

## Sprinting Stride Actions: Analysis and Evaluation

## 短距離走のストライド・アクション

## —分析と評価

Don Chu, PhD, C.S.C.S. [ドン・チュー、カリフォルニア州カストロバレー・アサースポーツ傷害クリニック]

Remi Korchemny, PhD [レミー・コルクエムニー、同]

スプリント動作はバリエーションが豊富で、周期的な動作である。この動作の最も普通の形はランニング・ストライドである。それぞれのストライドを通して、筋肉は活発に収縮したり、脱力したり、伸長したりして、付着している身体のセグメント（分節）を加速させたり減速させたりする。

バリエーションが豊富な収縮において、実際の筋肉の発火の相は極めて短い。動作の残りは、慣性の適切な利用、予備伸長された拮抗筋に蓄えられたエネルギー、および筋肉の弾力的な特性の結果として生じるものである。ストライディングはまた、筋肉が異なる種類の、つまりエキセントリック、コンセントリック、アイソメトリックな振力を発揮する活動である。ストライドの完全なサイクルの中で、筋肉は種々の方法によって様々な動作範囲を通して身体のセグメントを動かすことができる。

筋肉は動かすセグメントを増加あるいは減少したり、ショックを吸収したり、そして他の物体にインパクトを与えたりする。また、関節を安定させたり固いレバーを形成したりして、ロックすることができる。

スプリント・ストライドのような速い動作は、筋肉の発揮張力のすべての形態における速い変化によって説明される。例えば、支持相の間、足首のトルクを発揮するときには、脚の筋肉は

コンセントリックに収縮する。しかし、接地直前の相では、同じ筋肉は膝と足首の関節をロックしてアイソメトリックに収縮する。最後にブレーキ相、あるいは償却相の間、これらの筋肉は重力に抵抗してエキセントリックな収縮をする。

ストライド動作の間、異なる形態の収縮をすることにより、筋肉は収縮、伸張、長さの変化を伴わない緊張の発生、リラクゼーションといった特性をすべて利用する。

ストライド動作の間、それぞれの新しい収縮サイクルは、拮抗筋の抵抗だけでなく、反対の方向に動かそうとするセグメントの質量による負の慣性にも打ち勝つ。

研究によると、スプリント・ストライドの間、筋肉は発生したエネルギーの1257%をセグメントを加速するのに使い、そして22%をセグメントの減速に使う。重力に対しての仕事にエネルギーの3%が必要で、そして空気抵抗や摩擦によって残りの18%が使用される。幸い、収縮の補助は次の4つの付加的な源によって補助される。

①働いている筋群の弾性が、それらの筋肉がリバウンダーとして役立つのを助ける。股関節の伸張の間、筋群は地面反力の慣性によって圧縮された状態になる。脚が空中で最大の伸展位に達したとき、圧縮された筋肉は脚を巻き戻し、脚が前方へのスイングを始める

のを助ける。股関節の屈曲の間、大腿四頭筋（特に大腿直筋）は膝を上へと動かす慣性によって圧縮された状態になる。変形からの反発により、これらの筋肉は脚を加速して接地へと向かわせるのを助ける。

②予備伸長される筋群は激しく伸長されるので、これらの筋肉はポテンシャル・エネルギーを蓄える。このポテンシャル・エネルギーは、バリエーションが豊富な伸長の力が粘性抵抗と重力とによって釣り合うやいなや、解放される。

③動いているセグメントの振り子のような調整により、角速度は増えたり減ったりする。質量中心と軸との間の距離（半径）の変化は、振り子の角速度の変化を引き起こす。脚が振り子で、脚を折りたたむことで、脚の質量の中心が股関節から前へと移る（半径が減少する）と仮定すると、スイングする脚の振幅を最大にする条件が達成される。

④最後に、動くセグメントが円軌道を通ることによる有利な効果を利用することで、収縮はまた補助される。脚が前へ後ろへと動いていく一方、その足はできるだけ近い円軌道でついていくだろう。

