

ソフトバレーボール競技中の運動強度および代謝応答

黒川 貞生¹, 鈴木 陽一², 瀧間 久俊³, 亀ヶ谷 純一⁴
遠藤 俊郎⁵, 矢島 忠明³, 黒川 道子⁶

Exercise intensity and metabolic response during soft-volleyball match

Sadao KUROKAWA¹, Yoichi SUZUKI², Hisatoshi TAKIGIKI³,
Jun-ichi KAMEGAYA⁴, Toshiro ENDO⁵, Tadaaki, YAJIMA³,
Michiko KUROKAWA⁶

The aim of this study was to determine exercise intensity and metabolic response during soft-volleyball match. Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), ventilation ($\dot{V}E$), heart rate (HR) and respiratory frequency (Rf) were measured in 8 subjects every 15 second by using portable telemetric system K2 during 4 soft-volleyball matches. Additionally blood samples were taken for lactate determination before match, at the end of first, second, third set and after 30 min of the match. Simultaneously, every match was videotaped in order to analyze, afterwards, the frequency and distribution of high intensity performances such as spikes, blocks serves, spurts, etc. Furthermore, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, HR and Rf were also measured during cycling exercise test of stepwise increasing loads up to exhaustion and maximal $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_{2max}$) was determined. During match, average HR, Rf, $\dot{V}E$ and $\dot{V}O_{2max}$ were 123.9 ± 13.3 beats \cdot min⁻¹, 34.8 ± 4.1 times \cdot min⁻¹, 39.2 ± 8.5 l \cdot min⁻¹ and 17.7 ± 4.3 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹, respectively. Average %HR, %Rf, % $\dot{V}E$ and % $\dot{V}O_{2max}$ (relative to the corresponding maximal value) were $66.3 \pm 5.9\%$, $69.4 \pm 16.0\%$, $29.3 \pm 4.5\%$ and $35.2 \pm 8.1\%$ (range: 30~50%), respectively, and lactate concentration was below the LT (Lactate Threshold) during the matches. On average, Δ Time_{HP} (time intervals between high intensity performances) in the front, back and both court were 21.5 ± 15.0 sec, 20.3 ± 13.1 sec, and 21.0 ± 14.2 sec, respectively. It was concluded that soft-volleyball is an aerobic sports with fairly low exercise intensity, having high lactic anaerobic power productions performed with relatively long recovery time of 21 sec on average. It is likely that cardio-vascular endurance could not be improved thoroughly through soft-volleyball match. The possible explanation for no lactate accumulation during match is that resynthesis of phosphagens takes place aerobically between the high intensity performances. The % $\dot{V}O_2$ at a given HR was lower during soft-volleyball than during cycling exercise. It was suggested that $\dot{V}O_2$ assessment from HR during soft-volleyball matches based on HR-% $\dot{V}O_{2max}$ relationship obtained during stepwise cycling exercise tests lead to overestimation by 40% in maximum.

Key words : soft-volleyball, exercise intensity, metabolic response, oxygen uptake, blood lactate concentration

本研究の目的はソフトバレーボール競技における運動強度および代謝応答を明らかにすることである。6人制バレーボール競技経験のある男子大学生8名を被験者(年齢; 19.38 ± 0.74 yr., 身長 1.77 ± 0.06 m, 体重; 69.38 ± 6.91 kg, バレーボール歴 7.00 ± 3.74 yr.)として, 3セットからなるソフトバレーボール競技(4試合)中の酸素摂取量($\dot{V}O_2$), 心拍数(HR), 換気量($\dot{V}E$), 呼吸数(Rf)がテレメトリー方式呼吸代謝計測装置K2を用いて連続的に15秒毎に測定された。同時に, 試合開始前, 各セット終了後および試合終了30分後に血中乳酸濃度も測定した。さらに, ソフトバレーボール競技の運動形態について検討するためにビデオ撮影も同時に行った。また, 自転車エルゴメータを用いた疲労困憊に至る漸増的運動中に血中乳酸濃度を除く同一のパラメータおよび最大酸素摂取量が測定された。試合中のHR, Rf, $\dot{V}E$ および $\dot{V}O_2$ は, 各々, 123.9 ± 13.3 beats \cdot min⁻¹, 34.8 ± 4.1 times \cdot min⁻¹, 39.2 ± 8.5 l \cdot min⁻¹および 17.7 ± 4.3 l \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹であった。そして, これらのパラメータの相対値は, 同様の順で, $66.3 \pm 5.9\%$, $69.4 \pm 16.0\%$, $29.3 \pm 4.5\%$ および $35.2 \pm 8.1\%$ (30~50%)であった。試合前, 1, 2, 3セット終了後および試合終了30分後の血中乳酸濃度は, 各々, 1.30 ± 0.27 mmol \cdot l⁻¹, 1.20 ± 0.35 mmol \cdot l⁻¹, 1.24 ± 0.37 mmol \cdot l⁻¹, 1.12 ± 0.22 mmol \cdot l⁻¹, 1.25 ± 0.51 mmol \cdot l⁻¹でLT(乳酸性作業閾値)以下であった。高強度運動(スパイク, ブロック, レシーブ, サーブ, ダッシュ, その他のジャンプ動作)の時間間隔(Δ Time_{HP})は, 前衛で 21.5 ± 15.0 sec, 後衛で 20.3 ± 13.1 sec, 両者を併せて 21.0 ± 14.2 secであった。これらのデータから, ソフトバレーボール競技は, 20秒に1回程度の頻度で高い無酸素的パワーを必要とする高強度運動を伴うが, 全体としての運動強度は比較的低い有酸素的運動であることが明らかとなった。高強度運動と高強度運動の間でATP等の高エネルギー燐酸化合物が有酸素的に再合成されるために, 乳酸の蓄積も生じないと考えた。一般的に, 体力レベルの低い人を除いて, ソフトバレーボール競技を行うことによって呼吸循環系の持久力の顕著な向上は期待できないであろう。自転車エルゴメータ駆動中のHR-% $\dot{V}O_{2max}$ 関係とソフトバレーボール競技中のHR-% $\dot{V}O_{2max}$ 関係は両者とも高い相関関係($P < 0.0001$)が認められたが, 後者の回帰直線の傾きは前者のそれに比較して小さかった。つまり, 自転車エルゴメータ駆動運動から得たHR-% $\dot{V}O_{2max}$ 関係からソフトバレーボール競技の運動強度を推定すると最大で約40%近く過大評価される可能性があることが示唆された。

