

ワーク・シミュレータを用いた最大操作力の測定： 性差及びハンドルの種類による影響

柴田 克之 生田 宗博 西村 誠次 鴻 真一郎
高岡 厚視* 宮本 智次** 長谷川幸恵*** 宮側 則子****
鈴木 雅晴***** 金田 嘉清 寺西 利生***** 田中 実希
乙川 亮 村田 元徳

要 旨

目的：本研究は、ワーク・シミュレータを用いて、把持するハンドルのタイプと手指及び上肢の最大操作力の関係について明示することである。ハンドルのタイプは、(つまみ、円筒握り、円盤握り、押し動作、引き動作、回転動作)の6種類である。対象：若年健常成人105名(男性52名、女性53名)。各ハンドルの操作力は、把持様式とレバーアームが大きく影響していることが示された。また女性の最大操作力は、男性に比べ小さく有意な差を示した。女性の手指操作力は、男性の52~58%であった。また上肢の操作力は、男性の67~75%であった。ワーク・シミュレータを用いた評価は、手指や上肢の力を測定する上で重要であり、その力を左右する要因として、性差やハンドルのタイプが関与していた。今後、若年健常者のデータを、高齢者や障害者との比較に利用を検討していきたい。

KEY WORDS

type of handles, difference gender, the work simulator

はじめに

筋力の指標には、等尺性、等張性、等速性収縮などの測定方法があるが、一般的に等尺性収縮における最大随意筋力を用いることが多い。方法としては、被験者を検査台に固定させ、ダイナモメータの回転軸と各関節の回転軸を一致させ、各運動を回転トルクとして測定する機器の他に、荷重変換器や握力計を用いて、押す力と引く力を自作の機器で測定する方法などが報告されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。上肢筋力の測定は、一般的に立位姿勢で、操作高は肘関節を90度屈曲した肘頭の高さとし、測定時間は3秒から5秒間最大出力させて、3回の平均値を示している

報告が多い²⁾⁸⁾⁹⁾。今回、測定に用いたワーク・シミュレータは、米国では実際の労働状況に類似した作業や日常の動作を、模擬的に再現して障害者の就労能力を判定したり、日常生活動作における手指及び上肢筋力の評価として用いられている。国内においては、ワーク・シミュレータを用いた若年成人のコントロールデータの報告や性差による筋力の差について報告した論文がない。そこで今回の目的は、若年健常成人を対象に、ワーク・シミュレータを用いて手指、上肢に関する主要な動作を選出し、手指筋力と上肢筋力のコントロールデータを収集し、性差と把持様式による筋力を明示することである。

金沢大学医学部保健学科作業療法学専攻

* 富山県立中央病院

** ケアパック石川

*** 金沢赤十字病院

**** 金沢リハビリテーションアカデミー(開設準備室)

***** 藤田保健衛生大学リハビリテーション専門学校

***** 藤田保健衛生大学リハビリテーション科

表1 被験者の形態測定値

	健常男性 (52名)		健常女性 (53名)		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	P値
年齢 (歳)	22.2	2.4	21.5	3.4	0.36
身長 (cm)	170.9	4.7	158.7	5.5	0.001
体重 (kg)	64.0	7.1	53.3	6.9	0.001
上肢 (cm)	56.4	2.1	50.5	3.1	0.001
上腕長 (cm)	32.2	3.1	28.6	2.6	0.001
前腕長 (cm)	25.7	1.5	23.6	1.2	0.001
手長 (cm)	18.8	0.9	17.7	1.0	0.001
手幅 (cm)	9.1	0.9	7.8	0.6	0.001

上肢, 上腕長, 前腕長, 手長, 手幅の形態測定は右上肢の測定値を示す。

対 象

対象は、金沢大学医療技術短期大学部と藤田保健衛生大学リハビリテーション専門学校の学生105名（男性52名、女性53名、平均年齢は 21.8 ± 3.0 歳で、上肢に障害の既往がなく、利き手検査¹⁰⁾で右利きの者とした。

形態測定項目は、身長、体重と左右の上肢長、前腕長、手長、手幅を測定したが、有意差を認めなかったため右側の形態測定値を示す（表1）。

方 法

測定機器は、ワーク・シミュレータ（BTE社製WS-20）を使用した。20数種類のノブとハンドルから、今回は、手指関節でつまみ・握りながら回すノブ4種類と上肢関節で押す・引く・回すハンドルの2種類を用いた。測定肢位は、立位で肩幅程度に両足を開脚した姿勢とした。ダイナモメータの回転軸の延長線上に被験者の肩峰が正面に位置するように立ち、測定する高さは、測定肢の肘関節を 90° 屈曲位（肘頭高）になるようにワーク・シミュレータのシャフトの高さを調節した。

