

女子サッカー選手における大腿四頭筋群及びハムストリングスの筋疲労特性

Characteristic of muscle fatigue on hamstrings and quadriceps muscles in female soccer players

小林万壽夫 (国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科)
田中 重陽 (国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科)
金久 博昭 (東京大学大学院総合文化研究科)

覚張 秀樹 (東京女子体育大学)
熊川 大介 (国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科)
角田 直也 (国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科)

【緒言】

Mero et al. (1992)の報告や他の報告からも大腿四頭筋群およびハムストリングスの筋は、走運動を行う際に非常に重要な役割を担っていることが考えられる。特にサッカーのように、試合の間、走り続けることに加え瞬発的な動きの繰り返しを求められるスポーツ(宮城 2006)においては、それらの筋群をなるべく疲労させずに、試合の最後までパフォーマンスレベルをいかに落とさずにいられるかが重要である。これまでのサッカー選手の体力特性に関しては、全身持久力、無酸素性パワー、および筋力に関する報告がされている(Ekblom 1986)。なかでも脚筋力に関する報告が非常に多く、これまでに競技種目差(Magalhaes et al. 2004)、利き足および非利き足の相違(Carey et al. 2001, Grouios et al. 2002, Masuda et al. 2003, Rahnama et al. 2005, Zakas 2006)、ジュニア選手における特徴(Gissis et al. 2006, Lehance et al. 2008, Hoshikawa et al. 2009)、膝関節伸筋群と屈筋群との差(Oberg et al. 1984, Rosene et al. 2001, Voutselas et al. 2007)、競技レベルによる差(Cometti et al. 2001, Gissis et al. 2006, Oberg et al. 1986)、運動能力との関係(Newman et al. 2004, Chamari et al. 2008)といった視点に基づく検討がなされている。このうち、他競技との比較をした先行研究では、サッカー選手は単位筋断面積当たりの脚伸展力が他の競技に比べ優れていることが明らかになっている(金久ら 1985)。このことは、サッカー選手のトレーニングは、下肢筋群の強化に比重が置かれていることを示している。さらに、サッカーの競技時間から、単発的な筋力発揮能力に加え、筋力発揮の持続能力が要求されることも十分に予想できる。しかしながら、これまでの先行研究の大半は、主に等尺性あるいは等速性運動における単発的な筋力発揮によって得られる値を分析の対象としており、最大努力での反復的な筋活動を実施した際の筋持久力については殆ど検討されていない。この点について言及した例は、著者の知る限り

ではSangnier et al. (2007)の報告に限られ、その結果によると、筋持久力テストにおいて、膝関節屈曲トルクは膝関節伸展トルクに比べ早期に低下することが明らかにされている。

一方、上記に引用した先行研究は男性のみを対象としたものであり、女子サッカー選手の筋力特性に関する報告は極めて少ない(Mercer et al. 2003, 渡辺ら 1998)。特に下肢筋群の筋持久力に関する報告は存在しない。また、サッカーは障害の発生が多く、特に肉離れが多い(Hawkins et al. 2001, Woods et al. 2004)。しかしながら、武田ら(2000)によると、女性サッカー選手の場合に、肉離れの発症は男性サッカー選手に比べ非常に少ない。肉離れの発生要因としては、膝関節伸展力に対する膝関節屈曲力の比、筋持久力及び疲労が指摘されている(Agre. 1985)。これらの点を考慮に入れると、女子サッカー選手は、膝関節伸展筋群あるいは膝関節屈曲筋群またはそれらの両方に、女性選手特有の筋持久性能力を示すことが考えられる。

そこで本研究では、女子サッカー選手を対象として大腿四頭筋群およびハムストリングスの筋持久力特性を明らかにすることを目的とし、最大努力での膝関節伸展および膝関節屈曲動作を反復した際の筋力および筋電図の変化を検討した。

