

〈報告〉

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

吉村 雅文*・内藤 久士*・宮原 祐徹**・青葉 幸洋***・吉井 秀邦****

Acute effect of football games played on artificial turf on muscle damage

Masafumi YOSHIMURA*, Hisashi NAITO*, Yutetsu MIYAHARA**,
Yukihiro AOBA*** and Hidekuni YOSHII****

Abstract

The past several years have seen a remarkable growth in the number of soccer fields with artificial turf. Drawing attention as an alternative for natural turf, artificial turf is increasingly gaining popularity. In the meantime, no research can be found regarding influences on physical constitution of a soccer player inflicted by various surfaces including clay, artificial and natural turfs. In this research, we have examined influences of games on different surfaces under the heat-severe enough to impose a bodily burden-upon a player's physical constitution. Comparison was made among clay surface, natural turf, and artificial turf, while the influence was studied by examining biochemical values in the blood for such parameters for muscle damage as Myoglobin, Creatine, Aldolase and CPK.

Examination was made with collected values to identify differences among three surface groups.

No significant difference was found with Myoglobin and Creatine among the three groups, while with CPK, a significant difference was recognized between the clay and artificial turf groups, suggesting that clay surfaces are more likely to cause some kind of muscle damage than artificial turf.

In the course of the study, we have recognized several points yet to be considered. These include the intensity and time frame of exercise, exact timing of blood collection, and individual variations. It would contribute to the future growth of artificial turf to deliberate on the above points and proceed with the research.

Key words: surface, artificial-turf, muscle damage

1. 緒 言

サッカー競技において、ここ数年のロングパイル

* 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科
Graduate School of Health and Sports Science, Juntendo University

** 東亜大学人間科学部 スポーツ健康学科
Department of sports and health sciences, University of East Asia

*** 順天堂大学スポーツ健康科学部
School of Health and Sports Science, Juntendo University

**** 学校法人 仙台育英学園高等学校
Sendai Ikuei Gakuen, Incorporated Sendai Ikuei Gakuen High School

人工芝^{*1}ピッチの普及は目覚ましい。ロングパイル人工芝は天然芝と比較してピッチ状態を維持しやすく、土よりもグラウンドコンディションが天候に左右されにくく安定するという利点があるため、天然芝に替わる素材として注目を集め、世界各地で人工芝ピッチが増加している。

ロングパイル人工芝ピッチは、1990年代に国外で誕生し、日本においては2000年から導入が始められた。Jリーグのチーム(川崎フロンターレ)が2000

^{*1} ロングパイル人工芝:長さ50mmの合成樹脂製パイルの隙間に、弾性材を含む粒状材料を充填しパイルを安定させた人工芝複合製品

Table 1 An image of each pitches (advantage and disadvantage)

	Advantage	Disadvantage
Clay	<ul style="list-style-type: none"> • Cheap • Maintenance is easy 	<ul style="list-style-type: none"> • Surface condition is unstable • Damage of gears is large
Natural turf	<ul style="list-style-type: none"> • Ecological • Safety 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance cost is expensive • Weak
Artificial turf	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance is easy • Surface condition is stable 	<ul style="list-style-type: none"> • Dangers of traumata is high • Load for legs is heavy

N=67 (players: 60, coaches: 7)

年6月に最初に採用したのを皮切りに、2004年には約180施設だった施設数は、その後1年ごとに約360施設、約550施設、約770施設、約930施設と増加している。現在日本には1130施設以上のロングパイル人工芝の施設が存在しており、今後益々、ロングパイル人工芝ピッチの普及が予測される。しかしながら、サッカー選手および関係者のロングパイル人工芝ピッチに対するイメージは、まだ天然芝に替わるほどのピッチ材質として認知はされていないように思われる。その要因の一つには、Table. 1に示されたようなデメリットがあるかもしれない。これまでの人工芝に関する先行研究は、ボールのはずみ、転がり、摩擦特性あるいは発生する傷害について検討した研究がほとんどであり⁹⁾、生体の負担度について他のピッチと比較検討した研究は見当たらない。そこで本研究では、ロングパイル人工芝ピッチが筋損傷に及ぼす影響を土および天然芝と比較しながら検討することを目的とした。

2. 方 法

2.1 被験者

被験者は、関東大学サッカーリーグ1部に所属するサッカー選手10名であった。なお、研究の目的、内容および考えられる危険やその対策を口頭および文書にて説明し、被験者に研究に対する理解を深めてもらった上で、実験参加への同意を文書にて得た。また、本研究は、順天堂大学スポーツ健康科学部研究等倫理委員会の承認を得た。

