

Haptic Rehab を使用した脳血管障害者の複合的上肢機能評価

Evaluations of a Haptic Rehab that Treats Comprehensive Upper Limb Functions
of Patients with Cerebral Vascular Accident: CVA

○ 井上 薫 (首都大学東京) 寺田尚史 (三菱プレシジョン株式会社)

高木基樹 (名古屋工業大学大学院) 伊藤祐子 (首都大学東京)

高橋良至 (東洋大学) 米田隆志 (芝浦工業大学)

Kaoru INOUE, Tokyo Metropolitan University Takafumi Terada, Mitsubishi Precision Co. Ltd.
Motoki TAKAGI, Nagoya Institute of Technology Yuko ITO, Tokyo Metropolitan University
Yoshiyuki TAKAHASHI, Toyo University Takashi KOMEDA, Shibaura Institute of Technology**Key Words:** Virtual Reality, Haptic Device, Haptic Rehab, Rehabilitation, Upper-limb Functions

1. はじめに

1-1 楽しみの要素がなぜリハビリテーションに必要なのか

効果的なリハビリテーションを提供するためには、対象者の興味、関心、意欲、動機というものを無視することはできない。作業療法においては、「目的活動」の効果に関する古典的研究がある。ある目的をもった活動、目的活動は目的のない運動より有効であることが実験により示されている (Steinbeck 1986⁽¹⁾, Thibodeaux ら 1988⁽²⁾, Yoder ら 1989⁽³⁾)。これらの結果をみても、人間の興味・関心がいかに「効果」に重要な影響を及ぼすかということは自明である。「興味がある」という「内発的な動機に基づいて行われた行為」はより好ましい変化を対象者にもたらす可能性がある以上、対象者がいかに意欲をもって日々の課題に取り組めるか、また、そうできるようにセラピストや周囲が環境設定を含めて働きかけるかということが、リハビリテーションの成功の重要な因子である⁽⁴⁾と言える。

1-2 ハプティックデバイスのリハビリテーションへの応用

ハプティックデバイス (Haptic Device; HD) とは、周知の通りバーチャルリアリティ技術の一種である。我々は 2000 年よりこの技術のリハビリテーションへの応用に取り組んでおり、一定の研究成果を得た^{(5)~(8)}。その結果、HD をリハビリテーションに応用する利点は次の 3 点があることを確認した。

- ① 認知・上肢機能の定量評価が可能：HD は、それが発生する感覚刺激を、グリップを介し使用者の手に与えながら、使用者がどのように上肢を動かすせるのかということを定量的に測定する。すなわち、人の感覚-運動機能を「正確性」「所要時間」「速度」「加速度」等という形の定量評価を可能とした。これまではセラピストの経験的知でしか感じ取れなかった、対象者にとって最適なあるいは苦手な感覚の質、量、すなわち感覚弁別能を客観的に把握することができる。
- ② 患者の回復状態の指標として：小児から高齢者に至る多くの被験者に使用した結果、サインカーブ等の直線、曲線をトレースする課題の所要時間と正確性の間に一定の相関 (所要時間と正確性の成績の両立は困難であること等) が認められ、また、各世代の成績分布図を作成することができた。したがって、片麻痺患者の認知・上肢機能を測定する際の回復段階を推し量る一指標とできる。

- ③ トレーニングとして：評価だけではなく、トレーニングの一手段としても使用可能であることを明らかとした。特に小児および一部の成人に対してはゲームの要素を含んだプログラムが好まれることがわかった。

これらの一連の研究成果の一部はインターリハ株式会社から Haptic Rehab として市販化され一部の臨床で活用されている。今回はこの Haptic Rehab を紹介し、試用実験より得られた知見を報告する。

2. 目的

本研究の目的は、次の 2 点である。①Haptic Rehab のゲームの要素を有する上肢評価・トレーニングシステムを紹介し、②その中の 1 課題である感覚検査プログラムについて、健常被験者、脳血管障害を有する成人を対象とした結果を基に、使用者の意見とあわせてその有効性および改善点を検討する。



Fig. 1 Haptic Rehab (Inter-Reha Co.,Ltd.)