課題は、ノブ操作力とハンドル操作力に分け、等尺性収縮でノブとハンドルに生じた最大回転トルクを測定した。ノブと把持様式は、以下のとおりである。鍵型ノブは母指と示指の側面をつまむ鍵握り（図1-a）、ドライバー型ノブは、1辺が2cmとなる4角柱のドライバーの柄を斜めに握る円筒握り

（図1-b）、円盤型ノブは直径8cmの円盤を5指の指腹部でつまむ5指間握り（図1-c）、プレイヤー型ノブは、プレイヤーの握り幅を、7cm開大させて握る握力把握（図1-d）の4種である。

一方、押し引きハンドルは、ダイナモメータの回転軸より25cmの距離を隔てたアームの先に円筒の水平な握り柄と、さらに30cm遠位にD型の垂直握り柄の2箇所の柄を両手で持ち、体の前方へ押す力と体の後方へ引く力を測定した（図2-a b）。またステアリングハンドルは、直径53cm、リム径2.5cmであり、右手で3時の位置に把持し反時計方向に回す力と（図2-c）、左手で9時の位置に把持し時計方向に回す力（図2-d）、そして両手で9時15分の位置に把持して、時計方向に回す力と反時計方向に回す力を測定した（図2-e）。

測定は6秒強度試験を用い、ダイナモメータに力が加わると、記録が開始し6秒間の等尺性収縮力が計測される。1種のノブとハンドルあたり施行間隔を30秒間とし、ストップウォッチを用いて、一定の休息を入れ疲労の影響を少なくした。左右の上肢、手指を各3施行ずつ計6施行測定した。測定されたデータは、6秒間のうち中央の3秒間の値すなわち3秒から5秒までの3秒間の平均値をデータとして採用した。

