

非エリート大学サッカー選手の体力特性と試合中の運動強度

大 森 一 伸
奥 本 正

I. 緒言

スポーツの競技レベルが高くなると、その競技に適した特異的体力が発達する¹⁾。サッカーでは90分間で約10kmを移動することから全身持久力が求められるが、マラソンなどのような比較的運動強度の変化が少ない一定強度の持久運動とは異なり、サッカーの競技中は運動強度（移動速度）が頻繁に変化する間欠的な持久運動が行われている^{2,3,4,5)}。この間欠的持久力がサッカー選手の特異的専門的体力とみなされており、実際、全身持久力の指標である最大酸素摂取量が競技レベル間で同等であっても、間欠的持久力は競技レベルの高いサッカー選手が優れる^{6,7,8)}。また、プレシーズンからインシーズンにかけての最大酸素摂取量の改善率は3-11%であるのに対して、間欠的持久力では25%も向上することや⁹⁾、高強度の間欠的持久力は試合中の高強度の運動量と関連することなどが認められている¹⁰⁾。

これまで、特異的専門的体力が十分に発達している競技レベルの高い一流サッカー選手を対象として、間欠的持久力について最大酸素摂取量や試合中の移動距離との関連から検討したり、生理応答の特徴が数多く明らかにされている^{4,11)}。これらの知見を、必ずしもトップレベルではない選手のトレーニングに応用していくためには、幅広い競技レベルを対象にして間欠的持久力について検討する必要がある。しかしながら、これまでレクリエーションレベルや発展途上にある非エリートサッカー選手の体力特性や間欠的持久力を検討したものは少ない。本研究では、アマチュア大学サッカー選手を対象として、間欠的持久力、体力特性および試合中の心拍数を計測し、競技レベルの低いサッカー選手の特異的専門的体力の発達について検討した。

II. 方法

1. 対象者

対象者は健康な男子大学生で10名であった（年齢:20±1.7歳、身長:171.6±5.1cm、体

重:64.7±5.9kg, 体脂肪率:16.4±3.3%)。彼らのサッカーの競技歴は平均で8.3年であったが、その間、全国大会の出場や選抜チームへの選出などの経験なく、また所属している大学サッカー部も県リーグで活動していた。対象者には、測定の内容と危険性を十分に説明し理解させるとともに、実験の途中で辞退しても不利益を受けないことを伝え、自由意志にて実験参加への同意を得た。

2.測定の概要

対象者全員に文部科学省新体力テストの20mシャトルラン, 立ち幅跳び, 反復横跳び, 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2peak}$), 自転車ペダリングパワーならびに間欠的持久力を評価するシャトルランを実施した。また, 10名のうち6名が90分間の練習試合中の心拍数を計測した。

3.測定項目

20mシャトルラン, 立ち幅跳び, 反復横跳びは文部科学省新体力テストに従って体育館にて実施した。最大酸素摂取量の測定は自転車エルゴメーター (Aerobike75XL II, コンビ) を用いた漸増負荷運動により行った。負荷は0 watt から開始し毎分25 watt ずつ漸増するランプ負荷とした。自転車運動のペダル回転数は毎分60~70回転とし, 験者の叱咤激励にもかかわらず回転数を維持できなくなったときを疲労困憊とした。運動中は呼気ガスを採取し自動呼気ガス分析装置 (Aero Monitar, ミナト医科学) を用いて酸素摂取量, 二酸化炭素排出量および換気量を30秒平均で測定した。また, 運動中は心拍数を記録した。運動中に負荷が増大しても酸素摂取量が増加しない, 呼吸ガス交換比が1.1以上であること, 心拍数が推定最高心拍数を超過していることを確認したうえで, 得られた酸素摂取量の最大値を $\dot{V}O_{2peak}$ とした。自転車ペダリングパワーは30秒間のウィングテストを4分間の休息を挟んで3セット行った。負荷は体重の7.5%とし最大努力でペダル駆動したときの平均パワーをそれぞれ求めた。また, 1セット目に対する3セット目の平均パワーの低下率を次の式より算出した。