## ■ストライド動作の分析

ストライド動作を分析することにより、ストライドのフルサイクルを考察

することができる。考察する範囲には、各セグメントの動きのみでなく、身体全体の特性と活動順序も含まれる。研究は分割した動作と全体の動作について繰り返し行われるべきである。静止フレームの中で、キネマティック・チェーンのリンクとスローモーションの活動を通して、キーポジションを利用することにより、スプリントのスキルの実行を有利にするためにどの筋肉が改善されるべきかを選択することができる。また筋電図法による研究の助けによって、収縮の性質と特性をより深く理解できるだろう。

ランニング・ストライドには支持相と腾空相の2つの主要な相がある。支持相はブレーキング相、償却相、および推進相から成る。腾空相は上昇相と下降相から成る。

#### ■支持相

支持相は接地とともに始まる。そこではブレーキングが起る。脚が地面に近づくと、膝の伸筋（大腿四頭筋）と屈筋（ハムストリング）は、膝がわずかに曲がった状態（170°）に固定する。足背筋は足底筋とともに足首を安定させ、足首は少し下向きになり、地面へと向かう（底屈は110°）。より効率のよい接地のために、接地時のつま先と身体重心との間の水平面における距離はおおよそ38～48cmでなければならない。接地時の膝の伸展は170°を超える必要はない一方、水平線に対するつま先と股関節の配置の角度は60～70°（上体の傾きの角度）に近くなければならない。

前方へと向かう脚のスイングを減速するために、股関節の伸筋と膝の屈筋はエキセントリックに収縮する。そして膝の伸筋とともに、それらはアイソメトリックに収縮して、カタパルト・アクション（石弓的動作）によって速

いスピードの足首のトルクを身体質量の中心へと伝えることのできる固いレバーを形成する。ヒンジメントに対する角速度は80°/秒から始めて0.09秒（これは一流スプリンターの支持相のタイムである）の間に75°の範囲を通過する。接地のとき、着地する脚は地面の衝撃を受け、重力に抵抗して仕事をす。股関節と膝の関節には屈曲するような力がかかり、足首の関節には背屈するような力がかかる。この相で、股関節と膝の伸筋と、足底筋は重力に負けて激しく引き伸ばされ、エキセントリックに収縮する。それらは、次に起こる推進活動の両使われる弾性ポテンシャル・エネルギーをためる。

股関節、膝および足首の関節の筋肉が受ければ強いほど、それらの筋肉は償却相の間、スプリンターが過度に下へ沈み込むのを防ぐことができる。このことによってスプリンターが早く質量中心を垂直面上昇させることが可能になる。質量の中心の軌跡の振幅における最下点は、接地相と償却相の間、低く沈みすぎはならず、屈曲はそれぞれ140～150°、145～155°であるべきである。

Ralph Mannによるバイオメカニクス的な分析<sup>7)</sup>によると、一流スプリンターはより高い水平方向の速度において、極めて大きな垂直方向の力積を生み出す。一流スプリンターはより短い時間により大きな垂直の力を出さなければならない（0.09秒で344ポンド）。そのため、彼らは非常に強くなければならない。このことを達成するために必要な相対的等尺性筋力は、テストされる関節のトルクに対する個人の体重の割合のことである。100mを10秒2で走るスプリンターの場合、体重に対する最大の抵抗は、股関節の伸筋で体重の3.00倍、股関節の屈筋で1.20倍、膝

の伸筋で2.10倍、足底筋で3.00倍、そして体幹の伸筋は2.70倍に近くなければならない。それらに筋肉は、動いているセグメントを減速したり止めたりする役割を持つエキセントリックな収縮中に、極めて高い強度の力を発揮しなければならない<sup>10)</sup>。

アメリカの一流男子ジュニアスプリンターのごく最近のテストにおいて、上級のスプリンターの膝伸展におけるエキセントリックな力のピークは約650±70ニュートン、膝の屈曲のエキセントリックな力のピークは約1000±200ニュートン、膝の伸展との割合はおおよそ1対1.15であることが確かめられた<sup>4)</sup>。

