

小学校高学年の男子児童における筋力発揮調整能の左右差について

—利き手・非利き手の差に関する検討—

真家 英俊・益井 洋子

Coordinated Exertion of Force on Laterality in the Boys of the Elementary School Upper Grades
: Examination about the Difference between the Handedness and the Non-handedness
Hidetoshi Maie and Yoko Masui

要約

本研究は、小学生の筋力発揮調整能における利き手・非利き手間の差を検討することを目的とした。小学生群として5、6年生の男子児童46名、対照群として健康な成人男性13名を対象に、最大握力および筋力発揮調整能を測定した。最大握力は左右それぞれ2回測定し、最大値を代表値とした。筋力発揮調整能は、最大握力値の5～25%の範囲で規則的に変動する要求値を、握力発揮によって40秒間追従する試行を左右それぞれ3回実施した。筋力発揮調整能の評価については、開始15秒以降から終了までの要求値と発揮値の誤差の総和とし、3回目の平均値を採用して筋力発揮調整能評価変数とした。筋力発揮調整能評価変数は、小学生群、対照群ともに利き手の方が非利き手よりも優れていた。よって、小学校高学年の男子児童における筋力発揮調整能は、成人と同様に利き手・非利き手間に差があることが示唆された。

キーワード

小学校高学年、男子児童、筋力発揮調整能、握力、利き手・非利き手

1. 緒言

体力や運動技能の測定は、競技者あるいは一般人に関わらず、より強く、より速く、より遠くにといったように最大能力の発揮に対して関心が向けられ実施されてきた。その中でも強さの要素はもっともわかりやすく、力の大小や距離の長短によって示され⁽¹⁾、これら最大能力の発揮に基づく体力を測定・評価する方法が確立され一般化されている。特に筋力の測定に関しては、握力や背筋力などに代表される静的筋力、上体起こしなどに代表される筋持久力、垂直とびや立ち幅とびなどに代表される瞬発的筋力等があり、最大努力に基づいた測定がおこなわれている。最大筋力の測定は、一定の外部負荷に対する抵抗力、あるいは筋系（エネルギー発生系）の能力を把握するうえで重要であると考えられる。しかしながら、日常生活において最大筋力を発揮することは極めて少なく、むしろ最大下の力をいかに有効に持続的に発揮する場面が要求される⁽²⁾。また、ヒトの運動は、筋力の発揮を運動制御機能によって調整することで遂行され、ある目標に合致した動作を遂行するためには、随意筋を目標に対して適合するように、その筋力の発揮を調整する必要がある⁽³⁾。さらに、このような随意筋の運動は、脳、脊髄などの中枢神経系によって微妙に調節され、視覚などの情報も重要な要素となってくる。ある目標に対して巧みに適合させること、あるいは小さな力を正確に出力させること、大きな持続的筋力発揮中の微細な調節をおこなったりすること⁽⁴⁾は、神経-筋系の協応関係⁽⁵⁾がうまく作用しているか否かによるものと考えられる。したがって、最大筋力の発揮と同様に、随意筋の運動が各課題に応じて合目的に発揮しうる筋力を調整する能力、すなわち筋力発揮調整能を評価することも重要であると思われる。

随意運動の機能は、巧みに、効率的におこなう最大下の動作に主として関与する⁽²⁾。随意運動の機能を測定する代表的な方法として、指標追従運動のような視覚情報に対して正確に手を操作するテストが挙げられる。大脳における「力量感覚」と「指標マッチング」といった情報フィードバックにとまなう素早い判断

や制御が要求される手足の運動や目と手の協調など、局部の運動には随意運動系における神経-筋系の調整能力、すなわち筋力発揮調整能が深く関与している⁽⁶⁾。筋力発揮調整能のテストは、各課題に応じて筋力発揮を調整する運動制御機能を評価する重要なテストのひとつである。運動制御機能を円滑に発揮するには、中枢および末梢神経系からの情報が脳で統合され、各運動器官において運動が正しく調節される必要がある。ターゲットの動きに応じて筋の収縮と弛緩がスムーズにおこなわれ、変動性が減少し、正確性が増す場合、運動制御機能に優れていると解釈される⁽⁷⁾。このような運動機能を調節する能力は、運動経験による学習によって後天的に獲得される。