3. 方法

3-1 Haptic Rehab

Haptic Rehab (Fig. 1) は、HD、PC および専用ソフトウェアから構成される。

HD とは、手術用シミュレータなどで重要な力覚・触覚

を自由に設定して「仮定の物体に触った感触」を使用者に与えることができるバーチャルリアリティの技術を活用した認知・上肢機能評価トレーニングシステムである。使用者は画面の指示に従い、グリップを動かすことで操作する。Haptic Rehab の特徴は以下の通りである⁹⁾。

- ・ 運動機能及び認知機能を統合した運動ができ、その効果を定量的に評価することが可能
- ・ 粘性力/摩擦力/ばね力/アシスト力/触覚などさまざまな種類の力覚を自由に設定可能
- ・ 使用者のモチベーションと運動効果/効率の向上
- ・ 運動量はデータとしてファイルされ、再生表示するプレイバックモードや時系列に表示するプレイバックモード機能を有する。
- ・ アウトカムレポート機能と自由な2次処理機能付
スコア算出/運動軌跡/カーソル移動速度/加速度/加速度/方向/単純平均誤差/R.M.S (Root Mean Square) 等

使用者は、メニュー画面 (Fig. 2) から対象者のニーズに合わせたプログラムを選択して実行できる。検査は大別して「固有受容覚テスト」「巧緻性 (協調性) テスト」「触力覚知覚テスト」の3種類から構成される。

以下、今回報告する触力覚知覚テストについて述べる。これは、画面の見本を動かし、同じ感覚刺激を2択式で選び見本と同じものを弁別できるかどうかをみる課題である (Fig. 3,4)。触力覚知覚テストは「粗さ知覚 (凸凹の感覚)」「弾力知覚 (ばね反力)」「粘性知覚 (粘土を触るような感触)」「重量知覚 (物体を持ち上げたときの重さ)」の4つの課題に分けられ、それぞれ刺激の量を変えた課題を4試行、全部で16課題の構成となっている。また、刺激の量は、開発者らが試行して検討し、初期値を設定したものを採用している。Fig. 3は弾力知覚を、Fig. 4は重量知覚に関する検査画面である。

課題が画面に表示され、使用者は選択肢の両方を触って判断し、口頭あるいは指差し等で回答、回答数字「1」あるいは「2」のキーを押すと正誤判定が画面に表示される。

得点処理の方法は、各課題とも1問2点、4試行で合計8点満点として算出する。すなわち、全てミスですれば、その課題の得点はゼロ点となる。

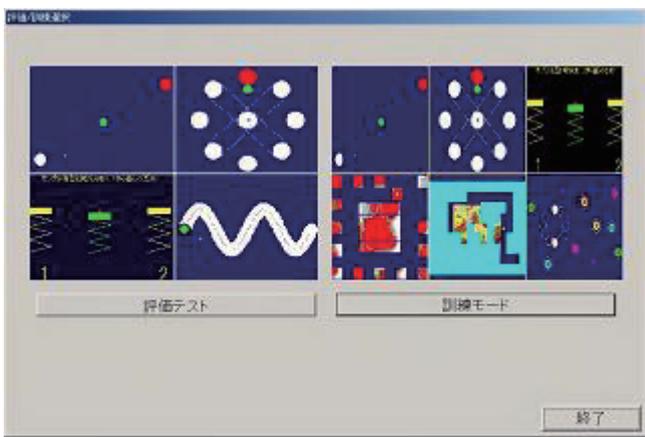


Fig. 2 Menu Screen

その他、多種多様なエクササイズメニューがあり、ゲーム的要素を加味したソフトウェアが特徴的である。トレーニングメニューとしては、迷路、パズル (Fig. 5)

