

平成22年4月28日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19500465  
 研究課題名（和文） 視覚入力の有無が精密把握運動における把握力調節に及ぼす影響  
 研究課題名（英文） The effect of visual input on force control during lifting of an object using precision grip  
 研究代表者  
 津田 勇人 (TUDA HAYATO)  
 大阪河崎リハビリテーション大学リハビリテーション学部リハビリテーション学科  
 作業療法学・教授 研究者番号：104441148

研究成果の概要：精密把握力調節における視覚入力の影響を明らかにするため、把握装置と実験テーブル及び解析ソフトを開発し、把握装置の摘み力と持ち上げ力について、健常者（開眼・閉眼）と視覚障害者（全盲）を対象に実験を行った。その結果、視覚入力がない場合、視覚入力を補うために、指先皮膚に存在する感覚受容器が、物体の摩擦状況や指先皮膚でのスリップ、物体操作時に起こる振動などの事象を検出し、その情報が摘み力の修正に利用されているためであることが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学、福祉工学

キーワード：作業療法学、精密把握運動、視覚、把握力調節

## 1. 研究開始当初の背景

手を巧みに操るために視覚情報は重要である。把握動作が実行される以前に物体の特徴（大きさ・形状など）が視覚入力を介して脳内で処理され、最適な手の形状や把握力が準備される。このような運動準備はフィードフォワード系運動制御を視覚入力に依存して遂行される。一方、物体を把握した後は、把握した物体の特性、特に接触面の状態（滑りやすい・滑りにくいなど）や重量に対応して、発揮する摘み力を調節する。

我々はこの精密把握運動中の把握力がどのように制御されているのかについての理解を深めるために一連の研究を実施し、以下について報告を行ってきた。

(1)1992・1994年

①成人では把握運動・持ち上げ運動ともに円滑で、指による把握力制御系と手および前腕

による持ち上げ力制御系がほぼ同時に操作される協同作業機能を有していた。

②小児では把握力・持ち上げ力関係からみた摘み動作と手および前腕の屈曲動作の協調的運動能力は5歳頃までに急速に発達していた。

(3)1996・1997年

①高齢者は成人に比較して、指による把握力制御局面では加齢による影響がみられ、指先の接触に要する時間および持ち上げ動作に移行する時間が延長していた。

②高齢者は成人に比較して、手および前腕による持ち上げ力制御局面では、成人と異なる戦略が多く用いられ、摘み力や持ち上げ力の発揮パターンに大きな変動を認め、これら変化量は加齢に伴い増加していた。

③持ち上げた物体を保持する局面でも加齢による影響がみられ、余剰な把握力が発揮さ

れていた。

(4)2000年

動作と反対側（以下「反対側」）の一次運動野、一次感覚野、運動前野、補足運動野、帯状回運動野と、動作側（以下「同側」）の一次運動野、補足運動野、下頭頂葉に、皮質下の領域では小脳の両側半球と虫部、反対側の基底核と視床にも有意な賦活を認めた。

(5)2003年

運動中には、一次運動野、一次感覚野、運動前野、補足運動野、帯状回運動野、頭頂葉、前頭葉、後頭葉、視床、小脳に有意な賦活を得た。

(6)2005年

カーテン越し摘み」から「開眼摘み」を差分した場合、前頭前野、後頭皮質、側頭皮質、大脳基底核で有意な賦活を認めたことを報告した。

## 2. 研究の目的

把握力調節の観点と脳賦活領域の観点から「精密把握」に関する一連の研究を実施してきたが、把握力や持ち上げ力の調節における視覚入力の影響については、未だ明らかにされていない。本研究では、健常者と視覚障害者（全盲）・高齢者を対象に「開眼摘み」、「閉眼摘み」、「カーテン越し摘み」条件下で「精密把握」を用いて物体を把握するときの摘み力・持ち上げ力・持ち上げた物体の保持力と動作局面での所要時間を測定し、「精密把握」運動の把握力調節における視覚入力の影響を調べることを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験器具について

①把握装置：把握装置（以下、物体）は3次元フォースセンサ2個とポジションセンサ1個を取り付けた高さ約95mm、基底部分の直径約55mmの上方が細くなった円筒形をした骨格部分に、300番のサンドペーパーを貼付した直径約25mmの把持部分を取り付けたオリジナルである。物体の重量は約300gである。