$$\text{低下率} = 100 - (3\text{セット目の平均パワー} / 1\text{セット目の平均パワー} \times 100)$$

間欠的持久力のテストはサッカーグラウンドにて20m間隔のシャトルランを3種類の速度で疲労困憊まで繰り返すものであった。テストの前に10分間のランニングと5分間のストレッチングからなるウォーミングアップを行った。テストのランニング速度と距離は初めに時速18.7km (高速のランニング) で2往復し, その後時速4.6 km (低速のジョギング) で2往復, 時速14.4 km (中速のランニング) で1.5往復, 最後に時速4.6 km (低

速のジョギング)で1往復するものを1セットとした(図1)。運動時間はそれぞれ15秒、60秒、15秒、30秒の1セットの合計2分であった。この運動を験者の叱咤激励にもかかわらず高速のランニングを維持できなくなるまで繰り返した。

試合中の心拍数はハートレートモニター(Polar)を用いて5秒間隔で記録した。対象となった試合は練習試合であった。分析には1試合(前半45分と後半45分)の合計90分に出場し、さらに心拍数が完全に記録された対象者のデータを用い、最終的に10名のうち6名のデータを用いた。漸増負荷運動中に得られた酸素摂取量と心拍数の関係式より、試合中の平均運動強度を $\dot{V}O_{2peak}$ に対する割合で算出した(図2)。

