

## スポーツクラブ活動が女子学生の 最大酸素摂取量に及ぼす影響

藤 沢 政 美

### 緒 言

動物のエネルギー消費量の測定が始まったのは18世紀であり、19世紀には人間の作業中の代謝エネルギー量が測定されるようになった。そして、19世紀後半にはエルゴメータやトレッドミルが開発されたことにより、作業中のエネルギー消費量に関する研究は急速な進歩を遂げてきた。その中で、今日用いられている酸素摂取量 (oxygen intake)、酸素消費量 (oxygen consumption)、酸素負債量 (oxygen debt)、酸素需要量 (oxygen requirement) の言葉を定義づけたのは Hill と Lupton<sup>1)</sup>であり、maximal oxygen uptake (最大酸素摂取量) という言葉を初めて用いた。この最大酸素摂取量が知れわたるようになったのは Robinson ら<sup>2)</sup>が一流競技者と一般人の最大酸素摂取量の比較を行ったことに始まり、これら研究が世界に広がったのは第二次世界大戦後で、Cureton<sup>3)</sup>、P-O Åstrand<sup>4)</sup>、Taylor ら<sup>5)</sup>が先駆けである。

その後、体力国際標準化委員会が設けられ、エルゴメトリーの標準化により最大酸素摂取量の測定法が普及するようになった。そして全身持久性の体力の指標としての地位を確保する一方、運動処方<sup>6)</sup>の運動強度の指標として、さらには全身持久力が一定水準以上の者には肥満症、高血圧症、高脂血症、虚血性心疾患の罹患率が低いことが明らかになり<sup>6)</sup>、システマティック・レビューにより得られた生活習慣病予防効果の現れる最大酸素摂取量の基準値を示す<sup>7)</sup>など、健康度の指標としても最大酸素摂取量が広く用いられるようになってきた。

最大酸素摂取量とは、これ以上運動ができない状態まで運動を行い、その際にどの程度、酸素を取り入れる事ができるかというものであるが、一般的には、トレッドミルや自転車エルゴメータを使い、徐々にトレッドミルならスピードや角度を、自転車エルゴメータなら負荷 (摩擦抵抗によりペダルにかかる重さ) を上げ、呼気ガス分析器を使用して酸素量を測定し、最大値を最大酸素摂取量とする。この最大酸素摂取量は規則的なトレーニングによって向上するが、トレーニング強度・頻度・時間が低下したり、また完全に中止すると最大酸素摂取量は低下する。

一方、運動部やスポーツクラブへの所属と体力水準の高さとの関係は、8歳ごろから明確になり、その傾向は79歳に至るまで認められており、運動部やスポーツクラブでの活動は、生涯にわたって高い体力水準を維持するための重要な役割を果たしていることがうかがえる。さらに、学校時代の運動部 (クラブ) 活動での経験が、その後の運動・スポーツ習慣に繋がり、生涯にわ

たって高い水準の体力を維持する要因の一つになっていることが考えられ<sup>8)</sup>、また最大酸素摂取量は、強度、時間、頻度といったトレーニング条件が同じであれば若者（20歳代）のトレーニングによる最大酸素摂取量の改善の大きさは、中高年や老人に比べて大きい<sup>9)</sup>ため、学生時代に運動部（クラブ）活動を行うことは将来の体力、健康面からも重要である。

そこで、本研究では、女子学生を対象に、自転車エルゴメータを用いた最大下の自転車駆動時の負荷と心拍数の関係、および文部科学省新体力テストの20mシャトルラン（往復持久走）折り返しの総回数から最大酸素摂取量を推定し、昨年度、同学年で実施した結果<sup>10)</sup>と対照し、運動部に所属していることの有無が体力面および健康面に及ぼす影響を検討することとした。

## 方 法

### 1. 対象

平成24年度の本学人間健康学部総合健康学科健康スポーツコースの2年次生71名を対象とした。

### 2. 測定項目および測定方法

自転車エルゴメータを用いた最大下の自転車駆動運動と20mシャトルランは日を変え実施した。

#### ①間接法による最大酸素摂取量推定（以後「間接法」）

運動状況、あるいは体重により、自転車エルゴメータ（ウェルバイク BE-360：セノー社製）を用い、75ワット（W）あるいは100ワットより3分ごとに25Wずつ負荷を漸増する多段階式負荷漸増法にて自転車駆動を実施した。被験者は、自転車エルゴメータで安静状態を2分間以上保ったあと、運動を開始した。ペダリング頻度は、毎分55回転とした。