②実験テーブル：実験テーブル（以下、テーブル）は、市販のコンピュータテーブルを使用し、以下の通り天板に4点の改良を加えた（図2）。

- ・手離床時および物体離床時のトリガーとしてコンピュータにそれぞれの電気信号を送るためのマイクロスイッチを2個取り付けた。
- ・物体の位置を前後方向で約25mm変えられるようにスライド式とした。
- ・手と物体の相対位置を測定するためのポジションセンサを埋め込んだ。
- ・視覚情報を遮断するためのカーテン取り付

け部分を設置した。

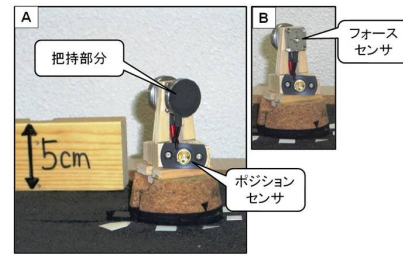


図1 作製した把握装置

A: 把握部分とポジションセンサ

B: フォースセンサ(把握部分を取り外したところ)

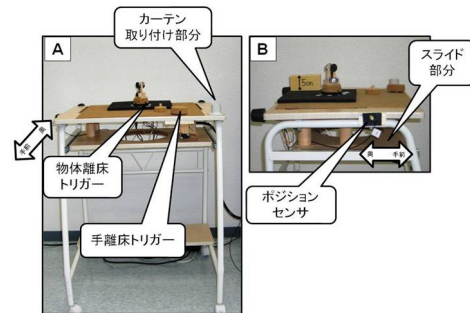


図2 実験テーブル

A: 正面(被験者側)より見たところ

B: 左側面より見たところ

(2) 実験課題：被験者は右手の小指球部分を手離床トリガー上、指先は開始位置に置き合図を待つ。「摘んで下さい。」の合図に従い、被験者は母指指腹先端と示指指腹先端による精密把握を用いて物体の把握部分を摘み、机上10cmの高さまで持ち上げる。10秒間物体を空間で保持したのち、はじめの場所に置き戻す。この一連の動作を実験課題とした。測定に際し、被験者の手のMP関節橈側部分にもポジションセンサを貼付し、手の位置情報としてコンピュータに電気信号が流れるようにした。ポジションセンサからのデータに関するキャリブレーションは実験毎に実施した。

### (3) 実験条件・被験者・実施手順

①実験(1)：視覚条件は「開眼摘み（以下、開眼）」、「目隠し下での摘み（以下、閉眼）」、「カーテン越し摘み（以下、遮断）」の3条件とした。位置条件は「近く」と「遠く」の2条件とした。「近く」とは「指先から125mmの位置に物体の中心がある状態」で、「遠く」とは「指先から150mmの位置に物体の中心がある状態」で、「近く」と「遠く」の距離は把握装置の把持部分の差(約2.5cm)とした（図3）。健常者を対象・口頭で手順・課題について説明したあと、実験の前に各条件とも十分に練習を実施した。いずれの条件も試技はすべて12回とし、各条件はランダム順とした。実験開始前に被験者の両手を石鹸で

洗浄した。

②実験(2)：位置条件を「近く」と「遠く」の2条件とした。実験(1)で行った健常成人の「閉眼(目隠し)」の結果と比較検討した。視覚障害者(全盲)を対象・被験者と験者が初対面の場合に生じる心理的緊張をできるだけ緩和するため、実験の前に事前説明の時間を設けた。口頭で手順・課題について説明したあと、実験の前に各条件とも十分に練習を実施した。いずれの条件も試技はすべて12回とし、各条件はランダム順とした。実験開始前に被験者の両手を石鹸で洗浄した。

