

バスケットボールのチェストパスにおける 技能の水準と機械的効率の関係

松原周信*・菊地紀子**、***

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

CHIKANOBU MATSUBARA* and NORIKO KIKUCHI**、***

Abstract: To investigate the relationship between skill level and mechanical efficiency concerning chest pass of basketball, 2 kinds of exercise were executed to the target on the wall by 5 skilled and 5 unskilled players. Throwing frequency was increased at one exercise, and the distance to the target was increased at the other exercise gradually at each 3 minutes, respectively. During the exercises energy expenditure was measured by analysis of expired gas, and external work i.e. kinetic energy of the ball which was given by subjects was calculated with video tape recording. Overall delta efficiency of skilled and unskilled players were not different significantly at both 2 exercises. This was caused by the reason that internal work was small but ball speed was large at skilled players. Hitting probability of unskilled players was decreased with the increase in throwing distance, but that of skilled players was maintained up to about 5 m. In this range, net efficiency of skilled players was significantly higher than that of unskilled players. The difference was supposed to be derived from mastery of the throwing skill.

(Received September 10, 1999)

身体活動における効率については、アームクランク運動と自転車エルゴメータにおける効率を比較した Kang ら¹⁰⁾の報告、自転車エルゴメータにおける定常状態運動中の速度と仕事率に関する Gaesser ら⁷⁾の報告、筋運動の効率に関する Whipp ら¹⁹⁾の報告、自転車競技者について、与えられた仕事率で自転車運動中の酸素消費量とエネルギー消費量の関係が、I型筋線維の割合の影響をうけるという Coyle ら⁶⁾の報告、同じく自転車運動において、持久的なトレーニングはI型筋線維の割合に影響をおよぼすという Coyle ら⁵⁾の報告がある。これらは、運動形態あるいは運動構造や筋繊維の組成が筋収縮の

効率的に影響することをあきらかにしたものであるが、直接的に技能の水準と効率の関係をみたものではない。

技能と効率については、陸上競技に関するいくつかの報告^{8,9,15,20)}があるが、球技に関しては多様な種目が存在するにもかかわらず、あまり多くの報告はみられない。サッカーに関し、キックにおいて、エネルギー効率が高いことは単にエネルギーの使い方が巧みであるだけでなく、正確さというパフォーマンスの面からも巧みであることを意味するという浅見²⁾の報告、筋の発揮するパワーとボールのスピードの間には有意な相関があり、この関係を効率の面からとらえることで技術の習熟度を客観

* 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

** 京都府立大学生活科学部食物学科健康科学研究室

Laboratory of Health Science, Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Living Science, Kyoto Prefectural University

*** At present; Athletic Training Department, School of Health and Human Performance, Indiana State University.

的にとらえることができるという浅見と戸莉¹⁾の報告、同じく効率が技能の尺度となるという Asami ら³⁾の報告があるものの、他の種目については、ハンドボールの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とする鈴木¹⁶⁾の報告がある程度にとどまる。バスケットボールについては、その動きの巧みさの基礎となるいくつかの能力は、トレーニングによって向上させることができるとする吉井²¹⁾の報告などはあるものの、今までのところ技能の水準と効率の関係についてのまとまった報告はみられない。その理由は、バスケットボールにおいては、陸上競技などの種目と違い多くの球技同様、結果におよぼす偶然の作用の比重が高いため、用いられる運動を正しく分析し、その結果に基づき、トレーニングによって技能の向上をはかっても、それがただちに競技力の向上としてはあらわれにくいいためである¹³⁾と思われる。

しかし、このことによって、バスケットボールにおいては、技能と効率には関係がない、あるいは効率の向上は競技力の向上に結びつかないと結論づけることは妥当でない。ただし、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できない。ところで、バスケットボールで行われる様々な動作のうち、チェストパスはこの種目における代表的な運動形態であると同時に、遠投能力、正確さいずれにおいてもそこで重要な要素は技能である。すなわち、必ずしも大きな筋力を必要とせず、さらに筋持久力、最大酸素摂取量、最大酸素負債量、柔軟性など技能以外の要素の関与が小さい^{4,14)}。それゆえ、この動作を取り上げ、熟練者と未熟練者がそれぞれこの運動を行う際のエネルギー消費量とボールの運動エネルギーを測定し、効率を計算した。また、ボールの速度と命中確率を技能水準別に比較し、効率との関係について検討した。

なお、効率（機械的効率）とは、エネルギー入力すなわちエネルギー消費量に対する、エネルギー出力すなわち物理的仕事の割合であるが、入力を、安静時のエネルギー消費量からの増加分とするのが純効率、負荷なしでの動きにおけるエネルギー消費量からの増加分とするのが作業効率、負荷の増加に対するエネルギー消費量の増加分とするのがデルタ効率で、それぞれ次の式で表される¹⁰⁾。

$$\text{Net efficiency} = \frac{\text{power output}}{\text{energy expended above that at rest}} \times 100$$

$$\text{Work efficiency} = \frac{\text{power output}}{\text{energy expended above exercising without a load}} \times 100$$

$$\text{Delta efficiency} = \frac{\text{power output}}{\text{delta energy expended}} \times 100$$

方 法

[被験者]

被験者は、バスケットボールの熟練者と未熟練者5人ずつの女性計10人とした。その特徴は第1表の通りで、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	unskilled	all
	mean ± SD	mean ± SD	mean ± SD
number	5	5	10
height (cm)	161.2 ± 4.60 ^{NS}	157.5 ± 5.70	159.1 ± 5.36
weight (kg)	52.6 ± 4.51*	49.4 ± 4.22	51.0 ± 4.45
age (years)	22.2 ± 1.92 ^{NS}	21.8 ± 1.10	22.0 ± 1.49
$\dot{V}O_{2\max}^1$ (ml/kg/min)	38.8 ± 6.29 ^{NS}	35.5 ± 10.5	37.1 ± 8.36
career ²⁾ (years)	9.6 ± 2.30**	0 ± 0	4.8 ± 5.29
MTL ³⁾ (m)	10.28 ± 1.32*	7.00 ± 0.52	8.64 ± 2.02