心拍数はマルチエクササイズテストシステム負荷心電図装置（ML-1800：フクダ電子社製）によって連続的に記録した。なお、誘導はCC5の胸部誘導を用いた。

目標心拍数（エンドポイント）は予測最高心拍数の80%（ $(220 - \text{年齢}) \times 0.8$ ）を目安とし、最大酸素摂取量は、目標心拍数に達せずに3分間漕ぎきった負荷のうち、最も高い負荷とそのときの心拍数の関係から、オストランドのノモグラム<sup>11)</sup>を使用し、最大酸素摂取量（単位：L/分）を導きだし、年齢補正係数を乗じ、体重で除して体重あたりの最大酸素摂取量（単位：mL/kg/分）としてあらわした。

#### ②20mシャトルラン（往復持久走）折り返しの総回数から最大酸素摂取量を推定（以後「シャトルラン」）

文部科学省新体力テスト実施要項<sup>12)</sup>の方法により、テスト終了時（電子音についていけなくなった直前）の折り返しの総回数より「20mシャトルラン（往復持久走）最大酸素摂取量推定表」によって最大酸素摂取量を算出した。

なお、最高心拍数の確認のため、運動中はスポーツ心拍計（ポラール社製 RS 400）を使用し、心拍数を記録した。

### 3. 統計処理

それぞれ平均値および標準偏差であらわした。平均値の有意差検定には対応のない Student の t テストを用い、その有意水準は、危険率が 5% 未満 ( $p < 0.05$ ) のものを採用した。

## 結 果

表 1 に示したように、対象とした 71 名の年齢は  $19.6 \pm 1.7$  歳（19～29 歳）、体重は  $56.5 \pm 7.0$  kg（43～83 kg）であった。

#### ①間接法

71 名の間接法による最大酸素摂取量の平均値は  $2.397 \pm 0.309$  L/分（1.730～3.250 L/分）、体重当たりでは  $42.7 \pm 5.1$  mL/kg/分（31.1～51.4 mL/kg/分）であった。また、メジアンは 42.5 mL/kg/分、モードは 42.0 mL/kg/分であった。その分布は図 1 に示した。

昨年度、同学年で実施した結果の平均値<sup>10)</sup>である  $2.349 \pm 0.331$  L/分、体重当たりの  $42.2 \pm 5.5$  mL/kg/分と比べほぼ同じ値であった。一方、日本人の体力標準値<sup>13)</sup>では 19 歳女性の最大酸素摂

表 1 被験者の特性

|               | 平均値 ± 標準偏差        | レンジ         |
|---------------|-------------------|-------------|
| 年齢 (歳)        | $19.6 \pm 1.7$    | 19～29       |
| 体重 (kg)       | $56.5 \pm 7.0$    | 43～83       |
| 最大酸素摂取量 (L/分) | $2.397 \pm 0.309$ | 1.730～3.250 |
| (mL/kg/分)     | $42.7 \pm 5.1$    | 31.1～51.4   |

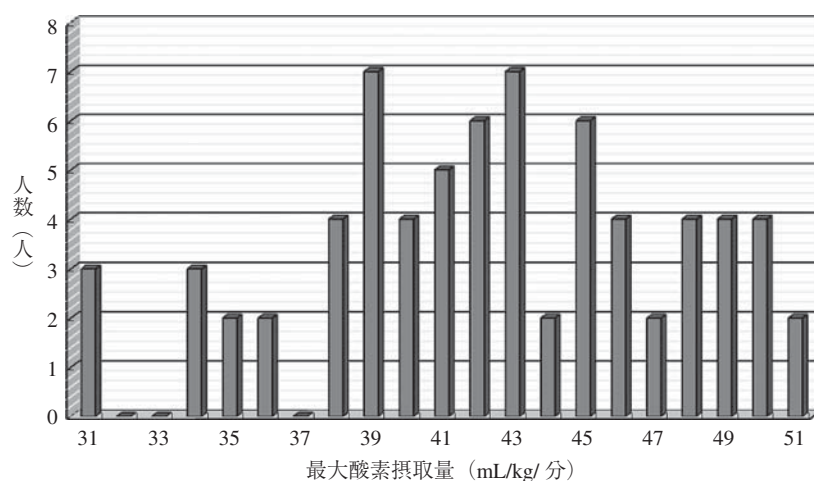


図 1 最大酸素摂取量の分布

取量は 36.8 mL/kg/分であり、平成 18 年に出された「健康づくりのための運動所要量」<sup>7)</sup>における生活習慣病予防効果の現れる最大酸素摂取量の基準値では 20 歳代女性では 33 mL/kg/分とされているが、昨年同様、今回の最大酸素摂取量の平均値でもこれらいずれの値をも上回った。

