普及型乗馬シミュレータを用いた 在宅リハビリテーションシステムの開発

Development of Rehabilitation System for Home Care
using Horse Riding Simulator with Computer Graphics

南部 雅幸 (正会員) *・東 祐二 (非会員) **・湯地 忠彦 (非会員) **
末永 貴俊 (非会員) ***・藤元 登四郎 (正会員) **・田村 俊世 (正会員) ****

Masayuki NAMBU*, Yuji HIGASHI**, Tadahiko YUJI**,
Takatoshi SUENAGA***, Toshiro FUJIMOTO** and Toshiyo TAMURA****

Abstract

Rehabilitation is usually performed by the therapist in the hospital. However, rehabilitation at home is encouraged for reduction of medical expence, recently. Rehabilitation at home is effective for health management for patients of chronic diseases. To realize the rehabilitation at home, it is important to give the motivation to patients. The cost of the equipment must be redused. The system must be automated and patients without any restriction will be recommended. Therefore, we developed the rehabilitation system using horse riding simulator with computer graphics. Because our system is simple composition, the subject does not need the special operation. In addition, computer graphics gives the motivation to the subject. The result of the experiment, our system is effective for seventy percent of subjects.

Keyword

rehabilitation, home care, horse riding simulator, computer graphics

1. はじめに

すでに高齢社会となった我国においては、在宅看護介護を含め、疾病の有無に関わらず日常的な健康状態の維持とそれを支援するシステムが必要である¹⁾。我々は、これまでも情報

技術を用いて高齢者の日常生活を支援するシステムを提案してきた²⁾⁻⁴⁾。高齢者は、若年者に比べ筋力の低下や循環器、脳・感覚器、代謝などの機能低下により罹患の可能性が高く、何らかの方法でこれらの機能を訓練し、その状態を維持することで健康状態を維持することが重要である。また、罹患後回復および慢性期の患者にとっては、リハビリテーションによる機能回復が重要である。さらに、糖尿病の患者にあつては、運動そのものが治療の一部である。従来これらのリハビリテーションは、病院など医療施設において実施されるものであるが、相対的な高齢者人口の増加とそれに伴う医療従事者の減少、医療費の高騰などにより、在宅にて実施することが奨励されている。また、在宅にて実施することにより、対象となる高齢者の生活の質 (Quality of Life:QOL) や生活の尊厳 (Respect of Life:ROL) を高いレベルで維持することも可能となる。現在実施されている在宅リハビリテーションは、医師や療法士などの医療従事者による個別訪問か、患者の自主的な実施によるものである。前者の場合は、医療費の増加が問題であり、後者の場合は、リハ

2003 年 11 月 6 日 受理

2004 年 8 月 5 日 最終原稿受理

* 国立長寿医療研究センター老人支援機器開発部
愛知県大府市

** 藤元早鈴病院
宮崎県都城市

*** 熊本大学医学部付属病院
熊本県熊本市

**** 千葉大学工学部
千葉県千葉市

* Dept. of Longevity Sciences, National Institute for
Longevity Sciences, Obu, Aichi

** Fujimoto Hayasuzu Hospital, Miyakonojo, Miyazaki

*** Kumamoto University Hospital, Kumamoto, Kumamoto

**** Faculty of Engineering, Chiba University, Chiba, Chiba

ビリテーションの日常的な実施が困難であるため、その効果が得られない場合がある点に問題がある。これまでに提案されている在宅リハビリテーションの遠隔支援は、ほとんどが医療従事者の介在が前提で、医療費の問題は依然として存在する。これらの問題を解決するためには、リハビリテーションに対する意欲を向上させ、自主的な実施を促進するシステムと実施状況を遠隔でモニタ可能なシステムの実現が望ましい。我々は、患者による自主的な在宅リハビリテーションの効果向上を目的として、意欲向上と遠隔データ管理が可能な市販のエクササイズ用乗馬シミュレータと動作計測および画像提示システムを組み合わせたリハビリテーション支援システム⁵⁾を開発した。

