

下腿回旋位別の等速性膝関節伸展筋力とカッティング動作能力との関連

佐々木 誠* 笠原 秀則** 上 せつ子**
宮崎 純弥*** 古山 智子** 山上 弘義**

要 旨

本研究の目的は、下腿回旋位を変化させた場合の等速性膝関節伸展筋力を比較するとともに、カッティング動作能力との関連について検討することである。若年健常女性23名を対象に、等速性膝関節伸展筋力とカッティング動作課題遂行能力を測定した。等速性膝関節伸展筋力の測定は、下腿内旋位、中間位、外旋位の3条件で、60, 180, 300 deg/secの角速度にて行った。カッティング動作課題遂行能力は、サイドステップカッティングとクロスオーバーカッティングの2条件で測定し、遂行時間を指標とした。膝関節伸展筋力は下腿回旋3条件間で、Peak Torque, Peak Torque/Body Weightに有意差はなく、max Repetition Workも60deg/secで下腿回旋位よりも中間位で有意な高値が示されたのみであった。サイドステップカッティング動作とクロスオーバーカッティング動作との課題遂行時間間には、 $r=0.886$ の相関関係が示された。筋力と動作との関係は、全測定条件・採用した3つのパラメータ全てで相関を認めなかった。結果より、2種のカッティング動作課題は、独立した別個の能力を表現するのではなく、下腿回旋位別筋力単変量のみでは説明できないことが示唆された。

はじめに

カッティング動作は、特に球技スポーツにおいて頻繁に行なわれる¹⁾動作の一つである。方向変換させるカッティング動作には、方向変換後に進む方向と反対の足をつくサイドステップカッティングと同じ側の足をつくクロスオーバーカッティングの2種類がある(図1)。Andrews²⁾は、カッティング動作を preliminary deceleration phase (以下、減速予備期)、plant and cut phase (以下、方向変換期)、takeoff phase (以下、蹴り出し期)の3相に分類している。主に方向変換期には、サイドステップカッティングでは相対的な大腿に対する下腿の外旋力が作用し、クロスオーバーカッティングでは逆に内旋力が作用する(図1)。一方、膝関節伸展筋はスポーツ活動時の荷重支持ならびに衝撃緩衝、跳躍動作、荷重下での動作スイッチなどにとって重要な役割を担っている。大腿四頭筋各

筋の筋電活動が下腿回旋位によって異なることが報告されており^{3,5)}、大腿四頭筋各筋の筋活動の相違は、大腿に対する下腿の回旋を伴うカッティング動作においても遂行能力を規定する要素と考えられる。また、カッティング動作は動的要素が主体であるため、膝関節伸展の運動速度がこの動作に影響する可能性がある。カッティング動作遂行能力の向上を図るためには、膝関節伸展筋力の増強トレーニングの際に、4筋から成る大腿四頭筋のうちのいずれの筋を特異的に強化する必要があるのか、また、強化の際により効果的な等速性運動の各速度があるのかについて、十分に検討することが大切と考える。

そこで今回我々は、下腿回旋位を変化させた場合の等速性膝関節伸展筋力を比較し、この相違が、大腿に対する下腿の回旋力を強要するカッティング動作能力を説明し得るかについて検討した。