Key words : ソフトバレーボール, 運動強度, 代謝応答, 酸素摂取量, 血中乳酸濃度

¹女子美術大学保健体育研究室, ²早稲田大学高等学院

³早稲田大学人間科学部, ⁴明治学院大学保健体育研究室

⁵山梨大学教育人間科学部, ⁶国際武道大学体育学部

I. 緒 言

ソフトバレーボール競技は、生涯スポーツとして発育・発達途上の小学生から中・高年齢期の人までプレーすることができるように配慮されて考案された1チーム4人で行う従来のバレーボール競技に類似した新しいスポーツである。その特徴は以下のように要約されている⁶⁾。①ボールが大きく、軽く、且つ柔らかいため、バレーボールの最も重要な基礎技術であるパスが簡単にしかも安全にできる。②既存の施設・用具（バドミントンコート、支柱およびネット）がそのまま活用できる。③取り組み易いが飽きるのも早く、定着しにくいという軽スポーツの有する一般的な短所を改善し、性、年齢、体力、経験および技能レベルに応じて単純な基礎技術による初歩的なゲームから複雑な応用技術や各種の作戦・戦術を駆使した高度なゲームまで多様な楽しみ方が工夫できる。

ところで、上述したように幅広い年齢層の人々がソフトバレーボール競技を行う目的として、ソフトバレーボール競技に関わる種々の技術を体得しつつゲームを楽しむ以外に、健康および体力の維持・増進が挙げられる。この際、ソフトバレーボール競技中の運動強度および代謝応答が明らかとなっていれば、健康管理の面は勿論のこと、運動処方作成の面でも有益な情報となる。砂本⁹⁾は6人制バレーボール試合中の心拍数を測定し、別に測定したランニング中の心拍数(HR)と酸素摂取量($\dot{V}O_2$)の関係より、試合中の運動強度は最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)の20~60%の間にあり、平均で40%であることを報告した。また、Viitasaloら³⁰⁾は、6人制バレーボール試合中の心拍数、試合終了後の血中乳酸濃度、試合開始前および試合終了後の筋中グリコーゲン含有量の測定を行った。彼らの報告によると、心拍数は試合中の81.6%において有酸素的作業閾値以下で、血中乳酸濃度は無酸素性作業閾値レベル、あるいはそれ以下であり、6人制バレーボール競技は高い無酸素パワーを必要とするが、かなり長いリカバリータイムを伴った有酸素性のスポーツであると結論を下した。しかしながら、6人制バレーボール競技とソフトバレーボール競技ではチームの構成人数、コートおよびネットの高さ等が異なり、6人制バレーボール競技に関わる先行研究から得た知見をそのままソフトバレーボール競技に活用することはできない。例え活用できたとしても、先行研究で行われた6人制バレーボール競技中の $\dot{V}O_2$ は、予め測定された自転車駆動運動やトレッドミル走行運動中のHR- $\dot{V}O_2$ 関係に基づき推定されており、必ずしも正確な値が推定されているとは限らない^{29, 30)}。星川ら⁹⁾は、バレーボールを専門的に行っていない中学生を被験者として、パス、スパイク、6人対6人の攻防練習および試合における酸素摂取量をダグラスバッグ法により計測した。しかし、ダグラスバッグ法による試合中の $\dot{V}O_2$ の測定ではプレーヤーの動きが著

しく規制され、実際の試合とは大きく異なると容易に推測できる。最近、Laconiら²⁵⁾は、テレメトリー方式呼吸代謝計測装置を用いて、6人制バレーボールのアタック局面、ディフェンス局面および試合前の安静時における酸素消費量、心拍数および換気量を測定し、無酸素的エネルギー出力が6人制バレーボール競技においてより重要であることを報告した。

しかしながら、筆者の知る限り、ソフトバレーボールに関する生理学的研究は見あたらず、競技中の運動強度や代謝応答については明らかとなっていない。従って、ソフトバレーボール競技を行うことによってどのような体力要素の向上が期待されるのかに関する知見も明確となっていない。そこで、本研究ではソフトバレーボール競技中のプレーヤーの心拍数、換気量および酸素摂取量を直接的、且つ連続的に測定し、加えて血中乳酸濃度測定およびソフトバレーボール競技の運動形態分析を行うことにより、その運動強度、代謝応答およびエネルギー供給機構について検討することを目的とした。

II. 方 法

1. 被験者

健康な男子大学生8名を被験者とした(全被験者は大学においては専門的なバレーボールのトレーニングを定期的には行っていない)。被験者には予め本研究の目的および方法について説明し、実験への参加の同意を得た。被験者の年齢、身長、体重およびバレーボール経験年数は、各々、 19.38 ± 0.74 yr., 1.77 ± 0.06 m, 69.38 ± 6.91 kg, 7.00 ± 3.74 yr.であった。

2. ソフトバレーボール競技中の生理学的パラメータの測定

図1は本実験のセットアップである。8名の被験者を2チームに分け、3セットからなる試合を4試合行わせた。なお、試合開始前には十分なウォーミングアップを行わせ、また各試合間には十分な休息を入れた。各試合中および試合終了後30分にわたって、両チームの、各々、1名の被験者から、テレメトリー方式呼吸代謝計測装置(K2; COSMED, Italy)を用いて、心拍数(HR; 胸部双極誘導に基づく心拍計による)、呼吸数(Rf)、換気量($\dot{V}E$; タービン型フローセンサーによる)、呼気ガス酸素濃度(混合マイクロチェンバーによる)、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)を15sec毎に受信し、連続的に測定した。結果的に、8名の被験者について前述のパラメータが測定された。なお、被験者のプレーになるべく支障を来さないように配慮して、テレメトリー方式呼吸代謝計測装置のトランスミッターおよびバッテリーは背部に装着させた(図2)。また、これらの測定と同時に、試合開始前、各セット終了後および試合終了30分後に指尖より採血し、簡易血中乳酸測定器

