

# 自閉症者の「不器用さ・ぎこちなさ」に関する 三次元動作解析による運動学的検討 —到達把持動作に着目して—

福井隆雄

(首都大学東京 システムデザイン学部)

## <要 旨>

青年中期から若年成人の自閉スペクトラム症者(ASD)を対象に、到達把持動作の運動学的特性を定型発達者と比較検討した。参加者には、円柱物体への到達把持動作後、持ち上げ動作を求めた。運動中外界が見えている条件（視覚あり条件）と、運動開始直後に外界が見えなくなる条件（視覚なし条件）を設け、セッション内で同一条件を行うブロック化条件と、視覚あり・なし条件を交互に行う交互条件を検討した。把持調節の指標である指間距離最大値の差は、定型発達者と同様に、ASD者においてもブロック化条件より交互条件で小さかった。一方、動作間遷移時間（把持完了から持ち上げ開始までの時間）について、ASD者は定型発達者に比べ有意に長かった。以上より、ASD者は、オンライン視覚による把持調節について定型発達者と類似している一方、動作間のスムーズな遷移が困難であることが示唆された。さらに、動作連結化の能力は、質問紙「自閉症スペクトラム指数（AQスコア）」の下位尺度「注意の切り替え」により予測されることが示唆された。

## <キーワード> 自閉スペクトラム症, 到達把持動作, 三次元動作解析, AQスコア

### 【はじめに】

発達障害の1つである、自閉スペクトラム症 (Autistic Spectrum disorder: ASD)について、社会性や認知的機能が注目されている(e.g., Baron-Cohen & Belmonte, 2005; Frith, Morton, & Leslie, 1991; Happé & Frith, 2006; Senju & Johnson, 2009, for reviews)が、同時に運動における問題も指摘されている(Ben Shalom, 2009; Bhat, Landa, & Galloway, 2011; Elliott et al., 2010; Fabbri-Destro, Gizzonio, & Avanzini, 2013; Gowen & Hamilton, 2013; Leary & Hill, 1996; Sacrey et al., 2014; von Hofsten & Rosander, 2012; Whyatt & Craig, 2013, for reviews).

日常的な動作の1つである、到達把持運動（手を伸ばし、つかむ動作）は、定型発達者ではその運動学的特性や運動中のオンライン視覚（見え

の影響について、Marc Jeannerod (Jeannerod, 1981; 1984)による先駆的な研究以来、若年成人(e.g., Fukui & Inui, 2006; Jakobson et al., 1991; Wing, Turton, & Fraser, 1986)や児童(Kuhtz-Buschbeck et al., 1998; Smyth, Katamba, & Peacock, 2004; Zoia et al., 2006)を対象に、数多く検討されてきた。

その一方で、臨床的経験知からも「動作がぎこちない」と語られる ASD 者・児を対象に、運動学的特性を調べた研究は限られている(Campione et al., 2016; Mari et al., 2003; Yang, Lee, & Lee, 2014). Mari et al. (2003)は、ASD 児 (7~13 歳) の到達把持動作中の運動学的特性を初めて検討し、定型発達児に比べて、最大腕運動速度が遅く、運動時間が長くなることを明らかにした。さらに、

ASD 児における IQ の高低による運動学的特性の違いも明らかにした。すなわち、低 IQ グループ (IQ: 70-79) は、定型発達児に比べて、ゆっくりとした動作で到達・把持成分間の協調もスムーズでないのに対して、平均・高 IQ グループ (IQ: 80-109) は、定型発達児と比べて、同様、あるいはそれ以上の動作特性を示した。

Yang et al. (2014) は、ASD 児 [平均 (SD) : 7 歳 8 ヶ月 (1 歳 4 ヶ月)] を対象に、到達把持動作時のオンライン視覚 (見え) を操作し、把持調節への影響を検討した。オンライン視覚の把持調節への影響を示す指標として、指間距離 (親指・人差指間距離) 最大値が用いられる。成人では、運動中の見えが利用できない場合は、利用できる場合に比べて、指間距離最大値が有意に大きくなることが知られており (e.g., Fukui & Inui, 2006; Jakobson & Goodale, 1991; Wing, Turton, & Fraser, 1986), 児童においても類似の結果である (Kuhtz-Buschbeck et al., 1998; Smyth et al., 2004; Zoia et al., 2006)。Yang et al. (2014) は、ASD 児では、視覚が利用できる時でも指間距離最大値が定型発達児に比べ有意に大きくなることを見出し、把持調節におけるオンライン視覚の影響が小さいことを示唆した。