③実験(3)：高齢者を対象・条件、手順は実験(1)と同じ。

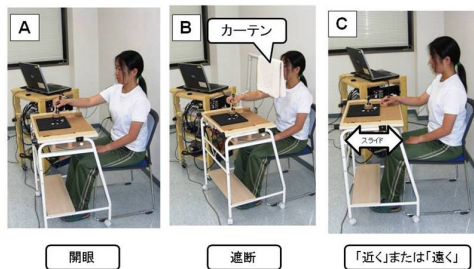


図3 実験条件  
A: 「閉眼」での摘み動作  
B: 「遮断」での摘み動作  
C: 位置条件: 「近く」または「遠く」(図は「近く」である)

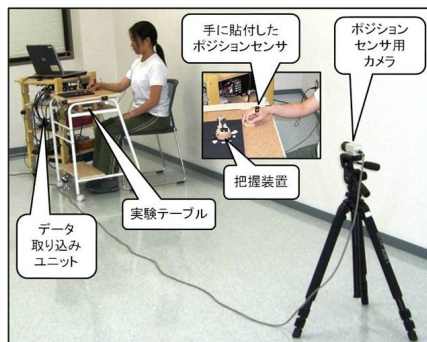


図4 実験風景(図は視覚条件: 「開眼」、位置条件「近く」での実験風景を示している。)

#### (4) データの収録と解析

コンピュータへのデータ取り込みへの測定周波数は400Hzとした。実験装置から得られた応力信号は直接パーソナルコンピュータに取り込んだ。実験終了後、同パーソナルコンピュータにてデータの解析処理を行った。今回開発したオリジナル生データ処理ソフトを使用し、フォースセンサから得られたデータはそれぞれの行列変換ののち、摘み力成分と持ち上げ力成分を取り出し、22項目のパラメータをCSV形式で出力した。

統計処理は、実験(1)では対応のある二要因分散分析(場所×視覚)を、実験(2)では対応のない二要因分散分析(場所×個人因子)を使用した。危険率5%以下を有意と判断した。

#### 【22の解析パラメータ】

##### ①手離床から物体離床までの手の位置変化と物体探索

1-1-1: 手離床から物体離床までの時間[ms]、  
1-1-2: 手離床から物体離床の間における手の速度変化のピークまでの時間[ms]、  
1-1-3: 手離床から物体離床の間における手の速度変化のピーク値[cm/s]、  
1-2-4: 手離床から示指の持ち上げ力発現までの時間[ms]、  
1-2-5: 手離床から示指の摘み力発現までの時間[ms]、  
1-2-6: 手離床から母指の持ち上げ力発現までの時間[ms]、  
1-2-7: 手離床から母指の摘み力発現までの時間[ms]

##### ②物体離床時の摘み力と持ち上げ力

2-8: 物体離床における示指の持ち上げ力[N]、  
2-9: 物体離床における示指の摘み力[N]、  
2-10: 物体離床における母指の持ち上げ力[N]、  
2-11: 物体離床における母指の摘み力[N]

##### ③物体離床から物体保持安定期まで

3-12: 物体離床から空間位置が安定した点までの時間[ms]、  
3-13: 物体離床から空間位置が安定した点の間における示指持ち上げ力のピーク値[N]、  
3-14: 物体離床から空間位置が安定した点の間における示指摘み力のピーク値[N]、  
3-15: 物体離床から空間位置が安定した点の間における母指持ち上げ力のピーク値[N]、  
3-16: 物体離床から空間位置が安定した点の間における母指摘み力のピーク値[N]、  
3-17: 物体離床から空間位置が安定した点の間における物体の速度変化のピークまでの時間[ms]、  
3-18: 物体離床から空間位置が安定した点の間における物体の速度変化のピーク値[cm/s]

##### ④物体保持安定期のフォース

4-19: 示指の持ち上げ力の{指定時間の}平均値[N]、  
4-20: 示指の摘み力の{指定時間の}平均値[N]、  
4-21: 母指の持ち上げ力の{指定時間の}平均値[N]、  
4-22: 母指の摘み力の{指定時間の}平均値[N]

