

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500592

研究課題名(和文)立体視知覚障害を検出し脳の空間知覚機能回復を促進する新しい検査訓練システムの開発

研究課題名(英文)Development of a Novel Inspection and Training System for Stereopsis Function and Space Perception in Brain

研究代表者

林 良太(Hayashi, Ryota)

鹿児島大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：40288949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、脳卒中の後遺症で立体視知覚機能に障害が生じていないかを検査するシステムの開発を試みた。さらに開発した検査システムを応用して、立体視知覚の訓練可能性を検討した。検査訓練システムでは、コンピュータで立体画像を作成し、液晶プロジェクタと、偏光フィルムおよび偏光メガネを用いて、視差のある立体画像を被験者の左右の目に提示する方法を採用した。その際、立体視知覚の手掛かりを両眼視差に絞るため、提示する立体画像では、稜線など絵画遠近法的に判断できる要因を取り除くことにした。そして、提案する検査訓練システムを脳卒中患者に適用したところ、立体視知覚機能の検査訓練の実施可能性を確認することができた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have focused on stereopsis impairment caused by abnormal brain function in stroke patients. We have proposed a training and inspection system for stereopsis impairment in stroke patients. This system is composed of a personal computer, two LCD projectors, polarizing filters, and a pair of polarized glasses. To implement three-dimensional perception tests, we have decided to use stereo images without ridge lines of depth. After some consideration, it was revealed that we had to check if every subject had no significantly different eyesight in both eyes, nor any strabismus before applying the inspection system. Therefore we have constructed a pretest equipment using real objects to check them. Furthermore, we have devised a training system for stereopsis function by modifying the inspection system. Then we conclude on the feasibility of the proposed systems through several clinical trials for stroke patients.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学

キーワード：立体視 脳神経疾患 リハビリテーション バーチャルリアリティ 検査システム 訓練システム 脳卒中 医療・福祉

1. 研究開始当初の背景

脳卒中片麻痺上肢の運動機能回復訓練の中で、目標点に向けての上肢のリーチング運動は基本的かつ重要な動作である。しかし、上肢の伸展屈曲運動が素早くできるようになるまで回復した患者の中で、視野障害が検出されていないにもかかわらず、目の前に示した目標点に上手く手先を動かすことができない患者が存在する。視野の障害が確認されていないため原因が判明せず、これまでは被験者の動作が緩慢な性格的なものと見過ごされがちであった。しかし、脳卒中による脳機能の障害はさまざまであり、こうした患者は左右の目に映る像を視覚的に捉えることができている、左右の視差のある映像を脳内で融合して立体的に知覚する機能に障害をもっている疑いがある。立体視知覚機能の障害はリーチング運動を含む上肢運動機能回復訓練に影響を与えることは必定であり、脳卒中片麻痺上肢運動機能回復訓練を効果的に施すためには、立体視知覚機能の障害を検出する方法の確立は急務である。さらに、これまで見過ごされていた日常生活動作への影響も大きく、QOL (生活の質) の改善のために立体視知覚機能の検査訓練システムの構築は重要である。

2. 研究の目的

本研究では、脳卒中の後遺症によって両眼視差を融像して立体空間の奥行きを知覚する脳機能に障害が生じていないかを検査し、さらに立体視知覚機能の訓練を可能にすることを目的として、以下の項目を目標としている。

- (1) 立体視知覚機能の障害を定量的に検出するための検査システムを構築する。
- (2) 立体視知覚機能の障害を治療するための訓練システムを構築する。
- (3) 脳卒中患者の立体視知覚機能の障害に注目した新しい検査訓練法の発展に繋げる。

3. 研究の方法

(1) 立体視知覚機能の検査訓練課題の検討
 立体視知覚機能の検査訓練には、3次元の仮想現実空間上に図形を表示することにより遠近の正確な判断を促す課題を提案する。ただし、身近にある物体形状を課題で提示した場合は、2次元的な投影画や図形の大小関係の視覚から、両眼視差の映像を脳内で融合することなく遠近を経験的に判断してしまう可能性がある。そこで、このような要因を排除するとともに、両眼視差の度合いを変化させた検査訓練課題を考案する。

(2) 立体視知覚機能検査システムの開発と臨床データの評価

立体視知覚機能の障害を定量的に評価するための検査システムを構築する。構築する検査システムの概念図を図1に示す。開発し

たシステムを使って検査を行い、臨床データを収集する。そして、医師による所見と臨床データとを比較して、検査システムの有効性を考察する。また、必要に応じて改良を重ねて、立体視知覚機能検査システムの実施可能性を確認する。



