異なる肩関節屈曲角度の運動方向での上肢の 複合運動時筋力と基本動作との関係

Relationship between Muscle Strength during Closed Kinetic Chain Exercise Using Upper Extremities at Different Flexion Angles of the Shoulder Joint and Basic Activities

千葉 直美¹⁾ 半澤 宏美²⁾ 佐々木 誠³⁾

NAOMI CHIBA, RPT¹⁾, HIROMI HANAZAWA, RPT²⁾, MAKOTO SASAKI, RPT, PhD³⁾

¹⁾Department of Rehabilitation, Sendai City National Hospital: 2-8-8 Miyagino, Miyagino-ku, Sendai, Miyagi 983-8520, Japan.
TEL +81 022-293-1180

²⁾Department of Rehabilitation, Naruko Public Hospital

³⁾Department of Physical Therapy, School of Health Science, Faculty of Medicine, Akita University

Rigakuryoho Kagaku 19(1): 43-48, 2003. Submitted Jun. 26, 2002. Accepted Nov. 4, 2003.

ABSTRACT: The purposes of this study were to compare muscle strengths during closed kinetic chain (CKC) exercise using upper limbs at different flexion angles of the shoulder joint, and to clarify the relationship between these muscle strengths and basic activities. Fourteen healthy women aged 19.1 ± 1.2 years (mean $\pm$ SD) participated in this study. The extensor muscle strengths during CKC exercise using upper extremity were measured under twelve conditions combining each shoulder flexion angle of 0, 30, 60 and 90 degrees with velocities of 60, 180 and 300 degree/sec. The three basic activities, wheelchair driving time on a 10 m path, the number of push-ups performed in 30 seconds, and the ratio of weight bearing relieved by loading on a T-cane to body weight, were measured under subjects' maximum effort. The muscle strengths (peak torque/body weight) during CKC exercise using the upper extremity did not show significant differences among shoulder flexion angles at all exercise velocities. Peak torque/body weight in all movement directions at 300 degree/sec tended to relate inversely to the wheelchair driving time, whereas there was no significant relationship between muscle strengths and the number of push-ups. In addition, peak torque/body weight in all exercise directions at 60 degree/sec tended to correlate with the ratio of weight bearing relieved by loading on a T-cane. In particular, there was a significant relationship between peak torque/bodyweight in shoulder flexion angle of 30 degrees at 60 degree/sec and the ratio of weight bearing relieved by loading on a T-cane. These results suggest that there is no exercise direction specificity, even though muscle strengths of CKC exercise using upper extremity at different flexion angles of the shoulder joint should reflect participation of various muscles and different contractile recruitment ratios. In addition, wheelchair driving time on a 10 m path may be influenced by velocity specificity but not by difference of motion direction, and the ratio of weight bearing relieved by loading on a T-cane may reflect specificities in both velocity and exercise direction of muscle strengths.

Key words: closed kinetic chain, upper extremity, basic activities

要旨: 異なる肩関節屈曲角度での上肢クローズドキネティックチェーン (CKC) 運動時筋力を測定し、運動方向による差異を比較するとともに、基本動作との関連を検討した。対象は若年健常女性14名 (19.1 ± 1.2 歳) である。方法として、まず肩関節屈曲0°, 30°, 60°, 90° 方向への上肢CKCでの伸展運動時等速性筋力を、60, 180, 300 deg/secの運動速度で測定した。また、車椅子10 m駆動時間、30秒間に反復可能なプッシュアップ回数、T字杖免荷率の3項目を測定した。各肩関節屈曲角度における上肢CKC運動時のPeak Torque/Body Weightは、全ての運動速度において差

