

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K20312

研究課題名(和文)長さの異なる対象物のつまみ動作におけるヒトの把持戦略の研究

研究課題名(英文)Research of Grasp Planning of Human during Pinching Motion for Different Length

研究代表者

富岡 雅弘(Tomioka, Masahiro)

秋田大学・理工学研究科・助教

研究者番号：00838683

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、高齢者の単身世帯の増加に伴い、高齢者の自立した日常生活を支援する技術の重要性が高まっている。これらの支援技術を開発するためにはヒトの動作の特徴を知ることが必要不可欠である。これまでの研究で「着衣」や「食事」などの日常生活の中で基本となる示指および母指を使ったつまみ動作に着目し、示指と母指の姿勢の関係、各指の指腹部における対象物との接触位置の関係について研究してきた。しかしながら、これまでの研究では対象物をつまんだ瞬間の動作解析に留まっている。本研究では、これまで習得した技術や知見を活かし、つまみ動作を解析することで、ヒトが対象物を認識し把持するまでの戦略を顕在化する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られる知見は、ヒトが感覚的に行なっている動作の特徴を定量的に抽出した結果である。従来、ヒトが行っていた作業をロボットが代替する未来はそう遠くないことが想像できる。ロボットに代わりに作業をさせる場合、ヒトの動作により近い動きが再現できれば、作業の汎用性は大幅に広がる。そのようなロボットを開発するためにはヒトの様々な動作における特徴の知見を集めることは必要不可欠である。本研究はヒトの数ある動作の中でも極めて重要性の高い手指の巧緻動作における知見を抽出するものであり、創造性は極めて高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In recent years, with the increase in the number of single-person households of the elderly, the importance of technologies to support the independent daily lives of the elderly has increased. In order to develop these assistive technologies, it is essential to understand the characteristics of human movement. In previous studies, we have focused on the pinching movements using the index finger and the thumb, which are basic in daily life such as "dressing" and "eating". We have studied the relationship between the posture of the index finger and the mother finger, and the relationship between the contact position of each finger with the object in the finger palmar. However, previous studies have only analyzed the momentary movement when the object is pinched. In this study, we will utilize the techniques and knowledge we have acquired so far to analyze the pinching motion to reveal the strategies by which humans recognize and grasp an object.

研究分野：生体工学

キーワード：把持戦略 つまみ動作 モーションキャプチャ 若年者 高齢者 手指巧緻動作

1. 研究開始当初の背景

近年、高齢者の単身世帯が増加傾向にある。このような状況で、老化に伴う ADL (Activity of Daily Life: 日常生活動作) および IADL (Instrumental Activity of Daily Life: 手段的日常生活動作) が低下した高齢者は、自立した生活を送ることが困難となっている。そのため、日常生活を支援する技術の重要性が高まっている。高齢者が自立した生活を送るためには、「シャツのボタンの留め外し」や「靴の紐を結ぶ」などの着衣動作および「箸」や「フォーク」などを使った食事動作などの指先を使った巧緻動作が必要不可欠である。しかしながら、高齢者は指先の巧緻動作を含めた上肢機能が低下する傾向にある。手指の日常動作に関わる一連の運動・感覚機能テストでは、老化に伴い運動・感覚機能が顕著に低下することが報告されている (Hackel ME et al. *Phys Ther*, 72, 1992)。また各指と母指を対抗させた時の最大つまみ力を若年者と高齢者で比較した研究では、どの指においても高齢者で最大つまみ力が低下することが明らかとなっている (Ranganathan VK et al. *J Am Geriatr Soc*, 49, 2001)。このような高齢者における手指の運動機能の低下は、QOL (Quality of Life) の低下に直結する。そのため、「ADL および IADL の低下を緩和するためのリハビリテーション」や、着衣動作や食事動作などの「日常生活における動作を補助するための遠隔支援型ロボットなどの支援技術」により QOL 向上が期待できる。これらの支援技術を開発するためにはヒトの動作の特徴を知ることが必要不可欠である。ヒトの動作の特徴抽出に関する先行研究としては、身体全体の動作 (粗大動作) に着目した研究が多く、指先の細かな動き (巧緻動作) に着目した研究は少ない。また、ヒトの手指動作の特徴に関する先行研究としては、把持力などに着目した研究がほとんどで手指の細かな動作に着目した研究は未だ少ない。ヒトの脳内において、手指巧緻動作を制御する領域は粗大動作を制御する領域に等しく、身体全体の動作を制御する領域の大部分を占める。ヒトの手指巧緻動作はそれだけ複雑な動作であり、これらの知見は非常に少ない。日常生活を支援する技術の重要性が高まっている中、これらを開発するためにはヒトの動作の特徴を知ることが必要不可欠である。

