©NSCA JAPAN
Volume 19, Number 10, pages 43-50

Key Words【キネティックチェーン：kinetic chain、テニスに特異的なトレーニング：tennis-specific training、技術分析：technique analysis】

テニスのグラウンドストロークのバイオメカニクス：筋力トレーニングへの示唆

Biomechanics of the Tennis Groundstrokes: Implications for Strength Training

E. Paul Roetert, PhD [1]　**Mark Kovacs,** PhD, CSCS [1]　**Duane Knudson,** PhD [2]
Jack L .Groppel, PhD [3]
[1]United States Tennis Association, Boca Raton, Florida
[2]Department of Health and Human Performance, San Marcos, Texas
[3]Human Performance Institute, Lake Nona, Florida

要約

本稿の目的は、テニスのグラウンドストローク技術のバイオメカニクスについて、関連する近年の研究を概説し、その上で、テニスにおけるパフォーマンス向上と傷害予防の効果が期待できる特異的なストレングス＆コンディショニング(S&C)エクササイズを推奨することである。既存研究を検討した結果、適用すべきトレーニングエクササイズの条件として、まずグラウンドストロークを打つ際の連続的な協調動作(コーディネーション)を再現したものであること、加えて、力の発揮に関与している、または負荷の大きな動作から身体各部位を保護することに関与していると思われる筋系を安定化させるものであること、という結論が導き出された。後半では、諸研究の結果に基づいた特異的エクササイズを紹介している。

序論

テニス競技はここ30年の間に劇的な変化を遂げた。なかでも最も顕著に変化したのが、グラウンドストロークの技術と戦略であろう。最近の選手はしばしば攻撃的な高速のグラウンドストロークを放ち、対戦相手を力で圧倒しようとする。この戦略は選手の身体に余計な負荷をかけるため、ストレングス＆コンディショニング(S&C)専門職はトレーニングプログラムの作成にあたって考慮する必要がある。本稿では、テニス技術のバイオメカニクスについて近年の関連研究を概説し、その上で、テニスにおけるパフォーマンス向上と受傷リスク低減に効果が期待できる特異的コンディショニングエクササイズを提案する。

技術の変化

伝統的なテニスのグラウンドストロークは、スクエアスタンスかクローズドスタンスから、身体の各部位を同時に協調させて、長く流れるようなストロークを繰り出すというものであった。しかし現在ではフォアハンド、さらにはバックハンド(特に両手打ちのバックハンド)でさえ、オープンスタンスから身体の各部位を連続的に協調させて打つことが増えている。エリートレベルのテニスでは、これら2つのスタイルのグラウンドストロークを以前から用いてきたが(1)、現在では、グラウンドストローク技術は同時から連続へと主流が入れ替わっている。「キネ

ティックチェーン」の協調におけるこのような変化は、テニスにおいて身体の主要部位にかかる負荷と受傷リスクが変化している可能性を示唆している(11)。

人体の三次元動作において、機械的エネルギーの伝達のみを単独で追跡することは不可能であるが、テニスラケットの加速に用いられるエネルギーや力の大半は、下肢および体幹の大筋群から腕およびラケットに伝達したものであるという説が一般的である(5,15,21)。キネティックチェーンを最大限に活用することは、最高のパフォーマンス発揮と受傷リスクの低減につながると考えられているが(6,11)、一方で力やエネルギーの移動は、上肢の小さな身体部位や組織に大きな負荷をかけることになる。例えば、テニス選手に増えている肘関節内側部痛は、おそらくフォアハンドやサーブで下肢と体幹からエネルギーが伝達することが原因である。これらのストロークで曲げた腕を連続的に協調させると、エネルギーの伝達により肘関節内側部に負荷がかかる。続くセクションでは、コンディショニングプログラムの計画に際して重要な検討事項である各種グラウンドストロークの技術的問題について、それらを取り上げた近年の研究を概説する。テニスのバイオメカニクスに関しては、研究のレビューがいくつか出ているため、関心のある読者はそちらを参照してほしい(5,15,18)。