【方法】

1. 被験者

被験者は、関東学生女子サッカー連盟に所属し、全日本大学女子サッカー選手権大会および関東女子サッカーリーグに出場し、十分なサッカー経験を有する大学女子サッカー選手10名であった。被験者の年齢、身長、体重、体脂肪率、競技経験年数の平均値±標準偏差値は、それぞれ20.1±0.8歳、156.8±3.2cm、53.1±4.6kg、17.3±2.6%、および7.6±1.8年であった。本研究は、国士舘大学院スポーツ・システム研究科研究倫理評価委員会の承

認を得て実施した。各被験者には、本研究の目的、測定内容および測定の安全性について十分に説明し、書面にて研究参加の同意を得た。

2. 筋持久力テスト

本研究では、筋持久力テストとして、120秒間連続の最大努力での等速性膝関節伸展および屈曲動作を被験者に課した。テストの実施にはBiodex system IIIを用いた。測定時の角速度は60、180及び300deg/secの3条件(Miller et al. 2000)とし、測定脚は利き脚(ボールを蹴る脚)とした。Biodex system III専用の測定台を使用し、膝関節伸展動作は座位にて、膝関節屈曲動作は伏臥位にて実施した(図1)。運動開始時の膝関節角度は、座位時90度、伏臥位時0度とし、関節の可動範囲は80度とした。また測定は角速度ごとに別日に行い、その際三日以上の期間を空けたのちに他の角速度の測定を行った。また、速度及び動作に関しては適応などの影響を考え、試行順序はランダムとした。また、測定方法に慣れるために何回かの力発揮の練習を事前に行わせた。



図1 膝関節伸展及び屈曲筋出力発揮時の測定姿勢

3. 測定項目

1) 膝関節伸展及び屈曲トルク

筋持久力テスト実施時の膝関節伸展及び屈曲動作時における毎試行のトルクを、Biodex system IIIを用いて記録した。

2) 筋電図

携帯型筋電計(Noraxon社製)を用いて、表面筋電図法により大腿二頭筋、半腱様筋、大腿直筋、外側広筋、内側広筋の筋電図を記録した。筋電図の導出は、双極誘導法により測定を行った。電極(日本光電社製)は、電極間距離を20mmとして、被験筋の筋腹中央に貼付した。測定に先立ち、膝関節伸展及び屈曲時の最大随意収縮(MVC)時の筋電図を測定した。MVC測定時の収縮形式は等尺性収縮であった。膝関節伸展MVCの測定は、座位姿勢で膝関節角度を80度(完全伸展位=0度)にて実施した。また、膝関節屈曲MVCの測定は、伏臥位で膝関節角度45度(完全伸展位=0度)にて実施した。両MVCとも一回5秒間の収縮を3回行い、最大筋出力に達した時点における1秒間当たりの平均筋電位(mEMG)を求め、3試行のうち最高値をMVC発揮時の値として採用した。

4. 計測データの分析

平均トルクは各動作時の1回ごとの平均値を求めた後に10秒ごとの平均値を算出した。そして最初の10秒間の値を100として、10秒毎の平均値をそれに対する相対値により表した。筋電図の分析区間は、トルク発揮時の膝関節最大屈曲時から最大伸展時を対象とした。筋電図の分析に当たっては、得られた筋電図データを全波整流したのち、分析対象区間の平均筋電位(mEMG)を求めた。トルク発揮時のmEMGはMVC時の値により規格化(%mEMG_{MVC})し、各動作の1回ごとの値を求めた後に10秒ごとの平均値を算出し、最初の10秒間の動作時のmEMG値を100として、10秒毎のmEMG値をそれに対する相対値により表した。

