

1. はじめに

はじめに、ターゲット論文に対し5名の各分野の先生方から有益なコメントをいただいたことに深く感謝の意を表したい。各先生方のコメントに対してお答えする前に、筆者の立場について、(少なからず誤解もあるようなので)もう一度明確にしておきたい。

2. 筆者の小児リハビリテーションに対する見解

生物が環境内で生きていく過程において、生体と環境との関係性から見たとき、環境から情報を得る知覚器官と、環境に対して働きかける作用器官によって生体の主観的な世界は成り立っており、主体が動くためには環境から情報を得て動きが駆動される必要があるし、逆に動くことで客体(対象)を知るための情報が得られる。これが、高塩氏が言及したユクスキュルの機能環^[1]である。この2つの側面はいずれかが優劣つけられるものではなく、どちらも必要不可欠な要素であり、このサイクルが循環していく継続性と、それが徐々に(意図のあるなしにかかわらず)新しい経験へと展開していく発展性が必要である。これが運動発達のメカニズムであると考えられる(これについて、筆者はThelenによるDynamic Systems Approach^[2]から多大な影響を受けている)。さらに社会性の際立った人間にとって、この発達が主体と物理的環境世界のみで成り立つのではなく、多くは他者の存在によって大きく影響を受けながら発達するという柔軟さ、または危うさをもつ。しかしながら、運動障害をもつ子どもに対する過去のリハビリテーションでは、これまで知覚能力の問題が明らかにされてきたにもかかわらず、運動課題の反復的な練習という出力に重点を置いたりリハビリテーションが展開され、感覚や知覚、さらには表象という子どもの主観的な世界を軽視してきた感じが否めない。一方、知覚に重点を置いたトレーニングが近年試みられているもののその成果は限定的である^[3]。この問題を克服するためには運動と感覚・知覚の両側面の統合、すなわち子どもの自発的な運動と自分の運動と関連して起こる感覚入力や知覚変化を学習し、その結果形成される内部モデル、運動プログラム、身体表象といった予測に使用するための表象を作り出し、保持する(学習する)ことを目的とした介入が必要であると考える。

さらにこれらの介入では、必然的に他者の存在、関わり

りを伴う。他者による課題環境の設定、難易度の調整、共同作業による達成感、意欲の促進など社会性という共同の側面が、運動発達という個別的な側面に深く組み込まれた複雑なシステムであるというのが、筆者の見解である。またそれ故に、子どものリハビリテーションが一筋縄ではいかない理由でもある。まとめると、①子どもの知覚能力に着目することによって、外界や自己身体の知覚、表象など子どもの一人称的世界・内的世界を理解し、運動、行為との関連について考察することの重要性、②他者との二人称的、ときに三人称的な関わりから受ける好影響や悪影響、の2点を考慮したりリハビリテーションの展開が今後の小児リハビリテーションに必要な要素であると考えている。

3. コメントに対する回答

岩永先生、高田先生、長井先生からはおもに感覚、知覚、認知などの求心性情報と運動、行為という遠心性出力との関連について、熊谷先生からは内部モデルの重要性について、高塩先生からは、おもに対象である子どもの内的世界、主観的世界についてのご指摘を受けたものと理解している。これらの諸先生方のコメントに対し、以下個別に回答を述べていく。

岩永竜一郎先生への回答

岩永先生からは、運動に困難さをもつCP児や発達障害児の感覚と運動の統合、ネットワークの問題を示唆する知見を紹介しながら、それに対する介入の重要性について強調された。そのなかでも最近Thompsonらによって示された一次体性感覚野(S1)と一次運動野(M1)を中心溝の下でつなぐ神経経路が手の巧緻動作と関連していることを示した報告^[4]は非常に興味深く、臨床への示唆に富む内容であると考えている。頭頂連合野と運動関連領域のネットワークが空間内での協調的な四肢動作に関連しているのに対し、このS1からM1への短い経路が対象物に接触後の手の細かい操作に関連している可能性が高いと考えられる。このようにリハビリテーションでは、動作の各フェーズで知覚のモダリティや情報の種類が異なることを念頭に置き、必要な知覚情報の活用を求めていく必要があると思われる。これは後述する長井先生の感覚の重みづけに対するコメントにも共通する点である。