統計的な解析は、男性群と女性群で分類し、二元配置分散分析を行い、有意水準5パーセントとした。

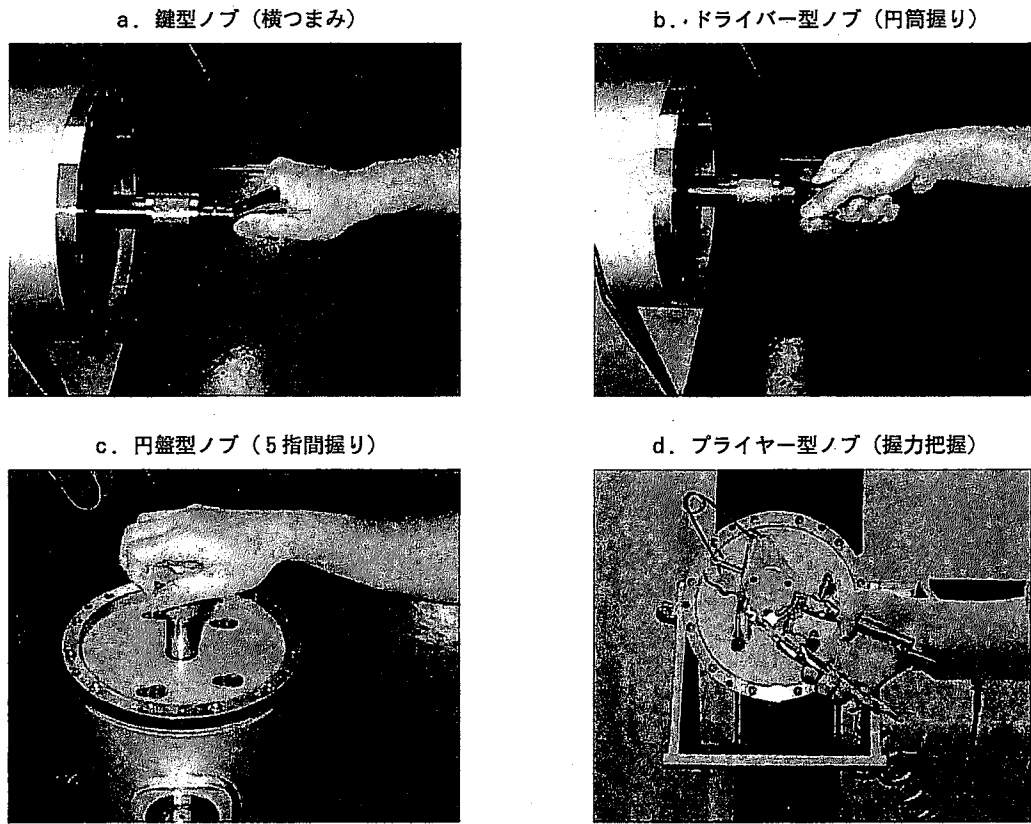


図1 ノブの把持様式

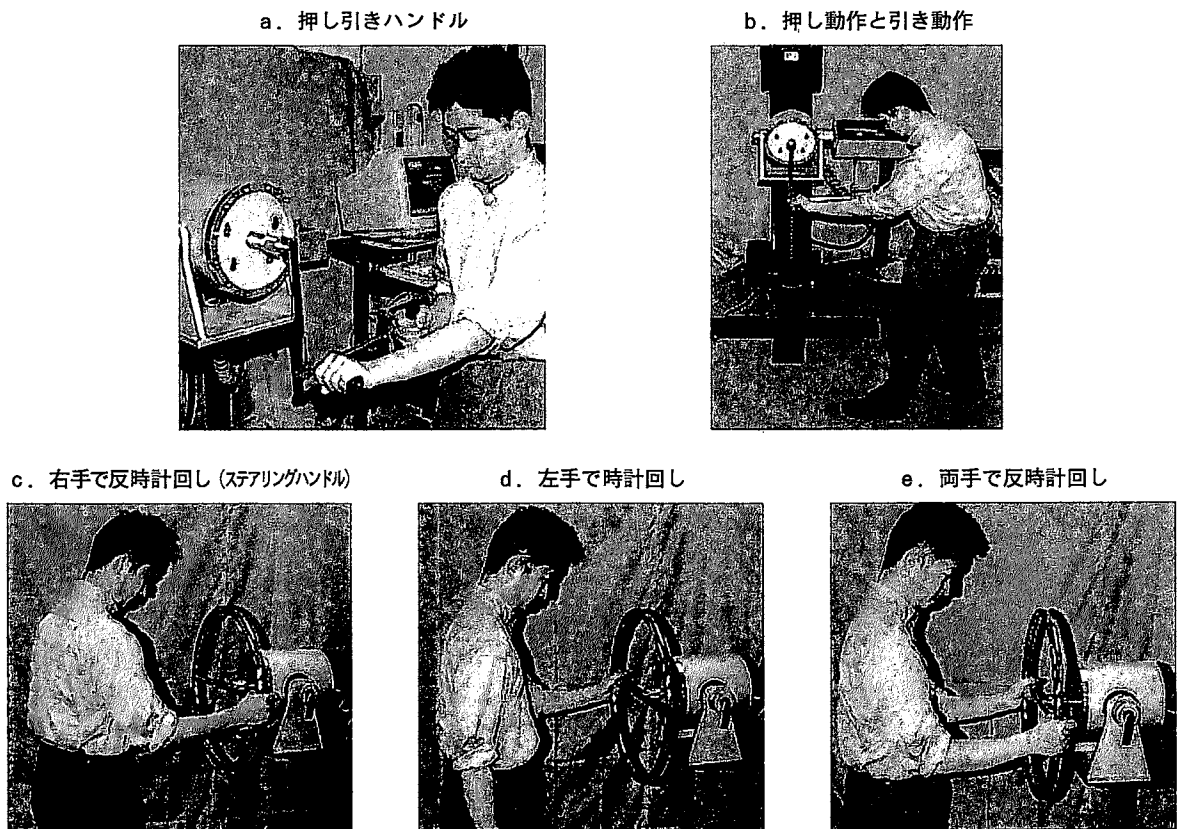


図2 ハンドルの把持位置と姿勢

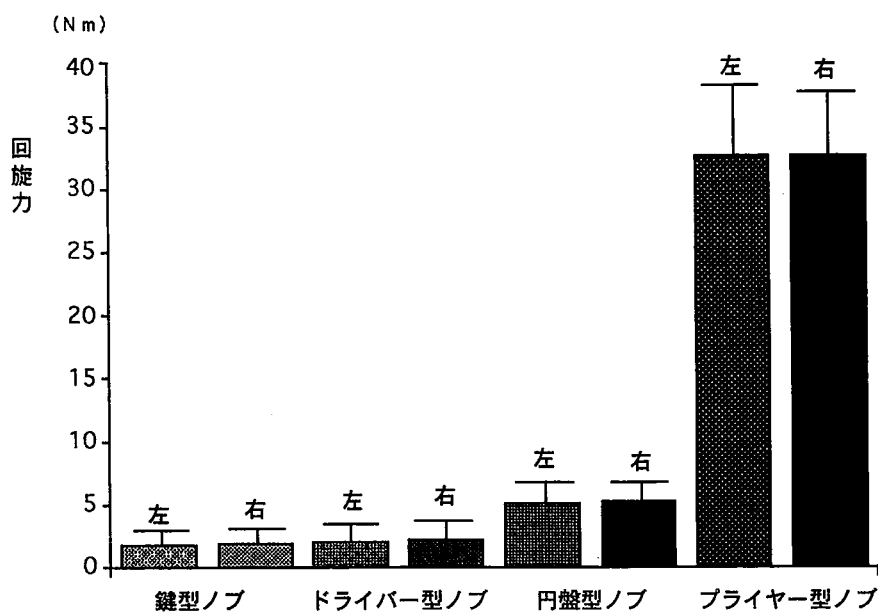


図3 健常男性・手指で発揮する力

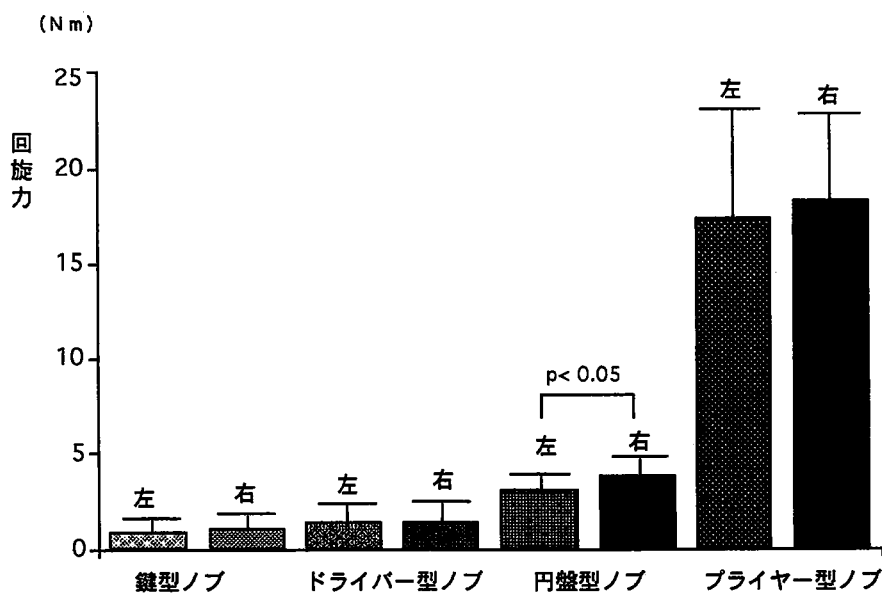


図4 健常女性・手指で発揮する力

結 果

1. 手指で発揮する前腕の回旋力

男性の左右の操作力(図3)について比較すると、有意な差を認めなかったため、以下右手の操作力について述べる。鍵型ノブを回旋する力は $1.8 \pm 0.7\text{Nm}$ 、ドライバー型ノブは $2.0 \pm 0.9\text{Nm}$ 、円盤型ノブは $5.2 \pm 1.4\text{Nm}$ 、であった。プライヤー型ノブを握る力は、 $32.7 \pm 6.6\text{Nm}$ であった。プライヤー型ノブの把握力は、他のノブの回旋力より、有意に大きな値を示し

た($p < 0.01$)。次に、同様の4種類のノブを用いた女性の回旋力を示す(図4)。女性の左右の操作力は、円盤型ノブで有意差を認めた($P < 0.05$)。右手の操作力についてみると、鍵型ノブで $1.2 \pm 1.1\text{Nm}$ 、ドライバー型ノブは $1.4 \pm 1.5\text{Nm}$ 、円盤型ノブは $3.8 \pm 2.1\text{Nm}$ 、プライヤー型ノブは $18.3 \pm 4.8\text{Nm}$ であった。

