

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：34443

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11476

研究課題名（和文）利き手と非利き手の精密把握運動制御機能差について

研究課題名（英文）The differential effects of hand dominance in precision grip force control

研究代表者

木下 博（Kinoshita, Hiroshi）

大阪青山大学・健康科学部・研究員

研究者番号：60161535

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,700,000円

研究成果の概要（和文）：小物体を摘み持ち上げ（動的）および空間保持（静的）する際、およびその物体をレーザーポインター（道具）として使用し標的照射する際の把握力と変位の左右手差を右・左利き者で調べた。右利き者では利き手で物体をしっかりと把握固定する行動が動的・静的操作で、左利き者では静的操作でのみ認められた。右利き社会の環境的要因によって左利き者の右手の力発揮操作機能が利き手寄りであることが示唆された。視覚標的の狙い照射は、把握力を増強して把握器を指内で強く固定する行動をもたらししたが、道具使用による利き手でのより強い促進行動は観察されなかった。レーザーポインターは、把握力操作で利き手有利な道具ではないことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

軽量物体の指先での持ち上げ（動的）運動と安定保持（静的）運動における物体への作用力量や空間位置の安定性が左右の手で異なること、さらに右利きと左利きではそれらの左右手間の差が異なることを初めて明らかにした。また、物体の空間位置の精度を上げる課題においては把握力を増強するために手と物体の固定戦略が採られること、そしてその戦略実行において利き手が非利き手よりも長けていることも明らかにした。これらの発見は、運動制御学、側性科学に留まらず、利き手問題を扱う発達/老化科学、教育学、脳科学、リハビリテーション科学、行動心理学、人間工学などの諸学問領域でも活用可能な情報である。

研究成果の概要（英文）：The present study investigated manual asymmetries in the control of grasping and lifting forces, and displacement of a small object during maneuvers of lifting (dynamic) and holding in space (static), and while aiming a small target using a laser pointer attached to an object (tool). The right-handed individuals grasped and fixed objects with their dominant hand more securely in dynamic and static operations. The left-handed individuals, on the other hand, showed stronger dominant hand gripping behavior only during the static phase. The findings indicated that manual asymmetries affected force application behavior during object manipulation. Environmental factors in right-handed societies seemed to affect left-handers' right-hand dynamic function more dominant. Aimed irradiation of visual targets resulted in more enhanced gripping and fixation of the object, but no more excessive facilitative behavior was observed in the dominant hand due to the use of a laser pointer as a manual tool.

研究分野：運動制御学、バイオメカニクス、運動生理学

キーワード：左右差 利き手 指 把握力 道具使用 ターゲット照射精度 運動制御 把握器

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

利き手の方が非利き手よりも運動機能に優れていることは誰でも実感する。また、利き手を道具使用や物体の把持移動などの動的作業で多用し、非利き手を把握物の安定保持の静的作業で活用することも無意識的に行っている。それらの違いの背景にはそれぞれの手を操作する脳半球の神経機構自体に差異があることも近年明らかとなってきた。物体の操作において脳からの指令の最終段階は指先の力である。それが利き手と非利き手で同じ物体を操作する際にどの程度異なるのかについては十分な解明がなされていない。

2. 研究の目的

本研究では、小物体の精密把握持ち上げ(動的局面)と安定保持(静的局面)で指の力発揮における利き手と非利き手の差、および把握物体にレーザーポインター機能を付けて道具化した場合にその差はより大きくなるのか、さらにそれらが側性差(右利き者と左利き者)で異なるのか、について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