2.2 実験デザイン

被験者は、土、天然芝およびロングパイル人工芝

ピッチでのトレーニングゲームを各2試合行った。ゲーム中の走行距離、また運動強度を評価するために、心拍数および血中乳酸濃度を測定した。さらに各ピッチでの筋損傷の程度を評価するために、そのマーカーである血中の乳酸脱水素酵素 (lactate dehydrogenase: LDH)、アルドラーゼ、クレアチンキナーゼ (creatin kinase: CK)、およびミオグロビン (myoglobin: Mb) を測定した。なお、プロトコルを Figure. 1 に示した。なお、試合時における乾球温度、相対湿度、および WBGT は、それぞれ $8.2 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ 、 $57.7 \pm 20.7\%$ 、および $6.7 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ (平均 ± 標準偏差) であった。

2.3 測定項目および方法

• 走行距離

走行距離は、DKH社製サッカーゲーム分析ソフト「アシスト」を使用し、土および人工芝の条件で測定された2試合の走行距離を平均した。天然芝は、1試合目しか測定することができなかったため、1試合目の値を用いた。分析は、全試合に完全出場した5名を対象として行った。

• 心拍数 (heart rate: HR)

試合中のHR (拍/分) は、ハートレートモニター (アキュレックスプラス, Polar) を用いて、5秒間隔で記録した。分析には、1試合の前半45分と後半45分の合計90分に出場し、さらにHRが完全に記録された被験者のデータを用いた。分析の対象人数は、それぞれ土: 8名、天然芝: 9名、および人工芝: 6名であった。前半と後半のHRを平均して1試合のHRとした。2試合のHRが平均され、条件間で比較された。

48h		Rest
measurement day	9:00	urinalysis collect blood
	1h before the game	blood lactate concentrations
	1st half	video shoot HR blood lactate concentrations
	half time	
	2nd half	HR
	after the game	blood lactate concentrations
24h	1.5h	Training
measurement day	1h before the game	blood lactate concentrations
	1st half	video shoot HR blood lactate concentrations
	half time	
	2nd half	HR
	after the game	blood lactate concentrations
24h	9:00	urinalysis collect blood

Figure. 1 Protocol of Experimentation (six days is for 1 process, measured on clay, natural turf, artificial turf.)

• 血中乳酸濃度 (blood lactate concentrations: La)

La 測定のための採血は、試合前、前半終了後および試合後に指先より行った。血液は、測定用キャピラリーチューブ (20 μ l) 内に採取し、キャピラリーチューブをただちに溶血剤入りのサンプル容器に投入した後、容器の上下を数回逆転させて十分に溶血させた。その後自動血中乳酸濃度分析器 (BIOSEN 5040L, Industrie Elektronik) を用いて分析した。分析には、1 試合の前半45分と後半45分の合計90分に出場した被験者のデータを対象とした。対象人数は、それぞれ土:10名、天然芝:10名、および人工芝:8名であった。前半終了後および試合後の La 値が平均され、1 試合の La とされた。2 試合の La が平均され、条件間で比較された。

• 筋損傷マーカー

Figure. 1 に示されているように、2 試合の前後で肘前静脈から採血された血液を外注に依頼し、筋損傷に関連する LDH, アルドラーゼ, CK および Mb 値が分析された。なお、筋損傷マーカーの条件間の比較には、全ての試合に出場した6名のデータを用いた。

2.4 統計処理

走行距離, HR, および La (pre と試合時) の条件間の平均値の差の検定には、一元配置分散分析を用いた。LDH, アルドラーゼ, CK および Mb の条件間の平均値の差の検定は、二元配置の反復測定分散分析を行った。交互作用が認められた場合には、Bonferroni の post-hoc テストが条件間の比較に用いられた。またそれぞれの条件における pre と post の比較には対応の t-test が用いられた。有意水準は $P < 0.05$ に設定した。すべての値は mean \pm SD で示した。

3. 結 果

• 走行距離, HR および La

Table. 2 に示したように、走行距離, HR および La において、条件間に有意な差はみられなかった。なお La の pre 値においても、条件間に有意な差はみられなかった (ウォーミングアップ終了時 土: 2.3 ± 0.8 mmol \cdot l $^{-1}$, 天然芝: 2.5 ± 0.6 mmol \cdot l $^{-1}$, 人工芝: 2.3 ± 0.5 mmol \cdot l $^{-1}$)。

• LDH

各ピッチの LDH は、土: pre; 195.2 ± 37.0 IU \cdot

Table 2 Running distance, heat rate (HR) and blood lactate concentration (La) in clay, natural turf and artificial turf. Values are mean \pm SD.