などゲーム性を考慮したプログラムを備えており、上述のように使用者のニーズに合わせて刺激の質、量を変更できる。例えば、パズルゲームでは、パズルの画を使用者が好む画像に設定することができる。例えば、家族や故郷の写真、絵画等を PC に取り込むだけでよく、特別な知識がない検査者であっても容易に設定ができる。ピース数は最低2ピースから設定可能、かつ力覚も調整することができ、対象者に合わせて段階付けが可能である。



Fig. 3 Sensory Evaluation Program (Springs)

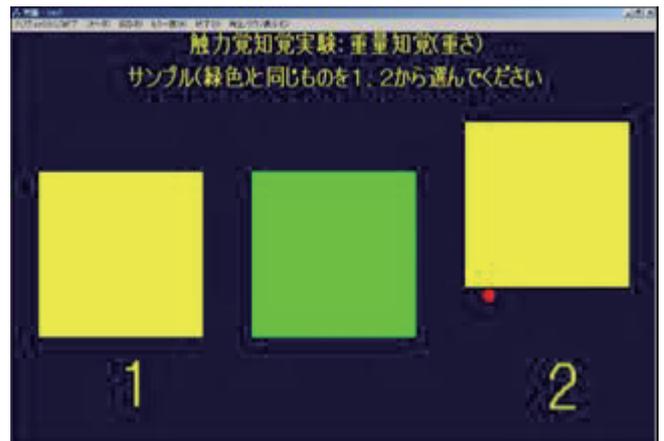


Fig. 4 Sensory Evaluation Program (Weights)

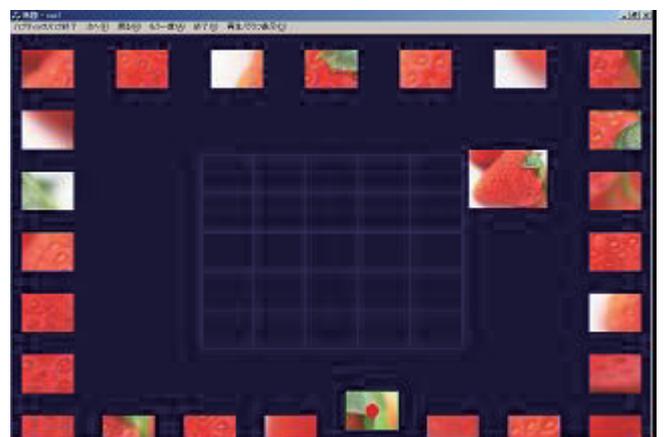


Fig. 5 Training Program (Puzzle)

3-2 試用実験手順

被験者に対し研究について説明を行い、協力に対する同

意を得た後、Haptic Rehab の装置の機能、操作法について説明を行った。その後、被験者はグリップを操作し、画面上のカーソルとの対応を確認する作業を行い、操作方法を学習した。以上の過程に要した時間は約 5~10 分間であった。次に Haptic Rehab の課題を提示し、検査を実施した。どの課題も、画面に課題を提示し「こちら（画面を指差して）の見本をグリップを操作して触って、その感触を憶えてから、同じ感触のものを下の 2 つの中から選んで回答してください。何回、どのように触っても構いません。迷ったらより近いと感じた方を選んでください。回答は、選択肢両方とも触って確認してから答えてください。利き手で実施します。それでは、はじめてください」と指示し、「粗さ知覚」「弾力知覚」「粘性知覚」「重量知覚」の課題を記載の順番に実施した。今回は、反応時間による差をなくすため、被験者が回答を口頭で答え、検査者が直ちに入力した。実験終了後、得られた結果を検討した。終了後、Haptic Rehab に関する意見を聴取した。

本研究は筆者所属の研究安全倫理審査委員会の承認および被験者の同意を得て実施した。なお、脳血管障害を有する被験者については、本人だけではなく主治医の許可を得て実施した。

