

Title	グリップ動作を用いた子どもの一側単独・両側同時反応時間特性
Sub Title	A developmental study of unilateral and bilateral handgrip movement as seen in reaction time tasks in children
Author	佐々木, 玲子(Sasak, Reiko)
Publisher	慶應義塾大学体育研究所
Publication year	2005
Jtitle	体育研究所紀要 (Bulletin of the institute of physical education, Keio university). Vol.44, No.1 (2005. 1) ,p.17- 23
JaLC DOI	
Abstract	<p>Bilateral deficit, also known as bilateral deficit in movement speed, has been defined as a reduction in force that accompanies maximal two-limb efforts of the homologous limbs relative to single performance; that is, reaction time is longer for simultaneous bilateral responses than for unilateral ones. Although we know that this phenomenon is mediated by neural mechanisms such as interactions between the cerebral hemispheres or spinal reflexes, the underlying mechanism is still far from clear. The purpose of this study was to examine bilateral deficit in children whose nervous system was not yet completely mature, and to clarify the developmental characteristics of bilateral and unilateral movements.</p> <p>Right-handed 11 children aged 6 to 9 participated as subjects and were compared to right-handed the adult subjects aged 18 to 22. The subjects were asked to perform a simple reaction time task by grasping a grip bar in response to an auditory stimulus. The subjects carried out this task under three conditions: with the right hand(dominant); with left hand(non-dominant); and with both hands simultaneously.</p> <p>In the adult subjects, the bilateral RT was consistently shorter than either the left or right unilateral RT. However, the bilateral deficit was not seen in the children to the same extent as in the adults, and, in fact, we found facilitation rather than deficit in some bilateral responses of the children. Generally, it is difficult for children to manipulate things separately while they are carrying out a task. In the present study, it was presumed that facilitation rather than inhibition occurred in the children as they carried out a bilateral simultaneous movement, that is, a kind of maximal effort when they responded as fast as possible. We hypothesized that different mechanisms may be responsible for fast bilateral movement in children.</p>
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00440001-0017">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00135710-00440001-0017</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

# グリップ動作を用いた子どもの一側単独・ 両側同時反応時間特性

佐々木玲子

## A developmental study of unilateral and bilateral handgrip movement as seen in reaction time tasks in children

Reiko Sasaki

Bilateral deficit, also known as bilateral deficit in movement speed, has been defined as a reduction in force that accompanies maximal two-limb efforts of the homologous limbs relative to single performance; that is, reaction time is longer for simultaneous bilateral responses than for unilateral ones. Although we know that this phenomenon is mediated by neural mechanisms such as interactions between the cerebral hemispheres or spinal reflexes, the underlying mechanism is still far from clear. The purpose of this study was to examine bilateral deficit in children whose nervous system was not yet completely mature, and to clarify the developmental characteristics of bilateral and unilateral movements.

Right-handed 11 children aged 6 to 9 participated as subjects and were compared to right-handed the adult subjects aged 18 to 22. The subjects were asked to perform a simple reaction time task by grasping a grip bar in response to an auditory stimulus. The subjects carried out this task under three conditions: with the right hand (dominant); with left hand (non-dominant); and with both hands simultaneously.

In the adult subjects, the bilateral RT was consistently shorter than either the left or right unilateral RT. However, the bilateral deficit was not seen in the children to the same extent as in the adults, and, in fact, we found facilitation rather than deficit in some bilateral responses of the children.

Generally, it is difficult for children to manipulate things separately while they are carrying out a task. In the present study, it was presumed that facilitation rather than inhibition occurred in the children as they carried out a bilateral simultaneous movement, that is, a kind of maximal effort when they responded as fast as possible. We hypothesized that different mechanisms may be responsible for fast bilateral movement in children.

