

異なるドロップ高からの着地における筋活動の調節

新井 彩* 石川 昌紀** 伊藤 章**

Regulation of the muscle activation during drop landing and jump under various height

Aya Arai, Masaki Ishikawa, Akira Ito

Abstract

Pre-activation before ground impact can play an important roles during drop jumps (DJ) . The purpose of this study was to examine the regulation of triceps surae muscle activation during DJs. Seven healthy subjects dropped from 3 different heights, and were asked to not rebound (landing only: LAND) or rebound with maximal effort (RJmax) . Joint angular data, ground reaction force and electromyography of the lower leg muscles were simultaneously recorded during each DJ. With higher drop heights, agonist muscle activities (medial gastrocnemius and soleus muscles) during the pre-activation phase were dramatically increased, while those did not show any differences during braking phase. The increased agonist muscle activation before touchdown (pre-activation) was significantly decreased during the following braking phase for regulation of low stiffness in the LAND. The agonist muscle activities during braking phase were increased with stiffness index of muscle-tendon unit from LAND to RJmax during constant drop height. However, the pre-activation of the agonist muscle was not increased while that of the corresponding antagonist tibialis anterior muscle was significantly increased from LAND to RJmax. During the following braking phase, the antagonist muscle activities were not increased. These results suggest that the effects of agonist muscle pre-activation are mainly for the impact of touchdown, and not for the regulation of landing or rebound. Consequently, the antagonist pre-activation and the agonist muscles activation of braking phase may play important roles to control motion after landing, and regulate stiffness.

key word : Pre-activation, stretch-shortening cycle, ARV, landing, drop jump, Muscle-Tendon Unit (MTU)

I 緒 言

反動動作を用いた跳躍動作は、より高く・遠くへ跳ぶために多くのスポーツ種目で用いられている。このような反動動作の効果を調べた研究では、主動作前にその動作と逆方向に素早く予備伸張を加えることで、主動作のパフォーマンスが高まることが明らかにされてきた¹⁻³。このような運動様式は、筋を伸張させた後に短縮させることから、伸張-短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle ; SSC) 運動と呼ばれており、伸張性筋活動において蓄積された

弾性エネルギーが続く短縮性筋活動において再利用できるため、より高い跳躍高が可能となると考えられてきた³。このようなSSCを用いたドロップジャンプやホッピング運動では、着地前のPre-activationと呼ばれる上位中枢によりコントロールされる筋の事前活動が観察され、跳躍のパフォーマンスの向上に重要な役割を果たすことが報告されている⁴。この主動筋のPre-activationが α - γ co-activationを調整し、着地後の急速伸張による、短潜時の単シナプス性伸張反射および長潜時の伸張反射を促通し、主動筋のStiffnessを高めるように働くとされている⁴⁻¹²。

*武庫川女子大学 健康・スポーツ科学部
健康・スポーツ科学科
〒663-8558 兵庫県西宮市池開町6-46
**大阪体育大学体育学部
〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1

Department of Health and Sports Sciences, School of Health and Sports Sciences, Mukogawa Women's University, 6-46, Ikebiraki-cho, Nishinomiya, 663-8558, Japan
Osaka University of Health and Sport sciences
1-1, Asashirodai, Kumatori-cho, Sennan-gun, Japan

Komi¹³は, SSC運動中の着地前のPre-activationが, 着地後の筋・腱への弾性エネルギーを蓄える割合に影響を及ぼすと考えられることから, 主動筋に生じる伸張反射と着地前のPre-activationによる相互作用がStiffnessの調整に, 重要な役割を果たしていると報告している。

このようにSSC運動における主動筋のPre-activationに関する研究は数多く報告されているが, そのほとんどが最大努力のジャンプを用いたときの各運動局面別の筋活動を検討していたものであり, 最大下努力の運動での調整メカニズムについて検討した研究は少ない。

Pre-activationは着地動作においても観察されるが, 着地面の違いや視覚の影響¹⁴, 利き足と非利き足の違い¹⁵や傷害予防の観点から検討されている。この着地のみでリバウンドをしない動作は, ドロップジャンプの最終局面であるpush-off局面がないものであると考えることができる。

このことから本研究では, 着地前のPre-activationの意義や着地後の筋活動の意義を明らかにすることを目的に, ドロップして着地のみで跳び上がらない試技と着地後最大努力で跳び上がる試技を用い検討した。

