

## NMR による国内一流サッカー選手の筋エネルギー代謝 および筋横断面積の検討

秋間 広\* 久野 譜也\*\* 西嶋 尚彦\*\*\* 丸山 剛生\*\*\*\*  
松本 光弘\*\*\*\*\*板井 悠二\*\*\*\*\*下條 仁士\*\*\*\*\*勝田 茂\*\*\*\*\*

### STUDIES ON MUSCLE METABOLISM AND CROSS-SECTIONAL AREA IN THE ELITE JAPANESE SOCCER PLAYERS USING NMR.

HIROSHI AKIMA, SHIN-YA KUNO, TAKAHIKO NISHIJIMA,  
TAKEO MARUYAMA, MITSUHIRO MATSUMOTO, YUJI ITAI,  
HITOSHI SHIMOJO and SHIGERU KATSUTA

#### Abstract

We investigated the muscle energetics using  $^{31}\text{P}$  nuclear magnetic resonance ( $^{31}\text{P}$  NMR) spectroscopy, muscle cross-sectional area by magnetic resonance imaging (MRI), isokinetic strength, maximal anaerobic power and 40-sec maximal cycling test (40 seconds power) in All Japan soccer players (JPN : n=6), Olympic and Youth representatives (OL : n=6), and Japan Soccer League players (JSL : n=5). There was no significant difference in muscle energy metabolism measured by  $^{31}\text{P}$  NMR between the JPN and the OL or JSL players at rest, during exercise, or in the recovery period. The total muscle cross-sectional area was significantly larger in the JPN players than in the OL players at the upper (70%) and the middle (50%) parts of the thigh ( $p < 0.05$ ) and than in the JSL players in the upper ( $p < 0.01$ ), middle ( $p < 0.05$ ), and lower (30%) parts ( $p < 0.01$ ). The isokinetic strength in left leg extension at 180 deg/sec was significantly greater in the JPN players than in the OL players ( $p < 0.05$ ). Muscle strength was also greater in extension of both legs at 450 deg/sec (left  $p < 0.05$ , right  $p < 0.01$ ) in the JPN players than in the JSL players. The maximum anaerobic power was significantly greater in the JPN players than in the OL players ( $p < 0.05$ ) and the JSL players ( $p < 0.05$ ), and the anaerobic power per kilogram of body weight was significantly higher in the JPN players than in the JSL players ( $p < 0.01$ ). There was no significant difference in the 40 seconds power among the three groups. These results suggest that the JPN players have greater muscle power than the OL or JSL players because of the differences in the muscle mass.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1992, 41 : 368~375)

**key words :**  $^{31}\text{P}$  NMR, MRI, isokinetic strength, anaerobic power

- 
- |  |   |
|--|---|
| *筑波大学大学院修士課程体育研究科<br>〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1  | <i>Master's Program in Health and Physical Education, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305</i>       |
| **東京大学教養学部体育科<br>〒153 目黒区駒場3-8-1           | <i>Department of Sports Sciences, College of Arts and Sciences, University of Tokyo, Komaba 3-8-1, Meguro-ku, Tokyo 153</i> |
| ***茨城大学教養部<br>〒310 茨城県水戸市文京2-1-1           | <i>College of General Education, Ibaraki University, Bunkyo 2-1-1, Mito, Ibaraki 310</i>                                    |
| ****東京工業大学工学部<br>〒152 目黒区大岡山2-12-1         | <i>Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Ohokayama 2-12-1, Meguro, Tokyo 152</i>                           |
| *****筑波大学体育科学系<br>〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1     | <i>Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305</i>                  |
| *****筑波大学臨床医学系放射線科<br>〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1 | <i>Department of Radiology, Institute of Clinical Medicine, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305</i> |

## I. 緒 言

これまで日本のサッカー選手について生理学的観点から多くの研究が行われているが、それらの研究では、主に脚筋力、最大酸素摂取量などについて検討したものが多数を占めている<sup>1,4,5,9,17,20,21</sup>。一方、大島ら<sup>13</sup>および久野ら<sup>4</sup>は筋生検を用い、筋の組織化学および生化学的検討を行っている。しかし、これらの研究では対象に大学サッカー選手を用いており、いずれも国内トップレベルの選手ではない。このように国内トップレベルの選手について、これらの情報がこれまでみられなかったが、その理由の一つとして侵襲的な筋生検が必用であったことが挙げられる。

一方、近年になり核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance : NMR) 装置を用いることにより、非侵襲的に筋の生化学的情報 (MRS) および形態的情報 (MRI) を得ることが可能となった<sup>6,7</sup>。我々は、これまでにこの NMR 法を用い、サッカー日本代表選手 1 名および大学サッカー選手に対して筋エネルギー代謝、筋横断面積など、筋の質的および量的観点からの検討を行ってきた<sup>1,5</sup>。しかしながら、被検者の競技レベルが必ずしもトップレベルではないため、筋という観点からみた望ましいサッカー選手の体力が十分に明らかになっていないものと思われる。