キーワード：反応時間，両側性機能低下，子ども，発達

Key words : reaction time, bilateral deficit, children, development

### 目 的

身体運動の多くは、四肢など身体の複数部位を同時に用いて動かすことにより成り立っている。したがって、複雑な運動を巧みに行なうためには、複数部位を時間的、空間的、さらにその出力の大きさを適切に調節しながら

運動を継続する必要がある。さらに動作あるいはその組み合わせが複雑になると、個々の単一部分においては運動が可能であっても、同時に複数部位で行なうとできなくなる、あるいはそのパフォーマンスが低下するといったことはよくみられることである。そこには脳からの命令を効果器である末梢の筋が実行するまでの過程においてある種の複雑さが増し、促進や抑制など何らかの

作用が影響しているものと考えられる。前述のように巧みな動作の遂行には、同時に複数の部位を動かす際、個々の部位が適切なタイミング、適切な力の発揮によりなされる。すなわち必要以外の部位の活動が抑制されることが一つの要素と考えられる。

ここで子どもの動作を考えてみると、動作遂行の際に抑制的機能より促進的機能が優位で、筋・神経系の動作調整機能が未発達であることが知られており、したがって複数部位を用いたより複雑な動作においてそのパフォーマンスの低下は著しいことが予想される。

一般に両側の腕や脚を同時に動かして発揮できる最大筋力（力の大きさ）や速さ（動作時間）は、一側の腕や脚を単独に動かした場合に発揮できる最大筋力や速さに対して、その能力は低下することが知られている。この現象は両側性機能低下（Bilateral deficit）とよばれており、左右の上肢、下肢を用いた結果はこれまでも多く報告されている（Taniguchi, 1999, Ohtsuki, 1981, Di Stefano, et al, 1980）。両側性機能低下に関与している可能性のあるメカニズムについては、注意の分割、相反性神経支配、大脳半球間抑制（Ohtsuki, 1994）という3つがあると考えられている。これらのことについてはこれまで数々の検証がなされており、未だ議論を有するところではあるが、今のところ大脳半球間抑制のメカニズムによるものと考えが優勢である。すなわち、両側を用いた動作パフォーマンスには、それぞれの動きを支配する上位中枢が関与しているということである。

これらのことは、これまで成人を対象とした報告がほとんどで、運動に関与すると思われる神経系が未発達な段階である子どもについての報告は少ない。本研究では、子どもを対象として、単純な素早い動作（グリップ動作による反応動作課題）を行ったときの一側・両側での動作遂行時に、成人と同様の現象がみられるかを観察し、子どもの特徴を明らかにすることを目的とした。

## 方法

### 1. 被検者

被検者は、健常な幼児・児童（以下、子ども）11名（6-9歳）および対照の成人12名（19-21歳）であった。利き手は全員右であった。

### 2. 試行動作

被検者は、椅座位で机上に置かれた金属製のバー（幅1.5cm、奥行3~5cm、高さ10cm）を力をいれずに自然に握って構え、その際、左右のバーの間隔は被検者の肩幅で肘関節は約90度に保持した。検者の「用意」の合図後、前方約1mに置かれたスピーカーから呈示される音刺激に対して、「できるだけ早くバーを握って反応する」よう指示された。反応に用いたバーは変形しないので動作様式としては isometric な状態となるが、動作が開始されバーに圧がかかり始めた時点が反応開始となる。

試行は右手単独、左手単独、両手同時の3つの条件で、それぞれ以下の試行回数で行なった。

- ・子ども；各条件とも20回（1セット）、但し年少の被検者の一部は5~15回（2セット）
- ・成人；各条件とも20回×2セット

### 3. 処理

音刺激および握ったバーの歪みを検出し（NEC 三米測器製、動ひずみ測定器 AS2103）、A/D 変換処理（ADInstruments 製、PowerLab/16s）後以下の項目の値を算出した。（図1）

- ・単純反応時間；刺激から動作開始まで（RT1）
- ・単純反応時間；刺激から最大グリップ力出現時まで（RT2）
- ・反応時最大グリップ力（Peak force）

各課題条件における反応時間、動作時のグリップ力について子どもと成人を比較した。なお反応時間は、本論においては刺激から動作開始までの反応時間（RT1）のみを指標とした。

