

バスケットボールのチェストパスにおける 技能の水準と換気効率の関係

松原周信*

Relationship between skill level and ventilatory efficiency concerning chest pass of basketball

CHIKANOBU MATSUBARA*

Abstract: To investigate the relationship between skill level and ventilatory efficiency concerning chest pass of basketball, throwing movement was executed to the target on the wall by 5 skilled and 5 unskilled players. Throwing frequency was fixed to 15 times per minute and distance to the target was increased gradually at each 3 minutes. During the exercise, energy expenditure was measured by analysis of expired air, and minute volume, tidal volume, inspiring time, expiring time, ventilation, fraction of expired carbon dioxide, and end tidal carbon dioxide were recorded. Then the ratio of dead space to tidal volume, and the ratio of ventilation to carbon dioxide production at throwing were calculated concerning each distance. Both these 2 indices of skilled players were larger than that of unskilled players due to large respiratory rate of skilled players derived from the short expiring time, although mechanical efficiency was higher than at unskilled players. The reason was supposed that the timing of breathing of skilled players was closely tied to the throwing movement, and throwing performance was given priority to ventilatory efficiency.

(Accepted September 11, 2000)

一般に、持久的なスポーツ種目においては、機械的効率と競技力は直接的に結びつく。しかし、持久力を要求されない動作にあっては、競技力を決定するのはパフォーマンスの大小のみであって、効率の大小は問題にならない。ところが、サッカーのキックにおいて、熟練者は少ないエネルギーでより大きなパフォーマンスを得る²⁾こと、効率が技能の尺度となる^{1, 3)}ことが報告されている。また、ハンドボールにおけるオーバーハンドスローの効率は、ハンドボール選手群の方が一般群より有意に高い¹⁾ことも報告されている。また、バスケットボールにおけるチェストパスの場合、そこで重要な要素は技能と筋のパワーであって、効率が正確さや最大遠投距離などを直接的に決定するとは考えられない。それにもかかわらず、技能の高い者にあってはチェストパスの効率も高いことを、先に報告¹⁾した。

しかしこれらの結果から、いついかなる場合にも、技能の優れている者の動作の効率は、そうでない者より高いと結論づけることはできない。すなわち、動作の種類や局面によっては、効率よりパフォーマンスが優先される可能性もまた、否定することはできない。以上の観点より、熟練者のほうが高い機械的効率を示すバスケットボールのチェストパスにおいて、呼吸様式、およびこれに起因する換気効率に関し、熟練者と未熟練者について、呼気の分析結果をもとに比較検討した。

方 法

[被験者]

被験者は、先にバスケットボールのチェストパスにおける効率について報告¹⁾したと同じ熟練者と未熟練者

* 京都府立大学人間環境学部食保健学科健康科学研究室

Laboratory of Health Science, Department of Food Sciences and Nutritional Health, Faculty of Human Environment, Kyoto Prefectural University

5人ずつの女性計10人で、その特徴は第1表に示した通りである。熟練者と未熟練者の間に身長、年齢、最大酸素摂取量の推定値に有意差はなかった。

Table 1 Characteristics of the subjects

	skilled mean±SD	unskilled mean±SD
number	5	5
height (cm)	161.2±4.60 ^{NS}	157.5±5.70
weight (kg)	52.6±4.51 [*]	49.4±4.22
age (years)	22.2±1.92 ^{NS}	21.8±1.10
$\dot{V}O_2\max^1$ (ml/kg/min)	38.8±6.29 ^{NS}	35.5±10.5
career ²⁾ (years)	9.6±2.30 ^{**}	0

¹⁾ estimated with the result of submaximal step test

²⁾ number of years as a basketball player

[運動負荷]

被験者に課した運動負荷は、先にバスケットボールのチェストパスにおける効率について報告¹¹⁾した通りであるが、本稿においては、そのうち踏み台昇降動作と距離漸増投球動作におけるデータを用いた。この2種類の実験は、各被験者についてはそれぞれ別の日に実施したが、その概略は次の通りである。

踏み台昇降動作は、高さ35 cmの踏み台を用い、仰臥位6分、椅座位6分、立位3分を順次とらせた後、昇降頻度を1分間に1/3, 2/3, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30回の順序で、3分ごとに漸増させた。1分あたり25回の負荷における心拍数が、安静時の心拍数と年齢をもとに推定した、最大酸素摂取量の60%に相当する値を越えた被験者には、1分間に30回の負荷を課さなかった。投球動作は、椅座位6分、立位3分をとらせた後、壁面の高さ135 cmの位置にとりつけたA5版大の標的に向かって、バスケットボールのチェストパスを行わせた。投球にあたっては、助走はせず、ただし片足または両足で1歩だけ踏み込んでもよいものとした。投球頻度は1分あたり15回とし、距離は2 mから始め、3分ごとに50 cmずつ被験者を後退させ、ボールが標的をとりつけた壁に届かなくなるまで行わせた。

[測定装置]

投球頻度の調節は、マイクロコンピュータ (NEC PC-9801ns) のRS-232Cポートから、割り込みによって4秒ごとに方形波をパルス状に出力し、これをアンプを介しスピーカに入力して被験者に聞かせ、この音に合わせて投球させることによって行った。