* 秋田大学医学部保健学科 理学療法学専攻

** 仙台医療技術専門学校 理学療学科

*** 国家公務員共済組合連合会立川病院 リハビリテーション科

Key Words: カッティング

下腿回旋

等速性膝関節伸展筋力

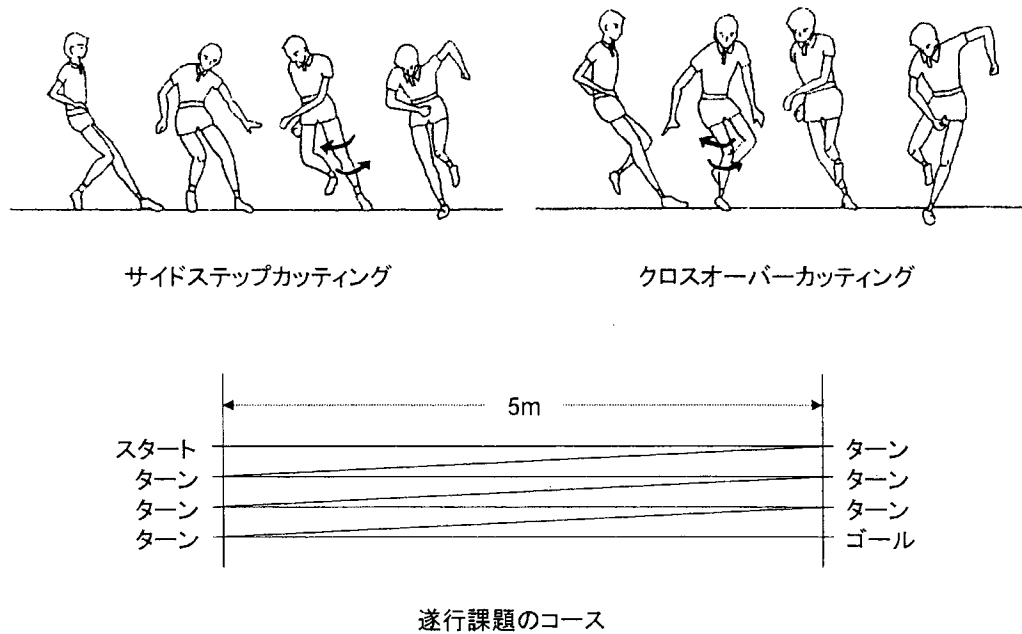


図1 カッティング動作の遂行課題

対象と方法

対象は、本研究に関する説明を口頭ならびに文書で受け、被験者としての参加に同意した上で同意書に署名した健常女性23名である。その年齢、身長、体重およびBMIの平均はそれぞれ、 18.8 ± 1.4 歳、 159.3 ± 4.1 cm、 54.2 ± 6.7 kgおよび 21.4 ± 2.7 kg/m²であった。

等速性膝関節伸展筋力の測定は、等速性筋力測定器BIODEX SYSTEM 2APを用いて行なった。測定肢位としてまず、背もたれの角度を80°に設定したシート上で坐位を取らせ、体幹ならびに測定側大腿部を備え付けのベルトで固定した。パワーヘッド軸を対象者の膝関節に合わせ、レバーアームの長さを調整し、足関節背屈を阻害しない範囲で下腿遠位端に位置するように固定パッドを取りつけた。測定可動範囲は膝関節90°屈曲位から最大伸展位とした。下腿肢位は内旋位、中間位および外旋位の3条件とし、内旋位と外旋位での測定では、膝関節90°屈曲位において自動運動で最大限に回旋し得る肢位から、最大に回旋位を維持しながら膝関節伸展屈曲の求心性運動を行うよう対象者に求めた。これら3条件での測定は、60、180、300deg/secの角速度にて行なった。下腿肢位、角速度および左右脚の測定順序はランダム化し、最大努力で各5回反復させた。筋疲労の影響を配慮し、各測定間には60秒程度の休憩を入れた。

左右脚それぞれの最大値を平均した値を筋力の代表値とし、測定パラメータには、トルクカーブの最頂点

を示すPeak Torque (Nm)、これを体重比で示すPeak Torque/Body Weight (%), トルクカーブと基線で囲まれた面積を意味するmax Repetition Work (Nm)を採択した。

カッティング動作課題(図1)は、サイドステップカッティングとクロスオーバーカッティングの2条件とした。サイドステップカッティングは、走行スピードを制御した側の脚とは反対脚へ身体を回転して方向転換を行う動作であり、一方クロスオーバーカッティングは、同側の脚側へ身体を回転して方向転換を行う動作である。5mの距離間をダッシュしてカッティング動作で方向転換し3往復半反復する(左右脚それぞれのカッティング動作は各3回)のに要する時間をもって遂行能力の指標とした。対象者には両条件のカッティング動作を熟知してもらうために脚の運びを数回練習させた後、最短時間で課題遂行させた。1週間後に同様の練習の後に課題遂行させ、その遂行時の計測時間を測定値として採用した。

統計手法として、等速性膝関節伸展筋力の下腿回旋位別での比較には分散分析(ANOVA)、2条件のカッティング動作課題遂行時間の比較にはpaired t-検定を用いた。サイドステップカッティングとクロスオーバーカッティングとの関連、ならびに下腿回旋位別の等速性膝関節伸展筋力と各条件のカッティング動作、2条件のカッティング動作課題遂行時間の差との関連はPearsonの相関関係の検定で検討した。全ての統計解析において有意確率を5%未満とした。