到達把持動作は通常、行為の目的に応じて、その後続く行動とともに行われる (e.g., Marteniuk et al., 1987; Johnson-Frey et al., 2004)。したがって、一連の行為として、動作の連結化を適切に行うことが重要となる。Fabbri-Destro et al. (2009) は、物体をつかんで箱の中に入れるという課題を 10 歳頃の定型発達児と ASD 児を対象に行ったところ、ASD 児では、定型発達児に比べて、各動作をひとまとまりの行為として適切に連結化できないと報告している。

以上のように、到達把持動作の運動学的研究に

ついて、10 歳頃までの ASD 児では検討が行われてきたが、青年中期以降を対象に、その詳細な運動学的特性を検討した研究は今まで見られない。ASD 者における運動機能の発達過程が定型発達者とどのように異なるか同定する上で、青年中期以降の ASD 者を対象とした研究は不可欠である。

そこで本研究では、青年中期から若年成人の ASD 者を対象に、到達把持動作時及びそれに続く持ち上げ動作について、定型発達者と比較した。さらに、定型発達者と ASD 者どちらにも、質問紙「自閉症スペクトラム指数 (AQ スコア)」 (Baron-Cohen et al., 2001; 日本語版: 若林ら, 2004) に回答してもらい、このスコアの 5 つの下位尺度 (「社会スキル」, 「注意の切り替え」, 「細部への注意」, 「コミュニケーション」, 「想像力」) と、運動学的特性の間に関連があるか、あるとすればどの下位尺度との間かを検討した。

## 【方法】

**実験参加者:** 右利きの ASD 者 12 名 (女性 1 名, 18.3 ± 2.1 歳), 定型発達者 12 名 (女性 1 名, 19.1 ± 2.2 歳) が参加した。各参加者群について、年齢、動作性 IQ により統制した [年齢:  $t(22) = -.847, p = .406$ , 動作性 IQ:  $t(22) = -1.213, p = .238$ ].

ASD 群は、ASD 評価のための半構造化観察検査である ADOS-2 (Lord et al., 2012; 日本語版: 黒田・稲田, 2015) に参加した。1 名については non spectrum と判定されたが、児童精神科医により ASD の診断を受けており、ASD 群に含めた。実験実施に関して、国立障害者リハビリテーションセンター倫理審査委員会の承認を受けた。

**装置及び刺激:** 指間距離 (親指・人差指間距離) 及び手首軌道について、親指先・人差指先・手首部に反射マーカを貼付し、モーションキャプチャ

システム(OptiTrack, 100 Hz)により計測した。実験参加者は、試行中の視覚(見え)を操作する液晶シャッターゴーグル(竹井機器工業製)を装着し、試行開始前、所定のスイッチ上に手を置いた。把持対象物体は、木製円柱2種(直径4, 6 cm, ともに高さ11 cm)だった。

手続き: 実験参加者は、試行開始の合図とともに、前方30 cmに提示された木製円柱への到達把持動作を行い、把持後に5 cm程持ち上げてから元に戻し、スタート位置に手を戻すように教示された(図1)。運動中の見えは、液晶シャッターゴーグルの開閉により操作され、1) 運動中常に視覚(見え)が利用できる条件(視覚あり条件)と2) 運動開始(すなわち、スイッチから手を離した)直後にゴーグルが遮断され、運動中、外部環境が見えない状態で課題を行う条件(視覚なし条件)を設定した。また、視覚条件の提示方法(視覚コンテキスト)として、セッション内で同一条件を行うブロック化条件と、視覚あり・なし条件を交互に行う交互条件を検討した。