しかしながら、個別に見てみると、今回の対象者 71 名のうち、この生活習慣病予防効果の現れる最大酸素摂取量の基準を下回ったものが 3 名おり、これを運動部に所属しているか否かという面からみてみると、運動部に所属している者（以後、「運動部所属群」）が 1 名（2.3%）、運動部に所属していない者（以後「非所属群」）が 2 名（7.1%）であった。

## ②シャトルラン

20 m シャトルランテストの結果は表 2 に示した。折り返しの総回数は、 $79.7 \pm 19.2$  回（41～123 回）で、運動中の最高心拍数は  $195.4 \pm 10.5$  拍/分（172～214 拍/分）であり、これは予測される最高心拍数（200.4 拍/分）の 97.5% に達しており、今回の 20 m シャトルラン測定時は、ほぼ疲労困憊に至る運動強度に達していたと考えられる。昨年、同学年で実施した結果<sup>10)</sup>の折り返しの総回数  $77.2 \pm 20.1$  回、運動中の最高心拍数  $196.7 \pm 8.3$  拍/分（予測最高心拍数の 98.0%）と比較しても大差はない。また、今回のシャトルランによる最大酸素摂取量は、 $43.9 \text{ mL/kg/分}$ （35.2～53.9（mL/kg/分））であり、これについても昨年の  $43.4 \text{ mL/kg/分}$  とほぼ同じであった。よって、対象は異なっているにもかかわらず、本コースの在籍者の全身持久性は概ね  $43 \sim 44 \text{ mL/kg/分}$  のレベルにあるといえよう。この 20 m シャトルランテストの結果から推定される最大酸素摂取量

表 2 20 m シャトルランの成績およびそれにより推定した最大酸素摂取量

|                  | 平均値 ± 標準偏差       | レンジ       |
|------------------|------------------|-----------|
| 折り返しの総回数（回）      | $79.7 \pm 19.2$  | 41～123    |
| 最高心拍数（拍/分）       | $195.4 \pm 10.5$ | 172～214   |
| 最大酸素摂取量（mL/kg/分） | $43.9 \pm 4.3$   | 35.2～53.9 |

