

サッカー選手の試合中の生理学的特徴および動きの特徴

中京大学 宮 城 修

(共同研究者) 阪南大学 須 佐 徹太郎

中京大学 北 川 薫

Physiological and Movement Characteristics during a Game of Soccer Players

by

Osamu Miyagi

*Laboratory for Exercise Physiology and Biomechanics
School of Physical Education, Chukyo University*

Tetsutarou Susa

Faculty of business, Hannan University

Kaoru Kitagawa

*Laboratory for Exercise Physiology and Biomechanics
School of Physical Education, Chukyo University*

ABSTRACT

The purposes of this study were to clarify physiological and movement characteristics during a game of soccer players. Ten elite university soccer players, consisting of forwarder (FW), mid-fielder (MF) and defender (DF) participated as the subjects. The subjects were measured for maximum oxygen uptake ($\dot{V}_{O_{2max}}$) and maximum heart rate (HR_{max}) in the laboratory, and oxygen uptake (\dot{V}_{O_2}), heart rate (HR), blood lactic acid (La), movement distance and speed during the game. $\dot{V}_{O_{2max}}$ and HR_{max} were determined by the exhaustive running test using a treadmill. \dot{V}_{O_2} and HR during the game were measured throughout the game using a respective portable apparatus. Movement distance and speed during the game were measured using triangular method. As a results, \dot{V}_{O_2} and %

$\dot{V}_{O_{2max}}$, HR and $\%HR_{max}$, and La during the game were $37.0 \pm 8.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ and $61.9 \pm 13.4\%$, $153.7 \pm 12.1 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ and $79.3 \pm 6.1\%$, and $4.8 \pm 1.7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$, respectively. The energy expenditure during the game were $1140.4 \pm 189.2 \text{ kcal}$ and $0.185 \pm 0.022 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Movement distance during the game were $10777.3 \pm 502.8 \text{ m}$. About seventy percent of the movement distance during the game was covered at below $4 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$. These results suggest that the university soccer players maintained aerobic exercise and anaerobic exercise of high intensity was carried out intermittently during the game.

要 旨

本研究の目的は、サッカー選手の試合中の生理学的特徴および動きの特徴を明らかにすることであった。被検者は大学生サッカー選手10名であり、ポジションがForwarder, Midfielder および Defenderであった。被検者に対し、実験室で最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_{2max}}$) と最大心拍数 (HR_{max})、そしてフィールドで酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2})、心拍数 (HR)、血中乳酸濃度 (La)、移動距離および移動スピードの測定を行った。 $\dot{V}_{O_{2max}}$ と HR_{max} の測定はトレッドミルを用いて、疲労困憊に至るまでの最大運動テストを行った。試合中の \dot{V}_{O_2} と HR の測定は、携帯型の測定装置を用いて一試合を通して行った。試合中の移動距離と移動スピードの測定は三角法を用いて行った。その結果、試合中の \dot{V}_{O_2} と $\% \dot{V}_{O_{2max}}$ が $37.0 \pm 8.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ と $61.9 \pm 13.4\%$ 、HR と $\%HR_{max}$ が $153.7 \pm 12.1 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ と $79.3 \pm 6.1\%$ として La が $4.8 \pm 1.7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。試合中のエネルギー消費量については $1140.4 \pm 189.2 \text{ kcal}$ と $0.185 \pm 0.022 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。また、試合中の移動距離については $10777.3 \pm 502.8 \text{ m}$ であった。そして、試合中の移動距離の約70%が $4 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 以下のスピードであった。以上の結果から、この年代のサッカー選手は試合中に有酸素性の運動を維持しながら、高強度の無酸素性の運動を何度も繰り返し行って