そこで本研究では、現在日本におけるトップクラスの選手である日本代表選手を、オリンピック・ユース代表選手あるいは日本サッカーリーグ 1 部チームレギュラー選手と比較することにより、筋の質的・量的観点からみたサッカー選手の望ましい体力レベルを明らかにすることを目的とした。

## II. 方 法

## A. 被検者

被検者には、現在国内で最も優秀であると考えられる日本代表選手群 (JPN) 6 名、23 歳以下の代表であるオリンピックおよび 19 歳以下の代表であるユース代表選手群 (OL) 6 名、20 代前半の日本サッカーリーグ 1 部レギュラー選手群 (JSL) 5 名を用いた。被検者の年齢および身体特性は表 1 に示した。

全ての測定は、日本サッカーリーグおよび関東大学サッカーリーグが始まる直前の 9 月に実施した。

## B. 筋エネルギー代謝

筋エネルギー代謝の測定は、筑波大学附属病院に設置されている超電導 MR 装置 (GE 社製 : 1.5 T) を用いて行った。<sup>31</sup>P NMR の測定の被検筋として右脚の大腿直筋を用いた<sup>5</sup>。1 つのスペクトルは、繰り返し時間 3.5 秒、積算回数 6 回、所要時間約 1 分で測定した。<sup>31</sup>P NMR スペクトルは、安静時、運動中 (6 分) および回復中 (5 分) について連続的に得られた。なお用いた運動負荷は仰臥位で足首に 1 kg のおもりを装着し、膝の伸展を保持した状態での右脚の拳上運動であり、1 秒につき 1 回のペースで行った。また、サッカーの試合における運動様式が間欠的であるため、用いた負荷様式は 3 分を 2 セット (計 6 分) で行い、セット間に 30 秒の休息を設けた。

得られたスペクトルより、クレアチンリン酸 (PCr)、無機リン酸 (Pi)、アデノシン三リン酸 (ATP) を同定した後、Pi に対する PCr の比 (PCr/Pi) を求めた。PCr/Pi は、運動時および回復時には、ATP の再合成能を示す指標であると考えられる<sup>7</sup>。さらに、PCr に対する Pi のケミ

Table 1. Physical characteristics of subjects.

	N	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
All Japan (JPN)	6	23.3±1.1	177.8±4.2	72.8±4.2
Olympic and Youth (OL)	6	18.3±0.5	176.2±4.6	68.0±4.5
JSL first division (JSL)	5	21.2±1.2	175.0±5.5	67.6±6.8

Values are means and SD. JSL : Japan soccer league.

カルシウム値 ( $\sigma$ ) より細胞内 pH を以下の式より算出した。

$$\text{pH} = 6.75 + \log\left\{\frac{(\sigma - 3.27)}{(5.69 - \sigma)}\right\}^{18)}$$

### C. 筋横断面積

MRI により得られた右大腿部の縦断像より, 大転子および右脛骨の外側顆間結節を同定した。横断像の大腿部における位置は, 外側顆間結節から大転子間の70, 50, 30%の部位とした。得られた横断像より, 右大腿部の全横断面積 (筋, 脂肪および骨を含む全ての横断面積: cross-sectional area: CSA), 筋横断面積 (筋のみの横断面積: total muscle area: TMA), 大腿四頭筋 (M. quadriceps femoris: MQF), 大内転筋・短内転筋・長内転筋および薄筋を含む屈筋群 (hamstring: HM) の面積を求めた。また大腿四頭筋についてはさらに大腿直筋 (M. rectus femoris: RF), 外側広筋 (M. vastus lateralis: VL), 内側広筋+中間広筋 (M. vastus medialis+M. vastus intermedius: VM+VI) の面積について検討した。なお, 内側広筋と中間広筋は画像上で分離不可能なため, 両筋をあわせて計測した。

### D. 脚筋力

等速性筋力測定器であるバイオデックス (Biodex 社製) を用い, 両脚の膝関節伸展時および屈曲時における等速性最大筋力を測定した。測定に用いた角速度は, 30, 180, 450 deg/sec であった。

### E. 最大無酸素パワーおよび40秒パワー

最大無酸素パワーおよび40秒パワーの測定には, 電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ (コンビ社製: パワーマックスV) を用いた。最大無酸素パワーの測定は中村ら<sup>11)</sup>の方法を用いた。また, 40秒パワーは, 各被検者の体重の7.5%を運動負荷とし, 40秒間全力で最大駆動させた。その評価には, 運動開始後30~40秒に発揮された平均パワーを用いた<sup>10)</sup>。