5. 統計処理

各測定値の基本統計量は平均値±標準偏差により表した。二元配置分散分析により、%mEMG_{MVC}に対する時間(10秒ごとの12区間)と角速度(60, 180, 300deg/sの3速度)の効果および交互作用(時間×角速度)、平均トルクに対する時間(10秒ごとの12区間)と動作(膝関節伸展及び屈曲の2動作)の効果および交互作用(時間×動作)を確認した。分散分析の結果において、F値が有意な場合はBonferroni法による多重比較検定を行った。統計処理結果の有意性はすべて危険率5%未満で判定した。

【結果】

1. 膝関節伸展・屈曲トルク

表1に膝関節伸展および屈曲時の平均トルクの変化率を示した。60deg/sec時においては伸展および屈曲ともに有意な低下は認められなかった。一方、180deg/sec時に

おいては、伸張が31～120秒で、屈曲では51～120秒で初期値に比べ低下が認められた(P<0.05)。51～120秒において伸張が屈曲に比べ有意に低下していることが認められた(P<0.05)。300deg/sec時においては、伸張が41～120秒で、初期値に比べ低下が認められた(P<0.05)。しかしながら、屈曲では有意な低下は認められなかった。一方、61～120秒において伸張が屈曲に比べ有意に低下していることが認められた(P<0.05)。

2. %mEMGMVC

表2に、膝関節伸張動作時の大腿直筋、外側広筋、および内側広筋における%mEMGMVCを示した。大腿直

筋の場合に、60deg/sでは111～120秒時に、180deg/secでは101～110秒時に、300deg/secでは61～120秒時に、それぞれ初期値よりも有意に高い値を示した。また、外側広筋の場合に、60deg/secでは31～120秒時に、180deg/secでは101～120秒時に、300deg/secでは51～60及び91～120秒時に、それぞれ初期値に比べ有意に高い値を示した。さらに内側広筋では、60deg/secの場合に51～60秒及び71～120秒時に、300deg/secでは91～110秒時に、初期値より有意に高い値となった。それに対し、膝関節屈曲時における大腿二頭筋および半腱様筋(表3)の%mEMGMVCに、いずれの速度条件においても時間経過に伴う有意な変化は生じなかった。

表1 各角速度における膝関節伸張及び屈曲時の平均トルクの変化率

角速度 (deg/sec)	運動方向	時間(sec)											
		1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120
60deg/sec	膝関節伸張	100±0	996±74	985±161	959±185	945±199	924±171	919±183	894±182	882±201	877±185	847±192	839±182
	膝関節屈曲	100±0	100±95	982±108	972±92	969±109	942±98	911±91	881±102	878±82	875±92	855±102	845±97
180deg/sec	膝関節伸張	100±0	956±66	895±91	829±105	745±138	674±151	629±173	594±144	582±131	547±125	527±145	529±138
	膝関節屈曲	100±0	987±64	961±81	955±95	926±108	892±98	869±99	831±102	829±99	797±101	767±93	743±82
300deg/sec	膝関節伸張	100±0	946±106	854±111	789±145	705±119	648±121	623±153	608±124	592±111	569±145	567±135	554±128
	膝関節屈曲	100±0	994±44	981±61	975±35	969±68	902±108	897±119	859±152	849±129	837±121	823±123	813±122