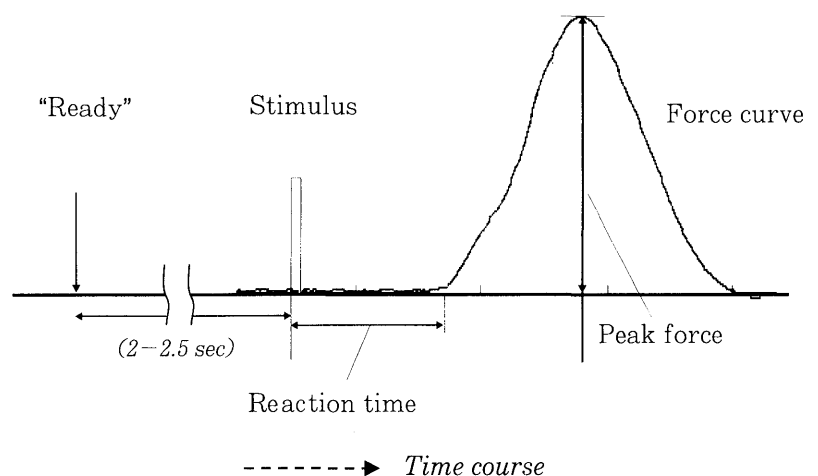


図1. 測定項目

## 結 果

### 1. 課題条件別にみた単純反応時間

反応時間について各条件、両側を分けて、子どもの各被検者ごとに示したものが図2左部分である（UL；一側左，UR；一側右，BL；両側左，BR；両側右）。それぞれ条件ごとの平均値で示している。本被検者の6歳から9歳にわたって全般には、どの条件においても年齢が上がるほど反応時間は短縮する傾向にあった。しかしながら部分的にみると7、8歳で加齢に伴う短縮傾向はみられずその区間はほぼ横ばいの状態であった。また、4条件間の差については、年齢が高い方がその差が小さい傾向にあった。

成人については、子どもにくらべ平均値のばらつきが小さいため、条件ごとに被検者の平均でまとめて示した（図2右部分）。成人の反応時間は短く、また条件による差も小さかった（平均値はUL；UR；BL；BR；）。

### 2. 一側単独と両側同時動作での反応時間の差

一側による反応時間と両側同時による反応時間を同一側ごとにそれぞれ比較して、両者に差がみられたものの中から事例として図3に示した。図3左は成人（被検者G）で、左右両側とも一側単独より両側同時での反応時間の方が統計的に有意に長かった事例である。一方、図3の右に示すのは子ども（被検者Er；7歳）の事例であるが、図左の成人と異なり、左右とも一側単独より両側