最大無酸素パワーおよび40秒パワーともに被検者に最適なサドル高を設定し, 駆動中はサドルから腰を浮かせないように留意した。

### F. 統計処理

得られたパラメータについてそれぞれ平均, 標準偏差を求め, 独立する資料の t-検定を行った。

## III. 結 果

### A. 筋エネルギー代謝

図1に3群の PCr/Pi および細胞内 pH の安静時, 運動中および回復中における経時的な変化について示した。PCr/Pi において, JPN 群は OL 群および JSL 群と比較して安静時および運動時に差は認められなかった。また, 回復時1~2および2~3分において OL 群は JSL 群と比較して有意に高値を示した。

細胞内 pH では, 安静時および運動時においても有意な差を示さなかった。一方, 回復中0~1分の細胞内 pH において JPN 群は OL 群と比較して有意に低値を示し, 運動終了後から1分での細胞内 pH の回復が遅いことを示した。

図2には安静時および運動時における PCr/Pi と細胞内 pH の関係を示した。PCr/Pi がほぼ4以下になると細胞内 pH の低下が著しいことが

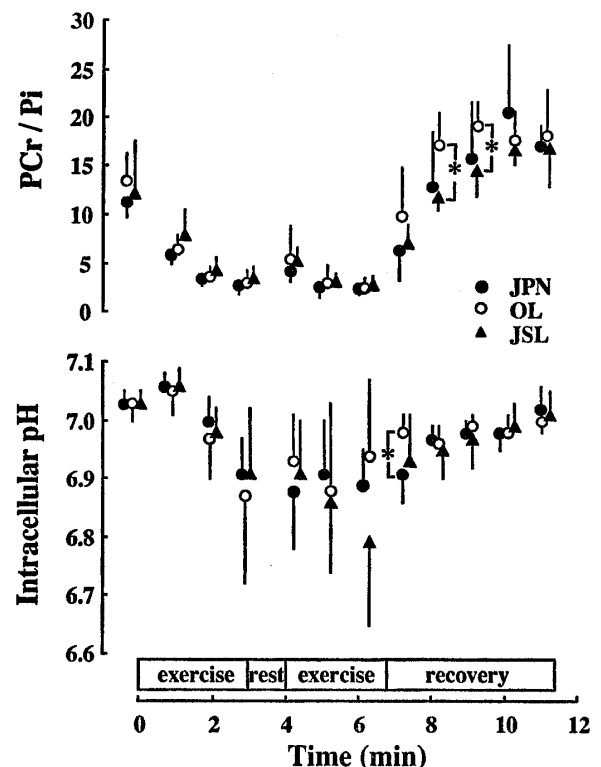


Fig. 1. The PCr/Pi ratio and intracellular pH at rest, during exercise and recovery in All Japan (JPN), Olympic and Youth (OL) and Japan soccer league (JSL) players. Values are means and SD. Symbols are assigned for JPN (●), OL (○) and JSL (▲). \*;  $p < 0.05$ .

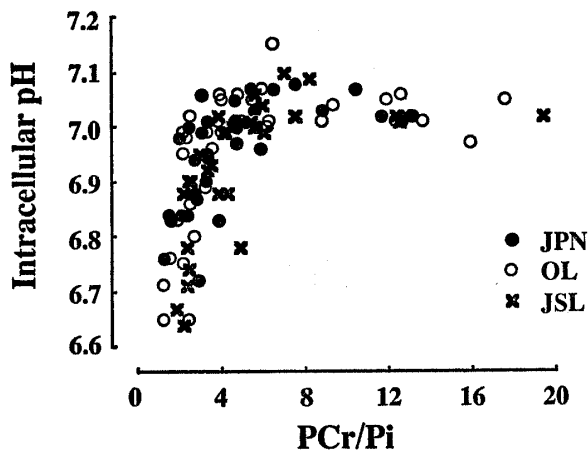


Fig. 2. Relationship between intracellular pH and PCr/Pi ratio at rest and during exercise. Symbols are assigned for JPN (●), OL (○) and JSL (×) players.

