投稿

Haptic Device を使用した 上肢・認知機能評価・トレーニング装置の開発 —発達障害児に対する評価・訓練プログラム—

伊藤祐子¹⁾, 井上 薫¹⁾, 池田由美¹⁾, 寺田尚史²⁾, 高橋良至³⁾, 李 虎奎³⁾, 米田隆志⁴⁾

1. はじめに

ハプティックデバイス（力覚提示装置；Haptic Device, 以下 HD）はバーチャルリアリティ技術（以下 VR 技術）の 1 つであり、ディスプレイ上の

仮想物体に触れた時の感触を、仮想の力覚として提示する装置である。われわれはこの HD を使用した上肢・認知機能評価・トレーニング装置のリハビリテーションへの応用について、主に健常成人、高齢者、成人障害者への調査を行ってきた^{1~5)}。しかし、リハビリテーションの対象者は、小児から高齢者ま

Development of the Haptic Device System for Upper Limb and Cognitive Rehabilitation —Assessment and Training Program of Developmental Disordered Children

Yuko ITO, Kaoru INOUE, Yumi IKEDA, Takafumi TERADA, Yoshiyuki TAKAHASHI, Hokyoo LEE,
Takashi KOMEDA

Abstract :

In occupational therapy for the developmental disordered children, our aim is developing promotion of upper limb and cognitive functions. But the present evaluations of functions are almost based on observations of therapists, therefore objective evaluation is poor. We have developed a rehabilitation system using a haptic device (HD) for upper limb and cognitive functions of developmental disordered children. HD can give haptic sensations when we touched a virtual object on a computer display. So the use of a computer system may be effective tool for objective evaluations. In addition, it is thought that the sensation of HD promotes child's motivation. By investigation of healthy children, we analyzed the correlation between the duration and error distance of the wave tasks. As a result, it was found that the difference of sensations of HD influences the tasks performance. Moreover, children reactions toward HD system were good, in addition HD was immediately accepted and deeply attracted the interests of children. It was suggested that doing the wave tasks that using HD, evaluation and training of shoulder and elbow joints movements are possible. Our next step is to use HD to investigate and analyze the development of disordered children, and to evaluate the effectiveness of HD system.

Key words :

haptic device, virtual reality, upper limb, cognitive function, developmental disordered children, rehabilitation, occupational therapy

1) 首都大学東京健康福祉学部, Faculty of Health Sciences, Tokyo Metropolitan University

2) 三菱プレシジョン株式会社, Mitsubishi Precision Co. Ltd.

3) 東洋大学, Faculty of Human Life Design, Toyo University

4) 芝浦工業大学, Faculty of System Engineering, Shibaura Institute of Technology

で幅広く、またその障害も身体障害、精神障害、発達障害とさまざまである。そこで、今回は、発達障害児に対する適応を視野に入れ、子ども向けの新たなプログラムを開発することとした。

発達障害の定義については、曖昧な部分があり、平成 17 年 4 月に施行された発達障害者支援法では、「自閉症、アスペルガー症候群その他の広汎性発達障害、学習障害、注意欠陥多動性障害その他これに類する脳機能の障害であってその症状が通常低年齢において発現するもの」と定義しているが、リハビリテーションの現場では、それ以外にも発達期で受けた障害が、個人の一生にわたってさまざまな能力に重篤な影響を及ぼす障害として肢体不自由、重症心身障害、精神発達遅滞なども含む概念として認識されてきた⁶⁾。

発達障害児に対する作業療法の内容は、障害像やライフステージにおけるニーズの変化によりさまざまであり、評価・訓練の手法也多岐にわたっている。その中で、小児期のニーズの 1 つに就学に向けた支援というものがある。就学といっても、さまざまな要素が含まれるものであるが、作業療法では日常生活の自立や書字の獲得などに向けて手を有効に使えるようになること、視知覚の発達を促すこと、そして両者を協調的に使用できるようになることに主眼がおかれる場合が多い。その際、使用される道具は、市販のおもちゃや遊具、楽器、文具類、迷路やパズル、教具、セラピストの手作り品などさまざまなものがあり、評価にもトレーニングにも用いられている。しかし、評価や効果判定は主にセラピストによる観察や従来の紙筆検査により行われており、客観的指標に基づく評価基準が少ないのが現状である。

また、現在 EBM (Evidence Based Medicine) の重要性が唱えられる中、作業療法分野でも根拠に基づいた作業療法 (EBOT: Evidence Based Occupational Therapy) を行うことが求められており、近年急速に普及しているパーソナルコンピュータの利用は、評価やトレーニングの結果を客観的指標として捉え、またセラピストの採点作業等の労力を補う