2. 上肢の押し力・引き力・回転操作力

図5は、男性が上肢で、押し引きハンドルを前方

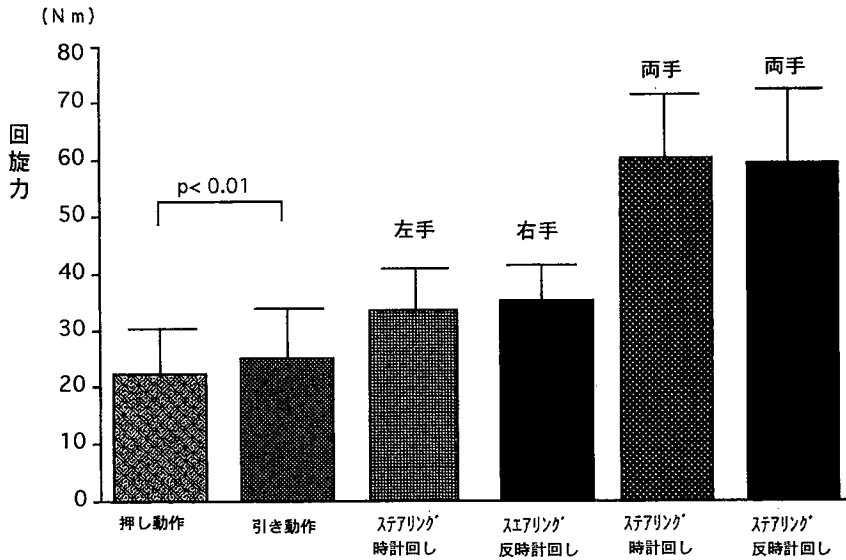


図5 健常男性・上肢で発揮する力

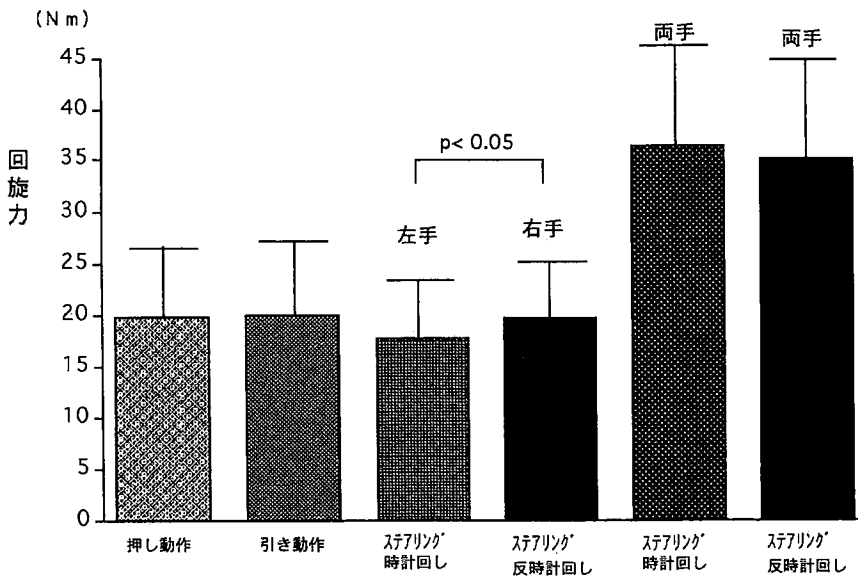


図6 健常女性・上肢で発揮する力

に押す力と後方へ引く力を示した。押し力の平均は $23.8 \pm 7.0\text{Nm}$ 、引き力の平均は、 $26.6 \pm 6.8\text{Nm}$ であり、引き力の方が有意に大きな値を示した ($p < 0.01$)。またステアリングハンドルは、片手で把持し、右手で反時計方向にまわす力が、 $34.3 \pm 6.0\text{Nm}$ 、左手で時計方向に回す力が、 $33.3 \pm 6.1\text{Nm}$ であり、左右間では有意な差はなかった。また両手で把持して、時計方向と反時計方向に回す力を比較すると、それぞれ $60.2 \pm 10.8\text{Nm}$ と $59.3 \pm 11.7\text{Nm}$ であり、回す方向の違いにも有意な差はなかった。一方反時計回しの力を右手と両手で把持した場合を比較すると、

両手で把持し回した力が有意に大きかった ($p < 0.01$)。

図6は、女性のハンドル操作力を示した。女性の押し力は、 $19.9 \pm 6.7\text{Nm}$ 、引き力は $20.0 \pm 7.9\text{Nm}$ であった。ステアリングハンドルを回す力は、右手で反時計方向に回す力は $19.6 \pm 6.4\text{Nm}$ であり、左手で時計方向に回す力は $17.4 \pm 5.0\text{Nm}$ であり、左右間では有意な差 ($P < 0.05$) を示した。また、両手を用いた場合は、時計方向に回す力は $36.6 \pm 10.1\text{Nm}$ 、反時計方向に回す力は $34.2 \pm 10.2\text{Nm}$ であり、回す方向による有意な差はなかった。一方反時計方向に回す

力を右手と両手で比較すると、両手で回した力が有意に大きかった ($p < 0.01$)。

考 察

測定した筋力値の信頼性は、同一の測定機器を用い、決められた測定手技の範囲内でのみ保証される。従って筋力測定で重要なことは、測定肢位と方法を統一したうえで、コントロールデータを構築することである。今回は、ワーク・シミュレータを用いて、若年健康者105名のコントロールデータを収集し、男女のノブとハンドルの標準操作力を示すことができた。

1. 性差による筋力

手指、上肢筋力に影響を与える因子として、年齢や性別があげられる。今回は若年成人を対象としたため、年齢による影響については言及できないが、今回のテーマである若年成人の性差について比較する。手指で発揮する力を4種のノブで比較すると、女性の手指筋力は男性の52~58%であった。上肢で発揮する力を2種のハンドルで比較した場合、女性の上肢筋力は男性の67~75%であり、男女間においては、全てのノブで有意な差を示した ($P < 0.01$)。Laubach¹¹⁾は、男性の筋力に対する女性の筋力の割合は、上肢で55.8% (35~79)、体幹で63.8% (37~70)と報告しており、中でも遠藤²⁾らは、20歳の体力標準値を粗大握力で比較し、男性48.1kgに対し、女性29.1kgで、女性の粗大把握力は男性の61.0%と報告している。今回のワーク・シミュレータで求めたトルク値を男性に対する女性の比率でみると、手指で発揮した力が52~58%、上肢で発揮した力が67~75%であり、先行研究で報告された男女比の範囲内にあることが示された。