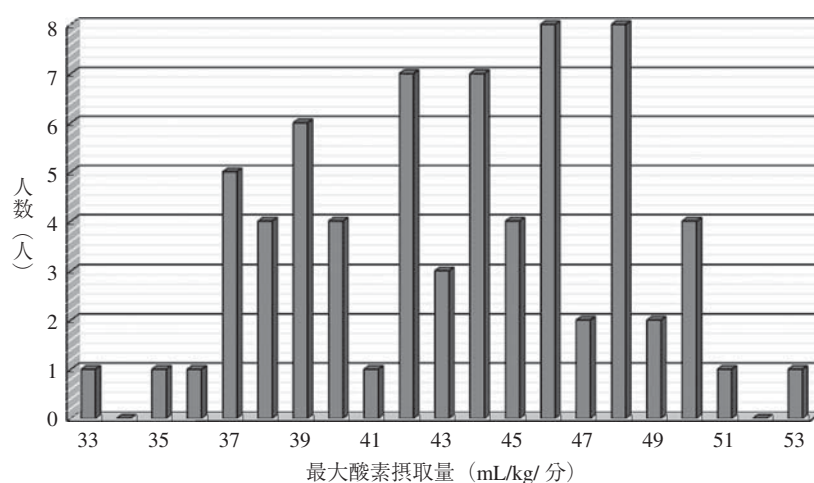


図 2 20 m シャトルランより推定した最大酸素摂取量の分布

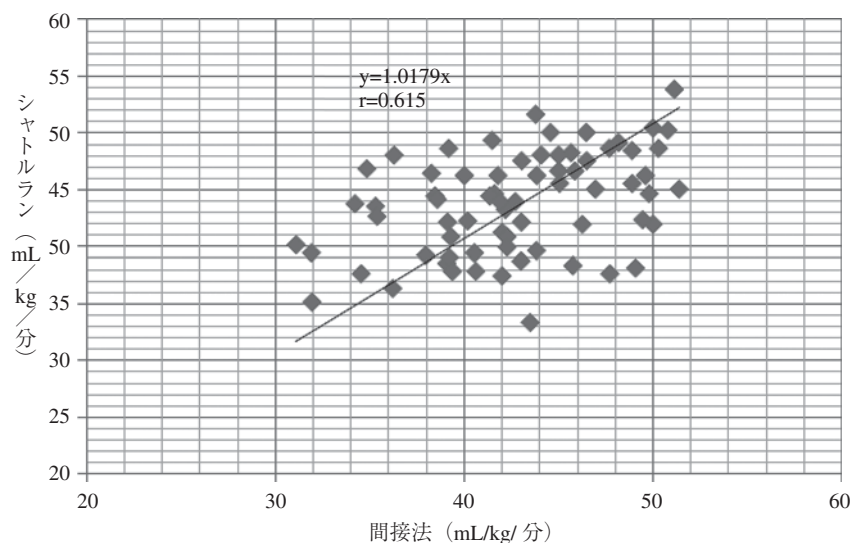


図3 間接法とシャトルランより推定した最大酸素摂取量の相関

の分布は図2に示した。昨年の分布が44.0～44.9 mL/kg/分に集中していたのに対し、今回は46.0～46.9 および 48.0～48.9 mL/kg/分が最も多いものの、42.0～42.9 および 44.0～44.9 mL/kg/分もこれらに続いて多く、分散する傾向がみられた。

この20m シャトルランテストの同年齢の女子の全国平均値<sup>8)</sup>は、折り返しの総回数が45.23回、そしてそれによる最大酸素摂取量は36.2 mL/kg/分に相当し、今回の結果はこれを大きく上回り、高い全身持久性を有していることになる。

この間接法とシャトルランによる最大酸素摂取量の差は、シャトルランが1.2 mL/kg/分 (+2.8%) 高い結果となった。両者の間には有意差はなく、 $r=0.615$  ( $p<0.01$ ) と高い相関であった(図3)。

### ③運動部所属群と非所属群

表3に示したように、間接法による最大酸素摂取量においては、運動部所属群が $43.6 \pm 5.3$  mL/kg/分 (31.1～51.4 mL/kg/分)、非所属群が $41.4 \pm 4.6$  mL/kg/分 (31.9～50.0 mL/kg/分) と運動部所属群が若干高いものの統計的な有意差はなかった。一方、シャトルランにおいては、運動部所属群が $46.2 \pm 3.4$  mL/kg/分、非所属群が $40.2 \pm 3.3$  mL/kg/分と運動部所属群が有意に高い結果となった ( $p<0.01$ )。その分布は図4に示した。昨年は間接法、シャトルランのいずれにおいても運動部所属群が有意に高い結果となったが、今回は、シャトルランにおいてのみの差が見られる結果

表3 運動部所属群と非所属群の最大酸素摂取量

|                  | 運動部所属群 (n=43)  | 非所属群 (n=28)         |
|------------------|----------------|---------------------|
| 間接法 (mL/kg/分)    | $43.6 \pm 5.3$ | $41.4 \pm 4.6$      |
| シャトルラン (mL/kg/分) | $46.2 \pm 3.4$ | $40.2 \pm 3.3^{**}$ |