機器として有用である可能性がある。加えてセラピストが共通して重視する点は、子どもの内発的な動機付けを高めることである。子どもたちが一目見て「やってみたい」「遊んでみたい」「触ってみたい」といった、思わず心と体が動いてしまいそうな動機付けが見込まれる遊具、装置の開発は、今後期待されているところである。

現在、発達障害児に対する作業療法の現場でも、コミュニケーション能力や認知機能の発達などの目的でコンピュータが導入されつつあるが、現在用いられている装置はマウス、ジョイスティック、スイッチ類などで操作し視覚、聴覚への刺激を体験するものが主なものである。HD を使用することによって得られる仮想空間内の物体に触れた際の感触(触覚)は新しい体験であり、動機付けにもトレーニング効果にも影響を与える可能性がある。

そこで今回、子ども向けの評価・訓練プログラムを作成し、健常児に対する調査を行い、今後の発達障害児に対するリハビリテーションへの応用の可能性について検討したので、報告する。

2. 目 的

発達障害児に対する作業療法において、HD を使用した評価・トレーニングシステムが有効に活用される可能性を探るため、予備調査として健常児に対する実験を行い、児童の反応の特性について検討することを目的とした。

3. 装置概要

本装置は、HD 本体、ディスプレイ、コンピュータおよび訓練・評価ソフトウェアで構成される(図 1)。対象児は HD の把手を持ち、ディスプレイに表示される評価用ソフトウェアに従ってこれを動かすことができる。この時、HD がばね力、粘性力、摩擦力などの仮想の力を発生することで、把手の動きに抗する力、アシストする力を与えることができ

図1 Haptic Device を使用した上肢・認知機能評価・トレーニング装置

Fig.1 Overview of the upper limb and cognitive rehabilitation system using the haptic device

図2 評価用ソフトウェアの画面

Fig.2 The screen design of an evaluation software

る。

可動範囲は、操作板中心を基準とし、標準として縦 240 mm×横 400 mm (図1)。発生力は、操作板中心で最大 30 N、位置分解能は、操作板中心で 0.005 mm である。また、把持部の形状・サイズは、障害の種類・程度・評価内容に応じて適切なものを選択し、容易に交換することが可能である。

評価用ソフトウェアは、データ収集部とデータ解析部から構成され、データ収集部ではソフトウェア動作時に目標位置、カーソル位置、把手にかかる力などをサンプリング時間 10 msec でメモリ上に取

図3 実験場面

Fig.3 Experiment environment

得し、ハードディスクに保存する。解析部では、目標までカーソルが移動するのに要する時間、カーソル動作速度、誤差などを算出し、これらから操作の円滑さ、正確性などの評価を行うものとした。

ソフトウェアの画面デザインは、子どもが親しみを持ち楽しく取り組めるように、「ひとでくんの冒険」(仮称)と題し、ひとでくん(中央黄色の星型)が怖いあんこうに食べられないように、かつウェーブ状にカーブした道の中央(赤いライン)を通過して道からはみ出さないようにお家に帰るという内容とした(図2)。

4. 方 法

対象者：4歳7ヵ月から6歳3ヵ月の健常児23名。調査日時：2005年8月11日。場所：A保育園保育室。環境設定：通常園で使用している机(幅120 cm、奥行き75 cm、高さ47 cm)と椅子(座面高29 cm、背もたれ51 cm)を使用し、対象児の視界にモニターが入るよう配慮した(図3)。HDによる力覚条件：力覚なし、粘性、アシスト(目標方向へ引かれる力)の3種類とした。

HDの操作方法の練習を含め、約10分間の評価用プログラムを実施した。課題実施時に得られたデータについて条件ごとに所要時間と提示された軌

道と実際になぞった軌道との誤差を算出し、対象児の月齢および力覚との関連を検討した。統計解析には SPSS 13.0 j for Windows を使用した。また、プログラム終了後、対象児に本装置および課題の感想を聴取した。

5. 結 果

所要時間について力覚なし、粘性、アシストの3条件いずれについても所要時間と月齢の間に相関は認めなかった(図4)。また、各条件の平均所要時間について一元配置分散分析の結果、力覚による違いが認められた。そこで、多重比較を行った結果、力覚なしと粘性では平均所要時間に差は認められなかったが、力覚なしと比べてアシストでは平均所要

図4 所要時間と月齢の相関

Fig.4 Correlation of duration and the age of the month

図5 各力覚条件における所要時間および誤差の平均値
Fig.5 The mean of duration and error distance * $p < 0.05$