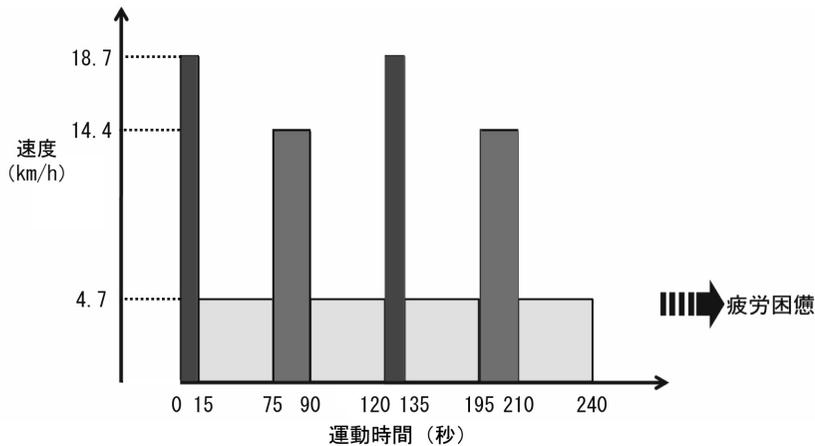


図1 間欠持久運動テストの概要

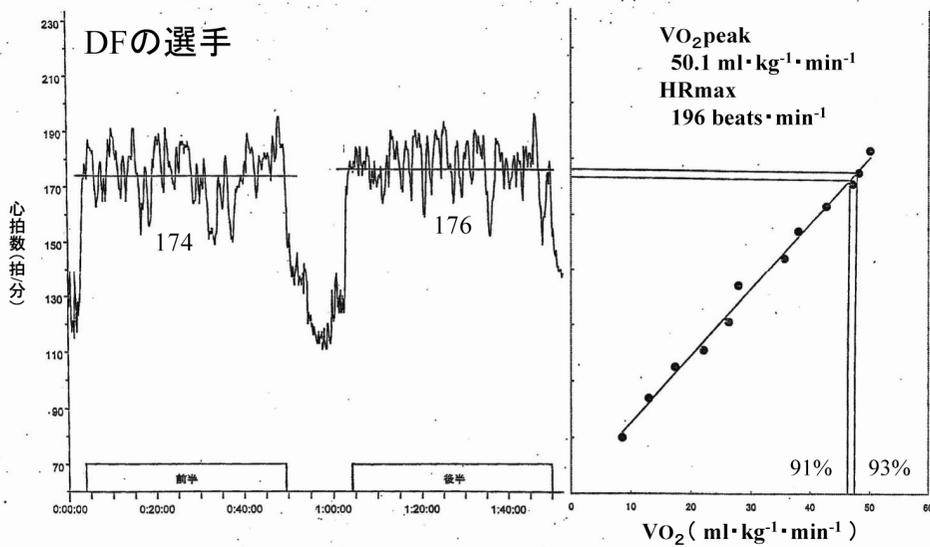


図2 試合中の心拍数（左）と漸増負荷運動中に得られた酸素摂取量と心拍数の関連式（右）より平均運動強度を算出する方法

4. 統計処理

得られたデータは平均と標準偏差であらわした。間欠的持久カテストの成績と、 $\dot{V}O_{2peak}$ および20 m シャトルランの成績との相関関係，ならびに $\dot{V}O_{2peak}$ と平均パワーの低下率との相関関係はピアソンの積率相関係数を算出した。また，試合中の平均心拍数と運動強度における前半と後半の差の検定には対応のある t 検定を用いた。いずれも有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結果

表1には間欠的持久カテスト，最大酸素摂取量ならびに体力カテストの結果を示した。間欠的持久カテストは平均で34セットで時間になると約68分の運動であった。間欠的持久カテストの結果と最大酸素摂取量 ($r=0.883, p<0.05$) および20 m シャトルラン ($r=0.789, p<0.05$) との間には高い正の相関関係が認められた (図3)。一方， $\dot{V}O_{2peak}$ とペダリングパワーの低下率の間には関連はなかった (図4)。表2には6名の対象者における試合中の心拍数と運動強度を示した。平均心拍数と平均運動強度は前半よりも後半で有意に高い値であった ($p<0.05$)。

表 1. 間欠持久運動テスト、最大酸素摂取量、体力テストの結果

間欠持久運動テスト	(セット)	34.0±9.3
$\dot{V}O_{2peak}$	(ml・min ⁻¹)	3097±278
$\dot{V}O_{2peak}$	(ml・kg ⁻¹ ・min ⁻¹)	48.0±4.3
20mシャトルラン	(本)	125.1±12.9
ペダリングパワー		
1セット目	(watt)	565.5±41.2
2セット目	(watt)	520.0±49.1
3セット目	(watt)	472.8±46.2
低下率	(%)	16.5±3.1
立ち幅跳び	(cm)	248.0±9.1
反復横跳び	(回)	57.8±4.3