フォアハンド

伝統的なクローズドスタンスのフォアハンドでは、下肢を力強く伸展させると、骨盤と股関節を回旋させる上で下肢を用いない場合より大きな軸トルクが得られる(9)。このようなエネルギーの伝達はオープンスタンスのフォアハンドではまだ検証されていないが、やはり力強いレッグドライブが体幹の回旋に必要なエネルギーを伝達させると考えるのが妥当である。Knudson & Bahamonde(16)は、テニスの指導職を対象に調査したところ、フォアハンドにおけるラケットの軌道とインパクト時の速度には、オープンスタンスとスクエアスタンスとで有意な差はなかったと報告している。Roetert & Reid(20)によれば、フォアハンドのこれらスタンスに関しては、次の2つのことを覚えておかなければならない。(a)オープンスタンスは多くの場合、状況特異的である。(b)両スタンスとも、線運動量と角運動量をストロークの動力源にしている。状況特異的なフォアハンドとは、選手のコート上での位置、ショットの目的(戦術)、準備に費やせる時間、さらには同じ状況下での対戦相手の位置など、その場の状況に応じて異なる種類のフォアハンドを使い分ける必要があることを意味する。テニス選手は力やスピン、ボールの軌道を様々な位置から様々な量に調節しなければならず、その結果、ストロークに様々なメカニクスやスタンスが用いられるようになった。オープンスタンスのフォアハンドが採用される最も一般的なシチュエーションは、選手がベースラインより後ろにいて角度のついた深いボールを処理する場合、またはストロークを打つのに通常以上の力が必要な場合である。

スクエアスタンスのフォアハンドにおいて、股関節と体幹上部の力強い軸回旋は下肢から上肢へのエネルギー伝達を可能にする。体幹上部はストロークの準備局面でまず逆方向へ回旋するが、その角度は横断面においてベースライン方向から約90～100°となり、股関節よりも約30°大きく回旋する(22)。股関節を前方へ回旋させる軸トルクは、前方へのストローク開始時に最も大きくなる(8)。体幹上部が前方へ回旋する間、上肢の動作は伸張性筋活動と肩関節の水平内転および内旋の大きなピークトルクが抵抗となり、体幹に対して遅れを生じる(3)。キネティックチェーンをうまく協調させて体幹と上肢を連続的に回旋させることで、筋活動の伸張－短縮サイクルを利用することができる。

前腕の屈筋群と握力に関与する筋群も、テニスのフォアハンドでは重要である。これらの筋群が関節を大きく回旋させてラケットを加速させる(4)、あるいは握力がボールの力積を増大させる(13)ことが理由ではなく、下半身および体幹からのエネルギーがラケットに伝わるのはストロークの後半でなければならないためである。実際、選手が好んで用いるグリップの種類とインパクト時のボールの高さは、手と手首の回旋がラケットスピードに寄与する度合いに有意に影響を及ぼす(4)。フォアハンドでラケット速度を生み出す主なキネティックチェーンの動作は、体幹の回旋、肩関節の水平内転、および内旋である(4)。最近のフォアハンド技術(主にセミウェスタングリップを用いる)は、連続的な協調動作(コーディネーション)を行なうことで筋活動の伸張－短縮サイクルを利用する側面を明らかに有している。したがって、エクササイズはこの連続的コーディネーションを再現し、なおかつ筋系を安定化させるものでなければならない。いかなるテニスのストロークでも、インパクト前からの運動エネルギーは大半がインパクト後もラケットと腕に残存する。そのため、フォロースルー期に活動する筋系の伸張性筋力も強化する必要がある。上半身と下半身の伸張性筋

力は、ともにテニスのパフォーマンスを最大限に引き出し、また傷害を予防する上で役立つ(12)。後に示すメディスンボール(MB)トスのキャッチ局面は、特に上半身と下半身両方の伸張性筋力の向上に効果的である。

写真1A～Cは、オープンスタンスのフォアハンドの準備局面である。選手の右脚から左脚への体重移動(選手は左利き)は、ストロークを開始するための筋活動の伸張－短縮サイクルにおいて、まず左脚に負荷をかけるのに用いられる水平方向の線運動量を示している。この脚に蓄えられたエネルギーの一部は、主に上向きの(垂直方向の線)運動量に転換されるが、前向きの(水平方向の線)運動量にも転換される。このレッグドライブは床反力を利用しており、線運動量から角運動量への移行と高いラケット速度の生成において非常に重要である。**写真1D～F**はフォワードスウィング局面である。**写真1C～F**にみられる股関節と肩関節の顕著な回旋は、角運動量を用いていることを証明している。左脚からのエネルギー伝達に伴い、まず股関節が開き、次に肩関節が開く。スウィングの終了局面をみると、インパクト後もかなりの間フォロースルーは狙った方向を向いているが、スウィングで力強い回旋を行なっているため、ラケットはその後頭上まで振りぬかれる。この頭上まで振りぬくフォロースルーは多くの選手が採用しているスタイルであり、フォロースルーは初めのうちはまだ狙った方向を向いているが(**写真1E**)、ストローク全体の軌道(**写真1F**)として最終的に肩の上まで達するスタイルは、ボールにさらなるスピンをかけることを可能にする。このようなスタイルが取られるようになったのは、ひとつにはテニスのラケットやストリングスの技術が変化したことが理由であり、それによってさらなるパワーやスピンの生成が可能となった結果、ストロークのエラー率も上昇した。