¹⁾ estimated by the result of submaximal step test

²⁾ number of years as a basketball player

³⁾ maximal throwing length of chest pass

[運動負荷]

被験者には、ステップテストと2種類の投球動作を行わせた。これら3種類の実験は、それぞれ別の日に実施した。ステップテストは、高さ35cm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分毎に漸増させた。1分当たり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125cm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。2種類の投球動作のうち一方は頻度漸増投球動作で、まず被験者に投球可能な最大の力でチェストパスの遠投動作を10本行わせ、後半5回分について、ボールが手から離れた時の足の位置からボールが床に着いた位置までの距離を平均し、その50%を、続く実験における被験者から標的までの距離とした。その後じゅうぶんに休息させた後、投球距離は固定したままで、頻度を1分間に2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30回の順に漸増させ、3分間ずつ投げさせた。他方は距離漸増投球動作で、投球頻度を1分あたり15回に固定し、距離は2mから始め、3分ごとに50cm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、一定の時間間隔ご

とに方形波を出力し、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。なお、被験者が2種類の投球動作を行っている様子を、第1図に示した通りビデオカメラ (SONY CCD-TR900) で撮影し、後に述べる方法によって、ボールあるいは被験者の移動速度を求めた。また、ボールが標的に命中すると、100V40Wの電球が100msの間点灯する装置を製作し、これをビデオの画面に写し込んで、各被験者における命中確率を求めた。

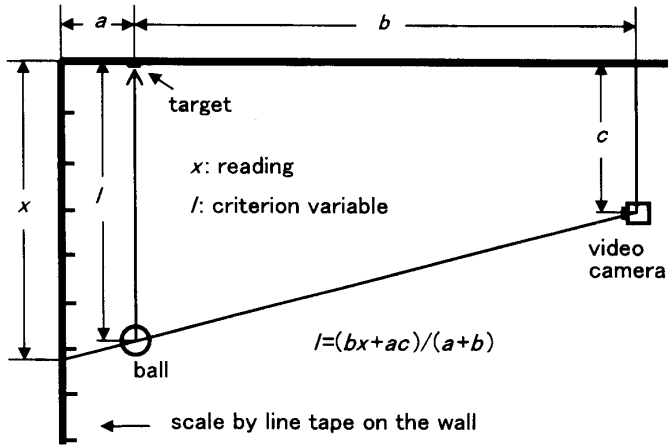


Fig.1 The method to record the movement of the ball on videotape. The video recording was played back, and each x was read from pictures. Then each real throwing length l was calculated with the equation placed in this figure.

3種類それぞれの実験においていずれも、心拍1拍ごとに電気信号を発する機能を持った心電計(日本光電 Life Scope 6)を用いて心拍数を、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)を用いてエネルギー消費量を測定し、データを1分ごとに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、エネルギー消費量が定常状態に達したデータとして採用した。

[エネルギー出力の測定]

ボールの初速度は、ビデオテープに収録した画面からコマ数(number of frames)を数えることによって求めたが、なるべく誤差を小さくするため、水平成分と鉛直成分に分け、次の方法によって計算した。なお、ビデオカメラは1秒間に30コマ撮影するので、1コマあたりの時間は30分の1秒である。また、ボールの速さが小さく、その質量は比較的大きいことより、空気の抵抗がボールの軌跡に与える影響は無視し得るので、ボールは放物線を描くとみなした。

実験後、ジョグシャトル付きのビデオデッキ (SONY EV-NS9000) を用いビデオテープをコマ送り再生し、

まず、標的面と直角をなす壁面につけた目盛りから、ボールが画面上で被験者の手を離れた位置を読みとって、第1図における壁面までの距離 x を求めた。目盛りは、20cmごとにラインテープを貼り付けたもので、読みとりの分解能は5cmとした。同じ図に示されている a , b , c は予め実測しておき、この値をもとにボールが手から離れてのち実際に移動した距離 l を計算した。なお、 a はできるだけ小さく、 b はできるだけ大きくし、 $a + b$ はほぼ体育館の競技用フロアの1辺の長さとした。つぎに、ボールが壁面に達するまでのコマ数 n_1 を数えた。この間の時間を t_1 、水平方向の初速度を V_x とすると、ボールは水平方向には等速運動をするので $V_x = l/t_1$ 、また $t_1 = (1/30) \times n_1$ であることより、初速度の水平成分は、次の式で表される。

$$V_x = \frac{30}{n_1} \times l \quad (1)$$

また、ボールが放物線の頂点に達するまでのコマ数 n_2 を、分解能0.5コマの精度で数えた。この間の時間を t_2 、鉛直方向の初速度を V_y とすると、放物線の頂点では鉛直方向の速さは0となるので $V_y - gt_2 = 0$ であり、また $t_2 = (1/30) \times n_2$ であることより、初速度の鉛直成分は、次の式で表される。

$$V_y = \frac{9.8}{30} \times n_2 \quad (2)$$

(1)および(2)式で得た V_x , V_y を合成してボールの初速度 V_0 を求め、さらにボールの重量 $m = 600(g)$ を次の(3)式に代入して、被験者がボールに与えた運動エネルギー E_k を求めた。

$$E_k = \frac{1}{2} m V_0^2 = \frac{1}{2} m (V_x^2 + V_y^2) \quad (3)$$

これは、投球動作1回あたりの物理的仕事量である。そこで、次の(4)式の通りそれらを1分間の投球回数分積算し、被験者が1分あたりになした外的仕事を計算した。

$$\text{External work} = \sum E_{ki} \quad (4)$$

[体幹の前進速度の測定]