2種類の実験においていずれも、熱線式呼気流量計、ジルコニア式酸素濃度計、および赤外線式二酸化炭素濃度計より構成される呼吸代謝連続測定装置 (ミナト医科 Respiromonitor MG-360, およびRM-300) を用い、呼気量、呼吸数、呼気時間、吸気時間、呼気および吸気の

酸素ならびに二酸化炭素濃度などを1分ごとに測定し、データをマイクロコンピュータ (NEC PC-9801n) に入力して、フロッピーディスクに記録した。なお、これらの測定結果については、各漸増動作開始2分後より1分間の値を、定常状態に達したデータとして採用した。

結 果

踏み台昇降動作ならびに投球動作における、運動負荷とエネルギー消費量の関係は、第1図に示した通りであった。踏み台昇降動作において、1分あたり25回の負荷における心拍数が、最大酸素摂取量の60%に相当する値を越えた被験者には、1分間に30回の負荷を課さなかった。また、投球動作は、ボールが標的をとりつけた壁面に届かなくなる距離まで行わせた。その結果、全員のデータが得られたのは、踏み台昇降動作においては25回/分まで、投球動作においては、5 mまでであった。この範囲での投球動作におけるエネルギー消費量の最小値は、熟練者における2 mの141.5 J/kg/min、最大値は未

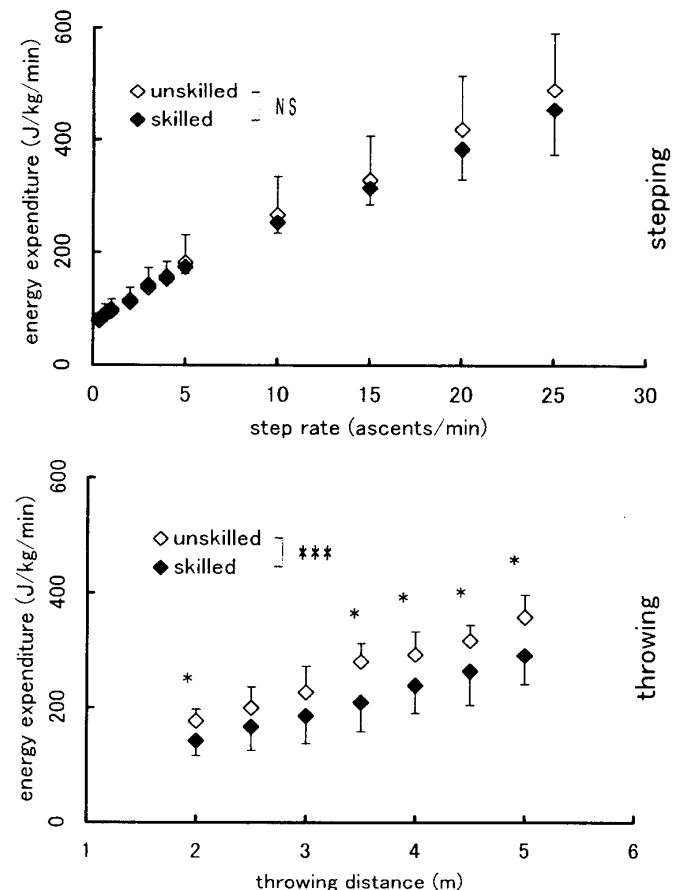


Fig.1 Relationship of energy expenditure on the rate of stepping movement and the distance of throwing movement concerning skilled players and unskilled players, respectively. Each mark and bar represents mean value and SD. At throwing, energy expenditure of skilled players was significantly lower than that of unskilled players.

