

サッカーのキック力に関する バイオメカニクス的研究

東京大学 戸 莉 晴 彦
(共同研究者) 東京都立大学 磯 川 正 教
東京大学 大 橋 二 郎
上 智 大 学 大 串 哲 朗
日大桜丘高校 米 田 浩

Biomechanical Study of Kicking Power in Soccer

by

Haruhiko Togari*, Masanori Isokawa**, Jiro Ohashi*,
Tetsuo Ohgushi***, Hiroshi Yoneda****

* *University of Tokyo, Faculty of General Education,
Department of Physical Education*

** *Tokyo Metropolitan University*

*** *Sophia University*

**** *Nihon University Sakuragaoka Highschool*

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the relation between the isokinetic strength and the ball speed, which has not yet been studied. In addition the relation between the ball speed and the muscle strength was analysed when the kick was done explosively with a small swing range while changing the approach distance of the supporting leg.

The subjects are 14 males having experience in soccer, including 3 players of the National team level.

The muscle strength was measured with Cybex II, the leg being extended while sitting on a chair. The measurements were done for the isometric strength and the isokinetic strength with measuring speeds of 300, 240, 180, 120 and 60 degrees per second. The maximal speed of

the ball kicked with the instep was measured by means of photocells. The approach distance was varied in 7 levels: no step, 30, 60, 90, 120, 150cm and no restriction (the maximal distance).

The results are as follows;

- 1) A high correlation ($r=0.935$) was seen between the isometric strength and the ball speed. It indicates that the leg extension power is an important factor of the instep kick.
- 2) Significant correlations were seen between the isokinetic strength and the ball speed at the respective measuring speeds. The correlation coefficient was relatively high ($r=0.886$) at the low speed of 60 degrees per second, and low ($r=0.682$) at the high speed of 300 degrees per second. It shows that the ball speed is greatly influenced by the low-gear power.
- 3) The dynamic strength was found to be necessary for an explosive kick at the small approach distances (no step and 30cm).
- 4) The players of the National team level were superior in the isometric strength, the isokinetic strength and the ball speed. They tended to have a higher ball speed even if their muscle strength was equal to that of other subjects.

I. 緒 言

これまでに、インステップキックの研究は kinematic, kinetic の両面から数多く行われてきた。しかしこれらの研究のうち、physical resources と performance の関係については、浅見と戸苅¹⁾、浅見たち²⁾、戸苅たち³⁾など 2, 3 の報告がみられるにすぎない。

浅見と戸苅¹⁾は脚伸展力、脚伸展パワーとボールスピードの関係を求め、相関の高いことを報告した。そして特に、熟練者と未熟練者の間には異なった回帰直線がひかれるとし、それは技術の差を表わしているであろうと結論した。

浅見たち²⁾は、前記のものと研究手法はほぼ同様であるが、脚伸展パワーの測定に前者が慣性車輪法を用いたのに対し、この報告では、最大パワーを求めるために荷重負荷法を用いた。結果は、

physical resources と performance の間には高い相関関係があったとしている。また、physical resources が同じ場合は、技能の程度が高いほどすぐれた performance を発揮する傾向がみられたとしている。

このように、インステップキックにより蹴りだされたボールの速度は、蹴り足の筋パワーなどに基本的には依存していることを示している。しかし、physical resources が同一の場合は、熟練者の方がすぐれた performance を示すので、キックの技術的な面もボールの速度に与える因子として重要であることを示している。

これまでの研究報告は、いずれもキックを最もやり易い状態に設定して得た結果である。つまり、ゲーム中に行われるキックはその目的に同じ、早く、しかも力強く行わねばならないことが多い。特に日本の選手たちは試合の場面で、小さ

いスイングで explosive なキックができないという指摘がしばしばなされている。

そこで本研究は、これまでに検討されなかった等速性筋出力とボールスピードの関係を検討するとともに、踏み込み距離を変化させ、鋭い、小さなスイングのキックを行ったときのボールスピードについても分析を試みた。そして、これらの結果から、physical resources がいかに performance にかかわりをもつかを技術の関連も含め検討し、指導上の一助とすることを研究の目的とした。

II. 方 法

被検者はサッカーの組織的トレーニングの経験のある男子14名で、この中には日本代表選手クラスのもの3名含まれている。年齢の幅は22歳から45歳までである。実験は、昭和57年8月から10月までで、東京大学教養学部体育館で行った。