実験参加者は、エジンバラ利き手調査で強い右利き健常青年男女(LQ>85)20名(内女子12名)、および強い左利き健常青年男女(LQ<-75)13名(内女子7名)であった。本研究は、大阪青山大学研究倫理委員会の承認(番号0290)を得て実施された。実験装置は、自作の把握器(高さ=82mm,重量=84g,把握面幅=23mm,把握面=28×28mm,サンドペーパー面)、2台の反力計測器、4台の動ひずみ測定器、変位測定カメラ・増幅器装置、AD変換器、PCで構成した(図1:左図)。把握器には3台の力覚センサと空間変位計測用赤外線LEDを取り付けた。それらにより拇指と示指の把握力および持ち上げ力、把握器の空間変位を計測した。また、把握器に道具機能を持たせるために把握器前面中央部にミニ赤色レーザー光源を固定し、実験課題に応じて把握器自体にレーザーポインター機能が発揮できるようにした。実験機の前方50cmに衝立板(高さ37cm,幅16cm)を置き、そこに浜松ホトニクス社製Siフォトダイオードを照射ターゲット(内径2mm)として埋め込み、照射光による起電信号を増幅、計測した。ターゲットの位置は、把握器が6cm持ち上げられたときにレーザー光が中心に当たる位置とした。把握器の離機時間を正確に計測するために実験机上に反力計測器を固定した(図1:左図)。すべての計測信号は、増幅後各チャンネル300HzでAD変換しPCに取り込んだ。

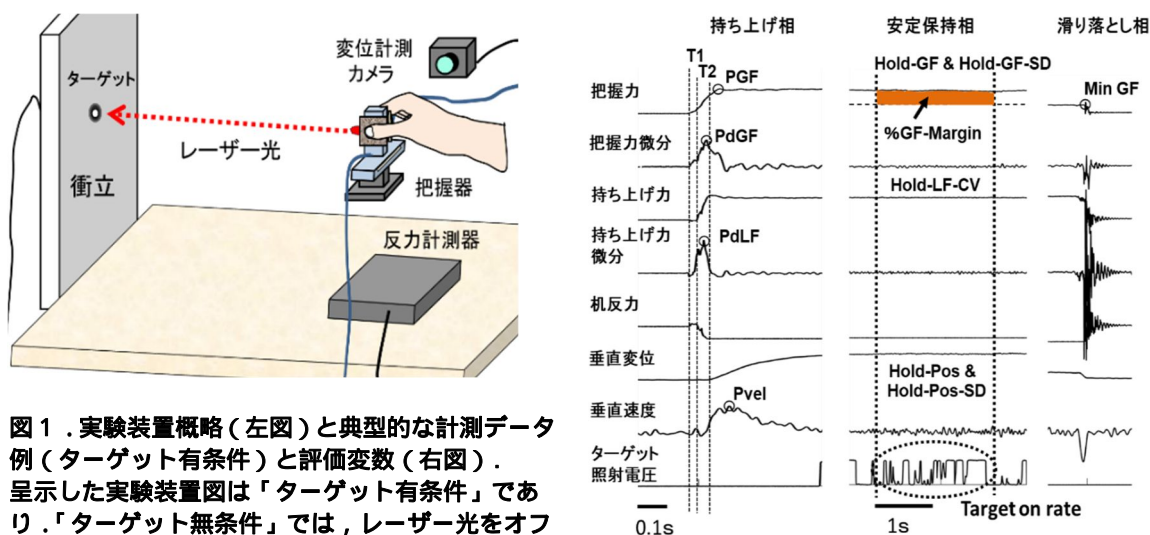


図1. 実験装置概略(左図)と典型的な計測データ例(ターゲット有条件)と評価変数(右図)。呈示した実験装置図は「ターゲット有条件」であり、「ターゲット無条件」では、レーザー光をオフ状態で実施した。