n = 10, mean ± SD

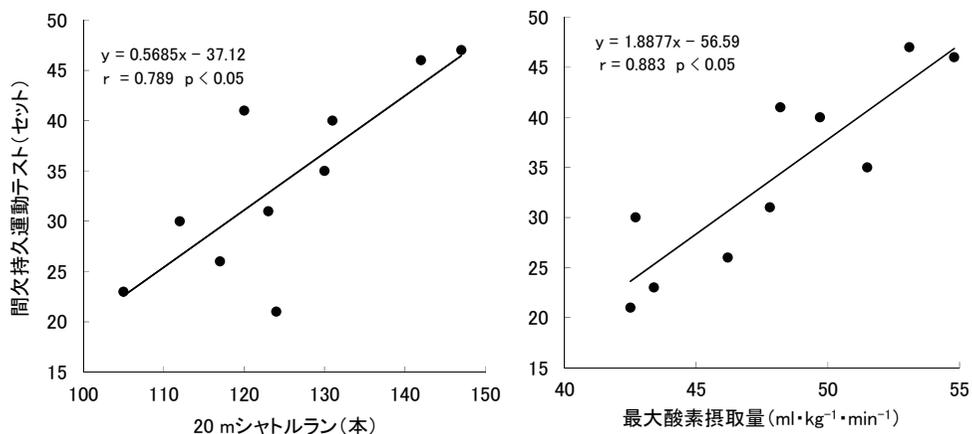


図3. 間欠持久運動テストと20 mシャトルランおよび最大酸素摂取量の相関関係

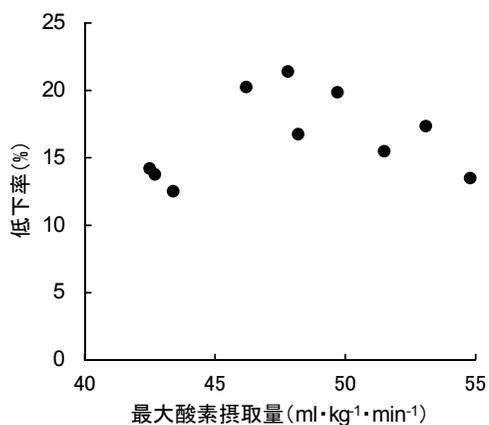


図4. 最大酸素摂取量とウィンゲートテストの低下率

表2. 試合中の最高および平均心拍数と平均運動強度

	最高心拍数 (beats·min ⁻¹)	平均心拍数 (beats·min ⁻¹)		平均運動強度 (%VO ₂ peak)	
		1 st half	2 nd half	1 st half	2 nd half
subject1	196	174	176	78	82
subject2	185	156	160	61	65
subject3	193	174	176	91	93
subject4	199	179	176	89	92
subject5	197	174	173	73	74
subject6	194	178	179	93	96
Mean±SD	194.0±4.9	172.5±8.4	173.3±6.8*	80.8±12.5	83.7±12.3*

*は1st halfよりも有意に高いことを示す(p<0.05)

IV. 考察

本研究のサッカー選手では、間欠的持久力テストの成績と $\dot{V}O_{2peak}$ および20 m シャトルランとの間に強い相関関係が認められた。また、ウィングートテストを繰り返した際のパワーの低下率と $\dot{V}O_{2peak}$ とには関連が認められなかった。これらのことから、本研究のサッカー選手は間欠的持久力が発達していないと推察され、それゆえに、試合中の心拍数や相対的な運動強度が高かったと考えられた。

一流サッカー選手の最大酸素摂取量は少なくとも $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ は必要であるといわれているが⁴⁾、本研究のサッカー選手の $\dot{V}O_{2peak}$ は一般成人と同等であった。本研究では自転車エルゴメーターを用いて $\dot{V}O_{2peak}$ を測定したことから、トレッドミルランニングでの測定よりも過小評価されている可能性はある。実際、20m シャトルランの成績は日本フットボールリーグの選手や全国レベルの大学サッカー選手と同等であり¹²⁾、推定最大酸素摂取量は $54.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ となる。しかしそれでも、一流選手のレベルではなかった。無酸素性のエネルギー供給能力を評価しているウィングートテストについて、イングランドのプロおよびセミプロ選手の平均パワーは $637\sim 841 \text{ watt}$ であり⁵⁾、本研究のサッカー選手のウィングートテスト1セット目の平均パワーは明らかに低い。さらには、敏捷性を評価する反復横跳びも全国レベルの大学サッカー選手では60回以上を記録しているが¹³⁾、本研究の結果は国内の男子19歳の平均値 (57.6回、文部科学省、2009年) と同等で一般学生レベルであった。一方、全身の筋力や瞬発力を評価する立ち幅跳びは全国レベルの大学サッカー選手と同等の値であった¹³⁾。これらのことから、本研究のサッカー選手は立ち幅跳びが全国レベルの大学サッカー選手と同等であったものの、全身持久力や敏捷性に劣っていた。