また、距離漸増投球動作において、各被験者ごとの、ボールが壁面まで届く最大の距離において、ボールが手を離れる1秒前から5コマごとの腰の位置を壁の目盛りから読み取り、ボールの初速度の水平成分を求めたと同様の方法で、5コマずつにおける腰の前進速度を計算した。

結 果

第2図は、3種類の動作におけるエネルギー消費量と

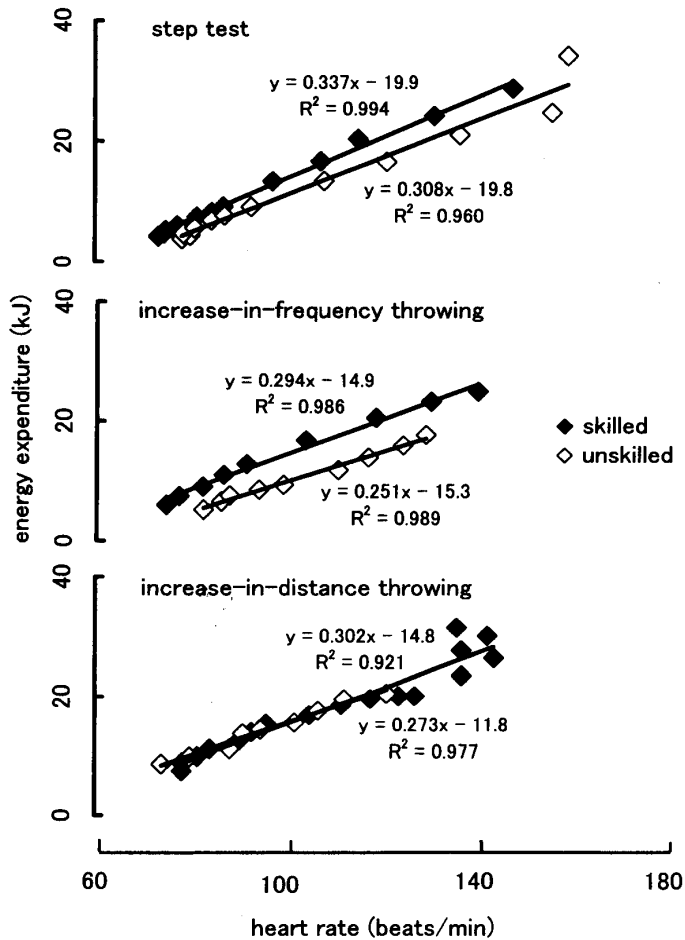


Fig.2 Relationship of energy expenditure on heart rate during step test, increase-in-frequency throwing, and increase-in-distance throwing. Significant difference of the slope was not observed between skilled and unskilled players at each exercise.

心拍数の関係を示したものである。回帰直線の勾配は、ステップテストでは熟練者が337 J/bpm, 未熟練者が308 J/bpm, 頻度漸増投球動作では熟練者が294 J/bpm, 未熟練者が251 J/bpm, 距離漸増投球動作では熟練者が302 J/bpm, 未熟練者が273 J/bpmで、いずれの動作においても、熟練者と未熟練者の間に有意差はなかった。それぞれの実験において、被験者10人全員のエネルギー消費量と心拍数をプロットしたグラフにおいて、ステップテストと頻度漸増投球動作, ステップテストと距離漸増投球動作, 頻度漸増投球動作と距離漸増投球動作で回帰直線の勾配を比較したところ、すべての組み合わせについて有意差は存在しなかった。

第3図は、仕事量とエネルギー消費量の関係を示したものである。このグラフは、横軸がエネルギー消費量、縦軸が物理の仕事量なので、直線の勾配は、エネルギー消費量の増加分のうちどれだけが物理の仕事量に変換されたかというデルタ効率の平均値を意味する。この平均値は、ステップテストでは熟練者が22.9%, 未熟練者が19.0%, 頻度漸増投球動作では熟練者が6.18%, 未熟練者が7.15%, 距離漸増投球動作では熟練者が2.96%, 未

