



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 水泳選手の上肢運動および下肢運動における酸素摂取量と心拍数の関係性   |
| Author(s)        | 尾形, 寿好; OGATA, Hisayoshi; 柚木, 孝敬 他  |
| Citation         | 北海道大学大学院教育学研究科紀要, 82, 177-182   |
| Issue Date       | 2000-12   |
| DOI              | <a href="https://doi.org/10.14943/b.edu.82.177">https://doi.org/10.14943/b.edu.82.177</a> |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/28819">https://hdl.handle.net/2115/28819</a>         |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 82_P177-182.pdf   |



# 水泳選手の上肢運動および下肢運動における 酸素摂取量と心拍数の関係性

尾方 寿好・柚木 孝敬・矢野 徳郎

## Oxygen uptake / heart rate relationship during upper body and lower body exercise in a group of swimmers.

Hisayoshi OGATA, Takahiro YUNOKI, and Tokuo YANO

### I. 緒 言

運動強度が高まるにつれて毎分酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) は直線的に増加する。また、心拍数 (HR) も  $\dot{V}O_2$  に対して直線的に増加するため、HR と  $\dot{V}O_2$  の関係をあらかじめ明らかにしておくことによって、適切な運動強度を把握することができる。しかしながら、この HR と  $\dot{V}O_2$  の関係は活動する作業部位によって異なることが知られている<sup>1)</sup>。主に上肢筋群を動員する作業では、下肢筋群を主に動員する作業に比べて同一  $\dot{V}O_2$  における HR が高くなる<sup>1,12,14)</sup>。このため、自転車エルゴメーターやトレッドミル走などで得られた HR- $\dot{V}O_2$  直線から、上肢筋群が動員されるような作業の強度を推定することはできない。このことは、HR から運動強度を推定するためには作業様式に見合った HR- $\dot{V}O_2$  直線を用いる必要があることを示唆している。

この上肢、下肢作業間に見られる HR- $\dot{V}O_2$  関係の差異はトレーニング状態に影響されると考えられる。同一  $\dot{V}O_2$  に対する HR はトレーニングされた者の方が低くなるため<sup>2)</sup>、水泳選手やボート選手など上肢筋群が発達している者では、上肢運動において、同一  $\dot{V}O_2$  に対する HR が減少すると考えられる。そのため、同一  $\dot{V}O_2$  における上肢、下肢運動間で見られる HR の差異は一般人よりも小さくなると考えられる。よって、一般人で得られた上肢運動および下肢運動間に見られる HR- $\dot{V}O_2$  関係の変異性をそのまま運動選手に当てはめることはできないであろう。これらのことから、HR- $\dot{V}O_2$  関係から運動強度を求める際には、作業様式のみならずトレーニング状態を考慮することが必要であると考えられる。従来の研究において、上肢筋群が発達している運動選手を用いて、上肢運動および下肢運動における HR および  $\dot{V}O_2$  応答の比較・検討がすでに行われている<sup>10,13)</sup>。しかしながら、これらの研究では最大下作業中の HR と  $\dot{V}O_2$  の測定回数が少ないことや、 $\dot{V}O_2$ -HR 関係を直接検討していない等の不十分な点が認められる。

そこで、本研究では上肢および下肢ランブ負荷中の HR と  $\dot{V}O_2$  を連続的に測定することによって、水泳選手の HR- $\dot{V}O_2$  関係を明らかにすることを目的とした。

### II. 方 法

#### A. 被験者

被験者は、男子水泳部員 8 名である。年齢、身長、体重の平均値 (±標準偏差値) はそれぞれ、20 (±1.7) 歳、174 (±4.8cm)、64.7 (±5.4) kg であった。実験に先立ち、すべての被験

者に実験の主旨、内容および危険性について十分な説明を行い、参加の同意を得た。

## B. プロトコール

実験は下肢漸増運動負荷 (LE), および上肢漸増運動負荷 (UE) の2種類である。LEでは、下肢運動用自転車エルゴメーター (Combi社製232C) のサドルの高さを、ペダルが最下端にあるときに膝関節がわずかに曲がるように調節した。その後、両腕を体側に置いて下肢だけで運動を行わせた。運動は、5分間の安静を保った後、0wattの負荷を4分間行い、その後は20watts / min 漸増のランプ負荷を被験者が疲労困憊になるまで行った。疲労困憊の判定は、被験者が回転数を60rpmに維持できないことを基準とした。