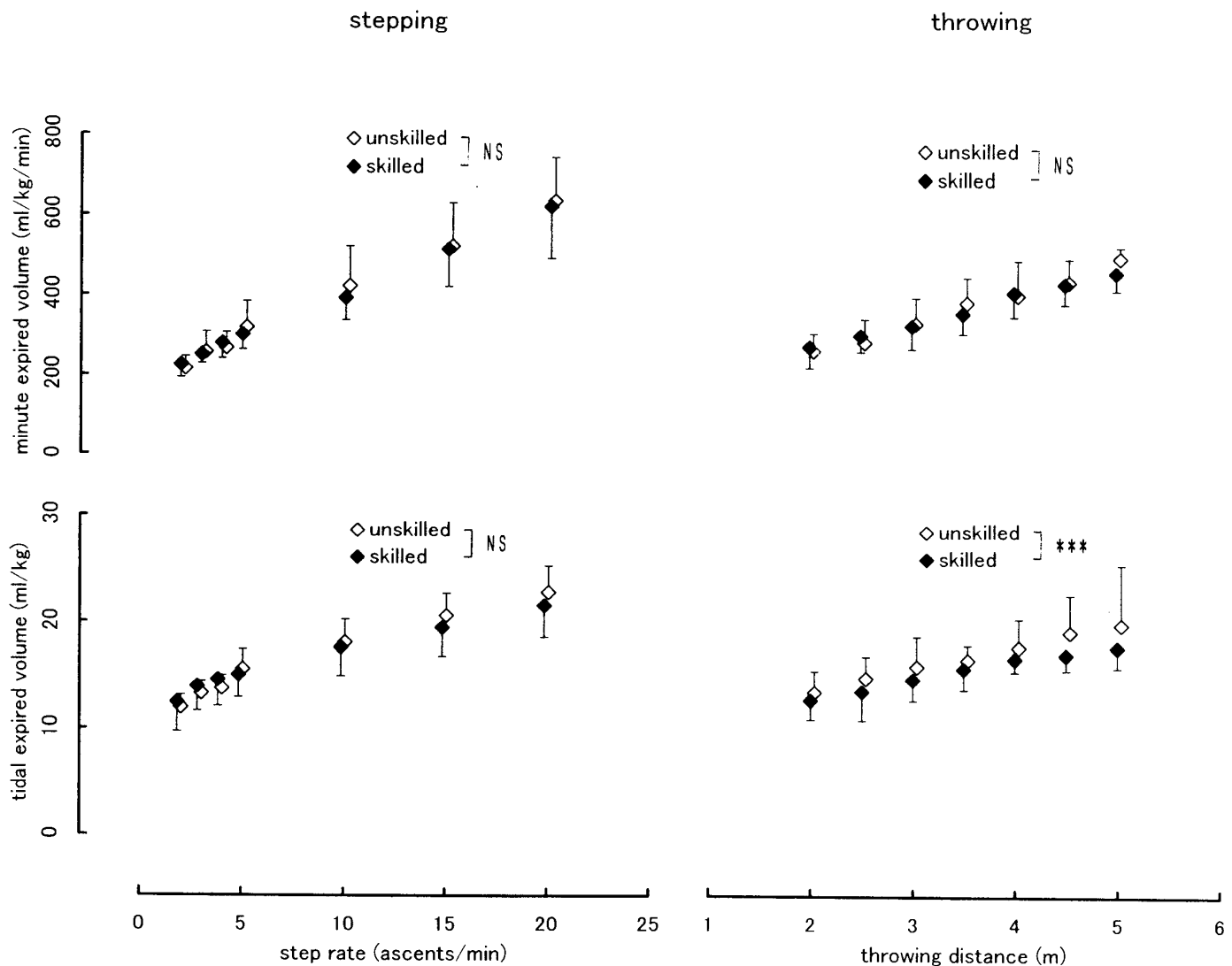


Fig.2 Minute expired volume and tidal expired volume at stepping and throwing. Tidal expired volume of skilled players was significantly less than that of unskilled players.

熟練者における5 mの358.6 J/kg/minで、この範囲は、熟練者および未熟練者の踏み台昇降動作における2回/分から20回/分の範囲よりやや狭いものの、ほぼこれに相当した。

同時に、踏み台昇降動作におけるこの範囲には7水準の運動負荷が含まれ、これは投球動作において2 mから5 mまでに含まれる運動負荷の水準数に一致した。踏み台昇降動作と投球動作で試料数が等しければ、両運動負荷に関する熟練者と未熟練者間における有意差の有無の比較に好都合なので、以下の比較検討には、2 mから5 mまでの投球動作と、2回/分から20回/分までの踏み台昇降動作のデータを用いた。

なお、踏み台昇降動作においては、どの昇降頻度に関しても、熟練者と未熟練者の間にエネルギー消費量の有意差はなかったが、投球動作においては、2 m、3.5 m、4 m、4.5 m、5 mにおいて有意差が存在した。また、2回/分から20回/分における踏み台昇降動作と、2 mか

ら5 mにおける投球動作について、それぞれ同じ運動負荷水準の平均値どうしを、対応のある1対のデータとみなし、熟練者と未熟練者のデータそれぞれについてさらに平均した値の差の検定を行ったところ、踏み台昇降動作では有意差はなく、投球動作においては高度な有意差が存在した。

第2図は、左側が踏み台昇降動作、右側が投球動作における、1分あたりの呼気量と一回呼気量を、それぞれ上段と下段に示したものである。1分あたりの呼気量は、踏み台昇降動作、投球動作いずれにおいても、熟練者と未熟練者の間に有意差はなく、一回呼気量については、投球動作において熟練者の一回呼気量が有意に小さかった。

第3図は、一回呼吸時間、吸気時間、呼気時間の、それぞれ1分間の平均値である。踏み台昇降動作においては、熟練者と未熟練者の間にいずれも有意差はなかったが、投球動作においては、熟練者の一回呼吸時間と呼気時間が、有意に小さかった。