表 1 下腿回旋位別の等速性膝関節伸展筋力の比較

	内旋位	下腿回旋位 中間位	外旋位	ANOVA
Peak Torque (Nm)				
60 deg/sec	121.3 ± 28.5	125.9 ± 25.0	123.5 ± 26.0	N.S.
180 deg/sec	85.6 ± 17.3	87.2 ± 16.8	84.7 ± 18.8	N.S.
300 deg/sec	63.5 ± 14.7	65.4 ± 13.7	61.1 ± 12.9	N.S.
Peak Torque/Body Weight (%)				
60 deg/sec	224.1 ± 45.6	233.0 ± 39.0	228.8 ± 41.9	N.S.
180 deg/sec	158.3 ± 27.7	159.0 ± 25.8	151.1 ± 27.8	N.S.
300 deg/sec	118.1 ± 27.0	121.1 ± 22.3	113.4 ± 21.8	N.S.
max Repetition Work (Nm)				
60 deg/sec	105.0 ± 22.1	109.1 ± 18.7	104.7 ± 21.7	p<0.05
180 deg/sec	58.3 ± 12.1	60.3 ± 11.2	59.2 ± 16.6	N.S.
300 deg/sec	24.0 ± 7.8	25.1 ± 6.3	23.5 ± 6.6	N.S.

平均値±標準偏差
N.S. : not significant

結 果

等速性膝関節伸展筋力の各下腿回旋位間の比較を表 1 に示した。膝関節伸展筋力は下腿回旋 3 条件間で、Peak Torque, Peak Torque/Body Weight に有意差は認められず、max Repetition Work も 60deg/sec の下腿内旋位 105.0±22.1Nm, 中間位109.1±18.7 Nm, 外旋位 104.7±21.7Nm で差を認める (p<0.05) のみであった。

サイドステップカッピングとクロスオーバーカッピングとの関連について図 2 に示した。サイドステップカッピング動作の課題遂行時間 (14.3±1.1sec)

はクロスオーバーカッピング動作のそれ (16.1±1.2sec) より有意に短く (p<0.0001), 両動作時間は r=0.886 の相関関係が示された (p<0.0001)。

下腿回旋位別等速性膝関節伸展筋力とカッピング動作課題遂行能力との関連について、全筋力測定条件・採用した 3 つのパラメータ全てで、いずれのカッピング動作課題遂行時間との間にも相関を認めなかった (r=-0.408~0.154, p>0.05) (表 2-4)。また、2 条件のカッピング動作課題遂行時間の差を筋力との関連で検討した場合にも、全筋力測定条件・全パラメータで、相関が示されなかった (r=-0.314~0.325, p>0.1)。

考 察

まず、膝関節伸展筋力測定では、低速における筋仕事量 (max Repetition Work) で下腿回旋位別の差異が認められたが、下腿回旋位の相違による筋瞬発力 (Peak Torque, Peak Torque/Body Weight) の相違は明確にされなかった。下腿を回旋した場合の大腿四頭筋の筋活動に関して、Wheatley ら³⁾ は膝関節を伸展する際、下腿を外旋したとき内側広筋の、下腿を内旋したとき外側広筋の、より大きな筋電活動が得られると報告している。これに対して Signorile ら⁴⁾ は、膝関節角度を変化させたときの下腿回旋位別の大腿四頭筋等尺性収縮時の筋電活動について検討し、Wheatley ら³⁾ と異なる結果を得ている。この報告では、内側広筋は 90° 屈曲位で内旋位よりも中間位、30° 屈曲位で外旋位よりも中間位、外側広筋は 90° 屈曲位で内旋位よりも中間位、30° ならびに 5° 屈曲位

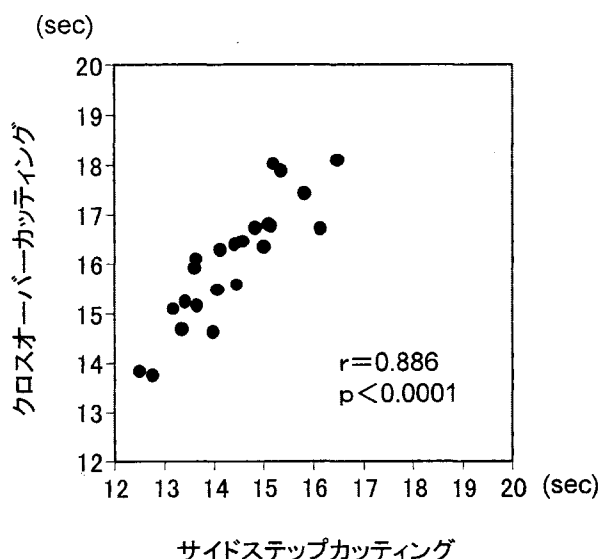


図 2 2 条件のカッピング動作課題遂行時間の相関関係

表 2 下腿回旋位別の等速性膝関節伸展 Peak Torque とカッティング動作課題遂行時間との相関関係(r)

