

走運動時におけるハムストリングスの
活動特性の部位差
—肉離れ発症メカニズム解明への新たなアプローチ—

中 京 大 学 渡 邊 航 平

**Regional Neuromuscular Activation
within Human Hamstrings Muscle during Sprint Running
-Novel Approach for Understanding Hamstrings Injury-**

by

Kohei Watanabe
*School of International Liberal Studies,
Chukyo University*

ABSTRACT

For understanding hamstrings injury, activation properties and/or functional roles of hamstrings muscle group have been investigated during sports activities. In the present study, possible regional neuromuscular activation pattern within a hamstrings muscle were tested during isometric contractions and sprint running. Surface electromyography (SEMG) was detected along the longitudinal line of the biceps femoris muscle with 20 electrodes. Ten and eight male subjects performed two different joint torques, that the biceps femoris muscle contributes, of maximal voluntary isometric contraction and sprint running, respectively. Ratio of SEMG amplitude between two joint torques were uniform among the regions. SEMG pattern during sprint running were homogeneous within the biceps femoris muscle. These results suggest that the all regions of the biceps femoris muscle uniformly contribute to joint moments and are homogeneously regulated during sprint running.

要 旨

肉離れ発症メカニズムの解明を目的に運動時におけるハムストリングス筋群の活動特性が評価されてきた。本研究では1つの筋内における活動特性の部位差に着目し、当該筋群を構成する筋の1つである大腿二頭筋を対象として、機能的役割および運動時の活動パターンの部位差を検証した。大腿二頭筋の長軸方向に20個の表面筋電図電極を貼付し、筋全体の神経筋活動を記録した。まず、男子大学生10名を対象として、大腿二頭筋が貢献する2つの関節運動を最大随意収縮で別々に行われた際の表面筋電図振幅値の比率を算出し、部位間で比較した。その結果、部位の違いによる筋電図振幅値の比率の差はなかった。また、男子学生8名を対象として、スプリント運動中の筋電図パターンを部位間で比較したが、有意な差は認められなかった。これらの結果から大腿二頭筋は筋全体が類似した機能的役割を有し、スプリント運動中にも筋全体が均一に活動していることが明らかとなった。

諸 言

ハムストリングス筋群における肉離れなどの介達損傷は、走運動、スプリント運動、ジャンプ動作、キック動作をともなうスポーツ活動時に多く発症する。フットボールプレイヤー等における発症率は7.7~30%とされ、再発率も18~34%と非常に高いことが知られている¹⁾。運動時における肉離れの発症メカニズムを解明する上で、当該筋の機能的役割や活動特性を理解する事は不可欠である。そのため、多くの先行研究で、運動学的データとともに表面筋電図が記録され、動作局面毎の筋の収縮様式や活動レベルを推測するための重要な知見として利用されてきた²⁻⁵⁾。

肉離れが発症しやすい筋として、ハムストリングス筋群以外には大腿直筋や腓腹筋といった筋が

挙げられる⁶⁾。これらの筋はいずれも2つの関節をまたぐ二関節筋と呼ばれる筋であることから、2つの関節運動が同時に生じることによる筋への過剰な機械的ストレスが肉離れの発症メカニズムの1つとして考えられている⁶⁾。近年、二関節筋の活動を評価する上で、無視できない新たな知見が公表されている。Vieiraらは腓腹筋内側頭の近位部と遠位部が顕著に異なる活動特性を示すことを報告している⁷⁻⁹⁾。また、我々は大腿直筋の近位部とそれ以外の部位が、異なる関節運動に貢献していること^{10,11)}、それにとまって歩行時に顕著に異なる活動パターンを有すること¹²⁾を明らかにしている。これらのデータは、腓腹筋や大腿直筋といった二関節筋が、1つの筋であるにもかかわらず部位によって運動時における機能的役割や活動特性が大きく異なる可能性を示している。このような近年の新たな知見を踏まえ、これまで蓄積されてきた運動時におけるハムストリングス筋群の活動パターンについても筋内における部位差という観点から検討を加える必要があると考えられる。