時間は短く ($p < 0.05$), 粘性と比べてもアシストのほうが短い傾向にあった(図5)。

誤差については、月齢と力覚なしの場合 ($r = -0.643$, $p < 0.01$), 月齢と粘性の場合 ($r = -0.602$, $p < 0.01$), 月齢とアシストの場合 ($r = -0.505$, $p < 0.05$) で、3条件ともに月齢との間に負の相関が認められ、月齢が高いほど誤差が少なかった(図6)。また、各力覚条件における平均誤差について分析した結果、各条件による有意差は認めなかったが、アシストの誤差が大きい傾向にあった(図5)。

所要時間と誤差の関連については、力覚なしでは相関を認めなかったが、粘性 ($r = -0.532$, $p < 0.01$), アシスト ($r = -0.539$, $p < 0.01$) で負の相関を認め、所要時間が短い場合は誤差が大きく、所要時間が長い場合は誤差が少ない傾向が認められ

図6 誤差と月齢の相関

Fig.6 Correlation of error distance and the age of the month

図7 所要時間と誤差の相関

Fig.7 Correlation of duration and error distance

図 8 本装置に対する被験者児童の感想
Fig. 8 Impression of children for this system

た (図 7)。

子どもたちの感想については、「楽しかった」53%、「面白かった」32%、「簡単だった」11%、「つまらなかった」4%であった (図 8)。「つまらなかった」と答えた児童の理由は、「簡単すぎる」というものであった。

6. 考 察

所要時間について、月齢との相関が認められなかったが、これは課題の“中心線を通る”という課題を忠実に守ろうとする年長児や、「はみ出さないように」という課題の理解が不十分で、衝動的に課題を行ってしまう年少児が含まれていたことの影響が考えられた。よって発達途上にある児童に対して実施する場合には、よりわかりやすい言葉で理解を促す指示が必要であると考えられる。HD による力覚については、力覚なしの場合と粘性、アシストの平均所要時間を比較すると、力覚提示ありの場合が短時間で課題を終了する傾向が見られた。アシストの場合は児童の上肢が把手に引っ張られていくような印象が観察から見受けられ、児童の自発的な上肢のコントロールに影響を与えている可能性が考えられた。上肢の随意運動や目と手の協調性に障害を持つ児童などにとって、目的の方向に上肢を誘導する刺激であるアシストは有効である可能性もあり、

アシスト力の調整を含め今後更なる検討が必要であると考えられた。

誤差については、3 条件ともに月齢との相関を認め、月齢が高くなるほど誤差が少なかった。正確性に関しては、観察からも年長児になるほど課題の内容に忠実に、中心線からはみ出さないような努力をする児童が多かったことから、妥当な結果であると考えられる。臨床場面ではまた、年長児は就学に向けて文字や数字などの描画練習などに取り組み始めていることから、線をトレースする課題の理解が容易であった可能性もある。力覚と誤差の関連ではアシストの誤差が力覚なし、粘性に比較して大きく、アシストについては所要時間が短く誤差の多い課題であったことがわかる。

今回の課題を力覚なしと粘性で比較すると、所要時間、誤差に有意差は認めなかったが、平均所要時間については粘性が短い傾向にあり、また、観察からも動きが滑らかな様子が認められた。成人の調査においても「粘性があるとやりやすい」という結果が得られていることから⁷⁾、所用時間が短く誤差の少ない巧緻性の高い作業の学習には粘性が適している可能性が示唆された。

所要時間と誤差の関連では、3 条件ともに負の相関がみられ、所要時間が短い児童ほど誤差が大きく、所要時間の長い児童ほど誤差が少ないという結果であった。これは 20 歳台から 50 歳台の健常成人に対する先行研究結果のウェーブ課題では、所要時間が短い被験者ほど誤差が大きく、所要時間の長い被験者ほど誤差が少ないという結果と同様の傾向であった^{7,8)}。これは年齢にかかわらず HD を使用したウェーブ課題の特徴であると考えられる。

ウェーブ状の線上で正確に、なおかつできるだけ早く滑らかに動かすためには、目で正確に対称を捉え認識し上肢を動かす能力が必要であるが、この能力は出生からさまざまな視覚運動体験を重ねることによって洗練され上達していくものである。発達障害児の場合は、感覚—運動体験の不足や学習の困難さなどから、目と手を協調的に使用することが困難

であり、不器用であることが多い。特に上肢の運動は中枢部である体幹や肩の安定性に依存しており、作業療法の場面でも、道具使用の前段階として、姿勢、肩甲帯の安定性およびコントロールなどに対するアプローチが重視されている¹¹⁾。HD 操作時の姿勢は、体幹を抗重力正中位保持、上肢は空間に浮いた状態、手掌および手指で把手を把持している状態であることから、把手の操作に際して肩や肘関節の運動が主に関与していることがわかる。ウェーブ課題のように丸みのある滑らかな曲線を描くためには、肩関節の方向コントロールと肘関節の位置調節機能が協調することが必要であり、視覚—運動経験を伴う上肢機能のトレーニングに本装置が有効である可能性が考えられる。