4. 測定結果

調査期間：2007 年 5 月から 2009 年 8 月

被験者：3 歳から 78 歳まで、平均 30 ± 26 歳の特別な疾患を有さないと申告した 47 名（健常群）、脳血管障害による片麻痺を呈する被験者 2 名であった。

実験の所要時間は 10 分~20 分であった。

健常群 47 名の結果は、下記の通りであった（Fig. 6~9）。

「粗さ知覚」：平均 5.4 ± 2.2 点（中央値 6 点，最頻値 6）

「弾力知覚」：平均 5.8 ± 1.9 点（中央値 6 点，最頻値 6）

「粘性知覚」：平均 4.2 ± 2.4 点（中央値 4 点，最頻値 4）

「重量知覚」：平均 7.2 ± 1.4 点（中央値 8 点，最頻値 8）

「粗さ知覚」と「弾力知覚」の結果はほぼ同様の結果を示した。40 歳代前後は他の世代と比べ全体的に成績が良好であった。一方、若年者と高齢者が低い得点を示す被験者が増える傾向がみられた。「粘性知覚」は年齢によらず成績にばらつきがみられ、「重量知覚」は年齢によらず他の課題よりも高い得点を示した。

Haptic Rehab に対する意見：「粘性が難しい」「重量はわかりやすかった」「集中するので疲れる」「ゲームみたいでおもしろかった」「結果がでるとき、音楽が流れるとやる気になりそう」「ずっと考えるので飽きないでやれる」等の意見が得られた。