いることが明らかとなった。

緒 言

サッカー選手の試合中の運動強度を \dot{V}_{O_2} を指標にして検討した研究は、これまでにいくつか報告されている^{1, 3, 4, 9, 15, 18}。これらの報告において \dot{V}_{O_2} の測定を直接法で行っているのは、ダグラスバック法を用いたものであり、試合中のある時間帯に約2分から3分間の \dot{V}_{O_2} を測定して、試合中の運動強度を推測している内容である¹⁵。しかし、ダグラスバック法では測定時間の制限とともに、バックの膨らみ具合によって選手の動きを制限するといった問題がある。そのため、試合中の HR から \dot{V}_{O_2} を求める間接法が用いられるようになってきた^{1, 3, 4, 9}。この方法はあらかじめトレッドミル走にて作成した \dot{V}_{O_2} と HR の直線回帰式に試合中に測定した HR を代入して、試合中の \dot{V}_{O_2} を推定している。ただし、 \dot{V}_{O_2} と HR の関係は理論的に運動が定常状態にあり、HR が概ね110から170 $\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$ の範囲にあるときに成立する¹³。しかし、サッカーの試合は定常状態がみられる運動ではなく、試合中にダッシュやジャンプといった高強度の運動が何度も繰り返し行われる間欠的運動である^{14, 20}。これらのことから、これまでに報告されているサッカー選手の試合中の \dot{V}_{O_2} を求めている研究では、得られた値の信頼性に問題があると考えられる。

その一方で、最近では携帯型の酸素摂取量測定装置が開発され、運動中においても簡便かつ的確に \dot{V}_{O_2} を連続して測定することが可能となり、運動生理学の分野でも利用されるようになってきた^{7, 19)}。このような測定装置を用いて、試合を中断することなく一試合を通して選手の \dot{V}_{O_2} の変化を明らかにすれば、選手のトレーニングプログラムの作成にとっての重要な基礎的資料になると考えられる。

そこで、本研究では携帯型酸素摂取量測定装置を用いて、サッカー選手の試合中における \dot{V}_{O_2} の経時的变化を明らかにすること、かつ試合中の選手のHR、La、移動距離および移動スピードについても同時に測定して、サッカー選手の試合中の生理学的特徴および動きの特徴について検討した。

1. 方法

1. 1 被検者

被検者は第44回全国大学サッカー選手権大会に出場した男子大学生サッカー選手10名であり、そのうち6名は東海1部リーグの優秀選手であった。ポジションについてはFowarder（以下、FW）が2名、Midfielder（以下、MF）が4名およびDefender（以下、DF）が4名であった。そのうち、試合中の移動距離と移動スピードの測定は、上述した被検者の中から3名を対象とした。

なお、各被検者には口頭と文書にて実験の主旨、内容および手順を十分に説明して、同意を得たうえで実験を行った。

1. 2 実験室での測定

身体組成は北川らの報告している方法⁸⁾に従い、水中体重秤量法による密度法にて身体密度を求め、Brožekらの式²⁾を用いて体脂肪率（以下、%Fat）を算出し、体脂肪量と除脂肪体重（以下、LBW）を求めた。 $\dot{V}_{O_{2max}}$ の測定はトレッドミルを用いて、速度を3分間ずつ150, 180, 210m・min⁻¹の順に上昇させ、9分以降は速度を210m・mi

n⁻¹のままに固定して、1分ごとにトレッドミルの傾斜角度を2度ずつ上昇させ、疲労困憊に至らせて行った。その際の \dot{V}_{O_2} の測定は、運動中の呼気を30秒ごとに連続的に採取し、熱線式流量計（ミナト医科学社製：RM-300）およびジルコニア素子方式によるガス分析器（ミナト医科学社製：MG-360）を用いて行った。HRの測定はテレメータ送信器（フクダ電子社製：ST17）およびダイナスコープ（フクダ電子社製：DS-502）を用いて、胸部双極誘導法により行った。なお、HR_{max}は $\dot{V}_{O_{2max}}$ の測定時に得られたHRの最大値とした。