ハムストリングス筋群は、大腿二頭筋長頭（以下、大腿二頭筋とする）、半腱様筋、半膜様筋から構成されるが、肉離れの発生率はそれぞれ69%、18%、13%となっており、大腿二頭筋で最も多く肉離れが発症する¹⁾。本研究では、大腿二頭筋を対象とし、等尺性筋力発揮を用いて機能的役割の部位差について検討するとともに、スプリント運動時における活動パターンの部位差を検証した。単一筋内における活動特性の部位差を検証するため、上述した大腿直筋¹⁰⁻¹²⁾や腓腹筋内側頭⁷⁻⁹⁾を対象とした研究で用いられている多チャンネル表面筋電図法を利用し、筋の広範囲から表面筋電図を記録した。

1. 方法

1. 1 被験者

被験者は男子大学生 10 名 (年齢: 20.5 ± 0.7 歳, 身長: 171.4 ± 5.1 cm, 体重: 64.0 ± 5.5 kg) であった。本研究の被験者は、定期的な運動習慣はあるものの、特定の競技スポーツに従事している者は含まれていない。本研究は中京大学・人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て行った (承認番号: 2014-001)。

1. 2 多チャンネル表面筋電図法

多チャンネル表面筋電図の電極貼付位置を決定するため、超音波画像診断装置 (FAZONE CB, FUJI FILM 社製) を用いて大腿二頭筋が皮下に表出する部位を同定した (図 1A)。坐骨結節と腓骨頭を結んだ線分の midpoint に電極群の中心が位置するように電極群の貼付位置を決定した (図 1B)。その際に全ての電極が、大腿二頭筋が皮下に表出する部位の上に位置することを確認した。本研究では合計 20 個の電極を筋の長軸方向に 1 列に配列した (図 1B)。電極間距離 1cm で 4 つの電極 (センサ部分: 1×5 mm) が配列されたアレイ型電

極 (ELSH004, OT Bioelectronica 社製) を 5 つ使用し、20 個の電極群を構成した。単極誘導を用いたため、個々の電極が 1 つのチャンネルとなり、計 20 チャンネルの表面筋電図信号を記録することとなる。最も近位に位置する電極を CH1 とし、もっとも遠位に位置する電極を CH20 とした。基準電極は腸骨稜に貼付した。電極貼付位置は剃毛とアルコール綿での皮脂の除去を行い、生体用両面テープを用いて電極を固定した。また、テーピング用のアンダーラップを用いて電極コードなどを固定した。表面筋電図信号は無線式筋電図記録装置 (Trentadue, OT Bioelectronica 社製) を用いて、1000Hz で記録した。記録された表面筋電図は記録用ソフトウェア (OT Biolab, OT Bioelectronica 社製) で 20-450Hz のバンドパスフィルターを施した後に解析プログラム (MATLAB 7, MathWorks GK, Tokyo, Japan) に取り込んだ。

1. 3 運動課題 1 (等尺性収縮運動)

被験者はベッドでうつ伏せとなり、股関節および膝関節を 0 度とし (脚全体が伸びた状態)、徒手抵抗に対して股関節伸展運動と膝関節屈曲運動 (大腿二頭筋が貢献する 2 つの関節運動) の最

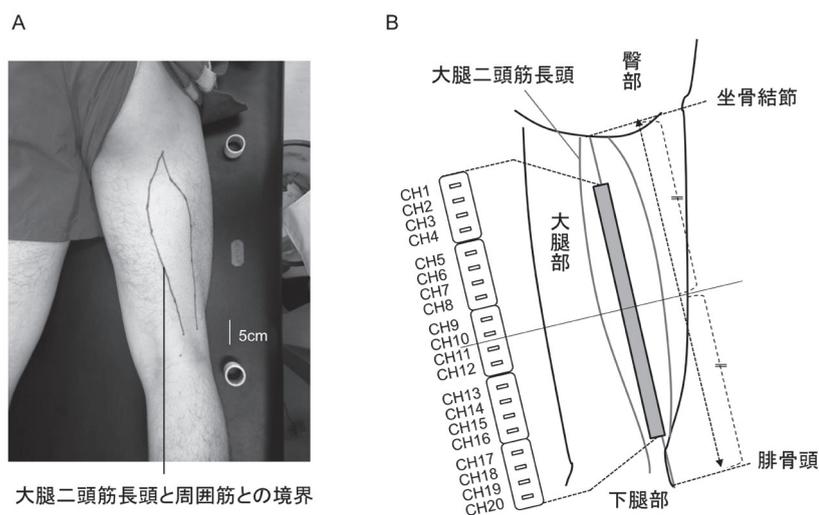


図 1 大腿二頭筋長頭の皮下表出部位 (A) および電極配列 (B)

