

## 幼少期における筋出力調節能力の発達過程に関する研究

奈良女子大学 大 高 千 明  
(共同研究者) 同 中 田 大 貴  
同 藤 原 素 子

### Ability of Adjusting The Grip Strength in Childhood

by

Chiaki Ohtaka, Hiroki Nakata, Motoko Fujiwara  
*Department of Health Sciences,  
Faculty of Human Life and Environment, Nara Women's University*

#### ABSTRACT

In this study, we investigated the ability to adjust grip strength in childhood by comparing the characteristics of force generation and relaxation. Twenty-six boys and twenty-five girls in fifth grade (11 years old) performed their strongest grip [maximum voluntary contraction (MVC) task]. adjusted from complete relaxation to their self-perceived half strength [generation task (0% MVC to 50% MVC)]. and adjusted from maximum voluntary strength to their self-perceived half strength [relaxation task (100% MVC to 50% MVC)]. Two trials were performed for each task, and the average value was calculated. In addition, during the generation and relaxation tasks, the relative values were calculated based on the 100% MVC, and the constant and absolute errors from the target value (50% MVC) were evaluated. There were no significant relationships in the constant error among the force levels of maximum, generation, and relaxation tasks for boys and girls. The relative values were significantly smaller during the relaxation task than during the generation task

and were smaller in girls than in boys. The constant errors were significantly negatively greater during the relaxation task than in the generation task in boys and girls, and greater in girls than in boys during the generation and relaxation tasks. Moreover, there was a positive correlation in the relative values between generation and relaxation in boys. These results suggest that the ability to exert maximum power and adjust power are different, and the ability of force control is higher in boys than in girls during childhood.

## 要 旨

本研究では、握力による出力調節課題を用いて、随意的な出力増加および減少時における調節特性について、幼少期の発達過程に着目し検討することを目的とした。児童後期である小学5年生の男子26名、女子25名を対象とし、立位姿勢で利き手による握力発揮を課題動作とした。最大努力で力発揮（0%から100%へ）する「最大握力課題」、最大努力に対する半分（50%）の力へ調節（0%から50%へ）する「半分増加課題」、最大努力で力発揮をした状態から半分の力へ調節（100%から50%へ）する「半分減少課題」を各2試技ずつ行った。発揮された張力を記録し、各課題2試行の平均値、半分増加および半分減少課題については、最大握力課題に対する相対値を算出し、目標値（50%）との誤差（恒常誤差、絶対誤差）から正確性を評価した。その結果、最大握力課題の平均値と半分増加および半分減少の恒常誤差との関係性については、男女ともに有意な関係性は認められなかった。半分増加および半分減少課題の相対値については、半分減少課題が半分増加課題よりも、また女子が男子よりも有意に小さかった。恒常誤差については、半分減少課題が半分増加課題よりもまた女子が男子よりも、マイナス方向に有意に大きかった。さらに男子のみ半分増加と半分減少の相対値について有意な正の相関がみられた。これらの結果から、幼少期における筋出力調節能力

デサントスポーツ科学 Vol. 41

において、最大努力による握力発揮能力と目標値への出力調節能力には関係性は認められず、自らの最大努力による力発揮能力と、狙ったように自らの身体をコントロールする力である調整力は、異なる能力を示す可能性が示唆された。また、男女ともに減少させる調節は増加させる調節よりも正確性は低いが、児童期における男子は女子よりも調整力が高いことが示された。

## 緒 言

我々ヒトは、スポーツ場面に限らず日常生活において、全力で力発揮することよりも目的に合った力を調節することで、様々な多くの動作を遂行している。巧みに動作を遂行するためには、筋収縮と筋弛緩、つまり運動出力を増加させる調節と減少させる調節の両者を適切に制御することは非常に重要な要素である。しかしながら、馴染みのない動作の遂行時や、スポーツ動作や楽器演奏動作などの様々なスキルを要する動作の遂行時には、特に意図したとおりに力を減少させる調節、すなわち上手く力を抜く調節は難しいといわれている<sup>1,2,3,4</sup>。