2. システム構成

本システムは、図1に示すように松下電工フィットネス機器用乗馬シミュレータ「ジョーバ」^{6) 7)}、ポヒマス社製3次元動作計測装置「3Space Fastrak」(以後ポヒマスセンサ)、および環境生成・表示用計算機から構成される。今回用いた計算機は、PentiumIII-600MHzのCPUを搭載したPC/AT互換機で、OSはMicrosoft Windows2000であった。

Fig. 1 Schematic Diagram of the System

ジョーバ(図2参照)は、家庭でのフィットネスを目的として開発・販売されているもので⁸⁾⁻¹⁰⁾、馬の歩容をシミュレートしたものである。馬の左右の足並みに応じて前後スライド、前後スイング、左右スライドの動作を組み合わせた動作を行う。従来より、乗馬はその運動の穏やかさと乗馬という特殊な環境の持つ訓練に対する意欲向上の可能性からリハビリテーションに有効だとされている¹¹⁾。また、木村らは、乗馬をシミュレートしたロボットによるリハビリテーションが高齢者や慢性期の患者に効果的であるとしている¹²⁾。この乗馬シミュレータの最小限の機能を実装し家庭での使用を可能にしたシステムがジョーバである。

Fig. 2 Horse Riding Simulator

本システムは、一般家庭において日常的なリハビリテーションにおいて利用することを前提として開発した。したがって下記の条件を満たすものであることが理想である。

- (1) 安価に構築が可能であること
- (2) 使用の際に特殊な操作が不要であること
- (3) 使用者が特殊な装置を取り付ける必要がないこと
- (4) 訓練に対する意欲向上が期待できること
- (5) 遠隔でのデータ収集・閲覧・管理が可能であること

これに対し、本システムは、市販の製品のみを用いて構成することで、安価に実現可能なシステムを構築した。また、乗馬シミュレータの起動と計算機の起動のみの操作で使用が可能であり、使用者の身体には何らかの装置を取り付ける必要がない。さらに、乗馬シミュレータに取り付けたポヒマスセンサを用いてその動作を計測し、馬の動作速度に合わせた画像を生成し表示する。

3. 乗馬シミュレータの動作計測と環境の生成

図3に示すように、ジョーバは使用者が騎乗した際の鞍の動きを座面の動きとして再現するものである。また、動作速度は使用者の意志により制御可能であり、馬の歩行速度の上下と合わせることが可能である。ジョーバは、単に馬の動きをシミュレートしたもので、騎乗による風景の変化や走行中の風圧などを再現する機能はない。一回の使用時間が15分に渡ること、日常的に利用することを考慮すると、利用者にとって退屈を感じることが多いと思われる。市販品のパッケージの中には、利用の手引きを兼ねた風景ビデオが同封されているが、乗馬の動作速度変化には対応していないため、毎回同じ映像を見ることになる。我々は、この問題を解決するため、ジョーバの動作速度を計測し、その速度に合わせて風景を変化させる事が可能なシステムを構築した。

Fig. 3 Motion of Horse Riding Simulator

Fig. 4 Mount of Polhemus Sensor

Fig. 5 Horse riding course

ジョーバの前面にポヒマスセンサのレシーバを取り付け (図 4 参照) ジョーバの動作計測を可能とした。計測された乗馬の動作を元に、呈示空間における視点を移動すれば、あたかも騎乗した状態で空間を移動するかのような感覚を利用者に呈示可能で