大筋力発揮を別々に各2回行った(5秒間)。験者は被験者の関節角度が変化しない様に筋力発揮に対して徒手抵抗を加えた。その際に表面筋電図を記録し、収縮中の1秒間から Averaged rectified value (ARV) を算出した。各運動における2回のARVを平均し、股関節伸展時のARVを膝関節屈曲運動時のARVで除した値(HE/KF)を算出した

1. 4 運動課題2 (スプリント運動)

被験者は運動課題1を実施した10名の内8名であった(年齢:20.4 ± 0.7歳, 身長:171.1 ± 5.6cm, 体重:62.9 ± 5.5kg)。

被験者はオールウェザー陸上競技トラックの直線で60mの全力走行を行った。スタンディング姿勢からスタートさせ、30m地点までに最高速度に達するように指示をした。30m地点と47m地点に光電管を設置し、AD変換機(PowerLab, AD Instruments社製)にその電気信号を記録した。この17mを記録区間とし、平均速度を算出した。記録区間中は速度の変動を最小限にするために「駆け抜ける」ように教示をした。3~5本の試技を十分な休憩(5~10分)を挟んで行った。実験ではスパイクの無いランニングシューズを使用した。

足部の接地と離地のタイミングを検出するためにフットセンサ(FSE-FSL1, フォーアシスト社製)をシューズ内の足底部前面に貼付した。フットセンサからの信号は無線式記録装置(FWS-6MEML, フォーアシスト社製)を用いて記録した。フットセンサのデータからは、ピッチも算出した。筋電図、フットセンサ、光電管の信号は試技の開始時に同期信号を用いて同期した。

筋電図信号の安定している1試技を解析対象とした。接地から同じ脚の次の接地までを1歩とし、記録区間から4歩分のデータを抽出した。1歩に要する時間を100%とし、2%毎に各チャンネル

の筋電図データを加算平均し、ARVを算出した。各チャンネルのARVは1歩中の最大値によって標準化した。

1歩に要する時間を10等分し、10の局面に分けた。各局面において各チャンネルの平均ARVを算出し、筋の長軸方向のCentral locus activation (CLA)を算出した¹²⁾。CLAはARVの重心位置を意味するものであり、近位側で相対的にARVが高い場合にはCLAが近位側に位置し、筋全体のARVが相対的に均一であればCLAは筋の中央部に位置することとなる。

1. 5 統計処理

部位間でのHE/KFの変化および局面間でのCLAの変化を評価するため、Friedman検定を行った。有意水準は危険率5%未満とした。

2. 結果

2. 1 運動課題1

各チャンネルにおけるHE/KFの平均値は0.86~1.03の範囲にあった(図2)。このことは、股関

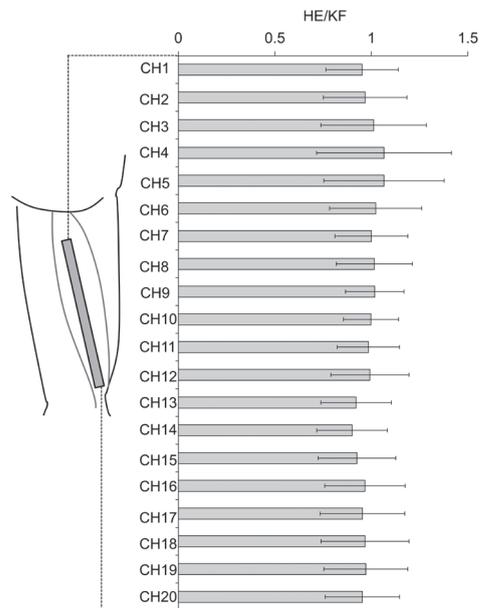


図2 大腿二頭筋長軸方向における異なる部位の筋電図振幅値(Averaged Rectified Value (ARV))の比率(股関節伸展筋力発揮時/膝関節屈曲筋力発揮時)

節伸展運動時の ARV は膝関節屈曲運動時の ARV と比較して同等もしくは低い傾向であることを意味する。Friedman 検定の結果、HE/KF は部位間で有意な差はなかった ($p>0.05$) (図 2)。