脳血管障害を有する被験者のプロフィールは次の通り。

A 氏，60 歳，利き手右，脳幹出血による右片麻痺（運動・感覚ともに軽度の麻痺）

「粗さ知覚」：4 点

「弾力知覚」：0 点

「粘性知覚」：0 点

「重量知覚」：4 点

Haptic Rehab に対する意見：「弾力と粘性が難しかった。集中がなかなかできない。目が少し疲れた。」

B 氏，79 歳，利き手右，脳梗塞による右片麻痺（運動・感覚ともに軽度の麻痺）

「粗さ知覚」：4 点

「弾力知覚」：4 点

「粘性知覚」：0 点

「重量知覚」：8 点

Haptic Rehab に対する意見：「面白い検査。全体的に難しいが特に粘性が難しかった。重量が一番わかりやすい。肩が凝った。」

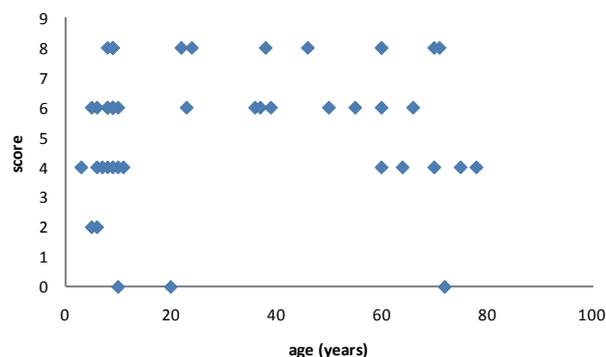


Fig. 6 Coarseness

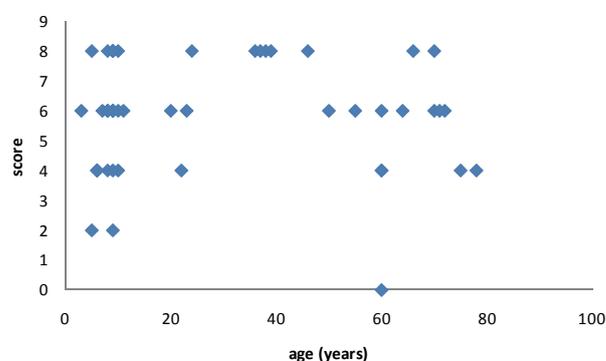


Fig. 7 Elasticity

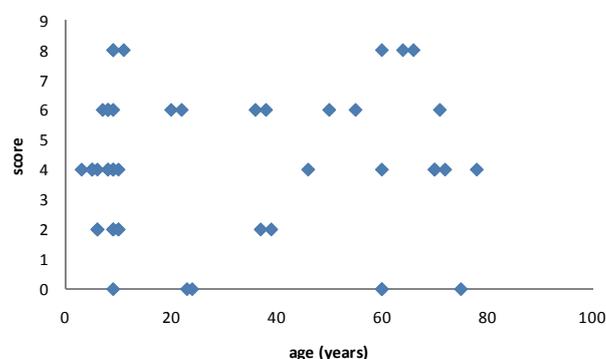


Fig. 8 Viscosity

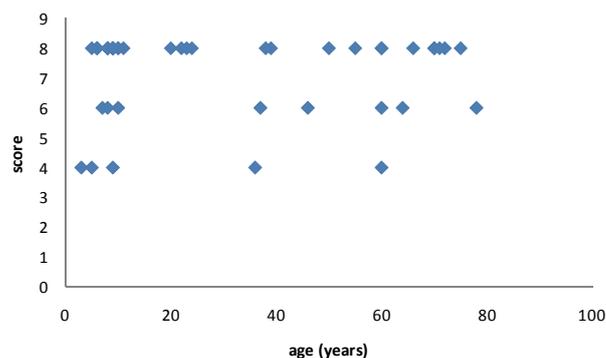


Fig. 9 Weight

5. 考察

結果に示したように「粗さ知覚」と「弾力知覚」の結果については、40歳代前後の成績が全体的に良好である一方、若年層、高齢者層で得点が下がる傾向がみられた。被験者の人数の偏りも関与している可能性があるが、上肢全体としての複合感覚に関し、発達段階にある小児と心身機能が低下傾向にある高齢者の感覚機能を反映した結果とも考えられる。小児、高齢者の個人差が大きく分布した点も興味深い。「粘性知覚」は、全体的にばらつきが多く、他の課題と比較して正答率が低かった。課題の難易度が高かったとも思われ、弁別しやすい段階付けを設定し、難易度を下げる必要があると考える。逆に、「重量知覚」は全体的に得点が高く、難易度が低いと判断され、弁別の段階をより微細に調整する必要がある。以上より、「粗さ知覚」と「弾力知覚」の課題難易度の設定は今回の設定内容で対象者の状態が検出できている可能性があるが、他の2課題については刺激の大きさについて再検討が必要であろう。ただし、今回の結果は人の何らかの感覚特性を反映している可能性も否定できないため、慎重に検討する必要がある。

まだ課題の難易度の設定が調整されていないため、脳血管障害を有する被験者については、今回の結果をそのまま回復プログラムに反映することはできない。しかし、難易度を明らかにして指標とすることができれば、リハビリテーションプログラムに有効な手掛かりを提供できる可能性がある。すなわち、今回の結果を例として挙げれば、A氏のリハビリテーションプログラムとしては、弾力、粘性の要素を、B氏は粘性の要素を取り入れるなど、苦手な感覚刺激を検査し、その刺激を活用して集中的にトレーニングするなど、治療方針の立案に役立つ可能性がある。また、同様に対象者にとってわかりやすい感覚の種類と量を把握することもできるだろう。わかりやすい刺激を入力し、上手に動かすという運動機能の練習も可能である。上肢はある意味で単一の機能体として働くため、複合的機能を検査することにより実践的な支援方針が立案できる。Haptic Rehabはこのような回復段階の定量評価の一つとして、ひいては感覚刺激の負荷に関するエビデンスの提供に寄与できるだろう。

また、被験者の意見から、ゲーム的要素があるために集中しやすい、楽しい、という一方、ハンディを有する被験者にとっては疲労や身体への負担をより生じさせる危険性がある。ゲーム性をもたせることでゲーム好きな対象者のモチベーションは向上するかもしれないが、対象者により実施環境や時間、課題の量、質を調整するなどの対応が必要である。