ある。本システムでは、図 5 に示すように木立に囲まれた芝の馬場を走行するような画像を呈示する。馬場は全長 2000m、幅 30m の大きさで、3 次元表示されている。視点は地上から 2m の位置にありゴール方向の無限遠方に注視点を置いた、ジョーバの動作にしたがって前進する。ジョーバの動作速度が最高の時約 15 分で全行程が終了するように設定した。したがって、見かけ上の最高速度は時速 8km であった。次にポヒマスセンサで獲得されたジョーバの動作を図 6(a)-(c) に示す。信号からわかるように、馬の進行方向に対してジョーバは正弦波状の前後運動をしている。通常馬は、左右の足を交互に動かして走行するため、騎乗者は正弦波状の加速度を感じるが、馬そのものは、ほぼ一定の速度で走行している。すなわち、ジョーバの座面が後方へ移動しているときでも仮想的な馬は前進していることになる。したがって、ジョーバの動作に合わせて視点を移動させると、使用者は違和感を感じる事となる。そこで、仮想的な馬の進行方向への移動量のみを抽出し、その移動量にあわせて視点を移動させる。次に左右方向に関しては、ジョーバは馬の左右の踏み出しに応じて左右にスライドする機能を有する。しかしながら回頭して進行方向を変える機能は有していない。何らかの入力装置により見かけ上の進行方向を変えることは、容易に実装可能であるが、その場合余分な入力装置を必要とするため、本システムの前提条件を逸脱するので今回は実装していない。さらに、上下方向に関しては、ジョーバが既に騎乗時の上下動を前後スイング機能として有するため、これ以上風景に上下方向の変化を付与すると使用者が違和感を覚えるため今回は実装していない。進行方向に対する移動量の抽出と視点移動のアルゴリズムは次の通りである。

- (1) ある時刻におけるジョーバの座面の位置 (前後方向) と直前の位置の差分を求める
- (2) 後方への動きをキャンセルするため差分の絶対値を求め、仮想的な馬の速度を求める
- (3) 計算機環境の違いによる速度の差を吸収するため、経験的に求めた係数を速度に乘以視線の移動量を決定する
- (4) 決定された移動量を元に視点を進行方向へ移動する

図 7 に利用者に呈示する画像を示す。画面中央には、ゴールまでの距離が表示されている。さらに、スタート直後、中間点の 1000m 前後、ゴール間際の 1700m 前後にそれぞれの位置を示すメッセージを表示し (図 8)、リハビリテーションの続行を促す。

本システムでは、ジョーバの動作計測データは汎用のデータ形式にてコンピュータに保存されるため、ネットワークに接続されていれば必要に応じて外部から閲覧可能である。

4. システムの評価

本装置の効果を確認するため、被験者による試用と評価を行った。また画像提示システムの有無による違いを確認するため、生体機能への影響を調査した。まず、画像を呈示せずに 15 分間利用させ、その後画像を呈示した状態で 15 分間利用させた。画

Fig. 6 Result of Motion Measurement

Fig. 7 Presented Scene

像が無い場合には被験者は壁もしくは磨りガラスの窓を注視した。尚、高齢者の被験者には利用による疲労を考慮し、それぞれの実験は1-2日の間隔をあけた。被験者は26才女性、34才

Fig. 8 Message for encouragement

から74才男性の9名の計10名で、女性の被験者は健常者、男性被験者は脳機能障害により左半身に麻痺の症状を有する片麻痺患者であった。実験に際しては、実験の主旨・内容を説明した後、紙面にインフォームドコンセントを取得した。本システムの利用で期待される効果として筋力の増加や安静時代謝の増加が報告されている^{13) 14)}が、揺動による平衡感覚の向上も期待できる。特に、脳血管性疾患の予後には麻痺により平衡感覚が低下するため、本システムによるリハビリテーションの効果が期待できる。そこで、本システムの効果を確認するため、利用の前後にそれぞれ重心動揺計による平衡感覚の検査を行った。検査は、両眼を開いたまま計測する開眼検査と両眼を閉じて計測する閉眼検査を行った。今回は、平衡感覚の指標として有効とされる重心動揺の測定中における重心軌跡の総延長、すなわち総軌跡長(LNG)を求めて比較した¹⁵⁾。LNGは平衡感覚が低下すると増加する。計測の様子を図9に示す。さらに、実験後には本システムの有用性について主観的評価を目的とした聞き取り調査を行った。

5. 結果

LNG計測の結果を表1に示す。本システムの使用後に10例中9例の被験者で、開眼・閉眼に関わらずLNGが向上する結果が得られた。画像の呈示が無い場合は10例中6例であったので、明らかに、平衡感覚の向上に本システムの画像呈示の効果が現れていると考えられる。また、開眼検査の結果と閉眼検査の結果とを比較した場合、閉眼検査の結果がほとんど変化していないかむしろ悪化しているにもかかわらず、開眼検査の結果が大幅に改善される場合があることが10例中4例確認された。

