

学校生活に困難さを抱える小児発達性協調運動障害に対する 仮想現実技術を用いた体性認知協調療法の検討

我妻 朋美* 村川雄一朗** 影近 卓大*** 新本 啓人* 原 正彦****

【要約】 発達性協調運動障害（developmental coordination disorder：DCD）は運動協調性や巧緻性の低下を代表とする神経発達障害の一つであり、日常生活だけでなく学校生活や就労に影響するため学童期からの早期介入が求められている。今回我々は、DCDを有する7歳～12歳の児童5例に仮想現実技術を用いた体性認知協調療法（somato-cognitive coordination therapy：SCCT）を実施した。SCCTではmediVR社製のmediVRカグラ®を用い、自己身体の見えない仮想現実空間にて座位でのリーチング運動を提供し運動協調性を賦活した。その結果、片脚立位時間やタンDEM歩行などのバランス機能の即時的改善と縄跳びや書字といった学校生活技能の改善を経験した。SCCTはDCDを有する児童の運動協調性の改善と学校生活への変化をもたらす可能性が示唆された。

Key Words : somato-cognitive coordination therapy, developmental coordination disorder, virtual reality, motor coordination

はじめに

発達性協調運動障害（developmental coordination disorder：DCD）は、微細運動や協調運動、姿勢制御等の協調運動技能の獲得や遂行が生活年齢と比較して低下する神経発達障害の一つである^{1,2)}。DCDは自閉スペクトラム症や注意欠如・多動症に合併することも多く、DCDによって表出される「不器用さ」は運動技能だけではなく学校生活や社会生活にも影響を及ぼし、ひいては自己肯定感、自尊感情の低下を引き起こす²⁾。運動発達と情動発達は相互に関与し合うため、幼少期や学童期からの早期治療介入が望まれている。治療方法としては薬物療法や感覚統合療法、運動スキルを直接的に教える課題指向型アプローチ、感覚運動系のプロセスの一部に焦点化してその部分の向上を図る過程指向型アプローチなどが推奨されているが、DCD児に出現する多岐にわたる協調運動障害に対する確立された治療手法は限定的であるのが現状である^{1,3)}。

一方で近年、仮想現実（virtual reality：VR）技術を用いた体性認知協調療法（somato-cognitive coordination therapy：SCCT）と呼ばれるリハビリテーション治療が大阪大学における産学連携活動の一環として開発された。SCCTでは自己身体の見えない没入型VR空間を用いた座位での左右交互のリーチングにより、運動野の協調性向上アプローチが可能となると考えられており、これまで上肢機能や姿勢バランス障害、失調、歩行機能、痙縮症状に対する改善効果を示す報告が散見されている^{4~7)}。

DCDでは固有感覚系の統合処理不全によって運動の調節を外部から得られる視覚を中心としたフィードバック情報に依存していると言われていたことから、今回、我々はSCCTの特徴である自己身体の見えない没入型VR環境での運動協調性課題がこれらDCDのボディイメージや運動学習の賦活に有用であると仮説を立て実践を行った^{8,9)}。その結果、DCDを有する、または疑いのある学童期の5例においてSCCT後に即時的な協調運動、姿勢制御の改善に加え、経時的変化として日常生活や学校生活における運動パフォーマンスの改善を認めたため報告する。

症 例

症例はDCDもしくは、DCDの疑いがあると診断され、2022年5月から2022年10月に当センターおよび放課後デイサービスにて初回のSCCTを受けた児童5名とした（Table 1）。いずれも巧緻性や運動協調性、姿勢バランスに低下を認め、日常生活や学校生活上の各種運動活動において困難さを有していた。また、新版K式発達検査（Kyoto scale of infant development：KSPD）2001¹⁰⁾やCheck list of obscure disabilities in preschoolers（CLASP）¹¹⁾、Developmental coordination disorder questionnaire 2007（DCDQ/07）¹²⁾において基準値を下回る項目を認めていた（Table 1）。

方 法

治療にはmediVRカグラ®（mediVR社製）を用いたSCCTを実施した。SCCTでは患者は椅子座位にて没入型のヘッドマウントディスプレイを装着し、両手にコントローラを把持した上で、三次元VR空間上に出現するオブジェクトに対して左右交互のリーチング運動を行うよう指示され、課題達成時には視覚、触覚（振動覚）、聴覚に