随意的な出力調節に関する基礎研究としては、等尺性の力発揮動作を用いた張力調節を運動課題として、増加時と減少時の特性について比較検討がなされている。手指での動作<sup>5,6</sup>、上肢<sup>7</sup>や下肢<sup>8</sup>を対象動作として、個人の最大随意発揮力に対する相対的な力レベルを基準に、規定された目

標値に対するグレーディング課題を用いて検討されており、目標値からの誤差を評価することで、力を正確に減少させる調節は増加させる調節よりも難しいことが明らかにされている。しかしながら、これらの先行研究では成人を対象としたものがほとんどであり、幼少期の調節能力に関する知見は僅かである。幼少期は特に動きを調節する能力の発達が著しく、幼児期に多くの動きをバリエーション豊かに経験し獲得していくことは、その後の身体運動への取り組みや意識に大きく影響することから、幼少期における調節能力に着目することは非常に重要であると考えられる。

そこでこれまでに筆者らは、握力による力発揮課題を用いて、5歳児の男女を対象に幼児期の出力調節能力について検討した<sup>9)</sup>。最大努力での力発揮に対する半分(50%)の力を目標値とし、増加させる調節と減少させる調節を比較したところ、特に力を減少させる調節の正確性は著しく低く、男女児ともに減少させる調節が増加させる調節よりも難しいことを明らかにした。さらに加齢に伴い、出力調節能力はどのように発達および獲得していくのか、その発達過程については示されていない。本研究では、小学5年生の男女を対象に、

同様の握力による力発揮課題を用いて増加時と減少時の特性を比較し、幼少期における出力調節能力について明らかにすることを目的とした。

## 1. 方法

### 1.1 対象

対象は、N県の小学校に通学する5年生男子25名(11.4±0.4歳)、女子26名(11.3±0.4歳)、計51名であった。表1に、対象児童の体格特性を示した。測定にあたり、奈良女子大学研究倫理審査委員会の承認を得た(15-13号)。また児童の保護者には書面により趣旨を説明した上で、同意書にて児童の測定への参加に対して承諾を得た。

表1 対象児童の体格特性(平均値±SD)

	身長(cm)	体重(kg)
男子	141.7±6.3	35.3±6.4
女子	144.6±6.6	36.4±5.8

### 1.2 課題および測定手順

図1に測定の様子を示す。児童は立位姿勢での利き手による握力発揮を行った。測定器は、握力発揮中のアナログ張力波形がリアルタイムで記録可能な握力用アタッチメント(T.K.K.5710b、竹

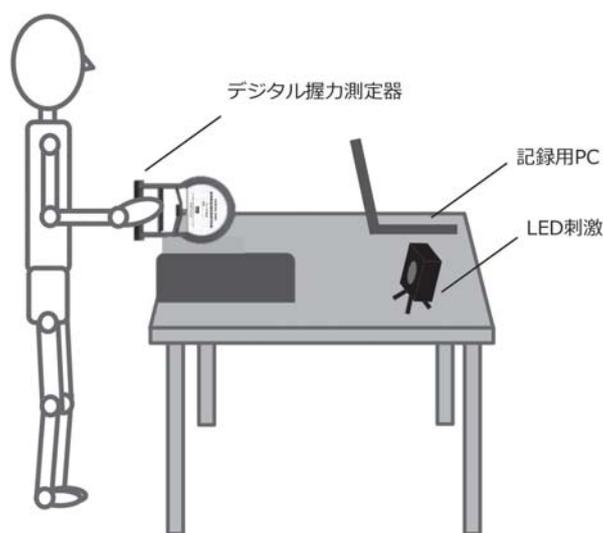


図1 実験設定

井機器工業)を用いた。グリップの幅は、小学生を対象とした文部科学省による新体力テスト実施要領<sup>10)</sup>に合わせて、示指の第2関節がほぼ直角になるように児童ごとに調節した。課題は以下の3つであった。

- 1) 最大握力課題: 最大努力での力発揮 (0% から100%へ)
- 2) 半分増加課題: 最大努力に対する半分の力へ調節 (0%から50%へ)
- 3) 半分減少課題: 最大努力で力発揮した状態から半分の力へ調節 (100%から50%へ)