JPN 群, OL 群および JSL 群共通に観察された。しかし, その屈曲点と思われる部分に大きな相違は認められなかった。

## B. 筋横断面積

### 1. 70%部位

図 3 (a) に大腿長の70%部位における筋横断面積を示した。全横断面積において JPN 群と OL 群および JSL 群間に有意な差は認められなかった。しかし, JPN 群は筋横断面積 ( $p < 0.05$ ), 屈筋群面積 ( $p < 0.05$ ) および内側・中間広筋 ( $p < 0.01$ ) において OL 群より有意に高値を示し, また JSL 群の筋横断面積 ( $p < 0.01$ ), 大腿四頭筋 ( $p < 0.05$ ) および屈筋群 ( $p < 0.05$ ) と比較しても有意に高値を示した。さらに, 横断面積に占める脂肪の割合が JPN 群は JSL 群と比較して有意に低値を示した ( $p < 0.05$ )。

### 2. 50%部位

図 3 (b) に大腿長の50%部位における筋横断面積を示した。JPN 群は筋横断面積において OL 群と比較して有意に高値を示し ( $p < 0.05$ ), その他のパラメータについては差は認められなかった。また, JSL 群と比較して JPN 群は, 筋横断面積 ( $p < 0.01$ ), 大腿四頭筋 ( $p < 0.05$ ) および屈筋群 ( $p < 0.05$ ) において有意に高値を示し, 脂肪率 ( $p < 0.05$ ) では有意に低値を示した。

### 3. 30%部位

図 3 (c) に大腿長の30%部位における筋横断面積

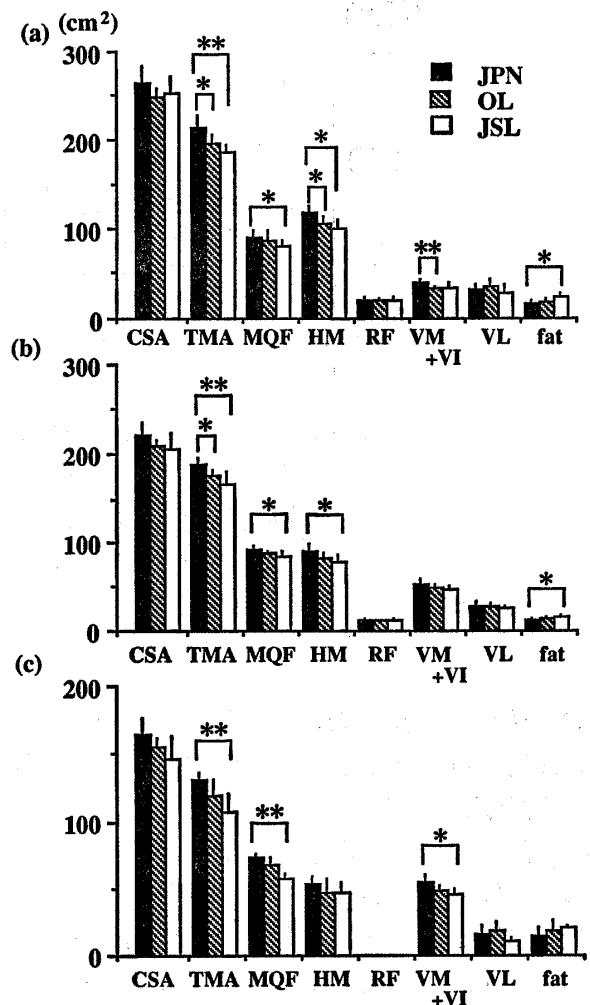


Fig. 3. Muscle cross-sectional area of the right thigh in All Japan (JPN), Olympic and Youth (OL) and Japan soccer league (JSL) players. Values are means and SD. (a); upper thigh (70%), (b); middle thigh (50%), (c); lower thigh (30%). CSA; cross-sectional area, TMA; total muscle area, MGF; M. quadriceps femoris, HM; hamstring, RF; M. rectus femoris, VM; M. vastus medialis, VI; M. vastus intermedialis, VL; M. vastus lateralis. \*;  $p < 0.05$ , \*\*;  $p < 0.01$ .

積を示した。JPN 群と OL 群との間には有意な差は認められなかった。しかしながら, JSL 群と比較して JPN 群は, 筋横断面積 ( $p < 0.01$ ), 大腿四頭筋 ( $p < 0.01$ ) および内側・中間広筋 ( $p < 0.05$ ) において有意に高値を示した。