運動課題は、机上の反力計測板上におかれた把握器をPC音の合図で拇指と示指摘み、自然速度で持ち上げ、10秒空間安定(単純安定保持またはターゲット照射)保持した後、第2の音合図で元の位置近辺に置き戻すという一連の作業であり、それをレーザー光でのターゲット照射(ターゲット有)条件とレーザー光なし(ターゲット無)条件で3練習試行後、左右各手で20試行(5試行毎に左右手を変える)を行った。レーザー光有・無条件は、各被験者でランダム提示とした。各課題の最初と最後に把握器を摘み数秒空間保持後把握力を徐々に緩め把握器を滑り落とす試行を左右の手で各5試行実施し、必要最小限の把握力(最小把握力)の平均を各条件で算出した。その最小把握力に基づいて算出された指と把握面の摩擦係数は、左右指ともに平均1.38であり、比較的高摩擦の把握面設定とした。データ解析において把握力は、拇指と示指の平均力を用い、変位データの微分は、バターワース・ローパスフィルター(遮断周波数=12Hz)で円滑した。図1(右図)に典型的な各相のデータ例と評価変数を示した。評価変数は、指の把握器接触に伴う把握力発生から正の持ち上げ力発生までの負荷前時間(T1)、持ち上げ力発生から機反力ゼロ(離機)までの重量負荷時間(T2)、持ち上げ時の把握力ピーク(PGF)、把握力微分ピーク(PdGF)、持ち上げ力微分ピーク(PdLF)、持ち上げ力発生後6秒から8秒までの保持把握力平均(Hold-

GF)と変動(Hold-GF-SD),保持持ち上げ力変動(Hold-LF-SD),保持高(Hold-Pos)とその変動(Hold-Pos-SD)であった。また,滑り落とし試技の把握力データから最小把握力(min GF)を引いた値の保持把握力に占める割合を保持把握力マージン比率(%GF-Margin)として算出した。さらに,照準照射精度の評価指標として保持中間部の2秒間で照射による起電圧が0.5V(照射スポット光径の約25%がフォトセンサに照射されたときの電圧)を超えた時間が2秒間に占める割合を算出した。データの統計解析は,すべて統計ソフト「R」の対応のあるt-検定,または2元配置の繰り返しのある分散分析を用い,統計の有意水準は0.05とした。

4. 研究成果

(1) 右利き者での利き手優位に関して

右利き者の動的運動課題である把握持ち上げ作業での各評価変数における平均値とANOVAの結果を表1に示した。手とターゲットとの交互作用効果がPdGFで,左右の手の主効果がPGFとPdGFで認められた。交互作用効果は,ターゲットが有る場合に比べて,ターゲット無しでは左手(非利き手)での把握力発揮率(微分値)ピークが小さかったことによるものであった。把握力に関する変数(PGFとPdGF)は,どちらも利き手の右手の方が,より強い把握力発揮で物体の持ち上げを実施していたことを示した。物体の持ち上げに要する時間(T2)がいずれも150ms以下の短時間での運動であることからすると,ここでは開ループ(フィードフォワード)の運動制御が行われていたことを示唆した。この時間帯でのより大きな把握力発揮は,おそらくフィードフォワード制御が利き手でより促進されていたことを示していると考えられた,これは,左脳半球損傷によって素早い開ループ運動実行能力が大きく減退し,右脳半球損傷で感覚入力に依存した閉ループ(フィードバック的)制御機能が減退するという左右の脳損傷患者の観察報告と一致した¹⁾。さらに,視覚標的への手の素早い到達運動に関する行動学的な研究報告とも一致した²⁾。

表1. 右利き者群の持ち上げ相の結果(平均値とSD(下段))

ターゲット	右手	左手	右手	左手	分散分析の結果		
	無し	無し	有り	有り	左右手	ターゲット	交互作用
T1 (ms)	84.9	75.7	69.5	74.8	ns	ns	ns
	69.6	59.6	47.0	41.8			
T2 (ms)	136.7	131.4	127.2	129.0	ns	ns	ns
	41.3	44.9	47.5	48.5			
PGF (N)	1.03	0.97	1.24	1.22	p<0.1	p<0.001	ns
	0.24	0.24	0.38	0.36			
PdGF (N/s)	8.95	7.50	8.99	8.62	p<0.05	ns	p<0.01
	3.05	2.58	2.93	2.50			
PdLF(N/s)	13.3	12.5	12.4	12.9	ns	ns	ns
	3.4	3.4	2.6	2.9			
Pvel (mm/s)	169.4	155.3	142.3	141.5	ns	ns	ns
	63.3	54.5	30.1	28.7			