UEでは、はじめにLEと同様の姿勢で下肢運動用自転車エルゴメーターに座らせた。次に、特別製の台に取り付けられた上肢運動用自転車エルゴメーター (Combi社製232CXL) のクランク軸が被験者の肩峰と同じ高さになるように調節した。その後、足はペダルの上に置き、できる限り腕だけで運動を行わせた。作業負荷はLEと同じものを用いた。

いずれの運動についてもペダルやクランクの回転数は60rpmとした。また、各個人に対する実験は1日1回とし、全ての実験は1ヶ月以内に完了した。

## C. 測定

毎分酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) は、医用ガス分析器 (ミナト医科学社製: Aeromonitor AE-280S) を用いて Breath by Breath 法により測定し、得られたデータを20秒毎に算出した。医用ガス分析器の較正は、標準ガス ( $O_2$ , 15.17%  $CO_2$ , 4.92%) により測定前に行った。同時に同機において心拍数 (HR) も測定した。本研究では、LEまたはUEで得られた毎分酸素摂取量の最大値および心拍数の最大値を、それぞれの運動の Peak  $\dot{V}O_2$ , Peak HR とした。

## E. 統計および数値処理

有意差検定は、対応のある Student の t 検定を用いて行い、有意水準は5%および1%を用いた。

# Ⅲ. 結 果

## A. Peak responses

UE および LE における Peak  $\dot{V}O_2$ , Peak HR を Table 1 に示した。Peak  $\dot{V}O_2$  は、LE よりも UE の方が有意に低い値を示した ( $P < 0.01$ )。LE の値を100%とすると、UE の Peak  $\dot{V}O_2$  は約80%であった。Peak HR は LE よりも UE の方が約2%低い値を示したが、両プロトコール間で有意な差は認められなかった。

Table. 1 The average values and standard deviation of peak oxygen uptake (Peak  $\dot{V}O_2$ ) and peak heart rate (Peak HR)

|                           | UE       | LE         |
|---------------------------|----------|------------|
| Peak $\dot{V}O_2$ (l/min) | 2.2±0.52 | 2.8±0.32** |
| Peak HR (bpm)             | 177±6    | 181±10     |

\*\* : significant difference  $p < 0.01$  between UE and LE.

UE : incremental upper body exercise. LE : incremental lower body exercise.