## C. 脚伸展力および屈曲力

図 4 には両脚の等速性脚伸展および屈曲力について示した。伸展力では, JPN 群は OL 群と比較して左脚の 180 deg/sec において有意に高値を

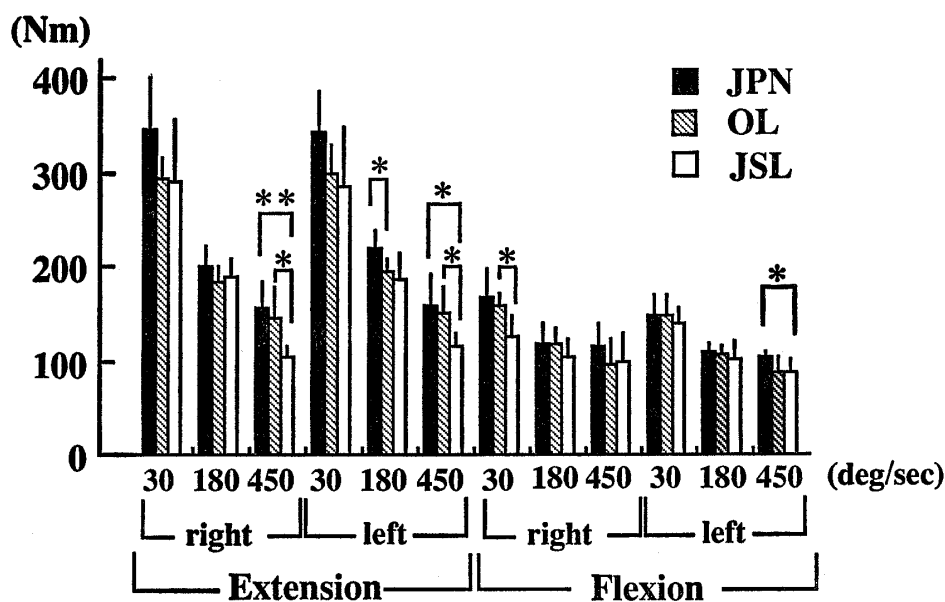


Fig. 4. Leg extension and flexion torque in All Japan (JPN), Olympic and Youth (OL) and Japan soccer league (JSL) players. Values are means and SD. \*;  $p < 0.05$ , \*\*;  $p < 0.01$ .

示した ( $p < 0.05$ ). また, JPN 群は, 左脚 ( $p < 0.05$ ) および右脚 ( $p < 0.01$ ) の 450 deg/sec において, JSL 群と比較して有意に高値を示した. さらに, OL 群は左脚 ( $p < 0.05$ ) および右脚 ( $p < 0.05$ ) の 450 deg/sec において, JSL 群と比較して有意に高値を示した. 一方, 屈曲力に関して, JPN 群は OL 群と比較して有意な差は示さなかったが, JSL 群では, 左脚の 450 deg/sec において有意に低値を示した ( $p < 0.05$ ). また, OL 群は右脚の 30 deg/sec において JSL 群より有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ).

#### D. 最大無酸素パワー, 40秒パワーおよび単位断面積当りに発揮された最大無酸素パワー

図 5 には, 最大無酸素パワーおよび40秒パワーの絶対値, 体重で除した相対値について示した. JPN 群は OL 群と比較して, 最大無酸素パワーの絶対値において有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ). しかし, 体重当りの相対値においては有意な差は認められなかった. 一方, JSL 群との間には絶対値 ( $p < 0.05$ ) および相対値 ( $p < 0.01$ ) とともに有意に高値を示した.

図 6 には, 大腿部の 70, 50, 30% 部位において発揮された単位断面積当りの最大無酸素パワーについて示した. 70, 50, 30% 部位のいずれにおいても有意な差は観察されなかった.

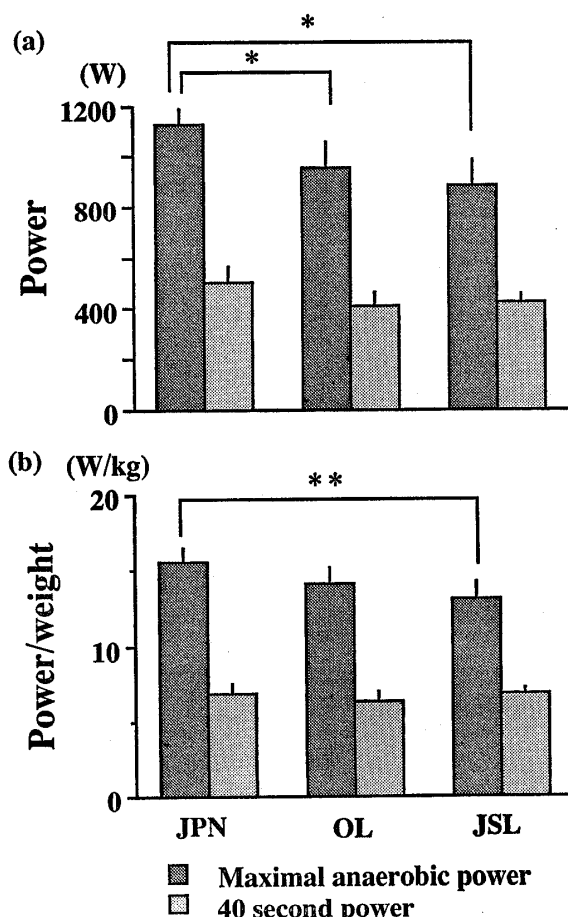


Fig. 5. Maximal anaerobic power and 40 second power by bicycle exercise in All Japan (JPN), Olympic and Youth (OL) and Japan soccer league (JSL) players. Values are means and SD. (a); absolute value, (b); relative value. \*;  $p < 0.05$ , \*\*;  $p < 0.01$ .

