

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22650135

研究課題名（和文） 視覚認知障害のための移動支援用3次元視覚バリアフリー機器開発

研究課題名（英文） A study of development of three-dimensional visual barrier-free device for individual locomotion with visual perceptual disorders

研究代表者

田中 敏明 (TANAKA TOSHIAKI)

東京大学・先端科学技術研究センター・特任教授

研究者番号：40248670

研究成果の概要（和文）：

脳卒中などによる脳障害では、空間の認知が困難になる半側空間無視などの視空間障害が起こり、患者の日常生活活動（ADL）を著しく後退させる。本件では、空間無視など視覚認知障害者のために、歩行動作および車いす操作などより動的条件での3次元視覚情報バリアフリー機器開発研究を実施した。結果として、HMDによる視覚呈示および聴覚刺激により姿勢を回復するための反応時間の減少および加速度の正常化の可能性を見いだした。

研究成果の概要（英文）：

Unilateral spatial neglect (USN) is a common syndrome in which a patient fails to report or respond to stimulation from the side of space opposite a brain lesion, where these symptoms are not due to primary sensory or motor deficits. Neglect is associated with lower performance on measures of impairment, as well as on measures of disability in activities of daily living (ADL). In this study, we developed a three-dimensional visual barrier-free device that assists dynamic movements, such as walking and wheelchair operation, in individuals with visual perceptual disorder. The aims of this study were to investigate whether a visual information system with a head mounted display (HMD) is useful to patients with USN. To use the HMD as a reminder system during walking and wheelchair ambulation, we also developed a prototype HMD supporting device that can be used for both walking and wheelchair operation. The results indicated that, because of the visual presentation and audio stimuli, the system could reduce the reaction time of patients to correct their posture.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	0	1,600,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	390,000	3,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：視覚認知, 移動支援, バリアフリー, 3次元視覚情報, 福祉工学

1. 研究開始当初の背景

脳卒中の後遺症の一つに視覚に障害が発生する視空間認知障害があり、リハビリテーション治療の重大な阻害因子となっている。半側空間無視 (USN) はしばしば患者の日常生活で行動異常を来す。この半側空間無視は、歩行困難や車椅子生活を余儀なくし、患者の日常生活活動 (ADL) や生活の質 (QOL) を後退せしめる原因の一つでもあり、早急に解決すべき重要課題である。しかしながら、このような中枢神経疾患による合併症としての視覚障害に対するリハビリテーション治療およびその機能代償・改善のためのリハビリテーション機器の開発研究はきわめて少ない状況にある。研究代表者らは、USN 等の視空間認知障害を解決する福祉機器として、小型 CCD カメラ付き HMD (ヘッドマウントディスプレイ) システム開発研究を実施した。このシステムは、認識できない視空間欠損部分の視覚情報を障害のない片眼もしくは両眼に与えるものである。具体的な現在までの研究成果としては、患者が認識できない・しない視空間情報を画像修正して認識できる視野内へ呈示することで認識可能とし、日常生活活動の向上のため、既存にない小型 CCD カメラ付き HMD システム試作機器を開発した。本システムでは、視覚情報を縮小し HMD を介して、患者が認知できる視野内に視覚情報を拡大縮小する機能と注意喚起するための矢印を HMD 内画像に呈示する注意喚起表示機能がある。成果としては、製作した HMD システムによって、従来の検査では発見できなかった患者の日常生活動作での無視を把握できた。加えて、椅座位に加え食事動作、更衣動作などの 3 次元主体での動的検査・訓練も実施可能となった。

2. 研究の目的

本研究では現在までの研究をさらに進める次のステップとして、歩行、車いす移動など動的条件下での視覚認知障害に対する検査・訓練・支援としての 3 次元 HMD システムの開発研究を目指す。本件では、歩行動作および車いす操作など、より動的条件下での 3 次元視覚情報バリアフリー機器開発のための基礎研究を行う。このため、健常人および患者に違和感の少ない現実に近い HMD による 3 次元的視覚呈示方法の検討、空間無視を有する患者・障害者に関して HMD による 3 次元視覚情報システムの有効性の検討、さらに、歩行、車いす操作支援のため、空間無視領域に注意を喚起する歩行支援用 HMD システムおよび車いす操作用 HMD システムを構築し、臨床での