筋力発揮調整能に関して、永田ら⁽⁸⁾は、健康な成人男性3名を対象とし、脚の持続的追従運動を4種類の目標波形（のこぎり波形、矩形波形、正弦波形、三角波形）を用いて、その筋力発現パターンから追従運動のなめらかさ、安定性、正確性、即応性を検討しており、各波形の持続的追従運動は0.5Hzの周波数が限界で、それ以降の大きい周波数では追従不能に近づくとしている。北本⁽⁹⁾は、いずれも右利きの一般学生5名を対象として、目標筋力への運動調節実験（目標波形は0.15、0.3、0.6Hzの矩形波形で、最大筋力の3/4を筋力発揮の上限とした）から、握力発揮時における左右筋力発現の様相を分析し、正確性からみた左右応答特性では、各身体部位ともに0.3Hzの運動リズムが最適調節状態を示し、左右同時調節においてもっとも良い成績を示したと報告している。Carey et al.⁽¹⁰⁾は、22～36歳の成人を対象に握力最大値の30～40%の矩形波による要求値を用いて、10秒間のforce tracking testによる測定値の反応性を検討し、能力が向上するのに対して成績も向上し、20分間の休息を挟んで前後3試行の平均値を代表値とした場合の信頼性係数は0.72であったとしている。中田ら⁽¹¹⁾は、異なる周波数の要求値を用いて筋力発揮調整能を測定し、測定値の相互関係が低いことを報告している。また、長澤ら⁽¹²⁾は中・高齢者の筋力発揮調整能は若年者より劣り、かつ大きな個人差がみられること、若年者と変化パターンが異なり、試行ごとに低下を示すこと、女性は男性よりも劣るが男女とも類似した低下傾向を示すことを報告している。しかしながら、運動経験に基づく学習によって獲得される筋力発揮調整能に関して、体力の向上がみられ、種々の運動技能が獲得される時期である児童期を対象とした報告は少ない。また、随意運動を巧みに、効率的に遂行する運動制御機能の発達過程を明らかにするうえでも、児童期における筋力発揮調整能を検証することは有意義であると考えられる。

そこで本研究では、小学生の指標追従による筋力発揮調整能における利き手・非利き手間の差を検討することを目的とした。

2. 方法

(1) 被験者

被験者は、東京都内の公立小学校に通う5年生の男子児童20名、6年生の男子児童26名の計46名（年齢 10.6 ± 0.50 歳、身長 144.5 ± 8.49 cm、体重 38.7 ± 11.27 kg）とした（以下、小学生群）。また、小学生との比較のために把握動作をともなう運動歴のない19～29歳の成人男性13名（年齢 21.7 ± 3.81 歳、身長 173.8 ± 5.24 cm、体重 73.4 ± 5.73 kg）を対照群とした。すべての被験者において手首の傷害や上肢の神経障害は認められず、健康状態は良好であった。被験者の身体的特性値を表1に示す。実験の実施内容やその

手順を十分説明したあと、すべての被験者から同意を得た。

表1 被験者の身体的特徴

	小学生群		対照群	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
年齢 (歳)	10.6	0.50	21.7	3.81
身長 (cm)	144.5	8.49	173.8	5.24
体重 (kg)	38.7	11.27	73.4	5.73