\*\* :  $p<0.01$

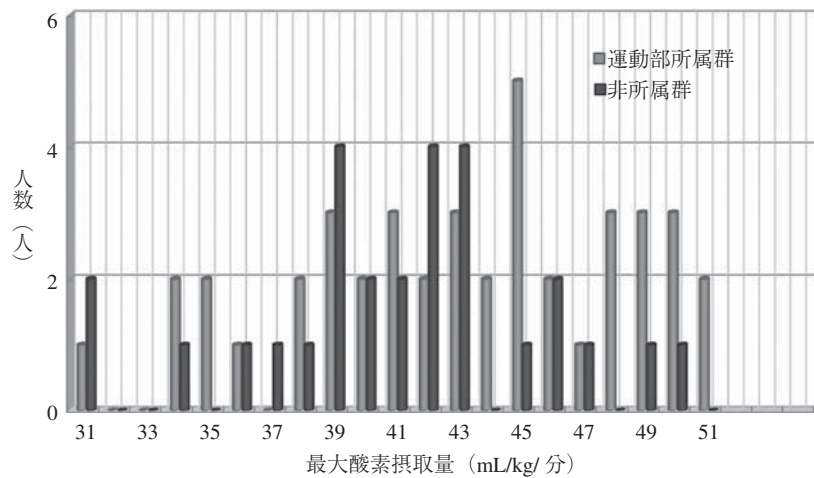


図4 運動部所属群と非所属群の最大酸素摂取量の分布

表4 運動部ごとの最大酸素摂取量

|           |        | 間接法 (mL/kg/分) | シャトルラン (mL/kg/分) |
|-----------|--------|---------------|------------------|
| ラクロス部     | (n=5)  | 46.4±5.0      | 44.7±1.6         |
| 陸上競技部     | (n=9)  | 44.7±6.1      | 46.6±4.7         |
| バスケットボール部 | (n=9)  | 43.9±4.9      | 46.5±4.6         |
| ソフトボール部   | (n=8)  | 42.8±4.6      | 45.8±2.4         |
| バレーボール部   | (n=10) | 41.0±5.3      | 46.7±2.2         |

となった。

運動部所属群の43名の内訳は、バスケットボール部が10名、陸上競技部とバレーボール部がそれぞれ9名、ソフトボール部が8名、ラクロス部が5名などで、その最大酸素摂取量は表4に示した。間接法では、人数は少ないもののラクロス部が46.4 mL/kg/分と最も高く、続いて陸上競技部の44.7、バスケットボール部の43.9、ソフトボール部の42.8、そしてバレーボール部の41.0 mL/kg/分であったが、各部の間には有意差は見られなかった。これに対して、シャトルランではバレーボール部が最も高く、続いて陸上競技部、およびバスケットボール部という順であったが、それぞれ46.7、46.6、および46.5 mL/kg/分とほぼ同じ値であった。一方、間接法で最も高い値を示したラクロス部は最も低い値であったが、間接法同様、各部の間には有意差は見られなかった。

## 考 察

間接法による最大酸素摂取量は42.7±5.1 mL/kg/分と、昨年同様同年代の平均値を16%上回った。このように本学科の最大酸素摂取量が高い要因として、学科のカリキュラムが1、2年次には比較的体育実技が多いこと、元々高校時代を含め、運動に積極的に取り組んできた者が多いこ

とが挙げられる。しかしながら、最大酸素摂取量の最大値は 51.4 mL/kg/分であった。本学学生の中には、大学選手権などにおいて活躍する選手も含まれているが、シドニーオリンピックのハンドボールの女子オリンピック選手、および同じくソフトボールの女子オリンピック選手の平均値が、それぞれ  $53.1 \pm 4.0$  mL/kg/分、および  $48.1 \pm 5.7$  mL/kg/分である<sup>14)</sup>ことを考えると、この値は必ずしも高い値とは言えない。その理由としては、今回実施した最大下の運動中の仕事量に対する心肺機能の応答から最大酸素摂取量を推定する間接法であることが挙げられる。この間接法は、①心拍数と酸素摂取量の間には直線関係があるが、最大作業に近づくにつれて心拍数の高まりよりもむしろ酸素摂取量の増加率が高くなる傾向があるため実測値に比べて 15~20% 低く見積もられる傾向がある、②同一年齢では最高心拍数が等しいが 20~40 歳では最大酸素摂取量が大きいほど最高心拍数は低くなるため、同一年齢でも、最大酸素摂取量の高い鍛錬者の最高心拍数は一般に低くなり、最高心拍数の個人差によって推定誤差が 4~7% 生じる、③自転車駆動の作業効率が女子では男子に比べて 1~2% 低いことが挙げられる。そのため、これらにより、測定誤差が実測値よりも 15~20% 低くなる。さらに、一般的にトレッドミルで行うより、自転車エルゴメータで行う測定の方が、最大酸素摂取量は 10% ほど低いことも知られている<sup>15)</sup>。仮に、前述の 15~20% の測定誤差の 15~20% という値を今回測定した最大値の 51.4 mL/kg/分に加えると  $59.1 \sim 61.7$  mL/kg/分となる。さらにこれに自転車エルゴメータで測定を行った分の 10% を上乗せすると、 $65.0 \sim 67.8$  mL/kg/分となり、これは十分に高い有酸素能力といえよう。