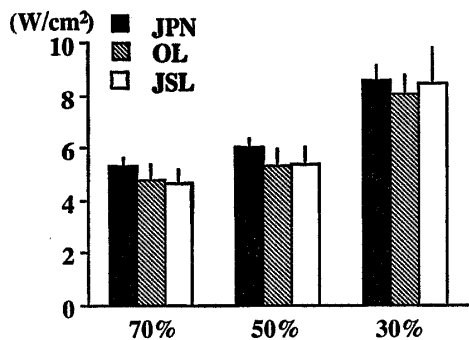


Fig. 6. The ratio of maximal anaerobic power to muscle cross-sectional area in All Japan (JPN), Olympic and Youth (OL) and Japan soccer league (JSL) players. Values are means and SD. 70% ; upper thigh, 50% ; middle thigh, 30% ; lower thigh.

#### IV. 考 察

我々はこれまでに、日本の大学一流サッカー選手について、筋エネルギー代謝 (PCr/Pi および細胞内 pH)、筋横断面積、脚筋力をパラメータとして、シーズンを通じて体力がどのように変化するかについて報告してきた<sup>1)</sup>。その研究で用いられた被検者の競技力は、大学レベルでは一流であったが、国内レベルでは必ずしも一流ではなかった。したがって、日本の一流サッカー選手の筋エネルギー代謝、筋横断面積などがどのようなレベルにあるのか、完全には明らかにされていないものと考えられる。

本研究では JPN 群が日本のサッカー選手のトップレベルと位置づけて、OL 群あるいは JSL 群との比較検討を試みた。その結果、JPN 群は OL 群と比較して筋横断面積および最大無酸素パワーで高値を示し、また、JSL 群とは筋横断面積、高速の脚筋力、最大無酸素パワーにおいて高値を示した。しかしながら、今回測定した安静時および運動中の筋エネルギー代謝能においては、それらの 2 群間との間に相違が観察されなかった。

運動時および回復時における PCr/Pi および細胞内 pH は、筋の酸化的能力の評価になるものと考えられる<sup>7)</sup>。Taylor ら<sup>18)</sup> は、<sup>31</sup>P NMR を用い PCr/(PCr+Pi) の比と細胞内 pH の関係を検討したところ、その比がある一定の値になると著しい細胞内 pH の低下がみられることを示した。これ

は、細胞内における乳酸の蓄積は pH の低下と比例関係にあることが示されていることより<sup>15)</sup>、この時の ATP 生成系が酸化系より解糖系への依存が高まったことを示唆するものと考えられる。したがって、本研究において解糖系への移行点に大きな違いがみられなかったことは、3 群間の筋の酸化能力は、ほぼ同様である可能性が考えられる。

今回、JPN 群の筋横断面積が OL 群および JSL 群と比較して全ての部位において有意に高値を示したことから、JPN 群は大腿長全般にわたり、他の 2 群に比べより筋量の多いことが示された。また、JPN 群は JSL 群と比較してキックの主働筋である大腿四頭筋横断面積が有意に高値を示した。これらの筋量が他の群と比較して多いことは、キック場面における能力ばかりでなく試合中に行うストップ、ダッシュなど素早いパワー発揮が必要とされる動作を試合中に繰り返すことを考えれば、筋量の相違はその能力の優劣を左右する要因の一つとして考えられるであろう。また、サッカーの試合は高強度・間欠的な運動であり、これに対してエネルギーを供給するため、グリコーゲンが非常に重要な基質であると考えられている<sup>3)</sup>。つまり、試合中にはグリコーゲンからのエネルギー供給は非常に重要であり、脂質代謝による有気的なエネルギー供給はグリコーゲンによるエネルギー供給ほど大きな役割を占めないものと考えられる。これらを考え合わせると、サッカーの競技場面において、JSL 群の脂肪率が高いことは、パフォーマンスにおいてマイナス要因になるものと考えられる。

これまで報告された日本のサッカー選手の等速性脚筋力に関する研究では<sup>1,4,5,10,21,22)</sup>、300 deg/sec が最も速い角速度であった。田畑および山本<sup>16)</sup>によりサッカーの競技場面における膝関節伸展速度は、500 deg/sec から 600 deg/sec 付近まで高速の運動が行われていることが報告されている。そのため、今回用いた筋力測定器では、最も高速である 450 deg/sec での測定を試みた。その結果、JSL 群は JPN 群と比較して有意に低値を示していた。JPN 群がキック動作のようにかなり