	サイドステップカッティング	クロスオーバーカッティング
下腿内旋位		
60 deg/sec	-0.242	-0.058
180 deg/sec	-0.240	-0.103
300 deg/sec	-0.206	-0.099
下腿中間位		
60 deg/sec	-0.346	-0.147
180 deg/sec	-0.272	-0.145
300 deg/sec	-0.210	-0.127
下腿外旋位		
60 deg/sec	-0.288	-0.124
180 deg/sec	-0.012	0.018
300 deg/sec	-0.079	0.029

表 3 下腿回旋位別の等速性膝関節伸展 Peak Torque/Body Weight とカッティング動作課題遂行時間との相関関係(r)

	サイドステップカッティング	クロスオーバーカッティング
下腿内旋位		
60 deg/sec	-0.261	-0.174
180 deg/sec	-0.252	-0.238
300 deg/sec	-0.172	-0.179
下腿中間位		
60 deg/sec	-0.408	-0.322
180 deg/sec	-0.319	-0.277
300 deg/sec	-0.207	-0.249
下腿外旋位		
60 deg/sec	-0.303	-0.245
180 deg/sec	-0.239	-0.181
300 deg/sec	-0.042	-0.052

表 4 下腿回旋位別の等速性膝関節伸展 max Repetition Work とカッティング動作課題遂行時間との相関関係(r)

	サイドステップカッティング	クロスオーバーカッティング
下腿内旋位		
60 deg/sec	-0.186	-0.057
180 deg/sec	-0.260	-0.202
300 deg/sec	-0.208	-0.186
下腿中間位		
60 deg/sec	-0.291	-0.158
180 deg/sec	-0.294	-0.240
300 deg/sec	-0.124	-0.159
下腿外旋位		
60 deg/sec	-0.253	-0.116
180 deg/sec	0.154	-0.012
300 deg/sec	-0.124	-0.103

で外旋位よりも中間位、大腿直筋は30°屈曲位で内旋位よりも中間位で、それぞれ有意に筋電活動が高いことが示されている。つまり、全般的な膝関節屈曲角度において全筋の筋電活動が下腿中間位で大きいことを意味し、本研究で筋仕事量を示す max Repetition Work が低速において、下腿回旋位よりも中間位で高値であったことを説明するものとする。しかし、彼ら⁹⁾は別の研究で、膝関節75°から180°までの等張性運動で、内側広筋、外側広筋、大腿直筋内側、大腿直筋外側を全体で検討した場合に、下腿外旋位で最も筋電活動が高いことを報告している。これまでの報告との不一致を等張性という運動様式の相違で説明しているが、この実験結果は、動的な運動様式を用いた点で共通する我々の結果とは一致しない。

本研究において max Repetition Work が中・高速では下腿回旋位間で差異を認めなかったことに関して、このパラメータについての我々の検討⁶⁾で中・高速では測定再現性を証明できなかったことと関連し、高速になるほど運動タイミングや安定した筋出力の持続性が損なわれやすい可能性がある。

また、Signorile ら⁴⁾の結果では、下腿中間位と外旋位では内側広筋、外側広筋、大腿直筋のいずれも膝関節90°屈曲位で筋電活動が最も大きく、下腿内旋位では内側広筋と外側広筋は膝関節5°屈曲位で、大腿直筋は膝関節90°屈曲位で筋電活動が最も大きいことが示されている。すなわち、下腿回旋位を変化させた場合の筋電活動は膝関節角度によって影響されており、測定可動範囲を膝関節90°屈曲位から最大伸展位とした本研究では、可動範囲中の一時点で示される Peak Torque ならびに Peak Torque/Body Weight の下腿回旋位による差異を示し得なかったと推察される。