*: P<0.05 同動作内での初期値比較 δ: P<0.05 動作間での比較 Mean±SD

表2 各角速度における膝関節伸張時の大腿四頭筋群の筋活動水準の変化

筋	角速度 (deg/sec)	時間(sec)											
		1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120
大腿直筋	60deg/sec	43.4±7.2	47.9±9.9	53.5±12.1	55.2±11.2	56.9±13.4	61.4±11.1	58.9±12.1	61.9±15.2	63.2±13.2	63.9±14.2	65.9±17.2	68.8±16.2
	180deg/sec	45.3±19.2	51.5±18.9	53.6±19.5	53.2±17.1	57.9±18.4	58.4±18.3	59.4±19.5	63.9±19.2	63.8±20.1	65.3±21.2	60.9±22.2	56.9±16.2
	300deg/sec	39.3±9.2	49.7±11.1	53.3±13.1	54.1±11.9	57.5±11.5	61.6±14.4	60.5±11.2	60.4±11.7	62.1±11.2	61.7±12.2	61.7±13.2	61.9±12.8
外側広筋	60deg/sec	45.7±8.2	54.5±13.1	63.5±12.8	63.2±10.2	67.2±13.1	70.9±12.6	68.9±8.1	73.1±11.2	73.2±9.2	71.9±11.2	72.8±12.2	73.5±11.7
	180deg/sec	50.4±9.5	58.6±8.1	61.5±11.1	61.2±11.8	63.9±12.4	64.4±16.5	63.5±16.2	63.9±16.1	64.2±18.2	64.4±16.2	66.9±18.2	67.8±18.2
	300deg/sec	42.5±11.2	51.3±13.1	54.5±15.2	54.2±13.2	57.8±15.2	53.5±12.8	54.9±11.4	56.4±13.2	56.9±14.1	56.7±12.3	57.5±14.2	57.9±13.9
内側広筋	60deg/sec	43.6±10.9	54.3±17.1	65.2±18.2	68.9±20.4	73.4±19.1	69.9±16.1	73.9±20.2	73.2±17.2	74.9±20.2	74.9±19.2	74.1±17.2	74.3±16.8
	180deg/sec	53.5±15.9	60.5±14.2	64.1±17.3	65.9±15.4	68.4±15.7	65.2±12.4	63.6±13.3	66.4±11.6	64.6±11.2	64.4±11.5	67.9±12.1	68.8±13.1
	300deg/sec	46.3±8.1	57.1±10.3	59.4±13.2	61.6±13.4	59.7±10.7	62.9±12.1	61.9±12.2	62.2±13.2	61.9±12.4	63.9±13.9	61.9±13.2	59.5±12.9

*: P<0.05 60deg/sec b: P<0.05 180deg/sec δ: P<0.05 300deg/sec Mean±SD

表3 各角速度における膝関節屈曲時のハムストリングスの筋活動水準の変化

筋	角速度 (deg/sec)	時間(sec)											
		1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120
大腿二頭筋	60deg/sec	62.7±16.2	68.1±16.9	69.5±17.1	70.2±15.2	71.9±18.4	73.4±15.1	70.9±14.1	70.9±15.2	73.2±18.2	73.7±19.2	69.7±16.2	67.8±11.2
	180deg/sec	52.1±15.2	59.5±17.9	58.6±12.5	58.2±12.1	60.9±8.4	60.4±10.3	61.4±10.5	60.9±13.2	63.8±16.1	63.3±15.2	59.9±17.2	64.9±23.2
	300deg/sec	42.3±9.8	47.7±13.1	50.3±12.1	50.1±12.9	53.5±14.5	54.6±16.4	56.5±17.2	57.4±16.7	59.1±16.2	58.7±19.2	59.7±19.2	59.9±20.8
半腱様筋	60deg/sec	67.7±13.2	70.5±14.1	71.5±16.8	75.2±17.2	75.2±17.1	74.9±13.6	73.9±12.1	74.1±13.2	74.2±13.2	75.9±14.2	70.8±9.2	69.5±12.7
	180deg/sec	51.4±10.5	58.6±15.1	56.5±10.1	57.2±11.8	56.9±10.4	58.4±10.5	58.5±9.2	59.9±11.1	58.2±12.2	61.4±12.2	61.9±15.2	63.8±16.2
	300deg/sec	46.5±13.2	50.3±14.1	52.5±16.2	49.2±16.2	54.8±14.2	50.5±21.8	59.9±14.4	60.4±13.2	63.9±16.1	63.7±15.3	62.5±15.2	61.9±15.9