今回、論文中で示した効果は、損傷された神経の機能改善によるものなのか、または代償的な発達なのかについては明らかではないが、PVLによる片麻痺児の運動機能と皮質脊髓路の関係を調査した過去の報告によると、脳の損傷範囲が大きいほど麻痺側と同側の一次運動野から代償的投射の影響が大きいこと^[5-7]や、損傷を受けた週数によっても代償的なネットワークの形成の程度が異なること^[8]から、論文中で紹介した症例らも同様にその症例によって対側、同側の投射経路が混在して運動機能の向上に寄与している可能性が高いと考えている。今後は、さらに損傷の大きさやタイプなどにより運動機能改善の状況を詳細に評価しまとめて発表していきたい。

高田哲先生への回答

高田先生からは小児神経科医の視点から、DCDの病態、ニューロイメージング研究の問題点、今回紹介した症例の認知面の評価についてご指摘をいただいた。Cerebral Visual Impairment (CVI)と運動障害との関連について、これまでDCD児は視覚の問題が指摘されているが、多くは背側経路を中心とした視覚認知に関連する問題をもつ^[9-11]。おそらく、ご指摘にあったような視覚能力と運動能力との関連は、頭頂連合野を中心とした視覚空間と身体運動の統合不全による身体図式や身体イメージの発達不全が、運動の困難さの一要因になっている可能性があると考えている。これは筆者らが最近報告した運動障害児の運動機能が身体イメージの問題と関連している可能性ともつながると思われる^[12]。またCVIと運動の問題は、DCDに限らず早産児がもつ共通した特徴である可能性^[13-16]もあり、これもスペクトラムとして考えることが有用であると思われる。

介入症例の認知能力については、ご指摘のとおり症例ごとに詳細に記述すべきであったが、紙面の都合で割愛させていただいた。今回介入した症例のほとんどは触覚刺激や聴覚刺激に対する反応、自己制御能力などに特異的な異常は見られず、両下肢の伸展傾向と上方への視覚的注意が優位な状態のため、下肢への視覚注意が経験的に不足する可能性が考えられた。そのため、CPやDCDに見られるような視覚認知と運動の問題が脳のミクロな構造異常という素地をもち、それが経験不足によってさらに顕在化してくるという二重の病態となっている可能性^[17,18]を考慮し、本介入の目的として、自己身体への注

意と身体の空間的関係性の理解を早期から促進することで視覚や運動の問題が顕在化していくことを予防するという趣旨も含まれていたことも付け加えておきたい。臨床での結果の考察には、各症例の個別的、詳細な検討が必要であることを再認識できた。ご指摘に感謝したい。