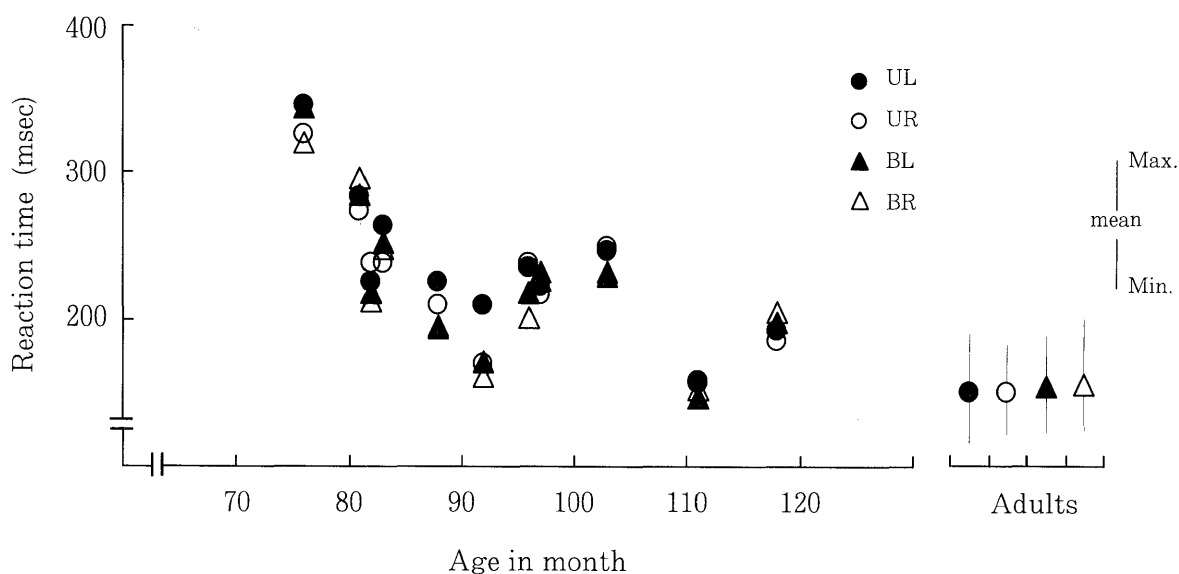


図2. 各条件における反応時間

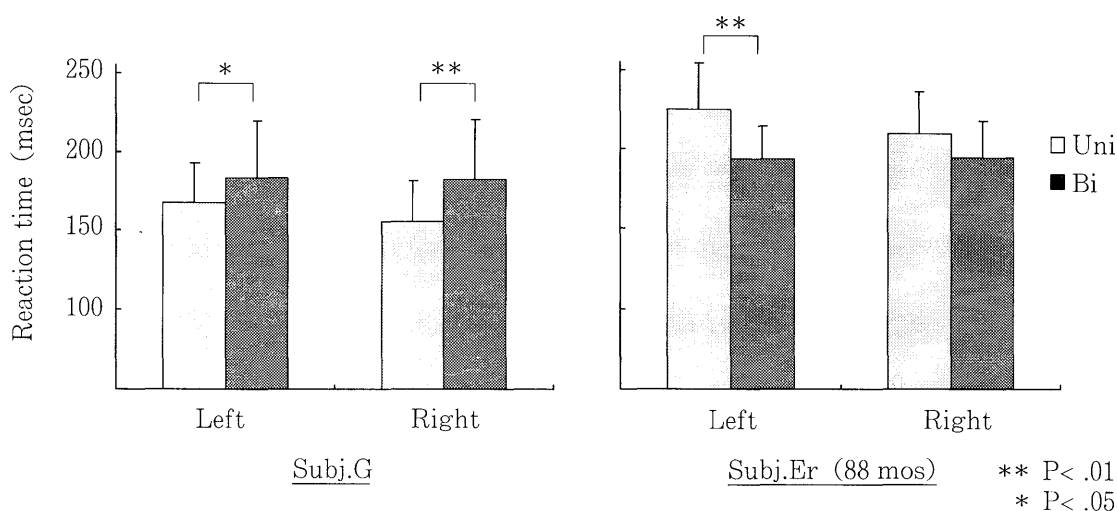


図3. 各課題条件における反応時間—成人（左）と子ども（右）の事例

同時での反応時間の方が統計的に有意に短縮したものである。このように一側単独と両側同時での反応時間に有意差があるものは他にも数例みられたが、すべて成人では図3左、子どもでは図3右にそれぞれ示されるのと同様の傾向であった。

一側単独、両側同時での反応時間の差を割合で示し、全被検者について示したものが図4である。左右それぞれについて、両側同時反応時間の値から一側単独反応時間の値を引いたものを一側単独反応時間で除した値 $[(\text{両側}-\text{一側})/\text{一側} \times 100]\%$ を用いた。縦軸の0%が一側、両側での値が一致することを示す。成人(図4左)では、左右とも両側の方が有意に遅くなる者2例みられ、全体でも両側での反応時間は延長する傾向であった。それに対して子ども(図4右)では、右で2例、左

で2例、両側の方が有意に反応時間が短い事例がみられた。子どもは全般に両側の反応時間の方が早い者が多く、成人とは異なる傾向がみられた。また本被検者の中では、一側単独、両側同時の時間差と子どもの年齢との間には関係はみられなかった。