本機器有効性の検証を行う。

3. 研究の方法

(1) 健常人および患者に違和感の少ない現実に近い HMD による 3 次元的視覚呈示方法の検討：光学シースルーおよびビデオシースルー方式による視覚情報呈示方法に関し、歩行や車いす操作において患者に違和感の少ない呈示方法を検討する。これに関して、モニター調査として、健常人 5 名、空間無視を有する患者 5 名に関するモニター調査を実施した。

(2) 空間無視を有する脳血管患者に関して、HMD による視覚情報システムの有効性の検討：通常実施される椅座位での静的 3 次元条件下での空間無視検査において HMD による注意喚起条件の有無による無視状況の減少、改善を実験分析する。本システムを用いた症例検討として左 USN に対する評価・治療への HMD 応用について検討した。症例は、研究内容を理解し同意を得られ、右脳梗塞後遺症により左 USN を有する男性 (62 歳) である。日常生活動作・訓練場面における USN 評価では 10 項目中 7 全項目で無視症状を認めた。実験方法は、机上検査には行動性無視検査 (BIT 日本語版) の線分抹消試験を用いた。被験者は椅座位を基本測定肢位とし、1) 通常の机上検査、2) 上方に固定した小型 CCD カメラで机上の検査用紙のみを撮影し HMD の眼鏡状液晶ディスプレイに投影する物体中心条件、3) 小型 CCD カメラ内蔵の HMD で机上の検査用紙を投影する身体中心条件、の 3 条件で検査を実施した。さらに 2)・3) に関して画像修整を加え、(A) HMD に投影する映像を画面の両端を基準に左右方向に 75% および 60% に縮小した条件、(B) 映像の左側に点滅する矢印を表示する条件の画像修正で検査を実施した。分析方法は線分抹消試験の中央列 4 本を除き紙面を左と右に 2 分割し、抹消した線分の抹消率を求め、各条件について比較検討した。加えて、眼球運動、頭部体幹運動に関して動作解析を実施した。

(3) 歩行、車いす移動での HMD により注意喚起を促すため、注意喚起システムの構成要素である位置計測センサシステムを構築：本課題では特にヒトの動的条件下として難易度が高い歩行に関するシステムとその検証を行う。対象は健常人 5 名 (平均年齢 21.2 ± 0.4 歳) とした。被験者は正常及び左片まひモデルの 2 種類の身体条件と、直線及び左 15 度の 2 種類の歩行条件を組み合わせた 4 通りの条件で歩行試験を実施した。身体条件のうち正常は、身体機能に制限を設けない状

態とした。左片まひモデルは、左上下肢の運動機能まひを想定し、装具(疑似体験セットまなび体片まひ用;特殊衣料製)を装着して左上肢を左体幹に固定し、左足関節を底屈位で固定した(図 1)。歩行条件のうち直線歩行は、正面を見ながら 10m の距離を直線的に歩行した。左 15 度歩行は、歩行中無視側へ軌道が偏位する左半側空間無視を想定し、正面を見ながら 10m の距離を、直線歩行に対して左 15 度の方向(図 2)に歩行した。被験者は各条件を 3 回繰り返した。被験者は無線式 3 軸加速度・3 軸角速度センサ(MVP-RF8; マイクロストーン社)を頭頂部に固定した自転車用ヘルメットを装着し、歩行時の 3 軸加速度と 3 軸角速度を 200Hz の周期で計測した。



図 1 左片まひモデル

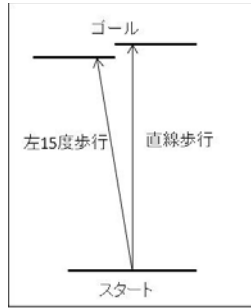


図 2 歩行条件

(4) 歩行支援用 HMD システム構築: 歩行での HMD による注意喚起のため、歩行においてはジャイロセンサ、電気角度計、加速度計等によるヒトの重心移動、関節運動をセンシングしながら、HMD と同期して無視領域および異常歩行の不安定状態に注意を喚起する歩行支援用 HMD システムを構築する。