(Lactate pro; ARKRAY, Japan) を用いて血中乳酸濃度も測定した。

3. 最大酸素摂取量の測定

有酸素的作業能力を評価し、同時に心拍数と酸素摂取水

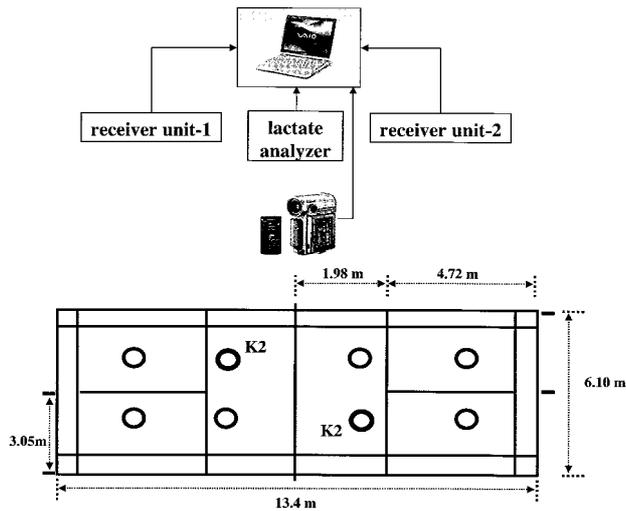


Fig. 1 Experimental setup. The portable telemetry system K2 was worn by a subject in each court during soft-volleyball match. Heart rate, oxygen uptake, ventilation, respiratory frequency was measured by using the K2 equipment during soft-volleyball match. Also blood lactate concentration was determined during the match.



Fig. 2 A telemetric system used in the present study. The K2 system consists of a face mask, a transmitter, a receiver, an electrode for heart rate recording, a battery, and connectors (top panel). The K2 equipment was worn by a subject (bottom panel). Total carrying mass is 850 g.

準との関係を求めるために、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) を自転車エルゴメータ (Ergometer 232C model 50, COMBI, Japan) を用いて測定した。ペダリング頻度は 60 rpm に規定し、初期負荷 0 W より開始し、 $30 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ の漸増負荷を用い疲労困憊まで最大努力でペダリング駆動運動を行わせた。疲労困憊の判定は被験者が規定のテンポでペダリングできなくなることや作業姿勢の乱れを目安に検者が判定した。換気量、呼気ガスの酸素濃度および二酸化炭素濃度は呼吸代謝測定装置 (Respiromonitor RM-300 および Medical Gas Analyzer MG-360, Minato medical science) により測定した。15 sec 毎に測定した $\dot{V}O_2$ の最大値をもって $\dot{V}O_{2max}$ とした。

4. ソフトバレーボール競技の運動形態

ソフトバレーボールの運動形態を明らかにするために、試合中、上方および側方より 2 台のビデオカメラを用いビデオ撮影し (60 fps), ラリーおよびブレイクの持続時間、各被験者の連続する高強度運動と高強度運動間の時間間隔 ($\Delta \text{Time}_{\text{HP}}$: Delta Time of High Intensity Performance) について分析した。なお、本研究では試合中に行われたスパイク、ブロック、レシーブ、サーブ、ダッシュ、その他のジャンプ動作を高強度運動と見なした。なぜなら、これらの動作では発揮されるパワーが著しく高く³²⁾、そのエネルギーが ATP-CP 系あるいは非乳酸性エネルギー供給機構に由来すると容易に推測できるからである¹⁸⁾。

5. 統計処理

血中乳酸濃度の各測定値間の有意差検定は、二元配置の繰り返し無しの分散分析を用いた。有意水準は 5% とした。

III. 結 果

表 1 に示したように、本研究で行った 4 試合のスコア

Table 1. match results and the time required for each set.

	Score			Time (min)		
1st match	11 : 15	12 : 15	17 : 16	07 : 25	08 : 41	10 : 03
2nd match	07 : 15	15 : 10	15 : 02	06 : 25	07 : 11	04 : 35
3rd match	15 : 05	15 : 13	15 : 05	05 : 39	06 : 50	04 : 28
4th match	12 : 15	15 : 12	15 : 08	10 : 14	07 : 25	06 : 18

Mean \pm SD ; 7:06 \pm 1:51 (min)

Table 2. Maximal values of heart rate (HR_{max}), ventilation ($\dot{V}E_{\text{max}}$), respiratory frequency (Rf_{max}) and oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\text{max}}$).

HR_{max} ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}E_{\text{max}}$ ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$)	Rf_{max} ($\text{times} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\text{max}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
186.2 \pm 6.4	134.0 \pm 23.0	46.7 \pm 5.9	50.4 \pm 6.6

n=8 Values indicate mean \pm SD

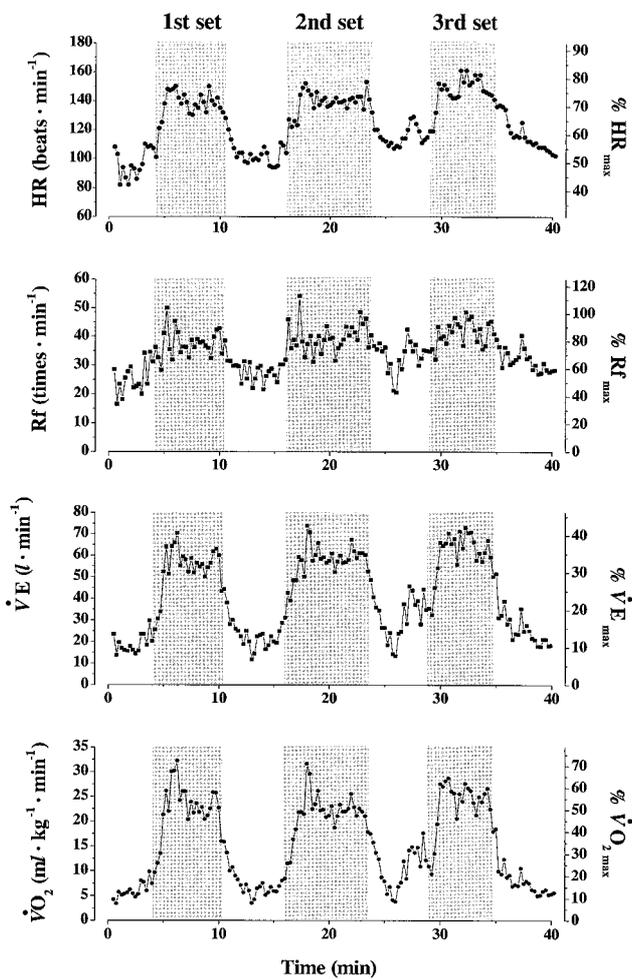


Fig. 3 Typical records of absolute and relative changes in Heart rate, respiratory frequency, ventilation and oxygen uptake measured by K2 during soft-volleyball match.

