

[研究ノート]

ユース年代日本トップレベルのサッカー選手に
おけるゲーム中の心拍変動に関する事例的研究

森木 吾郎¹・房野 真也¹・大塚 道太²・磯部 峰一³

塩崎 浩作³・白石 智也¹・鬼塚 純玲¹

**A case study of heart rate variability during a soccer game in
Japanese top-level youth soccer players**

Goro MORIKI, Shinya BONO, Dohta OHTSUKA, Minekazu ISOBE,

Kousaku SHIOZAKI, Tomoya SHIRAISHI, Sumire ONITSUKA

Abstract

The purpose of this study was to examine the physiological characteristics of top-level youth soccer players and their positional characteristics during an official game as a case study, and to obtain basic materials for future research. Three youth soccer players (FW, MF, and DF) of Sanfrece Hiroshima F.C. youth team were analyzed by measuring their heart rate (HR) during one official game in which they were in the starting lineup. As a result, the following four points became clear: (1) the HR during the game periodically fluctuated up and down between 130-200 bpm, (2) average HR were 180.7 ± 10.9 bpm for FW player, 175.8 ± 9.5 bpm for MF player, and 169.6 ± 11.6 bpm for DF player, (3) regarding to the HR distribution, although the “High” category was the highest for all players in the whole game, in the second half, there was a significant decrease in the “Maximum” category for FW player, and the highest category for DF player changed from “High” to “Moderate,” and (4) HR during the game was, in descending order, $FW > MF > DF$.

Keywords:

ユース年代選手 youth players, 心拍変動 heart rate variability, 公式戦
official game, 生理的反応 physiological responses

緒 言

多くのスポーツ競技において、ゲーム中や練習

中の運動強度の測定から競技特性を明らかにし、
トレーニング現場に還元するための研究が行われ
ている^{1,2)}。これらの研究により、各競技のパ

¹ 広島文化学園大学人間健康学部 (Hiroshima Bunka Gakuen University, Faculty of Human Health Science)

² 大分大学教育学部 (Oita University, Faculty of Education)

³ 株式会社サンフレッチェ広島 (Sanfrece Hiroshima FC Co., Ltd.)

パフォーマンス向上に重要な体力的要素も明らかとなってきた。その中でも、サッカー等の球技系競技においては、試合時間全体を通して間欠的に動作を継続するための全身持久力や間欠的運動の持久力の重要性が指摘されている^{3,4,5)}。間欠的運動の持久力とは、ハイパワー運動を間欠的に持続する体力のことであり、この体力には有酸素性のエネルギー産生能力が大きく影響することが報告されている⁴⁾。したがって、これらの体力的要素の面から選手個々の特性やポジションの特性を把握することはトレーニング処方を行う上でも重要と考えられる。

全身持久力や有酸素性エネルギー産生能力などのいわゆる有酸素性能力のゴールドスタンダードとされ、生理的な運動強度を表す最も妥当性が高い指標は酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2$ ）であるが、その測定には技術的・経済的に困難がともなう。このため、スポーツ指導の現場では、測定が比較的容易で $\dot{V}O_2$ と直線関係を示す心拍数（以下、HR）を用いて運動強度の推定やトレーニング処方が行われている^{2,6)}。

サッカーにおいても、HRを用いてゲーム中や練習中の運動強度を測定し^{7,8,9)}、選手個々の特性やポジション特性の把握に活用されている。しかし、日本ではトップレベルの選手を対象に、実際の公式戦におけるHR等の生理的運動強度の測定が行われた研究は少なく、トップレベル選手のゲーム中の運動強度の測定には映像分析システムを活用したTime-motion分析による物理的運動強度の測定が主として行われている^{3,10)}。さらには、ユース年代のトップレベル選手を対象に運動強度の測定を行った研究はU-18日本代表候補選手1名を対象とした金子ほか（1998）¹¹⁾などが散見される程度である。

そこで本研究は、高円宮杯JFAU-18サッカープレミアリーグ2018ファイナル優勝などユース年代トップクラスの実力を持つサンフレッチェ広島F.Cユース所属選手を対象に、公式戦ゲーム中のHRを測定し、ユース年代トップレベル選手の生理的特性やポジションによる生理的特性を事例的