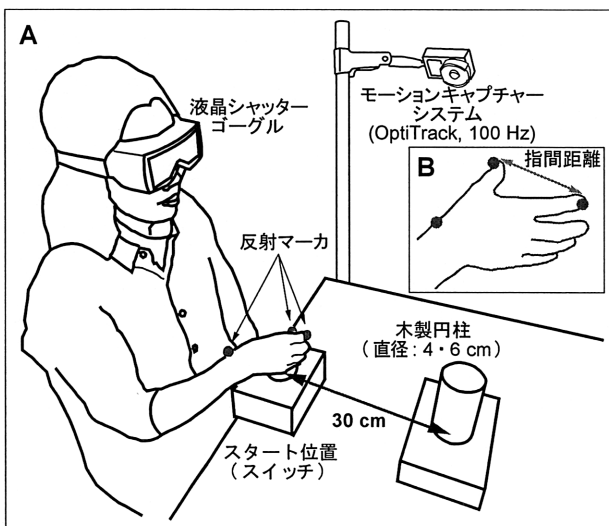


図1 A: 実験セットアップ。参加者は提示物体への到達把持運動を行った。運動中の見えは、液晶シャッターゴーグルにより制御された。B: 指間距離最大値と動作間遷移時間を分析した。

実験開始前、強制選択法(4択)の自閉症スペクトラム指数に回答してもらった。このスコアは、上述の5つの下位尺度の各10問、計50問(50点)から構成される。そして、スコアが33点(カットオフ値)以上の場合、ASDである可能性が高いとされるが、最終的な診断を下すためには専門家によるアセスメントが必要となる。実際、カットオフ値以下のスコアを示すASD者は10%程存在する(若林ら, 2004)。

分析: つかみ調節の指標として指間距離最大値を、動作間の移行(すなわち、物体をつかむ動作から持ち上げる動作への一連の動作をどの程度スムーズに行えるか)の指標として動作間遷移時間(把持完了から持ち上げ開始までの時間)を算出し、グループ(定型発達者, ASD)を参加者間要因、サイズ(4, 6 cm)、視覚条件(あり, なし)、視覚コンテキスト(ブロック化, 交互)を参加者内要因とする分散分析を行った。オンライン視覚の利用特性を検討するため、指間距離最大値の差(視覚なし-視覚あり)について、グループを参加者間要因、サイズ、視覚コンテキストを参加者内要因とする分散分析も行った。指間距離最大値と動作間遷移時間について、それぞれを目的変数として、5つの下位尺度スコアを説明変数とし、重回帰分析(ステップワイズ法)を行った。

### 【結果】

指間距離最大値(図2)については、グループ [ $F(1, 22) = 6.258, p = .020$ ], サイズ [ $F(1, 22) = 279.750, p < .001$ ], 視覚条件 [ $F(1, 22) = 120.963, p < .001$ ]の主効果が認められた。物体サイズが6 cmの方が4 cmの場合より、また、視覚なし条件の方が視覚あり条件より有意に大きかった。定型発達者群の方が、ASD群より有意に大きかった。視

覚条件と視覚コンテキスト間の有意な交互作用が認められた $[F(1, 22) = 25.094, p < .001]$ 。すなわち、視覚なし条件での指間距離最大値は、交互条件よりブロック化条件の方が有意に大きく、視覚あり条件では、ブロック化条件より交互条件で有意に大きかった。またサイズと視覚条件間の交互作用も有意だった $[F(1, 22) = 46.464, p < .001]$ 。

視覚条件間による指間距離最大値の差（視覚なしー視覚あり、図 2）について、視覚コンテキスト  $[F(1, 22) = 25.094, p < .001]$ 、サイズ  $[F(1, 22) =$

$46.464, p < .001]$ の主効果が認められた。すなわち、ブロック化条件の方が、交互条件より有意に大きく、物体サイズが 4 cm の方が、6 cm に比べて有意に大きくなった。

動作間遷移時間（図 3）について、グループの主効果  $[F(1, 22) = 6.629, p = .017]$ が認められ、ASD 群の方が、定型発達群に比べて有意に長くなった。また、サイズの主効果  $[F(1, 22) = 5.161, p = .033]$ も認められ、4 cm 条件に比べて 6 cm の方が有意に大きい値を示した。