聞き取り調査の結果を表2に示す。聞き取り調査では、画像がない場合は退屈であるとの回答があったのに対し、画像呈示の効果を問う質問に関しては、合った方がよいとの回答を得た。

Fig. 9 Scenery of the Measurement

Table 1 実験結果：使用前後における LNG

被験者/年齢	状態	使用前	画像無し	画像有り
A	開眼	18.78	21.72	16.96
26	閉眼	20.39	20.00	19.52
B	開眼	67.19	44.76	32.90
34	閉眼	98.39	66.14	94.42
C	開眼	37.06	31.70	37.18
60	閉眼	51.56	77.23	48.35
D	開眼	23.14	14.53	30.00
59	閉眼	24.3	25.2	32.12
E	開眼	35.39	26.75	25.28
60	閉眼	47.19	45.15	39.94
F	開眼	44.41	45.52	61.91
49	閉眼	36.25	59.65	31.43
G	開眼	50.72	23.91	32.17
52	閉眼	55.89	72.89	85.28
H	開眼	61.44	70.40	60.06
73	閉眼	80.78	95.21	133.81
I	開眼	26.61	28.13	23.71
48	閉眼	53.30	33.18	25.994
J	開眼	33.63	48.75	23.33
74	閉眼	33.63	41.22	41.13

6. 考察

被験者によっては、画像が無い場合、長時間の揺動により、軽いめまいを訴えることがあった。したがって、画像が在宅リハビリテーションの訓練に対する意欲向上に効果があると考えられる。本システムは、乗馬という比較的特殊な運動のシミュレータであり、使用するまではその動作をイメージしにくいと考えられる。したがって、画像による視覚刺激なしで利用すると使用者によっては揺動により乗り物酔いの様な症状を呈し、平衡感覚が低下する可能性がある。一方、揺動に対応して変化する

Table 2 実験結果：使用感に対する聞き取り調査

聞き取り項目	回答
本システムの運動量	・ちょうどよい運動量 ・少し物足りない
画像無しでの利用に対する感想	・退屈だと感じた ・他の機械装置を用いたリハビリテーションと同様
画像有りでの利用に対する感想	・何も無いよりは楽しく運動できた ・無い状態と変わらない
画像などの呈示は必要か	・非常に重要だと感じる ・あった方がよい

画像により視覚刺激を与えることにより、揺動と視覚のずれを補完することで平衡感覚の低下を防ぐあるいは向上することが可能となる場合があると考えられる。本実験の被験者に関しては、システムの使用により、不快感や生体機能に対するダメージは認められなかった。一方ほとんどの被験者が脳機能障害により平衡感覚が低下していることが認められており一部の被験者ではその回復が認められたため、脳出血、脳梗塞などの患者に対するリハビリテーションシステムとして利用した場合、本システムが平衡感覚の向上に寄与する可能性があることが示唆された。

また、本システムは、安価に構築されなければならないが、現状では、ポヒマスセンサあるいはこれと同等な磁気式・光学式の3次元動作計測装置は市販品であっても高価で一般家庭で購入するためには一層安価なものが必要である。図10に3軸加速度計を用いて計測したジョーバの前後方向の加速度を示す。

Fig. 10 Acceleration of the Horsesriding Simulator

前後方向の加速度はポヒマスセンサによるジョーバの動作と同様の变化をしており、ジョーバの動作速度を反映している。したがって、加速度センサによる計測結果から本システムと同様に空間内での視点移動を行うことは容易であり、本システムの入力装置として応用が可能である。さらに磁気式センサ同様利用者にはセンサを取り付ける必要がない。ポヒマスセンサを利用した場合、ポヒマスセンサの価格がシステム全体の価格の80%以上を占めるのに対し、加速度センサの価格は、システム全体の価格の1%程度であり、安価な加速度センサを利用することで、本システムは他の在宅用フィットネス機器と同様の価格で提供が可能である。