(2) 測定装置および測定手順

握力測定の前に、文字を書く、はさみを使用する、ボールを投げる等の場合に使用する手を調査することによって被験者の利き手を特定した⁽¹³⁾。最大握力および筋力発揮調整能の測定は、0～979.7 Nの測定が可能なスメドレー型のデジタル握力計（GRIP-D5101；竹井社製）を用いた。デジタル握力計からの握力発揮信号は、A/D変換後、10Hzのサンプリング周波数でコンピュータに取り込んだ。最大握力の測定は、文部科学省の新体力テスト実施要項に準拠して実施した。握力計の把握部については、人差し指の第2関節がほぼ直角になるよう握り幅を調節し、直立の姿勢で両足を自然に開いて腕を自然に下げ、1分間の休息を挟み左右交互に2回ずつ測定した。最大握力は、左右いずれも最大値を代表値とした。筋力発揮調整能に関する測定については、被験者がコンピュータのディスプレイ上に表示された要求値と握力の差異を最小にしながら握力発揮をおこなった。先行研究⁽¹⁴⁾に基づき、要求値と同様に視覚的・空間的に時間とともに左から右への滑らかな波形の変化として表示されるために要求値に対する追従が容易であり、また要求値と実際の握力値とのずれを被験者自身が認識しやすいことから正弦波形の画面表示法を採用し、要求値と実際の握力値を同時に画面に出力した。実際の発揮値の変化は、要求値と同様に視覚的・空間的に時間とともに左から右への波形の変化として表示された。要求値は40秒の時間中、0.1Hzの周期で変動した。図1に波形の画面表示法を示す。試行回数は3回とし、疲労や事前におこなったテストの影響を排除するために施行間は休息

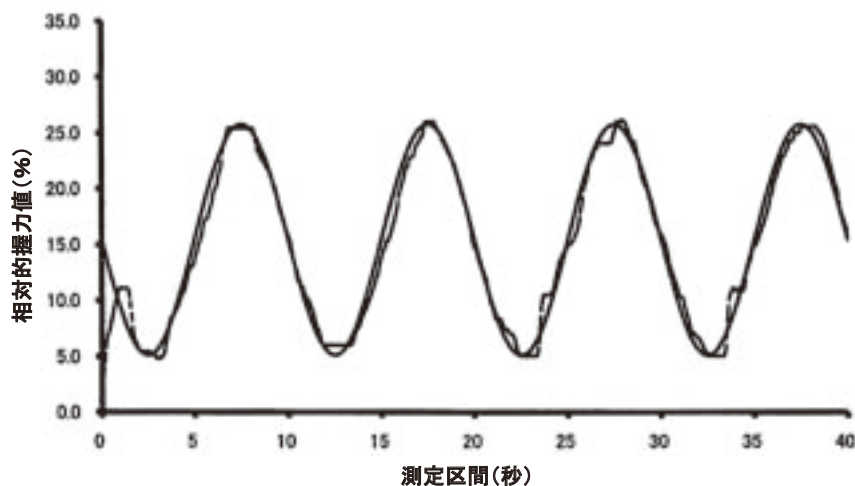


図1 コンピュータのディスプレイ上に表示される握力発揮要求値の正弦波形および実際の握力発揮値の波形

を十分にとらせた。各個人の体力や筋力は異なるので、絶対的要求値ではなく相対的要求値とし、相対的要求値は最大握力の5～25%の範囲内で変動させた。各試行における設定時間は40秒間としたが、前半の15秒間はデータから除外した。筋力発揮調整能の評価変数として、要求値と筋力発揮値との差の総和を採用した。本研究では、練習効果を考慮して3試行目の平均値をデータとして採用した。

(3) 統計解析

小学生群および対照群の利き手、非利き手における筋力発揮調整能評価変数の正規性の検定には、コルモゴロフ・スミルノフ検定を用いた。正規性の検定によって各群の利き手、非利き手において正規分布が仮定されたことから、利き手と非利き手間における筋力発揮調整能評価変数の差を検討するために、対応のあるt-検定を用いた。有意水準は5パーセントとした。なお、得られたデータの分析には、SPSS statistics 18を用いた。