本研究ではウィングートテストを4分間の休息を挟んで3回繰り返した。このように高強度運動を間欠的に繰り返す運動では、最大酸素摂取量が高いと休息時の回復が充進し運動パフォーマンスに優れることが示唆されている¹⁴⁾。McMahon ら¹⁵⁾は15秒の最大スプリントを90秒間の休息を挟んで6回繰り返す運動におけるパワーの低下率と最大酸素摂取量との間に有意な負の相関関係を認めている。本研究ではウィングートテスト3セットの低下率と $\dot{V}O_{2peak}$ との間に関連はなかった。これは $\dot{V}O_{2peak}$ が低いことからセット間の休息時回復を促すための有酸素的エネルギー能力が発達していないことを示唆している。このことはすなわち、サッカー選手の特異的専門的な体力である間欠的持久力が発達していないことを示しているといえよう。さらに本研究では間欠的持久力テストの成績と $\dot{V}O_{2peak}$ とが強い相関関係 ($r=0.883$) を示したことも間欠的持久力が発達し

ていないことを支持する。最大酸素摂取量は高強度運動を間欠的に繰り返すさいの回復力の影響をおよぼすものの¹⁴⁾、一流サッカー選手の間欠的持久力は、必ずしも最大酸素摂取量とは高い相関を示さないことが認められている⁹⁾。

サッカーの試合中の平均心拍数を報告したものは多くあるが、競技レベル、試合の内容、ポジションなどにより異なる^{5, 16)}。報告を概観すると、競技レベルが高く公式試合に近い状況であるほど平均心拍数は高くなり170~180拍/分を示す。一方、競技レベルが低く練習試合 (friendly match) だと155~170 拍/分と低くなる^{17, 18)}。本研究の試合は練習試合であったが平均心拍数は173 拍/分と高い値を示した。また、 $\dot{V}O_{2peak}$ の相対値で表した平均運動強度も80~84% $\dot{V}O_{2peak}$ を示し、競技レベルが高く公式試合に近い状況で認められた値と同等であった⁵⁾。このことは、本研究のサッカー選手の競技レベルが高いことを示すのではなく、 $\dot{V}O_{2peak}$ やペダリングパワーが低かったことを考えると、試合中の持久的体力に余裕がなく、運動強度が相対的に高かったと解釈すべきであろう。 $\dot{V}O_{2peak}$ が低い選手が高強度運動を繰り返した場合、心拍数の回復力にも劣ると推察される。それゆえ、心拍数や運動強度が後半で高くなったと考えられる。Helgerudら¹⁹⁾は、ジュニアサッカー選手を対象にしてインターバルトレーニングによって最大酸素摂取量を向上させたら、サッカーのパフォーマンスが改善したことを報告しているが、本研究のように全身持久力が低いサッカー選手の場合には最大酸素摂取量を高めるトレーニングが必要となろう。一方で、スケート選手では、高強度間欠運動のパフォーマンスに最大酸素摂取量は関連しないとする報告もあり²⁰⁾、今後さらなる研究が求められる。

本研究で用いた間欠的持久力テストはサッカーの運動様式を模して新たに考案したものであり、テストの成績について先行研究と直接比較検討することができない。また、テストの平均の運動時間は約68分であり、他の間欠的持久力を評価するフィールドテストよりも長かった。これにはBangsboらのYo-Yo intermittent recovery testは¹⁰⁾、ランニング速度が漸増し回復時間が10秒であるのに対して、本研究のテストではランニング速度は漸増せず、ジョギングでの回復時間が30~60秒と比較的長かったことが影響したと考えられる。しかしながら、Bangsboらのテストは¹⁰⁾、比較的速い速度(時速10 km)からスタートし漸増するので本研究のように全身持久力が低いサッカー選手が行うと、運動時間が数分で終わり間欠的持久力を適切に評価できないことも考えられる。いずれにしても、本研究の間欠的持久力テストの妥当性について検証する必要がある。