2. 左右の回旋力

本実験で用いたノブとハンドルにおいて、左右差を認めたのは、女性の円盤型ノブとステアリングハンドルであった。円盤型ノブの側面となる表面には、滑り止めとして細かなメッシュ状の溝が刻まれており、皮膚接触部分の摩擦が大きくなり、女性の中には、ノブと接触した非利き手の指掌側部分に痛みを訴える被験者がいたことから、利き手に比べ痛覚閾値の低下から最大操作力を発揮することができなかったと考えられた。ステアリングハンドルに関しては、利き手側での肩甲帯及び肩関節周囲の筋力が非利き手側より強く、左右不均衡な筋発達の特徴を示した。他のノブとハンドルでは、左右間において有意な差はなかった。上肢筋力の左右差を比較した関連論文

でも、左右差は10%未満で統計的な有意な差がないと報告している⁵⁾⁸⁾¹²⁾。

3. ノブのレバーアーム

ワーク・シミュレータで測定した力は、ダイナモメータの回転軸から力点までの長さ(レバーアーム)と操作力の積によって算出した回転トルク(N.m)である。すなわち、回転軸からノブを把持した力点までの長さが長くなるに従い、大きな回転トルクが出力される。今回用いたノブのレバーアームを、回転軸から最も遠位までの長さとして測定すると、鍵型ノブで3cm、ドライバー型ノブで0.7cm、円盤型ノブで3.5cmであり、プライヤー型ノブは、ハンドルの中心から第Ⅲ指と第Ⅳ指の間までの長さは(5.5+手幅/2)cmで算出され、男性では10.2cm、女性では9.6cmであった。レバーアームの長いプライヤー型ノブが最も大きな回旋力を出力したが、中でも鍵型ノブは、ドライバー型ノブに比べ、レバーアームが長いが、回転トルクは小さく、必ずしも回転トルクはレバーアームのみに比例するのではなく、ノブの把持様式が関与していたことが示唆された。

4. ハンドルのレバーアーム

押しハンドルと引きハンドルのレバーアームは、回転軸から下垂したアームの最下点までの長さ25cmである。そして2箇所の握り部の合力がアームの最下点に加わる。今回、押しハンドルと引きハンドルの相関が、男性0.82、女性0.80と強く示された要因として、アームに加えられる力の方向は相対するが、同じ長さのレバーアームを有しており、押し力と引き力は互いに近似したと考えられた。

一方、ステアリングハンドルは、半径26.5cmがレバーアームとなる。片手と両手による操作力の相関は、男性0.66、女性0.79で強く、両手の操作力は片手の操作力に比べ、男性1.8倍、女性1.6倍であった。つまり操作力はステアリングハンドルの加わる力点の数に影響するが、接線方向に作用するベクトルにより、回旋力が相殺したと考えられた。

5. 把握様式と操作力

把握様式と回旋力を比較する上で考慮することは、測定した回転トルクから前述したノブとハンドルごとのレバーアームを除いた値、すなわちノブとハンドルに加えられた操作力(F)を算出した上で把持様式の差異を論じなければならない。

鍵型ノブの把持様式は、母指の指腹部がノブの回転軸上に添え、第Ⅱ指のMP関節の頂点にノブの頂点を一致させ、レバーアームが最大になるように把持しており、鍵型ノブに加わった操作力(F)は、男性

63.3N, 女性36.6Nであった。

ドライバー型ノブの把持様式は、中心集中性つかみ (centralised grips) と呼ばれ、手関節を尺屈位にしてドライバーの長軸が前腕の回転軸と一致させ、前腕の回内筋の力が、直達してネジをしめたり、ゆるめたりする操作力(F)となり、男性314.3N, 女性200Nであった。女性においては、4種のノブの中で最も大きな力を出力した把握様式であった。谷口⁶⁾やOhtsuki¹³⁾らは、ドライバー柄の径と回す力を測定しており、柄の径が(1.0~5.0cm)が大きくなるほど、トルク値が漸増するが、5.0cm以上の径になると逆にトルク値の増加率が低下すると述べている。Pheasant¹⁴⁾らはノブの示適な大きさは、第I指と他の指を少し重ねて持てる大きさが、最も接線方向の力が大きくなると報告している。つまり第I指と中指の先端が触れる状態で形成される円の内側の直径(にぎり内径)は、3.0~3.5cmとなり、今回の直径3.0cmのドライバー型ノブは示適な大きさであり、前腕部で出力した力を損失することなく伝える把持様式であった。