3. 結果

小学生群および対照群における利き手・非利き手間の最大握力の比較を図2に示す。小学生群における最大握力は、利き手側が $19.0 \pm 4.04\text{kg}$ 、非利き手側が $16.9 \pm 3.71\text{kg}$ であり、利き手側が非利き手側に比べ有意に大きな値を示した ($p < 0.05$)。また、対照群における最大握力は、利き手側が $45.5 \pm 5.99\text{kg}$ 、非利き手側が $42.2 \pm 6.36\text{kg}$ であり、利き手側が非利き手側に比べ有意に大きな値を示した ($p < 0.05$)。

図3は、小学生群および対照群における利き手・非利き手間の筋力発揮調整能評価変数の比較を示している。小学生群における筋力発揮調整能の評価変数は、利き手が $620.5 \pm 172.85\%$ 、非利き手側が $768.9 \pm 190.21\%$ であり、利き手側が非利き手側と比べ有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。また、対照群における筋力発揮調整能の評価変数は、利き手が $487.6 \pm 115.06\%$ 、非利き手側が $560.9 \pm 122.13\%$ であり、利き手側が非利き手側と比べ有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

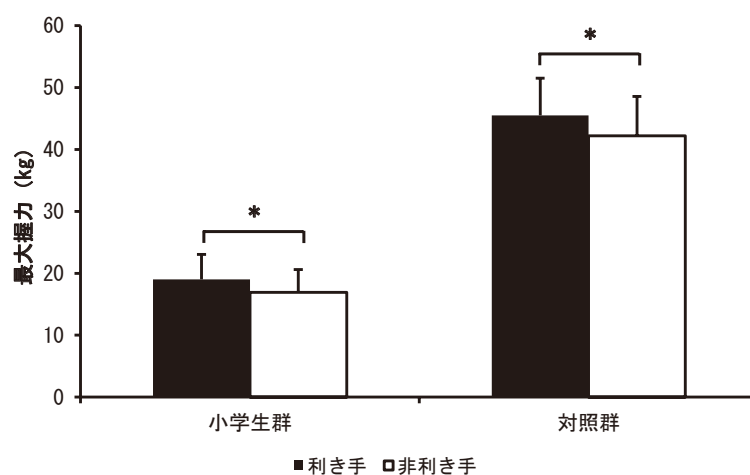


図2 小学生群および対照群における利き手 (■)・非利き手 (□) 間の最大握力の比較：* $p < 0.05$

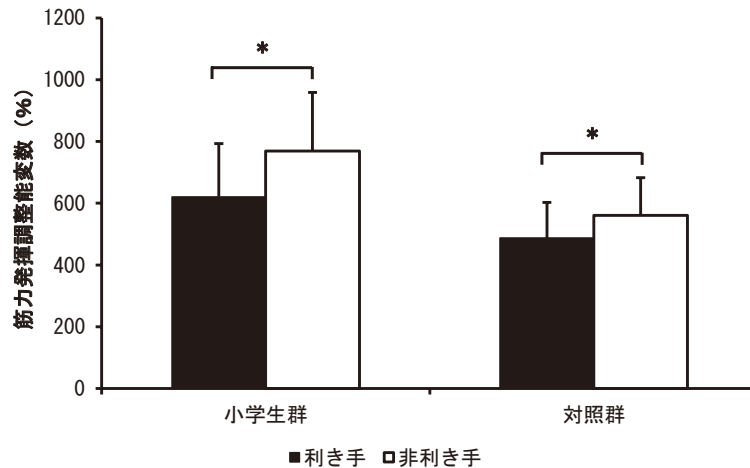


図3 小学生群および対照群における利き手 (■)・非利き手 (□) 間の筋力発揮調整能変数の比較：* $p < 0.05$

4. 考察

ヒトの運動遂行および達成は筋機能と神経系機能の影響を強く受ける⁽¹⁵⁾が、各種運動に対する両機能の関与度は異なっている。例えば、重いものを持ち上げるときには筋力の関与が高く、字を書く、箸を使うときなどは巧緻性の関与が高いと考えられる。利き手および非利き手は、課題を器用に遂行しう程度や使用する頻度によって決定されている⁽¹³⁾⁽¹⁶⁾。また、上肢の動作において、利き手は非利き手よりも大きな力を発揮しうると報告されている⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。本研究では、小学校高学年の男子児童における最大握力および握力の発揮による筋力発揮調整能について利き手と非利き手の優劣を検討した。その結果、最大握力は小学生および成人いずれにおいても利き手側の方が非利き手側よりも大きく、握力の発揮による筋力発揮調整能のテストにおける評価変数も、小学生、成人ともに利き手側の方が非利き手側よりも優れていた。先行研究⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾においても、身体各部位の機能的な非対称性を検討し、利き手は非利き手より優れると報告している。Demura et al.⁽²³⁾は、一般に手指や上肢の巧緻性を要求する運動課題の成就には側性が生じ、利き手が優れると報告している。筋力発揮調整能に関与する調整的・持続的筋力発揮は、日常生活において使用頻度が高く、利き手と非利き手の差が顕著である⁽²⁴⁾。北本⁽⁹⁾は、手や腕など上肢において、調整的・持続的筋力発揮に用いる側と瞬発的筋力発揮に用いる側が一致すると報告している。また、Ohtsuki et al.⁽²⁵⁾は、調整的筋力発揮（グレーディング）の能力における利き側優位性は、後天的要因の影響を受け、拡大している。