2. 2 運動課題 2

記録区間の平均速度は 27.1 ± 1.6 km/h, ピッチは 242.0 ± 12.8 回/秒, 離地タイミングは 27.1 ± 1.6 % であった。

図 3 に 1 歩中の標準化 ARV を示した。接地から離地の間 (約 0~30%) と接地の前 (80~100%) に標準化 ARV の増加が見られ, 同様のパターンが全てのチャンネルで観察された。図 4 は ARV をグレースケールに変換して示したものである。離地前後 (約 30%) および接地前の活動初期 (約 80~90%) において近位部の ARV が他の部位と比較して高い傾向が見られる。しかしながら, CLA は 1 歩中ほとんど変化せずに筋の中心に位置し続けていた。ストライド 1 歩を 10 局面に分け, 局面間で CLA を比較した結果, 局面間で有意な差はなかった ($p>0.05$) (図 5)。

3. 考察

顕著な機能的役割や活動特性の部位差が観察さ

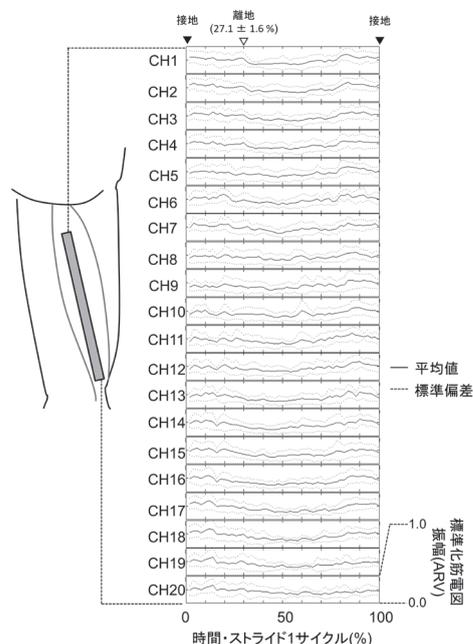


図 3 スプリント運動中の大腿二頭筋長軸方向における異なる部位の標準化筋電図振幅値 (Averaged Rectified Value (ARV))

れている大腿直筋は近位部と遠位部が異なる運動神経枝に支配されている^{13, 14)}。このことは大腿直筋の近位部と遠位部が独立して活動しうることを意味する。大腿二頭筋も, 2つもしくは3つの運動神経枝によって支配されており, 近位端か

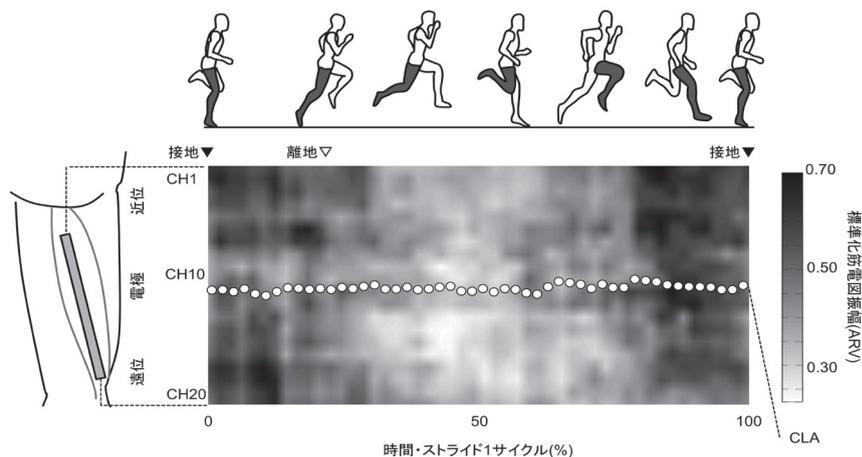


図 4 スプリント運動中の大腿二頭筋長軸方向における標準化筋電図振幅値 (Averaged Rectified Value (ARV)) グレースケールマップ。黒い部分ほど標準化筋電図振幅値が高く, 白い部分ほど標準化筋電図振幅値が低い。白い丸 (○) は Central lucus activation (CLA) を示す