* リハビリテーション科、mediVRリハビリテーションセンター東京

** リハビリテーション科、mediVRリハビリテーションセンター大阪

*** 一般社団法人Life is

**** 島根大学大学院医学系研究科地域包括ケア教育研究センター

http://doi.org/10.15082/jsnt.41.4_697

Table 1 Patient Demographics

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
patient characteristics					
Age, years y=year, m=month	8y11m	7y4m	7y10m	12y3m	12y5m
Sex	male	male	male	male	male
Comorbidities	ASD	VLBW	ASD	ASD+ADHD	LD
KSPD					
C-A	88	-	-	-	-
L-S	77	-	-	-	-
P-M	AUL	-	-	-	-
DQ	81	-	-	-	-
CLASP motor, counts	-	5	3	1	1
DCDQ'07, points	-	31	42	55	57
Treatment Details					
Time/Session, min	20	10	10	10	10
Treatment frequency	1-2 times per month	2 times per month			
Total number of treatments	20	2	2	2	4

When one or more “CLASP motor” items are applicable, DCD risk is heightened. The DCDQ'07 cutoff score is <47 for children aged 5 to 7 years and 11 months, and <58 for those aged 10 to 15 years.

ADHD, attention deficit hyperactivity disorder; ASD, autism spectrum disorder; AUL, above upper limit; C-A, cognitive-adaptive; CLASP, Checklist of Obscure Disabilities in Preschoolers; DCDQ'07, Developmental Coordination Disorder Questionnaire 2007; DQ, developmental quotient; KSPD, Kyoto Scale of Infant Development 2001; LD, learning disorder; L-S, language-social; P-M, posture-motor; VLBW, very low birth weight infant

よる多感覚生体フィードバックが提供される (Fig. 1A-D)^{4,5,13)}。この際、本人にはまるでゲームで遊んでいるようにしか見えないものの、意図的に自己身体の見えないVR空間内で目標的に対して把持するコントローラを重ね合わせる動作 (点推定) をさせることで、関節連関 (articular linkage: AL) と呼ばれる意図した動作部位以外の関節に生じる代償的動きを顕在化することが可能である (Fig. 1A)^{4,7,13)}。近年、大脳一次運動野における体性認知行動ネットワーク (somato-cognitive action network: SCAN) の存在が示された¹⁴⁾。開発者独自の理論によると、ALはこのSCANの異常が顕在化された状態であり、SCCTはALを指標にSCANの絡まりを解くことで運動協調性の向上を図る治療であると概念化されている^{4,6)}。

治療は1回あたり10~30分程度、対象者の疲労度に合わせて行った。介入時にはリーチング距離や方向、高さなどの段階付けを行い、上下肢や頸部体幹に軽度のALが出現する程度の運動強度を設定した。また、上下肢体幹の協調的な使用を促すために、運動軌跡の誘導やAL出現部位へのライトタッチによる触覚刺激を介した位置情報入力などを適宜実施しながら、協調的な運動能力の向上を目指した動作の適切な学習と、運動への成功体験が得られるよう介入した。

治療前後の評価は、バランスや協調運動を図るものとして片脚立位、タンデム歩行時の変化、Box & Block test (BBT)、指鼻指試験を症例に応じて行った。また、経時的な生活変化は、保護者から聞かれた内容を記載した。なお、本症例報告に際し神経治療学会誌の投稿規定及び当施設倫理審査委員会において倫理審査を要さないことを確認した。また、症例写真などの使用に関して本人および家族からの文書同意を得ている。

経 過

SCCTの実施によって歩行・バランス機能の質が変化したものは5例中4例、上肢機能について変化したものは4例であった。また、5例全ての症例において学校生活における活動の変化を聴取することができ、そのうち注意集中に関するものは1例、運動協調性に関するものは4例であった。以下に各症例の変化点について詳述する。

症例1

8歳11カ月の男児、自閉スペクトラム症を合併し、新版K式発達検査2001での発達指数は全領域81、姿勢・運動は上限以上、認知・適応88、言語・社会77であった。本症例に対してはSCCTを1回30分、月に1~2回、10ヵ月で合計20回実施したところ、初回の介入1回で片脚立位 (右/左) が10.3秒/13.6秒から42.5秒/34.1秒に、BBT (右/左) が48個/55個から54個/60個にそれぞれ改善した。また、治療5ヵ月後には片脚立位が62秒/119秒、BBTが63個/62個に増加した。日常生活では初回治療後ペットボトルの蓋を自己にて開けることが可能となり、治療2回実施後に学校や自宅での落ち着きがみられ、治療20回後には介入当初認めていた学校での授業中の離席が無くなったと家族から聴取できた。