等速性筋出力については、サイベックス II (Lumex 社製) を用い、アイソキネティックな筋出力を測定した。測定は椅座位による脚伸展動作で、測定速度は 300, 240, 180, 120, 60°/sec で、各3回行い、最大値をとった。また、等尺性筋力はサイベックスを用い、膝角度を120度にし、最大努力で脚伸展動作を行い、測定した。

ボールスピードは、光電管によるスピードメータを用い、エレクトロニックカウンターに接続し、標示される値を読み取る方法を用いた。

同時に、フォームの分析などの目的で、16mm 映画撮影 (64 fps) を行った。

キックの方法は、立ち足をボールの横に置く no step, 立ち足をボールの接地点から手前に30, 60, 90, 120, 150cm の地点に位置し、そこから一步助走で踏み込んで行う方法で各5回の試行を行った。また、助走距離、踏み込み距離を任意にとって行う方法 (以下 max という) で、10回の試行を行い、最大値を個人の値とした。なお、被

検者のうち6名については、max と踏み込み距離 60cm における蹴り足の筋電図を、表面電極誘導法により記録した。導出した筋は大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋である。

III. 研究結果

1) 筋出力とボールスピード

サイベックスを用いて測定した最大等尺性筋力、最大等速性筋出力と、最大努力でインステップキックを行ったときのボールスピード (max) の結果は、表1に示すとおりである。

等尺性筋力および等速性筋出力とボールスピードの関係については、各測定速度での最大筋出力と最大ボールスピードを二つの変数とし、その結果を図1から図6に示した。

相関係数は、300°/sec $r=0.682$, 240°/sec $r=0.832$, 180°/sec $r=0.810$, 120°/sec $r=0.821$, 60°/sec $r=0.886$, 等尺性筋力 $r=0.935$ で、それぞれ相関係数の有意性は 300°/sec の5%を除いて0.1%水準で有意であった。

相関係数からみると、等尺性筋力と 60°/sec という低速度で比較的高い相関が認められ、300°/sec という高速度では相対的に低い相関がみられた。

また、日本代表クラスの3名は等尺性筋力、等速性筋出力、ボールスピードともすぐれた傾向を示した。

2) 踏み込み距離を変化させた場合のボールスピード

踏み込み距離を変化させた場合のボールスピードは、表2に示すとおりである。

no step から max まで踏み込み距離が大きくなるほどボールスピードは大になる傾向がみられた。また、日本代表の3名はいずれの踏み込み距離でもボールスピードはすぐれていた。max のときのボールスピードを100とした場合の各踏み込み距離の割合をみると、距離が大きくなるほど

表1 等尺性筋力, 等速性筋出力およびボールスピードの測定結果

Subj.	Isometric Strength (Nm)	Isokinetic Strength (Nm)					
		60	120	180	240	300°/sec	ball speed (m/sec)
M. I.	179	168	152	133	110	89	23.2
J. O.	187	148	134	111	107	79	24.3
T. T.	233	230	229	179	142	121	26.3
H. T.	167	159	136	118	95	81	22.7
H. Y.	150	144	132	103	84	69	22.7
K. H.	179	144	127	110	94	80	22.7
T. S.	254	220	195	163	134	107	26.3
S. W.	199	195	186	153	127	103	25.6
T. O.	194	187	149	126	99	61	25.3
E. I.	140	122	117	122	91	73	21.2
T. K.	214	169	167	133	114	92	25.6
K. T.*	266	220	191	179	138	114	31.2
S. T.*	255	241	225	160	133	100	30.3
Y. U.*	268	233	201	163	133	103	29.4
Mean	206.1	184.3	167.2	139.5	114.4	90.9	25.5
S. D.	42.93	39.15	37.21	26.13	19.86	17.82	3.04