速い膝関節角度の動きをともなうような場合において, より高い能力を発揮できることを示唆しているものと考えられる. 一方, 高速の角速度において, FT 線維の割合が高い被検者の方がより大きなトルクを発揮できることが示されている<sup>2,14,20</sup>. そのため JPN 群と JSL 群における筋力差が筋の横断面積に起因するものなのか, 筋線維組成の差に起因するものなのかは本研究では明らかではない. またカナダジュニア代表選手を用いて組織化学的な検討を行った研究では, 筋線維組成は一般人と差はみられなかったが, 全ての筋線維サイズが大きい傾向にあったという報告があり<sup>9</sup>, 今後, 日本の一流選手についてもこのような観点から検討していかなければならないと思われる.

JPN 群は最大無酸素パワーにおいて, OL 群および JSL 群と比較して有意に高値を示した. 中村<sup>12)</sup>は, 様々な種目の一流スポーツ選手の最大無酸素パワーを比較検討したところ, サッカー選手は絶対値および体重で除した相対値においても陸上競技短距離, 中距離, 長距離, スキー(アルペン)と比較して有意に高値を示すということを報告している. しかしその報告では, バスケットボールおよびバレーボールのような球技種目と比較した場合, 低値を示す傾向であった. 今回の結果と中村<sup>12)</sup>の結果を比較してみると, JPN 群は絶対値においてバレーボール(1215 w), 自転車(1189 w), バスケットボール(1188 w), アイスホッケー(1175 w)の次に高値を示した. 一方, OL 群における絶対値では, 体育専攻学生(930 w)より約 30 W 高い値を示すにすぎず, JSL 群においても絶対値では陸上中距離(894 w)および距離スキー(880 w)より低値であり, 水泳(871 w)および陸上長距離(786 w)より高値であった. 体重で除した相対値において, 3群とも絶対値における結果と同様な傾向を示した. これらのことより, JPN 群は他種目の一流選手と比較した場合でも高いレベルにあり, 一方, OL 群および JSL 群では, 逆に低いレベルにあることが示された. この理由として, JPN 群と他の 2 群では, 単位面積当りに発揮されるパワーに差は観察されなかったことより, 絶対的な筋量の違いによる影響が大きいことが考えら

れる. それゆえ, 日本代表を目指すオリンピック代表, ユース代表および日本リーグ 1 部レギュラー選手は, 筋パワーを高めるようなトレーニングをさらに導入する必要性が示唆される.

## V. 要 約

日本における一流サッカー選手である日本代表(JPN), 日本オリンピック・ユース代表(OL), 日本サッカーリーグ 1 部レギュラー選手(JSL)を用いて, 筋エネルギー代謝(PCr/Pi および細胞内 pH), 筋横断面積, 等速性脚筋力, 最大無酸素パワーおよび 40 秒最大自転車駆動能力(40 秒パワー)を測定し, 日本代表と他の群との間にこれらの能力についてどのような相違があるのかについて検討した.

結果の要約は以下の通りである.

1) <sup>31</sup>P NMR で測定された安静時および運動時の筋エネルギー代謝能においては, 3 群間で差は認められなかった.

2) JPN 群は, OL 群と比較して大腿上部の筋横断面積 ( $p < 0.05$ ) および大腿中間部の筋横断面積 ( $p < 0.05$ ) において有意に高値を示した. また, JPN 群は JSL 群と比較して大腿上部 ( $p < 0.01$ ), 大腿中間部 ( $p < 0.05$ ), さらに大腿下部の筋横断面積 ( $p < 0.01$ ) のいずれにおいても有意に高値を示した.

3) 角速度 180 deg/sec の左脚伸展力において, JPN 群は OL 群と比較して有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ). また, 角速度 450 deg/sec の左脚伸展力および屈曲力において, JPN 群は JSL 群と比較して有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ), さらに, 角速度 450 deg/sec の右脚伸展力において, JPN 群は JSL 群と比較して有意に高値を示した ( $p < 0.01$ ).

4) 最大無酸素パワーの絶対値において, JPN 群は OL 群と比較して有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ). また, 絶対値 ( $p < 0.05$ ) および体重で除した相対値 ( $p < 0.01$ ) において, JPN 群は JSL 群と比較して有意に高値を示した.