1. 3 試合中での測定

試合中の \dot{V}_{O_2} の測定は、携帯型酸素摂取量測定装置（VINE社製：Mac-quarto）を用いて行った。また、得られた \dot{V}_{O_2} からは試合中のエネルギー消費量の算出も行った。その際には呼吸商を0.96と仮定し、 \dot{V}_{O_2} を1l当たり5kcalとした。なお、携帯型酸素摂取量測定装置一式の重量は2.3kgあるが、この重さが \dot{V}_{O_2} とHRに与える影響はほとんどないことが先行研究において報告されている¹⁹⁾。HRの測定は携帯型心拍記録装置（VINE社製：VHMI-102型）を用いて、胸部双極誘導法によって試合中に連続的に記録して行った。Laの測定は、前後半の10, 20, 30, 40および45分目に指先からの採血により行った。採血については、検者が各測定時刻に被検者のプレーしているところの最も近いサイドラインまで行き、被検者をフィールド外に呼び出して採血を行った。採血に要した時間は約17~28秒であり、試合中に被検者が採血のためにフィールドから出ている間は、交代選手が試合人数を補充した。なお、Laの分析は指先より採取した血液を、ただちにラクテートアナライザー（YSI社製：1500sports）を用いて行った。

試合中における選手の移動距離と移動スピードの測定は、Ohashiらの報告している三角法¹⁶⁾により、1名の選手をフィールド外の2カ所から照準器で追うことによってできる三角形の角度変化

を、ポテンショメータの電気信号として連続的に捉えて行った。

なお、試合中の測定については、被検者が所属する大学のレギュラーチームと準レギュラーチームの間の練習試合で行い、1試合につき2名を対象とした。試合時間は90分間であり、ハーフタイムが10分間であった。

2. 結果

2. 1 被検者の身体的特徴

実験室において測定した被検者の身体的特徴については表1に示した。その結果、選手の%FAT

が $9.4 \pm 0.6\%$ 、LBWが $62.19 \pm 4.42\text{kg}$ 、 $\dot{V}_{O_{2\max}}$ が $59.1 \pm 3.1\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ そして HR_{\max} が $193 \pm 2\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。

2. 2 試合中における \dot{V}_{O_2} 、HRおよびLa

試合中に測定した \dot{V}_{O_2} 、HRおよびLaの結果を表2に示した。その結果、試合中における選手の \dot{V}_{O_2} と $\% \dot{V}_{O_{2\max}}$ が $37.0 \pm 8.5\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($13.9 \sim 62.1$)と $61.9 \pm 13.4\%$ ($26.6 \sim 98.2$)、HRと $\% \text{HR}_{\max}$ が $153.7 \pm 12.1\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ($119 \sim 185$)と $79.3 \pm 6.1\%$ ($62.0 \sim 93.8$)、そしてLaが $4.8 \pm 1.7\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ ($3.0 \sim 8.5$)であった。また、図1にはSubj. 4の試合中における \dot{V}_{O_2} 、HRお

表1 Physical characteristics of subjects

Subj.	Position	Height (cm)	Weight (kg)	%Fat (%)	LBW (kg)	$\dot{V}_{O_{2\max}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	HR_{\max} ($\text{beats}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
1	FW	176.4	64.89	9.4	58.79	52.4	192
2	FW	177.9	70.61	9.0	64.26	56.9	191
3	MF	184.4	76.80	9.4	69.58	63.3	193
4	MF	171.1	61.35	8.8	55.95	57.2	191
5	MF	177.5	71.90	10.8	64.13	57.6	196
6	MF	180.3	69.11	9.3	62.68	60.5	195
7	DF	177.5	65.80	9.6	63.17	61.7	192
8	DF	168.0	61.43	9.0	55.90	60.4	192
9	DF	178.0	67.55	10.0	60.80	59.7	196
10	DF	179.3	73.32	9.1	66.65	61.2	193
	Mean	177.0	68.28	9.4	62.19	59.1	193
	S.D.	4.6	5.06	0.6	4.42	3.1	2

表2 \dot{V}_{O_2} and $\% \dot{V}_{O_{2\max}}$, HR and $\% \text{HR}_{\max}$ and La during the game