Ⅱ 方 法

被験者は, 日常的にドロップジャンプを含むトレーニングをしている成人男性7名(年齢 20.2 ± 1.4 歳, 身長 1.754 ± 0.078 m, 身体質量 67.3 ± 5.9 kg)であった。本研究は, 大阪体育大学倫理審査委員会の承認を得て行われ, 被験者には本研究の内容を十分に説明し, 実験参加に対する同意を得た。

A. 実験試技内容

被験者には, 複数の高さの台(0.2m, 0.3m, 0.4m:以下「DH0.2m」, 「DH0.3m」, 「DH0.4m」とする)からドロップして着地後跳び上がらない試技(以下「LAND」とする)と, 同じ台から飛び降りてすぐに最大努力で跳び上がるドロップジャンプ(以下「RJmax」とする)を行わせた。被験者には, 両条件共に膝関節の屈伸動作をできるだけ控え, 主に足関節の運動によって行うように指示した。ドロップする時は, 左足を前方に送り出し, 台より高く跳び

上がり自然な落下運動となるようにさせ, RJmaxではできる限りすばやく跳び上がるように指示した。このとき, 上肢による影響を取り除くため腕を胸の前で交差することで固定させた。膝関節の大きな屈伸動作が見られた場合やバランスを崩した場合, そして跳躍高が明らかに低かったものは無効試技とした。被験者にはドロップ高3条件それぞれにLANDとRJmaxの試技を行わせ, 成功試技が各5試技抽出できるまで繰り返させた。また, 被験者には試技間に十分な休憩をとらせ, 疲労による影響が出ないように十分に配慮し, 試技は条件毎でランダムに行った。

B. 測定内容

ドロップする台に沿ってフォースプレート(キスラー社製: Type9287, 縦90cm, 横60cm)を設置し, 着地中の鉛直方向地面反力(以下「Fz」とする)を1kHzのサンプリング周波数で記録した。筋電図(EMG)は, 動作中の左脚の前脛骨筋(以下「TA」とする), 腓腹筋内側頭(以下「MG」とする), ヒラメ筋(以下「SOL」とする)の筋腹から, 電極間距離20mmに固定した表面電極による双曲誘導法により導出した。EMGは, 無線伝送方式の測定装置(NEC製: サイナアクトMT11)を用い, 1kHzのサンプリング周波数で記録した。電極を貼付する際, アーティファクトを取り除くため, 電極貼付部位の角質を削り取り, 消毒を行った。電極の貼付後, 電極間抵抗値が $2k\Omega$ 以下であることを確認した。各筋の電極貼付位置は, テスト手技によるEMG反応によって適正であることを確認した。また, 動作に影響のないように腰に送信機を固定した。試技中, 被験者の左側方にデジタルビデオカメラ(SONY製: DSR-PD150)を設置し, 毎秒60コマで試技を撮影した。撮影した画像から, 身体23点について全ての試技を毎秒60コマでデジタイズを行い, 2次元DLT法により分析を行った。得られたデータは, 4次のバターワース型ローパスデジタルフィルターによって7-10Hzで平滑した。EMGとFzを記録する際にLEDランプが点灯する同期シグナルを取り込み, 同時にビデオカメラには試技映像に影響のない範囲にLEDランプの点灯を映し込み全てのデータを同期した。

C. 局面定義

本研究では、試技を以下に示す局面に分けて分析を行った。まず、Fzの立ち上がり（着地の瞬間：以下「TD」とする）を基準に、着地前100msをPre-activation局面とした。また、TDから足関節最大屈曲時点（以下「MAF」とする）までをBraking局面とした。RJmaxについてはMAFから離地までのPush-off局面があるが、LANDではPre-activation局面とBraking局面のみであるため、分析はこの共通の2局面について行った。

D. 算出項目

記録したEMGデータは、10-500Hzのバンドパスフィルターを通過させた後に全波整流し、鉛直地面反力データとともに、各条件の5試技について着地を基準にした同期加算平均処理を行った。その後、局面ごとに積分値を算出し、それを局面時間で除した値を求め、各局面のEMGの整流波平均値（Averaged-rectified value：ARV）とした¹⁶。