片手打ちと両手打ちのバックハンド

手関節伸筋群の強化は、片手打ちのバックハンドを使用する選手には特に

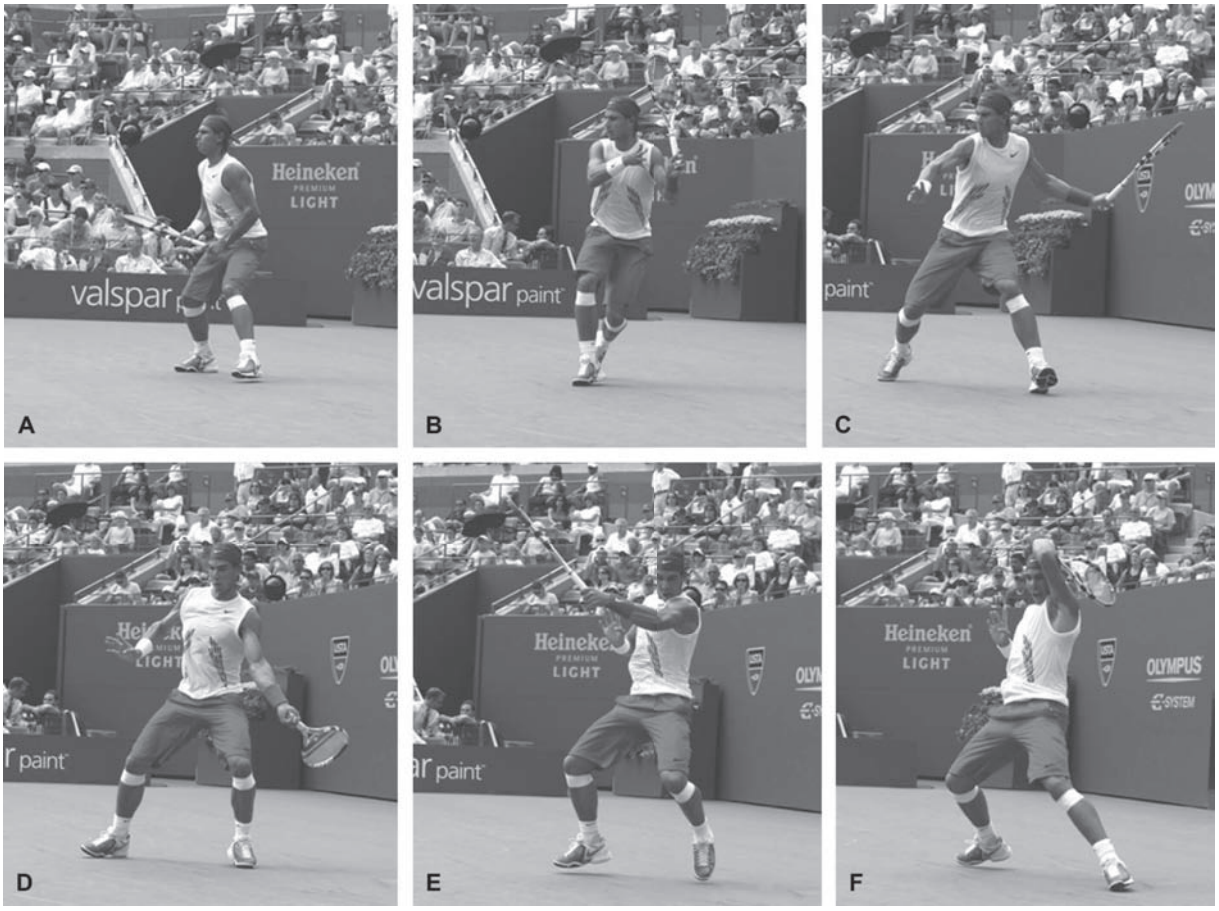

写真1　フォアハンドグラウンドストローク
A～C:オープンスタンスによるフォアハンドの準備局面、D～F:フォワードスウィング局面

重要である。片手打ちのバックハンドでは、手関節周囲のトルクが直接力を加えるよりも大きくなり(14)、手関節伸筋群の素早い伸張を引き起こす可能性があるが、この傾向はテニス肘の経験を有する選手においてより顕著である(17)。これは、手関節伸筋群と握力の強化が外側上顆に多発するオーバーユース障害のリスク低減に有益である可能性を示す、後ろ向き研究の有力なエビデンスである。