Subj.	Position	\dot{V}_{O_2} ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\% \dot{V}_{O_{2\max}}$ (%)	HR ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\% \text{HR}_{\max}$ (%)	La ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)
1	FW	31.5 ± 6.9	60.1 ± 13.1	153.8 ± 10.8	80.1 ± 5.6	4.4 ± 0.9
2	FW	40.3 ± 6.7	70.9 ± 11.7	162.6 ± 10.2	85.1 ± 5.3	5.5 ± 1.2
3	MF	44.5 ± 8.4	70.2 ± 13.3	160.7 ± 9.7	83.3 ± 5.0	6.5 ± 1.2
4	MF	41.1 ± 7.4	71.8 ± 12.9	163.5 ± 13.3	83.8 ± 6.8	5.2 ± 0.8
5	MF	42.3 ± 6.9	73.5 ± 12.0	163.9 ± 9.3	83.6 ± 4.8	5.5 ± 1.7
6	MF	36.8 ± 6.4	60.8 ± 10.6	156.1 ± 12.9	80.1 ± 6.6	5.5 ± 1.0
7	DF	33.1 ± 6.3	58.4 ± 11.1	153.4 ± 8.4	79.9 ± 4.4	3.8 ± 0.9
8	DF	32.9 ± 10.7	54.5 ± 17.7	142.2 ± 10.6	74.1 ± 5.5	3.7 ± 0.6
9	DF	36.3 ± 6.7	60.8 ± 11.2	148.5 ± 9.2	75.8 ± 5.1	4.3 ± 1.1
10	DF	32.8 ± 5.6	59.7 ± 10.2	152.0 ± 7.5	78.7 ± 3.9	4.0 ± 0.9
	Mean \pm S.D.	37.0 ± 8.5	61.9 ± 13.4	153.7 ± 12.1	79.3 ± 6.1	4.8 ± 1.7

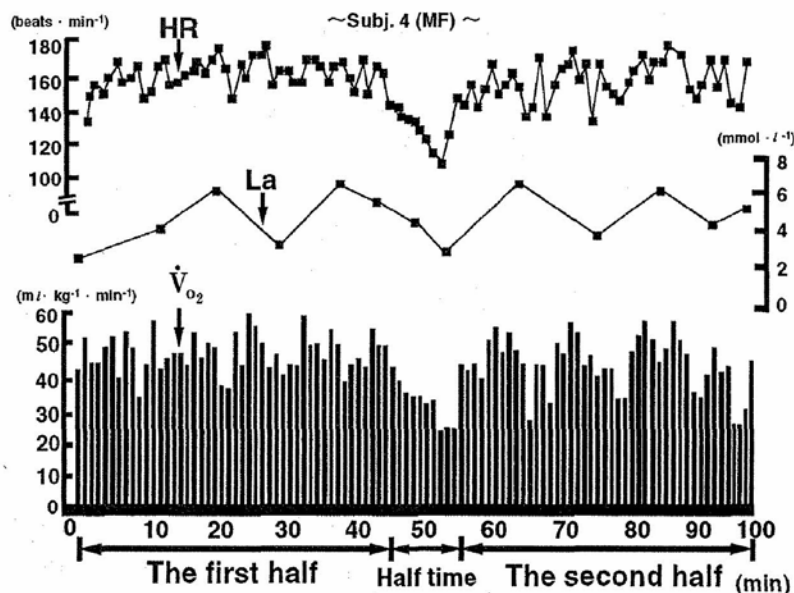


図1 Changes of \dot{V}_{O_2} , HR and La during a game.

表3 Energy expenditure during the game

Subj.	Position	Energy expenditure	
		Total (kcal)	per wt per minute ($\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
1	FW	920.4	0.158
2	FW	1280.5	0.201
3	MF	1483.6	0.215
4	MF	1135.1	0.206
5	MF	1368.3	0.211
6	MF	1143.6	0.184
7	DF	976.6	0.165
8	DF	910.3	0.166
9	DF	1102.4	0.181
10	DF	1083.1	0.164
Means		1140.4	0.185
S.D.		189.2	0.022

よび La の経時的変化を同一のスケール上に示した。

試合中における選手のエネルギー消費量の結果については、表3に示した。その結果、選手の一試合のエネルギー消費量は 1140.4 ± 189.2 (910.3~1483.6) kcal であり、体重当たりの1分間値が 0.185 ± 0.022 (0.158~0.215) $\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。

2. 3 試合中における移動距離と移動スピード

試合中における選手の移動距離の結果については表4に示した。その結果、選手の一試合の移動距離は 10777.3 ± 502.8 (10361~11336) m であった。また、試合中における移動スピード別の移動距離については図2に示した。