¹⁾ 国立仙台病院リハビリテーション科：宮城県仙台市宮城野区宮城野2-8-8 (〒983-8520) TEL 022-293-1180

²⁾ 町立鳴子温泉病院リハビリテーション室

³⁾ 秋田大学医学部保健学科理学療法専攻

異を認めなかった。筋力と基本動作との関係について、Peak Torque/Body Weightは、プッシュアップ回数との間に相関が示されなかったが、300 deg/secではいずれの運動方向においても車椅子10 m駆動時間との間に負の相関関係、60 deg/secにおける全ての運動方向でT字杖免荷率との間に関連があることが示唆された。また、T字杖免荷率と低角速度での肩関節屈曲30°方向におけるPeak Torque/Body Weightとの間の相関関係は統計学的に有意であった。以上より、異なる肩関節屈曲角度における上肢CKC運動時筋力は、運動方向によって関与する筋の種類や活動動員比率が異なると推察されるものの、運動方向特異性は示されなかった。また、車椅子10 m駆動時間は、CKC運動時筋力の角速度特異性が反映される一方で、運動方向の相違には影響されず、T字杖免荷率は、筋力の角速度特異性ならびに運動方向特異性に影響されることが示唆された。

キーワード：クローズドキネティックチェーン、上肢、基本動作

I. はじめに

我々はこれまでクローズドキネティックチェーン（以下、CKC）での上肢等速性運動時筋力の再現性を検討し、また、肘関節伸展筋力のみでは上肢CKC筋力を十分に説明し得ないことを示してきた¹⁾。肢体不自由者では、車椅子駆動やプッシュアップ移動、杖での体重支持などの必要性が増す症例が少なくなく、上肢の単一筋に関する知見に加えて上肢帯ならびに上肢の複合的なCKC運動における筋力の検討が重要であると考えられる。上肢CKC運動の際の運動方向が異なると、動員される筋の比率が変化するため、出力としての筋力も変化するものと推測される。また、運動方向特性が上肢を使用した起居移動動作能力に反映するものと考えられる。このような見地から、我々は異なる肩関節外転角度における上肢CKC運動時筋力と基本動作との関係について報告した²⁾。そこでは、運動速度にかかわらず肩関節が外転するにしたがって上肢CKC運動時筋力が低値となること、ならびにこの筋力がT字杖を用いて免荷できる比率と関連することを見出した²⁾。

今回は、運動方向を肩関節外転角度ではなく屈曲角度で規定し、同様の検討をすることで更なる知見を得ることを目的とした。そこで、異なる肩関節屈曲角度での上肢におけるCKC運動時筋力を測定し、運動方向による差異を比較するとともに、基本動作との関連を検討した。

II. 対象と方法

対象は若年健常女性14名であり、その年齢、身長、体重、BMIの平均は、それぞれ19.1±1.2歳、158.2±3.9 cm、55.5±7.8 kg、22.1±2.7 kg/m²であった。なお、研究に関して文書ならびに口頭で説明を行い、同意が得られた場合には対象者に同意書に署名してもらった。

筋力測定には等速性筋力測定器BIODEX SYSTEM 2APを、closed chain attachmentを装備して用いた。なお、本attachmentの構造については、佐々木ら^{3,4)}が詳細に説明し

ている。測定肢位は測定器のシート上での坐位とし、シート背もたれの調整にて肩関節屈曲角度をそれぞれ設定した。運動方向は肩関節外転0°での肩関節屈曲0°、30°、60°、90°とした。パワーヘッド軸を肩峰に合わせ、closed chain attachmentのロードセルバーを前腕回内外中間位で把持させた。身体の固定は、肩関節屈曲30°、60°、90°の運動方向では備え付けのベルトを使用して行った。肩関節屈曲0°の運動方向ではシート背もたれが水平位、被検者は背臥位となりベルトでの固定力が保証されないため、シート端に膝窩部を位置させて下腿を下垂させ、更に一人の検者が頭部側より両肩を徒手的に固定した。肩関節屈曲30°の運動方向での測定風景を図1に例示した。運動速度は低速、中速、高速のそれぞれの代表として60 deg/sec、180 deg/sec、300 deg/secとし⁵⁾、左右上肢の運動を別々に測定した。測定の際は最大限に筋力を発揮するように、同一検者が声掛けした状況下で、対象者に上肢全体を伸展屈曲させた。左右上肢、運動方向、運動速度の順序はランダム化し、各測定間には60秒程度の休憩を入れた。測定パラメータは伸展運動方向のPeak Torque/Body Weightを採用し、各測定5回反復の最大値の左右の平均値を代表値とした。