(5) 機器の有効性検証: 上記の歩行支援用 HMD システムに関する臨床での本機器有効性の検証を行う。被験者として、健常者 2 名(平均年齢 21.5 歳)に関して通常歩行と異常歩行(片麻痺体験用具を用いて脳卒中後片麻痺歩行、視覚認知障害者歩行をシミュレーションした)を実施し本システムで歩行時の関節運動、頭部体幹の加速度、速度等の分析項目の特性を比較検討し、本システムの有効性を検証する。被験者の身体条件は左片まひモデルとし、HMD、無線子機、3 軸加速度・角速度センサを搭載した自転車用ヘルメットを装着した(図 3)。歩行条件は左 15 度斜め方向 10m とした。被験者は注意喚起情報を提示しない場合と提示する場合で 1 回ずつ歩行試験を実施した。被験者には、歩行中に注意喚起情報を確認した場合、歩行を停止し、その後歩行を再開するように指示した。注意喚起情

報は、視覚情報として HMD 上に緑色の枠を赤色に表示し、「ひと休みしましょう」のテキストを表示した。また、聴覚情報としてチャイム音をスピーカーから出力した。注意喚起情報の有無による(Ax)の結果を比較し、注意喚起の効果を検証した。

4. 研究成果

成果 (1)

健常人 5 名、USN 患者 5 名に関するモニター結果は、以下のごとくである。HMD による視覚情報呈示に関しては静的条件下(座位、立位など)では両方式とも空間無視検査および日常生活活動検査は遂行可能であった。動的条件下(車いす操作としてブレーキ操作を実施)では HMD による両眼、片眼装着が車いす操作可能であった。片眼でのビデオスルー方式が操作エラーは少なかった。その他、HMD の装着による違和感は両方式とも特に問題なかった。HMD の重量(150-250g)に関しても問題なかった。しかしながら、HMD への画像呈示においては、画面中心や両端が影・線のように見える、頭部側屈の際、線分が縞に見える、という問題点もあり、画像の鮮明さをさらに求める必要があるという結果を得た。

成果 (2)

通常検査に比べ HMD による検査では、無視領域の抹消率が上昇した。HMD 使用に眼球・頭部・体幹運動分析を加えることにより、通常検査に比べより空間無視障害度を統合的に評価できるシステムを構築した。また、画面縮小、注意喚起用矢印などを加工して HMD による視覚情報呈示を行うことにより無視環境を改善させ得る可能性が示唆され、視覚認知障害者の歩行および車いす注意喚起システムへの HMD 導入への可能性を見いだした。

成果 (3)

歩行試験の結果の一例として、3 軸加速度(Ax;進行方向に対して左右方向、Ay;進行方向、Az;上下方向)と、3 軸角速度(Gx; Ax を軸とした回転方向、Gy; Ay を軸とした回転方向、Gz; Az を軸とした回転方向)の出力を示した。身体条件と歩行条件を組み合わせた 4 通りの条件について、(Ax, Ay, Az)と(Gx, Gy, Gz)の絶対値平均値、標準偏差、最大値を表 1 に、絶対値平均値の差による多重比較の結果を表 2 に示した。加速度、角速度は運動方向で符号が変わるので絶対値に変換した。歩行試験の結果から、Ax, Az, Gx Gy, Gz にお

表 1 歩行試験結果

身体条件 歩行条件	片まひ 直線	片まひ 左	正常 直線	正常 左
左右方向加速度 Ax (m/sec ²)				
絶対値平均値	1.8	1.5	0.4	0.4
標準偏差σ	1.6	1.6	0.5	0.6
最大値	11.6	21.4	5.0	10.5
進行方向加速度 Ay (m/sec ²)				
絶対値平均値	2.8	3.0	1.8	2.2
標準偏差σ	2.3	2.6	2.2	2.6
最大値	14.7	17.4	17.1	15.7
上下方向加速度 Az (m/sec ²)				
絶対値平均値	1.3	1.3	0.6	0.8
標準偏差σ	1.3	1.4	0.9	1.0
最大値	14.4	26.2	8.9	10.5
左右軸角速度 Gx (deg/sec)				
絶対値平均値	20.2	15.4	7.5	6.5
標準偏差σ	21.0	18.7	11.7	11.0
最大値	199.9	191.0	195.5	168.8
進行軸角速度 Gy (deg/sec)				
絶対値平均値	15.4	12.2	5.0	5.0
標準偏差σ	16.8	15.6	8.7	10.9
最大値	168.8	164.4	124.4	351.0
上下軸角速度 Gz (deg/sec)				
絶対値平均値	18.1	15.6	8.7	8.5
標準偏差σ	22.4	21.2	18.5	17.6
最大値	328.8	359.9	364.3	279.9