症例2

超低出生体重児でDCDであった7歳4カ月の男児。CLASPでは読み書きで3個、運動で5個該当し、DCDQ'07は合計31点 (身体統制14点、書字微細6点、協応性11点) であった。開始時の主訴として



Fig. 1 Illustration of mediVR KAGURA-guided somato-cognitive coordination therapy
 (A) Initial stage of SCCT for Case 1. The patient performs a reaching movement with the right hand, inadvertently inducing articular linkage of various body parts and joints, including right scapular elevation, left trunk rotation and lateral flexion, and bilateral hip abduction.
 (B) Advanced stage of SCCT for Case 1. Reduction of the initial articular linkage allows the patient to use the upper limbs and trunk in a coordinated manner, minimizing compensatory movements of the lower limbs.
 (C) Virtual reality (VR) task representation. The patient reaches for a stationary object in VR, aiming the red controller at the target's central white area.
 (D) Successful target contact triggers multisensory biofeedback, including visual (“Good job” display), haptic (controller vibrations), and auditory feedback.
 SCCT, somato-cognitive coordination therapy

座位時の姿勢の崩れとブランコに乗れないことを挙げられた。SCCTは1回10分、2週間に1回、合計2回実施し、初回介入1回で片脚立位（右/左）は0秒/1.3秒から0秒/4.6秒に左で改善し（**Fig. 2A, B**）、タンデム歩行自体は困難なままであったが、テープ上をはみ出すことなく歩行可能となった。また、合計2回の介入後、これまで姿勢が崩れ乗ることが出来なかったブランコに姿勢を保持して持続的に乗ることが可能となった。

症例3

7歳10ヵ月の男児。自閉スペクトラム症と構音障害とDCDを合併し、CLASPでは話し方で3個、くせで3個、読み書きで2個、運動で3個該当し、DCDQ'07は合計42点（身体統制17点、書字微細9点、協応性16点）であった。SCCTは1回10分、2週間に1回、合計2回実施し、初回介入1回で指鼻指試験時の手の運びがなめらかかつ素早く可能となった。また、初回時は縄跳びの前跳びが両手の動きが同期できずに困難であったが、2回の介入後両手を同期した縄回しが可能となり、縄跳びの前跳びが8回可能となった（**Fig. 2C, D**）。さらに縄跳びの成功経験からこれまで困難であった学校行事の長縄跳びへの参加も可能となった。

症例4

12歳3ヵ月の男児。自閉スペクトラム症と注意欠如・多動症を合併し、CLASPでは話し方で1個、読み書きで1個、運動で1個該当

し、DCDQ'07は合計55点（身体統制22点、書字微細17点、協応性16点）であった。SCCTは1回10分、2週間に1回、合計2回実施し、初回介入1回でタンデム歩行時のふらつきが軽減し（**Fig. 2E, F**）、指鼻指試験も目標物とのズレなく素早く可能となった。また、合計2回の介入によって姿勢のふらつきが改善したことで学校での長縄跳びへの参加が可能となった。

症例5

12歳5ヵ月の男児。学習障害を合併し、CLASPでは読み書きで2個、運動で1個該当し、DCDQ'07は合計57点（身体統制24点、書字微細13点、協応性20点）であった。SCCTは1回10分、2週間に1回、合計4回実施し、初回介入1回でこれまで困難であった踵とつま先をあわせたタンデム歩行が可能となり、合計4回の介入によって書字の運筆や描線が安定し、書字速度も向上した。

考 察

今回、VR空間を活用したSCCTにより疑い例を含むDCD児5例全例で、姿勢バランスや上肢協調性の向上、学校生活上の機能改善を認めた。一般的にDCDでは体性感覚での姿勢制御の発達不全や視覚と運動の統合不全、内部モデル障害が生じていると言われて^{8,9,15)}。本症例に使用したSCCTは自己身体が見えないVR環境下で実施するため、視覚に過剰依存せず体性感覚を活用した運動のフィードフォワード制御を強く惹起することが可能であり、課題達



Fig. 2 Examples of Functional Improvements of Cases

(A, B) Single-Leg Standing in Case 2. Panel A shows the pre-treatment condition with significant trunk instability and poor balance during left leg standing. Panel B shows the patient after a single SCCT session, now able to maintain balance with an upright head and trunk.