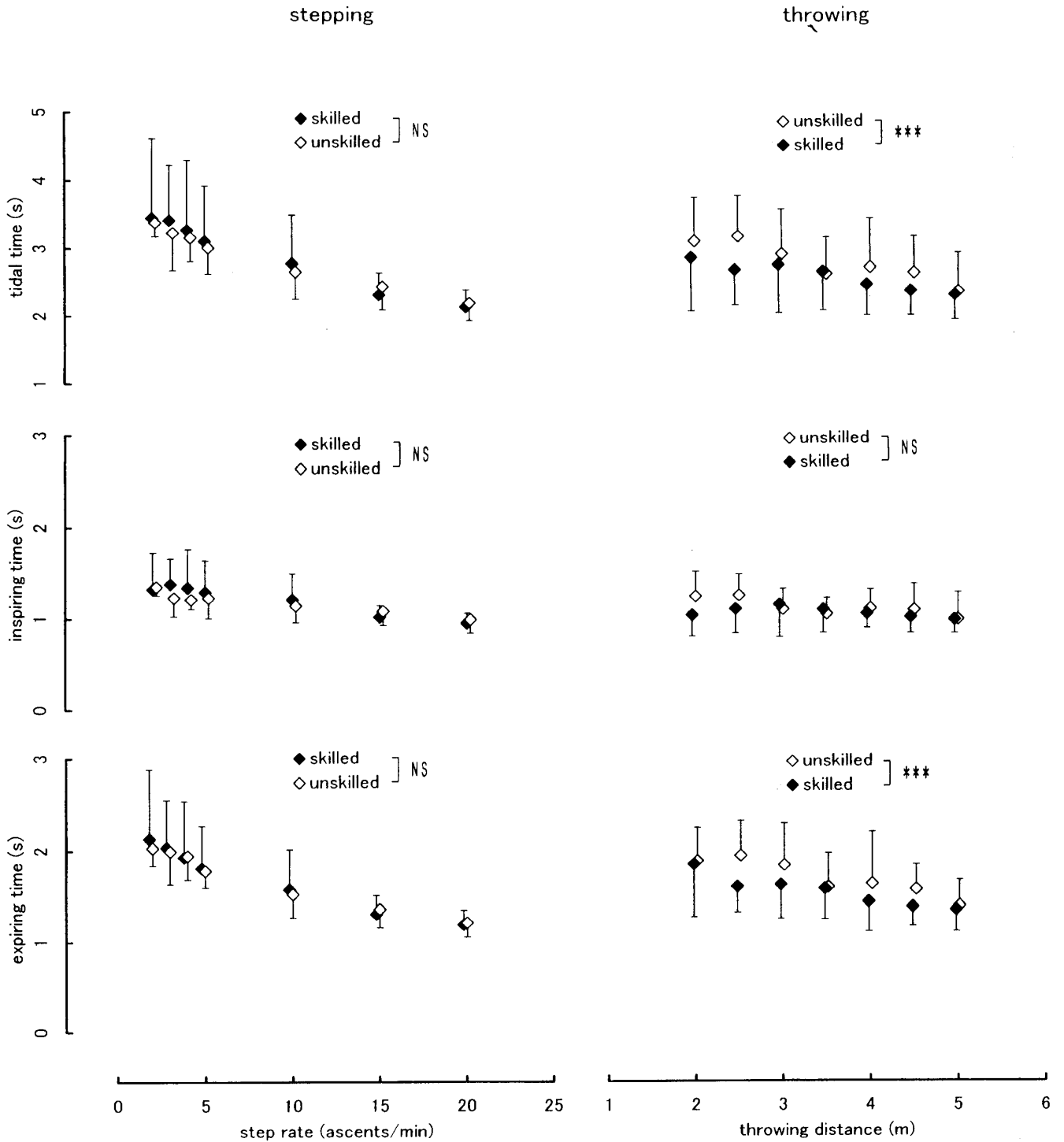


Fig.3 Tidal, inspiring, and expiring time at stepping and throwing. Tidal time and expiring time of skilled players were significantly less than those of unskilled players.

第4図は、踏み台昇降動作と投球動作それぞれについて、横軸を昇降頻度あるいは投球距離ではなく、ともにエネルギー消費量とし、これと一回呼吸時間との関係をみたものである。いずれの動作においても、両群ともに、それぞれ高い相関関係が認められた。踏み台昇降動作においては、回帰直線の勾配に両群で有意差があったが、切片には有意差はなかった。投球動作では、勾配には有意差はなく、切片に有意差が存在した。

第5図は、踏み台昇降動作と投球動作それぞれについて、横軸の運動負荷水準と、縦軸の呼気二酸化炭素濃度ならびに呼気終末二酸化炭素濃度の関係を示したものである。上段の踏み台昇降動作においては、呼気二酸化炭素濃度に両群で有意差がなく、呼気終末二酸化炭素濃度には有意差が存した。下段の投球動作では、呼気二酸化炭素濃度、呼気終末二酸化炭素濃度ともに有意差が認められた。