MG, SOLに関する筋-腱複合体（Muscle-Tendon Unit：MTU）の長さは、膝関節および足関節の角度を用いるGrieveほか¹⁷のモデルによって求めた。本研究で用いたドロップジャンプは、膝関節をできるだけ固定させたことで、膝関節の角変位が二関節筋であるMGのMTUの長さにほとんど影響しなかった（MGとSOLのMTUの長さの差； $1.5 \pm 0.5\%$ ）。このことから、より単純なモデルでの検討を可能にするため、MG, SOLのMTUの長さの平均値を、下腿三頭筋の筋-腱複合体の長さとした（以下「 L_{MTU} 」とする）。着地中の鉛直地面反力の変化量（ ΔF ）を、MTUの伸張量（ ΔL_{MTU} ）で除することにより、Stiffness index（ $\Delta F / \Delta L_{MTU}$ ）を算出し、MTUのバネ的特性について検討した。また、TD, MAFでは、各被験者の膝関節 0° および足関節 90° のときの L_{MTU} を100%として規格化したものを、各時点での L_{MTU} として算出した。

E. 統計処理

各算出項目について、ドロップ高（3条件）と着地後運動条件（2条件）、あるいは、各ドロップ高で運動条件（2条件）と2局面の二要因分散分析（繰り返しあり）を行い、その後多重比較検定を行った。RJmaxの跳躍高については一要因分散分析を

行い、その後多重比較を行った。尚、統計処理の有意性は危険率5%水準で判定した。

III 結 果

A. 跳躍高

各ドロップ高におけるRJmaxの跳躍高は、 $0.242 \pm 0.036\text{m}$ （DH0.2m）、 $0.281 \pm 0.014\text{m}$ （DH0.3m）と $0.292 \pm 0.031\text{m}$ （DH0.4m）であり、ドロップ高が高いほど有意に高い跳躍高が得られた（DH0.2m < DH0.3m < DH0.4m, $p < 0.01$ ）。

B. EMG放電パターンとARV

図1に、ドロップ高0.3mにおけるTA, MG, SOLのEMGとFzの波形の典型例を示した。どのドロップ高においても同じ様な波形を示し、これに見られる特徴は以下のようであった。LANDでは、主動筋であるMGは着地前に高いEMGが見られたが、着地直後に著しく減少した（図1）。また、SOLはRJmaxに比べ低いEMGであったが、MGと同様に着地後減少した。このとき拮抗筋であるTAは、着地前、着地中を通して著しく低いEMGであった。RJmaxでは、MG, SOL共に着地前の高いEMGが着地中まで持続し、特にSOLにおいては、着地後50から80ms辺りで伸張反射成分^{9, 18}と考えられる顕著な同期性筋放電が認められた（図1）。TAにおいては、LANDに比べてRJmaxの着地前のEMGが著しく高かった。

Pre-activation局面では、MGおよびSOLのARVは、LANDとRJmaxともにドロップ高が高くなるにしたがって、有意に増加した（ $p < 0.05$ ）。しかし、各ドロップ高ではLANDとRJmaxとの間でARVに差は認められなかった。

Braking局面におけるMGとSOLのARVはドロップ高の増加に対して変化しなかった。しかし、全てのドロップ高でMG, SOLともにLANDに比べRJmaxの方が有意に大きかった（ $p < 0.05$, $p < 0.01$ ；図2）。Pre-activation局面からBraking局面へのARVの変化は、MGとSOL、およびLANDとRJmaxで異なる傾向を示した（図2）。MGのARVは、LANDのDH0.3mとDH0.4mにおいて、Pre-activation局面からBraking局面にかけて有意に減少し（ $p < 0.05$ ）、RJmaxでは、DH0.3mにおいて有意に増加した（ $p < 0.05$ ）。しかしSOLでは、LANDの全ての