### 3. 反応動作中の最大グリップ力

図5は、各試行における最大グリップ力 (peak force) の平均値を、それぞれの条件ごとに示し、一側単独と両側同時動作時を比較したものである(図5左;成人,右;子ども)。

全般的な傾向としては、成人でも子どもでも両側同時動作の方が一側単独よりも出力は小さい傾向がみられるが、ばらつきは非常に大きく、統計的に有意な差はみら

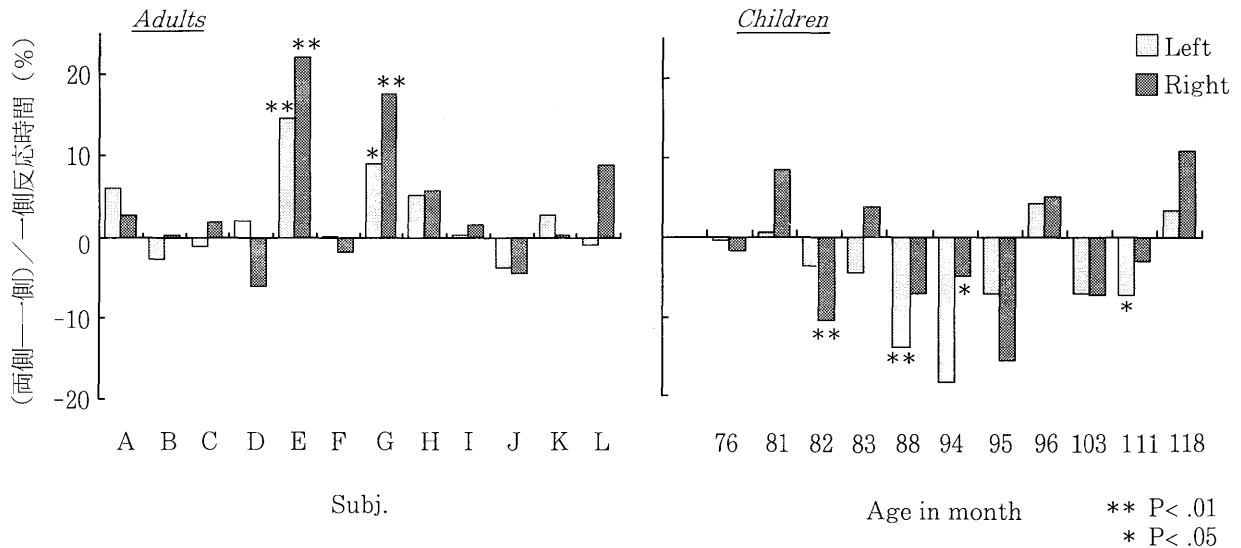


図4. 一側・両側反応時間の差

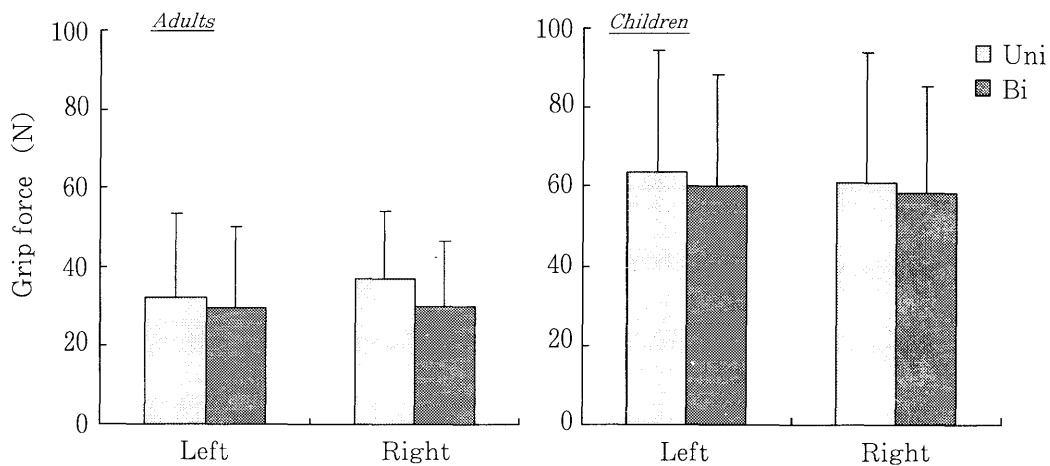


図5. 反応動作中の最大グリップ力

れなかった。子どもの値は成人に比べて非常に大きく、同一運動様式で予め測定したそれぞれの最大値（MVF：Maximal Voluntary Force）に対して、成人では2～30% MVFであったのに対し、子どもでは50～70% MVF程度の力を発揮していた。“できるだけ早く”ということのみの指示に対して、子どもは“大きな（強い）”力を発揮していたことになる。

## 考 察

### 1. Bilateral deficit 出現のメカニズム

これまで腕や脚を用いた一側単独および両側同時の動作による力発揮において、両側同時動作でのパフォーマンスが一側単独のものに劣ることが最大筋力発揮時（Oda & Moritani, 1995 Ohtsuki, 1981, Koh et al, 1993）、最大下筋力発揮時（Seki & Ohtsuki, 1990, 黒木と野坂, 2004）および素早い動作遂行時（Taniguchi, 1999, Di Stefaro, et al, 1980）について報告されており、その現象は両側性機能低下（Bilateral deficit）とよばれている。この出現メカニズムについては、必ずしも明らかではないが今のところ大脳半球間抑制によるという説が優勢である。一側の体肢は対側の大脳半球によって支配されているので、両側同時に力を発揮するということは、左右大脳半球の同時活動を必要とすると考えられる。左右の大脳半球には両半球をつなぐ脳梁や前交連などの連絡神経線維束が存在し、左右の interaction が可能になる。つまり大脳半球間抑制は、両側で同時に動作を行う際に相互に何らかの抑制が働いてパフォーマンスを低下させるというものであり、この現象には上位中枢の働きが関与することを示すものである。