* 日本代表クラス選手

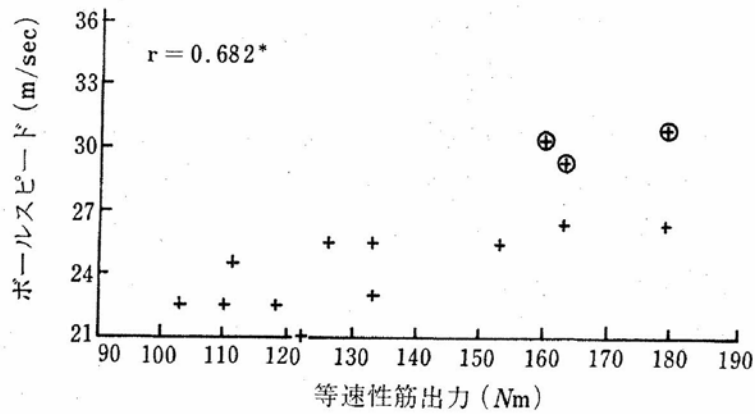


図1 筋力とボールスピードの関係 (300°/sec)
注) ⊕印は日本代表選手を示す

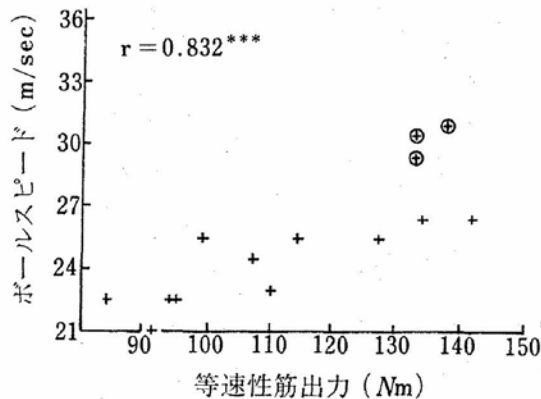


図2 筋力とボールスピードの関係 (240°/sec)

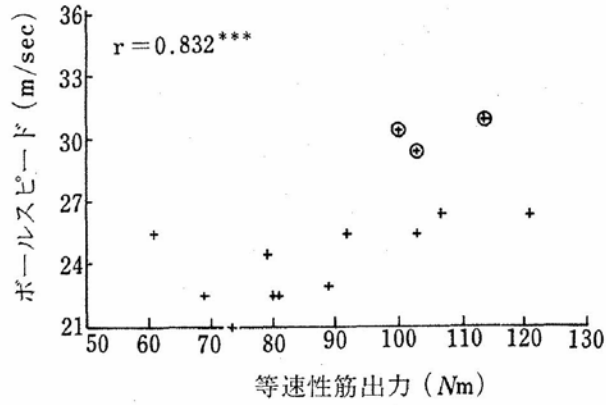


図3 筋力とボールスピードの関係 (180°/sec)

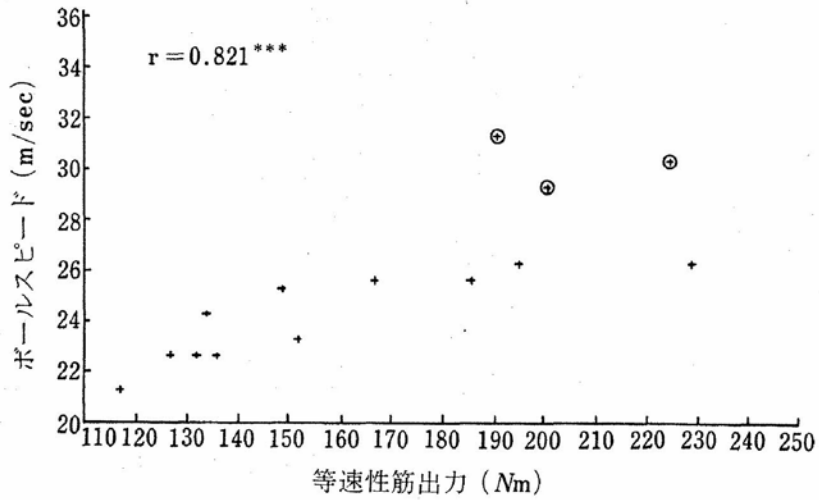


図4 筋力とボールスピードの関係 (120°/sec)