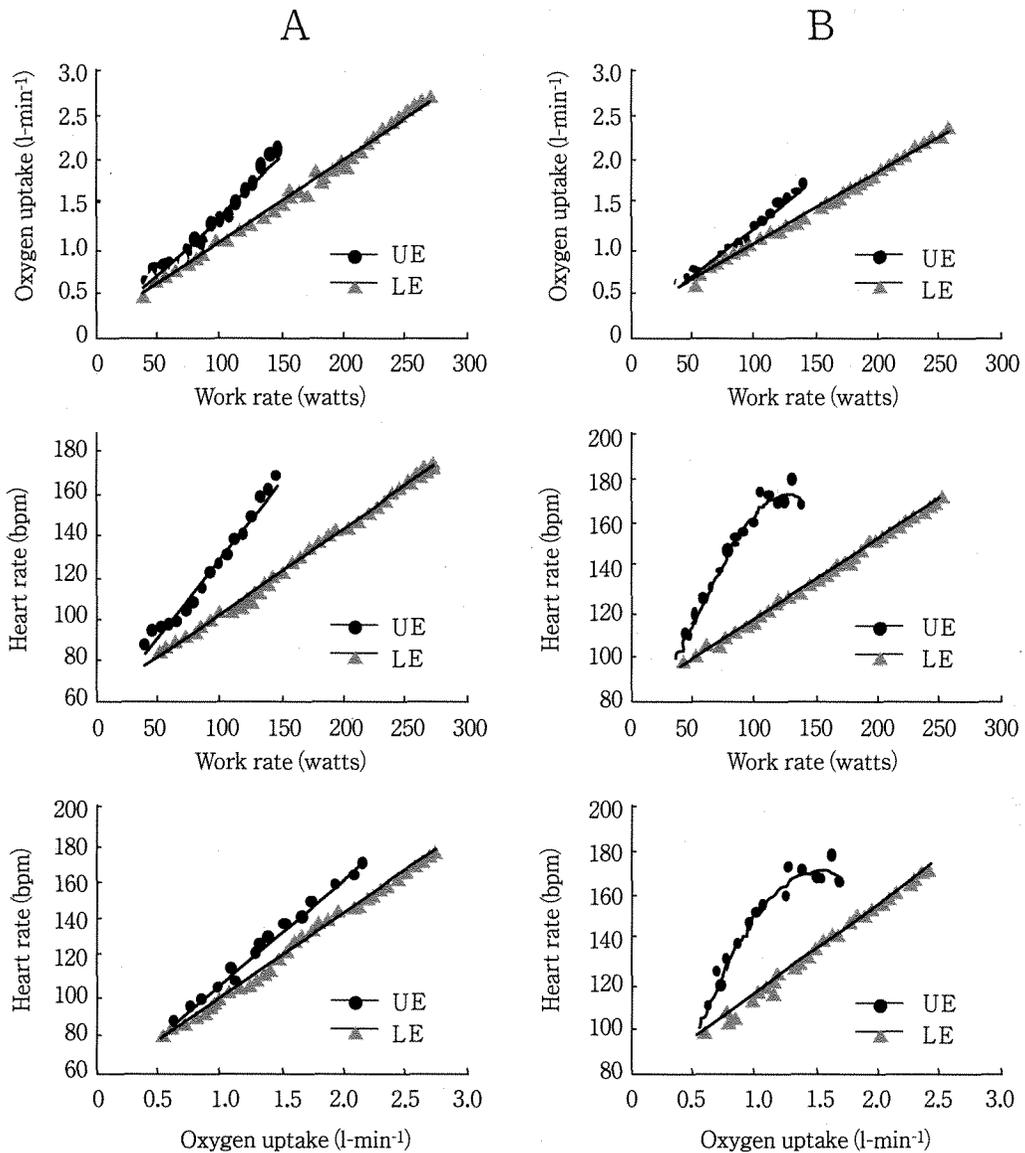


Fig. 1

Oxygen uptake and heart rate during upper body exercise (UE) and lower body exercise (LE) are shown as a function of work rate (top and middle). Also shown are the relationship between heart rate and oxygen uptake during UE and LE (bottom).

A : Heart rate tends to increase linearly in relation to work rate or oxygen uptake in both modes of exercise.

B : Heart rate was reached to plateau at high-intensity work rates or high oxygen uptake during UE.

## B. Submaximal responses

負荷漸増後の100秒間と運動終了直前の $\dot{V}_{O_2}$ がプラトーになる部分を除き、Work rate に対して $\dot{V}_{O_2}$ をプロットしたところ、LE に比べて UE では急激に $\dot{V}_{O_2}$ が増加し、同一最大下負荷強度に対する $\dot{V}_{O_2}$ は UE の方が高くなった。また、 $\dot{V}_{O_2}$ が Work rate に対して直線的に増加する区間において、HR を Work rate に対してプロットしたところ、LE に比べて UE では急激に HR が上昇

し、同一 Work rate に対する HR は UE の方が高くなった。この時、LE では Work rate の上昇に対して HR が直線的に増加する傾向にあったが、UE における HR 上昇のパターンは2通りであった。8名中4名の被験者は Work rate の上昇とともに HR が直線的に増加したが、残りの被験者は HR が直線的に増加した後にプラトーになった。このため、UE の HR 応答を  $\dot{V}O_2$  との関係で見ると、HR 応答のパターンの違いにより  $\dot{V}O_2$ -HR 関係が直線的になる者と、非直線的になる者が見られた。これら被験者の代表者1名ずつの、Work rate- $\dot{V}O_2$ 関係、Work rate-HR 関係、および HR- $\dot{V}O_2$ 関係を Figure 1 に示した。