3. 考 察

本研究における被検者の身体的特徴をこれまで報告されている同年代の大学生男子サッカー選手の結果^{10, 12, 14, 15)}と比較したところ、この年代のサッカー選手として鍛錬された選手であると判断された。

これまでにサッカー選手の試合中の \dot{V}_{O_2} の測定を直接法により検討した研究は、大串ら¹⁵⁾によるダグラスバック法を用いた報告である。それらの報告をみると、本研究の被検者とほぼ同年代の男子大学生サッカー選手における試合中の \dot{V}_{O_2} の結果が、 $29.3 \pm 6.7 \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (20.1~37.9) であった。大串らの結果と本研究で得られた結果を比較したところ、本研究の結果は大串らの結果よりかなり高い傾向を示した。このような結果については、前述したようにダグラスバック法では測定時間や選手の動きの制限といったいくつかの

表4 Movement distance during the game

Subj.	Position	Movement distance		
		Total (m)	The first half (m)	the second half (m)
2	FW	10635	5531	5106
4	MF	11336	5971	5365
7	DF	10361	5235	5126
Means		10777.3	5579.0	5199.0
S.D.		502.8	370.3	144.1

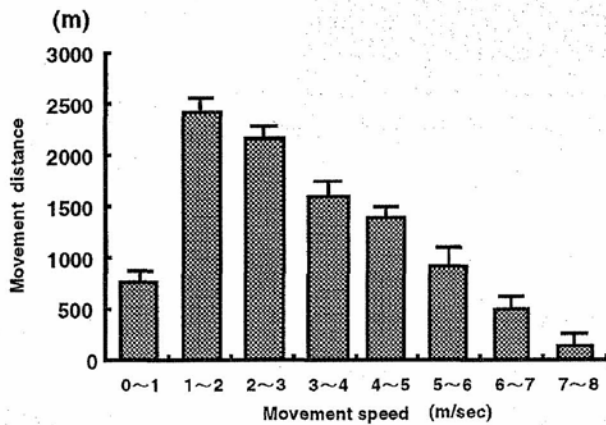


図2 Movement distance of each movement speed

問題点によって、実際の試合中の \dot{V}_{O_2} を正確に捉えられずに過小評価していたのではないかと考えられる。

そこで本研究では携帯型酸素摂取量測定装置を用いて、一試合を通して選手の \dot{V}_{O_2} を測定し、試合中の運動強度について検討した。その結果、選手の試合中の \dot{V}_{O_2} と $\% \dot{V}_{O_{2max}}$ が $37.0 \pm 8.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ と $61.9 \pm 13.4\%$ であり、そのうち4名の選手の平均値が $40 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 以上を示し、 $\% \dot{V}_{O_{2max}}$ にして70%以上であった。これらの結果から、このレベルのサッカー選手は試合中に高強度の運動を何度も繰り返し行っていることが明らかである。

また、試合中に経時的に測定した \dot{V}_{O_2} の結果から選手の一試合のエネルギー消費量についても算出した。その結果、選手の一試合のエネルギー消費量は $1140.4 \pm 189.2 \text{ kcal}$ であり、体重当たりの1分間値が $0.185 \pm 0.0022 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であ

た。

これまでにサッカー選手の試合中のエネルギー消費量に関する研究は、山岡ら²¹⁾がタイムスタディー法を用いて高校生のサッカー選手を対象にして報告している。その結果、選手の一試合のエネルギー消費量の平均値が 656 kcal 、そして体重当たりの1分間値が $0.151 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であったと報告している。したがって、本研究で得られた試合中のエネルギー消費量は山岡らの報告に比較すると、かなり高い傾向を示していた。この点については、対象者や測定方法の違いもさることながら、山岡らの報告が今から20年前に得られたデータであり、当時のサッカースタイルを考慮すると、ポジションが固定的であったのに対して、現在ではポジションチェンジが頻繁に行われ、選手の試合中の動きが激しくなっていることもかなり影響しているであろう。