円盤型ノブは、球形5指間手掌つかみ (spherical pentadigital palmar prehension) と呼ばれ、すべての指は、円形の側面周囲に接し、円形の上面は手掌部が接する。この把持様式は円盤の径の増大に伴い、把持する指間腔が広がる。直径8cmの円盤ノブは、第II~V指のPIP関節とDIP関節が十分に屈曲し、各指の中節骨部が円盤の側面に接する把持様式となった。従って第II~V指の浅、深指屈筋が強力に収縮すると同時に手掌腱膜が緊張して、手掌面とノブ上面との接触面を増し、把握効率を最も高めた把握となった。円盤周径に加わった操作力(F)は、男性148.6N, 女性97.1Nであった。今回、円盤型ノブの操作面は、水平面で回旋する課題とし、前腕は回内位、手関節は中間位で固定しながら、橈屈する運動であった。徳田⁷⁾のノブ設置面と操作性に関する報告では、垂直面設置の方が、水平面設置に比べ1.8倍の強い筋力を出力したと報告している。つまり垂直面のノブを回旋する主動作筋は、前腕の円回内筋、方形回内筋、肘筋であるのに対し、水平面のノブを回旋する主動作筋は橈側手根屈筋と補助筋の長短橈側手根伸筋であり、力を出力する主動作筋の筋群が関与していると考えられる。プ라이어型ノブは、典型的な握力把握 (power grip) であり、母指球周辺部でプ라이어の上部レバーに加えた力と拮抗する力が第II~V指の手指屈筋によって下部レバーに加えられた。操作力(F)は、男性320.6N, 女性190.6N

であり、男性は4種のノブの中で最も大きな力を出力できた。Petrofsky¹⁵⁾は、最も強い力が発揮できる握る幅は、母指と示指の先端が触れる程度であり、男性で6.0~6.5cm, 女性で5.0~5.5mmの握り幅で最大の把持力が発揮できると述べている。プ라이어型ノブのレバーは、回転軸から遠位にいくに従い開大しており、最も近位部の示指側で6cm, 遠位部の小指側で8cmであった。把持様式は、母指と対抗する第II~V指の開大幅が極端に広がり、指先はフックグリップとなったため、十分に手指屈筋群が出力できず、従来のスメドレー式の握力に比べ小さかった。

次にハンドルに加えられた操作力(F)を算出すると、押しハンドルで男性95.6N, 女性82.4Nであり、引きハンドルで男性107.6N, 女性74Nであった。押し力と引き力に関する先行研究において、谷口⁶⁾は、両手で押す力に比べ、引く力の方が有意に大きいと述べている。また徳田⁷⁾らも若年成人群の最大引き力は16.7~19.2Kgf, 最大押し力は、13.7~15.0Kgfで引き力が大きいと報告している。動作学的にみると、押し動作は、肩関節の屈曲運動と肘関節の伸展運動によって行われ、引き動作は肩関節の伸展運動と肘関節の屈曲運動によって行われる。肩関節と肘関節の力を比較したWilliams¹⁶⁾の報告によると、肩関節の屈曲力が平均285Nと伸展力が平均300Nで、肩関節を後方に引く伸展力の方が有意に大きかった。またNordgren¹⁷⁾による肘関節の屈曲力は平均160N, 伸展力は平均100Nで、肘関節を曲げて引く動作の方が大きいと報告している。これらの実験条件から、体幹姿勢、操作高、両足底部の位置など要因が、押し力と引き力に影響を与えていると指摘している¹⁸⁾。今回の測定値が小さかった要因は、体幹の前屈、後屈運動を極力制限することで、ハンドルに体重が荷重にしいく上肢筋力を主体とした方法で実施したためと考えられる。

ステアリングハンドルの操作力についてみる。両手を用いた操作力は、男性215N, 女性129.6Nであった。Sanders¹⁹⁾らの実験では、ハンドルの直径56cm, リム径7.9cmを両手を用いた回転操作力は、483.9~546.4Nで本実験の2.2~4.2倍の大きな操作力であった。ステアリングのレバーアームは今回用いた条件よりも3cm長く、その差異は1Nあたり1.4倍の大きさに増幅され、さらにリム径も3倍の太さで手との接触面積が大きくなるに従い、摩擦力が増大するなどの力学的な要因が考えられた。

今回はワーク・シミュレータを用いて、各動作をつまみ、にぎり、押す、引く、回すの運動要素に分

類し、性差と把持様式における特徴を示すことができた。今後ワーク・シミュレータを用いた研究において、若年健常者と中高年者及び高齢者との比較、または障害者との比較に、今回の若年健常者の基礎的なデータの利用を検討していきたい。