最大握力課題, 半分増加課題, 半分減少課題の順に, 各2試技ずつ行った。半分増加および半分減少課題については, LED刺激の点灯を合図に主観的努力度によって自らが「半分 (50%)」であると思う力を発揮し, LEDが点灯している2秒間は発揮している力を保持するように指示した。

### 1. 3 測定項目

発揮された張力は, 握力計に内蔵されたストレンゲージにより記録した。張力はAD変換器 (MP150, Biopac Systems) を介してコンピュータに1000Hzで記録し, データ解析ソフト (Acqknowledge, Biopac Systems) を用いて処理した。

### 1. 4 分析項目

張力波形は, Low pass filterによって100Hz以上の成分を取り除いた後, 移動平均処理 (Smoothing factor 30 samples) を行った。調節開始前300msの平均値を基準値とし, 調節開始後10ms区間ごとに張力調節速度 (N/s) の移動平均値を求め, その値が10ms以上連続して基準値の40%以下になった値が10ms連続した最初の点から500msを分析対象とした<sup>9)</sup>。この定義に基づき, 張力について各課題2試行の平均値 (kg重) を算出した。半分増加および半分減少課題について

は, 各対象児における最大握力課題における平均値 (kg重) に対する相対値 (%) を算出し, 目標値 (50%) との誤差 (恒常誤差, 絶対誤差) をもって正確性を評価した。恒常誤差は各平均値から目標値を減じた値を平均し, 絶対誤差はこれらの値の絶対値を平均した。

## 1. 5 統計処理

各変数について, 男子および女子における人数分布, 平均値および標準偏差で表した。半分増加および半分減少課題における相対値および誤差については, 課題 (半分増加, 半分減少) と性別 (男子, 女子) を要因とした二元配置分散分析を行った。また, 相関の検定にはPearsonの積率相関係数を用いた。統計処理にはSPSS (IBM SPSS Statistics Version 25, SPSS Inc.) を使用し, 全ての検定における有意水準は5%未満とした。

## 2. 結果

### 2. 1 最大握力と半分増加および半分減少との関係

図2に, 最大握力課題における平均値の人数分布を示した。男女ともに, 10kg重台から30kg重台に分布し, 15kg重から20kg重の範囲が最も多かった。また, 男女別に平均値を算出したところ, 男子は $18.0 \pm 4.2$ kg重, 女子は $20.2 \pm 5.1$ kg重であった。

また, 最大握力課題の平均値と半分増加および半分減少の恒常誤差との関係性について, 男女それぞれにおける相関係数を算出した。男女ともに, 最大握力と半分増加および半分減少との間に, 有意な関係性はみられなかった。

### 2. 2 半分増加と半分減少の関係について

図3に, 半分増加課題と半分減少課題の相対値について, 性別における平均値および標準偏差を示した。二元配置分散分析の結果, 課題 (F (1,

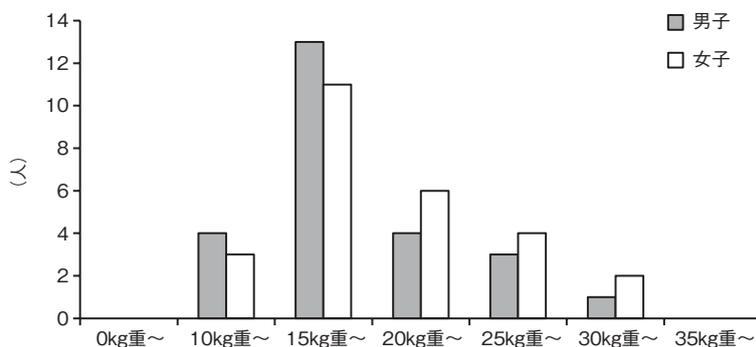


図2 最大握力課題における人数分布

24) =44.873,  $p < 0.001$ ) の主効果が認められ, 半分減少課題が半分増加課題よりも有意に小さいことが示された. さらに, 性別 ( $F(1, 24) = 8.301, p < 0.01$ ) の主効果が認められ, 女子が男子よりも有意に小さいことが示された. 交互作用は認められなかった.