以上のことより, JPN 群は OL 群あるいは JSL 群と比較して, 大腿部の筋量が大腿長の全体にわ

たっており、多くのことが示された。特にこの差は、無気的パワーの差に反映されており、OL 群および JSL 群では、このような筋パワーを高めるためのトレーニングをさらに導入する必要性が示唆される。

(受付 平成3年11月26日)

### 参考文献

- 1) 秋間 広, 久野譜也, 西嶋尚彦, 山中邦夫, 松本光弘, 勝田 茂(1990): シーズンを通じてのハイパワーおよび筋力トレーニングが大学サッカー選手の筋機能に対してどのような影響を及ぼすか—NMR による非侵襲的検討—。トレーニング科学, **2**, 78-83.
- 2) Coyle, E. F., Costill, D. L. and Lesmes, G. R. (1979): Leg extension power and muscle fiber composition. *Med. Sci. Sports*, **11**, 12-15.
- 3) Jacobs, I., Westlin, N., Karlsson, J. and Rasmusson, M. (1982): Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **48**, 297-302.
- 4) 久野譜也, 竹部益世, 勝田 茂, 土肥徳秀, 松本光弘(1988): 大学サッカー選手における筋線維特性と有酸素的・無酸素的作業能力に関する研究. *Jpn. J. Sports Sci.*, **7**, 62-68.
- 5) 久野譜也, 秋間 広, 秋貞雅祥, 勝田 茂, 西嶋尚彦, 山中邦夫, 新津 守, 阿武 泉(1990): サッカー・ワールドカップ予選前後における日本代表選手の筋エネルギー代謝, 筋横断面積および脚筋力の変化—<sup>31</sup>P NMR による検討—. *Jpn. J. Sports Sci.*, **9**, 310-314.
- 6) Kuno, S., Akisada, M., Katsuta, S. and Mitsumori, F. (1990): Evaluation of exercise muscle energetics by NMR. *Ann. Physiol. Anthropol.*, **9**, 235-239.
- 7) 久野譜也, 高橋英幸, 板井悠二, 勝田 茂(1991): NMR による筋のエンジェティクス. *臨床スポーツ医学*, **8**, 725-732.
- 8) Kuzon, W. M., Rosenblatt, J. D., Huebel, S. C., Leatt, P., Plyley, M. J., McKee, N. H. and Jacobs, I. (1990): Skeletal muscle fiber type, fiber size, and capillary supply in elite soccer players. *Int. J. Sports Med.*, **11**, 99-102.
- 9) 松本光弘, 丹 信介, 西嶋尚彦(1985): サッカー選手の脚伸展能力に関する研究. *筑波大学体育科学系紀要*, **8**, 93-100.
- 10) 宮下充正(1988): 一般スポーツ選手のための体力診断システム, 第2版, ソニー企画株式会社, 東京, 77-80.
- 11) 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正(1984): 最大無酸素パワーの自転車エルゴメーターによる測定法. *Jpn. J. Sports Sci.*, **3**, 834-839.
- 12) 中村好男(1987): アネロビックパワーからみたスポーツ選手の体力. *Jpn. J. Sports Sci.*, **6**, 697-702.
- 13) 大島 襄, 高木俊男, 池田舜一, 鍋島和夫, 塩野 潔, 深谷 茂, 浅見俊雄, 戸荻晴彦, 琉子友男(1978): サッカー選手における運動負荷時の運動生理学的研究. *日本体育協会スポーツ科学研究報告集*, **1**, 253-264.
- 14) 琉子友男, 浅見俊雄, 戸荻晴彦(1979): 脚伸展パワーおよび等尺性最大筋力に及ぼす筋線維構成の影響. *東京大学教養学部体育学紀要*, **13**, 11-15.
- 15) Sahlin, K., Harris, R. C., Nyling, B. and Hultman, E. (1976): Lactate content and pH in muscle samples obtained after dynamic exercise. *Pflügers Arch.*, **367**, 143-149.
- 16) 田畑 泉, 山本正嘉(1989): 身体運動のエンジェティクス, 初版. 高文堂出版, 東京, 52-186.
- 17) 田原靖昭, 網分憲明, 西澤 昭, 湯川幸一, 森 俊介, 千住秀昭(1990): 高校サッカー優秀選手(国見高校)の身体組成, 最大酸素摂取量及び最大酸素負債量. *体力科学*, **39**, 198-206.
- 18) Taylor, D. J., Bore, P. J., Styles, P., Gadian, D. G. and Radda, G. K. (1983): Bioenergetics of intact human muscle; a <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance study. *Mol. Biol. Med.*, **1**, 77-94.
- 19) Thorstensson, A., Larsson, L., Tesch, P. and Karlsson, J. (1976): Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med. Sci. Sports*, **9**, 26-30.
- 20) 戸荻晴彦, 浅見俊雄, 足立長彦, 山本恵三, 杉山 進, 大橋二郎(1979): 一流サッカー選手の体力について. *東京大学教養学部体育学紀要*, **13**, 33-42.
- 21) 戸荻晴彦, 大橋二郎, 大串哲朗(1985): サッカー選手の等速性筋出力. *東京大学教養学部体育学紀要*, **19**, 75-81.