まとめ

若年成人105名（男性52名、女性53名）を対象にワーク・シミュレータの6種のノブ・ハンドルを用いて、手指と上肢操作力を測定した。

1. 手指で発揮した右手のトルク値は、プライヤー型ノブが男性32.7Nm、女性18.3Nmで最も大きく次に円盤型、ドライバー型、鍵型の順であった。
2. 上肢で発揮した時計回しと反時計回しの平均トルク値は、両手ステアリングハンドルが男性59.8 Nm、女性35.2Nmで最も大きく、次いで片手ステアリングハンドル、引きハンドル、押しハンドルの順であった。
3. 操作力の男女差は、全て男性の方が有意に大きく、女性のノブ操作力は男性の52～58%であった。また女性のハンドル操作力は男性の67～75%であった。

文 献

- 1) Bordett, H.M. et al. : Torque required from elderly females to operate faucet handles of various shapes. *Human Factors*, 30 : 339-346, 1988.
- 2) 遠藤佳宏, 宇野英隆 : 手のひらの回旋力に関する研究, *人間工学*, 18 : 281-283, 1982.
- 3) Fransson, C. et al. : Hand strength : the influence of grip span and grip type. *Ergonomics*, 34 : 881-892, 1991.
- 4) Huang, M.Q. et al. : Pulling force in lateral lifting and lowering. *Ergonomics*, 41 : 899-908, 1998.
- 5) Kinoshita, H. et al. : Grip posture and forces during holding cylindrical objects with circular grips. *Ergonomics*, 39 :

1163-1176, 1996.

- 6) 谷口修 : 人の動作・行動における力の測定 [I] - 手指の動作力測定 - . *松下電工技報*, 21 : 45-48, 1980.
- 7) 徳田哲男, 児玉佳子 : 押引及び回転操作機器の操作高と操作力に関する研究, *人間工学*, 28 : 69-78, 1992.
- 8) Chaffin, D.B. et al. : Volitional postures during maximal push/pull exertions in the sagittal plane, *Human Factors*, 25 : 541-550, 1983.
- 9) Kumar, S. : Electromyography of spinal and abdominal muscles during garden raking with two rakes and rake handles. *Ergonomics*, 38 : 1793-1804, 1995.
- 10) Oldfield, R.C. : The assessment and analysis of handedness : The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9 : 97-113, 1971.
- 11) Laubach, L.L. : Comparative muscular strength of men and women : a review of the literature. *Aviat. Space Environ. Med.*, 47 : 534-542, 1976.
- 12) Mital, A. et al. : Comparison of maximum volitional torque exertion capabilities of males and females using common hand tools. *Human Factors*, 28 : 283-294, 1986.
- 13) Ohtsuki, T. : Inhibition of individual fingers during grip strength exertion. *Ergonomics*, 24 : 21-39, 1981.
- 14) Pheasant, S. et al. : Performance in gripping and turning-a study in hand / handle effectiveness. *Appl. Ergonomics*, 6 : 205-208, 1975.
- 15) Petrofsky, J.S. et al. : The effect of handgrip span on isometric exercise performance. *Ergonomics*, 23 : 1129-1135, 1980.
- 16) Williams, M. et al. : Strength variation through the range of joint motion. *Phy. ther. Rev.* 39 : 145-152, 1959.
- 17) Nordgren, B. : Anthropometric measures and muscle strength in young women. *Scand. J. Rehab. Med.* 4 : 165-169, 1972.
- 18) Warwick, D.G. et al. : Maximum voluntary strengths of male adults in some lifting, pushing and pulling activities. *Ergonomics*, 23 : 49-54, 1980.
- 19) Sanders, M.S. : Peak and sustained isometric force applied to a truck steering wheel. *Human Factors*, 23 : 655-660, 1981.

**Analysis of maximal manipulating force with
the work simulator :
Difference of gender and handle type**

Katsuyuki Shibata, Munehiro Ikuta, Seiji Nishimura
Shinichiro Bishago, Atsushi Takaoka, Tomoji Miyamoto
Yukie Hasegawa, Noriko Miyagawa, Masaharu Suzuki
Yoshikiyo Kaneda, Toshio Teranishi, Miki Tanaka
Ryou Otagawa, Motonori Murata

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the relationship between various types of handles and different forces generated by the hand and arm using the work simulator (BTE WS-20). The work simulator was used to measure the maximal force of 105 young normal subjects consisting of 52 males and 53 females. The handles consisted of pinching, cylindrical grasping, spherical grasping, pulling, pushing, and steering-wheel types. The results showed that the patterns and proportions of the forces were about same among the subjects. However, the overall magnitude of maximal force output was significantly lower in the females than males. Specifically, the force of the pinch and grip in females was 52 to 58 % of that of males, while their pushing, pulling, and rotating force was 67 to 75% of that of males. These findings demonstrate that handle type and gender are factors that affect the force generated by the hand and arm. This will be replicated in studies involving the handicapped and elderly.