##### (5) 各運動局面における摘み力と持ち上げ力の変化と評価の指標(図5)

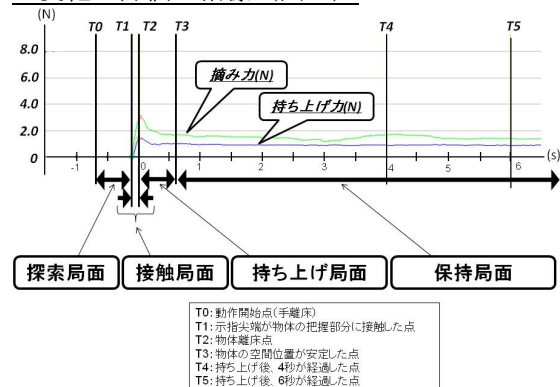


図5. 各運動局面における摘み力と持ち上げ力の変化と評価の指標

#### 4. 研究成果

##### (1) 健常者に実施した実験(1)の結果



①探索局面：「1-2-4 手離床から示指の持ち上げ力発現までの時間[ms]」、「1-2-5 手離床から示指の摘み力発現までの時間[ms]」、「1-2-6 手離床から母指の持ち上げ力発現までの時間[ms]」、「1-2-7 手離床から母指の摘み力発現までの時間[ms]」において、視覚条件間で有意な差を認め、時間は開眼のほうが閉眼よりも有意に速かった。対応のある二要因分散分析（場所×視覚）の結果、場所条件間・視覚条件間とも有意な差を認め、開眼のほうが閉眼よりも、遠くよりも近くの方が「手離床 から示指の摘み力発現までの時間」は速かった。

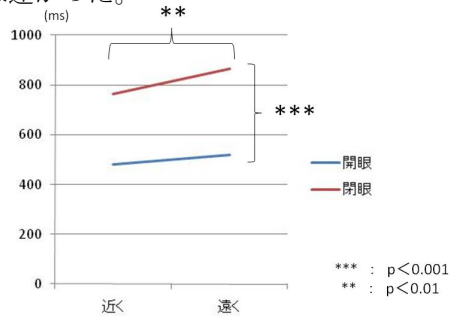


図6. 手離床(T0) から示指の摘み力発現(T1)までの時間

②接触局面：「1-1-1 手離床から物体離床までの時間[ms]」から「1-2-5 手離床から示指の摘み力発現までの時間」を差分して求めた「示指の摘み力発現から物体離床までの時間[ms]」において、視覚条件間で有意な差を認め、時間は開眼のほうが閉眼よりも有意に速かった。

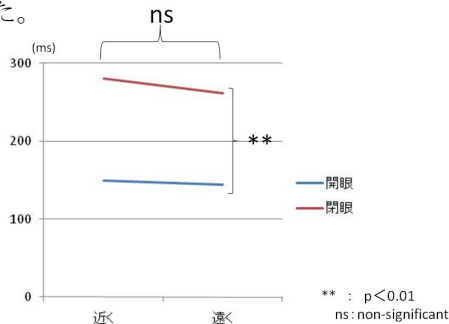


図7. 示指の摘み力発現(T1)から物体離床(T2)までの時間

物体離床時の摘み力と持ち上げ力に関するパラメータのうち、「2-9 物体離床における示指の摘み力[N]」と「2-11 物体離床における母指の摘み力[N]」において、視覚条件間で有意な差を認め、摘み力は閉眼のほうが開眼よりも有意に大きかった。

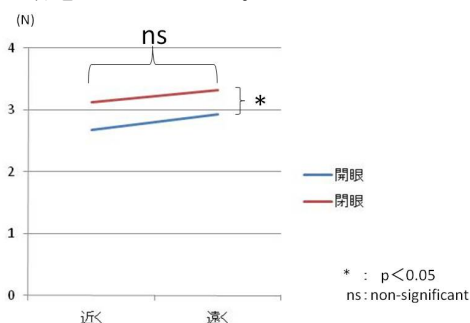


図8. 物体離床(T2)における示指の摘み力

③持ち上げ局面：物体離床から物体保持安定期までにに関するパラメータのうち、「3-14 物体離床から空間位置が安定した点の間における示指摘み力のピーク値[N]」と「3-16 物体離床から空間位置が安定した点の間における母指摘み力のピーク値[N]」は視覚条件間と場所条件間の両方で有意差を認めた。「3-13 物体離床から空間位置が安定した点の間における示指持ち上げ力のピーク値[N]」では場所条件間で有意差を認めた。視覚条件に関してはこれら3つのパラメータで閉眼のほうが開眼よりもピーク値[N]は大きかった。