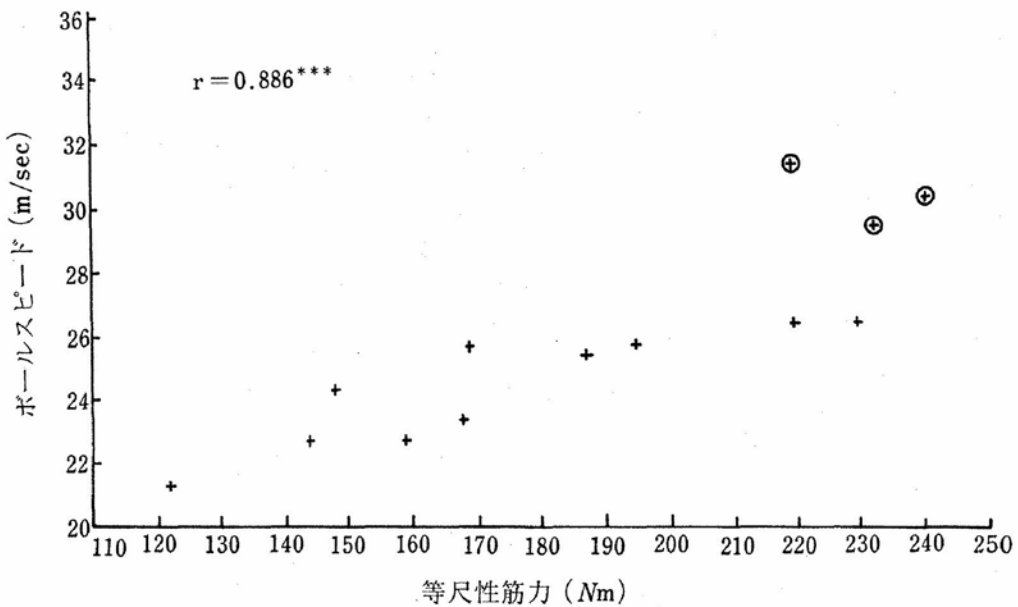


図5 筋力とボールスピードの関係 (60°/sec)

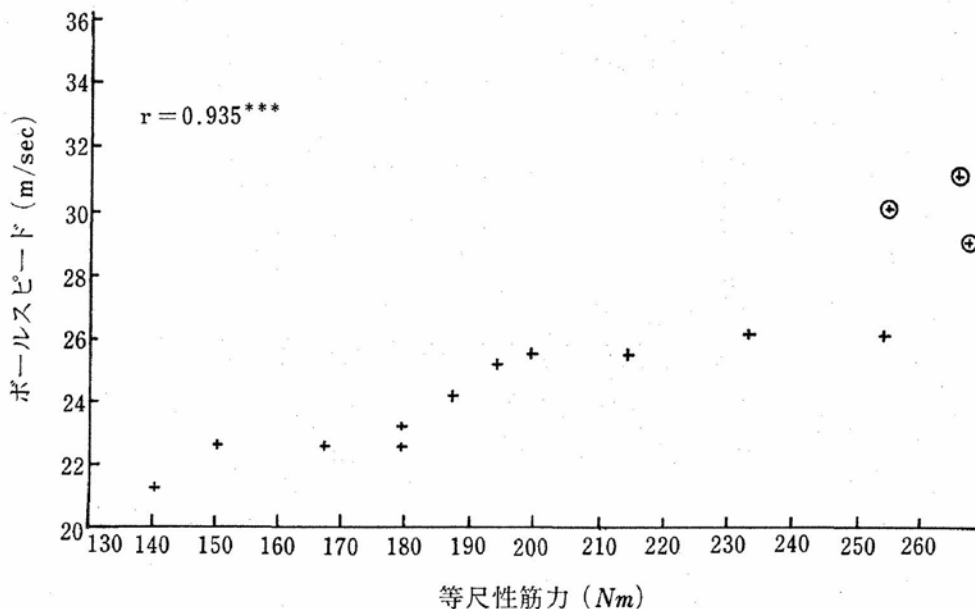


図6 筋力とボールスピードの関係 (等尺性筋力)

max に近づく傾向がみられた。

次に、等速性筋出力と各踏み込み距離で得られたボールスピードの関係についてみると、表3のとおりである。

踏み込み距離がない no step、距離が相対的に大きい 150cm および max と各測定速度との相関係数では、比較的高い傾向がみられたが 60, 90, 120cm の中間的距離では、比較的速い測定速度との相関が低かった。

測定速度側からみると、等尺性筋力および60°/sec は、各踏み込み距離との間に有意な相関係数が得られたが、300°/sec は max との間のみ有意な相関係数がみられるだけで、他の踏み込み距離との間では低い相関がみられたに過ぎなかった。

意な相関係数がみられるだけで、他の踏み込み距離との間では低い相関がみられたに過ぎなかった。

表2 踏み込み距離を変えたときのボールスピード

	n	Mean	S. D.
no step	14	17.0m/sec	2.42
30cm	14	18.0	2.10
60	14	19.2	2.05
90	14	20.1	1.87
120	14	21.1	1.68
150	14	22.2	2.33
free (max)	14	25.5	3.04