もう1つの強度の指標については、フィールドテストの利用によって評価することができる。瞬発的な能力については次のような2つの活動のテストが評価の助けとなる。それは、立ち幅跳びが3～3.1mに等しいこと、そして膝を90°まで曲げて体重の50%の重量のスクワット5回が5秒以内でできることである。

身体の質量の中心が支持面を通過するやいなや、脚の筋肉の収縮はエキセントリックからコンセントリックへと反転する。このポイントから、筋肉は前方へと動いている質量の中心を鉛直方向に加速する。

支持相の最後の動作は推進活動で、そこでは地面反力は前方へと動く身体を水平方向に加速する。離地活動の間、選手は能動的に足首を底屈させる。足首の伸展と屈曲動作は35～38°の範囲で行われなければならない。また、股関節と膝関節は伸展を続け、脚は膝が完全に伸展する前に地面を離れる（そのときの膝関節の角度は約170°<sup>10)</sup>）。このことによって、アスリートは自分の質量中心を小さい角度で空中の軌跡へと投げ出し（2～3

り、空中軌跡の高さを抑えることができる。この動作は後方へのキックとスイング動作のスピードを増大させる。地面を離れた後、アスリートは能動的に、高強度の着地のための準備をする。

#### ■滑空相

滑空相の最初の部分は、ストライド軌跡における最高点の高さまでの質量中心の上昇によって特徴づけられる。そして2番目の部分は、質量中心の下降によって特徴づけられる。離地の後、後方へと動く脚は最大伸張の状態に達し、一方前の脚は緩急な屈曲位まで運ばれる(地面反力の慣性と、スイングの前方への運動量によって)。そして後ろの脚は折れ曲がり、下へと向かって動く前脚の方向へと動き始める。脚をより良好に、より速く回転運動させるために、膝の屈筋は、全償却相を通して、脚を折りたたまれた状態に保たなければならない(膝の角度は約30°)。これらの活動はまた、支持相における圧縮、減圧の力を増大させるのを助ける。

前方へ、そして後方へと動くとき、スイングしている脚の運動量は支持している脚にかかる力を増大させる。支持脚が垂直面を通過するとき、スイングしている脚は前方へ、そして上方へと動き始める。そのバリエーションな運動量は、動いている身体の質量中心の前方への加速を助ける。推進期を通して、これらの活動をコントロールするために、背屈とともにこの活動の引き金となる償却の間、選手は折りたたまれた脚の足を円軌道を通して支持している膝と同じ高さまで運ばなければならない。

力学の第一法則によると、身体は力の相互作用の結果として動いている。ランニング中の主な力の源は、重力、

環境的な抵抗力(空気、摩擦など)、および地面反力に対抗してなされる仕事である。これらの力によって、スプリントにおける筋肉のかなり大きな伸張が説明される。選手が自身のスピードを上げるにつれて、外力と重力は動いている身体のスピードに影響する。例えば、5 m/秒から11 m/秒までスピードを上げる選手は、その身体の大さに依存するが、4~5倍の抵抗に勝つことになる。重力は水平のスピードに影響するのではなく、駆動活動の方向に影響する。支持相の間の垂直方向の動きの振幅があまりにも大きい場合(6 cm以上)、支持相の時間は増大して、空中軌跡の距離は減少する。支持相の時間の増大によって、脚の切り返しのスピードは減少して、最終的にストライドの長さは減少することになる。

#### ■パフォーマンスの完成化

活動する筋肉のパフォーマンスを最大にするために、筋肉を収縮させる方法を考えなければならない。活動に関係して発火する筋肉のユニットの数は、緊張相とリラクゼーション相を通して利用されるエネルギーの量を決定する。筋肉の収縮のスピードは非常に速く、そしてその性質は非常に多様なので、人間は自分の筋肉の収縮の可変性のすべてをコントロールすることはできない。

ストライド運動のすべての変化を計算するためには、まだ存在していないような大きな容量のコンピュータを使わなければならないだろう。とはいうえ、選手はパフォーマンスを完成するために、自分の動作と動作の結果について研究するべきだろう。