Mean±SD

【考察】

男子サッカー選手を対象に、角速度 180deg/sec にて膝関節伸展および屈曲運動を 50 回連続して行わせた Sangnier et al. (2007) の報告によると、膝伸展トルクより膝屈曲トルクの方が少ない回数において低下が生じたといわれている。しかしながら、本研究における 180deg/sec および 300deg/sec の結果では、膝関節伸展トルクが屈曲トルクに比べ早い時間に低下が生じた。このような先行研究 (Sangnier et al. 2007) との違いを説明する要因として、まず測定時の被験者の姿勢および筋持久力テストの実施方法の違いが考えられる。すなわち、Sangnier et al. (2007) は、座位にて膝関節伸展及び屈曲動作を、1 つのテスト試行のなかで連続して同時に行うという方法を採用していた。一方、本研究では膝関節伸展動作は座位で、膝関節屈曲動作は腹臥位にて、それぞれ個別に実施した。Weir et al. (1998) によると、等速での膝関節伸展動作時にハムストリングスには共収縮 (coactivation) の状態が生じており、その程度は疲労時及び高速での動作時に大きくなると報告されている。それゆえ、先行研究 (Sangnier et al. 2007) の結果には、互いに拮抗する筋群の出力あるいは疲労の状態が反映されている可能性が考えられる。それに対して、本研究で採用した測定方法は、大腿四頭筋およびハムストリングスのそれぞれの疲労特性をより捉えやすいものであり、高速条件での結果が先行研究とは異なるものになったと考えられる。

一方、男性を対象にした Sangnier et al. (2007) との結果の違いについては、筋持久力テストの成績における性差の可能性についても言及する必要があると考えられる。すなわち、これまでに女性は男性に比べ筋持久能力が高いことがいくつか報告されている (Brian et al. 2003, Maughan et al. 1986, Semmler et al. 1999)。その要因として Hunter et al. (2001) は、筋量の差に加え神経活動パターンにおける男女間の差異を考察している。本研究の %mEMG_{MVC} に関する結果において、膝関節伸展運動中の大腿二頭筋及び半腱様筋の値には変化がなく、膝関節伸展運動中の大腿直筋、外側広筋および内側広筋の各値は運動後半で高くなる傾向が認められた。これまでの報告によると、最大努力での力発揮をした際、疲労状態になると EMG は低下することが報告されている (Moritani et al. 1986)。したがって、課題実施中の %mEMG_{MVC} が増加あるいは維持という結果は、運動開始の時点において、主働筋が最大努力という条件に見合う活動に達しておらず、その結果として、男性を被験者とした先行研究とは異なるトルクの低下パターンを示した可能性がある。この点については、今後、男性サッカー選手、一般女性及び他種目の女子選手も含めた形での追試が必要である。

また、本研究の結果において、60deg/sec ではトルクの低下様相に 2 動作間で差が認められなかったが、180 及び 300deg/sec では、膝関節屈曲動作より膝関節伸展動作において、早期にトルクの低下が生じた。その原因の 1 つとして、筋線維組成における大腿四頭筋群とハムストリングスの各構成筋群間の差異が考えられる。すなわち、Johnson et al. (1973) の報告によれば、大腿四頭筋群より大腿二頭筋の方が遅筋線維の占める割合が高い。Thorstensson and Karlsson (1976) の知見によると、180deg/sec で最大努力の膝関節伸展動作を反復した際のトルクの低下率は、速筋線維の割合と正の相関関係にある。また、Suter et al. (1993) は、等速性膝関節伸展動作での発揮パワーに対する筋線維組成の影響は、200deg/s 以上の測定条件において顕著になること、また、90deg/s での連続膝関節伸展動作におけるトルクの低下率に、筋線維組成に起因する違いが認められるのは運動開始から 35 試行以降であることを報告している。本研究では、動作の制限を回数ではなく時間で行ったために各角速度において動作回数が異なり 60deg/sec では 23 回、180deg/sec では 69 回、300deg/sec では 112 回と速度の速い条件で回数が多い。このような課題実施条件と上記の筋線維組成と筋出力との関係に関する先行知見を考え合わせると、筋線維組成における大腿四頭筋群とハムストリングスの各構成筋群間の差異が、トルクの低下パターンに動作間の違いをもたらした要因の 1 つになっていると推察される。