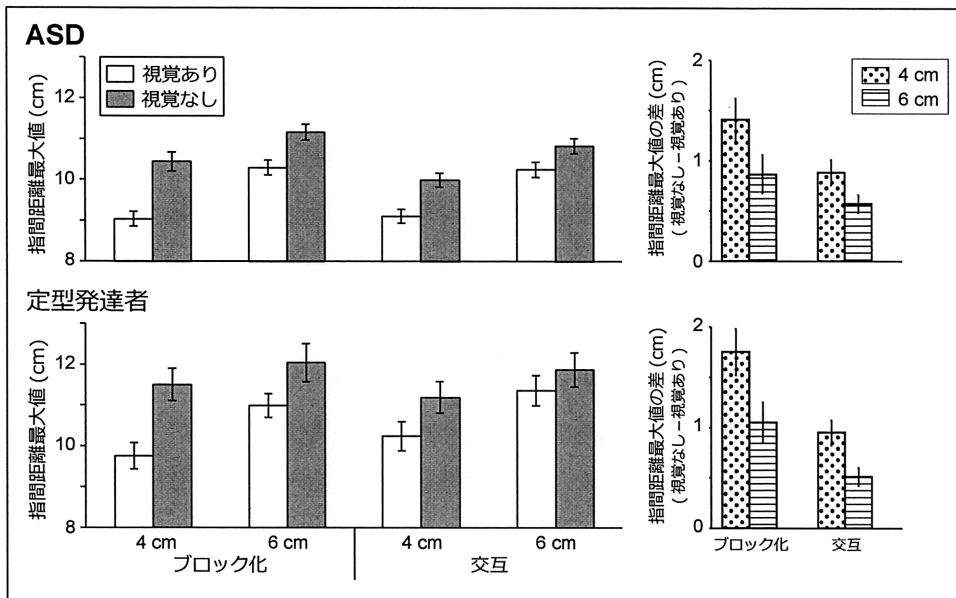


図 2 指間距離最大値（左）とオンライン視覚の有無による指間距離最大値の差（右）。  
上段：ASD 者，下段：定型発達者

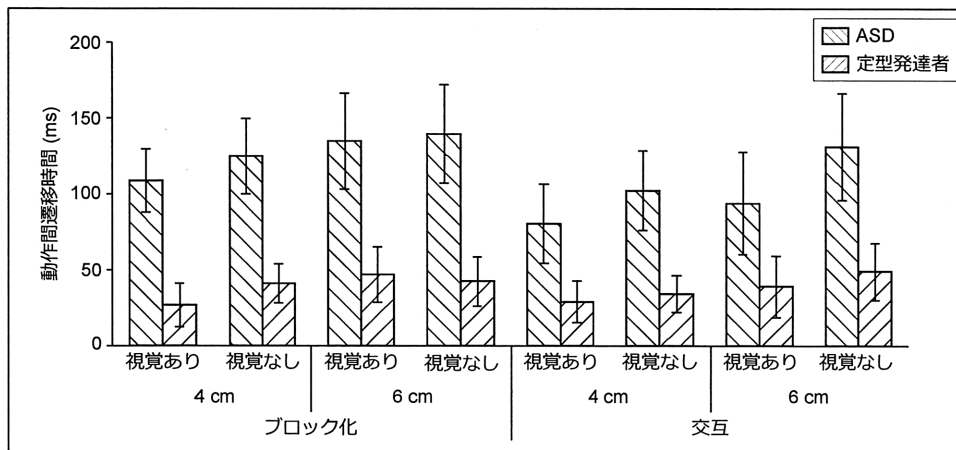


図 3 動作間遷移時間

重回帰分析について、動作間遷移時間において、図 4 に示すとおり、「注意の切り替え」のみによる回帰式が有意となった( $R^2 = 0.262, p = .011$ ).