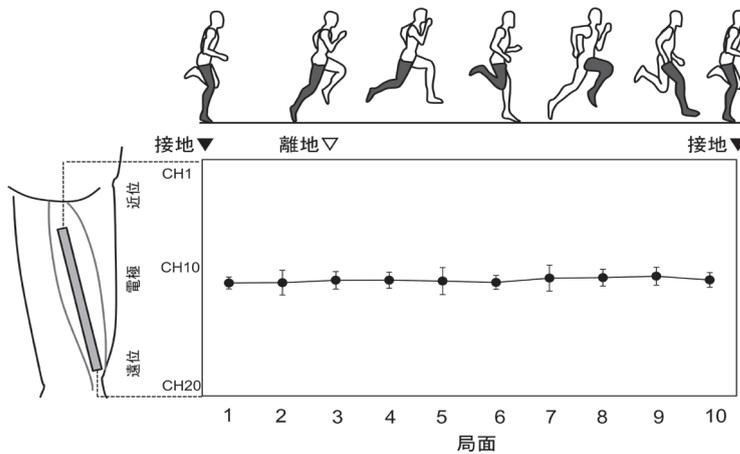


図5 スプリント運動中の大腿二頭筋長軸方向における Central locus activation (CLA)

ら24%, 46%, および49%の位置に神経筋接合部が観察されている¹⁵⁾。このことから、大腿二頭筋も、大腿直筋と同様に神経解剖学的には長軸方向において部位によって独立した機能的役割や活動特性を有する可能性が考えられた。大腿直筋では、この筋が貢献する股関節屈曲運動と膝関節伸展運動時において、それぞれ筋の近位部と遠位部に顕著に高い標準化筋電図振幅値が観察されている^{10, 16)}。このことは近位部と遠位部では機能的役割が異なる可能性を示している。ネコの大腿二頭筋は近位部が股関節伸展運動に、遠位部が膝関節屈曲運動に主に貢献することが知られている¹⁷⁾。機能的役割の部位差を評価するため、大腿直筋を用いた我々の先行研究では股関節屈曲運動時の値を膝関節屈曲運動時の値で除した値を算出した¹⁶⁾。その結果、近位部では1.2～1.4、遠位部では0.4～0.6という値が観察され、近位部がより股関節屈曲運動に、遠位部がより膝関節伸展運動時に高い活動を有することが示された¹⁶⁾。本研究でも同様に大腿二頭筋における機能的役割の部位差を評価するため、大腿二頭筋が貢献する2つの関節運動を最大努力で行わせた際の表面筋電図振幅値の比率(HE/KF)を算出した。その結果、HE/KFに部位による差異は認められなかった

(図2)。したがって、大腿二頭筋には大腿直筋で見られるような顕著な機能的役割の部位差は存在しないと推測された。

スプリント運動中におけるハムストリングス筋群の表面筋電図は多くの研究で記録されてきた²⁻⁵⁾。これらの研究では一般的に用いられる1対の電極ペアを用いて表面筋電図を記録している。近年、ハムストリングス筋群と同様に二関節筋である大腿直筋や腓腹筋内側頭において運動時における筋電図パターンに顕著な部位差が観察されており^{7-10, 12, 16)}、表面筋電図法を用いて運動時の神経筋活動を評価する上で無視できない点となってきた。例えば、大腿直筋の歩行時における筋電図パターンは研究間で異なるパターンが報告されており、どのパターンがnormalであるかが議論されてきた¹⁸⁻²⁰⁾。我々が近年発表した研究では、これらの研究で示されたいくつかのパターンが1つの筋内で観察されることを示した¹²⁾。したがって、表面筋電図法を用いた研究では対象とする筋が対象とする動作時において、どの程度の部位差を有するかを把握しておくことは重要である。本研究では肉離れ発症メカニズムを解明する上で多くの研究で記録されてきたスプリント運動中の大腿二頭筋を対象として筋電図パターンの部位差に

ついて CLA という筋電図の空間分布を評価する指標¹²⁾を用いて検証した。その結果, CLA は全局面を通して筋の中央部に位置していた(図 4, 5)。この結果は, 大腿二頭筋は筋全体がスプリント運動中に類似した筋電図パターンを有することを意味する。スプリント運動時における大腿二頭筋は全体が同じように制御されていることが示唆された。