すなわち、最大下の調整的・持続的筋力発揮は、日常生活において偏重的におこなわれることが多く⁽²³⁾、利き手の使用頻度が高ければ動作は巧みにおこなわれるようになり、目標とする動作の達成に関与する機能も発達し、利き手と非利き手の機能の発達差も顕著になる⁽²⁴⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。本研究の結果においても、最大握力および握力を発揮する筋力発揮調整能のテストにおける評価変数において利き手が優れており、先行研究と同様の結果を得た。したがって、小学生（高学年の男子児童）においても、成人と同様、利き手と非利き手における機能的な発達差が生じているものと推察される。

木下ら⁽²⁸⁾は、幼児と成人の手指による持ち上げ動作において、把握力が、5歳まで急速に減少し、その後8歳まで徐々に減少することを報告している。末利ら⁽²⁹⁾は、5歳から17歳の被験者による重量弁別課題において、弁別閾が11歳まで次第に減少していくことを報告している。また、握力による力量弁別課題に

において、幼児（5～6歳の男児）の弁別閾が成人（21～27歳の男子）よりも大きいとの報告もある⁽³⁰⁾。把握力の調節や弁別は、皮膚や筋紡錘、腱器官などからの末梢情報に基づいておこなわれていると考えられ、これら先行研究の結果は、成人の方が、末梢情報の知覚および処理機能が発達していることを示唆していると考えられる。随意的な筋力発揮においては、遠心性の出力に対する感覚、および末梢の皮膚や筋紡錘、腱器官などの固有受容器からのフィードバックによって出力量が調節されることが考えられている⁽³¹⁾。一方、関ら⁽³²⁾は、主観的判断に基づいて発揮される筋力について、幼児と成人の随意的な筋力発揮の様相と発達の関係を比較し、5歳児は成人と同様の正確性で出力量を調節できることを報告している。本研究においても、小学生（高学年の男子児童）における筋力発揮調整能は、成人男性と同様、利き手・非利き手間において有意な差が認められた。小脳や大脳基底核などの運動関連神経機構における運動遂行に關与する機能的役割は異なり、一般に小脳は運動の巧緻性に、大脳基底核、特に黒質線条体系は運動の遂行そのものに係わると考えられている⁽³³⁾。本研究における筋力発揮調整能のテストは、最大下の筋力発揮によって緩やかな変動要求（0.1Hz）でおこなわれ、実際の握力発揮値は、要求値と同様に画面上を左から右へ移動した。本テストにおける課題達成のためには、目（視覚情報）と手（握力発揮）による運動調節機能が強く要求され、この機能の発揮は「指標マッチング」、「力量発揮感覚」などのフィードバックによって調節されるため、被験者は試行中にフィードバック制御をおこなうことが可能である。一般に、目と手の協応性における練習効果には視覚情報によるフィードバック制御の影響が強く關与するといわれている。測定値におよぼす視覚からのフィードバック制御の素早さとその適合性の影響は、最大握力および筋力発揮調整能のテストのいずれも利き手側において大きいと考えられる。すなわち、利き手の場合、非利き手に比べて、変動する要求値から実際の握力発揮値が大きく逸脱することが少なく、仮に大きく逸脱した場合であっても、できる限り短時間で制御することによって発揮値を一致させることが可能であったと考えられる。本研究では、小学生における筋力発揮調整能のテストにおいて、利き手・非利き手間に明らかな差が認められた。したがって、小学生における筋力発揮調整能には、末梢における「力量発揮感覚」に加え、「指標マッチング」のための視覚情報が強く關与していたものと考えられる。しかしながら、本研究では小学校5、6年生の男子児童を対象としており、発育発達段階における筋力発揮調整能において利き手・非利き手間に差が生じる過程、あるいはその性差について結論づけることは困難である。幼児・児童期における筋力発揮調整能の発達過程を明らかにするために、今後は幼児や低学年などの低年齢児童や女子児童を対象としたより詳細な検討が必要であるとされる。