片手打ちと両手打ちのバックハンドでは、下肢、体幹、および上肢の使い方に違いがみられる。片手打ちのバックハンドでは打つ側の肩を身体の前に出し、体幹の回旋よりも肩関節と前腕を協調させた回旋に頼ってストロークを打つ(**写真2A～F**)。前脚の伸展トルクは、両手打ちよりも片手打ちのバックハンドのほうが大きい(19)。一方、後ろ脚の伸展トルクは両手打ちのほうが大きく、そのため股関節と体幹を回旋させる軸トルクが片手打ちに比べて大きくなる(2,10,19)。また、体幹上部の回旋は、両手打ちのほうが片手打ちよりも大きいことが観察されている(19)。両手打ちバックハンドにおける股関節と体幹の回旋の様子は、**写真3A～F**でみられる。

このような違いがあるにもかかわらず、技術の高い選手は片手打ちでも両手打ちでもインパクト時に同等のラケット速度を発揮できる(19)。両手打ちのバックハンドでは、コーディネーションのスタイルが主に2種類ある。1つは両腕を真っ直ぐ伸ばし、キネティックチェーンの4つの主要セグメント(股関節、体幹、肩、および手首)を用いるもの、もう1つはそれに前腕の回旋を加えたものである(7,19)。どちらの技術が採用されるにしても、S&C専門職はテニスコーチと協力し、その選手が用いる技術に合わせてトレーニングプログラムを調整しなければならない。