### 【考察】

本研究では、青年中期から若年成人の ASD 者を対象に、オンライン視覚による把持調節と、把持とその後の持ち上げ動作の連結化について、定型発達者と比較した。

Yang et al. (2014)の平均年齢7.8歳のASD児を対象に行った、オンライン視覚を操作した到達把持運動課題では、把持制御におけるオンライン視覚の寄与が小さいことを示しているのに対して、平均18.3歳のASD者を対象にした本実験では、オンライン視覚の有無による指間距離最大値の影響は、同年齢の定型発達者と非常に類似したパターンを示した。ブロック化条件に比べて、交互条件の方が、指間距離最大値に対するオンライン視覚の影響が小さいという定型発達者に認められるパターン(Tang, Whitwell, & Goodale, 2014, 2015; Whitwell, Lambert, & Goodale, 2008)は、本実験のASD者、定型発達者両方に認められた。Yang et al. (2014)と本実験結果より、視覚に基づく把持調節

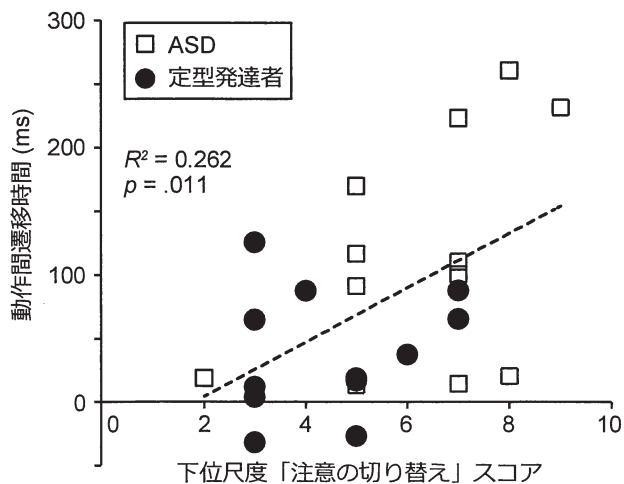


図 4 動作間遷移時間と下位尺度「注意の切り替え」スコアの関連

能力は、ASD 者においても青年期までに獲得されることが示唆された。

その一方で、動作間のスムーズな遷移（この場合、つかむ動作から持ち上げる動作への移行）については、Fabbri-Destro et al. (2009)の ASD 児において認められたように、青年中期以降の ASD 者にとっても困難であることが示された。さらに、動作連結化の能力が、AQ スコアの下位尺度「注意の切り替え」により予測されうる可能性が示唆された。

### 【引用文献】

- Baron-Cohen, S., & Belmonte, M. K. (2005). Autism: a window onto the development of the social and the analytic brain. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 109-126.
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5-17.
- Ben Shalom, D. (2009). The medial prefrontal cortex and integration in autism. *The Neuroscientist*, 15(6), 589-598.
- Bhat, A. N., Landa, R. J., & Galloway, J. C. (2011). Current perspectives on motor functioning in infants, children, and adults with autism spectrum disorders. *Physical Therapy*, 91(7), 1116-1129.
- Campione, G. C., Piazza, C., Villa, L., & Molteni, M. (2016). Three-dimensional kinematic analysis of prehension movements in young children with autism spectrum disorder: new insights on motor impairment. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46(6), 1985-1999.