ストライド運動に動員される脚の異なる筋群は、全体のストライド・サイクルの30~80%の間、緊張状態にある

かもしれないことが研究により示されている。例えば、脚筋の最も高い収縮性の活動は、脚が着地の準備をするときに起こる。この段階で、股関節と膝の伸筋と、足底筋における強力な筋肉の緊張は、すべての脚のセグメントを1つの固いレバーにして安定させるために拮抗筋とともに働く。このことによって、かなりしっかりした着地が与えられ、着地時の身体の質量中心の軌道の高さを保つのに役立つ。

脚の筋肉の最も高い緊張は、着地時の接地直前間と、償却相の間とに起こることが、筋電による実験によって示されている。着地する脚の筋肉(大腿直筋を除く)の最大の活動は、接地直前相の間とブレーキ相の間とに起こる。その後、筋電活動は推進過程の終了へと向かって減少し始める。支持脚が地面から離れた後、これらの筋肉は、再びスイング活動に関わる状態になるまで短い瞬間リラクゼーションになる。こうして筋筋とハムストリングは全体のストライド・サイクルの80%の仕事に関わり、大腿四頭筋は75%に関わる。図6はストライド運動に関わる筋肉を示している。

スプリントのストライドのすべての相を通して、筋肉の働きを改善するために、選手は改良の目的のための下記の特別なエクササイズを取り入れるべきである。

①支持時間に関して。推進のための地面反力増強と、動員/発火能力の強化エクササイズ。

②スイング活動に関して。切り返し努力のスピードと、円運動のスピードの向上エクササイズ。

重力に対する抵抗を改善するために、スクワットとセミスクワットを利用することによって、脚の筋力の強化をするべきである。また動員と発火の能力を改善するために、様々な足首の

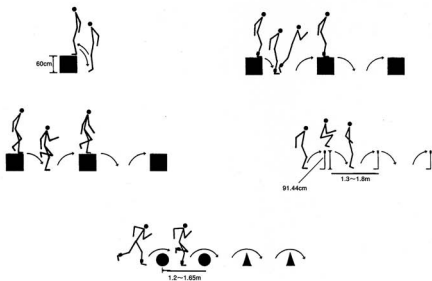


図1. 発火と動員能力を高めるためのプライオメトリック・ジャンプ



図2. 切り返し動作を改善するためのプライオメトリック・エクササイズ



脚の回転  
a) 前方



b) 後方



c) 側方



空中でのサイクリング動作



ラテラル・クイックステップ  
(タッチ・タッチ・ドリル)

図3. 回転運動のスピードを高めるための脚の回転エクササイズ



パートナーが脚を持ち、脚の動きに耐える。そのときパートナーは脚を放し、脚がスイング動作をするときに予備伸長の緊張法を利用するようにさせる。

図4. パートナー相手の運動



バーベルを持っての、あるいは持たないでのバリスティックなトランクツイスト



メディシンボールを持って



足首におもり(2-4ポンド)をつけて、あるいは、つけずに腰をひねる



足首におもり(2-4ポンド)をつけて、あるいは、つけずに骨盤を安定させる



前方と側方の腹筋トレーニング



ツイストサイクル



L字型にぶら下がる

図5. 繰り返し動作を改善するためのプライオメトリック・エクササイズ

1. 大臀筋、中臀筋、小臀筋は股関節の関節をコントロールして、上体と脚（大腿）を伸ばす。
2. ハムストリング（半腱様筋、半膜様筋、大腿二頭筋）は下腿を引き寄せて、膝を屈曲させる。膝窩筋と足底筋も膝の屈筋である。
3. 股関節の屈筋（腸腰筋と大腿直筋）はまた、大腿筋張筋、恥骨筋、および薄筋によって補助される。
4. 大腿四頭筋（大腿直筋、内側広筋、外側広筋）。これらの筋肉は膝関節の伸筋である。
5. 下腿三頭筋（腓腹筋、ヒラメ筋）、後脛骨筋、足底屈筋そして足首を固定する筋群。
6. 足背屈筋は足首と足の位置を引き寄せる（前脛骨筋、伸展母趾長筋）。
7. 足底の表面の筋肉は、ふくらはぎの筋肉と結合して約4層に配列しており、足を大きく可動させる安定した表面をつくっている。強い足底の筋肉は、ランナーが地面に触れたときに足の関節を安定させるのに役立つ。