に検討し、今後の研究に向けた基礎資料を得ることを目的として行った。

方 法

1. 被検者

本研究の被検者は、サンフレッチェ広島F.Cユースに所属する選手3名であった。ポジションは被検者AがFW、被検者BがMF、及び被検者CがDFであった。被検者の身長、体重、ポジションを表1に示す。被検者には研究目的、匿名性、調査協力をいつでも拒否できることを説明し、承諾を得たうえで実施した。

表1 被検者の身長、体重、ポジション

被検者	身長 (cm)	体重 (kg)	ポジション
A	173.0	71.7	FW
B	177.1	71.1	MF
C	183.8	71.6	DF
\bar{X}	178.0	71.5	
σ	5.5	0.3	

2. 測定の概要及び測定方法

高円宮杯JFAU-18サッカースーパープリンスリーグ2020中国の公式戦1ゲームに先発出場した3名のゲーム中のHRを測定した。試合結果は、5対0で勝利（前半：2対0、後半：3対0）しており、被検者A及びBは得点を挙げるなど3名とも中心選手として活躍した。HRの測定には、リアルタイムで測定可能な心拍センサー搭載のGPS機器（SPI HPU, 15Hz, GPSports）を用い、試合中継続的に測定を行った。

3. データの整理

上記の実験で得られたHRのデータは、ゲーム終了後にエクスポート機能を用いてデータを出力し、Microsoft Excelにテキストデータとして保存し、そのデータを分析した¹²⁾。データはゲーム中全体、前半・後半、5分毎に分け、平均値、標準偏差、最大値、及び最小値を算出した。

また、Deutsch et al.(1998)¹³⁾及び大塚ほか

(2013)²⁾と同様に、最高心拍数(以下、HRmaxと略す)を基準とした4つのカテゴリー Maximal (>95%HRmax), High (85-95%HRmax), Moderate (75-84%), Low (<75%)を用いて、ポジション別にHRを分類した。ただし、先行研究^{2,13)}がゲーム中のHRmaxを基準に分類したのに対し、本研究では220-年齢¹⁴⁾をHRmaxの基準として分類した。これは、先行研究^{2,13)}ではラボラトリーテストの結果よりもゲーム中のHRmaxとして高い値が計測されたのに対し、本研究では測定された最大値がFW選手における202bpmであり、理論値である220-年齢¹⁴⁾と同値であったためである。

結 果

ゲーム中における各被検者のHRの推移を図1に示した。いずれの被検者も前半開始直後にHRは急激に上昇し、その後はゲーム前半が終了するまでポジションに関わらず150-200bpmの間を周期的に上下に変動した。また、後半においては、後半開始直後にHRは急激に上昇し、その後は被検者A (FW)では選手交代する後半33分まで150-

200bpmの間を、被検者B (MF)ではゲーム終了まで140-190bpmの間を、そして被検者C (DF)ではゲーム終了まで130-190bpmの間をそれぞれ周期的に上下に変動した。特に、被検者A (FW)