さらに図4に, 各課題および性別による恒常誤差および絶対誤差を示した. 二元配置分散分析の結果, 恒常誤差については, 課題 ( $F(1, 24) = 44.873, p < 0.001$ ) の主効果が認められ, 半分減少課題が半分増加課題よりもマイナス方向に有意に大きかった. さらに性別 ( $F(1, 24) = 8.301, p < 0.01$ ) の主効果が認められ, 女子が男子よりもマイナス方向に有意に大きかった. 交互作用は認められなかった. 絶対誤差については, 課題 ( $F(1, 24) = 48.117, p < 0.001$ ) の主効果が認められ, 男女ともに半分減少課題が半分増加課題よりも大きかった. 性別の主効果および交互作用は認められなかった.

さらに図5に, 半分増加課題および半分減少課題における恒常誤差の散布図を示し, 相関係数を算出したところ, 男子では半分増加と半分減少との間に有意な正の相関がみられた ( $r=0.619, p=0.001$ ). 女子では半分増加と半分減少との間に有意な関係性はみられなかった ( $r=0.237, p=0.243$ ).

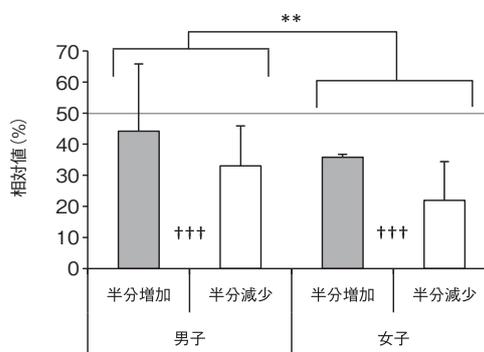


図3 半分増加および半分減少課題の相対値 (\*:性別, †:課題)

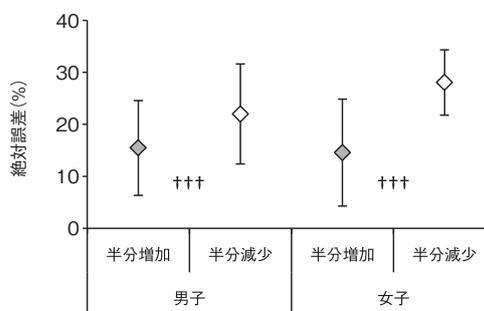
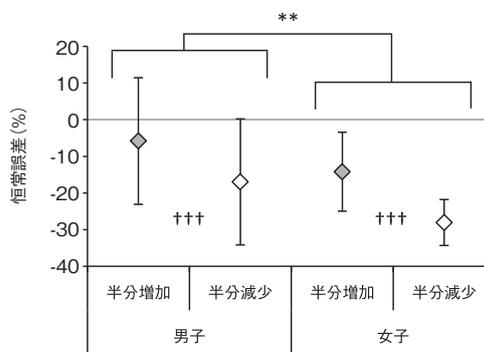


図4 半分増加および半分減少課題における誤差 (恒常誤差, 絶対誤差, \*:性別, †:課題)

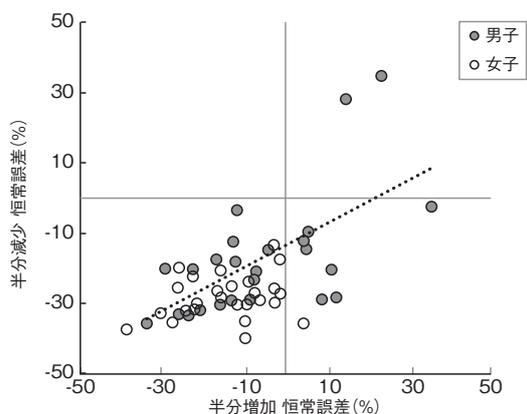


図5 半分増加と半分減少における恒常誤差の関係

### 3. 考察

#### 3. 1 最大握力と半分増加および半分減少との関係について

最大握力課題における平均値について、平成29年度体力・運動能力調査報告書<sup>11)</sup>にて示されている11歳男女における握力の平均値(男子 $20.02 \pm 4.50\text{kg}$ 、女子 $19.58 \pm 4.22\text{kg}$ )と比較したところ、男子においては本研究の測定結果のほうがやや小さい値であったが、男女ともに平均値は類似していた。このことから、本研究での対象児は全国的な小学5年生の握力水準と同程度であったと考えられる。