	Clay	Natural turf	Artificial turf
Running distance (m)	10350 \pm 1251	10094 \pm 1115	10256 \pm 899
HR (beats \cdot min ⁻¹)	168 \pm 7	166 \pm 4	159 \pm 10
La (mmol \cdot L ⁻¹)	6.3 \pm 1.5	5.5 \pm 1.5	4.9 \pm 1.8

l⁻¹, post; 291.8 \pm 41.1 IU \cdot l⁻¹, 天然芝: pre; 218.2 \pm 16.8 IU \cdot l⁻¹, post; 268.3 \pm 30.8 IU \cdot l⁻¹, 人工芝: pre; 218.7 \pm 17.7 IU \cdot l⁻¹, post; 248.3 \pm 30.5 IU \cdot l⁻¹であった (Fig. 2). Pre 値を100%とした変化率は, 土: 153 \pm 31%, 天然芝: 124 \pm 19%, および人工芝: 114 \pm 11%であった. 反復測定 of 二元配置分散分析は, 時間 (pre, post) と条件 (土, 天然芝, 人工芝) との間に交互作用があることを示した. また時間における主効果がみられ, 全ての条件において, post 値が pre 値より有意に高い (土: P < 0.01, 天然芝, 人工芝: P < 0.05) ことを示した. また pre 値は, 条件間に有意な差はみられなかった. post 値は, 人工芝条件が土条件より有意に低い値を示した (P < 0.05). しかしながら, 人工芝条件と天然芝条件, 土条件と天然芝条件との間に有意な差はみられなかった.

• アルドラーゼ

各ピッチのアルドラーゼは, 土: pre; 7.2 \pm 2.6 IU \cdot l⁻¹, post; 15.4 \pm 5.0 IU \cdot l⁻¹, 天然芝: pre; 6.2 \pm 1.2 IU \cdot l⁻¹, post; 7.5 \pm 1.5 IU \cdot l⁻¹, 人工芝: pre; 5.7 \pm 1.1 IU \cdot l⁻¹, post; 8.1 \pm 2.0 IU \cdot l⁻¹であった (Fig. 2). pre 値を100%とした変化率は, 土: 228 \pm 83%, 天然芝: 122 \pm 28%, および人工芝: 142 \pm 23%であった. 反復測定 of 二元配置分散分析は, 時間 (pre, post) と条件 (土, 天然芝, 人工芝) との間に交互作用があることを示した. また時間における主効果がみられ, 土および人工芝条件において, post 値が pre 値より有意に高い (土, 人工芝: P < 0.01) ことを示した. 天然芝条件においては, その傾向はみられたが有意な差はみられなかった (P = 0.097). 条件における主効果はみられたが, pre 値において条件間に有意な

差はみられなかった. post 値において, 人工芝条件は土条件より有意に低い値を示した (P < 0.001) が, 天然芝条件との間には有意な差はみられなかった. また天然芝条件は, 土条件より有意に低い値を示した (P < 0.001).

• CK

各ピッチのCKは, 土: pre; 92.7 \pm 160.3 IU \cdot l⁻¹, post; 1492.3 \pm 487.6 IU \cdot l⁻¹, 天然芝: pre; 283.3 \pm 65.4 IU \cdot l⁻¹, post; 548.3 \pm 168.0 IU \cdot l⁻¹, 人工芝: pre; 261.3 \pm 117.9 IU \cdot l⁻¹, post; 606.3 \pm 279.4 IU \cdot l⁻¹であった (Fig. 2). pre 値を100%とした変化率は, 土: 429 \pm 220%, 天然芝: 203 \pm 89%, および人工芝: 235 \pm 60%であった. 反復測定 of 二元配置分散分析は, 時間 (pre, post) と条件 (土, 天然芝, 人工芝) との間に交互作用があることを示した. また時間における主効果がみられ, 全ての条件において post 値が pre 値より有意に高い (土, 人工芝: P < 0.01, 天然芝: P < 0.05) ことを示した. 条件における主効果はみられたが, pre 値において条件間に有意な差はみられなかった. post 値において, 人工芝条件は土条件より有意に低い値を示した (P < 0.001) が, 天然芝条件との間に有意な差はみられなかった. また天然芝条件は, 土条件より有意に低い値を示した (P < 0.001).