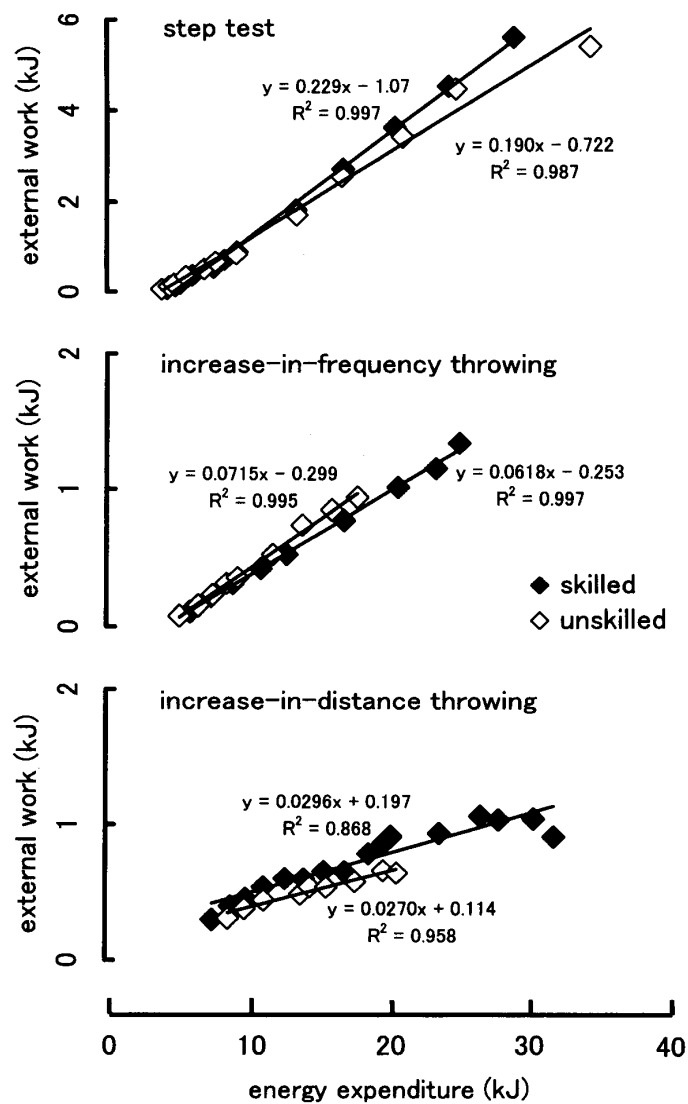


Fig.3 Relationship of external work on energy expenditure at step test, increase-in-frequency throwing, and increase-in-distance throwing. The slope of each regression line indicates overall delta efficiency. Significant difference of the slope was not observed between skilled and unskilled players at each exercise.

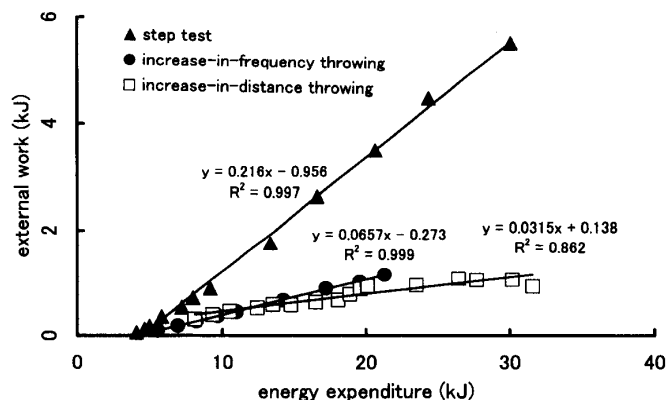


Fig.4 Relationship of external work on energy expenditure of both skilled and unskilled subjects at step test, increase-in-frequency throwing, and increase-in-distance throwing. Significant difference of the slope was observed one another between 3 exercises.

熟練者が2.70%であった。いずれの動作についても熟練者、未熟練者で勾配に有意差は存在しなかった。さらにこのデータを被験者全員で平均し、縦軸を同じスケールにしたものが第4図である。勾配つまりデルタ効率の平均値は、ステップテストが21.6%，頻度漸増投球動作が6.57%，距離漸増投球動作が3.15%であった。これら3者相互にいずれも有意差が存在した。

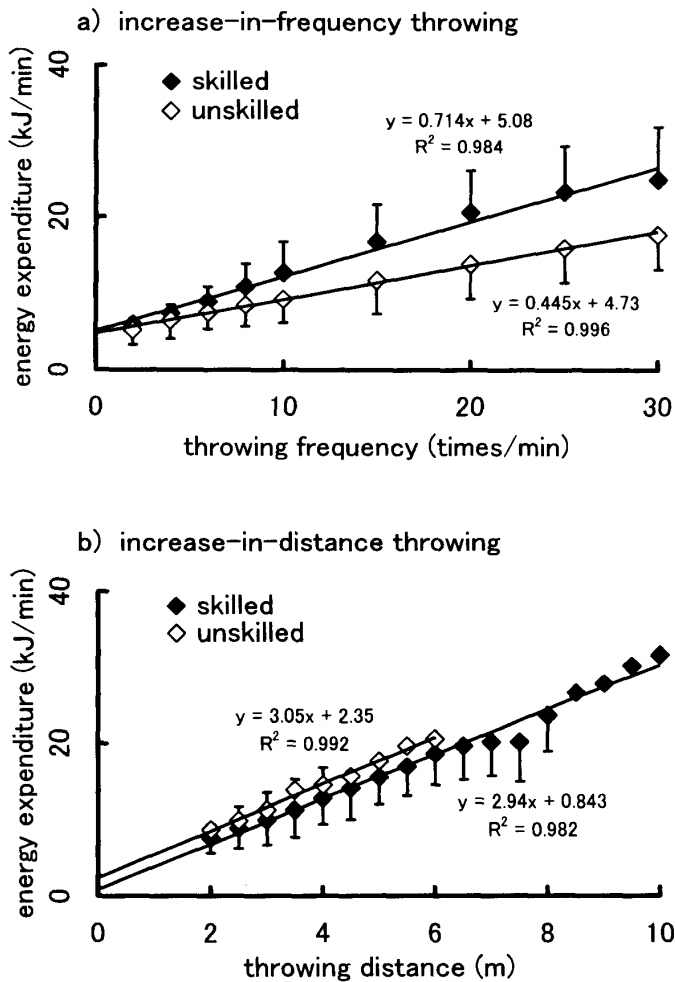


Fig.5 Relationship of energy expenditure on throwing frequency at increase-in-frequency throwing and on throwing distance at increase-in-distance throwing. The intercept of the regression line was expected to indicate energy expenditure of each exercise without a load. But the values of increase-in-distance throwing were far smaller than those of resting metabolic rate.