鎌倉 (1992)¹²⁾は巧緻性の獲得過程について、全身および手と腕の正確なフォームの点検と指導を行い、正確な動作の獲得のうちに、速度や持久性の獲得へと向かわせるべきであろうと述べており、今回用いたウェーブ課題を作業療法で用いる場合には、まず正確に線をなぞり誤差を減らすことに目標を設定し、その後スピードアップを図ることで、より巧緻性の高い動作が獲得される可能性があると考えられる。

本装置に対する児童の反応は良好であり、HD を使用することにより再現される抵抗や粘性等の触覚は、その新奇性から、子どもの心を捉え、モチベーションを高めることが予測された。23 名中 14 名が自宅のパーソナルコンピュータを操作したことがあると答え、身近なものである様子がうかがえた。操作方法についてもほとんどの児童が容易に理解し、HD を操作することが可能であった。

終了後の感想では、「楽しかった」「もっとやりたい」という反応が多くを占めており、児童向けの画面デザインも好評であった。「つまらなかった」「面白くなかった」と答えた児童は、日頃ゲーム機などで遊んでおり、内容がものたりなかったことが考えられた。発達障害児に使用する場合には、一般的なゲームのような複雑な内容は不要であると思われる

が、能力に応じた課題の段階付けや音声によるフィードバックは発達障害児のモチベーションの維持やトレーニング意欲の向上を助ける可能性があると考えられた。

今後は健常児の調査を継続するとともに、発達障害児についても調査を実施し、本装置の問題点を抽出し、修正を加え、有効性を検証していくことが課題である。

7. ま と め

本研究では、23 人の健常児被験者に対して、現在開発中の発達障害児に対する上肢・認知機能評価・トレーニング装置を体験してもらい、児童の反応の特性について検討した。

所要時間や誤差については今後さらに被験者数を増やし検討を重ねる必要があるが、力覚によって児童の反応に違いがあることが確認された。本装置に対する児童の反応は非常に前向きなものが多く、4 歳以上の健常児では操作方法も理解できることが確認された。今後は発達障害児に実際に使用してもらい、リハビリテーションへの応用について検討していく必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、調査にご協力いただきました児童と保護者の皆様、そして保育園の園長先生他多くの保育士の皆様に深く感謝申し上げます。

文献

- 1) Y. Takahashi, T. Terada, K. Inoue, et al.: Haptic Device System for Upper Limb Motor Function and Cognitive Function Rehabilitation. Computers Helping People with Special Needs ICCHP 2002, LNCS 2398: 620-627, 2002.
- 2) Y. Takahashi, T. Terada, K. Inoue, et al.: Development of the Upper Limb Rehabilitation System Using Haptic Device. Proceedings of the International federation for Medical and Biological Engineering, 3: 1344-1345, 2002.
- 3) Y. Takahashi, T. Terada, K. Inoue, et al.: Upper-Limb

- Rehabilitation Exercises Using Haptic Device System.
International Journal of Human—friendly Welfare Robotic Systems, 4 : 18-22, 2003.
- 4) Y. Ikeda, K. Inoue, T. Terada, et al. : Evaluation of Upper Limb Function using a Haptic Device System for Elderly and Stroke Patients. Proceedings of 5 th World Stroke Congress : 227-228, 2004.
 - 5) K. Inoue, Y. Ikeda, T. Terada, et al. : Trial Usage a Haptic Device Sysytem for Stroke Patient Rehabilitation. Proceedings of 5 th World Stroke Congress : 228, 2004.
 - 6) 岩崎清隆：発達障害と作業療法，三輪書店，2001，10-19.
 - 7) 寺田尚史，井上 薫，伊藤祐子他：力覚提示を用いた上肢運動機能・認知リハビリテーション装置の開発，第18回リハ工学カンファレンス講演論文集：211-212，2003.
 - 8) 井上 薫，高橋良至，寺田尚史他：Virtual Reality 技術を用いた上肢運動・認知機能に対する評価・訓練装置の開発，作業療法，22 巻：198，2003.
 - 9) Jane Case—Smith, Charline Pehoski (奈良進弘，仙石泰仁監訳)：ハンドスキル—手・手指スキルの発達と援助，協同医書出版社，1997，1-13.
 - 10) 鎌倉矩子：巧緻性向上—作業療法技法を中心に—，総合リハビリテーション，20：955-960，1992.