サッカーにおいて発生頻度の高い障害の 1 つである肉離れの発生要因として、膝関節の伸展筋力と屈曲力のバランスが指摘されている (Burkett. 1970)。Heiser et al. (1984) の報告では、角速度 60deg/sec での運動時の膝関節伸展トルクに対する屈曲トルクの比が 0.6 以上で肉離れの発生を抑制できると述べている。一方、武田ら (2000) は、肉離れは男性サッカー選手に多く、女性選手に少ないことを報告している。本研究の結果において、運動時間の経過に伴うトルクの低下は、膝伸展トルクが膝屈曲トルクに比べ有意に高いものであった。すなわち、筋疲労が進むにつれ膝関節伸展トルクに対する屈曲トルクの比は高くなる。このような結果と Heiser et al. (1984) の報告を考え合わせると、女子選手では時間の経過とともに肉離れの発生が難しくなると推察され、武田ら (2000) の報告にある肉離れ発症率における性差を説明する要因の一つになると考えられる。

【まとめ】

本研究では、女子サッカー選手における膝関節連続伸展・屈曲トルク及び大腿部の筋活動を測定した。本研究の結果より得られた主な知見は、以下の通りであった。

- ① 等速での連続膝関節伸展屈曲運動時の膝関節伸
トルクは、膝関節屈曲トルクに比べ早期に低下が観
察された。
- ② 等速での連続膝関節伸展屈曲運動時において大腿
直筋、外側広筋及び内側広筋では筋活動水準の増
加が認められたが、大腿二頭筋及び半腱様筋では認
められなかった。

以上の結果から、女子サッカー選手は膝関節伸展筋群が膝関節屈曲筋群に比べ疲労しやすい特性を有していることが明らかになった。しかしながら、本研究の結果は、女子サッカー選手のみを対象にした測定により得られたものである。それゆえ、女子サッカー選手の特徴として結論することには限界がある。今後、男子選手および非競技者を対象にした研究が必要である。