表3 踏み込み距離と筋力の関係

	Isometric Strength	Isokinetic Strength				
		60	120	180	240	300°/sec
no step	0.707**	0.651*	0.566*	0.542*	0.542*	0.383
30cm	0.729**	0.615*	0.501	0.533*	0.535*	0.389
60	0.657*	0.605*	0.528	0.484	0.483	0.343
90	0.643*	0.569*	0.517	0.538*	0.496	0.372
120	0.605*	0.545*	0.462	0.469	0.440	0.299
150	0.773**	0.702**	0.620*	0.639*	0.617*	0.505
max	0.935***	0.886***	0.821***	0.810***	0.832***	0.682*

数字は相関係数を示す。 * 5%, ** 1%, *** 0.1%

3) 踏み込み距離と筋電図

踏み込み距離を自由にさせ最大ボールスピードでキックしたときと、助走距離を 60cm にしたときの 2 条件における筋電図を、表面誘導法により記録した (図 7)。

これによると、max と 60cm の間にははっきりした違いは認められなかった。しかし、個人差は認められ、例えば大腿直筋は、インパクトまでは脚伸展のために急激な放電があるが、インパクト後には 60cm で 3 名に放電がみられなかった。

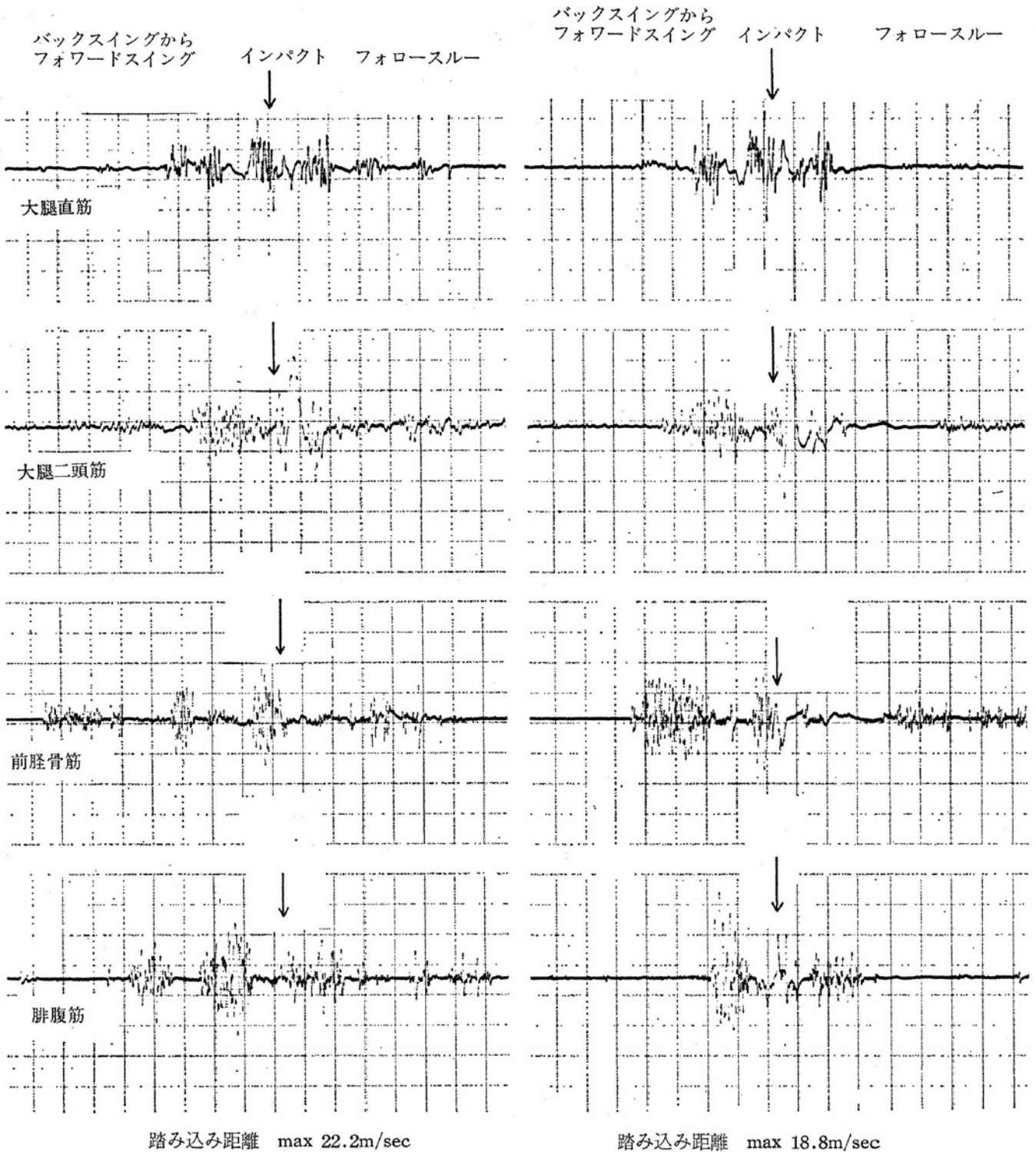


図 7 筋電図の一例 一被検者 H.Y.-

また、前脛骨筋については、60cm でインパクト後に放電がみられるものと、みられないものがあった。

IV. 論 義

これまで、筋パワーとボールスピードの間の関係はかなり高いものであると報告されてきたが、本研究で検討した等尺性筋力とボールスピードの間にも、かなり高い相関関係が認められた。浅見たち²⁾の報告によると、椅座位による膝角度90°の脚伸展力とボールスピードの間には、 $r=0.86$ という相関係数があったとしている。この値と本研究の結果を比較すると、椅座位ではあるが膝関節を120°にし、しかもサイベックスによる測定で得たトルク値、つまり等尺性筋力とボールスピードの間の相関係数は $r=0.935$ で、浅見たちの結果よりもかなり高いものであるといえる。

このことは、これまでに論議されてきたインステップキックに関連した physical resources はパワーであるという理論と、戸苅たち³⁾の報告にみられるように、発揮されるパワーの要素のうち、脚のスイングスピードがかなり大きな影響もっているという理論に加え、脚伸展力も重要な要素であることがはっきりした。つまり、脚伸展力はキック力の客観的資料になりうることをかなりはっきり示しているといえる。