また、このCKC運動時筋力と基本動作能力の関連をみるために測定した動作は、車椅子駆動、プッシュアップ、片側でT字杖を使用する立位保持の3項目である。車椅子駆動の能力の測定には、OG技研社製ユニバーサル型車椅子RG-20を使用し、対象者にはこの車椅子を最大速度で駆動するよう求めた。スタートラインとゴールラインの間に10 mの距離をとり、約3 mの助走距離を駆動した後の直線コースの駆動時間を測定した（以下、車椅子10 m駆動時間）。プッシュアップは、診療用ベッド上で足底接地を行わないよう端坐位をとり、OG技研社製プッシュアップ台GH-381（中）（高さ；18.0 cm）を対象者の使用しやすい位置に設定した。坐面に殿部が接地している肘関節屈曲位から肘関節完全伸展位に至るまでを1回とし、30秒間に可能なだけのプッシュアップ反復回数を測定した（以下、プッシュアップ回数）。T字杖を使用する立

図1 測定風景

表1 上肢CKC運動時伸展Peak Torque/Body Weightの運動方向による比較

	運動方向（肩関節屈曲角度）				有意性 (ANOVA)
	0°	30°	60°	90°	
運動角速度					
60 deg/sec	56.1 ± 16.8	56.8 ± 15.5	53.2 ± 18.7	55.1 ± 16.9	N.S.
180 deg/sec	34.6 ± 17.2	32.8 ± 15.0	33.6 ± 15.3	32.6 ± 10.1	N.S.
300 deg/sec	24.4 ± 9.9	25.2 ± 9.8	23.8 ± 8.4	23.2 ± 8.2	N.S.

平均±標準偏差，単位：%，N.S.：not significant

位保持では，杖の長さを一般に推奨されている方法で握りの部分が大転子にくるように調節⁶⁾した。採寸方法と同様に杖把持側の足趾より15 cm外側・前方に杖先を位置させた。対象者が乗った体重計と同じ高さの台の上に設地した片側T字杖へ最大限に荷重した際に免荷された重量を測定し%比率で表した。その免荷率を左右測定して平均し代表値とした（以下，T字杖免荷率）。

統計学的手法に関して，異なる3種の肩関節屈曲角度における筋力の比較には反復測定分散分析を，各CKC筋力と各起居移動動作能力との間の関連の検討にはPearsonの相関関係の検定を用いた。なお，危険率5%未満をもって有意とした。

III. 結 果

まず，全ての運動速度において肩関節屈曲角度におけるPeak Torque/Body Weight（表1）は，運動方向による差異を認めなかった。

次に，基本動作能力の測定値を表2に示した。車椅子10 m駆動時間の平均は5.5±0.6 sec，プッシュアップ回数の平均は20.6±9.4回，T字杖免荷率の平均は29.5±11.2%であった。

最後に，筋力と基本動作能力との関連について表3に示した。Peak Torque/Body Weightと起居移動動作能力との関係をみると，車椅子10 m駆動時間との間には，300 deg/secにおいて，屈曲0° 方向で $r=-0.663$ ($p<0.05$)，屈曲90° 方向で $r=-0.657$ ($p<0.05$) の有意な相関を認めた。また，屈曲30° 方向で $r=-0.525$ ($p=0.0798$)，屈曲60° 方向で

表2 基本動作能力の測定値

	平均値±標準偏差	範囲
車椅子 10 m 駆動時間 (sec)	5.5 ± 0.6	4.5–6.5
プッシュアップ回数 (回)	20.6 ± 9.4	12–37
T 字杖免荷率 (%)	29.5 ± 11.2	5.9–41.9