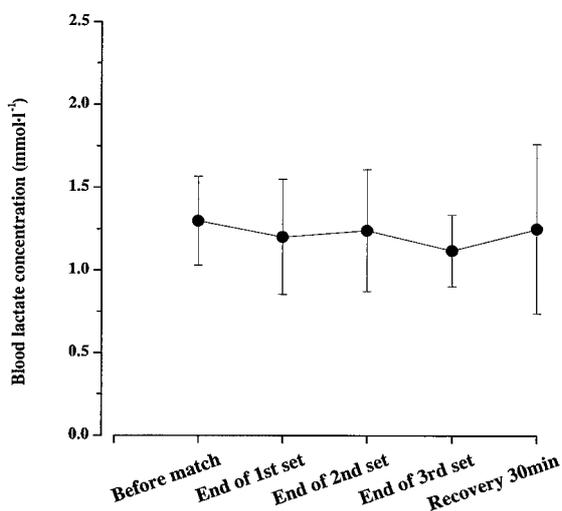


Fig. 4 Change in blood lactate concentration before match, at the end of first, second, third set and after 30 min of recovery in soft-volleyball match.

は、第2試合3セット目、第3試合1および3セット目を除いて、概して、接戦であった。また、各セットの平均の所要時間および標準偏差は 7.10 ± 1.87 minであった。

表2に被験者の $\dot{V}O_{2\max}$ 測定時に認められたHR、 $\dot{V}E$ 、Rfおよび $\dot{V}O_2$ の最大値をそれらの平均と標準偏差で示した。HR_{max}、 $\dot{V}E_{\max}$ 、Rf_{max}および $\dot{V}O_{2\max}$ の順に、各々、 186.2 ± 6.4 beats · min⁻¹、 134.0 ± 23.0 l · min⁻¹、 46.7 ± 5.9 times · min⁻¹および 50.4 ± 6.6 ml · kg⁻¹ · min⁻¹であった。

図3は、試合中のHR、Rf、 $\dot{V}E$ および $\dot{V}O_2$ 変動の典型例を示したものである。この試合における全セット中のHR、Rf、 $\dot{V}E$ および $\dot{V}O_2$ （平均±標準偏差）は、各々、 139 ± 5.1 beats · min⁻¹、 39.0 ± 1.8 times · min⁻¹、 56.2 ± 3.5 l · min⁻¹および 21.9 ± 1.0 ml · kg⁻¹ · min⁻¹であった。またこれらのパラメータの最大値に対する割合は、HR、Rf、 $\dot{V}E$ および $\dot{V}O_2$ の順で、各々、 71.9 ± 2.6 %、 81.3 ± 3.7 %、 32.5 ± 2.0 %および 49.2 ± 2.2 %であった。各セット終了後、全パラメータは、各々、急激に低下し、速やかな

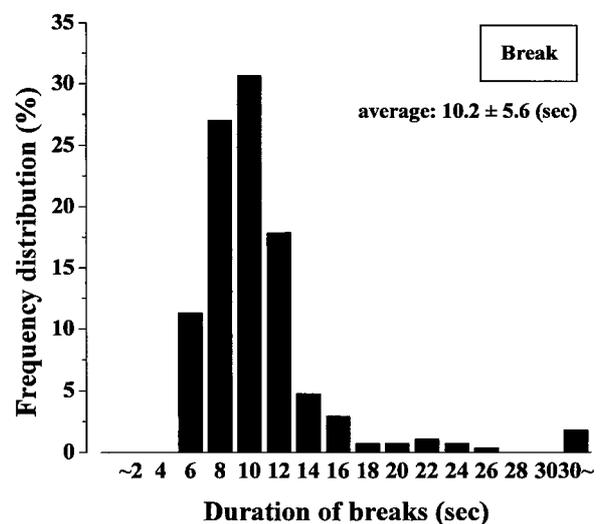
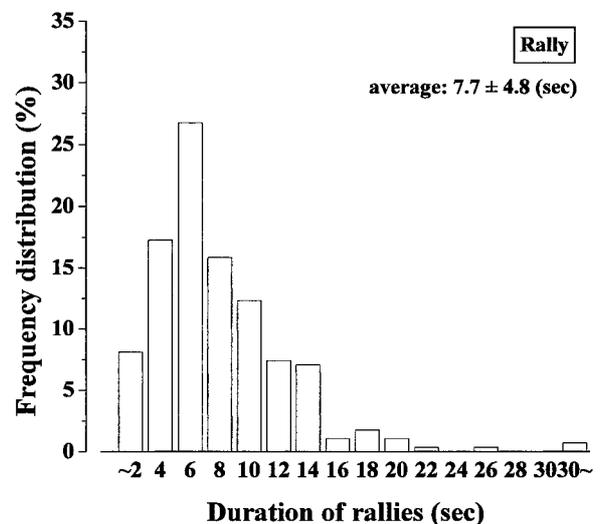


Fig. 5 The distribution for the duration of rallies (top panel) and breaks (bottom panel) during soft-volleyball match.