エクササイズ

以下に紹介するエクササイズは、フォアハンド(右利きの選手)向けに記述してあるが、バックハンドのストロークに必要な動作を強化するため、

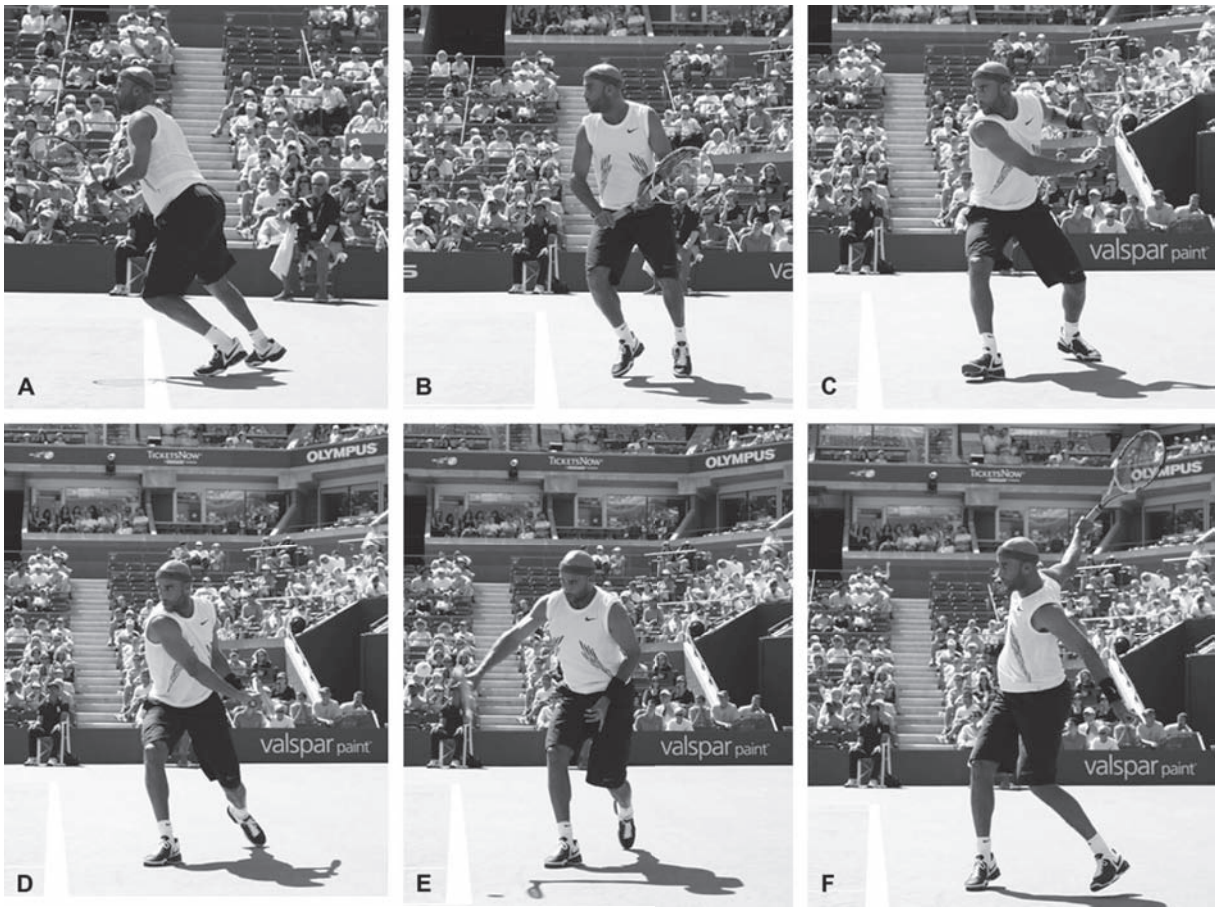

写真2　片手打ちのバックハンドグラウンドストローク
A～C:クローズドスタンスによる片手打ちバックハンドの準備局面、D～F:フォワードスウィング局面

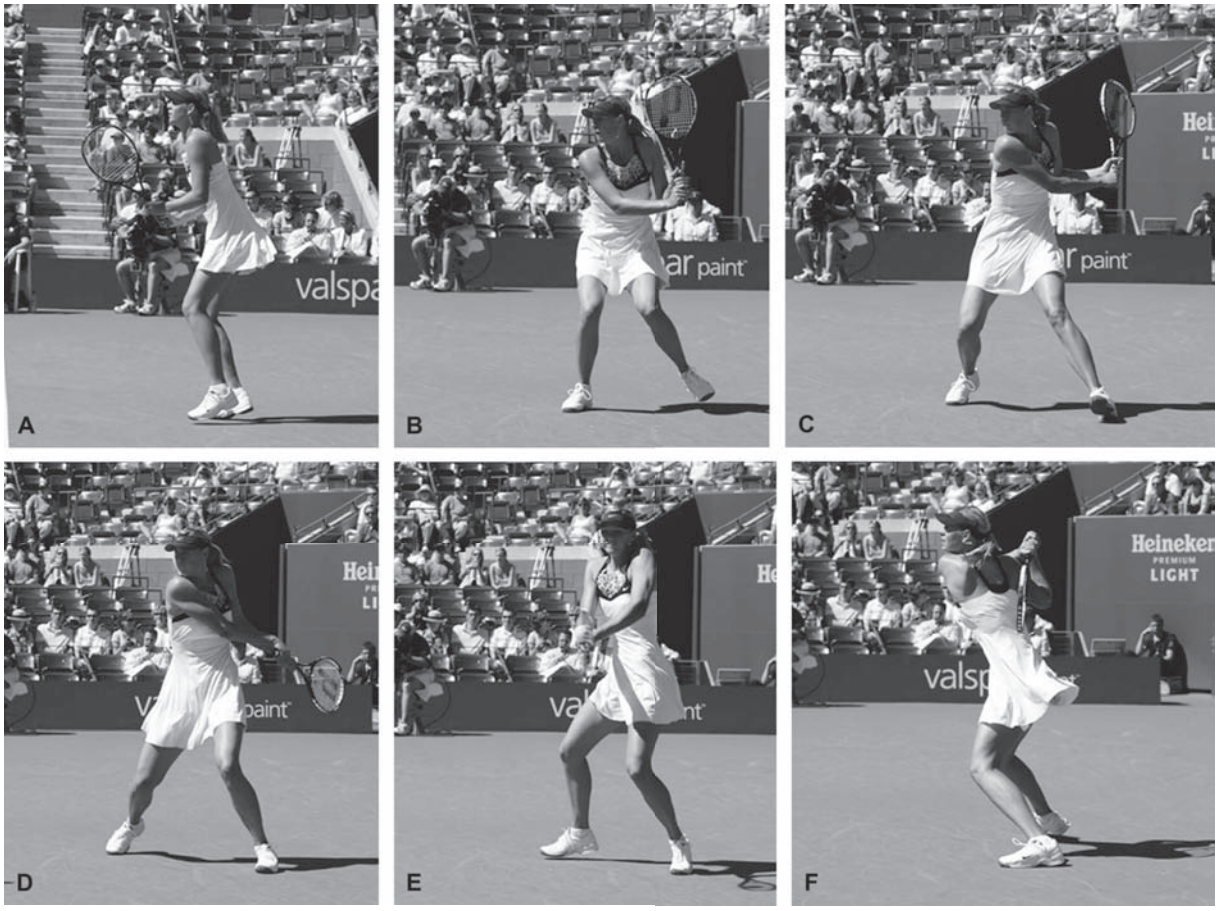

写真3　両手打ちのバックハンドグラウンドストローク
A～C：オープンスタンスによる両手打ちバックハンドの準備局面、D～F：フォワードスウィング局面

反対の体側でもこれらのエクササイズを行なうとよい。

MBディープグラウンドストローク

このエクササイズの目的は、ベースラインより後ろに飛んでくる深いボールに向かって効率よく移動するトレーニングを行なうことである。また、オープンスタンス姿勢からより大きなエネルギーを伝達させる能力の獲得にも効果がある。それによって、より大きな体重移動、体幹の回旋、およびより効率的なストローク動作を、コートの深い位置から実行できるようになる（**写真4**）。

アスリートはまずセンターマークの上に立ち、コーチ／トレーナーはその右後方約3～5フィート（約0.9～1.5m）のところへMBを投げる。アスリートは素早く斜め後ろに移動し、MBをキャッチする（負荷局面）。キャッチしたら、動的バランスを保持しながら股関節を力強く回旋させてMBを投げる。これは、攻撃的な深いフォアハンドストロークを打つために必要な筋活動と動作を再現した動きである（右利きの場合）。

MBショートグラウンドストローク

このエクササイズの目的は、前方移動して、そのままバランスを崩さずに（オープンまたはスクエアスタンスの）下肢のエネルギーを体重移動と股関節／体幹の回旋に伝達することで、より効率的なストローク動作を発揮できるようにすることである。**写真5**は、クローズドスタンスでのキャッチ姿勢を示したものであるが、このエクササイズではオープンスタンスのキャッチ姿勢を用いることもできる。