ns: 有意差なし

空間保持相に関する結果を表2に示した。すべての評価変数において手とターゲットの交互作用効果は認められず,手の主効果が安定保持把握力(Hold-GF),その把握力の相対マージン量(Hold-GF-margin),安定保持持ち上げ力の変動(SD)値(Hold-GF-SD)で認められた。これらの結果は,右の利き手の方が空間保持中の把持力が強く,それは余剰(随意)の力発揮が大きいことを示していた。安定保持中の持ち上げ力の変動もターゲットの有無に関わらず,右手は変動が小さく,より安定した物体保持が実行されていた。また,ターゲット照射精度率(Target-on-Rate)においても右手の方が左手よりも有意に安定していた。Sainburg³⁾は,右利き者での右腕が動的の局面で左腕よりも上肢各部位の運動に伴う慣性力を上手く利用してより直線的に,そして短時間でターゲットに到達できる利き手であるのに対して,左腕は,安定した姿勢制御機能面で優れており,その運動課題遂行においては左手が利き手と定義できるというdynamic dominance theoryを提唱している。一方,今回の右利き者の精密把握運動における空間での安定保持姿勢の確保に関しては,右手の方が総体的に優れているという結果であり,Sainburg³⁾の静的の局面に関する説には準じなかった。また,脳損傷者の観察から左手/右半球システムが感覚フィードバックをより有効に利用する制御機能で右手/左半球システムよりも優れている,という報告とも一致しなかった¹⁾。おそらく,指先での小物体の安定操作は,触覚や筋感覚などの体性感覚処理脳と運動野から直接脊髄の運動ニューロンに投射する皮質脊髄路を介した指の巧緻性運動特有の連携機構によるものであり,到達運動での上肢全体での姿勢運動制御(錐体外路)系とは少し異なる機構となっているのかもしれない。また,本研究での静的な運動課題は「把握器を一定位置で安定保持するように」そしてターゲット照射課題では「ターゲットの中心を正確に照射し続けるように」であり正確性を重視する教示であった。これにより各被験者は物体の空間での安定保持促進のために物体と指(手や手首)とを一体化させ,そこで自由度を減少させる制御戦略を採り,その行動が能動的なものであった可能性も考えられる。拇指と示指の対抗的で等尺性の力発揮の増大は,おそらくその制御戦略の一環であり,今回の結果は,それが右手の

方が左手よりもより忠実に実行できる感覚運動システムを有していることを示唆していた。事実、運動者の意図（能動性）を強く反映した把握力マージンが右手で明らかに大きく、また安定保持中の持ち上げ力の変動もより小さく、そしてターゲット照射精度も高いという結果は、それを支持するものと考えられる。

表2. 右利き者群の空間保持相と滑り落とし相の結果(平均とSD(下段))

ターゲット	右手	左手	右手	左手	分散分析の結果		
	無し	無し	有り	有り	左右手	ターゲット	交互作用
Hold-GF (N)	0.78	0.74	1.22	1.12	p<0.05	p<0.001	ns
	0.18	0.17	0.30	0.26			
%Hold-GF-margin (%)	56.92	54.17	72.96	70.23	p<0.05	p<0.001	ns
	13.93	13.36	6.70	7.36			
Hold-GF-SD (N)	0.019	0.020	0.018	0.020	ns	ns	ns
	0.006	0.007	0.006	0.007			
Hold-LF-SD (N) (Nx1000)	3.67	3.99	4.22	4.66	P<0.001	p<0.001	ns
	0.38	0.05	0.57	0.71			
Hold-Pos (mm)	55.3	55.6	55.9	57.2	ns	ns	ns
	15.0	12.7	5.6	6.5			
Hold-Pos-SD (mm)	0.094	0.098	0.060	0.062	ns	p<0.001	ns
	0.023	0.035	0.005	0.008			
Target-on-Rate (%)			79.0	75.5	p<0.05		
			9.3	11.7			
Min-GF (N)	0.31	0.32	0.31	0.32	ns	ns	ns
	0.04	0.05	0.04	0.04			