(C, D) Jump rope procedure in Case 3. Panel C shows the pre-treatment condition in which the hand movements are not synchronized. Panel D shows the situation after two SCCT sessions in which the patient is able to coordinate the movements of both hands.

(E, F) Tandem walking in Case 4. Panel E shows the pre-treatment situation with nonaligned toes and heels and strong trunk sway. Panel F shows the situation after a single SCCT session. Tandem walking is now possible with aligned heels and toes and reduced loss of balance.

SCCT, somato-cognitive coordination therapy

成時のフィードバックと組み合わせることでより強固に動作を学習することが可能と考えられている¹³⁾。そのため、本5症例においてはこれらのフィードフォワードとフィードバックのループが視知覚・触覚・固有覚・位置覚などの感覚情報の統合を促進し、姿勢制御をはじめとした各種運動機能の向上に寄与した可能性がある^{4, 5, 13)}。また、SCCTの要素である「点推定」は姿勢制御に必要な深層筋の収縮を促進するという報告があることから、発達障害児の特徴とされる姿勢筋の低緊張に対して筋活動の賦活を図ることができたことも、結果的に本症例における姿勢制御系の改善に繋がったと考えた¹⁶⁾。

DCDの子どもたちは協調運動技能の低下のために各種運動の場面において称賛を受ける機会が少ない。そのため運動技能への介入は短期的な能力の改善のみならず、認知的および心理的側面のパフォーマンスを改善するのに効果的とも言われている^{17, 18)}。また、日常生活だけでなく学校生活や就労に影響するため学童期からの早期介入が求められている^{1, 2)}。SCCTは的の大きさや距離、タイミングなどを本人に合わせて個別に設定でき、アフォーダンスが高い仕組みを構築されていることから失敗をさせず成功体験を提供することが可能であることに加え、ゲーム性によって課題達成の可否が本人に理解されやすい^{19, 20)}。これらは報酬系刺激による感情面の賦活にとどまらず、自己肯定感や運動学習の効率、治療継続性を高める一助となる可能性がある^{17, 18)}。僅かな介入での治療効果やその持続性に関しては議論の余地があるものの、少なくとも即時的効果が手続き記憶的に保持されたというケースは既報として存在する^{4, 6, 7, 13)}。したがって、mediVRカグラ®を用いたSCCTは、DCDの子どもたちの協調運動障害の治療における一つの選択肢になりうると考える。なお、

本報告の限界として、症例数の少なさや被験者の集中度の問題から取得、測定できる検査の量や質に制限があり、統一した定量的指標による統計学的検討が実施できていない点が挙げられる。今回は症例の質的な運動変化を中心とした予備的な検討に留まっているため、今後は症例数を増やした上で統一した定量的評価手法を用いること等によって効果検証を行っていく必要がある。

結 論

mediVRカグラ®ガイド下SCCTはDCDを有する、または疑いのある児童の姿勢制御と協調運動を改善させ、学校生活に変化をもたらす可能性が示唆された。

本論文に関連し、開示すべきCOI状態にある企業・組織や団体は以下の通り

我妻朋美 報酬額：株式会社mediVR

村川雄一朗 報酬額：株式会社mediVR

新本啓人 報酬額：株式会社mediVR

原正彦 報酬額：株式会社mediVR 株式の利益：株式会社mediVR

文 献

- 1) Blank R, Barnett AL, Cairney J et al : International clinical practice recommendations on the definition, diagnosis, assessment, intervention, and psychosocial aspects of developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 61 :