4. まとめ

本研究では, 大腿二頭筋において機能的役割の部位差およびスプリント運動中の活動パターンの部位差が存在する可能性について, 多チャンネル表面筋電図法を用いて検討した。その結果, 大腿二頭筋が貢献する 2 つの関節運動(股関節伸展, 膝関節屈曲)時の筋電図振幅値の比率に顕著な部位差はなかった。また, スプリント運動中における筋電図振幅値の変化パターンにも顕著な部位差はなかった。これらの結果から, 大腿二頭筋は筋全体が同じような役割を有し, スプリント運動中にも筋全体が均一に活動していることが明らかとなった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり, 研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Woodley S., Mercer S., Hamstring strains - Where do they occur?. *NZ Journl of Physiotherapy.*, **32**: 22-28(2004)
- 2) Higashihara A., Ono T., Kubota J., Fukubayashi T., Differences in the electromyographic activity of the hamstring muscles during maximal eccentric knee flexion., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **108**: 355-362(2010)
- 3) Higashihara A., Ono T., Kubota J., Okuwaki T., Fukubayashi T., Functional differences in the activity of the hamstring muscles with increasing running speed., *J. Sports Sci.*, **28**: 1085-1092(2010)
- 4) Simonsen E.B., Thomsen L., Klausen K., Activity of mono- and biarticular leg muscles during sprint running., *European journal of applied physiology and occupational physiology.*, **54**: 524-532(1985)
- 5) Montgomery W.H., Pink M., Perry J., Electromyographic analysis of hip and knee musculature during running., *Am. J. Sports Med.*, **22**: 272-278(1994)
- 6) Garrett W.E., Jr. Injuries to the muscle-tendon unit., *Instr. Course. Lect.*, **37**: 275-282(1988)
- 7) Vieira T.M., Loram I.D., Muceli S., Merletti R., Farina D., Recruitment of motor units in the medial gastrocnemius muscle during human quiet standing: is recruitment intermittent? What triggers recruitment? *J. Neurophysiol.*, **107**: 666-676(2012)
- 8) Vieira T.M., Windhorst U., Merletti R., Is the stabilization of quiet upright stance in humans driven by synchronized modulations of the activity of medial and lateral gastrocnemius muscles? *J. Appl. Physiol.*, **108**: 85-97(2010)
- 9) Vieira T.M., Loram I.D., Muceli S., Merletti R., Farina D., Postural activation of the human medial gastrocnemius muscle: are the muscle units spatially localised? *J. Physiol. (Lond)*, **589**: 431-443(2011)
- 10) Watanabe K., Kouzaki M., Moritani T., Task-dependent spatial distribution of neural activation pattern in human rectus femoris muscle., *J. Electromyogr. Kinesiol.*, **22**: 251-258(2012)
- 11) Watanabe K., Kouzaki M., Moritani T., Non-uniform surface electromyographic responses to change in joint angle within rectus femoris muscle., *Muscle Nerve.*, **50**: 794-802(2014)
- 12) Watanabe K., Kouzaki M., Moritani T., Regional neuromuscular regulation within human rectus femoris muscle during gait., *J. Biomech.*, **47**: 3502-3508(2014)
- 13) Sung D.H., Bang H.J., Motor branch block of the rectus femoris: its effectiveness in stiff-legged gait in spastic paresis., *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **81**: 910-915(2000)
- 14) Yang D., Morris S.F., Neurovascular anatomy of the rectus femoris muscle related to functioning muscle transfer., *Plast. Reconstr. Surg.*, **104**: 102-106(1999)
- 15) Seidel P.M., Seidel G.K., Gans B.M., Dijkers M., Precise localization of the motor nerve branches to the hamstring muscles: an aid to the conduct of

- neurolytic procedures., *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **77**: 1157-1160 (1996)
- 16) Watanabe K., Kouzaki M., Moritani T., Non-uniform surface EMG responses to change in joint angle within rectus femoris muscle., *Muscle Nerve.*, **50**: 794-802 (2014)
- 17) Pratt C.A., Chanaud C.M., Loeb G.E., Functionally complex muscles of the cat hindlimb. IV. Intramuscular distribution of movement command signals and cutaneous reflexes in broad, bifunctional thigh muscles., *Exp. Brain. Res.*, **85**: 281-299 (1991)
- 18) Annaswamy T.M., Giddings C.J., Della Croce U., Kerrigan D.C., Rectus femoris: its role in normal gait. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **80**: 930-934 (1999)
- 19) Barr K.M., Miller A.L., Chapin K.B., Surface electromyography does not accurately reflect rectus femoris activity during gait: impact of speed and crouch on vasti-to-rectus crosstalk., *Gait. Posture.*, **32**: 363-368 (2010)
- 20) Nene A., Byrne C., Hermens H., Is rectus femoris really a part of quadriceps? Assessment of rectus femoris function during gait in able-bodied adults., *Gait Posture.*, **20**: 1-13 (2004)