申請者はこれまでに、「着衣」や「食事」などの日常生活動作の中で基本となる示指および母指によるつまみ動作に着目し、長さの異なる対象物をつまんだ際の示指および母指の姿勢や指腹部における対象物との接触位置の関係について研究してきた。若年者および高齢者のつまみ動作を計測および解析することで老化に伴う把持動作の違いを検証した。その結果、若年者と高齢者で示指および母指の姿勢の関係に違いはみられなかったが、対象物との接触位置については違いがあることが明らかとなった。しかしながら、これまでの研究では対象物をつまんだ瞬間の動作解析に留まっており、ヒトが対象物を視覚的に認識し指の形状を制御する把持戦略を明らかにすることには至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、高分解能な磁気式手指用モーションキャプチャ (Hand-MoCap) 装置を使用し、実際に手指巧緻動作を計測および解析することで、ヒトの手指巧緻動作における把持戦略の特徴を抽出することが目的である。日常生活動作における基本動作としてつまみ動作に着目し長さの異なる対象物をつまんだ際の把持戦略を定量的に評価する。ヒトが対象物を把持しようとする場合、手が物体に届く前のリーチング (到達運動) から把持が完了するグラスピング (把持運動) までの過程において、視覚情報を基に、対象物の大きさや形に応じて手指形状を準備する。この行動をプリシェイピングといい、ヒトは瞬時に把持に必要な動作を最適化している。若年者と運動機能が低下した高齢者の把持動作を比較することで老化がプリシェイピングに与える影響を検討する。

- (1) 把持対象物の設計および作製
- (2) 若年者および高齢者の把持動作の計測
- (3) 若年者および高齢者の把持動作の解析
- (4) 若年者と高齢者の把持動作の比較

3. 研究の方法

- (1) 把持対象物の設計および作製

本研究では長さの異なる対象物のつまみ動作を計測する。そのため、つまむ対象は任意の長さの細い円柱を想定する。対象物の長さは 10mm から 105mm まで 5mm 間隔で計 20 パターンを 3DCAD ソフトで設計し、3D プリンタによって ABS 樹脂により造形する。また、つまむ対象の棒は横一列に等間隔で並べる。さらに、磁気式 Hand-MoCap 装置を使用して、計測システムを構築する。

- (2) 若年者および高齢者の把持動作の計測

被験者は立った状態で計測を開始し、長さが短い対象物から順番につまんでもらう。「安定してつまみ上げることができる」と思った時点でゲームパッドのスイッチを押す。スイッチを押した瞬間のデータを PC で自動的に記録する。これにより、対象物をつまんだ際の手指の軌道、指先の三次元的な位置および姿勢を計測する。

(3) 若年者および高齢者の把持動作の解析

手指に装着したレーザーで計測した MoCap データから手指の軌道および指先の指骨の位置および姿勢を算出するためのプログラムを作成する。それにより、対象物に対するアプローチの軌跡の解析およびどのタイミングでプリシェイピングが実行されているかを明らかにできると考えている。

(4) 若年者と高齢者の把持動作の比較

若年者と高齢者の解析結果を比較することで、老化が把持戦略に与える影響を顕在化する。それにより、高齢者などの把持戦略などを定量的に評価できるようになり、リハビリテーションなどにも応用できるのではないかと期待している。

4. 研究成果

(1) 把持対象物の設計および作製、計測システムの構築

本研究では長さの異なる対象物のつまみ動作を計測するため、対象物は任意の長さの細い円柱とした。対象物の長さは10mmから105mmまで5mm間隔で計20パターンを3DCADソフトで設計し、3DプリンタによってABS樹脂により造形した。図1に造形したつまみ対象物の3Dモデルを示す。つまむ際に指先に触れる部分は接触位置を絞り込むために2.5mmと細く設計し、それ以外の部分はつまんだ際のたわみを防止するため5mmと太く設計した。また、つまむ対象の棒は横一列に等間隔に並べた。図2に計測システムの構成および計測風景を示す。磁気式 Hand-MoCap 装置は、デジタイザ本体とトランスミッタ、3個のレーザー、PCおよびUSBゲームパッドで構成した。磁気式 Hand-MoCap 装置には、三次元位置姿勢計測装置 LibertyTM16 System (Polhemus 社) を採用した。Liberty は1つのトランスミッタ、複数のレーザーおよびトランスミッタに対するレーザーの相対的な位置と姿勢の計6自由度を算出する電子回路で構成されている。レーザーは各指の爪の上に1つずつ、手の甲に1つ配置し、隣接するレーザー同士の接触、関節運動の妨げにならないように配置している。1つのレーザーあたりのサンプリングレートは240Hzであり、0.004mmの位置分解能、0.0012degの角度分解能を有している。