7. まとめ

在宅でのリハビリテーションにおける訓練に対する意欲向上を目的とした、フィットネス用乗馬シミュレータと画像呈示システムを組み合わせたリハビリテーションシステムを開発した。本システムは市販の機器のみで構成が可能であり、非常に安価に提供することが可能である。本システムは、乗馬シミュレータの起動のみの操作で利用が可能であり、コンピュータの利用に不慣れな高齢者等にも容易に利用可能である。被験者 10 名による試用の結果、本システムを試用することにより、脳機能障害により低下した平衡感覚が向上する可能性が示唆された。今後は、より多くの被験者による長期間の評価を行うことにより、画像と平衡感覚訓練の効果について実証を行う。

謝辞

本研究の実施にあたり、データ取得にご協力いただいた被験者の皆様、ならびに計測に関する実作業をお願いした藤元早鈴病院セラピスト室の理学療法士小林美保子先生、福永誠司先生、宮崎朋子先生、田上茂雄先生に厚く御礼申し上げます。

尚、本研究の一部は、厚生科学研究補助金長寿科学総合研究助成事業 H12-長寿-40, ならびに長寿医療研究委託 13 公-3 によって行われた。

参考文献

- 1) 厚生省：多様な高齢者，厚生白書平成 12 年版 6-57，ぎょうせい，2000
- 2) 南部雅幸，末永貴俊，一関紀子，中島一樹，田村俊世：情報通信ネットワークを用いた高齢者自立支援システム「e-house」の開発，ライフサポート，13-4, pp26-33, 2001
- 3) 田村俊世，中島一樹，南部雅幸，中村加銘子，米満里美，伊藤朗子，東祐二，藤元登四郎，宇野廣：重度痴呆性高齢者看護支援のための人形療法，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，6-3，pp165-169，日本バーチャルリアリティ学会，2001
- 4) 堀内郁孝，酒井明彦，東祐二，藤元登四郎，竹内郁雄，根本泰弘，藤江正克，田村俊世，南部雅幸，宮内健一，土肥健純：VR 画像を付加した歩行訓練機に対する高齢者訓練対象者の評価，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，6-3，pp171-176，日本バーチャルリアリティ学会，2001 学会，2001
- 5) Viorel G. Popescu, Grigore C. Burdea, Mourad Bouzit, Vincent R. Hentz: A Virtual Reality Based Telerehabilitation System with Force Feedback, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 4-1, pp45-52, IEEE, 2000
- 6) 松下電工ホームページ，<http://www.mew.co.jp/>
- 7) 松下電工ジョーバ取り扱い説明書
- 8) 澤田一哉，四宮葉一，仲島了治，野村淳二，王碩玉，木村哲彦：VR 技術を応用した健康維持増進機器開発への取組み，VR 医学，1-1，pp40-48，日本 VR 医学会，2002
- 9) 仲島了治，四宮葉一，関根修，王碩玉，石田健司，木村哲彦：VR 乗馬療法システムの開発とその効果検証にむけての取組み，ヒューマンインターフェース学会論文誌，1-4，pp81-86，ヒューマンインターフェース学会，1999
- 10) 関根修，四宮葉一：乗馬療法システム，健康・福祉工学ガイドブック，pp365-373，工業調査会，2001
- 11) 局博一，三田勝己，慶野宏臣，慶野裕美：障害者乗馬の世界，理学療法学，27-6，pp4-8，2000
- 12) 木村哲彦，野村淳二，吉田幸男，四宮葉一：リハビリテーションにおける VR 技術の応用と今後の可能性，生馬シミュレータの開発と医学的応用の可能性，新医療，11 月号，pp101-103，1997
- 13) 四宮葉一，関根修，仲島了治，澤田一哉，王碩玉，石田健司，木村哲彦：乗馬療法機器の開発と筋力トレーニング効果の検証，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，6-3，pp197-202，日本バーチャルリアリティ学会，2001
- 14) 三原いずみ，小澤尚久，実松渉，比留井あき子，湯川隆志，北条弘幸：他動訓練機「ジョーバダイエットエクサ」の運動効果，松下電工技報，2003-8，pp44-51，松下電工，2003
- 15) 日本平衡神経学会：重心動揺計規格，Equilibrium Res., 42, pp363-369, 1983