また、健康度の指標として、最大酸素摂取量を見ていくと、今回の対象者 71 名のうち、この生活習慣病予防効果の現れる最大酸素摂取量である 33 mL/kg/分の基準<sup>7)</sup>を下回ったものは、昨年より人数 (4 名)、割合 (6.1%) とともに下回ったものの 3 名 (4.2%) おり、うち運動部所属群が 1 名 (2.3%)、非所属群が 2 名 (7.1%) という内訳であった。しかし、これについても、前述の間接法であることを考慮すると、“33 mL/kg/分”を上回ることになり、対象とした被験者においては、生活習慣病予防効果の現れる最大酸素摂取量の基準値を満たしていることになる。

シャトルランによる最大酸素摂取量において、運動部所属群と非所属群の間には昨年同様、有意差 ( $p < 0.01$ ) が見られたものの、間接法による最大酸素摂取量においては、昨年とは異なり運動部所属群と非所属群には統計的な有意差はなかった。この理由としては、まず運動部所属群に全体の最大値 (51.4 mL/kg/分) のみならず最小値 (31.1 mL/kg/分) も含まれ、標準偏差 (5.3 mL/kg/分) すなわちバラツキが大きいものに対して、非所属群ではバラツキが運動部所属群よりも小さく、しかも 50.0 mL/kg/分に達するものがいたことが関係している。そして、今回の非所属群の中にはサークル活動としてテニス、バスケットボール、サッカー、野球を実施している者が多く、この者が約 1/3 を占めた。運動量、日常生活の活動量と最大酸素摂取量には比例関係があることから、非所属群のこれらの者が平均値を引き上げたため間接法による両群の最大酸素摂取量に差がなかったものと考えられる。

これに対して、有意差のみられたシャトルランにおいては、折り返し回数を増やすためには、全身持久性のための有酸素性能のみならず、徐々に速くなるリズムにあわせるためにスピー

ド、すなわち無酸素性能力が必要となる、そして走動作にターン動作技能の優劣が影響している<sup>16)</sup>ことから、バレーボール、バスケットボールのようにシャトルランの折り返し動作を頻繁に行うことなど、競技として運動部に所属している者が優っていたと考えられる。

間接法では、各部の最大酸素摂取量の間には有意差は見られなかったが、体育科学センターのスポーツによる健康づくり運動カルテ<sup>17)</sup>には、バレーボールのゲーム中の心拍数は女子の場合、120拍/分程度とするものもあり、ハンドボール、テニス、サッカー、バスケットボールに比べると低く、最大酸素摂取量の約70%かそれ以下である。しかし、ゲーム中の最高値は160~180拍/分に達しており、比較的強度の高い運動場面も含まれている。このように高い心拍数を示すのはスパイクやブロックのような跳躍動作を含むプレーを連続して行う人に限られるとされ、ポジションによって運動強度、運動量に大きな違いがある。同様に、ソフトボールでも132~162拍/分と大きな開きがあるが、バスケットボールでは試合中には170~180拍/分と高い運動強度を維持するのが特徴である。

今回の陸上競技部の場合、中長距離種目の者もいるが、短距離種目の者が半数を越え、跳躍や投擲種目の者という構成であったこと、また、バレーボール部に関しては様々なポジションであったことで、最大酸素摂取量の標準偏差が陸上競技部で6.1 mL/kg/分、バレーボール部で5.3 mL/kg/分のように、結果としてバラツキが大きくなり、各部の間で有意差が見られなかったと考えられる。

これに対して、シャトルランでの最大酸素摂取量はバレーボール部、陸上競技部およびバスケットボール部がほぼ同じ値で上位を占めたが、前述のように20 m シャトルランにおいては、全身持久性のみならずスピード、すなわち無酸素性能力が必要であるため、中長距離種目の者に加え、短距離種目の者が半数を越えた陸上競技部、そして、ターン動作技能に優れたバレーボール部およびバスケットボール部で折り返し回数が多くなり、結果、高い値となったと考えられる。