アスリートはまずセンターラインの上に立ち、コーチ／トレーナーはその右前方約3～5フィート（約0.9～1.5m）のところへMBを投げる。アスリートは素早く斜め前に移動し、MBをキャッチする（負荷局面）。キャッチしたら、動的バランスを保持しながら股関節と体幹を力強く回旋させてMBを投げる。これは、攻撃的な短いフォアハンドに用いられる動作と筋群を再現した動きである。

©National Strength and Conditioning Association Japan

写真４　MBディープグラウンドストローク

写真５　MBショートグラウンドストローク

写真６　MBワイドグラウンドストローク

MBワイドブラウンドストローク

このエクササイズの目的は、側方移動の強化と、オープンスタンス姿勢からより大きなエネルギーを伝達させる能力の獲得である（**写真６**）。この姿勢は、角度のついたボールに対して、より大きな体重移動、体幹の回旋、およびより効率的なストローク動作を実行することを可能にする。

アスリートはまずセンターラインの上に立ち、コーチ／トレーナーはその右側方約５フィート（約1.5ｍ）のところへMBを投げる。アスリートは（シャッフルまたはクロスオーバーステップを用いて）側方移動し、MBをキャッチする（負荷局面）。キャッチしたら、動的バランスを保持しながら股関節と体幹を力強く回旋させてMBを投げる。この一連の動作は、角度をつけたフォアハンドに用いられる動作および筋群を再現したものである。

MBウォール・オープンスタンス

このエクササイズの目的は、テニスの各種ストロークに最も多用される動作パターンと動作平面において、股関節とコアの回旋筋力を強化することである（**写真７**）。

アスリートはまず硬い壁から約５～８フィート（約1.5～2.4ｍ）離れたところに立ち、股関節とコアに負荷をかけながら、同時に腹斜筋群を伸張させる。この負荷姿勢（**写真７**はオープンスタンスでの負荷姿勢）から股関節と上半身を力強く回旋させ、MBを壁に向かって力いっぱい投げる。