表3 上肢CKC運動時伸展Peak Torque/Body Weightと基本動作能力との相関係数 (r)

		車椅子 10 m 駆動時間	起居移動動作能力 プッシュアップ回数	T 字杖免荷率
運動方向角速度				
肩関節屈曲 0°	60 deg/sec	− 0.346	0.277	0.526
	180 deg/sec	− 0.320	0.241	0.444
	300 deg/sec	− 0.663*	0.291	0.421
肩関節屈曲 30°	60 deg/sec	− 0.416	0.194	0.547*
	180 deg/sec	− 0.321	0.062	0.444
	300 deg/sec	− 0.525	0.068	0.301
肩関節屈曲 60°	60 deg/sec	− 0.429	0.274	0.521
	180 deg/sec	− 0.438	0.210	0.475
	300 deg/sec	− 0.565	− 0.044	0.460
肩関節屈曲 90°	60 deg/sec	− 0.460	0.280	0.541
	180 deg/sec	− 0.272	0.187	0.468
	300 deg/sec	− 0.657*	0.031	0.440

*: p<0.05

$r=-0.565$ ($p=0.0702$) の相関のある傾向が示された。一方、プッシュアップ回数との間には関連を認めなかった。またT字杖免荷率との間には、60 deg/secにおいて、屈曲30° 方向で $r=0.547$ ($p<0.05$) の有意な相関が示され、屈曲0° 方向で $r=0.526$ ($p=0.0651$)、屈曲60° 方向で $r=0.521$ ($p=0.0679$)、屈曲90° 方向で $r=0.541$ ($p=0.0693$) の相関のある傾向を認めた。

IV. 考 察

まず第一に、上肢のCKC運動時筋力を測定した結果、いずれの運動速度においてもPeak Torque/Body Weightは、肩関節屈曲角度を変えても差異がないことが示された。これは、我々の以前の研究²⁾で報告したような、肩関節の外転角度が増すにつれて、上肢CKC運動時筋力が減じるという運動方向特異性を示した結果とは異なるものである。我々の別の研究¹⁾では、上肢のCKC運動時筋力と肘関節伸展筋力との間には十分な相関を認めなかった。また

同検討¹⁾で、肩関節屈曲0° 方向へのCKC運動時筋力に対する肘関節伸展筋力が、屈曲90° 方向へのCKC運動時筋力に対する肘関節伸展筋力に比較して、いずれの運動速度でも有意に小さいことを報告した。すなわち、上肢のCKC運動時筋力に寄与する筋として肩甲帯関与筋や手関節の固定筋が重要であり、運動方向を肩関節屈曲90° 方向から屈曲0° 方向へと変化させていった場合、これらの筋の関与する重要性が増すことが考えられる。本研究において、手関節の固定筋が運動方向によって大きくは影響を受けないとすると、運動方向が肩関節屈曲90° 方向から屈曲0° 方向へと移行するにしたがって、肩甲骨外転作用を有する前鋸筋、上腕骨水平内転作用を有する大胸筋や三角筋前部線維、上腕骨内転作用を有する烏口腕筋などの筋^{6,7)}から肩甲骨下制作用を有する僧帽筋下部線維、上腕骨内転作用を有する大胸筋、広背筋、大円筋、烏口腕筋などの筋^{7,8)}へと、各筋の活動動員量を変えつつ寄与する筋の種類が変化していたものと推察される。しかし、肘関節伸展筋や肩甲帯関与筋、手関節の固定筋を

含む上肢全体のCKC運動時に発揮される筋力としてみた場合には、結果的に差異を認めなかったものと考え。肩関節の外転角度を変えて行った実験²⁾では、広背筋が結果に影響する主な作用筋であると考え、外転角度が増すのに伴って、この筋の身体尾部方向に押す作用に対する上腕骨を内転させる作用が相対的に増加するため、運動方向特異性が示されたと解釈した。これと異なり、本研究結果は複数の筋の複雑な作用の総和の変化があり、運動方向特異性が示されなかったものと考え。