• Mb

各ピッチのMbは, 土: pre; 24.8 \pm 6.6 ng \cdot ml⁻¹, post; 52.5 \pm 11.1 ng \cdot ml⁻¹, 天然芝: pre; 22.2 \pm 6.4 ng \cdot ml⁻¹, post; 40.7 \pm 7.9 ng \cdot ml⁻¹, 人工芝: pre; 25.5 \pm 5.4 ng \cdot ml⁻¹, post; 26.5 \pm 6.9 ng \cdot ml⁻¹であった (Fig. 2). Pre 値を100%とした変化率は, 土: 225 \pm 83%, 天然芝: 193 \pm 58%, お

よび人工芝：103±16%であった。反復測定二元配置分散分析は、時間(pre, post)と条件(土, 天然芝, 人工芝)との間に交互作用があることを示した。また時間における主効果がみられ、土および天然芝条件においてpost値がpre値より有意に高い(土, 天然芝： $P < 0.01$)ことを示したが、人工芝条件において有意な差がみられなかった。条件における主効果がみられたが、pre値において条件間に有意な差はみられなかった。post値においては、人工芝条件が土条件および天然芝条件より有意に低い値を示した($P < 0.001$)。また天然芝条件は、土条件より有意に低い値を示した($P < 0.01$)。

4. 考 察

筋損傷

筋損傷は、運動後に血液中に流出した筋たんぱく質あるいは酵素の量によって間接的に評価され

る³⁾。その代表的な指標の一つであるCKは、本研究において、全ての条件で試合後に有意に増加した。さらに人工芝のピッチにおけるCKの増加は、土のピッチよりも低く、天然芝と同程度であった。また他の筋損傷マーカーであるLDH、アルドラーゼ、およびMbにおいても同様の傾向を示した。これらの結果は、本研究でのサッカーの試合によって筋損傷が生じたことを示し、人工芝での試合後の筋損傷の程度は、土よりも小さく、天然芝と同程度であったことを示唆している。

筋損傷は、伸張性収縮を伴う運動において生じやすいことが知られている。例えば、肘伸展動作における伸張性運動を実施した場合、CKは24時間後に100から600 IUの範囲にまで増加し、48時間後には2000から10000 IUの範囲にまで達する³⁾。サッカーの試合をシミュレートした90分間のシャトルラン(LIST: Loughborough Intermittent Shuttle Test)においても同じ変化がみられ¹⁴⁾、90分間の運動後から