更に Hanten ら⁷⁾は、膝関節が若干の伸展位にあれば斜内側広筋が下腿内旋に作用するとの Engle らの言及⁸⁾に基づいて、膝関節30°屈曲位で下腿内旋運動をさせ、斜内側広筋(最大随意収縮の47%)が外側広筋(最大随意収縮の45%)に比して、明らかに高い筋電活動が生じないことを示している。Hanten らの報告の通り、下腿回旋が回旋側付着筋のみならず反対側付着筋の筋活動をも生じさせるとすると、このような筋活動は、下腿回旋位保持のための力源に利用され、本研究で検討した膝関節伸展筋力の発揮に部分的にしか利用されていないことになる。このことは、統計学的に有意ではないにしても、筋力測定のパラメータ・全角速度で、下腿中間位において最大の平均値が示されたことを説明する要因の一つであると考えられる。

加えて、内側および外側ハムストリングスは下腿回旋の主動筋の一つである⁹⁾。開放運動連鎖での膝関

節運動に拮抗筋の収縮が伴うことが示されており¹⁰⁾、また、電気刺激によってハムストリングスの収縮を増大させると、下腿回旋運動に影響することが報告されている^{11, 12)}。今回は大腿四頭筋の筋力のみを検討を行ったが、下腿回旋にかかわる他筋の影響を考慮する必要性もあると考えられた。

次に、カッピング動作遂行時間に関して、クロスオーバーカッピング動作はサイドステップカッピング動作よりも有意に時間を要した。両カッピングとも減速予備期には重心を後方に残したまま、足関節底屈位から膝関節屈曲、足関節背屈が起こる。その後の方向変換期においては、身体を方向変換後の進行方向に回旋させるために、サイドステップカッピングでは重心を後方に残したままで5 m コース内方向側の大きな身体回旋が要求される。対して、クロスオーバーカッピングでは重心を一旦前方に移して5 m コース外方向側の大きな身体回旋が要求される。また、方向転換後の蹴り出し期においては、サイドステップカッピングでは足関節内反位で蹴り出すのに対して、クロスオーバーカッピングでは外反位で蹴り出すことになる。このような動作特性の差異によって、クロスオーバーカッピングの方が難易度の高い課題であるものと考えられる。しかし、難易度の差はあるものの両動作の遂行時間には正の相関があり、また、筋力とカッピング動作課題遂行時間との間に相関を認めなかった。このことから、今回測定した2種のカッピング動作課題は、独立した別個の能力を表現するのではなく、下腿回旋位別筋力単変量では説明できないものと思われた。それは、一つには本遂行課題には両課題に共通する3往復半の5 m ダッシュが含まれていること、一つにはカッピング動作自体の、大腿四頭筋収縮の質的要因に加えて、膝関節関与筋以外の協調的動員を含む全身での組織化された遂行能力を要することが原因であると考えられる。前者のダッシュの要素の影響を排除するために、更に、2条件のカッピング動作課題遂行時間の差を筋力との関連で検討した。しかし、ここでも有意な相関関係を見出すことができず、後者の解釈が有力であると考えられた。これに関連して、Ninos ら¹³⁾は下肢を安楽な回旋位にしたスクワット運動とそれより30°外旋させた肢位でのスクワット運動とを比較し、内側広筋や外側広筋の筋電活動に有意差を認めないことを示している。更に、開放運動連鎖での等張性膝関節伸展運動では、大腿四頭筋各筋の筋電活動が下腿回旋によって影響されるのに対して、スクワット動作では影響を受けないことが報告されている⁹⁾。すなわち、閉鎖運動連鎖では下腿回旋位の相違にかかわらず各大腿四頭筋の特異的活動が示されず、

開放運動連鎖とは様相が異なるものと考えられる。これに関連する一つの要因として、閉鎖運動連鎖では荷重支持のためにハムストリングスの同時収縮が得られやすい¹⁴⁾とされており、大腿四頭筋以外の筋の関与も加味する必要があると考えられた。

以上より、大腿に対する下腿の回旋方向が異なる2種のカッティング動作は、求心性運動における大腿四頭筋4筋の発揮筋力比率単一の要因では説明し得ず、カッティング減速予備期での遠心性収縮力や方向変換期の発揮筋力比率の連続的変化、蹴り出し期に移行する時の筋収縮様式の素早い転換などに加えて、他の筋作用の関与、連動する多関節への関与筋の協調的寄与、全身のバランス能力などの多要因の複合的相互関係を反映した能力であると考えられた。