呼吸循環系の応答が認められた。全試合における全セット中のHR, Rf, $\dot{V}E$ および $\dot{V}O_2$ をプールし、それらの平均値および標準偏差を求めると、各々、 $123.9 \pm 13.3 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$, $34.8 \pm 4.1 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$, $39.2 \pm 8.5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ および $17.7 \pm 4.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。そして、これらのパラメータの相対値は、同様の順で、 $66.3 \pm 5.9\%$, $69.4 \pm 16.0\%$, $29.3 \pm 4.5\%$ および $35.2 \pm 8.1\%$ (30~50%) であった。これらの生理学的なパラメータのレベルは、試合内容により幾分か影響を受けたように思われたが、概して、全試合において典型例で示したようなタイムヒストリーで推移していた。

図4に示したように、試合前、1, 2, 3セット終了後および試合終了30分後の血中乳酸濃度の平均値と標準偏差は、各々、 $1.30 \pm 0.27 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $1.20 \pm 0.35 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $1.24 \pm 0.37 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $1.12 \pm 0.22 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, $1.25 \pm 0.51 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。そして、これらの値間に統計的に有意な差は認められなかった。

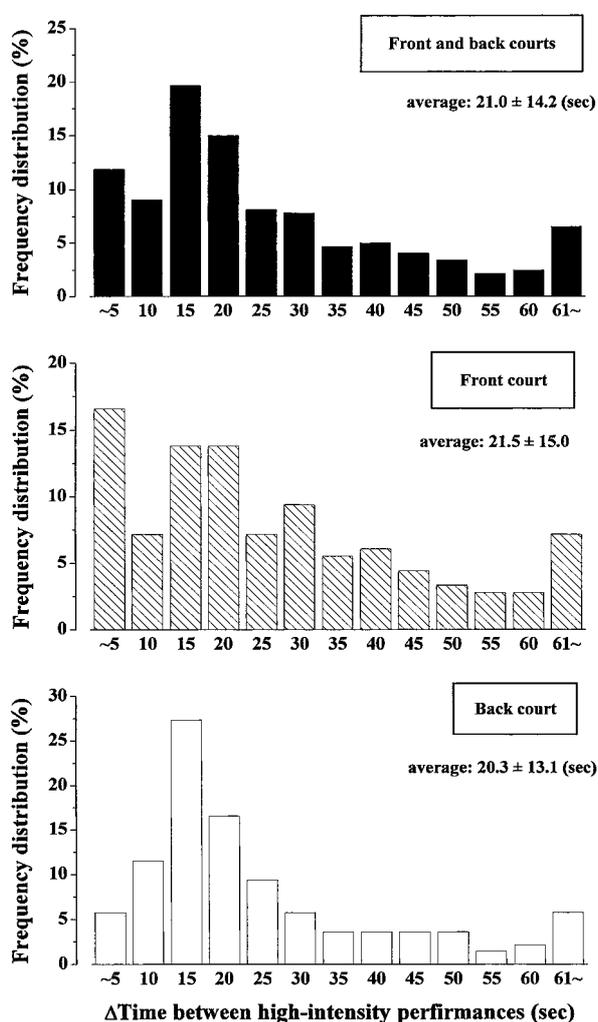


Fig. 6 The distribution for the time difference between high intensity performances ($\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$), such as spike, block, service and spurt while on the back court (bottom panel), front court (middle panel) and both court (top panel) during soft volleyball match.

全試合におけるラリーおよびブレイクの相対的度数分布は図5に示した通りであった。ラリーの持続時間は4~8 secの階級で相対的度数が高く、全ラリーの約60%を占めていた。しかし度数分布は右に歪んでおり、ラリー持続時間の平均値および標準偏差は $7.7 \pm 4.8 \text{ sec}$ であった。ブレイクの持続時間は8~12 secの階級で相対的度数が高く、全ラリーの約76%を占め、ブレイク持続時間の平均値および標準偏差は $10.2 \pm 5.6 \text{ sec}$ であった。

図6は全被験者の $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ の度数分布を後衛(下段)、前衛(中段)および両者(上段)について示したものである。後衛における $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ は、10~15 secの階級での度数分布が最も高かった。しかし、この度数分布も右に歪んでおり、平均値および標準偏差は $20.3 \pm 13.1 \text{ sec}$ であった。前衛における $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ については、5 sec以下の階級と10~20 secの階級の度数が高く、平均値および標準偏差は $21.5 \pm 15.0 \text{ sec}$ であった。これら前衛および後衛両者を合わせると、 $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ の度数分布は20 sec以下の階級で度数が高く、最も高い度数は10~15 secの階級で認められた。しかし、前衛および後衛における $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ の度数分布同様に右に歪んでおり、平均および標準偏差では $21.0 \pm 14.2 \text{ sec}$ であった。

IV. 考 察

本研究で示したようなソフトバレーボールの試合中にHR, Rf, $\dot{V}E$ および $\dot{V}O_2$ を連続的に且つ同時に記録した報告はこれまでのところ見あたらない。これまでの、種々のスポーツ活動の運動強度を推定するために、それらのスポーツ活動をシミュレートした運動中に、あるいはそれらのスポーツ活動の基本動作中にHRあるいは $\dot{V}O_2$ の測定がダグラスバック法を用いて行われてきた^{2, 9, 21, 20}。例えば、福永⁹⁾はバレーボールのオーバーハンドパス(頻度; $30 \text{ times} \cdot \text{min}^{-1}$)を行った場合でも、HRは $130 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ くらいまでしか上昇せず、この時の酸素摂取水準は $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の35~40%で、さらに左右に3 m移動しながらオーバーハンドパスを行わせるとパスの頻度が増すに従って急激にHRおよび $\dot{V}O_2$ が増加し、1分間に30回の頻度ではHRおよび $\dot{V}O_2$ は、各々、 $187 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ および98%であったことを報告している。砂本ら²⁾は予めランニング中のHR- $\dot{V}O_2$ (ダグラスバック法とショランダー微量ガス分析器を用いて測定)関係を求め、それを用いてバレーボールの試合中のHRより $\dot{V}O_2$ を推定し、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の約40%(20~60%の範囲)のレベルで試合を行っていることを報告している。また、星川ら⁹⁾は6人制バレーボールの試合中の $\dot{V}O_2$ をダグラスバック法で測定している。しかし、それらのスポーツ活動の基本動作中あるいは試合中、ダグラスバックを背負うことは被験者の動作を著しく制限すると考えられる。まさに、このことが理由で、これまで実際のバレーボール試合中の信頼できる連続的な $\dot{V}O_2$

の記録が存在しなかった。他のスポーツ種目についても、競技中の信頼できる $\dot{V}O_2$ の連続的な測定は少なく、それは同様の理由による。本研究で用いたテレメトリー方式呼吸代謝計測装置 K2 による $\dot{V}O_2$ の測定の信頼性は既に報告されている²⁴⁾。本研究は、コンパクトで、軽い (850 g) 特性を有する K2 を用いることにより、ソフトバレーボール競技中にプレーヤーの動きを著しく制限することなく (本研究では K2 へ衝撃を与えないようローリング・レシーブは制限した)、連続的且つ同時に HR, $\dot{V}E$, Rf および $\dot{V}O_2$ 等の生理学的パラメータが測定可能であることを示すと共に、種々のスポーツ活動においても同様の測定が可能であることを示唆している。この K2 および後継の K4 は今後のスポーツ科学の発展においてパワフルなツールとして大きく貢献すると推察される。