また、 \dot{V}_{O_2} と同時に La についても試合中に数回に分けて測定した。その結果、選手の試合中の La が $4.8 \pm 1.7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ (3.0~8.5) であった。La は血中乳酸蓄積開始点 (OBLA) を境として、それ以上を無酸素性の運動、それ以下を有酸素性の運動を示す指標として用いられている^{5, 6)}。このことから、試合中に測定した La の結果をみると、何度も $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ 以上の値がみられていたことから、 \dot{V}_{O_2} の結果と同様に試合中に有酸素性の運動を維持しながら、高強度の無酸素性の運動を何度も繰り返し行っていることがわかる。ま

た、ポジション間による試合中の \dot{V}_{O_2} とLaの結果をみると、DFが他のポジションの選手に比較して低い傾向を示した。これは終始、被検者の所属チームが試合を有利に進めていたために、攻撃に参加する機会の少なかったDFが他の選手に比較して低い結果になったと考えられる。したがって、このポジション間による差は試合内容、すなわち試合中にオフenseやディフェンスが試合に関与する程度の相違によってかなり影響されると考えられる。

なお、本研究ではサッカー選手の試合中の生理的特徴に加え、試合中の動きの特徴についても、移動距離と移動スピードから検討した。その結果、選手の一試合の移動距離は 10777.3 ± 502.8 mであった。これまでにサッカー選手の試合中の移動距離に関する研究はいくつか行われており、90分間の試合でおよそ9,000mから12,000mの距離を移動していることが報告されている^{16, 17, 20}。このことから、本研究で行われた試合については移動距離の結果からみると、従来報告されている移動距離の結果^{16, 17, 20}とほぼ同様な傾向を示していた。また、サッカー選手は試合中に同一のスピードで移動していることはなく、常に様々なスピードでフィールド内を移動している¹⁶。そこで今回、選手の試合中の移動スピードについても明らかにした。その結果、選手の試合中における移動スピードの範囲は $1 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ であった。また、試合中の $1 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ ごとに占める移動距離の結果をみていくと、 $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ が最も多く、そしてスピードが高くなるにつれてほぼ直線的に少なくなっていく傾向がみられた。

以上の結果から、大学生サッカー選手の試合中における生理学的特徴および動きの特徴について検討した結果、選手は試合中に有酸素性の運動を維持しながら、高強度の無酸素性の運動を何度も繰り返し行っていた。そのため、選手が試合中にかかる生体の負担度を低くさせるためには無酸素

性能力および有酸素性能力をトレーニングによって高めていく必要があると考えられた。

4. まとめ

本研究では携帯型酸素摂取量測定装置を用いて、サッカー選手における試合中の \dot{V}_{O_2} の経時的変化を明らかにすること、かつ試合中における選手のHR, La, 移動距離および移動スピードについても明らかにし、サッカー選手の試合中の生理的特徴および動きの特徴について検討した。主要な結果は以下のとおりである。

1. 本研究で対象となったサッカー選手の身体的特徴の結果をみると、わが国の同年代のサッカー選手として鍛練された選手であると考えられた。

2. 試合中における選手の生理学的特徴を \dot{V}_{O_2} , HR およびLaを指標にして測定した結果、 \dot{V}_{O_2} と $\% \dot{V}_{O_{2max}}$ が $37.0 \pm 8.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ と $61.9 \pm 13.4\%$ 、HRと $\%HR_{max}$ が $153.7 \pm 12.1 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ と $79.3 \pm 6.1\%$ そしてLaが $4.8 \pm 1.7 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。また、試合中のエネルギー消費量については $1140.4 \pm 189.2 \text{ kcal}$ と $0.185 \pm 0.022 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。

3. 試合中における動きの特徴を移動距離と移動スピードを指標にして測定した結果、移動距離が 10777.3 ± 502.8 m、そして移動スピードの範囲が $1 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ であった。そして、試合中は $1 \sim 2 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ の移動距離が最も多く、スピードが高くなるにつれて、移動距離がほぼ直線的に少なくなっていく傾向がみられた。

謝 辞

稿を終えるに当たり、研究助成をいただきました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団そして、測定のご協力をしていただいた中京大学運動生理学研究室の山村千晶氏と高見京太氏に深く感謝致します。