ただし先行研究においては、bilateral deficit が出現せず、逆に両側でのパフォーマンスの方が優れたパフォーマンスを示す（bilateral facilitation）という報告（Howard & Enoka, 1991）もあり、必ずしも同様には見られないことや、トレーニングによってもその度合いは変化することが示されている（Taniguchi, 1997）。さらに動作部位によっても異なること（Anson & Bird, 1993）あるいはまた motor unit によっても低下の様子が異なり、速い motor unit の抑制によって両側性の低下が起こることが報告されている（Koh et al, 1993）。

### 2. 子どもの中枢神経系機能の発達と大脳半球間抑制

前述のように、大脳の両半球をつなぐ連絡神経束として、脳梁や前交連といったものが存在するが、脳・神経系の発達からみると、子どもではこの脳梁の髄鞘化が未完成的な段階にある。これは形態学的には6歳頃に完成し、さらに続いて機能的には10歳頃にかけて成熟していくといわれる（Reitz & Muller, 1998, O'Leary, 1980）。また、脳梁の機能は成人に至るまでも発達が見られるともいわれる（Giedd et al, 1996, Marion et al, 2003）。Bilateral Deficit のメカニズムとして、上位中枢レベルでの大脳半球間の抑制が相互にかかることによって各々のパフォーマンスの低下を生じさせているとするならば、発達途中である子どもにおいては、その機能として相互の interaction が未熟なために対側への抑制的作用がかかりにくいと考えられ、成人でいわれるような bilateral deficit 出現のメカニズムによるパフォーマンスの低下、すなわち bilateral deficit の現象は現れにくいとも考えられる。本研究で対象とした子どもたちの場合、そういった中枢の未発達のために成人とは異なった傾向が出現したという可能性が考えられる。

### 3. 一側、両側における動作の促進、抑制機構

また一方で、対側支配だけではなく、一側半球から両側への運動指令が下降する両側性経路の存在も確かめられており（Kaluzny & Wiesendanger, 1992）、その支配は体幹筋、近位筋でより顕著であるという報告（Di Stefaro, et al, 1980）がある。