- Elliott, D., Hansen, S., Grierson, L. E., Lyons, J., Bennett, S. J., & Hayes, S. J. (2010). Goal-directed aiming: two components but multiple processes. *Psychological Bulletin*, *136*(6), 1023-1044.
- Fabbri-Destro, M., Cattaneo, L., Boria, S., & Rizzolatti, G. (2009). Planning actions in autism. *Experimental Brain Research*, *192*(3), 521-525.
- Fabbri-Destro, M., Gizzonio, V., & Avanzini, P. (2013). Autism, motor dysfunctions and mirror mechanism. *Clinical neuropsychiatry*, *10*(5), 177-187.
- Frith, U., Morton, J., & Leslie, A. M. (1991). The cognitive basis of a biological disorder: autism. *Trends in Neurosciences*, *14*(10), 433-438.
- Fukui, T., & Inui, T. (2006). The effect of viewing the moving limb and target object during the early phase of movement on the online control of grasping. *Human Movement Science*, *25*(3), 349-371.
- Gowen, E., & Hamilton, A. (2013). Motor abilities in autism: a review using a computational context. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *43*(2), 323-344.
- Happé, F., & Frith, U. (2006). The weak coherence account: detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *36*(1), 5-25.
- 黒田美保・稲田尚子 (2015) ADOS-2 日本語版 金子書房.
- Jakobson, L. S., Archibald, Y. M., Carey, D. P., & Goodale, M. A. (1991). A kinematic analysis of reaching and grasping movements in a patient recovering from optic ataxia. *Neuropsychologia*, *29*(8), 803-809.
- Jeannerod, M. (1981). Intersegmental coordination during reaching at natural visual objects. In J. Long & A. Baddley (Eds.), *Attention and Performance IX* (pp. 153-169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movements. *Journal of Motor Behavior*, *16*(3), 235-254.
- Johnson-Frey, S. H., McCarty, M. E., & Keen, R. (2004). Reaching beyond spatial perception: Effects of intended future actions on visually guided prehension. *Visual Cognition*, *11*(2/3), 371-399.
- Kuhtz-Buschbeck, J. P., Stolze, H., Johnk, K., Boczek-Funcke, A., & Illert, M. (1998). Development of prehension movements in children: a kinematic study. *Experimental Brain Research*, *122*(4), 424-432.
- Leary, M. R., & Hill, D. A. (1996). Moving on: autism and movement disturbance. *Mental Retardation*, *34*(1), 39-53.
- Lord, C., Rutter, M., Dilavore, P. C., Risi, S., Gotham, K., & Bishop, S. L. (2012). *Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition*. Los Angeles, CA: Western Psychological Services.
- Mari, M., Castiello, U., Marks, D., Marraffa, C., & Prior, M. (2003). The reach-to-grasp movement in children with autism spectrum disorder. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, *358*(1430), 393-403.
- Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L., Jeannerod, M., Athenes, S., & Dugas, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, *41*(3), 365-378.
- Sacrey, L. A., Germani, T., Bryson, S. E., & Zwaigenbaum, L. (2014). Reaching and grasping in autism spectrum disorder: a review of recent literature. *Frontiers in Neurology*, *5*, 6.
- Senju, A., & Johnson, M. H. (2009). Atypical eye contact in autism: models, mechanisms and development. *Neuroscience and Biobehavioral*

- Reviews*, 33(8), 1204-1214.
- Smyth, M. M., Katamba, J., & Peacock, K. A. (2004). Development of prehension between 5 and 10 years of age: distance scaling, grip aperture, and sight of the hand. *Journal of Motor Behavior*, 36(1), 91-103.
- Tang, R., Whitwell, R. L., & Goodale, M. A. (2014). Explicit knowledge about the availability of visual feedback affects grasping with the left but not the right hand. *Experimental Brain Research*, 232(1), 293-302.
- Tang, R., Whitwell, R. L., & Goodale, M. A. (2015). The influence of visual feedback from the recent past on the programming of grip aperture is grasp-specific, shared between hands, and mediated by sensorimotor memory not task set. *Cognition*, 138, 49-63.
- von Hofsten, C., & Rosander, K. (2012). Perception-action in children with ASD. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6, 115.
- 若林明雄・東條吉邦・Simon Baron-Cohen・Sally Wheelwright (2004) 自閉症スペクトラム指数(AQ)日本語版の標準化 - 高機能臨床群と健常成人による検討-, *心理学研究*, 75(1), 78-84.
- Whyatt, C., & Craig, C. (2013). Sensory-motor problems in Autism. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 51.
- Whitwell, R. L., Lambert, L. M., & Goodale, M. A. (2008). Grasping future events: explicit knowledge of the availability of visual feedback fails to reliably influence prehension. *Experimental Brain Research*, 188(4), 603-611.
- Wing, A. M., Turton, A., & Fraser, C. (1986). Grasp size and accuracy of approach in reaching. *Journal of Motor Behavior*, 18(3), 245-260.
- Yang, H. C., Lee, I. C., & Lee, I. C. (2014). Visual feedback and target size effects on reach-to-grasp tasks in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(12), 3129-3139.
- Zoia, S., Pezzetta, E., Blason, L., Scabar, A., Carrozzini, M., Bulgheroni, M., & Castiello, U. (2006). A comparison of the reach-to-grasp movement between children and adults: a kinematic study. *Developmental Neuropsychology*, 30(2), 719-738.