5. まとめ

本研究は、指標追従法によって発育段階の小学生において筋力発揮調整能における利き手・非利き手間の差を検討することを目的とした。最大握力は、小学生群、対照群ともに利き手側が非利き手側に比べ有意に大きい値を示した。また、筋力発揮調整能評価変数においても、小学生群、対照群ともに利き手の方が非利き手よりも優れていた。したがって、小学校高学年の男子児童における筋力発揮調整能は、成人と同様に利き手・非利き手間に差があることが示唆された。

参考文献

- (1) 永田晟、北本拓、室増男 (1981) 身体運動工学. 杏林書院：東京.
- (2) Halaney, M. E., and Carey, J. R. (1989) Tracking ability of hemiparetic and healthy subjects. *Physical Therapy*, 69, 342 – 348.
- (3) 川初清典 (1974) 脚筋の力・速度・パワー能力の年齢別推移. *体育学研究*, 19, 201 – 206.
- (4) 大築立志 (1989) 力のグレーディング. *Japanese Journal of Sports Science*, 8, 63 – 667.
- (5) 北本拓、田健一、松永郁男 (1981) 中高年者の運動調節能力 —脚の追跡運動調節—. *体力科学*, 30, 231 – 239.
- (6) Henatsch, H. D., and Langer, H. H. (1985) Basic neurophysiology of motor skills in sport : a review. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 2 – 14.
- (7) Brown, S. W., and Bennett, E. D. (2002) The role of practice and automaticity in temporal and nontemporal dual-task performance. *Psychological Research*, 66, 80 – 89.
- (8) 永田晟、北本拓 (1974) 脚筋力による持続追従運動の解析. *体力科学*, 23, 134 – 143.
- (9) 北本拓 (1979) 左右筋力の発言調節について. *人間工学*, 15, 259 – 263.
- (10) Carey, J. R., Patterson, R., and Hollenstein, P. J. (1988) Sensitivity and reliability of force tracking and joint-movement tracking scores in healthy subjects. *Physical Therapy*, 68, 1087-1091.
- (11) 中田征克、出村慎一、長澤吉則、山次俊介、松沢甚三郎 (2000) 最大下握力発揮時における筋力発揮調整能に及ぼす目標値表示速度の影響. *教育医学*, 45, 901 – 906.
- (12) 長澤吉則 (2006) 中・高年者における筋力発揮調整能に関する研究：要求値に対する最大下の握力発揮追従能力からの検討. *秋田県立大学総合科学研究彙報* 7, 7 – 72.
- (13) Oldfield, R. C. (1971) The assessment and analysis of handedness : the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97 – 113.
- (14) Nagasawa, Y., and Demura, S. (2002) Development of an apparatus to estimate coordinated exertion of force. *Perceptual and Motor Skills*, 94, 899 – 913.
- (15) Nagasawa, Y., and Demura, S. and Kitabayashi, T. (2004) Concurrent validity of tests to measure the coordinated exertion of force by computerized target-pursuit. *Perceptual and Motor Skills*, 98, 551 – 560.
- (16) Touwen, B. C. L. (1972) Laterality and dominance. *Developmental Medicine of Child Neurology*, 14, 747 – 755.
- (17) Alan, M., Strizak, A. M., Gleim, G. W., Sapega, A., and Nicholas, J. A. (1983) Hand and forearm strength and its relation to tennis. *American Journal of Sports Medicine*, 11, 234 – 239.
- (18) Crosby, C. A., Wehbe, M. A., and Mawr, B. (1994) Hand strength : normative values. *Journal of Hand Surgery*, 19, 665 – 670.
- (19) Dolcos, F., Rice, H. J., and Cabeza, R. (2002) Hemispheric asymmetry and aging : right hemisphere decline or asymmetry reduction. *Neuroscience Biobehavior Review*, 26, 819 – 825.