図1 検査システムの概念図

(3) 立体視知覚機能訓練システムの開発と訓練効果の評価

これまで、深視力検査で異常のあった患者のうち、プリズム眼鏡による矯正や眼球運動訓練による眼位の正常化で異常の改善が見込めない場合は、立体視知覚機能の障害は治療できないものと考えられていた。しかし、近年の脳科学では、損傷を受けた脳が担っていた機能を、訓練することによって脳の他の部位がその機能を担うようになる脳の可塑性があることが分かってきた。そこで、脳の可塑性による機能回復を目指して、立体視知覚機能の検査データを基に遠近の判断が可能な両眼視差の閾値レベルで、遠近の正確な判断を促す課題を繰り返し行う訓練システムを構築する。また、複数の患者に対して訓練前後に検査を行い、訓練による立体視知覚の回復度合いを調べ、提案する訓練システムの実施可能性を検討する。

(4) 立体視知覚機能検査訓練システムの評価と新しいリハビリテーション治療への展開

立体視知覚機能検査訓練システムの実施可能性を確認することによって、脳卒中患者の立体視知覚障害に注目した新しい検査訓練法の発展に繋げる。

4. 研究成果

(1) 検査訓練課題に用いる立体画像の作成
 立体画像提示装置

立体画像提示装置には、液晶プロジェクタ (P3251、acer) 二台と偏光フィルム (MUHD40S-4、美館イメージング) および偏光メガネ (MC-3DG、美館イメージング) を使用した。まず、図2に示すように液晶プロジェクタの前面にそれぞれ偏光フィルムを設

置し、一台の液晶プロジェクタから左眼に提示する画像を、もう一台の液晶プロジェクタから右眼に提示する画像をスクリーンへ出力するようにした。ただし、視差のない同じ画像の場合はちょうど重なって映しだされるように投影位置を調節しておく。そして、映し出された視差のある画像を偏光メガネで視覚した者に、立体画像を知覚させることのできる装置を作成した。

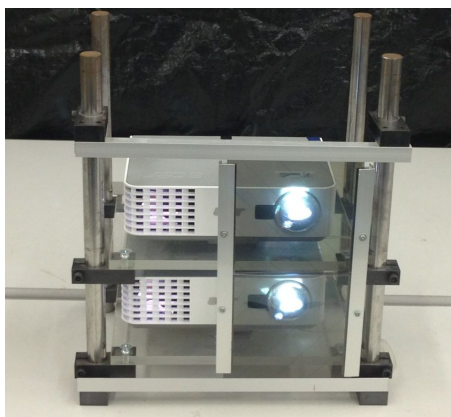


図2 立体画像提示用プロジェクタ

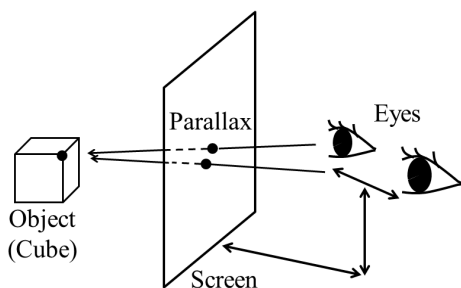


図3 スクリーンに対する眼の位置

眼の位置と両眼視差

現実の立体空間上にある物体を両眼視するときの視差（両眼視差）は、左右の目の間隔および物体と両眼の位置関係によって異なってくる。検査訓練に用いる立体画像は、検査を受ける被験者に応じて、両眼視差を計算して作成する必要がある。仮想的な立体空間と現実の立体空間との対応関係にずれが生じると、被験者が物体を両眼視したときの立体空間の奥行きを知覚し、両眼の輻輳角との対応が日常とは異なってしまい、脳に混乱と疲労を与える恐れがある。そこで図3に示すように、スクリーンの位置に対する両目の位置と間隔を被験者ごとに測定して、立体画像を作成するコンピュータプログラム上で測定した数値を反映させることにした。その結果、現実の空間にある物体と同様の両眼視差を有する立体画像を被験者に提示することができるようになった。

検査訓練課題

検査訓練で用いる立体画像の候補として、立方体の立体画像について検討してみた。左右の眼に視差のない同じ画像を提示する場

合と、両眼視差を有する画像を提示する場合とについて、ランダムに複数回提示し、提示した画像が立体的に見えるかどうかを問う課題を数名の健常者に試してみた。その結果、視差のない画像に対しても立体的に見えるという回答する例が少なからずあった。これは、提示した立体画像には、立体視の知覚の手掛かりとして、稜線の情報から絵画遠近法的に判断できる情報があつたためと考えられる。よって、立方体の立体画像を用いたこの検査訓練課題は適切ではないことが分つた。