表 2 歩行試験結果
(多重比較)

多重比較	加速度(m/sec ²)			角速度(deg/sec)		
	Ax	Ay	Az	Gx	Gy	Gz
1.片まひ直線vs片まひ左	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
2.片まひ直線vs正常直線	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01
3.片まひ直線vs正常左	P<0.01	n.s.	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01
4.片まひ左vs正常直線	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01
5.片まひ左vs正常左	P<0.01	P<0.05	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01
6.正常直線vs正常左	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

いて、推測統計の多重比較 2.~5.の 4 種類の条件の組み合わせで、左片まひモデルが正常よりも歩行時の加速度、角速度が有意に大きい結果が得られた。これらは、左上肢の固定や左足関節を底屈位で固定したことで、歩行時の周期的な変動に差があったと考えられる。一方、左半側空間無視を想定した歩行条件では有意差はなかった。これはコースを左 15 度に設定したものの、歩き始めてからは直線の軌道となり、大きな違いを得るに至らなかったと考えられる。

以上の結果より注意喚起の条件決定として、脳血管疾患の後遺症による左半側空間無視患者は、左片まひの運動障害を合併することが多いことから、左片まひモデルで有意な結果が出た Ax, Az, Gx, Gy, Gz から注意喚起を促す条件を選択した。5 種類の中で、左片まひモデル歩行と正常歩行の最大値が 2 倍以上あり、自覚的にわかりやすい変化である進行方向に対して左右方向の加速度(Ax)(表 1)を歩行時の注意喚起手段にした。注意喚起を提示する閾値は、(Ax)(平均値絶対値+2σ) m/sec² とし、(Ax) = 1.7 + 3.2 = 4.9 m/sec² とした。

成果 (4)

注意喚起システムの構成は、3 軸加速度および 3 軸角速度センサを搭載し、データを送信する無線子機とデータを受信し、パーソナルコンピュータにデータを入力する無線親機、加速度、角速度データから注意喚起情報を提示する注意喚起ソフトウェアを搭載したパーソナルコンピュータ、注意喚起情報を表示する HMD とした(図 3)。

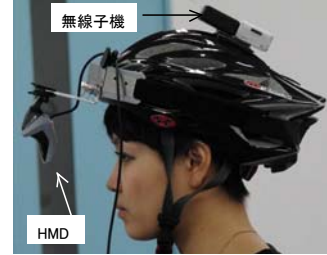


図 3 HMD, 無線子機の装着

注意喚起システムのソフトウェアの構成(図 4)は、無線子機からの 3 軸加速度および 3 軸角速度の各データを入力し、時系列グラフに表示した。

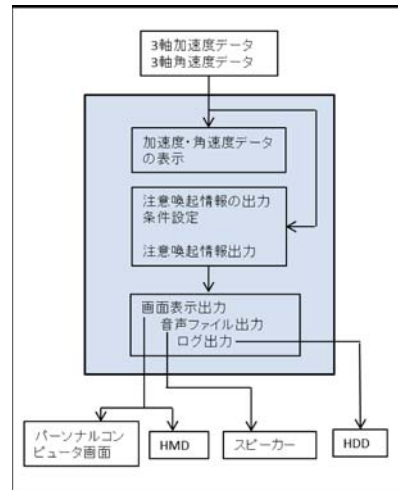


図 4 注意喚起ソフトウェアの構成

また、注意喚起情報を出力する条件を設定し、設定した閾値を越えた場合、注意喚起画面の表示を緑色から赤色に変更し、設定したテキスト文字を表示(図 5)し、HMD で視認可能とした。また音声ファイルを出力し、HMD による視覚情報と同時に音声情報で注意喚起情報を出力した。

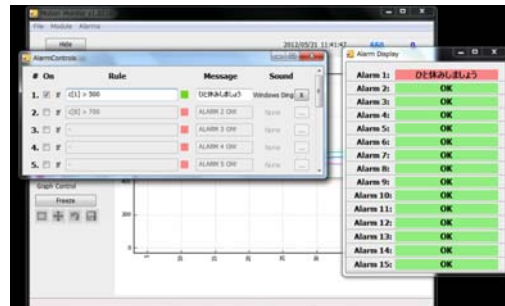


図 5 注意喚起の条件設定・表示画面

成果 (5)