これまで、動的な脚伸展力を実験室的にとらえることは困難であったが、サイベックスの出現により、等速性筋出力という形で測定が可能になった。そして、このサイベックスによる測定の特徴の一つは、測定速度が変えられる利点のあることである。本研究で用いたサイベックスIIは、300°/sec から60°/sec まで測定可能であり、このうち先にものべたように実験には300, 240, 180, 120, 60°/sec の5種類の速度を用いた。その結果として得られた等速性筋出力とボールスピードの関係は、各測定速度で有意な相関が認めら

れた。このことは、等速性筋出力は等尺性筋力やパワーと同様に、ボールスピードには大きな影響を持っていることを意味している。

この測定速度を高速度、低速度という観点から、ボールスピードとの関係を検討してみると、低速度である60°/sec が $r=0.886$ と最も高く、高速度である300°/sec が $r=0.682$ と最も低かった。

同じような手法で検討を加えた浅見と戸苅¹⁾、滝井たち⁴⁾はパワーの場合、軽い負荷より重い負荷の方がボールスピードとの相関は高い傾向があると報告している。本実験で得られた結果も60°と300°/sec を比較すると同様の傾向を示した。

このことは、いわゆるロー・ギア・パワーの方がボールスピードとの関係が強いということを示唆しているように考えられる。すなわち慣性車輪の重い負荷、サイベックスでの低速度を用いた運動では、筋の要素が大きいパワーの発揮の条件となり、キック力を高めるためには、こういった身体資源を高めるべきであるといえよう。しかし、240, 180, 120°/sec の測定速度とボールスピードの相関係数はそれぞれ0.832, 0.810, 0.821であることから、全体には必ずしも一定の傾向は認められず、両者の関係については今後更に検討する必要がある。

次に、踏み込み距離とボールスピードの関係であるが、助走距離、踏み込み距離とも自由にしたときの最大踏み込み距離(max)や150cm というmaxに近い状態の場合と各測定速度のトルク値とは、150cm の300°/sec を除き、それぞれ有意な相関を示した。したがって、条件の整ったキックでは、高速から低速まで、速度に関係なく動的筋力と関係があるといえる。

本研究の一つの検討テーマである踏み込み距離がないno step やごく短い30cm における explosive な動作をしたときのキックでは、サイベックスによる最大トルク値とボールスピードの間

では, no step の $300^\circ/\text{sec}$, 30cm の 300° , $120^\circ/\text{sec}$ を除いて, 有意な相関係数が得られた. このことは $300^\circ/\text{sec}$ という高速度で発揮する等速性筋出力を除けば, バックスイングが小さい, 瞬間的に爆発的なキックが要求されるインステップキックには動的な筋力の要素がかなり大きな影響を持っていることを意味する.