水平面でのケーブルローテーション

このエクササイズの目的は、横断面におけるコアの回旋筋力を強化することである（**写真８**）。

アスリートはマシンのケーブルプーリーのハンドルを腰の高さで握る。そしてマシンから３～５歩離れてケーブルの引っ張る力を高め、身体を低くしてクォータースクワットの姿勢をとる。この姿勢からゆっくりと身体を横断面で回旋させていく。可動域の限界まで回旋させたら、今度は同じ動作を逆に繰り返して開始姿勢に戻り、同じ動作平面における減速力を強化する。

リストローラー

このエクササイズの目的は、前腕の屈曲と伸展によって握力とその持久力を強化することである(**写真9**)。

アスリートはリストローラー用の器具を両手で肩の高さで握り、手関節を屈曲、伸展させてウェイトを下ろしていく。ウェイトが限界まで下がったら、今度は手関節を屈曲、伸展させてウェイトを上げ、最初の位置まで戻す。

ウェイティッド・フォアアームプロネーション&スピネーション

このエクササイズの目的は、回内と回外動作によって前腕の筋力と持久力を強化することである(**写真10**)。

アスリートは前腕をテーブルかベンチに乗せ、先端部を重くした用具(おもりをつけたバーやハンマーがよい)を握る。**写真10A**は前腕の回内動作、**写真10B**は前腕の回外動作を行なっている様子である。2つの動作はいずれもテニスのグラウンドストロークで用いられる。

まとめ、および実践へ向けたコーチへの提言

本稿の目的は、テニスのグラウンドストロークに特異的な諸側面についてコーチの理解を助け、選手のトレーニング方法について彼らに具体的な示唆を提供することである。また、本稿を2部構成としたのは、(a)各筋群内での力発揮を増大させることでパフォーマンスを向上させ、各種ストロークに関与する様々な身体部位間でのコーディネーションを高め、さらにストローク動作で生成される総合的パワーを高めるトレーニング、および(b)様々な身体部位や関節における筋力を強化し、傷害を予防するトレーニングについて、専門職の認識を支援したいとの

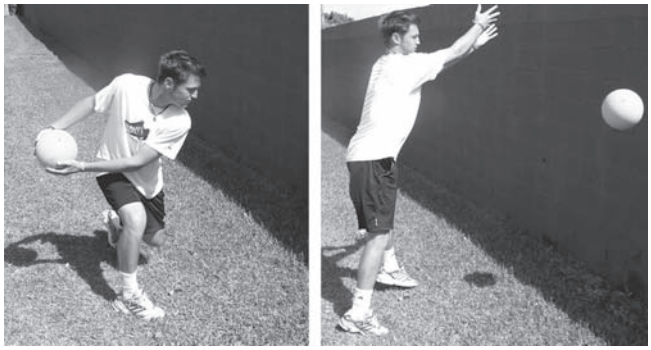

写真7　MBウォール・オープンスタンス・グラウンドストローク

写真8　(横断面での)ケーブルローテーション

写真9　リストローラー

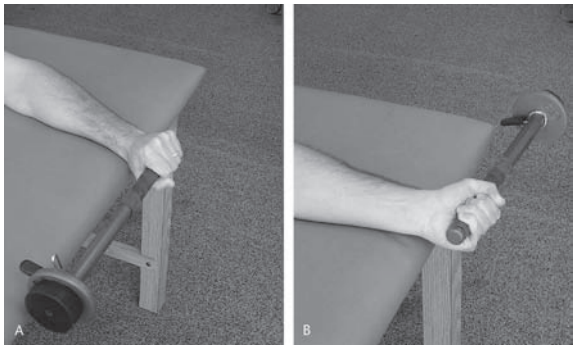

写真10　前腕のドリル
(A)回内(手のひらを下に)
(B)回外(手のひらを上に)

目的からである。

本稿では、ストロークのコーディネーションを再現することでストローク動作の効率を高める実践的なエクササイズのほか、特定の身体部位の減速力を強化することで特定ストロークを行なった後の回復を助けるエクササイズを提案した。ここで紹介したエクササイズは、オンコートおよびオフコートのトレーニングで活用できるため、様々な場所をトレーニングに使えるという点でトレーニングの効率化に役立つ。本稿で紹介した各種のMBドリルなどは、適切に移動してストロークを行なう位置につく練習に役立つだけでなく、ストロークのフォームを適切な手順で実行する練習にもなる。本稿ではそのほか、体重移動のコーディネーションにも触れた。