第二に、筋力と基本動作能力との関連について、Peak Torque/Body Weight は、300 deg/secの角速度でいずれの運動方向においても、車椅子10 m駆動時間との間に負の有意な相関あるいは相関がある傾向が示された。300 deg/secはCKCの直線運動に換算すると約60 cm/secを意味している。計算により課題遂行時の車椅子ハンドリムの平均回転軌跡速度が170 cm/secを超えることから、今回測定した種類の角速度の中でこの平均回転軌跡速度に最も近いために、300 deg/secの角速度においてのみ相関関係が示唆されたものと考え。脊髄損傷患者における車椅子駆動時の動作解析では、上腕骨は肩甲上腕関節の中心を軸として後方57.3° から前方23.2° までの可動範囲を有する⁹⁾ことが示されている。また、ハンドリムに接触している回転弧範囲が、車椅子非使用者では車椅子使用者よりも狭い¹⁰⁾ことが報告されている。本研究の対象者は日常的に車椅子移動を行っている者ではなく、車椅子駆動時の上腕骨の可動範囲はより限られていたと推察される。しかし、車椅子非使用者は使用者に比べて、ハンドリムへの力を車軸方向よりもリムの接線方向へ作用させ、かつ、この方向への力の作用を短時間、強く働かせる¹⁰⁾ことが示されている。すなわち、肩関節の限られた屈曲運動方向よりも、力学的には更に前方へ力の作用を速く、強く発揮させていた可能性があり、肩関節屈曲方向が0°のみならず90°のCKC運動時筋力においても、駆動時間との間に関連が示唆されたものと考え。

今回認められた車椅子駆動時間の運動速度特異性は、肩関節を外転させたCKC運動時筋力の実験²⁾では示されていない。Boningerら¹¹⁾は、車椅子駆動のハンドリムプッシュ相において肩関節が伸展位から屈曲していく際に、肩関節は外転位から内転方向へと、肘関節は屈曲位から更に屈曲した後伸展方向へと、運動推移することを報告している。この相での作用筋として、相の前半では大胸筋や三角筋前部線維が、後半では上腕三頭筋や三角筋後部線維が主に作用する¹²⁾。肩関節を外転させた場合には、広背筋による肩関節内転作用の優位性が車椅子駆動には反映されにくい²⁾のに対して、本研究で肩関節の屈曲角度

を設定した場合には、前述した筋のうちの少なくとも大胸筋や三角筋前部線維といった水平内転作用を有する筋の影響があったため、運動速度特異性を認めたものと考え。

プッシュアップ回数はPeak Torque/Body Weightとの間に相関が認められなかった。これは肩関節の外転角度を変化させた研究²⁾と同一の結果であった。この動作は上肢CKC運動による求心性、遠心性運動の反復動作であり、上肢帯の安定性を得るための筋力に加えて持久力が求められる。Peak Torque/Body Weightは筋の瞬発力を反映しやすいため、これが関連性を見出せなかった理由の一つであると考え。また、物を押す際のその客体が可動自由度を有していると、客体が固定されている時に比べて、客体に加わる力が低値であり、三角筋前部線維や上腕三頭筋の筋電活動が減少し、手関節屈筋・伸筋の活動が増加する¹³⁾ことが示されている。本研究では、プッシュアップ台を坐面に固定しなかったため、プッシュアップ台の不安定性が筋力測定時とは異なる筋活動が求められていた可能性がある。