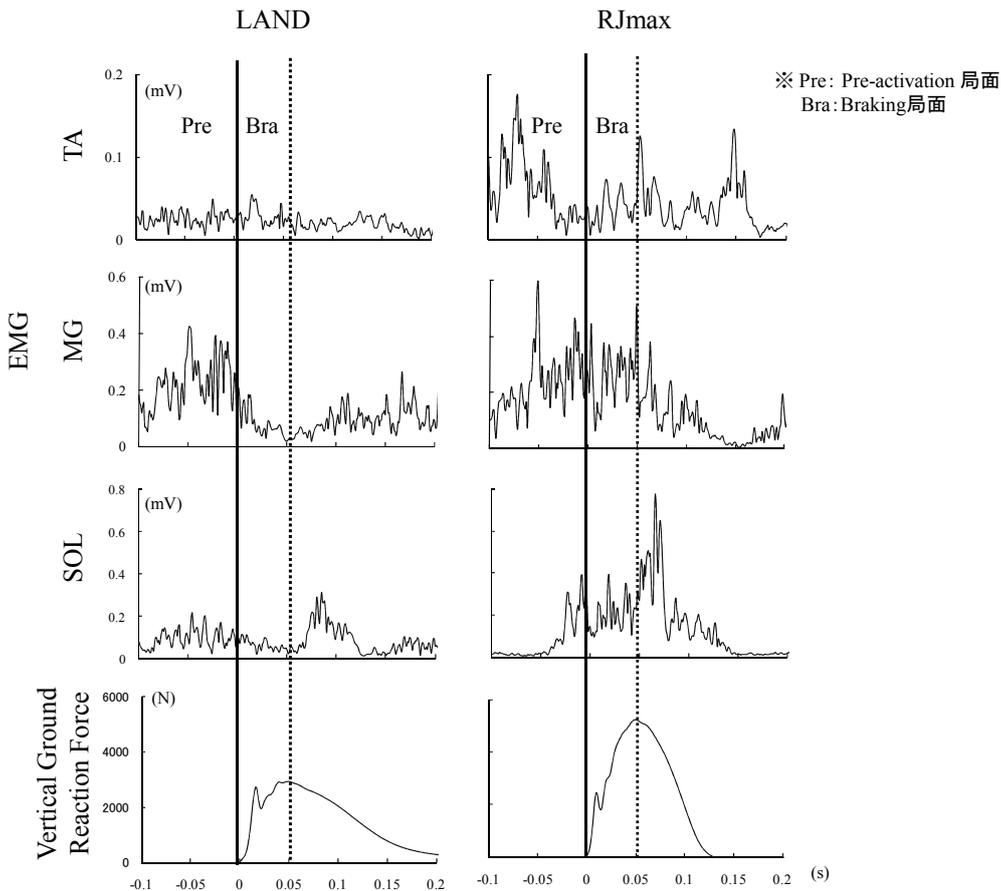


図1 試技中のEMGと鉛直地面反力波形の典型例 (DH0.3m)