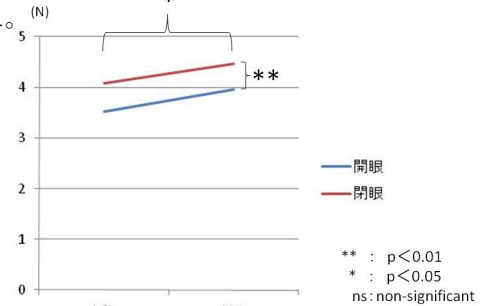


図9. 物体離床(T2)から空間位置が安定した点(T3)の間における示指摘み力のピーク値

④保持局面：「4-20 示指の摘み力の{指定時間の}平均値[N]」と「4-22 母指の摘み力の{指定時間の}平均値[N]」は、場所条件間で有意差を認め、遠くのほうが近くよりも平均値は大きかったが、視覚条件間では有意差は認められなかった。

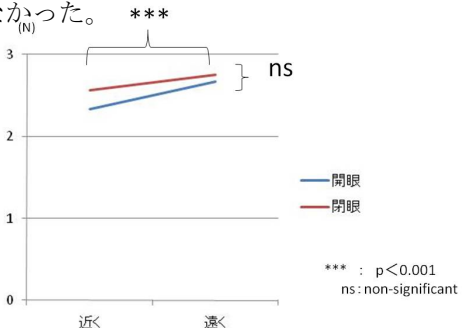


図10. 示指の平均摘み力(T4-T5間)

⑤視覚入力のない「閉眼」と「遮断」における相違について：今回の実験ではすべての対象者に「閉眼」および「遮断」での把握実験を行い、すべてのパラメータで統計解析を実施したが、視覚条件で有意な差を示したパラメータは存在しなかった。

## (2) 視覚障害者・高齢者に実施した実験 (2) (3)の結果

①探索局面：健常者の「閉眼」と視覚障害者（全盲）を比較した結果、いずれのパラメータにおいても被験者間要因（健常者×視覚障害者）で有意な差は認めなかった。つまり「動作開始（すなわち手が実験テーブルから離れる（手離床）」から「示指先端が把握装置に接触する」までの時間や手の移動速度に関し

ては、健常者が閉眼で摘み動作を行ったのと、全盲者のそれらとは同じであることが明らかとなった。

②接触局面：被験者間要因（健常者（閉眼）×視覚障害者（全盲））で有意な差を認めた。つまり視覚障害者（全盲）のほうが健常者（閉眼）よりも接触局面に要する時間が長かった。

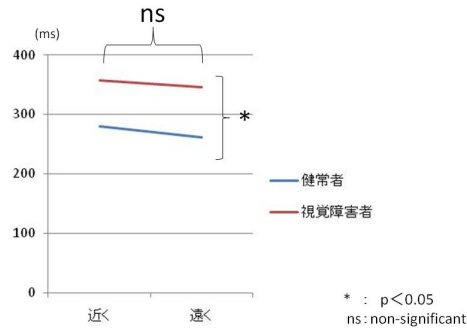


図11. 示指の摘み力発現(T1)から物体離床(T2)までの時間

開眼では両者に大きな差を認めないが、閉眼では高齢者（A氏）のほうが健常者（平均値）よりも時間を要していた。

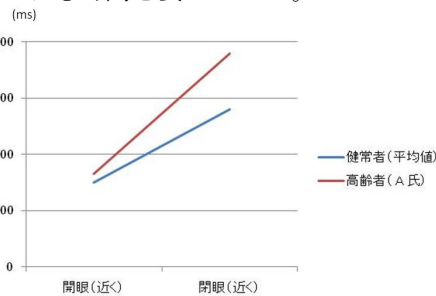


図12. 示指の摘み力発現(T1)から物体離床(T2)までの時間

③持ち上げ局面：健常者の「閉眼」と視覚障害者（全盲）を比較した結果、いずれのパラメータにおいても被験者間要因（健常者（閉眼）×視覚障害者（全盲））で有意な差は認めなかった。つまり「物体離床」から「物体の空間での位置が安定する」までの時間や摘み力・持ち上げ力に関しては、健常者が閉眼で摘み動作を行ったのと、視覚障害者（全盲）のそれらとは同じであることが明らかとなった。