## IV. 考 察

### A. Peak responses

同様のプロトコルを用いた従来の報告では、上肢運動で得られる Peak  $\dot{V}O_2$  および Peak HR は、下肢運動の値に対して、それぞれ約73%、96%になることが報告されている<sup>9)</sup>。これは、上肢運動では動員される筋量が少ないため、Peak  $\dot{V}O_2$  が低くなると考えられている<sup>14)</sup>。この Peak  $\dot{V}O_2$  が低いと、中心循環系のストレスが最大に達する前に作業が終了してしまい、酸素運搬に関わる Peak HR も低くなると考えられている<sup>8)</sup>。しかしながら、本研究では LE に対する UE の Peak  $\dot{V}O_2$ 、Peak HR は、それぞれ80%と98%に相当した。この値は先行研究における一般人の値よりも高かった。水泳選手の高い Peak  $\dot{V}O_2$  は、トレーニングにより上肢の筋量が増大していること<sup>9)</sup>と、上肢筋群の酸化能力が向上している<sup>3,6)</sup>ことが原因とされている。このように Peak  $\dot{V}O_2$  が高いために、Peak HR も高くなったと考えられる。

### B. Submaximal Responses

同一作業強度における  $\dot{V}O_2$  は、下肢運動よりも上肢運動の方が高くなるのが数多く報告されている。この原因として、上肢運動時には、姿勢維持のための筋群が動員されること、静的な収縮をする筋群が増大すること、また骨格筋の動員パターンが違うこと等が考えられている<sup>9)</sup>。また、同一 Work rate に対する HR も、下肢運動より上肢運動の方が高くなる。上肢運動では筋内圧の上昇により血流抵抗が増大しやすく、それに伴い末梢血流量や帰還血流量が減少するため、一回拍出量が減少してしまう。これを補うために、HR は上昇すると考えられている<sup>1)</sup>。また、上肢運動時には交感神経緊張が増大しやすいことも HR 上昇の原因と考えられている<sup>4)</sup>。本研究では、一般人を用いて Work rate- $\dot{V}O_2$ 関係、および Work rate-HR 関係を検討していないため、直接、一般人とは比較できなかった。しかしながら、従来の報告で見ると、同一 Work rate での上肢、下肢運動間で見られる  $\dot{V}O_2$  および HR の差異は、上肢筋群が発達している者の方が一般人よりも小さくなる。これは、トレーニングにより上肢運動の機械的効率が上昇し、同一 Work rate の運動に必要な  $\dot{V}O_2$  が減少したため、 $\dot{V}O_2$  の差異が減少したとされている<sup>13)</sup>。このように  $\dot{V}O_2$  の差異が減少したため、HR の差異も減少すると考えられる。また、HR の差異が減少した一因として、水泳選手では上肢運動時の迷走神経活動が増大していることも考えられる<sup>11)</sup>。

HR は  $\dot{V}O_2$  の増加に伴ってほぼ直線的に増加することが知られている<sup>2)</sup>。しかしながら、本研究の UE では LE と違い、高負荷時に  $\dot{V}O_2$  が増加するにもかかわらず HR がプラトーになる被験者が半数いた。 $\dot{V}O_2$  の増加に対して心拍出量は直線的に増加することから<sup>4)</sup>、HR がプラトーになる部分では SV が増大していた可能性が考えられる。上肢運動では、負荷強度が高くなると姿勢維持のために肩・背部の筋群が動員されはじめる<sup>8)</sup>。一方、水泳において肩・背部の筋群は推進力

を得るために必要であることから、水泳選手ではこれらの筋量が多く、筋収縮力が高いと考えられる。筋収縮力が高いほど筋ポンプ作用の効果は大きくなることから<sup>5)</sup>、静脈還流もより大きくなる。したがって、高負荷の上肢運動時には、姿勢維持のために動員される肩・背部筋群の筋ポンプ作用により静脈還流が増大し、その結果、SVが増大したという可能性がある。しかしながら、実際にこのような姿勢維持筋が静脈還流を増やすように作用しているのか、また、一般人においても高負荷の上肢運動においてHRがプラトーになる現象が起こるのか否かについては本研究ではわからなかったため、今後さらなる検討が必要であろう。