図4 訓練検査課題

次に、図4に示す二枚の厚みのない正方形の板に両眼視差をつけた立体画像について検討した。二枚の正方形の板を左右に並べて、スクリーンに対して奥行き方向に前後対称の位置に提示する。手前の位置に配置する正方形の板を左右ランダムに入れ替えて複数回提示し、左右のどちらが手前に見えるか正しく判断できるかを問う課題を考えたと。ここで、現実にある一定の大きさの物体は、眼の近くにあるときは大きく見え、逆に遠くにあるとき小さく見える。そのため、被験者が正方形の板の大きさだけでどちらが手前に見えるかを判断してしまうと、正しく立体視できているのか評価できなくなる。そこで、左右の正方形の板が奥行き方向の位置に関係なくスクリーン上では同じ大きさに見えるように、仮想立体空間上の板の大きさを変化させるようにした。数名の健常者に対して、この課題を試行した結果、全員が手前に見える立体画像を正しく判断することができた。このことから、両眼視差を融像して立体空間の奥行きを正常に知覚することで、左右のどちらが手前に見えるか判断できる課題になっていると考えられる。

以上の結果から開発する検査訓練システムでは、仮想立体空間上において、二枚の正方形の板のどちらが手前に見えるか正しく判断できるかを問う課題を採用することにした。

(2) 立体視知覚機能検査システム

検査システムの適応範囲

立体視知覚検査システムでは、脳卒中の後遺症によって、両眼視差を融像して立体空間の奥行きを知覚する脳機能に障害が生じていないかを検査することを目的としている。しかし、斜視の症状がある患者に対して、提

案する検査システムを用いて検査を行った際に、立体視の知覚に異常があることが分ってもその原因が脳機能に障害があるためかどうかを判断することはできない。また、斜視でなくとも両目の視力差が大きい場合は、利き目の映像だけを脳が選択的に処理して周囲の情報を単眼視で知覚するようになっていることがあるので、その場合も同様に、立体視の知覚に異常があることが分かっても、その原因が脳機能に障害があるためかどうかを判断することはできない。よって、本検査システムを適用して、脳卒中の後遺症によって立体視に関する脳機能に障害が生じていないか検討する際は、斜視の症状がある患者や両目の視力差が大きい患者を除外する必要がある。そこで眼位異常の診断がある患者や、両目の視力に0.5以上の差がある患者は検査の対象から除外することにした。ただし、どの程度の症状の患者を除外するべきかについては、今後さらに検討する必要がある。

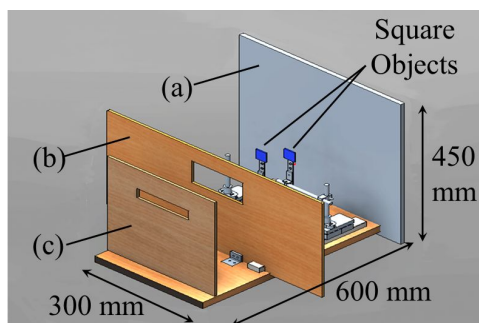


図5 予備検査装置

また、脳卒中の後遺症によっては、視野の中にある対象物を注視することができない症状を持つ患者がいることが分かった。そのような脳卒中患者の場合は、提示された二枚の正方形の板のどちらが手前に見えるかを問われても、視覚の対象物を認識できない可能性が考えられる。そこで、被験者が課題の問いを理解できていることを確認するために、現実の物体を用いて予備検査を実施することを考えた。検査課題の内容に対応した予備検査を行う装置として、図5に示すものを作成した。被験者の正面に、二本の支柱を左右横に並べて設置している。平行に置かれたリニアガイドに沿って、二本の支柱は、被験者に対して前後方向にそれぞれ独立に設置位置を変更できるようにしている。そして、視覚対象物として、正方形の板をそれぞれの支柱に取り付ける。支柱の位置に応じて、二枚の正方形の板のどちらが手前に見えるかを問う課題を被験者に課することができる。正方形の板の大きさは、一辺50mm、厚さ1mm(大)と一辺30mm、厚さ1mm(小)の二種類を用いることにした。予備検査を行う際には、大きさをランダムに取り換えて、見た目の大きさだけで奥行き方向の位置を判断することがないように工夫することにした。