(2) 道具使用の影響に関して

レーザーポインター機能を備えた把握器で道具使用の利き手優位への影響を調べた。多くの利き手調査項目が示唆するように我々の利き手・非利き手は、日常の道具の使用頻度で判別されており、右利き者では、右手が圧倒的に高頻度でその役割を果たしている。また、道具使用に関わる主要な神経ネットワークが左脳半球にあることも良く知られる⁴⁾。したがって、把握器が道具として認識・操作される場合とそうではない(レーザーポインター無し条件の場合)では、左右手の運動操作機能にも違いが表出することが予想された。しかし、その予想に反して本研究の結果は、いずれの評価変数においても手とターゲット間の交互作用効果は認められなかった。これは、レーザーポインターが鉛筆、ナイフ、ハンマー、ボール、マウスなどのように利き手使用時により有利となるような道具ではなかった可能性が考えられ、道具面での工夫を加えて再度検討する必要があると考えられる。

(3) ターゲットの有無の影響について

ターゲット照射課題は、ターゲット無し課題に比べて、持ち上げ相から安定保持相における把握力とそのマージンを顕著に増大させた。また、ターゲット照射により保持高の変動も明らかに減少しており、把握器の空間位置がより安定していた。ターゲットの存在は、上記のように把握力の増強による物体の指先での固定戦略の促進を促すと考えられたが、さらにターゲット有りの条件では物体保持とターゲット照射という二重課題による中枢神経系機能への負荷増大が関係した可能性も考えられる。Guilleryら⁵⁾は、目の前の画面に提示される写真内の標的物(煙突や車など)の計数作業と無地の画面中央に表示されるプラスサインの単純注視作業での精密把握運動中の把握力を比べた結果、計数作業で把握力とそのマージンが明らかに増大することを発見した。精密把握運動での指先の力は、末梢の感覚神経機能と高次の中枢神経機能の密な連携によって保持に必要な最小な量に調節されているが、双方またはどちらかの機能低下は、不意の物体滑り落としの危険度を高めてしまう。それを防止する戦略としての把握力の増強策を我々は長年の物体把握経験を通して学んでいる。Guilleryら⁵⁾は、中枢神経系への追加的な負荷は、その調節用への神経活動の供給割合を低減させていると説明している。本研究でのターゲット照射作業も運動者の認知と注意機能を要する課題であったことからすると今回の把握力に関する結果も中枢神経系への追加的な負荷が調節機能に影響を及ぼした可能性はあり得る。

(4) 左利き者での影響に関して

日常生活での物体操作において左手を優先して活用する左利き人口の割合は、国を問わずして10%程度である。これらの左利き者が右利き者の物体把握・操作で観察された力発揮機能での利き手・非利き手の行動差と同様になるのか、について検討を加えた。表2と表3にそれぞれ持ち上げ相と安定保持相での左利き者群の各評価変数の平均値および統計結果を示した。動的な局面での持ち上げ相における左利き者での利き手(左手)の優位は、すべての変数で認められなかった。右利き者では、持ち上げ相において把握力制御に関する変数(PGFとPdGF)で利き手がより強い力発揮が認められたが、左利き者では観察されなかった。利き手が非利き手よりも運動機能に優れている背景には、脳半球に生来備わった機能と環境適応に沿った訓練効果とし

ての後天的機能の影響が考えられるが、指先での小物体の微細な操作では、おそらく後者の影響が強い。右利き社会での日常生活において左利き者の非利き手は、その影響を受けることが多く、左右の手の運動機能差も右利き者よりも小さいことが考えられる。今回の結果もそれを反映した可能性が高い。一方、空間保持相では、ターゲットの有無に関わらず左手の方が右手よりも保持中の把握力とそのマージンが大きく、保持高の揺れも少ないこと、そしてターゲット照射ではその精度も高いことが明らかとなった。したがって、左利きにおいてもフィードバック的な運動制御では利き手とその制御脳でより優れているおり、末梢感覚と中枢指令との連携による指先の行動は、右・左利きに関わらず利き手側でより強化されていると考えられた。また、レーザーポインターの左右手差への影響（道具効果）は、右利き者と同様に顕著ではなかった。