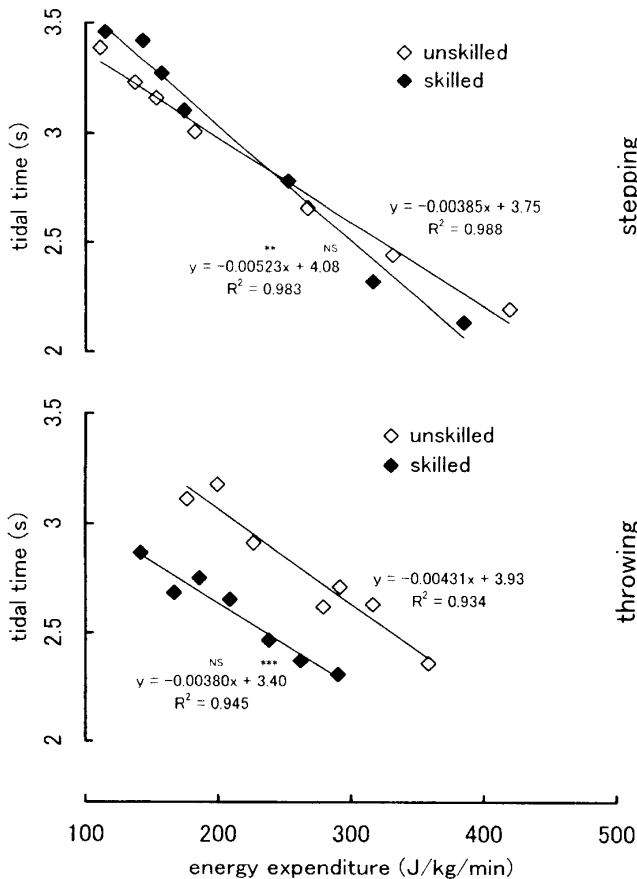


Fig.4 Relationship of tidal time on energy expenditure at stepping and throwing. Concerning stepping movement, the slope of the regression line of skilled players was steeper than that of unskilled players, significantly; the difference of intercepts were not significant. And concerning throwing movement, the intercept of skilled players was less than that of unskilled players, significantly; the difference of slopes were not significant.

第6図は、死腔一回換気量率と呼気量二酸化炭素排出量率で、前者は、踏み台昇降動作においては未熟練者において、投球動作では熟練者において有意に大きかった。後者は、踏み台昇降動作では有意差がなく、投球動作では熟練者において有意に大きかった。ただし、死腔一回換気量率はBohr¹⁾の式から導いたが、計算に際し、肺胞気中の二酸化炭素濃度のかわりに、呼気終末二酸化炭素濃度の値を用いた。

考 察

第1図の通り、踏み台昇降動作では、熟練者と未熟練者のエネルギー消費量に有意差はなかった。この動作に習熟度の個人差はほとんどなく、また、動作の構造に、直接的にはバスケットボールの技能が影響をおよぼすことはないと考えられるので、これは、両群間におけるI型筋線維の割合^{8,9)}や一般的な身体活動能力に差がな

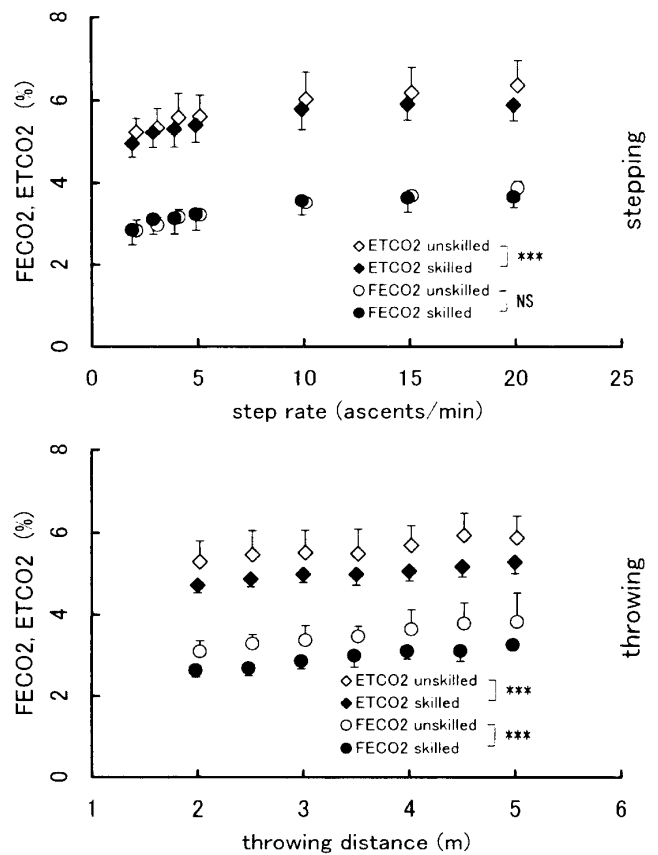


Fig.5 Relationship of the fraction of expired carbon dioxide and end tidal carbon dioxide on step rate (upper part of the figure) and throwing distance (lower part of the figure) at stepping and throwing, respectively. Concerning step movement, the difference of FECO₂ of 2 groups was not significant, but ETCO₂ of skilled players was significantly lower than that of unskilled players. And concerning throwing movement, both FECO₂ and ETCO₂ of skilled players were significantly lower than those of unskilled players.