まとめると、本研究のサッカー選手は $\dot{V}O_{2peak}$ や敏捷性が一流選手より低く、間欠的持久力と $\dot{V}O_{2peak}$ が強い関連を示した。さらには、高強度運動を繰り返した時の回復

力と $\dot{V}O_{2peak}$ との関連が認められないことから、本研究のサッカー選手は間欠的持久力が発達していないと考えられ、それゆえに試合中の心拍数や相対的な運動強度が高くなっていたと推察された。

V. 参考文献

1. Müller E, Benko U, Raschner C, Schwameder H. “Specific fitness training and testing in competitive sports” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32 (2000),216-220.
2. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. “Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player” *Journal of Sports Sciences*, 24 (2006), 665-674.
3. Ekblom B. “Applied physiology of soccer” *Sports Medicine*,3 (1986),50-60.
4. Reilly T “An ergonomics model of the soccer training process” *Journal of Sports Sciences*, 23 (2005), 561-572.
5. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer: an update, *Sports Medicine*,35 (2005), 501-536.
6. Edwards AM, MacFadyen AM, Clark N. “Test performance indicators from a single soccer specific fitness test differentiate between highly trained and recreationally active soccer players” *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43 (2003), 14-20.
7. 大森一伸・中村好男・村岡功 “サッカー選手におけるインターバルフィールドテストの妥当性” *早稲田大学体育学研究紀要*, 第29号 (1997),21-27.
8. Rampinini E, Sassi A, Azzalin A, Castagna C, Menaspà P, Carlomagno D, Impellizzeri FM. “Physiological determinants of Yo-Yo intermittent recovery tests in male soccer players” *European Journal of Applied Physiology*, 108 (2010), 401-409.
9. Krstrup P, Mohr M, Amstrup T, Rysgaard T, Johansen J, Steensberg A, Pedersen PK, Bangsbo J. “The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: Physiological Response, Reliability, and Validity” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35 (2003), 697-705.
10. Krstrup P, Bangsbo J. “Physiological demands of top class soccer refereeing in

- relation to physical capacity: effect of intense intermittent exercise training” *Journal of Sports Sciences*, 19 (2001), 881-891.
11. Bangsbo J, Iaiia FM, Krstrup P. “The Yo-Yo intermittent recovery test; a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports” *Sports Medicine*, 38 (2008), 37-51.
 12. 片桐幹雄・佐藤祐 “サッカー競技者の全身持久力を生理学的に評価するための20m シャトルランテストの研究” 仙台大学大学院スポーツ科学研究科研究論文集, 1/2 (2003), 49-56.
 13. 安部久貴・藤枝賢晴 “大学サッカー選手に観る競技力と簡易体力テスト指標の関連” 東京学芸大学紀要5部門, 56 (2004), 131-141.
 14. Tomlin DL, Wenger HA. “The Relationship Between Aerobic Fitness and Recovery from High Intensity Intermittent Exercise” *Sports Medicine*, 31 (2001), 1-11.
 15. McMahon SAJ, Wenger HA. “The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise” *Journal of Science and Medicine in Sport*, 1 (1998), 219-227.
 16. Ali A & Farrally M “Recording soccer players’ heart rates during matches” *Journal of Sports Sciences*, 9 (1991), 183-189.
 17. Krstrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kj-r M, Bangsbo J. “Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38 (2006), 1165-1174.
 18. 吉村雅文・内藤久士・宮原祐徹・青葉幸洋・吉井秀邦 “人工芝ピッチにおけるサッカーの試合が筋損傷に及ぼす影響” 順天堂スポーツ健康科学研究, 第1 巻 (2010), 414-420 .
 19. Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, Hoff J. “Aerobic endurance training improves soccer performance” *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33 (2001), 1925-1931.
 20. Carey DG, Drake MM, Pliego GJ, Raymond RL. “Do hockey players need aerobic fitness? Relation between VO₂max and fatigue during high-intensity intermittent ice skating” *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21 (2007), 963-966.