文 献

- 1) Stacoff A, Steger J, et al.: Die Kontrolle des Rückfußes bei Seitwärtsbewegungen im Sport. Sportverl Sportschad 7: 22-29, 1993
- 2) Andrews JR, McLeod WD, et al.: The cutting mechanism. Am J Sports Med 5: 111-121, 1977
- 3) Wheatley MD, Jahnke WD: Electromyographic study of the superficial thigh and hip muscles in normal individuals. Arch Phys Med Rehabil 32: 508-515, 1951
- 4) Signorile JF, Kacsik D, et al.: The effect of knee and foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps. J Orthop Sports Phys Ther 22: 2-9, 1995
- 5) Signorile JF, Kwiatkowski K, et al.: Effect of foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps muscles during the parallel squat and knee extension. J Strength and Cond Res 9: 182-187, 1995
- 6) 笠原秀則, 佐々木誠・他: 下腿回旋位別等速性膝伸展筋力測定 of the再現性および各下腿回旋位別筋力の比較. 第7回宮城県理学療法士学会抄録: 20, 2000
- 7) Hanten WP, Schulthies SS: Exercise effect on electromyographic activity of the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscles. Phys Ther 70: 561-565, 1990
- 8) Engle R: Dynamic stabilizers of the knee, part II: facilitation approaches and concepts of anterior knee instabilities. Presented at the Shoulder and Knee Injury Seminar of the Cincinnati Sports Medicine Institute. Cincinnati, Ohio, 12-14, 1987
- 9) 森於菟, 大内弘: 下肢の筋. 分担解剖学1改訂第11版 総説・骨学・靭帯学・筋学, 金原出版, 東京, 1991, pp378-437
- 10) Aagaard P, Simonsen EB, et al.: Antagonist muscle coactivation during isokinetic knee extension. Scand J Med Sci Sports 10: 58-67, 2000
- 11) Li G, Rudy TW, et al.: The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. J Biomech 32: 395-400, 1999
- 12) MacWilliams BA, Wilson DR, et al.: Hamstrings cocontraction reduces internal rotation, anterior translation, and anterior cruciate ligament load in weight-bearing flexion. J Orthop Res 17: 817-822, 1999
- 13) Ninos JC, Irrgang JJ, et al.: Electromyographic analysis of the squat performed in self-selected lower extremity neutral rotation and 30° of lower extremity turn-out from the self-selected neutral position. J Orthop Sports Phys Ther 25: 307-315, 1977
- 14) Ohkoshi Y, Yasuda K, et al.: Biomechanical analysis of rehabilitation in the standing position. Am J Sports Med 19: 605-611, 1991

The Relationship between Isokinetic Strength of Knee Extension in Different Lower Leg Rotation Position and Cutting Movement Ability

Makoto SASAKI* Hidenori KASAHARA** Setsuko KAMI**
Junya MIYAZAKI*** Satoko FURUYAMA** Hiroyoshi YAMAKAMI**

* Course of Physical Therapy, School of Health Sciences, Akita University

** Department of Physical Therapy, Sendai College of Medical Technology

*** Department of Rehabilitation, Tachikawa Hospital, Federation of National Public Service and Affiliated Personnel Mutual Aid Association

The purpose of this study is to compare the isokinetic strength of knee extension in different lower leg rotation positions, and investigate the relationship between them and cutting movement ability. Twenty three able-bodied young women participated in the study. We measured the isokinetic strength of knee extension and cutting movement task performance ability. The former measurement was carried out by combining three leg positions (internal rotation, neutral and external rotation) and three angular velocities (60, 180, 300deg/sec). The evaluation of cutting movement task performance ability was determined by measuring sidestep cutting and crossover cutting indexed by execution time. As for knee extension strength, the measurement values revealed no significant differences in peak torque and peak torque/body weight for any angular velocity due to changes in leg rotation position. In maximal repetition work, there were similarly no significant differences, except that 60deg/sec in leg neutral position returned a higher value than internal and external rotation position. There was positive correlation between the task performance times of sidestep cutting and crossover cutting movement ($r=0.886$). A relationship was not detected between physical strength and movement in all three parameters measured. The results suggest that two cutting movement tasks do not imply independent ability separately, hence cannot be explained by only a mono-variable such as muscle strength for each leg rotation position.