長井志江先生への回答

長井先生からは、運動学習に必要な感覚モダリティの重みづけと介入効果の要因についてコメントをいただいた。感覚の重みづけについては、PVL児やDCD児は前述したように、視覚の問題を持ちながらも、実際の行為の場面では視覚情報に依存するという特徴をもつ。これはCP、DCD児に限られたことではなく、視覚が少しでも使える以上視覚情報に頼るのが通常であると考えられるが、その視覚情報を正確に処理し知覚することに問題があった場合、それが情報のノイズとなり、それに対応した筋出力も不正確なものとなる。その結果、いつまでも適切な内部モデルが形成されないという事態になる。これがCP、DCD児の病態の本質であると考えている^[19-21]。これについては、近年DCD児を対象に、聴覚による合図の反応促進が示されるようになってきた^[22,23]。もしかしたら運動の時間的タイミングの学習に音楽やリズムなど音を利用した介入が有効かもしれない。また、CPやDCD児の固有受容感覚の問題も指摘されているため、筋感覚的な記憶、つまり一人称的な運動イメージの形成にも問題を抱えている可能性が高い。筆者は特にCP児に対して固有受容感覚の学習を普段の臨床において実践しているが、明らかに体性感覚を記憶し学習することに問題を持っているケースが多いと感じている。運動学習に効率的な感覚モダリティの重みづけを症例に応じて戦略的に選択し(特に音や体性感覚)介入していく必要があると思われる。発達の過程で、この重みづけがどのように適切に機能するようになるのかについては、憶測の域を出ないが、定型発達ではどの感覚モダリティに対しても状況に応じて柔軟に重みづけを可変する能力を有していると考えられ、これは生活のなかでさまざまな状況に対峙する経験によって、その可変性を身につけていくと考えられる。重みづけを柔軟に可変できるということがすなわち“多感覚統合”と言い換えることができるだろう。

また、本論文で示した介入の効果については、ご指摘

のとおり難易度の調整、介入の時期などさまざまな要因が関連していると考えている。体重の支持機能や推進機能を発揮し行為するためには、空間的に効率のよい位置、場所に足を配置する必要がある、空間での操作、コントロールが優先的に獲得される必要があると考えている。効果的な介入方法についてはさらに詳細な検討が必要であり、今後の課題としたい。

熊谷晋一郎先生への回答

熊谷先生からは、CPの内部モデル障害仮説、そして目標とする運動が先に存在するようなトップダウン的な内部モデル構築ではなく、自身の身体特性にあった独自の内部モデルをボトムアップ的に形成することの重要性についてご指摘いただいた。運動学習の初期過程における剛性の上昇については、ご指摘のとおり予測的な感覚予測すなわちフィードフォワード制御の欠如によるものと考えられ、内部モデルが形成不全となっている証拠とも解釈できる。ご指摘のあった「あそび」や「余白」のようなある程度のズレを許容できる部分は、つまり学習が可能な領域ともいえるのではないだろうか。前述した感覚情報や運動情報に含まれるノイズは定型発達した成人にも存在するものであり、この想定内のズレに対してはときに非意識的にオンラインで修正がなされる可能性がある^[24]。しかし、大きすぎるズレは当事者独りでは修正困難であり、周りの対人的な援助や対物的な環境からの歩みよりが必要なかもしれない。リハビリテーションの目的は、正しい動きを獲得することではなく、社会に適応し生活していくことであることから、今後もボトムアップ的に動かしにくい身体をもちながらも目的とする“行為”が達成できるような方法を模索していくことが必要と思われる。そのためにもまず身体を使って試行錯誤的に環境と相互作用することによって、CP児自身も自分の能力を把握し、どこから他者の援助が必要なかを把握しておくことも重要ではないかと考えている。

高塩純一先生への回答

高塩先生からは、障害をもつ子どもが生活していくうえでの社会的、物理的な環境援助の重要性について指摘していただいた。冒頭に述べたように、子どもが発達していく過程では物理的世界との相互作用だけではなく、対人関係のなかで社会的に学習していく存在でもある。

ご指摘のとおり、リハビリテーションセラピストはときに三人称的、二人称的立場として、またときに子どもの世界を一人称的に捉えることが重要であると考えている。加えて個人的見解として、リハビリテーションは“教育”としての側面も持つ必要があると考えている。共に生活し援助していく存在として家族がいるならば、リハビリテーションセラピストは援助者とその方法を考え提案する役割をもちながら、リハビリテーション場面では“教師”としての役割も担わなければならない。子どもの一人称的世界を軽視した教育ではなく、子どもの立場に立った教育の展開が必要と考える。そのためには、運動障害という“状態”を新たに捉えなおす作業が必要である。PVLに起因するCPとDCDを同じ運動発達障害ととらえ、“運動スペクトラム障害”ととらえることによって、運動障害をもたない定型発達者にも理解可能になり、一人称的世界の理解につながると考えている。例えば、乳児が顎定や座位などの新たな運動技能を獲得していく過程においても、少なからず overflow 現象とよばれる transient dystonia に類似した現象がみられることが明らかとなっており^[25,26]、通常短期間でそれが制御されられなくなる。この定型発達の短期間で起こっている変化のなかに、運動障害児の剛性を高め自由度のない状態を克服する鍵があると考えている。リハビリテーションセラピストは、子どもの一人称的な世界に共感し、二人称的に共同作業し、ときに三人称的立場に立って起こっている現象を科学的に仮説立てて検証し、説明していくという終わりのない循環的な作業が求められている。