注意喚起を提示しない歩行と注意喚起を提示した歩行(図 6)を示した。各条件における (Ax)の絶対値平均値、標準偏差、最大値を表 3 に示した。また、各条件の(Ax)の時系列変化をグラフ(図 7,8)に示した。



図 6 左片まひモデル歩行

左;注意喚起無し 右;注意喚起あり

注意喚起情報を提示しない条件では、被験者は連続して歩行をした。左足関節を底屈位で固定しており、左下肢のぶん回し歩行となった(図 6 左)。一方、注意喚起情報を提示した条件では、注意喚起情報を HMD からの視覚情報と、スピーカーからの聴覚情報を確認し、歩行を一時停止し(図 6 右)、その後歩行を再開した。注意喚起情報を提示することで、

表 3 注意喚起情報有無による(Ax)の比較

加速度方向 身体条件 歩行条件	左右方向 Ax 片まひ 左			
	無し		あり	
注意喚起	A	B	A	B
被験者	A	B	A	B
Ax(m/sec ²)				
絶対値平均値	2.3	2.3	1.1	1.6
標準偏差	2.0	1.3	1.2	1.1
最大値	7.8	10.6	7.2	9.3

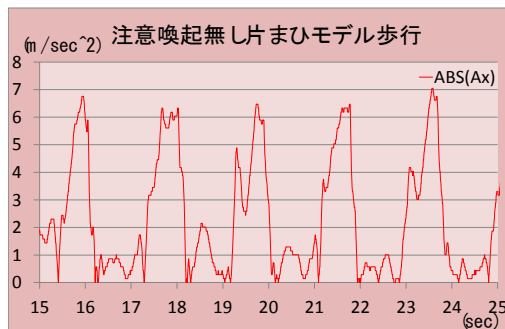


図 7 注意喚起情報を提示しない左片まひモデル歩行の(Ax)

(Ax)の絶対値平均値、および標準偏差は、提示しない場合よりも約 1/2 低下した(表 3)。また、注意喚起情報を提示しない場合、(Ax)が周期的に 6m/sec² を超えていた(図 7)が、閾値の 4.9m/sec² で注意喚起情報を提示した場合、被験者は歩行を停止し、また歩行を再

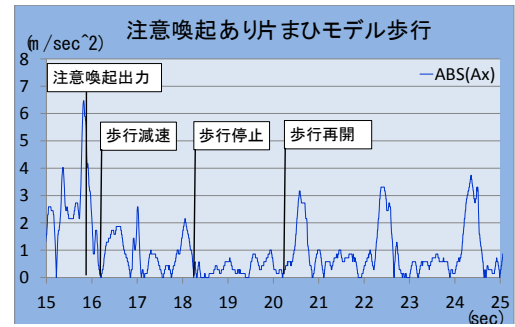


図 8 注意喚起情報を提示した左片まひモデル歩行の(Ax)

開し、その後は少なくとも 5 秒間は閾値を超えずに歩行した(図 8)。

注意喚起情報提示の効果については、設定した注意喚起の条件に基づき、注意喚起情報の出力閾値を歩行時進行方向の左右方向の加速度 (Ax) = 4.9 m/sec² とした上で、視覚情報、聴覚情報で注意喚起情報を提示して左片まひモデルで歩行試験を実施した。被験者は注意喚起情報を確認して歩行を停止し、また歩行を再開し、その後は閾値を超えずに歩行を継続した。このことから、健常者によるモデルではあるが、注意喚起システムは、歩行時に進行方向に対して左右に大きな加速度が発生した時に、被験者に注意を喚起し、安全に配慮した歩行動作を促すことができた。このことから、注意喚起システムは視覚情報、聴覚情報で歩行の動作を自覚的に制御する効果が示されたとと言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Yusuke Maeda, Toshiaki Tanaka, Tomoya Miyasaka, Koichi Shimizu. A Preliminary Study of Static and Dynamic Standing Balance and Risk of Falling in an Independent Elderly Population with a Particular Focus on the Limit of Stability Test. Journal of Physical Therapy Science. 23: 803-806, 2011
2. Toshiaki Tanaka, Clinical Application for Assistive Engineering -- Mixed Reality (MR) Rehabilitation. J. Med. Biol. Eng., 31(4):277-282, 2011.
3. Tomoya Miyasaka, Masanori Shoji, Toshiaki Tanaka, Development and Clinical Evaluation of an Eye Movement Input Device Designed to Assist Continuous Communication in

- Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) Patients. J. Med. Biol. Eng., 31(4):265-271,2011.
4. Yusuke Maeda, Toshiaki Tanaka, Yasuhiro Nakajima, Koichi Shimizu. Analysis of Postural Adjustment Responses to Perturbation Stimulus by Surface Tilts in the Feet-together Position. J. Med. Biol. Eng., 31(4):301-305,2011.
 5. Toshiaki Tanaka, Tohru Ifukube, Shunichi Sugihara and Taka Izumi. A case study of new assessment and training of unilateral spatial neglect in stroke patients: Effect of visual image transformation and visual stimulation by using a head mounted display system (HMD).Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 7:20 ,2010.
 6. Satoshi Shirogane, Toshiaki Tanaka, Takashi Izumi, Yusuke Maeda, Yohei Oyama, Naoki Yoshida, Shuichi Ino, Tohru Ifukube. A Feasibility Study of an Integrated System Using a Force Plate and a Plantar Vibrotactile Stimulator for Fostering Postural Control in the Elderly. Physical & Occupational Therapy in Geriatrics, Vol. 28, No. 1, Pages 22-32,2010.

[学会発表] (計 5 件)

1. Toshiaki Tanaka, Yusuke Maeda, Shuichi Sugihara,, Tomoya Miyasaka Satoshi Kido,Takashi Izumi. Effect of a new assessment and training of unilateral spatial neglect in patients with stroke by using a three-dimensional head mounted display system (HMD). 16th International Congress of the World Confederation for Physical Therapy . Amsterdam, Holland, 6/21/2011.
2. Toshiaki Tanaka, Satoshi Shirogane, Yusuke Maeda, Shunichi Sugihara, Tomoya Miyasaka, Satoshi Kido, Takashi Izumi. Effectiveness of a new combined system, using a force plate and vibratory stimulation device for balance training in patients with stroke. Proceedings of 1th International Conference on Applied Bionics and Biomechanics ICABB-2010, Venezia, Italy, 10/14/2010.
3. Tomoya Miyasaka, Masanori Shoji, Toshiaki Tanaka. Long-term Clinical Evaluation of an Eye Movement Input

- Device Designed in Amyotrophic Lateral Sclerosis Patients. Proceedings of 1th International Conference on Applied Bionics and Biomechanics ICABB-2010,Venezia,Italy, 10/14/2010.
4. 泉 隆, 田中敏明, 白銀 暁 , 凍結路面における歩行の練習手段の提案, 第 10 回情報科学技術フォーラム論文集, K-075, pp.889-890, 9/9/2011, 函館.
 5. 杉原俊一, 田中敏明, 泉隆, 清水孝一. ヘッドマウントディスプレイを用いた左半側視空間無視患者における視空間認知の評価～ADL 評価法 Catherine Bergego Scale (CBS) との比較～,第 4 6 回日本理学療法学会大会論文集,Vol.38 No.1 pp.73 (論文番号 171) ,5/28/2011. 宮崎.

[図書] (計 2 件)

1. 田中敏明:高齢者の転倒予防のためのバランストレーニング, 科学, 81(2), 121-124, 岩波書店, 2011
2. 宮坂智哉, 東海林正敬, 田中敏明, ALS(Amyotrophic Lateral Sclerosis) 者の継続的な意思伝達を支援する眼球運動入力装置, 画像ラボ 21(11), 6-12, 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 敏明 (TANAKA TOSHIAKI)
東京大学・先端科学技術研究センター・特任教授

研究者番号 : 40248670

(2) 研究分担者

泉 隆 (IZUMI TAKASHI)
東海大学・生物理工学部・教授

研究者番号 : 80193374

(3) 研究分担者

宮坂 智哉 (MIYASAKA TOMOYA)
植草学園大学・保健医療学部・准教授

研究者番号 : 10404758

(4) 連携研究者

伊福部 達 (IFUKUBE TOHRU)
東京大学・高齢社会総合研究機構・特任研究員

研究者番号 : 70002102