いことを示すものである。一方、投球動作では熟練者のほうがエネルギー消費量が有意に小さかったが、これは先に報告¹⁾した通り、熟練者において効率の高いことに符合するものであり、両群間におけるこの差は、バスケットボールにおける技能の水準の差異に起因するものである。

なお、第2図の通り、1分あたりの換気量は、エネルギー消費量に差のない踏み台昇降動作で熟練者と未熟練者間に差が認められなかったばかりでなく、エネルギー消費量に差のある投球動作においても、両群間に差がなかった。このことから、各種の球技におけるあらゆる投球動作すべてにわたって、投球距離が等しければ常に、その際のエネルギー消費量に熟練者と未熟練者で差があっても、1分あたりの換気量は両者に差がないと結論づけることはできない。しかし、少なくとも本研究の被験者におけるバスケットボールのチェストパスでは、同じ

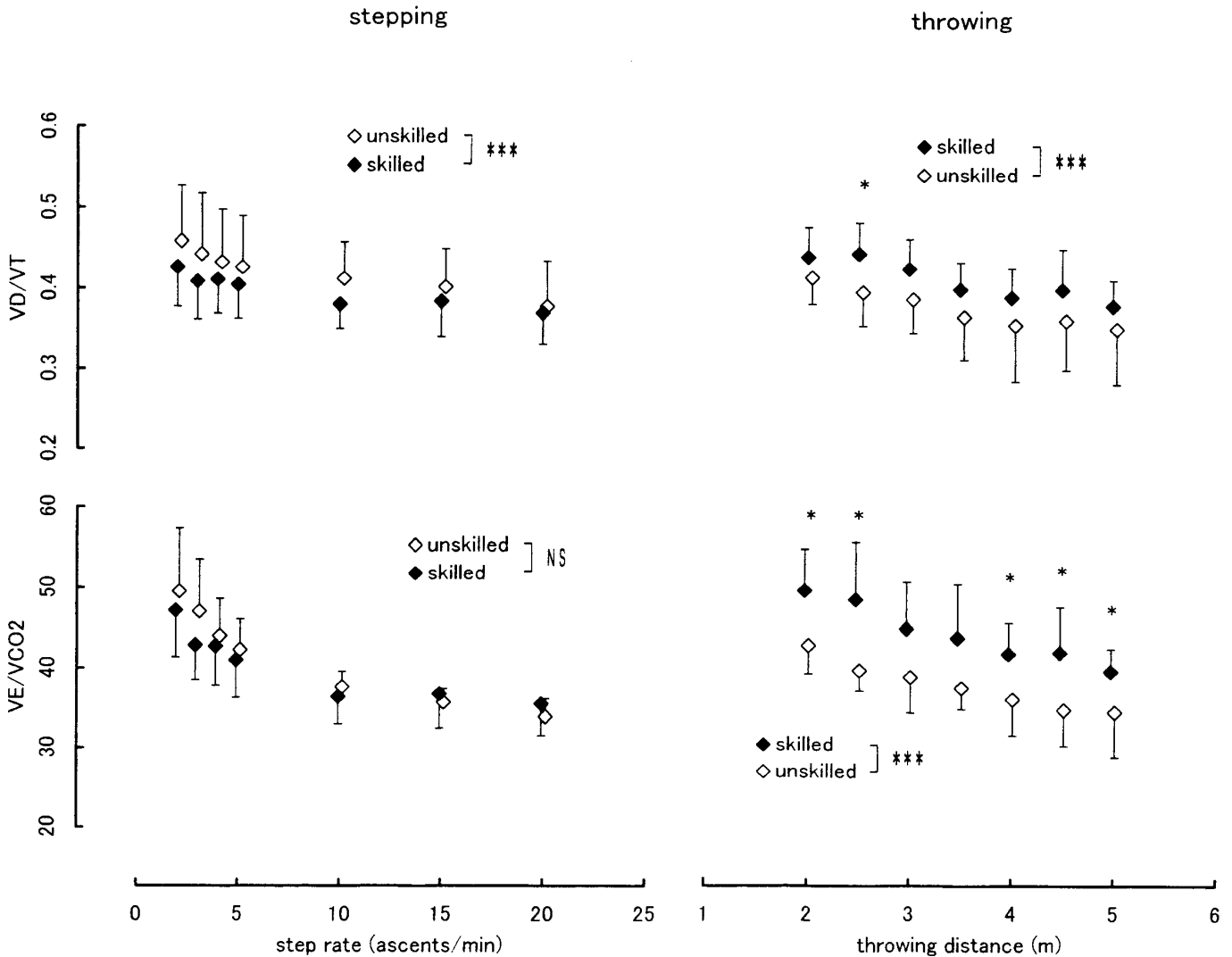


Fig.6 The ratio of dead space to tidal volume, and the ratio of ventilation to carbon dioxide production at stepping and throwing. At stepping, V_d/V_T of skilled players was significantly less than that of unskilled players. At throwing, both VE/V_{CO_2} and V_d/V_T of skilled players were larger than at unskilled players.