- (20) Geschwind, N., and Behan, P. (1982) Left-handedness : association with immune disease, migraine, and developmental learning disorder. *Proceedings of the National Academy of Science*, 79, 5097 – 5100.
- (21) Gur, R. C., Turetsky, B. I., ui, M., Yan, M., Bilker, W., Hughett, P., and Gur, R. E. (1999) Sex differences in brain gray and white matter in healthy young adults : Correlations with cognitive performance. *The Journal of Neuroscience*, 19, 4065 – 4072.
- (22) Roy, E. A., Bryden, P., and Cavill, S. (2003) Hand differences in pegboard performance through development. *Brain and Cognition*, 53, 315 – 317.
- (23) Demura, S., Yamaji, S., Goshi, F., and Nagasawa, Y. (2001) Lateral dominance of legs in maximal muscle power, muscular endurance, and grading ability. *Perceptual and Motor Skills*, 93, 11 – 23.
- (24) Chi, J. G., Dooling, E. C., and Gilles, F. H. (1977) Left-right asymmetry of the temporal speech areas of human fetus, *Archives of Neurology*, 34, 346 – 348.
- (25) Ohtsuki, H., Hasebe, S., Okano, M., and Furuse, T. (1997) Comparison of surgical results of responders and non-responders to the prism adaptation test in intermittent exotropia. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 75, 528 – 531.
- (26) Annett, M. (1975) Hand preference and the laterality of cerebral speech. *Cortex*, 11, 305 – 328.
- (27) 山本利春 (2001) 練習および科学的コンディショニングにおける測定と評価. ブックハウスHD.
- (28) 木下博、生田香明、葛原憲治、会田勝、Farssberg, H. (1992) 小物体の持ち上げ運動にかかわる把握力制御機能の発達. *体育学研究*, 37, 69 – 86.
- (29) 末利博、千駄忠至、内藤憲雄 (1972) 運動感覚の発達に関する研究：重量弁別と発現筋力の認知について. *京都教育大学紀要*, 41, 47 – 58.
- (30) 村瀬智彦、浅見高明、加藤雄一郎、平井仁 (1999) 幼児と成人の比較による力量弁別特性における発達変化. *愛知大学体育学論叢*, 8, 1 – 7.
- (31) Brooks, V. B. (1986) *The neural basis of motor control*. Oxford Univ. Press, New York.
- (32) 関智美、星野聡子 (2008) 幼児と成人の握力における随意的筋力発揮の様相. *奈良佐保短期大学紀要*, 16, 39 – 45.
- (33) Kornhuber, H. H. (1974) Cerebral cortex, cerebellum and basal ganglia, an introduction to their motor function, In : F. O. Schmidt. 267 – 268.