参考文献

- 1) Agre JC. Hamstring injuries. Proposed aetiological factors, prevention, and treatment. *Sports Med.* 1985 Jan-Feb;2(1): 21-33.
- 2) Brian C. Clark, Todd M. Manini, Dwight J. The, Neil A. Doldo, and Lori L. Ploutz-Snyder Gender differences in skeletal muscle fatigability are related to contraction type and EMG spectral compression *J Appl Physiol* 2003 94: 2263-2272
- 3) Burkett. LN Causative factors in hamstring strains *Med Sci Sports Exerc* 1970; 2 : 39-242
- 4) Carey DP, Smith G, Smith DT, Shepherd JW, Skriver J, Ord L, Rutland A. Footedness in world soccer: an analysis of France '98. *J Sports Sci.* 2001 Nov;19 (11): 855-64.
- 5) Chamari K, Chaouachi A, Hambli M, Kaouech F, Wisløff U, Castagna C. The five-jump test for distance as a field test to assess lower limb explosive power in soccer players. *J Strength Cond Res.* 2008 May; 22(3): 944-50.
- 6) Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med.* 2001 22, (1): 45-51.
- 7) Ekblom B. Applied physiology of soccer. *Sports Med.* 1986 3, (1): 50-60
- 8) Gissis I, Papadopoulos C, Kalapotharakos VI, Sotiropoulos A, Komsis G, Manolopoulos E. Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Res Sports Med.* 2006 Jul-Sep; 14 (3): 205-14.
- 9) Grouios G, Kollias N, Koidou I, Poderi A. Excess of mixed-footedness among professional soccer players. *Percept Mot Skills.* 2002 Apr; 94 (2): 695-9
- 10) 萩原 武久, 徳山 廣 サッカーの基本運動に関する一考察: イステップキックにおけるキネシオロジー的研究 筑波大学体育科学系紀要 6, 101-111, 1983-03
- 11) Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, Hodson A, Gibson M. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med.* 2001 Feb; 35 (1): 43-7.
- 12) Heiser. T. M Weber. J Sullivan. G Clare. P and Jacobs R. R Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players *Am J Sports Med* 1984; 12 : 5, 368-370
- 13) Hicks A, McGill S, Hughson RL. Tissue oxygenation by near-infrared spectroscopy and muscle blood flow during isometric contractions of the forearm. *Can J Appl Physiol.* 1999 24, (3): 216-30.
- 14) Hoshikawa Y, Iida T, Muramatsu M, Nakajima Y, Fukunaga T, Kanehisa Differences in thigh muscularity and dynamic torque between junior and senior soccer players. *H. J Sports Sci.* 2009 Jan 15; 27(2): 129-38.
- 15) Hunter SK and Enoka RM. Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. *J Appl Physiol* 2001 91: 2686-2694
- 16) Johnson MA, Polgar J, Weightman D, Appleton D. Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. *J Neurol Sci.* 1973 Jan; 18(1): 111-29.
- 17) 金久 博昭, 奥山 秀雄, 福永 哲夫, 池川 繁樹, 角田 直也, 近藤 正勝, 石田 良恵. 競技種目別にみたスポーツ選手の単位筋断面積当りの脚伸展力. *体力科学* 34 (6), 431, 1985
- 18) Lehance C, Binet J, Bury T, Croisier JL. Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2009 Apr; 19 (2): 243-51.
- 19) Lieber, R.L. *Skeletal Muscle Structure and Function. Implications for Rehabilitation and Sports Medicine*, Baltimore: Williams & Wilkins 1992
- 20) Magalhães J, Oliveira J, Ascensão A, Soares J. Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2004 Jun; 44 (2): 119-25.
- 21) Masuda K, Kikuhara N, Takahashi H, Yamanaka K. The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *J Sports Sci.* 2003 Oct; 21 (10): 851-8.
- 22) Maughan RJ, Harmon M, Leiper JB, Sale D, Delman A. Endurance capacity of untrained males and females in isometric and dynamic muscular contractions. *Eur J Appl*