さらに、子どもの特徴として、両側で同時に動作を行うことにより、動作を起こす目的側の対側の同名筋に活動がみられることが報告されており（Reitz & Muller, 1998, Mayston et al, 1999）、この現象は健常であればある年齢以降みられなくなるといわれる。両側での反応時間が早いということは、これが両側で動作を行うときに両側間における抑制よりもより強く促進的に働く、促進作用のほうが優位に働いていることによるということも可能性として考えられる。子どもでは、発達の分化や抑制的な機能よりも、促進的な、未分化（未成熟）なために起こる他への波及といった形での促進が優位であると考えられる。

### 4. 動作部位による Bilateral deficit 現象の発現

本研究における課題は、「刺激の提示に対してできるだけ素早く反応する」というものであり、どの位の力を

出すか、などそれ以外の指示は特別には与えなかった。しかしながら、結果にみられるように反応を実施した時のグリップ力は、子どもは成人に比べ著しく大きいものであった。大道ら(1983)は、幼児に「はやく」「ふつう」「ゆっくり」というように動作速度を随意に区別してタッピングを行わせた時、はやい方が強い力を出し、動作も大きくなることを示した。すなわちこれは、できるだけ素早い動作を行おうとすると、それにつられて、力の大きさ、力発揮のための活動筋の範囲ともに拡大・促進的に働くと解釈できる。本研究で用いたグリップ動作は、前腕までを固定した状態で尚且つ年少の子どもでも動作の遂行が可能であるという理由のもとに用いた動作であるが、子どものグリップ力が相対的に非常に大きかったことから、近位も含めた広い部位での運動になっていた可能性が考えられる。

Bilateral deficit は、身体の動作部位によってもその出現傾向が異なるという指摘があり、Anson と Bird (1993) は bilateral deficit は身体の遠位部での運動でみられ、近位部では見られないことを報告している。本研究におけるグリップ動作を用いた試行において、成人では bilateral deficit の傾向がみられ、子どもでは見られなかったことは、そのことが要因の一つである可能性も否定できない。

本研究においては、同一の動作、同一の指示、および運動課題に対してではあるものの、出力の際のストラテジーは成人と子どもでは異なっていたと考えられる。今後さらにより身体の遠位部での制限された運動によるデータを得てさらに検討してみる必要があるだろう。

本研究では、少ない事例からの事象の提示にとどまり、神経活動についての具体的検証は行われていないため、メカニズムについては可能性における推測の域を超えないものではあるが、いずれにしてもグリップ動作を用いた一側・両側同時の反応時間課題遂行時に、子どもでは両側での反応時間が遅くなる事例(両側性機能低下)は少なく、成人とは異なる傾向がみられるということが確かめられた。

## 総 括

一般に一側の体肢を単独に動かした場合の最大筋力や反応時間に比べて両側を同時に動かした時に同一側の力や反応の速さは低下するという現象が観察され、それらは両側性機能低下(bilateral deficit)とよばれる。こ

の現象の出現メカニズムについては必ずしも明確ではない。両側を同時に動かす際に大脳半球間で相互に抑制が起こることによるというのがその一つであり、両側を用いた動作パフォーマンスには、それぞれの動きを支配する上位中枢が関与していると考えられる。

本研究では、神経系が発達段階にある子どもにおいて、単純な素早い動作(グリップ動作による反応動作課題)を行ったときの一側・両側での動作遂行時に、成人と同様の現象がみられるかを観察し、子どもの特徴を明らかにすることを目的とした。

被検者は健康な6-9歳の子どもたちで、音刺激に対するグリップ動作での反応時間課題を、左右それぞれ一側、および両側同時という3つの条件設定において遂行し、反応時間およびグリップ力を測定した。それらの各値を同様に行った成人の結果と比較した。