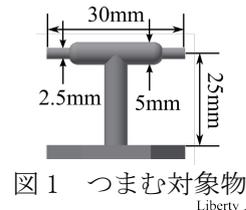


図1 つまむ対象物

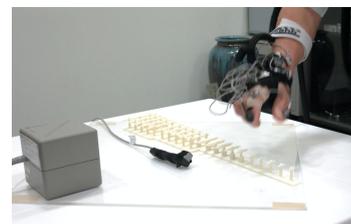
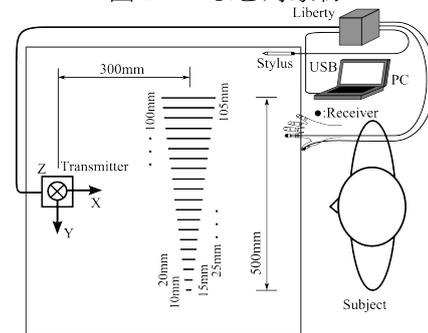


図2 計測システムの構成

(2) 若年者および高齢者の把持動作の計測

ヒトが無意識のうちに実行している「把持戦略」を抽出するためには、つまみ動作をする際に「視覚で対象物を認識し、実際につまむ」という一連の動作を計測しなければならない。これらを満たす最適な計測条件を設定した。被験者は立った状態で計測を開始し、長さが短い対象物から順番につまんでもらった。対象物を「安定してつまみ上げることができる」と思った時点でゲームパッドのスイッチを押す。スイッチを押した瞬間のデータをPCで自動的に記録するような計測プログラムを作成した。本計測プログラムは被験者自身に測定開始と終了のタイミングを委ねており、各被験者の「感覚的な動作」を測定できる最適な条件であると考えている。この計測プログラムを使用して若年者31名、高齢者18名、計49名の被験者を計測した。

本計測では、ターゲットの両端を示指と母指でつまむ動作を計測したが、ターゲットは卓上に固定させているため、実際にターゲットを持ち上げる動作は実施していない。被験者にはターゲットの長さが短いものから順番に摘んでいき、10mmから105mmの全20種類のターゲットを1つずつ全て摘む動作を1セッションとし、1人の被験者に対して5セッション計測した。教示条件としては、「立った状態で計測を開始し、摘む対象のターゲットの正面に体を移動させながら計測する」、「被験者自身の大腿部をスタート地点とし、一度自身の太ももの上に手を置いてから次のターゲットに移動する」様に教示しており、実際に教示条件が守られていることは、撮影したビデオ映像を基に確認した。

(3) 若年者および高齢者の把持動作の解析・把持動作の比較

計測データを基に「母指および示指と対象物との姿勢」、「各指の指腹部と対象物との接触位置」、「手指が対象物に届く間の軌道」を解析するためのプログラムを作成した。また、解

析において、過去の研究および計測時にとったアンケートの結果より 60mm の対象物が最も「つまみやすい」と回答していること、85mm 以上の対象物ではほぼ「指先でつまむ」という動作ができていないことから 80 mm以下の長さの対象物に絞って解析した。

① 母指および示指と対象物との姿勢

長さの異なる対象物をつまんだ際の対象物に対する各指の姿勢を計測データより解析した。図 3 に示指および母指に設定したローカル座標系を示す。対象物をつまんだ際の各指の姿勢を比較するために、母指に対する示指の姿勢を解析する必要があると考えた。そのため、各指にローカル座標系を設定して母指に対する示指の姿勢を算出するプログラムを作成した。図 4 に母指のローカル座標系からみた示指の位置の変化を示す。図 4 (a) に若年者、(b) に高齢者の一例を示す。図 4 は鳥観図で示している。図 4 より、若年者と高齢者で Z 成分の変化に最も違いがあることが明らかとなった。この結果より、若年者と高齢者では母指の対立運動に違いがあるのではないかと考えた。図 5 に母指示指対立姿勢を示す。図 5 (a) に示指と母指の指腹部が向かい合うように対立している状態(母指掌側示指対立)、同図 (b) に示指の指腹部に対し、母指が側面に対立している状態(母指側面示指対立)を示す。図 5 より、母指掌側示指対立の状態では示指と母指の距離が離れると Z 成分の値が最も変化する。それに対し、母指側面示指対立の状態だと Z 成分だけでなく、Y 成分の値も大きく変化する。若年者の約 80%はこの母指掌側対立に分類できた。それに対し、若年者の残りの 20%とすべての高齢者は母指側面示指対立に分類できると考えた。この傾向は申請者の過去の研究と一致しており、被験者を増やしても同様の傾向があることがわかった。

