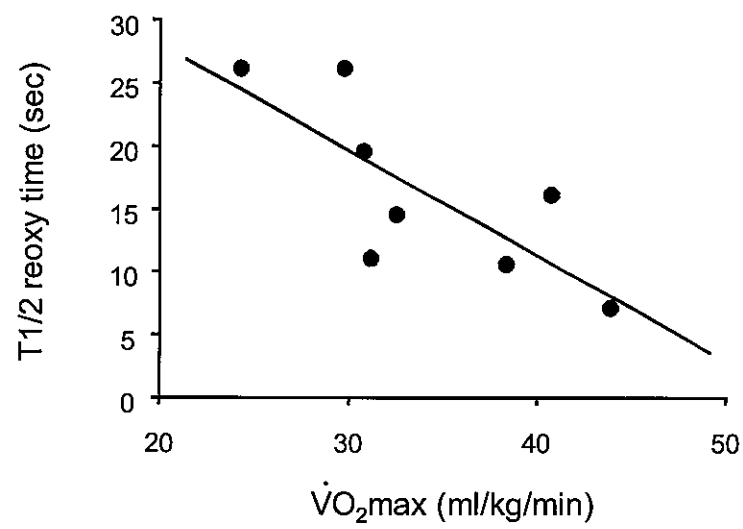


Fig.2. Relationship between T1/2 reoxy time after exercise at 30% $\dot{V}O_2\text{max}$ and $\dot{V}O_2\text{max}$ ($r = 0.77$ $p < 0.05$).