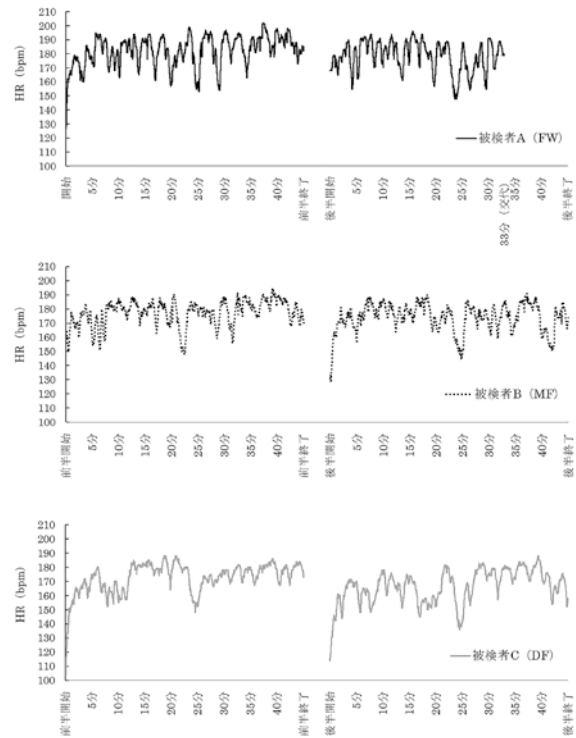


図1 ゲーム中における各被検者のHRの推移

表2 各被検者における時間帯毎の平均HR及び後半の低下率

		0-5分	5-10分	10-15分	15-20分	20-25分	25-30分	30-35分	35-40分	40-45分	全45分	全90分	
被検者A (FW)	前半	平均HR	170.67	182.09	183.51	181.89	178.97	181.50	185.24	190.17	187.88	182.44	180.73
		標準偏差	10.29	8.23	7.92	10.35	11.27	13.43	8.19	6.29	5.76	10.75	10.91
		% HRmax	84.49	90.14	90.85	90.04	88.60	89.85	91.70	94.15	93.01	90.31	89.47
	後半	平均HR	176.20	183.71	180.59	182.47	173.26	171.69	182.67	-	-	178.41	-
		標準偏差	7.82	8.77	8.23	10.10	13.52	9.90	6.90	-	-	10.69	-
		% HRmax	87.23	90.94	89.40	90.33	85.77	84.99	90.43	-	-	88.32	-
	後半の低下率 (%)	3.24	0.89	-1.59	0.32	-3.19	-5.40	-1.39	-	-	-1.02	-	
被検者B (MF)	前半	平均HR	170.66	172.91	180.39	178.41	173.23	176.57	179.57	184.05	179.87	177.30	175.78
		標準偏差	7.55	10.55	4.58	6.07	12.61	6.70	8.69	5.36	6.58	8.98	9.54
		% HRmax	84.48	85.60	89.30	88.32	85.76	87.41	88.90	91.11	89.04	87.77	87.02
	後半	平均HR	167.22	179.21	177.80	179.63	166.68	175.48	173.06	181.47	167.82	174.27	-
		標準偏差	10.95	6.05	5.19	6.70	11.01	7.24	7.52	6.56	10.09	9.84	-
		% HRmax	82.78	88.72	88.02	88.93	82.52	86.87	85.67	89.83	83.08	86.27	-
	後半の低下率 (%)	-2.01	3.64	-1.44	0.69	-3.78	-0.62	-3.63	-1.40	-6.70	-1.69	-	
被検者C (DF)	前半	平均HR	157.70	167.19	172.53	180.12	173.44	170.29	176.29	178.73	177.38	172.63	169.55
		標準偏差	14.53	7.26	10.09	4.65	11.77	5.27	3.69	4.63	4.77	10.54	11.56
		% HRmax	78.07	82.77	85.41	89.17	85.86	84.30	87.27	88.48	87.81	85.46	83.94
	後半	平均HR	155.92	161.38	167.67	158.53	162.80	169.88	174.81	179.74	167.56	166.48	-
		標準偏差	14.33	7.64	6.23	7.99	13.88	10.89	5.08	4.19	6.40	11.72	-
		% HRmax	77.19	79.89	83.01	78.48	80.59	84.10	86.54	88.98	82.95	82.41	-
	後半の低下率 (%)	-1.13	-3.48	-2.82	-11.99	-6.14	-0.24	-0.84	0.57	-5.54	-3.51	-	

では150-200bpmの間を2-5分周期で急激な上下の変動を繰り返した。

さらに各被検者における運動強度の推移を細かく分析するため、前半及び後半をそれぞれ5分毎に分け、各被検者毎に平均HRを算出した。各被検者における時間帯毎の平均HR及び後半の低下率を表2に示した。ゲーム中全体における平均HRは、被検者A (FW) では 180.7 ± 10.9 bpm (前半： 182.4 ± 10.8 bpm, 後半： 178.4 ± 10.7 bpm), 被検者B (MF) では 175.8 ± 9.5 bpm (前半： 177.3 ± 9.0 bpm, 後半： 174.3 ± 9.8 bpm), 被検者C (DF) では 169.6 ± 11.6 bpm (前半： 172.6 ± 10.5 bpm, 後半： 166.5 ± 11.7 bpm) であり、ポジションで見ると、FW > MF > DFの順に高値を示した。また、全被検者において前半が後半よりも高値を示した。ゲーム中全体におけるHRの最高値は、被検者A (FW) では202bpm, 被検者B (MF) では195bpm, 被検者C (DF) では188bpmであった。