4. おわりに

今回、ターゲット論文に対しさまざまな視点からコメントいただいたことにより、再考察の機会が与えられ、今後の課題も明確になった。コメントをいただいた先生方に改めて感謝する次第である。運動障害をもつ子どもに対する学習を目的としたニューロリハビリテーションの展開に期待しつつ、筆者も普段の臨床でさらに検証を継続し、スペクトラムとして多様な特徴を示す子どもたちが社会生活へと参入し自立していく手助けができるよう努めていきたい。

[1] ユクスキュル, クリサート. : 生物から見た世界. 岩波文庫 (2005).

- [2] Thelen, E., & Smith, L. B. : *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. MIT press (1996).
- [3] Auld, M. L., Johnston, L. M., Russo, R. N., & Moseley, G. L. : A Single Session of Mirror-based Tactile and Motor Training Improves Tactile Dysfunction in Children with Unilateral Cerebral Palsy: A Replicated Randomized Controlled Case Series. *Physiotherapy Research International* (2016).
- [4] Thompson, A., Murphy, D., Dell'Acqua, F., Ecker, C., McAlonan, G., Howells, H., Baron-Cohen, S., Lai, MC, Lombardo, MV., MRC AIMS Consortium., & Catani, M. : Impaired communication between the motor and somatosensory homunculus is associated with poor manual dexterity in Autism Spectrum Disorder. *Biological Psychiatry*, 81(3), 211–219 (2017).
- [5] Staudt, M. : Reorganization after pre-and perinatal brain lesions. *Journal of Anatomy*, 217(4), 469–474 (2010).
- [6] Staudt, M., Grodd, W., Gerloff, C., Erb, M., Stitz, J., & Krägeloh-Mann, I. : Two types of ipsilateral reorganization in congenital hemiparesis. *Brain*, 125(10), 2222–2237 (2002).
- [7] Staudt, M. : Reorganization of the developing human brain after early lesions. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(8), 564–564 (2007).
- [8] Staudt, M., Gerloff, C., Grodd, W., Holthausen, H., Niemann, G., & Krägeloh-Mann, I. : Reorganization in congenital hemiparesis acquired at different gestational ages. *Annals of neurology*, 56(6), 854–863 (2004).
- [9] Wilson, P. H., & McKenzie, B. E. : Information processing deficits associated with developmental coordination disorder : A meta-analysis of research findings. *Journal of child psychology and psychiatry*, 39(6), 829–840 (1998).
- [10] Schoemaker, M. M., van der Wees, M., Flapper, B., Verheij-Jansen, N., Scholten-Jaegers, S., & Geuze, R. H. Perceptual skills of children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 20(1), 111–133 (2001).
- [11] Tsai, C. L., Wilson, P. H., & Wu, S. K. : Role of visual-perceptual skills (non-motor) in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 27(4), 649–664 (2008).
- [12] Asano, D., & Morioka, S. Associations between tactile localization and motor function in children with motor deficits. *International Journal of Developmental Disabilities*, (in press) (2017).
- [13] Bassi, L., Ricci, D., Volzone, A., Allsop, J. M., Srinivasan, L., Pai, A., : Carmen Ribes, 2, 3, 6 Luca A. Ramenghi, 1 Eugenio Mercuri, 4 Fabio Mosca, 1A. David Edwards, 2, 3, 7
- [14] Frances M. Cowan, 3, 7 Mary A. Rutherford2, 3, 7 & Edwards, A. D. : Probabilistic diffusion tractography of the optic radiations and visual function in preterm infants at term equivalent age. *Brain*, 131(2), 573–582 (2008).
- [15] Geldof, C. J. A., Van Wassenaeer, A. G., De Kieviet, J. F., Kok, J. H., & Oosterlaan, J. : Visual perception and visual-motor integration in very preterm and/or very low birth weight children: a meta-analysis. *Research in developmental disabilities*, 33(2), 726–736 (2012).
- [16] Braddick, O., Atkinson, J., & Wattam-Bell, J. : Normal and anomalous development of visual motion processing: motion coherence and 'dorsal-stream vulnerability'. *Neuropsychologia*, 41(13), 1769–1784 (2003).
- [17] Verkerk, G., Jeukens-Visser, M., van Wassenaeer-Leemhuis, A., Kok, J., & Nollet, F. : The relationship between multiple developmental difficulties in very low birth weight children at 3½ years of age and the need for learning support at 5 years of age. *Research in developmental disabilities*, 35(1), 185–191 (2014).
- [18] Geldof, C. J., van Hus, J. W., Jeukens-Visser, M., Nollet, F., Kok, J. H., Oosterlaan, J., & van Wassenaeer-Leemhuis, A. G. : Deficits in vision and vi-