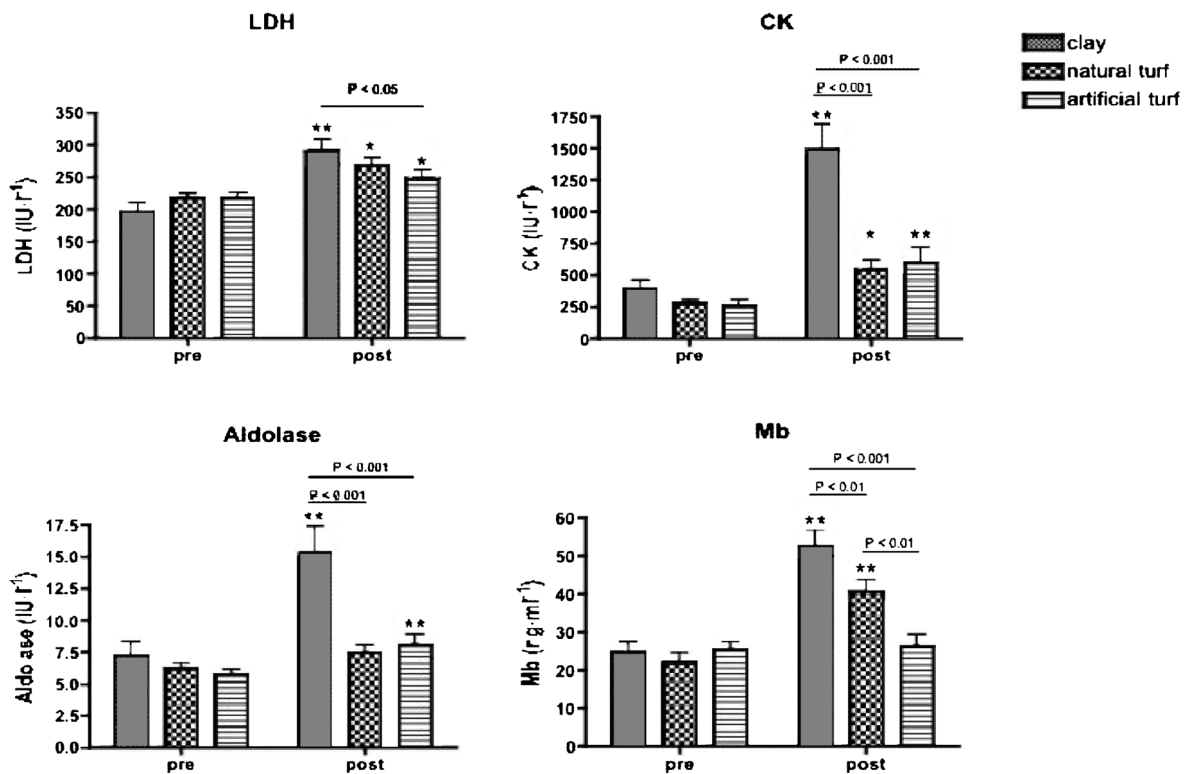


Fig. 2 Muscle damage marker's (LDH, aldolase, CK and Mb) before and after soccer game in clay, natural turf and artificial turf Pitches. *Significantly different from pre in each condition, * $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$.

増加し始め24時間後にピークに達することが報告されている (pre; 202 IU \cdot L⁻¹ (78-521 IU \cdot L⁻¹), post; 421 IU \cdot L⁻¹ (240-1058 IU \cdot L⁻¹), 24h; 774 IU \cdot L⁻¹ (580-5720 IU \cdot L⁻¹), 48 h; 391 IU \cdot L⁻¹ (243-1908 IU \cdot L⁻¹), 72 h; 254 IU \cdot L⁻¹ (159-753 IU \cdot L⁻¹)). 最近では、サッカーの試合においても類似した値が示され、同様の経時的変化が報告されている¹¹⁾。本研究におけるCKは、試合の24時間後に測定され、その値はこれらの先行研究に類似していた。この結果は、人工芝ピッチは土よりも筋損傷の程度が低く、その程度は天然芝と類似するという知見をさらに強調するものかもしれない。

サッカーの一流選手は、90分間の試合で約10000 mの距離¹⁾¹³⁾を心拍数が155~175拍/分、血中乳酸濃度が4~6 mmol/L⁸⁾に達する強度で移動する¹²⁾。本研究における走行距離、心拍数および血中乳酸濃度の値は、先行研究で示された範囲にあり、本研究の対象者が一流選手であることを示すとともに、公式戦同等の試合であったことを示す。さらに3条件間でこれらの値に差がみられなかったことは、3条件とも同程度の距離を同等の運動強度で移動したことを示している。すなわち、土と人工芝および天然芝との条件間にみられた筋損傷の程度の違いは、運動量および強度の違いによるものではなく、サーフェイスの違いによって生じたと言えよう。

走行距離および運動強度が同等であると判断された試合においてみられた筋損傷の程度の違いは、サーフェイスの硬さによるかもしれない。土のピッチは、人工芝や天然芝に比して硬く、土のピッチは、他の2つのピッチと比較して、衝撃度が高いことが示されている²⁾。したがって、この衝撃度の違いが筋損傷の違いを生じたかもしれない。しかしながら、実際にサーフェイスの硬さを測定していないことに加え、動作(着地)のスキルによって着地面の硬さと生体への衝撃度が異なる可能性もある⁴⁾ため、さらなる検討が必要とされる。他に考えられる理由としては、土と人工芝および天然芝における試合時の動作パターンの違いが挙げられる。Anderssonら¹⁾は、人工芝と天然芝における試合中の立

位、歩行、低強度および高強度走行の時間に差は見られず、走行距離も変わらないことを示した。さらに、彼らはスプリントの数、時間経過に伴う高強度走行の頻度の低下の様子も変わらなかったことを報告し、人工芝と天然芝ピッチでの試合における動作パターンが同じであったことを示している。本研究において土での試合のみが異なる動作パターンであり、筋損傷の程度の違いをもたらした可能性も否定できないが推論の域をでない。いずれにせよ、土と人工芝あるいは天然芝との間に観察された筋損傷の違いについてはさらなる検討が必要であろう。