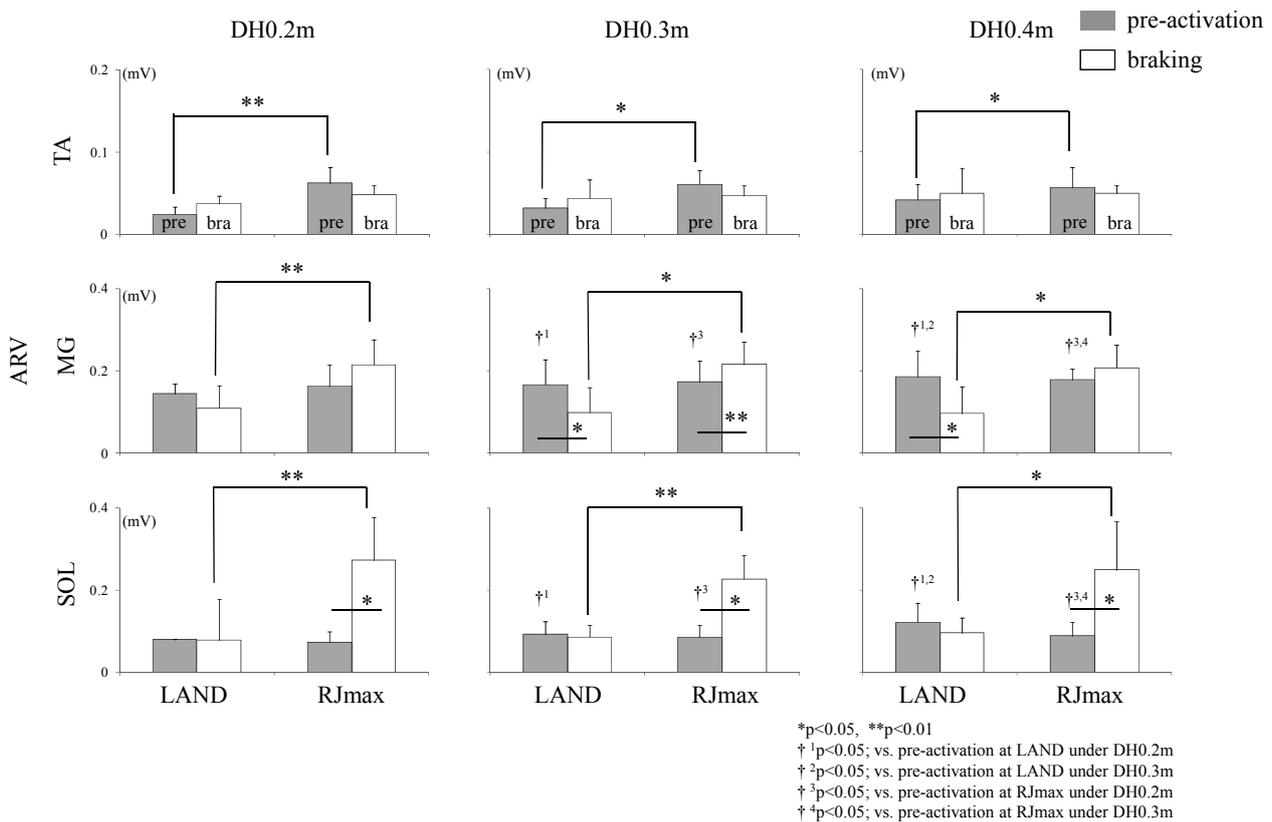


図2 Pre-activation局面とBraking局面のEMG整流波平均値 (ARV)

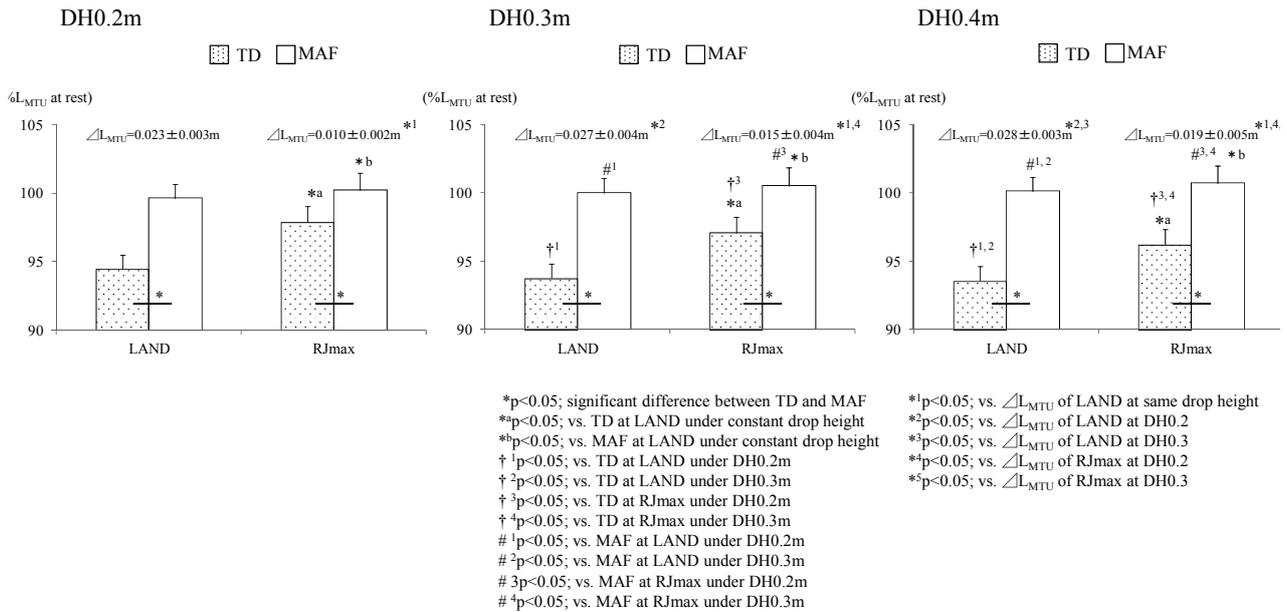


図3 TDとMAF時のMTU長さおよび ΔL_{MTU}

ドロップ高でPre-activation局面からBraking局面にかけて変化せず、逆にRJmaxでは全てのドロップ高で有意に増加した ($p < 0.05$)。

TAのARVは、Pre-activation局面では、LANDに比べRJmaxの方が有意に大きかった ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。Braking局面ではドロップ高の違いや、LANDとRJmaxに対するARVの変化はなかった。また、局面間についても有意な差は認められなかった。