最大酸素摂取量の改善の程度は、トレーニングにおいての強度、時間、頻度、期間が重要な要素となり、最大酸素摂取量を高めるための全身持久性トレーニングを大別すると、一定の作業負荷で持続してトレーニングする *continuous training* (持続的トレーニング) と強弱の作業負荷で休息期 (*rest period*) をはさみながらトレーニングを繰り返す *intermittent training* (断続的トレーニング) とがあり、この代表は *interval training* (インターバル・トレーニング) である。十分にトレーニングされた者であっても最大酸素摂取量に相当する負荷強度では約10分しか走ることができないが、最大酸素摂取量の強度で2~3分走り、2~3分休息をいれた、いわゆるインターバル的に走り続けると、同じ疲労困憊に達するまでには約1時間あるいはそれ以上走る続けることが可能であり、インターバル的に運動を行うほうが、持続的に運動を行うより長時間、しかも強い強度での運動が可能である<sup>15)</sup>。最大酸素摂取量は、若者の方が中高年や老人に比べてトレーニングによる最大酸素摂取量の改善の程度が大きい<sup>9)</sup>ため、将来の体力、健康面からもインターバル的な運動・トレーニングを学生時代に運動部(クラブ)活動によって行っていくべきであろう。



今回対象とした総合健康学科健康スポーツコースでは、多くが保健体育の教員免許の取得や健康づくり指導者を目指しており、大学入学以前の高校時代はほとんどの者が運動部に所属し、大学入学後も運動を継続する者が多いのも特徴である。実際、対象とした71名のうち、運動部所属群が43名(60.6%)であり、一般的にみて集団としては活動的であるが、間接法での最大酸素摂取量には、運動部所属群と非所属群の間には差がみられなかった。これは、昨年と比べ、非所属群において、サークル活動を行う者が増え、間接法のみならずシャトルランにおいても最大酸素摂取量が増加するようになり、結果、運動部所属群と差がなかったことになる。すなわち、必ずしも運動部に所属しなくとも、日頃の活動状況如何によっては、十分なレベルの最大酸素摂取量を維持することが可能であるということになる。このことは健康度の面から、そして保健体育の教員免許の取得や健康づくり指導者を養成する本学科にとって好ましいことである。これが、今回のみならず今後も続いてくれることを望みたいと同時に学科としても、本学の運動部には所属しなくともサークルやクラブチーム、あるいは個人的にでも運動を続ける、行うような態度を醸成させるような取り組みが必要と思われる。

#### 参考文献

- 1) Hill, A. V. and H. Lupton. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q. J. Med.* 16: 135-171, 1923.
- 2) Robinson S, Edwards HT, Dill DB. NEW RECORDS IN HUMAN POWER. *Science.* 23; 85 (2208): 409-410, 1937.
- 3) Cureton. T K. *The Physical Fitness of Champion Athletes Jr.* Urbana, IU.: University of IUinois Press, 1951.
- 4) Astrand, P.-O. *Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age.* Ejnar Munksgaard, Copenhagen, Denmark, 1952.
- 5) Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol.*; 8(1). 73-80, 1955.
- 6) 健康づくりのための運動所要量策定検討会. 健康づくりのための運動所要量策定検討会報告書, 1989.
- 7) 運動所要量・運動指針の策定検討会. 健康づくりのための運動基準 2006～身体活動・運動・体力～報告書 (平成 18 年 7 月), 2006.
- 8) 文部科学省スポーツ・青少年局生涯スポーツ課. 平成 22 年度体力・運動能力調査結果の概要及び報告書, 2011.
- 9) Adams WC, McHenry MM, Bernauer EM. Long-term physiologic adaptations to exercise with special reference to performance and cardiorespiratory function in health and disease. *Am J Cardiol.* 20; 33(6): 765-75, 1974.
- 10) 藤沢政美. 女子学生の最大酸素摂取量の現状. 園田学園女子大学論文集 46: 33-41, 2012.
- 11) Åstrand, P.-O. and K. Rodahl. *Textbook of work physiology.* McGraw-Hill: New York, 1986.
- 12) 文部科学省. 新体力テスト-有意義な活用のために-. ぎょうせい, 2000.
- 13) 東京都立大学体力標準値研究会編. 新・日本人の体力標準値. 不味堂出版, 2000.
- 14) 財団法人日本オリンピック委員会. 平成 11 年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究-第 23 報-. 日本体育協会, 東京, 2000.
- 15) 山地啓司. 改訂 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, 2001.
- 16) 吉田雄大, 高橋信二, 板谷厚, 木塚朝博. 20 m シャトルランテストにおける酸素摂取量に対するターン技能の影響. 日本体育学会大会予稿集 (61), 204, 2010.

17) 体育科学センター. スポーツによる健康づくり運動カルテ. 講談社, 1983.

---

[ふじさわ まさみ 運動生理学]