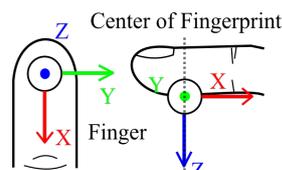
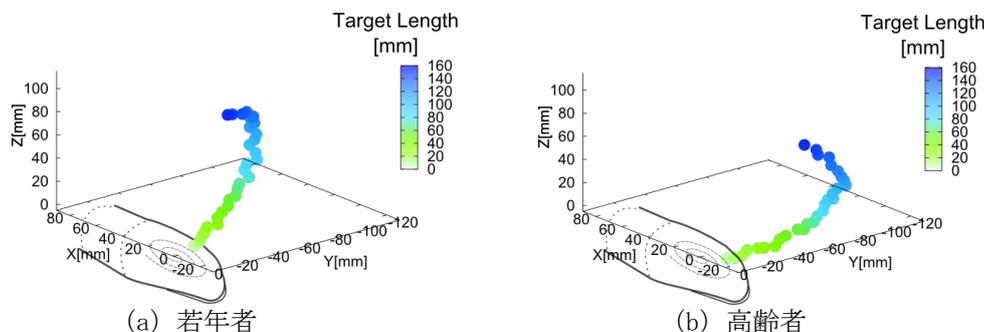


図 3 各指のローカル座標系

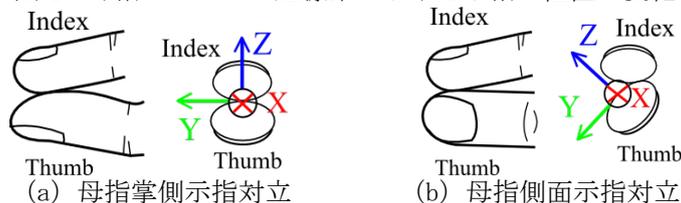
図 4 (a) に若年者、(b) に高齢者の一例を示す。図 4 は鳥観図で示している。図 4 より、若年者と高齢者で Z 成分の変化に最も違いがあることが明らかとなった。この結果より、若年者と高齢者では母指の対立運動に違いがあるのではないかと考えた。図 5 に母指示指対立姿勢を示す。図 5 (a) に示指と母指の指腹部が向かい合うように対立している状態(母指掌側示指対立)、同図 (b) に示指の指腹部に対し、母指が側面に対立している状態(母指側面示指対立)を示す。図 5 より、母指掌側示指対立の状態では示指と母指の距離が離れると Z 成分の値が最も変化する。それに対し、母指側面示指対立の状態だと Z 成分だけでなく、Y 成分の値も大きく変化する。若年者の約 80%はこの母指掌側対立に分類できた。それに対し、若年者の残りの 20%とすべての高齢者は母指側面示指対立に分類できると考えた。この傾向は申請者の過去の研究と一致しており、被験者を増やしても同様の傾向があることがわかった。



(a) 若年者

(b) 高齢者

図 4 母指のローカル座標系からみた示指の位置の変化



(a) 母指掌側示指対立

(b) 母指側面示指対立

図 5 母指の対立姿勢

② 各指の指腹部と対象物の接触位置

若年者と高齢者における対象物に対する指腹部の接触位置を明らかにするため、長さの異なる対象物に対する各指の指腹部における接触位置について計測データを解析した。図 6 に示指および母指の指腹部における対象物との接触位置を示す。図 6 (a) に若年者、同図 (b) に高齢者の結果を示す。図 6 の縦軸は Y 成分、横軸は X 成分を示す。各プロット点は被験者全員の平均値である。凡例はターゲットの長さを示しており、短いターゲットを薄い色で示し、長くなるにしたがい濃い色になるようグラデーションで表現している。若年者における接触位置は、示指では指紋の中心から約 4mm 程度、母指では約 7mm 程度指先に分布しており、どちらの指でも Y 成分においてはほぼ中心に分布することがわかった。それに対し、高齢者における接触位置は、示指では指紋の中心から約 8mm 程度、母指では約 11mm 程度と若年者に比べ約 2 倍程度指先寄り分布した。また、Y 成分で見ると示指では指腹部の中心からみて-方向、母指では+方向にズレることがわかった。さらに、若年者では X 成分でのズレが大きいに対し、高齢者では Y 成分のズレが大きいことがわかった。各指の私服部と対象物の接触位置の解析においても過去の研究成果の傾向と同様の傾向が得られた。