また、最大握力課題における平均値と半分増加および半分減少の恒常誤差との間には、男女ともに有意な関係性はみられなかったことから、児童期における最大握力の大きさと調節能力には関連性はみられないことが明らかとなった。5歳児の男女児を対象とした同様の課題を用いた先行研究では、男児について、最大握力が大きいほど半分増加の相対値は小さくなる関係性が示されたが、男児の半分減少および女児の半分増加と半分減少においては、有意な関係性はみられないことが報告されている<sup>9)</sup>。握力だけでなく、幼児の立ち幅跳び動作においても、最大跳躍能力と距離調節能力には関連がないことが示されている<sup>12)</sup>。

これらのことから、本研究においても幼児を対象とした先行研究を支持した上で、児童期の男女においても、最大努力による握力発揮能力が高くとも、随意的な力調節能力が優れているとは限らず、いわゆる自らの最大努力による力発揮能力を示す「体力」と、狙ったように自らの身体をコントロールする力である「調整力」は、異なる能力を示す可能性が示唆された。

#### 3. 2 半分増加および半分減少について

半分増加および半分減少の相対値については、男女ともに半分増加のほうが半分減少よりも、また両課題ともに男子が女子よりも目標値である50%に近似していた(図3)。恒常誤差の結果からみると、男女ともに半分減少が半分増加よりも、また両課題とも女子が男子よりもマイナス方向に誤差が大きかった。これらの結果から、目標値に対する正確性については、男女ともに半分減少が半分増加よりも、また女子が男子よりも低いことが示された(図4)。これまで随意的な出力調節能に関する増加局面と減少局面を比較した研究では、成人を対象に様々な運動課題によって検討されており、目標値に対する正確な調節は減少時のほうが増加時よりも難しいことが明らかとなっている<sup>5,6,7,8,13)</sup>。幼少期を対象とした研究としては、Harbst et al. (2000)<sup>5)</sup>が周期的な出力調節およびタイミング調節課題を用いて6歳、8歳、10歳、12歳、成人を対象として増減時の特性を検討している。特に正確に力を減少させる調節は、6歳と8歳はそれ以降の年代よりも、また10歳と12歳についても成人と比較して、さらに難しいことが示されている。この先行研究では出力調節と同時にタイミングの調節も求められる課題であったことから、単発的で出力調節のみを課題とした本研究結果においてもHarbst et al. (2000)<sup>5)</sup>の先行研究を支持することとなり、新たに児童期の小学5年生男女においても力を減少させる調節は増加

させる調節よりも難しいことが示唆された。

男女差について検討された研究では、関・星野 (2008)<sup>14)</sup> がスメドレー式の握力計を用いて、5歳児および成人男女を対象に半分増加課題における正確さについて検討しているが、いずれの年代においても男女差は認められていなかった。半分減少時の正確性についても、5歳児では男女差はみられていない<sup>9)</sup>。本研究の小学5年生における恒常誤差の結果に男女差がみられた要因としては、児童後期はさまざまな身体機能に関して発育発達が著しい時期であることが考えられる。スキヤモンの発育曲線で示されるように、10歳前後はゴールデンエイジと呼ばれ、特に神経系の発達が盛んな時期である。身体発育については女子では11歳ごろ、男子では13歳ごろに最大発育年齢を迎えることなど、男女で発育速度や変化特性は一様でないこともこの年代の特徴として挙げられる。このような児童後期の特性から、調整力に関して男女差がみられたことが推察される。