- 242–285, 2019
- 2) Yu J, Sit CH, Capio CM et al : Fundamental movement skills proficiency in children with developmental coordination disorder : does physical self-concept matter? *Disabil Rehabil* 38 : 45–51, 2016
 - 3) Lucas BR, Elliott EJ, Coggan S et al : Interventions to improve gross motor performance in children with neurodevelopmental disorders : a meta-analysis. *BMC Pediatr* 16 : 193, 2016
 - 4) Hara M, Murakawa Y, Wagatsuma T et al : Feasibility of somato-cognitive coordination therapy using virtual reality for patients with advanced severe Parkinson's disease. *J Parkinsons Dis* 14 : 895–898, 2024
 - 5) Takimoto K, Omon K, Murakawa Y et al : Case of cerebellar ataxia successfully treated by virtual reality-guided rehabilitation. *BMJ Case Rep* 14 : e242287, 2021
 - 6) 原 正彦 : 仮想現実 (VR) 技術を用いた新しい転倒予防. *治療* 105 : 1270–1275, 2023
 - 7) 村川雄一朗, 仲上恭子, 新本啓人ほか : 仮想現実技術を用いた脳再プログラミング療法が脳性麻痺患者の痙縮に及ぼす効果. *神経治療* 41 : 55–59, 2024
 - 8) 浅野大喜 : 運動障害をもつ子どものリハビリテーション : システムアプローチとしてのニューロリハビリテーションへ向けて. *ベビーサイエンス* 16 : 36–58, 2016
 - 9) Adams IL, Lust JM, Wilson PH et al : Compromised motor control in children with DCD : a deficit in the internal model? — A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 47 : 225–244, 2014
 - 10) 大島 剛 : 新版K式発達検査の特徴と現場における臨床的応用. *神戸親和女子大学大学院研究紀要* 10 : 43–47, 2014
 - 11) 厚生労働省第30年度障害者総合福祉推進事業.“吃音, チック症, 読み書き障害, 不器用の特性に気づく「チェックリスト」活用マニュアル.” 厚生労働省. 2019. <https://www.mhlw.go.jp/content/12200000/000521776.pdf>. (参照2024-07-26)
 - 12) Wilson BN, Crawford SG : “THE DEVELOPMENTAL COORDINATION DISORDER QUESTIONNAIRE 2007 (DCDQ'07)”. The Developmental Coordination Disorder Questionnaire. 2012. <https://www.dcdq.ca/uploads/pdf/DCDQAdmin-Scoring-02-20-2012.pdf>. (参照 2024-07-26)
 - 13) 原 正彦, 村川雄一朗, 新本啓人 : Virtual Reality技術を用いた回復期リハビリテーション医療の未来. *臨床リハ* 31 : 1226–1232, 2022
 - 14) Gordon EM, Chauvin RJ, Van AN et al : A somato-cognitive action network alternates with effector regions in motor cortex. *Nature* 617 : 351–359, 2023
 - 15) Nobusako S, Sakai A, Tsujimoto T et al : Deficits in visuo-motor temporal integration impacts manual dexterity in probable developmental coordination disorder. *Front Neurol* 9 : 114, 2023
 - 16) Kitano M, Nakamoto M, Kawanishi K et al : Analysis of muscle thickness changes in the lateral abdominal muscles during exercise using virtual reality. *J Phys Ther Sci* 36 : 372–377, 2024
 - 17) Gibbs J, Appleton J, Appleton R : Dyspraxia or developmental coordination disorder? Unravelling the enigma. *Arch Dis Child* 92 : 534–539, 2007
 - 18) Yu JJ, Burnett AF, Sit CH : Motor Skill Interventions in Children with Developmental Coordination Disorder : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 99 : 2076–2099, 2018
 - 19) 原 正彦 : ゲームがつくる患者の未来 – リハビリにおけるVRゲーム技術の応用. *臨床麻酔誌* 42 : 106–110, 2022
 - 20) 村川雄一朗, 原 正彦 : VR技術を用いたリハビリテーション医療の工学的理論背景. *リハビリテーションエンジニアリング* 37 : 122–126, 2022

The evaluations of somato-cognitive coordination therapy using virtual reality technology for children with developmental coordination disorder experiencing difficulties in school life

Tomomi WAGATSUMA*, Yuichiro MURAKAWA**, Takudai KAGECHIKA***, Keito SHINMOTO*, Masahiko HARA*.*.*.*.*

*Department of Clinical Rehabilitation, mediVR Rehabilitation Center Tokyo

**Department of Clinical Rehabilitation, mediVR Rehabilitation Center Osaka

***General Incorporated Association Life is

****Center for Community-Based Healthcare Research and Education, Shimane University Faculty of Medicine

Developmental Coordination Disorder (DCD) is a neurodevelopmental disorder characterized by impaired motor coordination and dexterity that affects daily, school, and work life and requires early intervention from childhood. Our exploratory study implemented somato-cognitive coordination therapy (SCCT) using virtual reality technology for five children with DCD aged 7 to 12 years. The therapy was conducted using a mediVR KAGURA® (mediVR inc.) setup designed to improve motor coordination, which enabled reaching movements in a seated position within a

virtual environment where the participants could not directly see their bodies. Results indicated immediate functional improvements as measured by the increased duration of single-leg standing and improvements in tandem walking, as well as enhanced school-related skills including rope-jumping and writing. These preliminary findings suggest that SCCT might help enhance motor coordination and positively influence the school life of children with DCD.