また、平均HRにおける後半の低下率は、後半全体でみると、被検者A (FW) で-1.0%, 被検者B (MF) で-1.7%, 被検者C (DF) で-3.5%と、いずれの被検者においても低下を示した。時間帯別にみると、後半20分以降では被検者C (DF) の

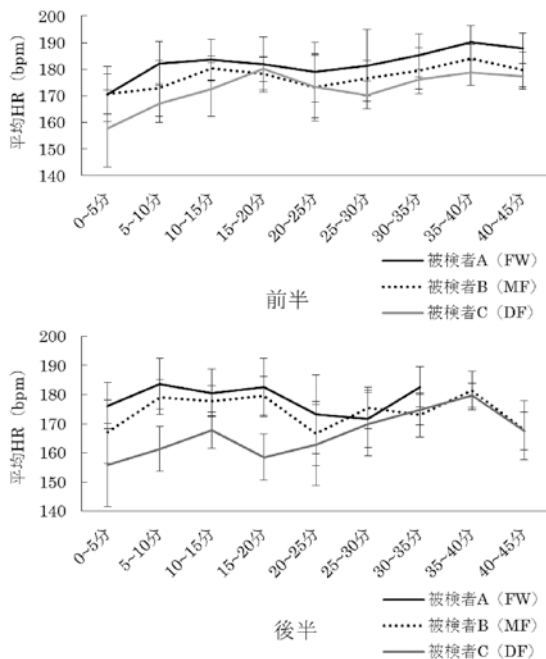


図2 前半・後半5分毎における平均HRの推移

35-40分を除いて全ての被検者で低下を示した。

次に、前半・後半5分毎における平均HRの推移を図2に示した。前半では、いずれの時間帯においても平均HRは被検者A (FW) が被検者B (MF) 及び被検者C (DF) よりも高値を示し、被検者A (FW) > 被検者B (MF) > 被検者C (DF) の順に高値となる時間帯が多かった。後半においても、前半とほぼ同様の結果であった。

さらに、4つのカテゴリで分類したゲーム中におけるポジション毎のHR分布を図3に示した。Maximumのカテゴリでは、被検者A (FW) が13.7%, 被検者B (MF) が0.3%, 被検者C (DF) が0.0%であった。Highのカテゴリでは、被検者A (FW) が66.4%, 被検者B (MF) が72.5%, 被検者C (DF) が50.5%であった。Moderateのカ