身体活動の生理学的運動強度は、 $\dot{V}O_2$ 、総エネルギー量 (酸素需要量) あるいは身体運動に使われた酸素量が基礎代謝量や安静時代謝量の何倍に当たるか (RMR あるいは Mets) によって評価されてきた。しかしながら、 $\dot{V}O_2$ は簡単に測定できないこと、例え測定できても個人の相対的負荷強度を評価できない等の理由で、心拍数、酸素摂取水準 (% $\dot{V}O_{2max}$) および主観的作業強度 (RPE)^{3, 13)} が広く利用されてきた。本実験で行った 4 試合における HR および $\dot{V}O_2$ の平均値 \pm 標準偏差および相対値は、各々、 123.9 ± 13.3 beats \cdot min⁻¹ および $66.3 \pm 5.9\%$ 、 17.7 ± 4.3 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹ および $35.2 \pm 8.1\%$ であった。また、試合前、1, 2, 3 セット終了後および試合終了 30 分後の血中乳酸濃度の平均値と標準偏差は、各々、 1.30 ± 0.27 mmol \cdot l⁻¹、 1.20 ± 0.35 mmol \cdot l⁻¹、 1.24 ± 0.37 mmol \cdot l⁻¹、 1.12 ± 0.22 mmol \cdot l⁻¹、 1.25 ± 0.51 mmol \cdot l⁻¹ で、乳酸性エネルギー供給機構があまり動員されていないか、あるいは、乳酸の産生と除去とのバランスが釣り合っており、血中乳酸の蓄積は認められなかった。これらのデータからすると、ソフトバレーボール競技の生理学的運動強度は LT (乳酸性作業域値)⁹⁾ あるいは AT (無酸素性作業域値)⁹⁾ 以下で、比較的低いと考えられる。また、トレッドミル走における RPE と % $\dot{V}O_{2max}$ および %HR との関係に基づきソフトバレーボール競技の RPE を求めると 7~10 に相当したことから、概して、ソフトバレーボール競技は“かなり楽である”あるいは“非常に楽である”と感じる程度の主観的運動強度であると推測される。

Dyba¹⁵⁾ は 6 人制バレーボール競技中の HR をジュニア男子選手について測定し、その平均値が 144 beats \cdot min⁻¹ であったことを報告している。Fardy ら¹⁶⁾ は 6 人制バレーボール競技中の HR を大学女子選手について測定し、その平均値が 139 beats \cdot min⁻¹ であったと報告している。Laconi ら²⁵⁾ は、国内バレーボールリーグ所属選手を被験者として、6 人制バレーボールのアタック局面 (A-phase) およびディフェンス局面 (D-phase) における HR (A-phase; 149 ± 15 beat \cdot min⁻¹, D-phase; 135 ± 17 beats \cdot min⁻¹) と $\dot{V}O_2$

(A-phase; 23.1 ± 3.3 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹, D-phase; 18.9 ± 2.7 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹) を報告している。また、Conlee ら¹⁴⁾ および Dyba¹⁵⁾ は 6 人制バレーボール競技 (被験者; ジュニア男子選手および大学リーグ所属男子選手) 中の血中乳酸濃度がかなり低いこと [高くても 4 mmol \cdot l⁻¹; OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) 以下] を報告している。さらに、ビーチバレーボール競技 (被験者: シドニーオリンピック候補選手) 中の HR, $\dot{V}O_2$ および血中乳酸濃度が、各々、約 144 beats \cdot min⁻¹、26.6 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹、0.87~1.23 mmol \cdot l⁻¹ であったことが報告されている²⁶⁾。これらの HR および血中乳酸の平均値は、本研究で得られた各パラメータの平均値と同等か、やや高いようである。この理由は、本研究の被験者と先行研究における被験者の相対的な競技レベルの違い、コート面積に対するプレーヤーの人数 (ソフトバレーボール; 10.22 m² \cdot player⁻¹, 6 人制バレーボール; 13.5 m² \cdot player⁻¹, ビーチバレーボール; 40.5 m² \cdot player⁻¹)、ネットの高さ [ソフトバレーボール; 2 m, 6 人制およびビーチバレーボール; 2.43 m (♂), 2.15 m (♀)] およびいくつかのルールの違いに起因していると考えられる。全身持久性に対する生理的運動強度を決定する大きな要因は、福永⁹⁾ も指摘しているように、いかに多く、素早く、その競技中に身体移動を伴うかに帰すると言えそうである。

ソフトバレーボール競技は生涯スポーツを意識して作られ、その対象は小学生から中・高年齢者にまで及ぶ。そして、その目的はソフトバレーボールというスポーツ文化を体得すると共に健康および体力を維持・増進させることにある。したがって、ソフトバレーボール競技の生理学的特性を把握しておけば、指導およびコーチングの際に役立つ。6 人制バレーボールに関する生理学的研究^{14, 15, 19, 20, 27)} はいくつか存在するがソフトバレーボールについては皆無である。ソフトバレーボールの競技時間は 1 セット約 7 分で、3 セット行ったとして 30 分前後となる。この持続時間からすると、有酸素的作業能 (全身持久力) が重要であることは疑いの余地もない。しかしながら、スパイク、ブロック、サーブ、レシーブおよびダッシュ等 (HIP; High Intensity Performance, 高強度運動) は下肢、体幹および上肢の大筋群を動員しての高強度の爆発的運動である³²⁾。もしも HIP が短い時間間隔で何回も繰り返されれば、まず ATP-CP 系エネルギー供給機構により ATP が供給され、高エネルギーリン化合物は枯渇してしまう¹⁸⁾。その間、無酸素的な解糖系エネルギー供給機構によって ATP が供給され、乳酸の蓄積が生じるであろう。つまり、HIP が主として無酸素的な乳酸性エネルギー供給機構によって行われる。また、もしも HIP が十分な時間間隔において繰り返されたならば、高エネルギーリン化合物の再合成は HIP と HIP の間の時間において有酸素的に行われるので、乳酸の蓄積は認められないであろう。つまり、HIP が主として無酸素的な非乳酸性エネルギー供給機構