- sual attention associated with motor performance of very preterm/very low birth weight children. *Research in developmental disabilities*, 53, 258–266 (2016).
- [19] De Kieviet, J. F., Stoof, C. J., Geldof, C. J., Smits, N., Piek, J. P., Lafeber, H. N., Van Elburg, R. M., & Oosterlaan, J. : The crucial role of the predictability of motor response in visuomotor deficits in very preterm children at school age. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(7), 624–630 (2013).
- [20] Van Galen, G. P., Portier, S. J., Smits-Engelsman, B. C., & Schomaker, L. R. : Neuromotor noise and poor handwriting in children. *Acta Psychologica*, 82(1), 161–178 (1993).
- [21] Smits-Engelsman, B., & Wilson, P. H. : Noise, variability, and motor performance in developmental coordination disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(s4), 69–72 (2013).
- [22] Kurz, M. J., Heinrichs-Graham, E., Arpin, D. J., Becker, K. M., & Wilson, T. W. : Aberrant synchrony in the somatosensory cortices predicts motor performance errors in children with cerebral palsy. *Journal of Neurophysiology*, 111(3), 573–579 (2014).
- [23] Coats, R. O. A., Britten, L., Utley, A., & Astill, S. L. : Multisensory integration in children with Developmental Coordination Disorder. *Human movement science*, 43, 15–22 (2015).
- [24] O'Brien, J. C., Williams, H. G., Bundy, A., Lyons, J., & Mittal, A. : Mechanisms that underlie coordination in children with developmental coordination disorder. *Journal of Motor Behavior*, 40(1), 43–61 (2008).
- [25] Pisella, L., Grea, H., Tilikete, C., Vighetto, A., Desmurget, M., Rode, G., Bolsson, D., & Rossetti, Y. : An 'automatic pilot' for the hand in human posterior parietal cortex : toward reinterpreting optic ataxia. *Nature neuroscience*, 3(7), 729–736 (2000).
- [26] Soska, K. C., Galeon, M. A., & Adolph, K. E. : On the other hand : Overflow movements of infants' hands and legs during unimanual object exploration. *Developmental psychobiology*, 54(4), 372–382 (2012).
- [27] D'Souza, H., Cowie, D., Karmiloff-Smith, A., & Bremner, A. J. : Specialization of the motor system in infancy : from broad tuning to selectively specialized purposeful actions. *Developmental science* (Early View) (2016).