第5図は、頻度漸増投球動作および距離漸増投球動作における、投球頻度または投球距離とエネルギー消費量の関係を、熟練者、未熟練者それぞれの平均値と標準偏差において示したものである。上段の頻度漸増動作においては、熟練者、未熟練者いずれにおいてもほぼ直線的な関係にあり、回帰直線の切片は、頻度0 times/minの際のエネルギー消費量を示すものと考えられる。下段の距離漸増動作においては、熟練者、未熟練者いずれにおいてもデータは全体としてほぼ直線上に載るものの、回帰直線からやや離れる箇所もみられ、また切片が投球距

離0 mにおけるエネルギー消費量を示すとすれば、その値は熟練者で0.843kJ/min、未熟練者で2.35kJ/minとなり、いずれも安静時のエネルギー消費量をかなり下

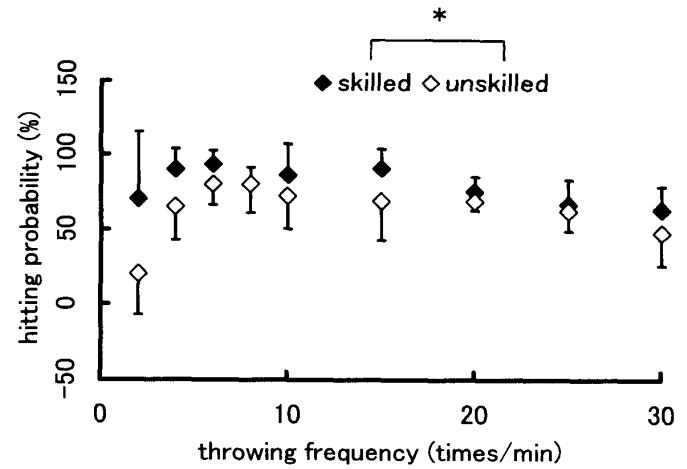


Fig.6 Relationship between hitting probability and throwing frequency at increase-in-frequency throwing. Throwing distance of skilled players was longer than that of unskilled players. But mean value of hitting probability of skilled players was significantly larger than that of unskilled players.

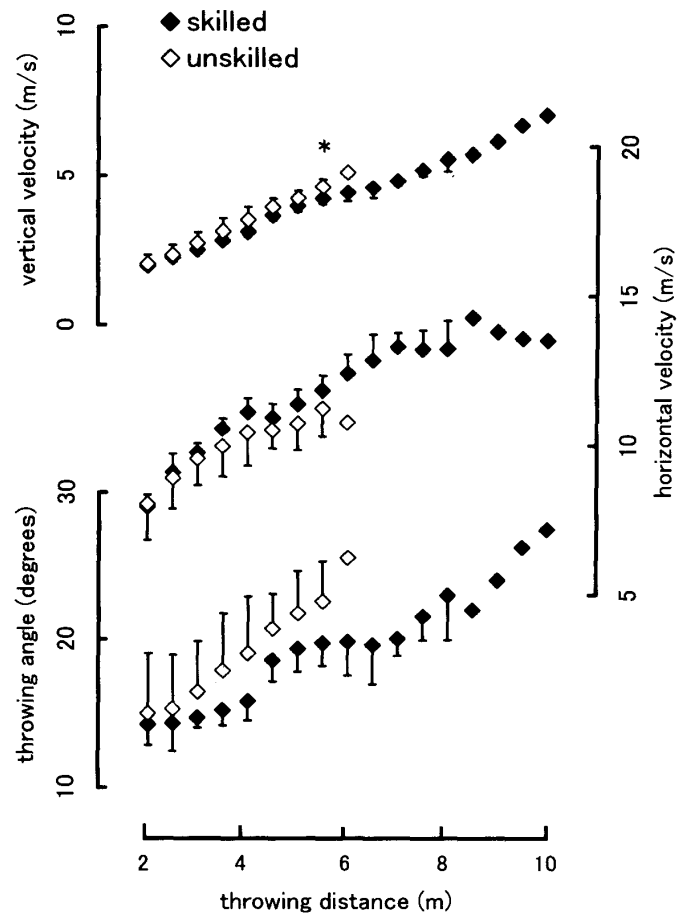


Fig.7 Changes of vertical and horizontal velocity of the thrown ball and throwing angle caused by increase in throwing distance. From 5 to 7 m at skilled players, horizontal velocity increased remarkably due to the change of throwing movement structure. * indicates $p < 0.05$.

回り、現実にはあり得ない数値となった。

第6図は、頻度漸増投球動作における各段階の命中確率を平均した値と標準偏差を示したものである。この動作では、熟練者も未熟練者も、遠投能力に対し同じ50%の距離から投げるので、熟練者の方が遠い距離から標的をねらうこととなった。それにもかかわらず、各頻度ごとに対応する2組の平均値として検定すると、熟練者の方が1%水準で有意に高い命中確率であった。また、全体としては、命中確率の平均値と標準偏差は、熟練者が79.4 ± 11.7%，未熟練者が62.6 ± 9.26%で、両者の平均値には5%水準で有意差がみられた。

第7図は、距離漸増投球動作におけるボールの鉛直および水平方向の初速度、ならびに投射角度（仰角）の平均値と標準偏差を示したものである。熟練者では、5m以降距離の増加にともなって水平方向の初速度は著しく増加し、鉛直方向の初速度は、始めは距離の増加に伴って増加するが、5～7mでは停滞気味になり、それ以降また増加した。投射角度は、熟練者では、5mから7mあたりまでほとんど変化しなかったが、7m以降は距離の増加にともなって角度も増加した。未熟練者では、距離の増加にともない投射角度は一貫して増加した。

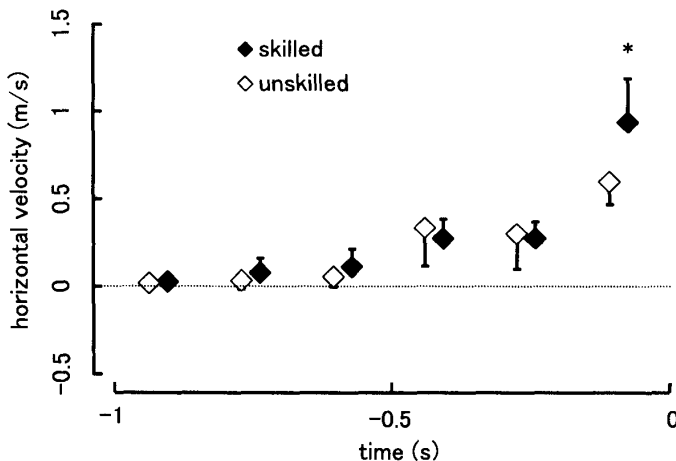


Fig.8 Horizontal velocity of the waist of subjects during throwing movement at maximal throwing length. The data were plotted at each 5 frames of videotape before 1 s from the release of a ball. Significant difference was observed only at -0.17 to 0 s.