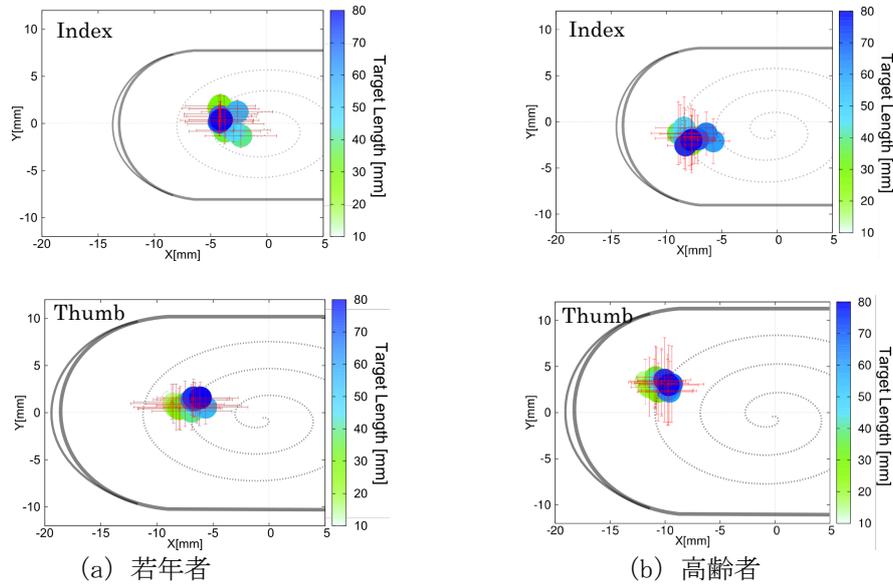


図6 示指および母指の指腹部における対象物との接触位置

③ 手指が対象物に届く間の軌道

図7に被験者1人分の摘み動作における示指および母指におけるZX平面での動作軌跡を示す. 各プロット点は5セット分の平均値である. 図7(a)に対象物の長さが10mmの場合, 同図(b)が40mmの場合, 同図(c)が80mmの場合の示指および母指の動作軌跡を示す. 縦軸はZ成分, 横軸はX成分を示す. 赤のプロット点是对象物の位置, オレンジ色のプロット点は示指, 紫色のプロット点は母指を示す. 図7より, 対象物の長さに関わらず円弧を描いた軌跡となることがわかる. また, 対象物の長さに応じて示指と母指の間の距離も変化していることがわかる. さらに, 対象物上に指が到達した際に示指と母指の軌跡が交差し, この位置で対象物の長さに示指と母指の距離が対応していることがわかる. これはヒトの脳内処理におけるプリシェイピングの影響であると考えた. ヒトが対象物体は把持する場合, 手先は初期位置から目標位置までの2点間をベル型の速度パターンで移動しており, 無意識下で滑らかな軌道を生成している. それと同時に, 視覚情報として得られた物体の大きさや形に応じて, プリシェイピングにより, 適切な手の形を準備する. よってこの被験者は, 対象物上に指が到達した際に, プリシェイピングにより対象となる対象物の長さに示指と母指の距離を調整していると考えた.

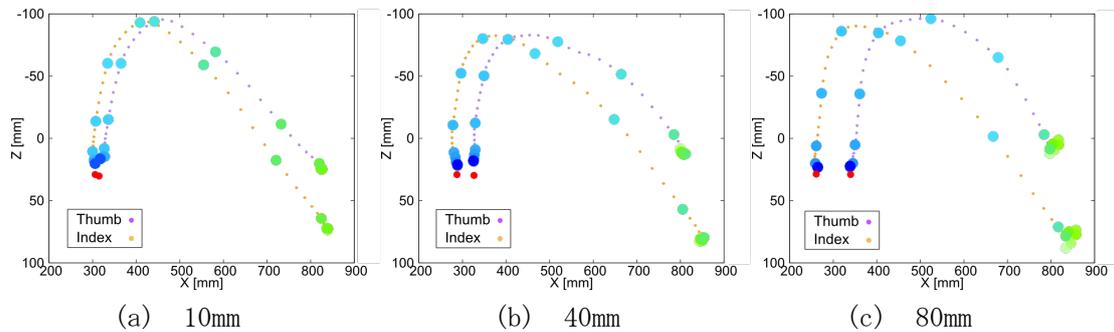


図7 つまみ動作の軌跡

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

論文は現在「A Study on Human Grasping Strategy in Pinching Motion of Objects of Different Lengths」というタイトルで執筆中である。

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------