すなわち踏み込み距離が小さいキックでは動作が小さく, 脚のスイングスピード³⁾ や腰の移動速度³⁾ をあまり生かせないので, 筋力の要素が大きく影響するものと考えられる.

さらに, こういった踏み込み距離の小さいキックをするときは, 脚筋の作用機序に何らかの特徴がみられるのではないかと考え筋電図を検討してみたが, 結果として個人差が若干みられたものの, はっきりした傾向はみられなかった. しかし, この検討は小さいキック動作としては踏み込み距離 60cm だけであったので, さらに no step, 30cm 時のキックをも対象にして検討するべきだったと思われる. いずれにしろ, 筋の収縮パターンなどに何らかの特徴があると考えられるので, 筋電図学的にさらに詳細な検討が必要とされる.

3名の日本代表クラスの選手たちは, 等尺性筋力, 等速性筋出力およびボールスピードともすぐれた傾向を示した. ただし, 図1から図6までにみられるように, 等尺性筋力, 等速性筋出力が同じでも, ボールスピードは他の選手群より高いレベルにあるような傾向を示した. つまり, この傾向は, 日本代表クラス選手の技術的な優位さを示しているのかも知れない. はっきりした結論を出すには, いま少し被検者数を増やし, 検討を加えてからにすべきであろう.

V. 結 語

本研究は, サッカーのインステップキックにおける performance を規制する因子として, これまでに検討されていなかった等速性筋出力に着目

し, ボールスピードとの関係について若干の検討を行った. その結果は以下のとおりである.

1) サイベックスを用いて測定した脚伸展動作の等尺性筋力とボールスピードについては, $r=0.935$ という高い相関が認められた.

これは, 脚伸展力が熟練者におけるインステップキックの performance を規制する客観的尺度になりうることをかなりはっきりと示していると考えられる.

2) 脚伸展動作の等速性筋出力とボールスピードについては $300, 240, 180, 120, 60^\circ/\text{sec}$ という各測定速度に相関が認められた. なお, 測定速度 $60^\circ/\text{sec}$ という低速度では $r=0.886$ で相対的に最も高い相関係数が, $300^\circ/\text{sec}$ という高速度では $r=0.682$ で最も低い相関係数が得られた.

これは, ボールスピードにはパリー発揮条件としてロー・ギア・パワーの因子がかなり影響しているという傾向を示したといえる.

3) 小さい動作でキックするときの physical resources の因子をみるために, 踏み込み距離を 0 (no step), 30, 60, 90, 120, 150cm と自由 (max) というように変化させたときのボールスピードを等速性筋出力との関係を見た. その結果, no step, 150, max の踏み込み距離と $300^\circ/\text{sec}$ を除く各測定速度の間に有意な相関係数が得られた.

これは, 小さな動作で爆発的なキックをするときは, 動的な筋力がかなり必要であることを示しているといえる.

4) 日本代表クラスの選手は, 等尺性筋力, 等速性筋出力, ボールスピードともすぐれていた. また, 他の被検者と筋出力が同じでも, ボールスピードがすぐれている傾向を示した.

文 献

- 1) 浅見俊雄, 戸苅晴彦; サッカーのキックに関する研究, 体育学研究, 12 (4), 267—272 (1968)
- 2) 浅見俊雄ほか; サッカーのキックにみられるパ

ワーとパフォーマンスとの関係について，身体運動の科学，**1**：147—157（1976）

- 3) 深倉和明ほか；助走スピードがインステップキックのフォームおよびボールスピードに及ぼす影響，福島大学教育学部論集，**30-3**：37—43（1978）

- 4) 瀧井敏郎ほか；サッカーのキックにみられるパワー特性およびパワーとパフォーマンスとの関係について，日本体育学会第30回大会号，213（1979）

- 5) 戸苅晴彦ほか；サッカーのキネシオロジー的研究(1)，体育学研究，**16**(5)，259—264（1972）