表3. 左利き者群の持ち上げ相の結果（平均値とSD(下段)）

ターゲット	右手	左手	右手	左手	分散分析の結果		
	無し	無し	有り	有り	左右手	ターゲット	交互作用
T1 (ms)	84.9	75.7	69.5	74.8	ns	ns	ns
	69.6	59.6	47.0	41.8			
T2 (ms)	136.7	131.4	127.2	129.0	ns	ns	ns
	41.3	44.9	47.5	48.5			
PGF (N)	1.03	0.97	1.24	1.22	p<0.1	p<0.001	ns
	0.24	0.24	0.38	0.36			
PdGF (N/s)	8.95	7.50	8.99	8.62	p<0.05	ns	p<0.01
	3.05	2.58	2.93	2.50			
PdLF(N/s)	13.3	12.5	12.4	12.9	ns	ns	ns
	3.4	3.4	2.6	2.9			
Pvel (mm/s)	169.4	155.3	142.3	141.5	ns	ns	ns
	63.3	54.5	30.1	28.7			

表4. 左利き者群の空間保持相と滑り落とし相の結果(平均とSD(下段))

ターゲット	右手	左手	右手	左手	分散分析の結果		
	無し	無し	有り	有り	左右手	ターゲット	交互作用
Hold-GF (N)	0.78	0.86	1.17	1.23	p < 0.05	p < 0.001	ns
	0.19	0.21	0.31	0.36			
%Hold-GF-margin (%)	59.54	63.25	72.85	73.99	p < 0.05	p < 0.001	ns
	11.55	9.52	7.15	7.03			
Hold-GF-SD (N)	0.022	0.022	0.030	0.031	ns	p < 0.05	ns
	0.007	0.007	0.013	0.015			
Hold-LF-SD (N) (Nx1000)	5.26	5.35	5.63	5.46	ns	ns	ns
	1.40	1.24	1.23	0.93			
Hold-Pos (mm)	61.4	44.8	61.4	58.3	ns	ns	ns
	11.5	15.8	8.3	9.3			
Hold-Pos-SD (mm)	1.01	0.96	0.71	0.65	p < 0.05	p < 0.05	ns
	0.30	0.31	0.18	0.16			
Target-on-Rate (%)			73.40	76.80	p<0.05		
			12.90	10.80			
Min-GF (N)	0.30	0.3	0.3	0.30	ns	ns	ns
	0.03	0.02	0.03	0.02			

参考文献

- 1) Haaland KY & Harrington DL. Hemispheric asymmetry of movement. *Curr Opin Neurobiol*, 6,796-800, 1996.
- 2) Elliott D, Helsen, WF & Chua R. A century later: Woodworth's (1899) two component model of goal-directed aiming. *Psychol Bull*, 127, 342-357, 2001.
- 3) Sainburg RL. Evidence for a dynamic-dominance hypothesis, *Exp Brain Res*. 142, 241-258, 2002.
- 4) Johnson-Frey SH. The neural bases of complex tool use in humans. *Trends Cogn Sci*. 8, 71-78, 2004.
- 5) Guillery E, Mouraux A & Thonnard JL. Cognitive-motor interference while grasping, lifting, and holding objects. *Plos One*, 8, e80125, 2013.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 木下 博, 中西康人, 奥野竜平
2. 発表標題 小物体操作における左右手差および性差
3. 学会等名 第 44 回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 木下 博 中西 康人
2. 発表標題 左利き者の精密把握運動制御における左右手差について
3. 学会等名 第43回バイオメカニズム学術講演
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木下 博
2. 発表標題 把握力制御：軽量物体操作からボール投球
3. 学会等名 シンポジウム：身体運動、知覚、認知の時空間的協応
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木下 博 中西 康人
2. 発表標題 左右手の差異が精密把握運動制御に及ぼす影響について
3. 学会等名 第42回バイオメカニズム学術講演
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	中西 康人 (Nakanishi Yasuto) (50622669)	大阪産業大学・スポーツ健康学部・教授 (34407)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------