C. 各時点でのMTUの長さ及び長さ変化

図3にTD, MAF時の L_{MTU} および ΔL_{MTU} を示した。TDにおける L_{MTU} は、全てのドロップ高でLANDに比べRJmaxの方が有意に長い傾向が認められた ($p < 0.05$)。MAFでの L_{MTU} は、全てのドロップ高でLANDに比べてRJmaxでは有意に長かった ($p < 0.05$)。また、LANDとRJmaxともにドロップ高が高くなるにしたがってTDの L_{MTU} が有意に短くなり、MAFの L_{MTU} が有意に長くなる傾向が認められた ($p < 0.05$)。

全ての条件で、 L_{MTU} はTDからMAFにかけて有意に長くなった ($p < 0.05$)。MTUのTDからMAFへの ΔL_{MTU} は、全てのドロップ高で、LANDよりRJmaxが有意に大きかった ($p < 0.05$)。また、LANDとRJmax共に、ドロップ高が高いほど ΔL_{MTU} は有意に大きかった (図3, $p < 0.05$)

D. MTUのStiffness index

図4にMTUのStiffness indexを示した。LANDでは、ドロップ高が変化してもStiffness indexは変化しなかった。RJmaxでは、低いドロップ高ほどStiffness indexが有意に高い傾向を示した ($p < 0.01$)。また、全てのドロップ高でLANDよりRJmaxのStiffness indexが有意に高かった ($p < 0.05$)。

IV 考 察

A. Pre-activation局面とBraking局面の筋活動の特徴

Pre-activationと呼ばれる筋活動は、上位中枢であらかじめプログラム化され、コントロールされたものであり⁴、着地の衝撃の吸収と、その後のパフォーマンスに応じた最適なStiffnessに調節するよ

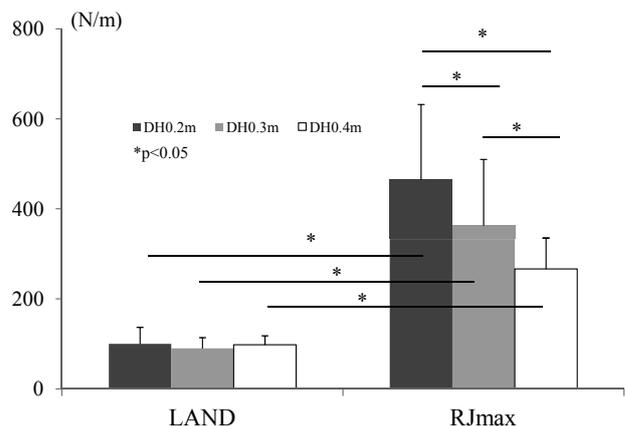


図4 Stiffness index

うに働くとされている^{4, 8, 11, 19, 20}。本研究で用いたドロップジャンプにおいてもPre-activationが観察された。主動筋であるMG, SOLのPre-activation局面でのARVは, ドロップ高が高くなるにしたがって高まった。これは衝撃の大きさに対してPre-activationレベルが変化するという先行研究の報告と一致していた^{18, 21-25}。しかし, 同じドロップ高においてはLANDとRJmaxの間ではMGとSOLともにPre-activationのARVに差がみられなかった。この結果は, Pre-activationが, 着地後のMAF以降の運動には直接関係しないことを示唆するものであり興味深い。拮抗筋のTAのARVは, Pre-activation局面でLANDよりRJmaxの方が大きく, 跳び上がることに働いたと考えられ, これはMTUの長さ変化と共に後述する。Braking局面におけるARVは, MG, SOLともに, LANDに比べRJmaxの方が有意に大きい傾向を示した。これは, Braking局面の高い活動が高い跳躍パフォーマンスを発揮するのに重要であるという報告²⁶を支持するものである。しかし, Braking局面のMGとSOLのARVはドロップ高が上がってもLANDとRJmaxのどちらにおいても増加しなかった。この結果は, Braking局面の筋活動は, 本研究のドロップ高の範囲では, 着地衝撃の大きさには関わらないことを示すものである。また, このBraking局面が一定であることは, ドロップ高が異なっても全て最大努力での試技であったためだろうが, そうであるのに, ドロップ高が高い方がRJmaxの跳躍高が高かった。このように跳躍高に差があったのは, ドロップ高の違いによってBraking局面中に蓄積された弾性エネルギーに差が生じたためか, あるいは, MAF以降のEMG活動による差であるかもしれない。