第8図は、距離漸増投球動作の最大距離において、ボールが手から離れる前1秒間の腰の水平方向の前進速度の平均値と標準偏差を、ビデオの5コマ毎に示したものである。熟練者と未熟練者の間には、最後の5コマ、すなわち約0.17秒間においてのみ、有意差が認められた。

第9図は、距離漸増投球動作における命中確率と純効率の平均値と標準偏差を示したものである。命中確率は、熟練者では5mあたりまで高い確率を示し、その後直線的に減少した。未熟練者は始めから距離の増加にともなって確率も直線的に減少した。両者の間には、3.5mから5.5mにおいて有意差が認められた。純効率は、未熟

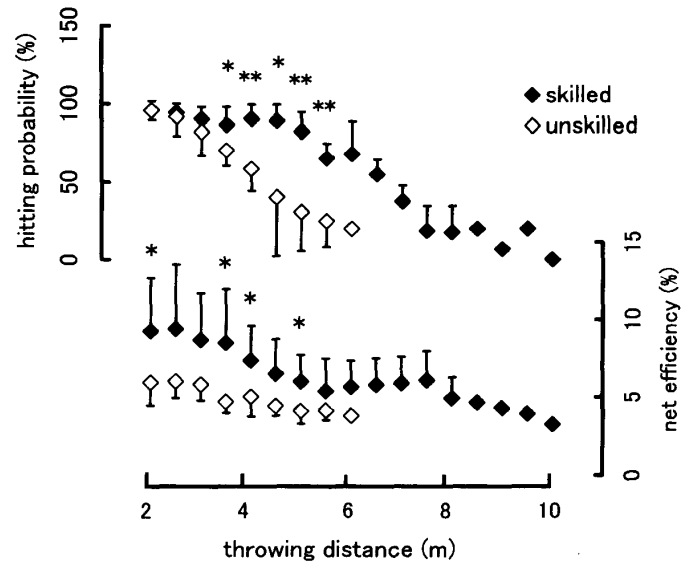


Fig. 9 Hitting probability and net efficiency at increase-in-distance throwing. * and ** indicate $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

練者のデータが得られた2mから6mまでの範囲において、各距離ごとに対応する2組の平均値として差を検定すると、0.01%水準で熟練者の方が有意に高かった。各距離では、2, 3.5, 4, 5mにおいて両者に5%水準の有意差が存在した。最大値が出現した距離は、熟練者、未熟練者いずれも2.5mで、その時の純効率の平均値と標準偏差は、それぞれ9.36 ± 4.15%，および5.98 ± 1.08%であった。

考 察

ボールの初速度を求めるに際し、これを水平成分と鉛直成分に分けて取り扱い、その後合成した。これによって、水平成分についてはボールの移動する全距離、全時間にわたって計測することができ、誤差がきわめて小さくなった。鉛直成分については、ボールの移動距離はわずかなので、これを測定する場合には、かなり大きな誤差を生ずる。しかし、ボールが最高点に達するコマ数は、きわめて正確に数えることができた。さらに、バスケットボールのチェストパスにおいて、ボールの移動する速度は、数ある球技の中でかなり遅いほうであり、また被験者の腰の動きは、四肢の先端付近などくらべればこれもかなり遅いので、特に高速度撮影の可能なビデオカメラを使用する必要はなく、1秒間に30コマ撮影する一般のビデオカメラで十分に目的を達することができた。

第2図に示したエネルギー消費量と心拍数の関係において、被験者全員の回帰直線の勾配に、3種類の動作相互に有意差はなかった。この勾配は酸素脈を意味するが、これは一回拍出量を反映するものである。このことから、少なくともこの3種類の動作において今回負荷した強度に関するかぎり、一回拍出量は、運動の種類には無関係

であること、さらに、図に決定係数の値を示した通り相関が高いことより、運動の強度にも無関係であることが明らかとなった。このことは、ここで採用した運動様式と強度に関するかぎり、心拍数が、上肢を使用するかどうか^{11,18)}にかかわらず、運動強度によってのみ決定されることを意味するものでもある。すなわち、心臓を含む循環系におけるエネルギー消費量は、運動の種類とは無関係に運動強度によってのみ決定され、したがって全身における効率に影響を与えることはないと考えられる。

第3図において、仕事量のエネルギー消費量への回帰直線の勾配には、熟練者と未熟練者の間に、いずれの身体活動においても有意差が存在しなかった。ステップテストの効率に差がなかったことは、もし両群間の投球動作の効率に差があれば、それは投球技能の差によるものであって、筋繊維の組成など技能以外の理由によるものではないことを示すものである。投球動作の効率に差がなかったことに関しては、その理由は以下のように考えられる。熟練者では、第7図の通り投射角度が小さく、したがってボールの速さが大きいので、消費するエネルギーが大きい。しかしボールの運動エネルギーに変換されない無駄な動作である内的仕事に消費されるエネルギーは小さい。反対に未熟練者では、ボールの投射角度が大きく速さは小さく、したがって消費するエネルギーは小さいが、内的仕事に消費するエネルギーが大きい。このため、効率は熟練者でも未熟練者でも類似した値となる。しかし、熟練者と未熟練者では、最大努力で投げることが可能な距離が異なっており、同じ距離で比べると、第9図の通り効率に有意差が存在した。これは、技能の水準によって、ボールの運動エネルギーという外的仕事に変換されないエネルギー消費量に差異があることによるものである。