•人工芝に対する印象

人工芝における傷害の発生率についての研究は多く見られ⁹⁾、近年では、最近の人工芝と天然芝において傷害の発生パターンはわずかに異なるものの、その発生率に差は見られないことが報告されている^{5)~7)}。しかし、表1に示したように、選手やコーチは人工芝に対して“怪我の危険性が高い”という印象を受けている。また人工芝に対して“生体への負担が大きい”という印象を持っている選手も多い。Anderssonら¹⁾も本研究と同様に、男性選手において人工芝の方が天然芝よりも身体への負担が大きい印象を持つことを報告している。

これらの印象を裏付けるように、Livesayら¹⁰⁾は、シューズとサーフェイスの組み合わせにおけるトルクを測定し、天然芝において用いられるシューズと人工芝の組み合わせは、天然芝との組み合わせよりも高いピークトルクを示したことを報告している。この結果は人工芝の方が天然芝よりスパイクとの摩擦力が強いことを示しているため、スパイクが人工芝に固定される印象を選手にもたせるかもしれない。したがって、人工芝ピッチは、傷害の発生率が天然芝と変わらず、運動強度あるいは筋損傷が同程度であっても、生体への負担が大きいさらには怪我の危険性が高いという印象があるようにと思われる。

まとめと展望

本研究の結果は、公式戦同等の試合を人工芝で実

施した場合、筋損傷の程度は天然芝と類似するが、土よりも小さくなることを示している。すなわち、土よりも天然芝あるいは人工芝で試合を行った方が筋損傷の程度が小さいと言える。しかしながら、その違いについては明らかにすることができなかったため、サーフェイスの硬さや衝撃度も踏まえて今後検討すべきである。さらに、本研究は異なるサーフェイスにおいて生じた筋損傷の一過性の応答について検討したのみであったため、筋損傷をはじめとする生体負担に及ぼす慢性的な影響についても検討が必要であろう。

文 献

- 1) Andersson H, Ekblom B, Krstrup P. (2008): Elite football on artificial turf versus natural grass: movement patterns, technical standards, and player impressions. *J Sports Sci.* 26, 113-22.
- 2) 青木豊明 (2006) : 屋外スポーツサーフェイスの衝撃度の比較. *Training Journal.* 28. 32-34.
- 3) Clarkson PM, Hubal MJ. (2002): Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil.* 81, S52-69.
- 4) Dixon SJ, Collop AC, Batt ME. (2000): Surface effects on ground reaction forces and lower extremity kinematics in running. *Med Sci Sports Exerc.* 32, 1919-26.
- 5) Ekstrand J, Timpka T, Hägglund M. (2006): Risk of injury in elite football played on artificial turf versus natural grass: a prospective two-cohort study. *Br J Sports Med.* 40, 975-80.
- 6) Fuller CW, Dick RW, Corlette J, Schmalz R. (2007): Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 1: match injuries. *Br J Sports Med.* 41 Suppl 1, i20-6.
- 7) Fuller CW, Dick RW, Corlette J, Schmalz R. (2007): Comparison of the incidence, nature and cause of injuries sustained on grass and new generation artificial turf by male and female football players. Part 2: training injuries. *Br J Sports Med.* 41 Suppl 1, i27-32.
- 8) Krstrup P, Mohr M, Steensberg A, Bencke J, Kjaer M, Bangsbo J. (2006): Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc.* 38, 165-174.
- 9) Lees A, and Nolan L. (1998): The biomechanics of soccer: a review. *J Sports Sci.* 16, 211-34.
- 10) Livesay GA, Reda DR, Nauman EA. (2006): Peak torque and rotational stiffness developed at the shoe-surface interface - the effect of shoe type and playing surface. *Am J Sports Med.* 34, 415-22.
- 11) Magalhães J, Rebelo A, Oliveira E, Silva JR, Marques F, Ascensão A. (2010): Impact of Loughborough Intermittent Shuttle Test versus soccer match on physiological, biochemical and neuromuscular parameters. *Eur J Appl Physiol.* 108, 39-48.
- 12) 大森一伸 (2001) : サッカーの生理学. In 青木純一郎, 佐藤 佑, 村岡 功 編著, スポーツ生理学. 市村出版, 東京, pp152-157.
- 13) Reilly T. (2007): The science of training-soccer a scientific approach to developing strength, speed and endurance. Taylor & Francis group, Great Britain, p21.
- 14) Thompson D, Nicholas CW, Williams C. (1999): Muscular soreness following prolonged intermittent high-intensity shuttle running. *J Sports Sci.* 17, 387-95.

(平成21年9月24日 受付)
(平成22年2月8日 受理)