- Physiol Occup Physiol. 1986 55, (4): 395-400.
- 23) Mercer TH, Gleeson NP, Wren K. Influence of prolonged intermittent high-intensity exercise on knee flexor strength in male and female soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2003 89, (5): 506-8.
- 24) Mero. A Komi. PV and Gregor. R. J Biomechanics of sprint running. *A review Sports Med* 1992; 13: 6, 376-392
- 25) Miller JP, Croce RV, Hutchins R. Reciprocal coactivation patterns of the medial and lateral quadriceps and hamstrings during slow, medium and high speed isokinetic movements. *J Electromyogr Kinesiol*. 2000 10, (4): 233-9.
- 26) 宮城修. サッカー選手の体力 バイオメカニクス研究 2006 10: 132-137
- 27) Moritani T, Muro M, Nagata A. Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue. *J Appl Physiol*. 1986 60, (4): 1179-85.
- 28) Murray SM, Warren RF, Otis JC, Kroll M, Wickiewicz TL. Torque-velocity relationships of the knee extensor and flexor muscles in individuals sustaining injuries of the anterior cruciate ligament *Am J Sports Med*. 1984 12, (6): 436-40.
- 29) Newman MA, Tarpinning KM, Marino FE. Relationships between isokinetic knee strength, single-sprint performance, and repeated-sprint ability in football players. *J Strength Cond Res*. 2004 18, (4): 867-72.
- 30) Oberg B, Ekstrand J, Möller M, Gillquist J. Muscle strength and flexibility in different positions of soccer players. *Int J Sports Med*. 1984 Aug; 5(4): 213-6.
- 31) Oberg B, Möller M, Gillquist J, Ekstrand J. Isokinetic torque levels for knee extensors and knee flexors in soccer players. *Int J Sports Med*. 1986 7,(1): 50-3.
- 32) 奥山 秀雄, 金久 博昭, 角田 直也, 池川 繁樹, 近藤 正勝, 矢田 英昭, 福永 哲夫 各種スポーツ選手の筋断面積および筋力における伸筋と屈筋の比較: 運動生理学的研究 II: 第41回日本体力医学会大会 体力科学 1986 35,(6): 423
- 33) Rahnama N, Lees A, Bambaecichi E. Comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*. 2005 Sep 15-Nov 15; 48 (11-14): 1568-75.
- 34) Rosene JM, Fogarty TD, Mahaffey BL. Isokinetic Hamstrings: Quadriceps Ratios in Intercollegiate Athletes. *J Athl Train*. 2001 Dec; 36 (4): 378-383.
- 35) 武田 寧, 内山 英司, 中里 浩一, 中嶋 寛之 スポーツ損傷としての肉離れの疫学的調査 臨床スポーツ医学 = The journal of clinical sports medicine 17(6), 665-669, 2000
- 36) Tesch P, Sjödin B, Thorstensson A, Karlsson J. Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man. *Acta Physiol Scand*. 1978 Aug; 103 (4): 413-20.
- 37) Sangnier S, Tourny-Choller C. Comparison of the decrease in strength between hamstrings and quadriceps during isokinetic fatigue testing in semiprofessional soccer players. *Int J Sports Med*. 2007 28, (11): 952-7.
- 38) Semmler JG, Kutzscher DV, and Enoka RM. Gender differences in the fatigability of human skeletal muscle. *J Neurophysiol* 1999 82: 3590-3593
- 39) Suter E, Herzog W, Sokolosky J, Wiley JP, Macintosh BR. Muscle fiber type distribution as estimated by Cybex testing and by muscle biopsy. *Med Sci Sports Exerc*. 1993 Mar; 25(3): 363-70.
- 40) Thorstensson A, Karlsson J. Fatiguability and fibre composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*. 1976 Nov; 98(3): 318-22.
- 41) 津山 薫, 小林 剛, 齊藤 照夫, 清田 寛, 中嶋 寛之 サッカー選手の等速性筋力とMRIからみた下肢筋力特性:アーチェリー選手との比較から 体力科学 2007 56,(2): 223-232
- 42) Voutselas V, Papanikolaou Z, Soulas D, Famisis K. Years of training and hamstring-quadriceps ratio of soccer players. *Psychol Rep*. 2007 Dec; 101 (3 Pt 1): 899-906.
- 43) Weir JP, Keefe DA, Eaton JF, Augustine RT, Tobin DM. Effect of fatigue on hamstring coactivation during isokinetic knee extensions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998 78, (6): 555-9.
- 44) 渡辺 貫二, 渡辺 孝司, 齊藤 照夫, 堤 葉子, 岸田 謙二, 松田 竜太郎, 清田 寛, 大和 眞, 渡辺 文雄, 芦原 正紀 女子サッカー選手の筋力特性に関する基礎的研究 日本運動生理学雑誌 1998 3; 5(1): 83
- 45) Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football--analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med*. 2004 Feb; 38 (1): 36-41.
- 46) Zakas A. Bilateral isokinetic peak torque of quadriceps and hamstring muscles in professional soccer players with dominance on one or both two sides. *J Sports Med Phys Fitness*. 2006 Mar; 46 (1): 28-35.

連絡責任者

小林 万壽夫

〒206-8515 東京都多摩市永山7-3-1

国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科

Tel: 090-6581-9070

E-Mail: burberryblacklabel112@yahoo.co.jp