④保持局面：健常者（閉眼）と視覚障害者（全盲）を比較した結果、「4-20 示指の摘み力の{指定時間の}平均値[N]」と「4-22 母指の摘み力の{指定時間の}平均値[N]」は、被験者間要因（健常者（閉眼）×視覚障害者（全盲））で有意差を認め、視覚障害者（全盲）のほうが健常者（閉眼）よりも平均値は大きかったが、場所条件間では有意差は認められなかった。健常者（閉眼）よりも視覚障害者（全盲）のほうが有意に大きかった。

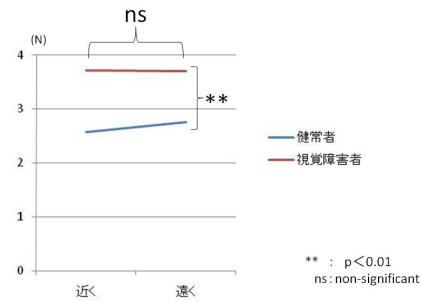


図13. 示指の平均摘み力(T4-T5間)

(3) 検討：健常者を対象とした実験(1)の結果

①探索局面では、場所条件間・視覚条件間とも有意な差を認め、「手離床 から示指の摘み力発現までの時間[ms]」は、開眼のほうが閉眼よりも、遠くよりも近くの方が速いこと、②接触局面では、視覚条件間で有意な差を認め、「示指の摘み力発現から物体離床までの時間[ms]」は開眼のほうが閉眼よりも有意に速いこと、③持ち上げ局面では、「物体離床から空間位置が安定した点の間における示指・母指の摘み力のピーク値[N]」は場所条件間で有意差を認め、閉眼のほうが開眼よりもピーク値[N]は大きいこと、④保持局面では、「示指・母指の摘み力の平均値[N]」は、場所条件間で有意差を認め、遠くのほうが近くよりも平均値は大きかったが、視覚条件間では有意差は認められなかったこと、⑤「閉眼」と「遮断」条件間ではすべてのパラメータで差がなかったこと、が明らかになった。

視覚障害者に実施した実験(2)の結果、①探索局面では、いずれのパラメータにおいても被験者間要因（健常者×視覚障害者）で有意な差は認めなかったこと、②接触局面では、視覚障害者（全盲）のほうが健常者（閉眼）よりも接触局面に要する時間が有意に長かったこと、③持ち上げ局面では、いずれのパラメータにおいても被験者間要因（健常者（閉眼）×視覚障害者（全盲））で有意な差は認めなかったこと、④保持局面では「示指・母指の摘み力の平均値[N]」は、被験者間要因（健常者（閉眼）×視覚障害者（全盲））で有意差を認め、視覚障害者（全盲）のほうが健常者（閉眼）よりも平均値は大きかったが、場所条件間では有意差は認められなかったこと、が明らかとなった。

探索局面では視覚座標系と体性感覚座標系に基づき、目的とする物体が自己に対してどの位置にあるのかという空間処理が求められる。健常者では場所条件間・視覚条件間とも有意に開眼のほうが閉眼よりも、遠くよりも近くの方が速いこと、時間は速かった。これは健常者では空間処理のほとんどが視覚座標系に依存しているためと考えられる。今回の実験に参加した視覚障害者（全盲）は日常生活のすべてにおいて体性感覚座標系に基づいて空間処理をしているため、探索局面では健常者との差がなかったと考えられ

る。

接触局面では示指の摘み力発現に続いて母指の摘み力が発現した後、示指と母指の持ち上げ力が徐々に強まり、手指の感覚受容器からの求心情報と摘み力と把握力を徐々に強める遠心情報が統合される。この局面に要した時間は視覚障害者（全盲）のほうが健常者よりも有意に長かった。視覚障害者（全盲）は健常者に比べてこれら指先皮膚に存在する感覚受容器からの情報への依存度が高いために、接触局面に要した時間が長くなったと考えられる。高齢者も健常者に比べて接触局面に閉眼での時間が長くなっていたのは、感覚受容器の劣化の影響と考えられる。開眼では高齢者と健常者の間に大きな差がなかったのは、視覚入力に感覚受容器の劣化を補っていたためと考えられる。