以上より、高負荷の上肢運動時にはHRと $\dot{V}O_2$ 関係は必ずしも直線的にならないことから、上肢筋群が主として動員される運動では、HRを運動強度の指標として用いる際に注意が必要であることが示唆された。

## V. 要 約

本研究は、水泳選手を対象に上肢運動および下肢運動で得られるHR- $\dot{V}O_2$ 関係を明らかにすることを目的とした。結果の概略と結論は以下の通りである。

- (1) 同一仕事率に対するHRおよび $\dot{V}O_2$ 応答は、下肢運動よりも上肢運動の方が大きな値であった。
- (2) 仕事率に対するHR応答は、下肢運動では直線的に増加する傾向にあったが、上肢運動では直線的に増加する者と、直線的に増加した後、高負荷時にプラトーになる者が見られた。
- (3) Work rateに対するHR応答の違いにより、上肢運動では、HR- $\dot{V}O_2$ 関係が直線的になる者と、非直線的になる者が見られた。

以上の結果から、高負荷の上肢運動時にはHRと $\dot{V}O_2$ 関係は必ずしも直線的にならないことから、上肢筋群が主として動員される運動では、HRを運動強度の指標として用いる際に注意が必要であることが示唆された。

## 文献

- 1) 福田明夫, 北村潔和, 山地啓司, 有沢一男 (1980) : 作業部位 (活動筋量) の相違によるHR-% $\dot{V}O_2$  max直線の変異性. 体育の科学, 30 : 751-758.
- 2) 日高一郎, 山本義春 (1996) : 運動中に心拍数をモニターする理由. 体育の科学, 46 : 790-794.
- 3) Ivy J L, Withers R T, Van Handel P J, Elger D H, Costill D L (1980) : Muscle respiratory capacity and fiber types as determinants of the lactate threshold. J Appl Physiol, 48 : 523-527.
- 4) Miles D S, Cox M H, Bomze J P (1989) : Cardiovascular responses to upper body exercise in normals and cardiac patients. Med Sci Sports Exerc, 21 (Suppl) : S126-31.
- 5) 西保岳, 後藤真二, 鍋倉賢治, 池上晴夫 (1987) : 筋ポンプに関する研究-筋収縮強度及び血液貯留量と筋ポンプ作用との関係-. 体力科学, 36 : 195-201.
- 6) Pendergast D, Cerretelli P, Rennie D W (1979) : Aerobic and glycolytic metabolism in arm exercise. J Appl Physiol, 47 : 754-760.
- 7) Saltin B (1969) : Physiological effects of physical conditioning. Med Sci Sports, 1 : 50.
- 8) Sawka M N, Miles D S, Petrofsky J S, Wilde S W, Glaser R M (1982) : Ventilation and acid-base equilibrium for upper and lower body exercise. Aviat Space Environ Med, 53 : 354-359.
- 9) Sawka M N (1986) : Physiology of upper body exercise. Exerc Sport Sci Rev, 14 : 175-211.

- 10) Seals D R, Mullin J P (1982) :  $\dot{V}O_2$  max in variable type exercise among well-trained upper body athletes. *Res Q Exerc Sport*, 53 : 58-63.
- 11) Scheuer J, Tipton, C M (1977) : Cardiovascular adaptations to physical training. *Annu Rev Physiol*, 39 : 221.
- 12) Vokac Z, Bell H, Bautz-Holter E, Rodahl K (1975) : Oxygen uptake / heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J Appl Physiol*, 39 : 54-59.
- 13) Vrijens J, Hoekstra P, Bouckaert J, Van Uytvanck P (1975) : Effects of training on maximal working capacity and haemodynamic response during arm and leg-exercise in a group of paddlers. *Eur J Appl Physiol*, 34 : 113-119.
- 14) 湯浅景元, 矢田秀昭, 朝比奈一男 (1980) : 最大下の腕, 脚, および「腕+脚」作業に対する酸素摂取量, 心拍数, 換気量応答. *体力科学*, 29 : 5-10.