単純反応時間は、左右一側単独、両側同時動作とも全般に加齢に伴い短縮した。同一側における一側単独と両側同時による反応時間をみると、成人では両側同時による反応時間の方が一側単独による反応時間より長くなる(bilateral deficit)傾向が左右でみられたのに対し、子どもではそれがみられず、むしろ全般には両側のほうが反応時間が短縮する傾向もみられた。両側同時動作時の大脳半球間の抑制機構がBilateral deficitの出現メカニズムの一つと考えられているが、子どものbilateral deficitがみられにくいことについては、大脳の両半球をつなぐ器官の未発達により抑制的作用が働きにくいこと、また、同側性の経路あるいは対側への投射の作用などより促進的な働きのほうが優位であること、などがその要因である可能性が推察された。さらに動作自体の様式も含め、素早い動作を遂行するということに対するストラテジーが成人と異なっている可能性も考えられる。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり被検者として協力していただきました、学生、子どもたちとそご両親の皆様は深く感謝いたします。

## 付 記

本研究は平成14-16年度文部科学省日本学術振興会科学研究費、および平成16年度慶應義塾学事振興資金による補助を受けた研究の一部である。

## 引用文献

- Anson JG and Bird YN (1993) Neuromotor programming: Bilateral and unilateral effects on simple reaction time. *Human Movement Science*, 12, 37-50
- Di Stefano M et al (1980) Hemispheric control of unilateral and bilateral movements of proximal and distal parts of the arm as inferred from simple reaction time to lateralized light stimuli in man. *Exp. Brain Res.* 38, 197-204
- Giedd JN et al (1996) A quantitative MRI study of the corpus callosum in children and adolescents. *Developmental Brain Research*, 91, 274-280
- Howard JD and Enoka RM (1991) Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects. *Journal of Applied Physiology*, 70, 306-316
- Kaluzny P and Wiesendanger M, (1992) Feedforward postural stabilization in a distal bimanual unloading task. *Exp. Brain Res.*, 92, 173-182
- Koh YJ et al (1993) Bilateral deficit is larger for step than ramp isometric contractions. *J Appl Physiol*, 74, 1200-1205
- 黒木麗菜, 野坂和則 (2004) 上腕屈筋群の等尺性筋力発揮時の両側性機能低下における筋力発揮レベルと筋疲労の影響, *体力科学*, 53, 379-390
- Marion et al (2003) Normal development of bimanual coordination: Visuomotor and interhemispheric contributions. *Developmental neuropsychology*, 23, 399-421
- Mayston MJ et al (1999) A neurophysiological study of mirror movements in adults and children. *Ann Neurol*, 45, 583-594
- 大道等, 八木尚江, 森下はるみ (1983) 幼児タッピング動作の観察. *体育の科学*, 33, 240-247
- Oda S and Moritani T (1995) Movement-related cortical potentials during hand grip contractions with special reference to force and electromyogram bilateral deficit. *Eur J Appl Physiol.*, 72, 1-5
- Ohtsuki T (1981) Decrease in grip strength induced by simultaneous bilateral exertion with reference to finger strength. *Ergonomics*, 24, 37-48
- Ohtsuki T (1994) Change in strength, speed, and reaction time induced by simultaneous bilateral muscular activity. In : Swinnen S et al (eds) *Interlimb coordination*. Academic Press, San Diego, pp. 259-274
- O'Leary DS, (1980) A developmental study of interhemispheric transfer in children aged five to ten. *Child development*, 51, 743-750
- Reitz M and Muller K (1998) Differences between 'congenital mirror movements' and 'associated movements' in normal children: a neurophysiological case study. *Neuroscience Letters*, 256, 69-72
- Seki T and Ohtsuki T (1990) Influence of simultaneous bilateral exertion on muscle strength during voluntary submaximal isometric contraction. *Ergonomics*, 33, 1131-1142
- Taniguchi Y (1997) Lateral specificity in resistance training: The effect of bilateral and unilateral training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 75, 144-150
- Taniguchi Y (1999) Effect of practice in bilateral and unilateral reaction time task. *Perceptual and Motor Skills*, 88, 99-109