さらに、半分増加と半分減少の関係性を検討したところ、男子においてのみ半分増加と半分減少の恒常誤差に有意な正の相関関係がみられた (図5)。この結果からは、増加による調節が正確であるほど、減少による調節も正確であるという関係性が示され、児童後期の男子においては、出力の増加および減少時の調節能力は関連がみられることが明らかとなった。この関係性についても5歳児男女ではみられなかったことから、児童後期に特有の傾向、もしくは児童期以降に男女ともにみられる特性である可能性が考えられる。今後、青年期である中高生を対象として、出力調節能力の発達過程について引き続き検討していく必要があるだろう。

#### 4. 結 論

本研究は、小学5年生男女を対象とし、握力発揮時における最大努力による力発揮と、その半分

(50%)の力に対する出力調節について、増加時(0%から50%へ)と減少時(100%から50%へ)を比較し、幼少期における出力調節特性を検討した。その結果、幼少期における筋出力調節能力において、最大努力による握力発揮能力と目標値への出力調節能力には関係性は認められず、自らの最大努力による力発揮能力と、狙ったように自らの身体をコントロールする力である調整力は、異なる能力を示す可能性が示唆された。また、男女ともに減少させる調節は増加させる調節よりも正確性は低いが、児童期における男子は女子よりも調整力が高いことが示された。

#### 謝 辞

本研究に対して助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝致します。本研究の実施にあたり、実験参加にご快諾いただいた児童および保護者の皆様、またご協力いただいた対象小学校の先生方に厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) Fujii S., Kudo K., Ohtsuki T., Oda S., Tapping performance and underlying wrist muscle activity of non-drummers, drummers, and the world's fastest drummer, *Neurosci. Lett.*, **459**: 69-73 (2009)
- 2) Furuya S., Osu R., Kinoshita H., Effective utilization of gravity during arm downswing in keystrokes by expert pianists, *Neuroscience*, **164**: 822-831 (2009)
- 3) Sakurai S., Ohtsuki T., Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice, *J. Sports. Sci.*, **18**, 901-914 (2000)
- 4) Sewa S., Kizuka T., The quantification of the surplus muscle activities which disturbs the correct ball control technique, *Res. J. Physical Arts*, **12**, 13-20 (2006)
- 5) Harbst K.B., Lazarus J.C., Whittall J., Accuracy of dynamic isometric force production: The influence of age and bimanual activation patterns, *Motor Control*, **4**: 232-256 (2000)
- 6) Masumoto J., Inui N., Control of increasing

- or decreasing force during periodic isometric movement of the finger, *Hum. Mov. Sci.*, **29**: 339-348 (2010)
- 7) Ohtaka C., Fujiwara M., Control strategies for accurate force generation and relaxation, *Percept. Mot. Skills*, **123**: 489-507 (2016)
- 8) Ohtaka C., Fujiwara M., Force control characteristics for generation and relaxation in the lower limb, *J. Mot. Behav.*, **51**: 331-341 (2018)
- 9) 大高千明, 梅本麻実, 藤原素子, 幼児の握力発揮における出力調節. 体育学研究, **64**: 229-236 (2019)
- 10) 文部科学省, 新体力テスト実施要領 (6~11歳対象). [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/sports/stamina/05030101/001.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/stamina/05030101/001.pdf)(1999) (アクセス日 : 2019年2月1日)
- 11) スポーツ庁, 平成 29年度体力・運動能力調査報告書. [http://www.mext.go.jp/sports/b\\_menu/toukei/chousa04/tairyoku/kekka/k\\_detail/1409822.htm](http://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/tairyoku/kekka/k_detail/1409822.htm) (2017) (アクセス日: 2019年9月17日)
- 12) 大高千明, 梅本麻実, 藤原素子, 幼児の目安跳び動作における認知とパフォーマンスの関係. 発育発達研究, **71**: 9-17 (2016)
- 13) Spiegel K.M., Stratton J., Burke J.R., Glendinning D.S., Enoka R.M., The influence of age on the assessment of motor unit activation in a human hand muscle, *Exp. Physiol.*, **81**: 805-819 (1996)
- 14) 関智美, 星野聡子, 幼児と成人の握力における随意的筋力発揮の様相. 奈良佐保短期大学研究紀要, **16**: 39-45 (2008)