さらに、下肢、股関節、および体幹をどのように同調させればよいか、また、コーディネーションを向上させてキネティックチェーンをより効率的に活用するにはどのようにすればよいか、具体例と説明によって示した。これによって、コーチはより安全でありながら、生産性と効率の高い筋力トレーニングプログラムを選手に提供できるようになるであろう。◆

References

1. Ariel GB and Braden V. *Biomechanical analysis of ballistic vs. tracking movements in tennis skills*. In: Proceedings of a National Symposium on the Racquet Sports. Groppel J, ed. Champaign, IL: University of Illinois, 1979. pp. 105-124.
2. Akutagawa S and Kojima T. Trunk rotation torques through the hip joints during the one-and two-handed backhand tennis strokes. *J Sport Sci* 23: 781-793, 2005.
3. Bahamonde R and Knudson D. Kinetics of the upper extremity in the open and square stance tennis forehand. *J Sci Med Sport* 6: 88-101, 2003.
4. Elliott B, Takahashi K, and Noffal G. The influence of grip position on the upper limb contributions to racket-head speed in the tennis forehand. *J Appl Biomech* 13: 182-196, 1997.
5. Elliott B. Biomechanics of tennis. In: *Tennis*. Renstrom AFH, ed. Osney Mead, Oxford: Blackwell Science, 2002. pp. 1-28.
6. Elliott B. Biomechanics and tennis. *Br J Sports Med* 40: 392-396, 2006.
7. Groppel J. *High Tech Tennis*（2nd ed.）. Champaign, IL: Human Kinetics, 1992, 107.
8. Iino Y and Kojima T. Torque acting on the pelvis about its superior-inferior axis through the hip joints during a tennis forehand stroke. *J Hum Mov Stud* 40: 269-290, 2001.
9. Iino Y and Kojima T. Role of knee flexion and extension for rotating the trunk in a tennis forehand stroke. *J Hum Mov Stud* 45: 133-152, 2003.
10. Kawasaki S, Imai S, Inaoka H, Masuda T, Ishida A, Okawa A, and Shinomiya K. The lower lumbar spine moment and the axial rotation motion of a body during one-handed and double-handed backhand stroke in tennis. *Int J Sports Med* 26: 617-621, 2005.
11. Kibler WB. Kinetic chain contributions to elbow function and dysfunction in sports. *Clin Sports Med* 23: 545-552, 2004.
12. Kovacs MS, Roetert EP, and Ellenbecker TS. Efficient deceleration: The forgotten factor in tennis-specific training. *J Strength Cond Res* 30: 58-69, 2008.
13. Knudson D. Hand forces and impact effectiveness in the tennis forehand. *J Hum Mov Stud* 17: 1-7, 1989.
14. Knudson D. Forces on the hand in the one-handed backhand. *Int J Sports Biomech* 7: 282-292, 1991.
15. Knudson D. *Biomechanical Principles of Tennis Technique*. Vista, CA: Racquet Tech Publishing, 2006. pp. 10.
16. Knudson D and Bahamonde R. Trunk and racket kinematics at impact in the open and square stance tennis forehand. *Biol Sport* 16: 3-10, 1999.
17. Knudson D and Blackwell J. Upper extremity angular kinematics of the one-handed backhand drive in tennis players with and without tennis elbow. *Int J Sports Med* 18: 79-81, 1997.
18. Knudson D and Elliott BC. Biomechanics of tennis strokes. In: *Biomedical Engineering Principles in Sports*. Hung GK and Pallis JM, eds. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2004. pp. 153-181.
19. Reid M and Elliott B. The one- and two-handed backhand in tennis. *Sport Biomech* 1: 47-68, 2002.
20. Roetert EP and Reid M. Linear and angular momentum. United States Tennis Association: *High Performance Coaching Newsletter*. 9(3) : 5-8, 2008.
21. Schönborn R. *Advanced Techniques for Competitive Tennis*. Achen, Germany: Meyer and Meyer, 1999. pp. 26.
22. Takahashi K, Elliott B, and Noffal G. The role of upper limb segment rotations in the development of spin in the tennis forehand. *J Sci Med Sport* 28: 106-113, 1996.

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 31, Number 4, pages 41-49.

著者紹介

E. Paul Roetert：全米テニス協会（USTA）の指導者養成およびスポーツ科学部門担当責任者。

Mark Kovacs：USTAのストレングス＆コンディショニング／スポーツ科学担当上級マネージャー。

Duane Knudson：Texas State Universityの健康および身体パフォーマンス学科長。

Jack Groppelis：Human Performance Instituteの共同創設者。