第4図において、頻度漸増投球動作と距離漸増投球動作では、同じバスケットボールのチェストパスであるにもかかわらず、仕事量のエネルギー消費量への回帰直線の勾配に有意差が認められた。その理由は以下のように考えられる。一般に、筋そのものの収縮効率は、収縮速度によって異なる。また、全身での効率は、内的仕事と外的仕事の割合によって異なる。頻度漸増投球動作の場合、1回1回の投球動作の構造は変化せず、単に仕事率が増加していただけなので、デルタ効率は変化しない。これに対し、距離漸増投球動作では、負荷の増大にともない筋の収縮速度が変化し、さらに投球フォームも変化する。したがって、デルタ効率の平均値は、頻度漸増投球動作におけると異なって当然である。さらに、筋収縮の効率や内的仕事と外的仕事の割合は、運動負荷に正比例するとはかぎらないので、負荷の変化にしたがいデルタ効率が変化することも当然あり得る。ステップテストと2種類の投球動作でデルタ効率の平均値が異なったのも、身体活動の種類が異なるので、当然のことである。

ところで、一般に運動負荷の変化にともなう効率の変化を示すには、デルタ効率を用いるのが適当である。しかし、デルタ効率の平均値ではなくその個々の値の大小は、純効率や作業効率の大小と必ずしも一致せず、動作が経済的に遂行されているかどうかの指標としては不適當である。なお、負荷の変化に対する効率値の応答は、純効率より作業効率の方が直接的である。しかし、作業効率の計算には、無負荷での動作におけるエネルギー消費量の値を、測定または推定しなければならず、一般にこれが困難ないし不可能な場合が少なくない。

頻度漸増投球動作の際は、頻度が増加しても投球距離は変わらないので、1回ごとの投球動作は、疲労の影響などが無いものと仮定すれば基本的には変化せず、したがって1分あたりのエネルギー消費量は増加しても、投球1回あたりのエネルギー消費量は変化しないものと考えられる。それゆえ、第5図a)における回帰直線の切片は頻度0 times/minにおけるエネルギー消費量を示すものである。なお、この図において熟練者のエネルギー消費量の方が大きいのは、投球距離が長いからである。距離漸増投球動作においては、各負荷水準における投球距離が熟練者も未熟練者も等しいので、両者のデータを比較すれば、技能の水準と効率等の関係が示されると考えられる。なお、距離漸増動作においては、距離が変化すれば、それに応じて投球動作の運動構造も変化する。そのため、第5図b)における回帰直線の切片は、距離0 mにおける投球動作の際のエネルギー消費量を示すものであるとはいえない。したがって、この値をもとに作業効率を計算することはできない。それゆえ、熟練者と未熟練者の比較には、第9図に示した通り純効率の値を用いた。

第6図の結果は、野球のボール投げにおいて、投球距離の、最大能力での遠投距離に対する割合が等しければ、熟練者と未熟練者の間に命中確率の差はない¹⁷⁾という報告の結果とは一致しなかった。その理由は、未熟練者においてチェストパスは、オーバーハンドスローとくらべて平素類似の動作を行うことが少ないこと、および本研究においては被験者が女性のため、熟練者と未熟練者の差が大きかったためであると考えられる。いずれにしても、いかなる場合にも、最大能力での遠投距離に対する割合が等しかりさえすれば、技能の水準にかかわらず命中確率に差はないということとはできないことがあきらかとなった。

第7図において、熟練者では、5 mから7 mでボールの投射角度がほとんど変化しないのは、投球動作が主として上肢の伸展に依存するものから、脚の踏み込みに始まり全身を使う動作に変化し、これによってボールの初速度が増加するためであり、未熟練者では5.5 mあたりの距離が投球可能な限界になっているのは、熟練者のように、下半身に始まり最後に身体全体を大きく前進させ、この運動エネルギーを上肢を介してボールに伝える技能

を有さないためであると考えられる。そこで、熟練者と未熟練者の投球動作の外的な違いを検討するため、距離漸増投球動作における、投球可能な最大距離での腰の前進速度を第8図に示した。ボールが手から離れる0.17秒前までは両者に有意差がないのに対し、0.17秒から0秒では有意差が存在したが、この理由は、両者の投球方法の違いにあると考えられる。ビデオの画面を観察したところ、熟練者は、距離が遠くなれば軸足を固定し、反対側の脚を後ろに引き、その脚を前に踏み込むことによってボールを投げていたが、未熟練者は、体全体を両足ごと前進させて投げていた。さらに、第7図では、熟練者においても7mを越えるとボールの速さは限界に近づき、投射角を増加させることによって遠くまで投げるようになることが示された。

第9図において、熟練者の命中確率が5mあたりまで高い確率を維持し、また同時に未熟練者と有意差を生じているのは、このあたりの距離でチェストパスを行うことに習熟しているためであると考えられる。純効率における未熟練者との差も、やはり習熟度の差に起因するものと考えられる。なお、6mから7.5mにおいて効率が增加しているのは、7m以降では投射角度の増加もあずかっているものの、主として、第7図、第8図に示されていた通り、運動の構造が全身を使う動作様式に変化したことによるものと考えられる。なお、この技能は、命中確率とも関係する。すなわち、全身を正しく使うことが安定した投球動作には不可欠で、腕だけで投げると分散の幅が大きくなってしま¹²⁾からである。

さらに、距離漸増投球動作において、デルタ効率の平均値には熟練者と未熟練者の間に有意差はみられなかったが、同じ距離同士で比較した場合、純効率は熟練者の方が有意に高かった。つまり、熟練者における正確な運動とは、目標に正確な運動であるだけでなく、経済的な仕方でも目標への道程をたどる、経過に正確な運動でもある¹²⁾。