投球距離では1分あたりの換気量も等しいという結果が得られた。これは、この動作においては、同じ投球距離どうして両群間の比較をすれば、それによって同じ1分あたりの換気量における動作の比較ができることを意味する。

すなわち、第2図上段の1分あたり換気量と下段の一回換気量について、踏み台昇降動作では、両群間で同じ昇降頻度すなわち同じ1分あたりの換気量では、一回換気量も両群間で等しかったが、投球動作に関しては、両群間で1分あたりの換気量が等しくても、一回換気量は熟練者のほうが、有意に小さかった。熟練者の投球動作において、1分あたりの換気量は未熟練者と等しく、一回換気量は小さいという結果は、当然1分あたりの呼吸数が多いこと、すなわち一回呼吸時間が短いことを意味する。

第3図は、一回呼吸時間、吸気時間、および呼気時間であるが、投球動作における吸気時間には両群間で差が

ないので、熟練者の一回呼吸時間が短いのは、呼気時間が短いためであることが示された。このことは、熟練者は吸気において未熟練者より少ない量に同じ時間をかける、すなわちゆっくり息を吸うことを意味するものでもある。

第4図は、踏み台昇降動作と投球動作それぞれについて、横軸を昇降頻度あるいは投球距離、すなわち1分あたりの換気量ではなく、ともにエネルギー消費量とし、これと一回呼吸時間との関係を見たものである。上段の踏み台昇降動作においては、熟練者と未熟練者の回帰直線の切片に有意差がなく、すなわちエネルギー消費量には差がないが、勾配には有意差のあることが示された。すなわち、昇降頻度の増加にしたがってエネルギー消費量が増加するにつれ、一回呼吸時間の短縮して行く割合は、熟練者のほうが大きかった。一方、下段の投球動作では、切片すなわちエネルギー消費量には、第1図に同様の、両群間に有意差が認められたが、勾配、す

なわち投球距離の増加によってエネルギー消費量が増加するにつれ、一回呼吸時間の短縮して行く割合は、両群間に差がなかった。投球動作においては、動作の頻度は両群とも1分間に15回と一定であり、第4図下段の通りその際エネルギー消費量が増加しても、一回呼吸時間の短縮して行く割合は、両群間に差がなかったため、踏み台昇降動作において、第4図上段の通り昇降頻度の増加にしたがってエネルギー消費量が増加するにつれ、一回呼吸時間の短縮して行く割合に両群間で差を生じた理由は、エネルギー消費量の増加によるものではなく、昇降頻度の増加によるものである。

すなわち、踏み台昇降動作における一回呼吸時間は、バスケットボールの熟練者のほうが未熟練者より昇降頻度の影響を受けやすい。これは、バスケットボールにおいて、熟練者では未熟練者と比較し、呼吸のタイミングが動作と密接に結びついて高いパフォーマンスを発揮しており、この学習効果が踏み台昇降動作における呼吸様式に転移して、未熟練者と比較し、昇降頻度が高くなればそれに応じて、一回呼吸時間が影響を受け短縮しやすくなっているためと考えられる。

なお、踏み台昇降動作において、第1図の通り両群間でエネルギー消費量に有意差はなく、第2図の通り1分あたりの換気量、および第5図の通り呼気二酸化炭素濃度ともに有意差がなかった。それにもかかわらず、第5図の通り呼気終末二酸化炭素濃度には有意差が存在した。熟練者の呼気終末二酸化炭素濃度が未熟練者より低いのに、呼気二酸化炭素濃度には差がなかったことについては、一回呼吸中における流速の変化や混合静脈血濃度を測定していないので、第5図のように実験結果を提示することができるにとどまり、明確な理由を示すことは不可能である。しかし、熟練者ではバスケットボールのトレーニングによる学習効果が踏み台昇降動作に転移した結果、一回呼吸中における流速の変化が両群間で異なり、これが死腔の容積変化に影響をおよぼした可能性が考えられる。

第6図の死腔一回換気量率 (V_D/V_T) と呼気量二酸化炭素排出量率 (VE/V_{CO_2}) は、いずれも換気の効率を示す^{5, 6, 7, 10, 13)}ものである。まず、踏み台昇降動作においては、 VE/V_{CO_2} に有意差がないにもかかわらず、 V_D/V_T は熟練者のほうが有意に小さかった。ともに換気の効率を示すはずの2つの指標が異なった結果となったのは、次の理由による。すなわち、死腔一回換気量率 (V_D/V_T) は、呼気終末二酸化炭素濃度 (ET_{CO_2})、呼気二酸化炭素濃度 (F_{ECO_2})、吸気二酸化炭素濃度 (F_{ICO_2}) の値を用いて、

$$V_D/V_T = (ET_{CO_2} - F_{ECO_2}) / (ET_{CO_2} - F_{ICO_2})$$

として計算されるが、 F_{ICO_2} は大気中では無視できるので、

$$V_D/V_T = (ET_{CO_2} - F_{ECO_2}) / ET_{CO_2} = 1 - F_{ECO_2} / ET_{CO_2}$$

と示される。したがって、もし F_{ECO_2} が同じであれば、 ET_{CO_2} が大きいほど、 V_D/V_T の値は大きくなる。実際、第5図上段および前述の通り、 F_{ECO_2} は両群で差がなく、 ET_{CO_2} は未熟練者のほうが大きかった。一方、 VE/V_{CO_2} は、 F_{ECO_2} の値が同じであれば、 ET_{CO_2} が異なってもその影響は受けないので、第6図の通り、踏み台昇降動作においては差がなかったわけである。