(ATP-CP系エネルギー供給機構)によって行われる。本研究において、ソフトバレーボール競技中に測定された血中乳酸濃度はかなり低く、安静時のそれと有意な差が認められなかった。先行研究^{14, 15)}で報告されている6人制バレーボール競技中の血中乳酸濃度と比較すると、幾分低いようであるが、顕著な差は無いようである。このような結果からすると、ソフトバレーボール競技は高い無酸素的な乳酸酸性エネルギー供給能力を必要とせず、その競技遂行のためには、無酸素的な非乳酸酸性エネルギー供給能力が重要な役割を演じていると考えられる。次に示したソフトバレーボール競技の運動形態分析の結果もこの考えを支持する材料となるであろう。

ソフトバレーボール競技のラリーおよびブレイクの平均時間は、各々、7.7secおよび10.2secであった(図5)。しかし個々のプレイヤーに必要な体力を考える場合には、このようなパラメータでなく、 $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ が重要なデータとなる。図6に示したように $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ は前衛で $21.5 \pm 15.0\text{sec}$ 、後衛で $20.3 \pm 13.1\text{sec}$ 、両者を併せて $21.0 \pm 14.2\text{sec}$ であった。すなわち、ソフトバレーボール競技では、概して、21secに1回HIPを繰り返していると考えられる。なお、ソフトバレーボールと6人制バレーボールと比較すると、ラリーおよびブレイクに要する時間、前衛における $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ はほぼ同様であるが、後衛における $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ (44.4sec)は前者で短いようである^{15, 17)}。ところで先行研究によると、ATP再合成に必要なクレアチン燐酸の再合成速度は比較的速く、そのハーフタイムは20-40secとされている^{22, 23)}。この事実とHIPが連続して行われることが比較的少ないことから考えると、ATPおよびCP等の高エネルギー燐化合物の再合成はHIPとHIP

の間の時間(ここでは運動強度は比較的低い)で有酸素的に再合成されていると推測される。また、わずかながらも産生された乳酸もこの期間に酸化されていると考えられる。このような生理学的特性があるからこそ、セットを重ねてもダイナミックなプレーのパフォーマンスがさほど低下しないのであろう。しかし、一方のチームのオフェンスに対してもう一方のチームのディフェンスがより優れている場合には、 $\Delta\text{Time}_{\text{HIP}}$ がより短くなる可能性があるため、乳酸の蓄積も生じる可能性があり、その場合にはより高い有酸素的作業能が必要となると考えられる。

HR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の関係はほぼ直線のあることから¹²⁾、運動処方する際にしばしば用いられてきた。ソフトバレーボール競技中の連続的測定から得たHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係を示したのは本研究が最初である(図7)。自転車エルゴメータを用いての $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 測定中のHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係とソフトバレーボール競技中のHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係は両者とも高い相関関係($P < 0.0001$)が認められたが、後者の回帰直線の傾きは前者のそれに比較して小さかった。つまり、同じHRであれば、ソフトバレーボール競技中の方がその酸素摂取水準は低いことになる。自転車エルゴメータ駆動中のHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ と比較して、スポーツ活動中のHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係が異なることを示した先行研究は多く^{7, 10)}、本研究の結果と一致していた。福田ら⁸⁾は腕作業、脚作業および腕+脚作業別に見られるHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係を比較したところ、活動筋量が多いと考えられる脚や腕+脚作業のHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係における回帰直線の傾きは腕作業のHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係におけるそれより小さいことを示している。したがって、自転車エルゴメータ駆動時のHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係と下肢、体幹および上肢の筋群が動員されるソフトバレーボール競技中のHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係の差異は、両者における活動筋量の違いや心理的条件の差に起因するものと考えられる。ソフトバレーボール競技中の平均心拍数を自転車エルゴメータ駆動時に得たHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係を説明する回帰式に代入すると、最大で約40%の過大評価となる。自転車エルゴメータ駆動時に得たHR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 関係から、ソフトバレーボール競技の運動強度およびエネルギー需要量を推定すると過大評価されることを認識しておく必要がある。おそらく、同様のことが9人制、6人制バレーボール、ビーチバレーボールおよび他の球技系スポーツについても言えると思われる。

ACSM (American College of Sports Medicine) は呼吸循環系の持久力向上を目指す場合、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の50-85%の運動強度でのプログラムを処方することを勧めている。ただし、体力レベルの低い人に対しては $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の40-50%での低い運動強度での運動処方を提案している¹¹⁾。ソフトバレーボール競技中の運動強度は比較的強く $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の $35.2 \pm 8.1\%$ (30~50%)であった。したがって、呼吸循環系持久力向上の運動強度としてはやや低いと考えられ、この体力要素を向上させるためには付加的な適切なトレーニングが必要と考えられる。しかし、体力レベルの低い人に

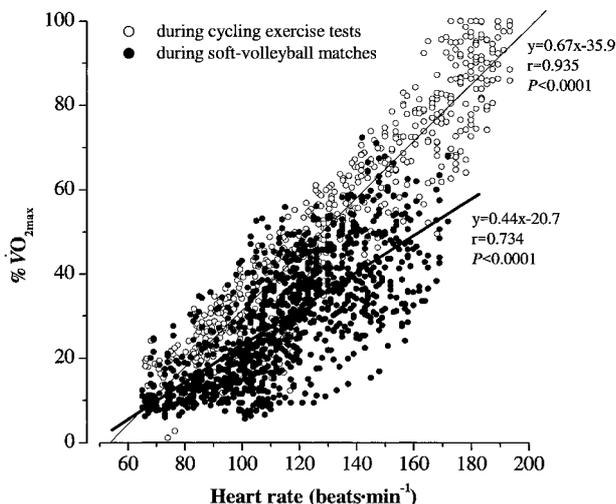


Fig. 7 HR-% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ relationship obtained during stepwise cycling exercise test and soft-volleyball matches. ○, during cycling exercise tests; $y = 0.67x - 35.9$, $r = 0.935$, $P < 0.0001$ ●, during soft-volleyball matches; $y = 0.44x - 20.7$, $r = 0.734$, $P < 0.0001$