T字杖免荷率は、60 deg/secにおいて全ての運動方向でのPeak Torque/Body Weightとの間に正の有意な相関あるいは相関がある傾向を認めた。この運動速度特異性は、運動方向を肩関節外転方向で設定した研究²⁾と同様の結果であった。この課題は筋の等尺性収縮を求めるものであり、角速度の遅い条件での筋力との関連が示されたものと考え。本測定では、杖で支持する際に杖先の床との接点を支持側足部より15 cm外側・前方に設定したことにより肩関節が軽度屈曲位となり、外転方向に運動方向を変化させた実験²⁾での結果と異なって、相関関係は肩関節屈曲30° 方向で特に統計学的にも有意であり、運動方向特異性が示されたものと考え。

以上より今回の研究では、4種類の肩関節屈曲角度の運動方向において、関与する筋の種類や活動動員比率が異なると推察されるものの、運動方向特異性は示されなかった。また、筋力と基本動作との関係については、プッシュアップ回数では相関を示し得なかったが、車椅子10 m駆動時間は、高角速度でのPeak Torque/Body Weightとの間にいずれの運動方向においても相関関係が示唆され、T字杖免荷率は、低角速度において全ての運動方向でのPeak Torque/Body Weightとの間に関連性が示唆された。特に、T字杖免荷率と低角速度での肩関節屈曲30° 方向におけるPeak Torque/Body Weightとの間の相関関係は統計学的に有意であり、T字杖免荷率においては、角速度特異性に加えて運動方向特異性が示唆された。

文 献

- 1) 佐々木誠, 千葉直美, 半澤宏美: 上肢クローズド・キネティック・チェーンでの等速性筋力の測定再現性および等速性肘関節伸展筋力との関連. 東北理学療法学, 2001, **12**: 24-29.
- 2) 佐々木誠, 山上弘義, 白鳥常男: 等速性片側脚伸展筋力測定の再現性および等速性膝伸展筋力との関係. 理学療法学, 1998, **25**(2): 67-71.
- 3) 半澤宏美, 千葉直美, 佐々木誠: 異なる肩関節外転角度における上肢の複合運動時筋力と起居移動動作との関係. 理学療法科学, 2002, **17**(4): 227-232.
- 4) 佐々木誠, 山上弘義, 白鳥常男: 等速性脚伸展筋力増強訓練と等速性膝伸展筋力増強訓練とのトレーニング効果の比較. PTジャーナル, 1998, **32**(5): 367-372.
- 5) 川島敏生, 三ッ木豊, 川島昭彦・他: クローズドキネティックチェーンとの関連からみた等速性筋力評価における測定速度の検討. 理学療法学, 1993, **20**(1): 14-18.
- 6) 額谷一夫: 日常生活活動 移動補助具. 黒川幸雄・他編, 臨床理学療法マニュアル, 南江堂, 東京, 1996, pp215-230.
- 7) Hislop HJ, Montgomery J: Danies and Worthingham's MUSCLE TESTING; Techniques of Manual Examination, 6th ed., W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1995, pp 58-107.
- 8) 森 於菟: 筋学. 分担解剖学 1 総説・骨学・靱帯学・筋学, 金原出版, 1994, pp 264-278, pp 309-320, pp 333-345.
- 9) Rao SS, Bontrager EL, Gronley JK, et al.: Three-dimensional kinematics of wheelchair propulsion. IEEE Trans Rehabil Eng, 1996, **4**(3): 152-160.
- 10) Robertson RN, Boninger ML, Cooper RA, et al.: Pushrim forces and joint kinetics during wheelchair propulsion. Arch Phys Med Rehabil, 1996, **77**(9): 856-864.
- 11) Boninger ML, Cooper RA, Shimada SD, et al.: Shoulder and elbow motion during two speeds of wheelchair propulsion: a description using a local coordinate system. Spinal Cord, 1998, **36**(6): 418-426.
- 12) Masse LC, O'Riain MD: Biomechanical analysis of wheelchair population for various seating positions. J Rehabil Res & Develp, 1992, **29**(3): 12-28.
- 13) Kornecki S, Zschorlich V: The nature of the stabilizing functions of skeletal muscles. J Biomechanics, 1994, **27**(2): 215-225.