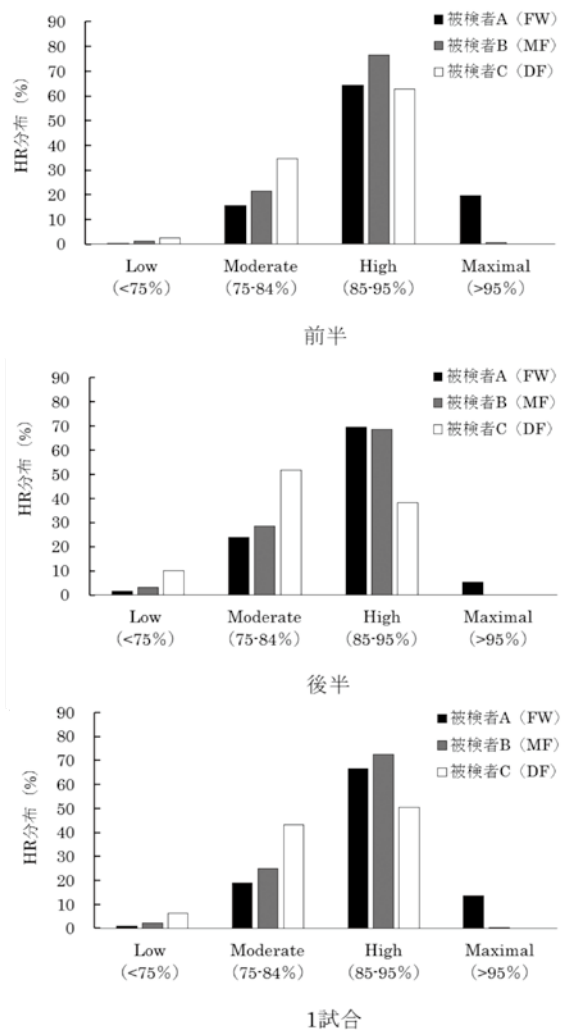


図3 ゲーム中におけるポジション毎のHR分布

テゴリーでは、被検者A (FW) が19.0%, 被検者B (MF) が25.0%, 被検者C (DF) が43.2%であった。そして、Lowのカテゴリーでは、被検者A (FW) が0.9%, 被検者B (MF) が2.2%, 被検者C (DF) が6.3%であった。ゲーム全体では全被検者がHighのカテゴリーで最も高値を示した。

考 察

本研究は、公式戦ゲーム中のHRを測定し、ユース年代トップレベル選手個々の生理的特性やポジションごとの生理的特性を事例的に検討し、今後の研究に向けた基礎資料を得ることを目的として行った。

1. ユース年代トップレベル選手の生理的特性

本研究におけるゲーム中のHRは、被検者A (FW) で150-200bpm, 被検者B (MF) で140-200bpm, 被検者C (DF) で130-190bpmを周期的に上下に変動した (図1)。先行研究においても、球技等の間欠的運動の場合、HRは上昇と下降を繰り返す¹⁵⁾ことが報告されている。また、インターバルトレーニングにおいては、休息期に60%HRmax程度までHRを低下させることが至適な回復率とされるが^{16,17)}、本研究においては、ゲーム中の各被検者における変動幅の中で最も低値を示した被検者C (DF) でも65%HRmax (130bpm)程度までしか低下しておらず、非常に高水準でのHR変動であったと言える。この理由としては、ゲーム中の休息期や低強度での歩行等の時間が非常に短かったことが推測されるが、間欠的運動においては、休息期の時間が短くなるほど有酸素系エネルギー産生能力の重要度が増す⁴⁾。大塚ほか (2013)²⁾も、このような高水準でのHR変動を伴う競技においては高レベルの有酸素系能力を獲得する必要性を示唆しており、特にゲーム中の低強度運動や休息時間の割合が少なくても、高強度の運動を維持できる能力を高める必要性に言及している。

次に、これまでサッカーゲーム中における平均

HRは、170bpm前後であるとの報告があり¹⁸⁾、大学生を対象とした向本ほか (2014)¹²⁾の研究においては、90分のゲーム中でFW169.1±3.5bpm, MF159.0±5.7bpm, DF158.5±12.2bpmであったと報告している。本研究における平均HRは、いずれの被検者 (ポジション) においてもこれらの報告よりも高値を示した (表2)。また、4つのカテゴリーで分類したゲーム中におけるポジション毎のHR分布を比較すると、全被検者 (ポジション) においてHigh (85-95% HRmax) のカテゴリーで最も高値を示した。一方、大学生を対象とした向本ほか (2014)¹²⁾の研究では、FW選手はHigh相当のカテゴリーで最も高値を示したが、MF及びDF選手はModerate (75-84% HRmax) 相当のカテゴリーで最も高値を示している。これらのことから、本研究の被検者となったユース年代トップレベル選手は、高い運動強度での長時間運動の維持を可能とする非常に優れた全身持久力及び間欠的運動の持久力を有していることが推測された。

2. ポジションによる生理的特性

本研究の4つのカテゴリーで分類したゲーム中におけるポジション毎のHR分布を前半と後半に分けると、MFにおいては前半 (Maximum: 0.6%, High: 76.6%, Moderate: 21.6%, Low: 1.2%) と後半 (Maximum: 0.0%, High: 68.4%, Moderate: 28.4%, Low: 3.2%) でほぼ同様の分布を示したが、FWにおいては前半 (Maximum: 19.7%, High: 64.3%, Moderate: 15.6%, Low: 0.4%) に対して後半 (Maximum: 5.4%, High: 69.4%, Moderate: 23.7%, Low: 1.6%) とMaximumのカテゴリーで顕著に低下を示した。また、DFにおいては、前半 (Maximum: 0.0%, High: 62.8%, Moderate: 34.7%, Low: 2.5%) に対して後半 (Maximum: 0.0%, High: 38.2%, Moderate: 51.7%, Low: 10.0%) と最も高値を示したカテゴリーがHighからModerateへと変化した。これらの顕著な変化が、ゲーム展開やチーム戦術などの戦術面によるものなのか、被検者となった3名の個人特性によるものなのか、それともポジション特性によるものなのかは、