持ち上げ局面では、示指・母指の摘み力のピーク値[N]は場所条件間・視覚条件間ともに有意差を認め、閉眼のほうが開眼よりも、遠くのほうが近くよりも大きかった。持ち上げ局面では机上の物体を10cmの高さまで持ち上げるための摘み力と持ち上げ力が必要である。木下らは視覚入力下での小物体の摘み運動中の把握力調節機能を発達の側面から調査した。彼らは成人では把握持ち上げ運動が円滑に行われていることを見出し、把握力と持ち上げ力には協調関係があることを報告した。閉眼ではこの視覚入力下での「把握力・持ち上げ力協調関係」が微妙に崩れ、視覚情報が欠落しているのを補うために把握力を大きくしている可能性がある。視覚障害者との比較ではいずれのパラメータにおいても被験者間要因（健常者（閉眼）×視覚障害者（全盲））で有意な差は認めなかった。視覚障害者（全盲）の場合、日常生活の中で視覚入力を得られないため、摘み力を大きくすることで得られる感覚受容器からの情報に依存した形での「把握力・持ち上げ力協調関係」が成立し、それが健常者（閉眼）での持ち上げ局面と類似していたのではないだろうか。

保持局面では、健常者の場合、視覚条件による差は見いだせなかったが、視覚障害者（全盲）と健常者の間では有意差を認め、「示指・母指の摘み力の平均値[N]」は、視覚障害者（全盲）のほうが健常者（閉眼）よりも大きかった。保持局面では物体を落下させないために安定した摘み力・持ち上げ力の持続的出力が求められる。万が一物体が滑り落ちそうになれば、摘み力を強める必要がある。視覚障害者（全盲）の場合、健常者のように保持物体が滑り落ちないようにするための予防的監視に視覚入力を利用できないので指先皮膚に存在する感覚受容器からの情報を大きくするため、健常者が閉眼で用いた摘み力より大きな出力となっていたのではな

いだろうか。木下らは小物体を摘み上げ、保持し、置き戻すときの脳賦活領域を調べるためPETを用いて脳血流を測定し、「閉眼」時は「開眼」時に比較して視床の活動の高まりを見出した。視床は体性感覚処理に重要である。閉眼で視床の活動が高かったことと、閉眼時に持ち上げ局面と保持局面の両方で摘み力を大きくし、感覚受容器からの求心情報を大きくしていたこととの関連性が示唆された。

(4) 結論：本研究では精密把握力調節における視覚入力の影響を明らかにするため、オリジナルの把握装置と実験テーブルを作成し、また生データの加工用のオリジナルソフトも開発した。把握装置の摘み力と持ち上げ力について、健常者を対象に開眼と閉眼の条件下で比較検討し、さらに視覚障害者（全盲）と健常者（閉眼）の比較検討も行った。その結果、視覚入力がない場合、接触局面では示指の把持部分への接触から物体持ち上げへの時間が延長し、持ち上げ局面や保持局面では示指・母指の摘み力が大きくなることが明らかとなった。これらは視覚入力を補うために、指先皮膚に存在する感覚受容器（マイスナー小体・パチニ小体・メルケル触盤など）が、物体の摩擦状況や指先皮膚でのスリップ、物体操作時に起こる振動などの事象を検出し、その情報が摘み力の修正に利用されているためと考えられた。

## 5. 主な発表論文等

- ・バイオメカニズム（投稿予定）
- ・日本作業療法研究学会（発表予定）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

津田 勇人 (TUDA HAYATO)  
大阪河崎リハビリテーション大学  
リハビリテーション学部  
リハビリテーション学科  
作業療法学専攻・教授  
研究者番号：10441148

### (2) 研究分担者

無し

### (3) 連携研究者

木下 博 (KINOSHITA HIROSHI)  
大阪大学医学（系）研究科（研究員）・教授  
研究者番号：60161535

青木 朋子 (AOKI TOMOKO)  
熊本県立大学環境共生学部・講師  
研究者番号：50433412