文 献

- 1) Bangsbo, J. ; The physiology of soccer ; with special reference to intense intermittent exercise, *Acta. Physiol. Scand.*, (Suppl. 619), 1-155 (1994)
- 2) Brožek, J., F. Grande, J. T. Anderson, A. Keys ; Densitometric analysis of body composition : revision of some quantitative assumptions, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140 (1963)
- 3) Davis, J. A., J. Brewer ; Applied physiology of female soccer players, *Sports Med.*, **16**, 180-189 (1993)
- 4) Ekblom, B. ; Applied physiology of soccer, *Sports Med.*, **3**, 50-60 (1986)
- 5) Jacobs, I. ; Blood lactate implications for training and sports performance, *Sports Med.*, **3**, 10-25 (1986)
- 6) Karlsson, J., I. Jacobs ; Onset of blood lactate accumulation during muscular exercise as a threshold consideration, *Int. J. Sports Med.*, **3**, 190-201 (1982)
- 7) Kawasaki, Y., D. Nozaki, A. Matsuo, T. Fukunaga ; Reliability of measurement of oxygen uptake by a portable telemetric system, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **65**, 409-414 (1992)
- 8) 北川 薫, 高見京太, 宮城 修, 桜井佳世, 小川勝之 ; Health Related Physical Fitness Test としての体脂肪量の測定法., *Jpn. J. Sports Sci.*, **7**, 655-660 (1993)
- 9) 松本光弘, 小宮喜久, 久保田洋一, 岩村英吉 ; サッカーのゲーム分析の研究—ゲーム中の運動強度を中心として, 福島大学教育学部論集, **29**, 55-65 (1977)
- 10) 宮城 修, 塚中敦子, 松尾浩世, 小川勝之, 桜井佳世, 北川 薫 ; 男女スポーツ競技者の身体密度推定式, *体力科学*, **43**, 415-425 (1994)
- 11) 宮城 修, 島崎達也, 瀧 弘之, 石河利寛, 北川 薫 ; 血中乳酸濃度を指標としたサッカー選手の試合時の運動強度, *Jpn. J. Sports Sci.*, **14**, 639-645(1995)
- 12) 宮城 修, 瀧 弘之, 石河利寛, 北川 薫 ; サッカー選手のシーズン中の身体組成と最大無酸素パワーの変化, *Jpn. J. Sports Sci.*, **15**, 53-58 (1996)
- 13) Morgan, D. B., T. Bennett ; The relation between heart rate and oxygen consumption during exercise, *J. Sports Med.*, **16**, 38-44 (1976)
- 14) 長浜尚史, 宮崎義憲, 渡辺雅之, 瀧井敏郎 ; サッカー選手の有酸素性作業能に及ぼすOBLAトレーニングの影響, *Jpn. J. Sports Sci.*, **10**, 515-520 (1991)
- 15) 大串哲郎, 大橋二郎, 鈴木 滋, 木幡日出男 ; 酸素摂取量からみた運動強度の測定, 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告集, 55-61 (1989)
- 16) Ohashi, J., M. Isokawa, H. Nagahama, T. Ogushi ; The Ratio of physiological intensity of movements during soccer match-play, *Science and Football II*, 124-128 (1991)
- 17) Reilly, T., Thomas, V. ; A motion analysis of work-rate in professional football match-play, *J. Human Movement Studies*, **2**, 87-97 (1976)
- 18) Seliger, V. ; Energy metabolism in selected physical exercise, *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol*, **25**, 104-120 (1968)
- 19) 高見京太, 北川 薫, 石河利寛 ; 酸素摂取量実測によるスポーツ活動中のエネルギー消費量, *体力科学*, **42**, 257-264 (1993)
- 20) 戸苅晴彦, 鈴木 滋 ; サッカーのトレーニング, 大修館書店, 初版, 1-7 (1991)
- 21) 山岡誠一 ; 蹴球試合のエネルギー代謝 (スポーツのエネルギー代謝に関する研究第3報), *体育学研究*, **1**, 174-180 (1951)