今後の研究において明らかにする必要がある。

また、前半・後半5分毎における平均HR(表2, 図2)や4つのカテゴリーで分類したゲーム中におけるポジション毎のHR分布(図3)から、本研究におけるゲーム中のHRは、FW > MF > DFの順で高値であったと考えられる。向本ほか(2014)¹²⁾及び大学男子サッカー選手のポジション特性を検討した中西ほか(2017)¹⁹⁾においても同様の結果が報告されており、このポジション間におけるHR分布の差は、高強度(時速18km以上)での総移動距離を反映していることが示唆されている¹⁹⁾。つまり、FW選手ではより高頻度で高強度でのスプリントが必要とされることが推察され、これはユース年代トップレベル選手に限らずサッカー競技におけるポジション特性である可能性が考えられる。このことは、物理的運動強度との対応関係についても検討することで今後定量的に明らかにする必要がある。

3. トレーニングへの示唆

本研究は、今後の研究に向けた基礎資料を得ることを目的に行った事例研究であるため、一般化したトレーニングへの示唆を行うことは難しいが、本研究の結果からの示唆を一点行う。

本研究では、ゲーム中に先行研究^{12, 18)}と比較して平均HR及びHR分布の両方で高値を示した。これは、ユース年代トップレベル選手の生理的特性である可能性も考えられるが、本研究の被検者が所属するサンフレッチェ広島F.Cユースの戦術面の特徴に起因することも推察される。しかし、全被検者で後半の平均HRが低下を示し(表2)、特に被検者B及びCでは後半40分以降、被検者Aでは後半25分以降において前半同時帯と比較して5%程度の平均HRの低下が認められるなど、ゲーム終盤(交代間際)における相対的な運動強度の低下が示された。前半と後半におけるゲーム展開や戦術面での違いという要因も考慮に入れる必要があるが、HR変動からみたパフォーマンス向上を目的としたトレーニングに言及すると、本研究の被検者となったユース年代トップレベル選手

は、90分の試合終盤においても運動強度を維持するための有酸素系のエネルギー産生能力を向上させるトレーニングを行うことで、さらなるパフォーマンス向上が期待できると考えられる。

本研究の成果と今後の見通し

本研究は、これまで報告の少ない公式戦ゲームにおけるユース世代トップレベル選手の生理的特性やポジションによる生理的特性を事例的に検討し、今後の研究に向けた基礎資料を得ることを目的として行った研究であるため、被検者を各ポジション1名ずつ、1ゲームのみの検討とした。そのため、被検者数が少ない、単例の結果であるため、推察の域を出ない部分が多く残る。また、報告の少ない生理学的運動強度に関する基礎資料を得られたことは大きな成果であるが、その運動強度の変化の原因となった動作・行動面の検討、すなわち物理的運動強度の検討も合わせて行うことで、よりユース世代トップレベル選手の特性を明らかにできると考えられる。以上のことから、本研究の結果を基に、①被検者の増加、②分析試合数の増加、③物理的運動強度と合わせた検討、④一般的なユース年代選手との比較、⑤チーム間での比較、などを行うことでユース世代トップレベル選手の特性やポジションによる特性を明らかにすることが今後の課題である。

本研究により得られた、今後の研究に向けた基礎資料となる主な結果は以下の通りである。

- ① 本研究の被検者となったユース年代トップレベル選手は、先行研究と比較してゲーム中の平均HR及びHRのカテゴリー分布において高値を示した。
- ② MFにおいては、前半と後半でHRのカテゴリー分布に変化が認められなかったのに対し、FWではMaximumのカテゴリーで顕著に低下を示し、DFでは最も高値を示したカテゴリーがHighからModerateへと変化した。
- ③ ゲーム中の平均HR及びHRのカテゴリー分布から、ゲーム中のHRは、FW > MF > DFの順で高値であり、先行研究と同様の結果であった。