B. Pre-activation局面からBraking局面への筋活動変化

LANDのMGのARVはPre-activation局面からBraking局面にかけて有意に減少し, SOLのARVは変化せず低い筋活動状態を維持する傾向にあった。つまりLANDにおけるPre-activation局面からBraking局面への筋活動の調整はMGの方がSOLより大きかったことがわかる。Moritaniほか²⁷はホッピング中のH-reflexにおいてSOLの運動単位は抑制されMGは促進されることを報告しているが, 本研究で

用いた運動の調整にも同じようにMGが選択的に働いた可能性がある。本研究のLANDの結果は, 着地後の運動強度の調整には主にMGが働いたことを示しSOLは着地時に必要な張力の維持に機能していたのかもしれない。

このようにMGのEMGが一気に減少しても, 筋張力が半減する (half relaxation time) までには50から80ms程度時間がかかると考えられる^{28, 29}。このことから, Pre-activation局面のEMGによって生じた張力が, Braking局面でも維持できていた可能性があり, この張力も地面反力発揮に働いたかもしれない。

C. MTUとStiffness index

LANDでは, ドロップ高が高くなるとともにTDの L_{MTU} はより短くなり, MAFの L_{MTU} は長くなった。そのためMTUの伸張量である ΔL_{MTU} は大きくなった (図3)。この結果は以下のように解釈できる。ドロップ高が高くなると, Braking局面でより大きな位置エネルギー (より大きな力積) をMTUで吸収しなければならない。そこで高いドロップ高ではMTUの伸張量を増やすことで対応し, 逆に低いドロップ高ではMTUの伸張量を少なくすることで対応した。その結果, LANDのStiffness indexは全てのドロップ高において一定の値を示し, 跳び上がらない着地を可能にしたのであろう (図4)。

RJmaxのTDの L_{MTU} はLANDより長く, これは着地前のPre-activation局面でのTAのARVがLANDより高まったことにより引き起こされ (図2), 足関節を固定することに働き, LANDより高いStiffness indexを示した。RJmaxの L_{MTU} は, ドロップ高が高くなるに従いTDでは短くなり, MAFでは長くなった。そのためRJmaxの ΔL_{MTU} はドロップ高が高くなるにしたがって増加し, しかしながらLANDより小さかった。RJmaxではドロップ高に従った位置エネルギーをMTUに弾性エネルギーとして蓄積し, その後の跳躍において再利用するが¹³, LANDよりも短い ΔL_{MTU} はその目的にかなったものかもしれない。しかし, RJmaxの ΔL_{MTU} はドロップ高が高いほど増加し, Stiffness indexは低くなり, 結果として跳躍高が高まった。これは跳び上がらないLANDの ΔL_{MTU} がRJmaxより大きかったことやStiffness indexが低かった状況とは異なった結果で

ある。しかし全力の跳躍であるRJmaxでは、全てのドロップ高において最大跳躍高を得ようとしており、このStiffness indexの変化はBraking局面における弾性エネルギーの蓄積をドロップ高に応じてより効果的に行おうとしたものであると考えられる。つまり、LANDではARVを低下させながらStiffness indexを調整したのに対し、RJmaxでは最大のARVで得られたStiffness indexである。つまり、Braking局面の目的が異なる場合のStiffness indexは直接比較すべきでないかもしれない。

V まとめ

Pre-activation局面において、主動筋のMG, SOLでドロップ高が高くなるにしたがって活動が高まり、これは予想される衝撃の大きさに対応してPre-activationレベルが変化するという先行研究の報告と一致し、着地後の運動の違いに関係なく着地衝撃に対応するのに必要な張力を発揮するための筋活動であったことが示唆された。また、着地後の運動の調整にはPre-activation局面のTAの筋活動が機能し、また、Braking局面では主にMGが働いたことが分かった。着地後の運動の目的が異なる場合に、主にBraking局面の筋活動によって調整され、さらにドロップに応じて効果的にStiffness indexを調整していることが示唆された。