熟練者と未熟練者の間で、身長には有意差がなかったが、体重は熟練者の方が有意に大きかった。しかし、両群間の命中確率と効率の差が、技能ではなく体重の差によるものである可能性は、次の通り否定される。まず、命中確率については、体重の大きいことが有利に作用するとは考えられない。効率については、体重が大きければ、安静時のエネルギー消費量も、体を動かすために増加するエネルギー消費量も大きいので、効率が低くなることはあっても、高くなることはありえない。

一般に、持久的なスポーツ種目においては、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種目にあっては、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。バスケットボールの場合、持久力が不必要ではないにしても、重要な要素は技能や筋のパワーなどであり、身体活動の効率が、競技力を直接的に左右するとは考えられ

ない。それにもかかわらず、バスケットボールのチェストパスにおいて、技能が高ければ効率も高いことが明らかとなった。

このことは、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⁾という実験結果が、バスケットボールのチェストパスにもあてはま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、A5判大の標的に向かってチェストパスを行わせ、これをビデオカメラで撮影した。その際、頻度漸増投球動作と、距離漸増投球動作の2種類を、別々の日に行わせた。このとき、ボールが標的に命中すると電球の点灯する装置を画面に写し込んで、命中確率を求めた。

ボールの速度は水平成分と鉛直成分に分け、ビデオの画面のコマ数を数えることによって初速度を求め、これをもとに被験者がボールに与えた運動エネルギーを計算した。同時に呼気を分析し、エネルギー消費量を測定した。両者の値をもとに、効率を求めた。

2種類の投球動作におけるデルタ効率の平均値は、いずれにおいても両群に有意差がなかった。その理由は、次のように考えられる。熟練者では投射角が小さく、従ってボールの速さは大きく、そのために消費するエネルギーも大きい。ボールの運動エネルギーに変換されない無駄な動作である内的仕事に消費されるエネルギーは小さい。未熟練者では両者ともこの逆なので、結果として、デルタ効率の平均値は、技能の水準に依存しない。

頻度漸増投球動作においては、ボールの運動エネルギーの頻度への回帰直線より、無負荷、すなわち頻度0回/分におけるエネルギー消費量を求めることができたが、距離漸増投球動作においては、同様の方法で距離0mにおけるエネルギー消費量を求めることはできなかった。

投球可能な最大距離での腰の前進速度は、ボールが手から離れる0.17秒前までは両群間に有意差がなく、0.17秒から0秒では有意差が存在した。この理由は、未熟練者は熟練者のように、下半身に始まり最後に身体全体を大きく前進させ、この運動エネルギーを上肢を介してボールに伝える技能を有さないためであると考えられる。

距離漸増投球動作は、両群とも同じ距離から投げるので、このときの命中確率と純効率を求めて比較した。その結果、熟練者の方が命中確率が高く、効率も高かった。

文 献

- 1) 浅見俊雄, 戸荻晴彦(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 Per-

- formance 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) Bunn, J. W. (1955) *Scientific Principles of Coaching*, Second Edition, Analysis of Basketball Techniques, Prentice Hall Inc., 244-262
 - 5) 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
 - 6) 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
 - 7) Gaesser G. A., and G. A. Brooks (1975) Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate, *J. Appl. Physiol.* 38(6), 1132-1139
 - 8) Kaneko, M., A. Ito, T. Fuchimoto, and J. Toyooka (1981) Mechanical work and efficiency of young distance runners during level running. In *Biomechanics VII-B*. Morecki A, K. Fidelus, K. Kedzior, and A. Wit (ed.) Baltimore, University Park Press, 234-240
 - 9) Kaneko, M., T. Fuchimoto, A. Ito, and J. Toyooka (1983) Mechanical efficiency of sprinters and distance runners during constant speed running. In: *Biomechanics VIII-B*. H. Matsui and K. Kobayashi (eds.), Champaign, Ill, Human Kinetics Publishers, 754-756
 - 10) Kang, J., R. J. Robertson, F. L. Goss, S. G. Dasilva, R. R. Suminski, A. C. Utter, R. F. Zoeller, and K. F. Metz (1997) Metabolic efficiency during arm and leg exercise at the same relative intensities, *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 29(3) 377-382
 - 11) Lind, A. R. and G. W. McNicol (1967) Circulatory responses to sustained hand-grip contractions performed during other exercise, both rhythmic and static, *J. Physiol.*, 192, 595-607
 - 12) Mainel, K. 著 金子明友訳(1960) スポーツ運動学 大修館書店, 236-248
 - 13) 佐々木茂, 川井浩, 細川磐(1965) キネシオロジーによる新体育・スポーツ選書2 バスケットボール 学芸出版社, 9-14
 - 14) Scott 著 宮畑虎彦訳(1953) 運動の力学 不味堂書店, 197-202
 - 15) Stuart, M. K., E. T. Howley, L. B. Gladden, and R. H. Cox (1981) Efficiency of trained subjects differing in maximal oxygen uptake and type of training, *J. Appl. Physiol.*, 50, 444-449
 - 16) 鈴木久雄(1980) 投げの運動の効率 体育の科学 30(5), 354-355
 - 17) 豊島進太郎(1975) 投げるリズム 体育科教育, 23(11), 36-39
 - 18) Vock, Z., H. Bell, E. Bautz-Holter, and K. Rodahl (1975) Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing, *J. Appl. Physiol.*, 39, 54-59
 - 19) Whipp, B. J. and K. Wasserman (1969) Efficiency of muscular work., *J. Appl. Physiol.*, 26(5) 644-648
 - 20) Williams, K. R. and P. R. Cavanagh (1983) A model for the calculation of mechanical power during distance running, *J. Biomechanics*, 16(2), 115-128
 - 21) 吉井四郎(1973) バスケットボールにおける技術の巧みさについて 体育の科学, 23(5), 305-307