文献

- 1) 森木吾郎, 黒川隆志, 西山健太, 明石啓太, 大塚道太, 足立達也 (2015) 野球の守備練習における継続時間が生体負担度と捕球・送球の正確性に及ぼす影響. 体育学研究, 60(2):603-616.
- 2) 大塚道太, 黒川隆志, 梶山俊仁, 出口達也, 森木吾郎, 西山健太 (2013) 心拍数と主観的運動強度からみた7人制ラグビーの運動強度. コーチング学研究, 27(1):33-43.
- 3) 宮森隆行, 吉村雅文, 綾部誠也, 宮原祐徹, 青葉幸洋, 鈴木茂雄 (2008) 大学サッカー選手のポジション別体力特性に関する研究. 理学療法科学, 23(2):189-195.
- 4) 坂井和明, 高松薫 (1999) 間欠的なハイパワー発揮能力と3種のエネルギー産生能力との関係. 体力科学, 48(4):453-466.
- 5) 坂井和明, 伊藤竜兵, 大高敏弘, 高松薫 (2006) 球技スポーツ競技者における個別性の原則を考慮した体力トレーニングの効果. 体育学研究, 51(1):21-32.
- 6) 猪飼道夫, 山地啓司 (1971) 心拍数からみた運動強度:運動処方の研究資料として. 体育の科学, 145:589-593.
- 7) Ali, A., & Farrally, M (1991) Recording soccer players' heart rates during matches. Journal of sports sciences, 9(2):183-189.
- 8) Casamichana, D., & Castellano, J (2010) Time-motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games:Effects of pitch size. Journal of sports sciences, 28(14):1615-1623.
- 9) 杉山允宏・岡田栄治 (1994) スポーツ活動・身体運動の運動強度:第1報 サッカーの練習強度. 愛媛大学教育学部紀要, 第I部, 教育科学, 140(2):65-76.
- 10) 沖原謙・菅輝・塩川満久・松本光弘・崔喆洵・野地照樹 (2000) サンフレッチェ広島 vs 横浜マリノス戦のゲーム分析に関する研究—サッカーにおける“コンパクト”度に関する分析—. サッカー医・科学研究, 20:4-7.
- 11) 金子保敏, 大橋二郎, 戸莉晴彦, 磯川正教, 丸山剛生, 沼澤秀雄, 石崎聡之 (1998) 097C03101 ユースサッカー選手を対象としたゲーム中の運動強度の測定 (体育方法). 日本体育学会大会号, 第49回:p.517.
- 12) 向本敬洋, 伊藤雅充, 河野徳良, 野村一路, 西條修光 (2014) GPS機器を利用した大学男子サッカー選手における各ポジションのTime-motion分析. コーチング学研究, 27(2):215-223.
- 13) Deutsch, M. U., Maw, G. J., Jenkins, D., Reaburn, P. (1998) Heart rate, blood lactate and kinematic data of elite colts (under-19) rugby union players during competition. Journal of sports sciences, 16(6):561-570.
- 14) Fox, E. L. (1984) Sports physiology (2nd ed.). CBS college publishing:New York, pp.206-219.
- 15) 山本正嘉 (1994) AnerobicsとAerobicsの二面性をもつ運動をとらえる:間欠的運動のエナジエティクス. Japan Journal of Sports Sciences, 13(5):607-615.
- 16) Gershler, W. (1962) インターバル・トレーニング. OLYMPIA, 11:24-35.
- 17) McArdle, W. D., Katch, F. I., Katch, V. L. (1981) Exercise physiology. Lea & Febiger, pp.266-285.
- 18) Bangsbo J (1994) The physiology of soccer with special reference to intense intermittent exercise. Acta Physiol Scand, 151 (Suppl 619):1-153.
- 19) 中西健一郎, 小澤治夫, 館俊樹, 和田雅史, 加藤勇之助, 小林寛道 (2017) GPS 機器を活用した大学男子サッカー選手のポジション特性に関する基礎的研究. スポーツと人間:静岡産業大学論集, 2(1):5-12.