投球動作においては、第5図下段の通り、同じ距離すなわち同じ1分あたりの換気量においては、 F_{ECO_2} 、 ET_{CO_2} ともに未熟練者のほうが高く、第6図右側の通り死腔一回換気量率 (V_D/V_T)、呼気量二酸化炭素排出量率 (VE/V_{CO_2}) ともに熟練者のほうが大きかった。すなわち、熟練者は効率の低い換気をすることが明らかとなった。これは、熟練者の一回換気量が小さいことに起因するものである。バスケットボールのチェストパス¹¹⁾における投球動作の機械的効率については、サッカー^{12, 13)}、およびハンドボール¹⁴⁾にも見られる通り、技能の高いほうが効率も高いのであるが、同じ動作の換気効率については、技能の高いほうが効率の低い呼吸をする理由は、次のように考えられる。すなわち、熟練者では呼吸のタイミングが動作と密接に結びついて高いパフォーマンスを発揮しており、換気の効率よりパフォーマンスのほうが優先されるためである。ただし、持久力が勝敗を決するような局面についても同様であるかどうかは、本研究における実験結果からは明らかでない。なお、熟練者の換気効率が投球動作において未熟練者より低く、踏み台昇降動作においてそうでなかったことは、これがバスケットボールにおける技能の水準の差異に起因することを示すものである。

要 約

バスケットボールの熟練者群と未熟練者群に、チェストパスの距離漸増投球動作、および対照実験として頻度漸増踏み台昇降動作を行わせ、呼気を分析した。投球動作では、熟練者のほうがエネルギー消費量が小さいのに、1分あたりの換気量には両群間に差がなく、一回換気量は熟練者のほうが小さかった。また、熟練者のほうが一回呼吸時間が短く、これは吸気時間ではなく、呼気時間が短いためであった。

死腔一回換気量率 (V_D/V_T) と呼気量二酸化炭素排出量率 (VE/V_{CO_2}) は、いずれも換気の効率を示すものであるが、投球動作においてはともに熟練者のほうが大きく、熟練者は効率の低い換気をすることが明らかとなった。これは、熟練者の一回換気量が小さいことに起因するものであるが、熟練者は呼吸のタイミングを動作と密接に結びつけて高いパフォーマンスを発揮しており、その際、換気の効率よりパフォーマンスのほうが優先される結果であると考えられた。

文 献

- 1) 浅見俊雄, 戸莉晴彦 (1968) サッカーのキック力に関する研究. 体育学研究 12(4), 267-272
- 2) 浅見俊雄 (1973) 巧みさーその実験的研究ーサッカーの技術にみられるPhysical Resources と Performance との関係, 体育の科学 23(5), 300-304
- 3) Asami T., H. Togari, T. Kikuchi, N. Adachi, K. Yamamoto, K. Kitagawa, and Y. Sano (1976) Energy efficiency of ball kicking, Biomechanics V., University Park Press, 135-140
- 4) Bohr, C. (1891) Ueber die Lungenatmung, Scand Arch Physiol 2, 236-268
- 5) Carter R. and S. W. Banham (2000) Use of transcutaneous oxygen and carbon dioxide tensions for assessing indices of gas exchange during exercise testing, Resp Med 94, 350-355
- 6) Clark, A. L., A. J. S. Coats (1993) Relationship between ventilation and carbon dioxide production in normal subjects with induced changes in anatomical dead space, Eur J Clin Invest 23, 428-432
- 7) Cooper, D. M., M. R. Kaplan, L. Baumgarten, D. Weiler-Ravell, B. J. Whipp, and K. Wasserman (1987) Coupling of ventilation and CO₂ production during exercise in children, Pediatr Res 21, 568-572
- 8) Coyle, E. F., M. E. Feltner, S. A. Kautz, M. T. Hamilton, S. J. Montain, A. M. Baylor, L. D. Abraham, and G. W. Petrek (1991) Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance, Med Sci Sports Exerc 23 (1), 93-107
- 9) Coyle, E. F., L. S. Sidossis, J. F. Horowitz, and J. D. Beltz (1992) Cycling efficiency is related to the percentage of Type I muscular fibers, Med Sci Sports Exerc 24(7), 782-788
- 10) Habedank, D., I. Reindl, G. Vietzke, U. Bauer, A. Sperfeld, S. Glaeser, K. D. Vernecke, and F. X. Kleber (1998) Ventilatory efficiency and exercise tolerance in 101 healthy volunteers, Eur J Appl Physiol 77, 421-426
- 11) 松原周信, 菊地紀子 (1999) バasketボールの Chestパスにおける技能の水準と機械的効率の関係 京府大学報 人・農 51, 5-13
- 12) 鈴木久雄 (1980) 投げの運動の効率 体育の科学 30(5), 354-355
- 13) Wait, J. (1986) Cardiopulmonary stress testing A review of noninvasive approaches, Chest 90(4), 504-510