図6. ストライド活動に関わる脚の筋内の簡単な概要

リバウンドのプライオメトリック・ジャンプを取り入れるべきである（2フィート、あるいは60cmの高い箱から跳び下りる、あるいはハードルジャンプ<sup>2)</sup>。これらの運動は足底前部での速いホップを反復する（図1）。

上り斜面でのバウンディングや走運動（20～30m）、つま先でおもりを上げる運動（つま先は内側に向け、真っ直ぐにする）、そしてコントラスト・トレーニングの要素はトレーニング・サイクルの中に組み込まなければならない。

切り返し運動を改善するために、体重を利用した運動、メディシンボールを使う運動、シャトルドリルといったプライオメトリックな運動を何回も反復して利用すべきである（図2）。

回転運動のスピードを改善するために、足首におもりをつけた状態と、つけない状態の両方で、様々な脚の回転

のエクササイズを行うべきである（図3）。

補助ランニング（ダウンヒル、サージカル・ゴムチューブ引き、およびパートナー相手の運動）も利用すべきである（図4）。

ランニングにおけるパフォーマンス改善の重要な要素は、体幹の筋肉の強化である。

なぜならば、それらは正しい姿勢を与えるからである。強い背中の伸筋（広背筋、腰部筋群、脊柱起立筋、腰方形筋）と腹部の筋肉（腹直筋、腹斜筋）は、よりよいストライドの実現と脚の回転とを容易にする位置に骨盤を安定させる。様々なシットアップ、バックツイスト、およびバックエクステンションは、体幹の筋肉を発達させるのによいだろう（図5）。

またスプリンターは肩と腕の部分の筋肉を改善することは効果的であり、

腕は身体の質量の中心を垂直方向と水平方向に揺さぶらなくなる。上体の筋系は慣性モーメントを増やしたり減らしたりするのに役立ち、正しい身体バランスとよりよい協調を与える。肩、腕の強化に含まれるのは肘関節の屈筋（胸筋、広背筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋）そして肩と背中の後部の筋肉である。これらの部分の筋力の増大は、スプリンターがよりリラックスした状態で、胴体上部を力ませずに走るのを助けるだろう。

#### 参考文献

1. Araklian, E. E., Filin, V.P., Korobov, A.V. and A.V. Levchenko. 1989. Running sprint distances. In: Track and Field Textbook, Moscow: Physical Culture and Sport.
2. Bobbert, M. E., Mulijng, P.A. and G.J. van Ingen Shenua. 1987. Drop jump. Med. Sci. Sports Exerc. 19(3).
3. Korchemny, R. 1985. Training drills for speed related events. NSCA Journal. 7(2): 67-69.
4. Korchemny, R. 1989. Evaluating of sprinters. Materials of testing of the elite junior sprinters. TAC Evaluations.
5. Kostlov, I. M. 1983. Correlation between different levels of performance over 100 meters and strength. Methodical Manual. Sports Committee of U.S.S.R.
6. Mero, A. and P., V. Komi. 1987. Electromyographic activity in sprinting. Med. Sci. Sports Exerc. 19(3).
7. Mann, R. 1982. Evaluation of sprinters. TAC biomechanical evaluation of elite sprinters.
8. Ozolin, E. S. 1986. Sprint. Moscow: Physical Culture and Sport.
9. Scruton, P. 1989. Hamstring injuries in sprint-roles of eccentric exercises. J. of Orthopedic Sports Physical Therapy. March.
10. Tupa, V. 1981. Biomechanics of the takeoff in running. Logka Athletics. 9-11.