引用文献

1. Cavagna GA, Dusman B, and Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol*, 24, 21-32. 1968.
2. Asmussen E, and Bonde-Petersen F. Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta Physiol Scand*, 92(4), 537-45. 1974.
3. Komi PV, and Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports*, 10, 261-265. 1978.
4. Mellvill-Jones G, and Watt DGD. Muscular control of landing from unexpected fall in man. *J Physiol*, 219, 729-737. 1971.
5. Bosco C, Komi PV, and Ito A. Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol Scand*, 11, 135-140. 1981.
6. Gottlieb GL, Agarwal, GC, and Jaeger, R.J. Response to sudden torques about ankle in man. A functional role of α - γ linkage. *J Neurophysiol*, 46, 179-190. 1981.
7. Bobbert MF, Mackay M, Schinkelshoec D. et al. Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *Eur J Appl Physiol*, 54, 566-573. 1986.
8. Moritani T, Oddsson L, and Thorstensson A. Phase-dependent preferential activation of the soleus and gastrocnemius muscles during hopping in humans. *J Electromyogr Kinesiol*, 1 (1), 34-40. 1991.
9. Gollhofer A, Strojnik V, Rapp W, et al. Behavior of triceps surae muscle-tendon complex in different jump conditions. *Eur J Appl Physiol*, 64, 283-291. 1992.
10. Horita T, Komi PV, Nicol C. et al. Stretch shortening cycle fatigue: interactions among joint stiffness, reflex, and muscle mechanical performance in the drop jump. *Eur J Appl Physiol*, 73, 393-403. 1996.
11. Bosco C. The effect of Prestretch on Skeletal Muscle Behavior *J Appl Biomechanics*, 13, 426-429. 1997.
12. Funase K, Higashi T, Sakakibara A, et al. Patterns of muscle activation in human hopping. *Eur J Appl Physiol*, 84, 503-509. 2001.
13. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*, 33(10), 1197-1206, 2000.
14. Santello M, McDonagh MJ, and Challis JH. Visual and non-visual control of landing movements in humans. *J Physiol*, 537(Pt 1), 313-27. 2001.
15. Niu W, Wang Y, He Y, et al. Kinematics, kinetics, and electromyogram of ankle during drop landing: a comparison between dominant and non-dominant limb. *Hum Mov Sci*, 2011 Jun; 30(3), 614-23. 2011.
16. Merletti R. Standards for Reporting EMG data. *J. Electromyogr Kinesiol*, 9 (1): III-IV. 1999
17. Grieve DW, Pheasant S, and Cavanagh PR. Prediction of gastrocnemius length from knee and ankle joint posture. In: Asmussen, E. and Jorgensen, K. (Eds) *Biomechanics IV-A*. University Park Press, Baltimore, 405-412. 1978.
18. Voigt M, Chelli F, and Frigo C. Changes in the excitability of soleus muscle short latency stretch reflexes during human hopping after 4 weeks of hopping training. *Eur J Appl Physiol*, 78(6), 522-532. 1998.
19. Avela J, Santos PM, and Komi PV. Effects of differently induced stretch loads on neuromuscular control in drop jump exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(5-6), 553-62. 1996.
20. Arampatzis A, Schade F, Walsh M, et al. Influence

- of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J Electromyogr Kinesiol*, 11, 355-364, 2001.
21. Gollhofer A, and Kyrolainen H. Neuromuscular control of human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions. *Int J Sports Med*, 12, 34-40, 1991.
 22. Viitasalo JT, Salo A, and Lahtinen J. Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. *Eur J Appl Physiol*, 78, 432-440, 1998.
 23. Santello M, and McDonagh MJ. The control of timing and amplitude of EMG activity in landing movements in humans. *Exp Physiol*, 83(6), 857-74, 1998.
 24. Arampatzis A, Morey-Klapsing G, and Bruggemann GP. The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *J Electromyogr Kinesiol*, 13, 533-544, 2003.
 25. Ishikawa M, and Komi PV. Effect of different dropping intensities on fascicle and tendinous tissue behavior during stretch-shortening cycle exercise. *J Appl Physiol*, 96, 848-852, 2004.
 26. Kyröläinen H, and Komi PV. The function of neuromuscular system in maximal stretch-shortening cycle exercises: comparison between power- and endurance-trained athletes. *J Electromyogr Kinesiol*, 5, 15-25, 1995.
 27. Moritani T, DeVries HA. Differences in modulation of the gastrocnemius and soleus H-reflexes during hopping in man. *Acta physiol Scand*, 138, 575-576, 1990.
 28. Andreassen S and Nielsen LA. Muscle fibre conduction velocity in motor units of the human anterior tibial muscle: a new size principle parameter. *J Physiol*, 391, 561-71, 1987.
 29. Gandevia, SC Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*, 81, 1725-1789, 2001.