としては適切な運動強度と言えよう。

ソフトバレーボール競技中の運動強度および代謝応答は、被験者の競技レベル、年齢、性等によって異なると思われる。なぜなら、ソフトバレーボールの運動形態は、上述した要因に大きく影響されると考えられるからである。特に、競技レベルは最も影響する要因と思われる。したがって、今後、小学生～中高年齢者の種々の競技レベルの被験者がソフトバレーボールを行った時の運動強度および代謝応答を運動形態と共に明らかにする更なる研究を行うことにより、年齢、性および競技レベルでカテゴライズされたソフトバレーボールの運動強度および代謝応答が明らかになるとと思われる。

参考文献

- 1) 中村好男, 山本義春: ATその変遷と新しい理解. 東京: Book House DH. 1993, p.66-71.
- 2) 砂本秀義: 6人制バレーボールにおける運動量. 体育学研究. 15: 102. 1971
- 3) 小野寺孝一, 宮下充正: 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性～Rating of perceived exertionの観点から～. 体育学研究. 21: 191-203. 1976
- 4) 星川 保, 豊島進太郎, 鬼頭伸和, 松井秀治, 出原謙雄, 国富 猛: ベドメータ歩数と酸素摂取量との関係 - 中学体育のバレーボール, サッカー, バスケットボール教材について -. 体育科学. 14: 7-14. 1986
- 5) 八田秀夫: 乳酸. 東京: Book House DH. 1997
- 6) 豊田 博, 橋爪静夫, 志村栄一, 成田明彦, 藤田勝常: ソフトバレー・ハンドブック. 日本ソフトバレーボール連盟. 大修館書店, 東京. 1992
- 7) 広田 彰, 米倉公司: 心拍数からみたハンドボール試合の運動強度. 新体育. 48: 154-157. 1978
- 8) 福田明夫, 北村潔和, 山地啓司, 有沢一男: 作業部位 (活動筋量) の相違によるHR-% $\dot{V}O_{2max}$ (心拍数と酸素摂取水準) 直線への影響. 体育の科学. 30: 750-758. 1980
- 9) 福永哲夫: いろいろなスポーツ活動の心拍数. 体育の科学. 27: 234-238. 1977
- 10) 福永哲夫, 湯浅景元: 全身持久性トレーニング手段としてのテニス, サッカーバレーボールの基本運動の強度. 体育科学. 6: 90-95. 1978
- 11) American College of Sports Medicine: Position stand: The recommended quantity of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in hearty adults. *Med Sci Sports Exerc.* 22: 265-274. 1990
- 12) Åstrand P.O. and Rhyning I.: A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol.* 7: 218-221. 1954
- 13) Borg G. and Linderholm H.: Perceived exertion and pulse rate during graduate exercise in various age groups. *Acta Med Scand Suppl.* 472: 194-206. 1967
- 14) Conlee R.K.: Physical effects of power volleyball. *Phys Sportsmed.* 10: 93-97. 1982
- 15) Dyba W.: Physiological and activity characteristics of volleyball. *Volleyball Techni J.* 6: 33-51. 1982
- 16) Fardy P.S., Hrintz M.G. and Hellerstein H.K.: Cardiac responses during women's intercollegiate volleyball and physical fitness changes from a season of competition. *J Sports Med Phys Fitness.* 16: 291-300. 1976
- 17) Fowler A. and Robertson R.: Some time statistics. *Volleyball Techni J.* 3: 1. 1978
- 18) Fox E.L.: Sports Physiology. Philadelphia. W.B. Saunders Company. 1979
- 19) Fox E.L. and Mathews D.K.: Conditioning for Sports and General Fitness. In Interval Training. Philadelphia. W.B. Saunders Company. 1974, p 215-216.
- 20) Gionet N.: Is volleyball an aerobic or anaerobic sport? *Volleyball Techni J.* 5: 31-36. 1980
- 21) Hagerman F.C., Connors M.C., Gault J.A., Hagerman G.R. and Polinski W.J.: Energy expenditure during simulated rowing. *J Appl Physiol.* 45: 87-93. 1978
- 22) Harris R.C., Edwards R.H.T., Hultman E., Nordosjo L.O., Nylinde B. and Sahlin K.: The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers arch Eur J Physiol.* 367: 137-142. 1976
- 23) Hultman E., Bergstrom J. and Anderson N.M.: Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosine triphosphate in connection with muscular work in man. *Scand J Clin Lab Invest.* 19: 56-66. 1967
- 24) Kawakami Y., Nozaki D., Matsuo A. and Fukunaga T.: Reliability of measurement of oxygen uptake by a portable telemetric system. *Eur J Appl Physiol.* 65: 409-414. 1992
- 25) Laconi P., Melis F., Crisafulli A., Sollai R., Lai C. and Concu A.: Field test for mechanical efficiency evaluation in matching volleyball players. *Int J Sports Med.* 19: 52-55. 1998
- 26) Mahler D., Andrea B.E. and Ward J.L.: Comparison of exercise performance on rowing and cycling ergometers. *Res Q.* 58: 41-46. 1987
- 27) Puhl J.: Physical and physiological characteristics of elite volleyball players. *Res Q Exerc Sport.* 53: 257-262. 1982
- 28) 岩原文彦, 伊藤雅充, 根本研, 久保潤二郎, 浅見俊雄: 一流ビーチバレーボール選手の体力特性と模擬試合中の運動強度. *トレーニング科学.* 12: 153-160. 2001
- 29) Seliger V.: Energy metabolism in selected physical exercise. *Int Z Angew Physiologieinschl Arbeitsphysiol.* 25: 104-120. 1968
- 30) Skubic V. and Hodgikins J.: Relative strenuousness of selected sports as performed by women. *Res Q.* 38: 305-313. 1967
- 31) Viitasalo J.T., Rusko H., Rahkila P., Ahila M. and Montonen H.: Endurance requirement in volleyball. *Can J Sport Sci.* 12: 194-201. 1987
- 32) Voigt M., Simonsen E.B., Dyhre-Poulsen P. and Klausen K.: Mechanical and muscular Factors influencing the performance in maximal vertical jumping after different prestretch loads. *J Biomech.* 28: 293-307. 1995