なお、今回の課題は2択であることから、課題の試行を増やし回答のばらつきを確認するか、選択肢そのものを増やすなどの工夫も検討すべきであろう。ただし、脳血管障害等ハンディを有する対象者の場合、麻痺等の理由により易疲労性である、あるいは集中力に問題があることも予想され、課題の負荷が過剰にならないよう配慮が必要である。

今回は課題遂行の時間の要素を検討していないが、時間の要素も重要な要素であると思われる、さらに分析を進めたい。今後は、課題の難易度を整理しつつ被験者数を増やし検討する必要がある。

6. 結論

Haptic Rehabの一部の機能を紹介し、その中の感覚検査プログラムの一部について、健常被験者および脳血管障害を有する成人を対象とした実験を行い有効性と改善点を検

討した。

その結果、本研究の結論は以下の通りとなった。

- Haptic Rehabの検査の一つである4種の触力覚知覚テストのうち、「粗さ知覚」「弾力知覚」は40歳代前後の被験者の成績は小児、高齢者の世代と比較してばらつきが少なく、全体的に良好な成績を示した。この2種の課題は、現行プログラムにより対象者の認知-上肢機能の状態を検出できる可能性がある。
- 「粘性知覚」は難易度が高く、「重量知覚」は難易度が易しいと考えられ、課題自体について再検討を要する。
- Haptic Rehabはリハビリテーションにおける回復段階の定量評価の一つとして、さらには治療方針の立案に際し、感覚刺激の負荷に関するエビデンスの提供に寄与できる。
- 今後の方針としては、課題の難易度を整理しつつ、被験者数を増やし、各世代の認知-上肢機能の特徴について検討することが必要である。
- ゲーム性を含む評価システムは概ね使用者に好評であったが、ハンディを有する使用者への適用に際しては課題の量、質に調整が必要であることが示唆された。

参考文献

- (1) Steinbeck TM, Purposeful activity and performance, American Journal of Occupational Therapy, Vol.40, pp.529, 1986.
- (2) Thibodeaux CS, Ludwig FM, Intrinsic motivation in product-oriented and non-product oriented activities, American Journal of Occupational Therapy, Vol.42, pp.169, 1988.
- (3) Yoder RM, Nelson DL, Smith DA, Added-purpose versus rote exercise in female nursing home residents, American Journal of Occupational Therapy, Vol.43, No.9, pp.581-586, 1989.
- (4) 井上 薫, なぜ「興味」の要素がリハビリテーションに必要なのか—これからのバイオメカニズムに期待すること—, バイオメカニズム学会誌, Vol.33, No.2, pp.103-104, 2009.
- (5) 井上 薫, 伊藤祐子, 他4, Haptic-Rehab Systemの紹介と作業療法における有用性, 第41回日本作業療法学会特別号, pp.288, 100506pdf, 2007.
- (6) Kaoru Inoue, Yuko Ito, et.al, Trial Usage of Haptic-Rehab System using Haptic Device for the Upper limb functions Evaluation of Handicapped people, Proceedings of the 9th European Conference for the Advancement of Assistive Technology, AAATE2007, 2007.
- (7) Yoshiyuki Takahashi, Tasuku Miyoshi, et.al, Development of the Rehabilitation System Using Haptic Device, Assistive Technology Series, Vol. 20, pp. 736-741, IOS Press, 2007.
- (8) 伊藤祐子, 井上 薫, 他4, Haptic Rehab Systemを用いた子ども向けプログラムの試作と調査報告, 第41回日本作業療法学会特別号, pp.289, 100509.pdf, 2007.
- (9) インターリハ株式会社, Haptic Rehab <http://www.irc-web.co.jp/products/HAPTIC/index.html>

謝辞

本研究は、平成22年度文部科学省科学研究費基盤研究(C)の助成を受けて実施されました。

研究にご協力いただいた皆様に心より感謝申し上げます。