視覚対象物以外の周囲の環境が見えないように、被験者から見て、支柱の後方に壁板(c)を設けている。また、支柱の前方には、視覚対象物だけが見えるように窓を開けた壁板(b)を設けている。さらに、被験者の目の前に、のぞき窓を開けた壁板(a)を設けている。のぞき窓から視覚対象物を見たときの画像を図6に示す。予備検査では、二枚の正方形の板のどちらが手前に見えるかを問うが、スクリーンに提示する仮想立体空間上の画像とは異なり、現実の物体の場合は、奥行き差を知覚する手掛かりが散在する。このような手掛かりが、わずかなものであっても、人間は奥行き差を知覚できてしまうことがある。ただし、予備検査の目的は、被験者が提示された二枚の正方形の板を認識し、課題の問いを理解できているかを確認することにあるので、両眼視差を融像して立体空間の奥行きを脳で知覚しているかどうかを、予備検査の段階で判断できなくても良い。

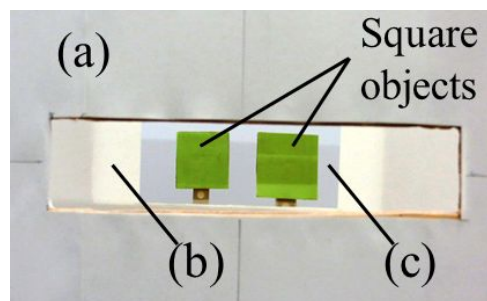


図6 のぞき窓からの視覚対象物

検査の内容

鹿児島大学病院霧島リハビリテーションセンターにおいて、7名の患者の協力を得て、提案する検査システムを用いて検査を行った。被験者の症状と視力は表1のとおりである。ただし、H、Iは健常者であり、比較のために協力を得て検査を行った。

表1 検査対象者

Subject	Age	Eyesight	Symptoms
A	58	0.5, 1.5	Cerebral hemorrhage, Right hemiplegia
B	75	0.5, 0.4	Cerebral infarction, Right hemiplegia
C	74	0.7, 0.5	Cerebral infarction, Right hemiplegia
D	54	0.6, 0.9	Cerebral infarction, Right hemiplegia
E	60	0.3, 0.3	Cerebral infarction, Left lower quadrantopia, Left hemispatial neglect
F	65	1.2, 0.8	Cerebral infarction, Right hemiplegia, aphasia
G	72	0.5, 0.5	Cerebral infarction, Right hemiplegia, aphasia
H	45	1.0, 1.0	Normal
I	23	1.5, 1.5	Normal

検査の手順は以下の通りにした。まず、医師の所見をもとに被験者には、斜視の症状な

ど、眼位に異常がないことを確認した。そしてさらに、両目の視力差を確認した。本検査では、両目の視力差が 0.5 以上ある被験者は、正常に両眼視できない可能性があるため、立体視知覚異常の検査対象から除外した。

次に、予備検査装置を用いて検査を行い、被験者が提示された左右二枚の正方形の板を認識し、どちらが手前に見えるかを問う課題を理解できることを確認した。この予備検査の正答率が 100 % でない被験者は、視覚対象物を正常に注視できないか、あるいは課題を理解できていない可能性があるため、立体視知覚異常の検査対象から除外した。

以上の確認と予備検査を行った後に、提案する立体画像提示装置を用いた検査を行った。立体画像提示装置を用いた検査では、被験者に大きさが等しく見える二枚の正方形の板（スクリーン上では一辺 100 mm）の立体画像を左右に並べて提示した（図 4）。被験者は、左右を見比べて、手前に見える方を回答することにした。この課題を、手前の位置に配置する正方形の板を左右ランダムに換えて 30 回繰り返した。そして、正しく判断することができた回数を集計することで、その正答率を調べた。課題において、視差の大きさによる立体視の知覚への影響を調べるため、二枚の正方形の板を配置する奥行き方向の距離の差を、大きい場合から小さい場合の三種類を用いた。奥行き方向の距離の差が大きいほど、二枚の正方形の板における視差の差は大きくなる。視差の差が大きい場合として、仮想立体空間上で二枚の正方形の板をスクリーンに対して前後対象に± 200 mm の位置に、視差の差が中程度の場合として、± 100 mm の位置に、視差の差が小さい場合として、± 50 mm の位置に配置した。それぞれの場合、10 回の課題として 30 回の中でランダムに変更した。

表 2 検査結果 (%)

Subject	Pre. Test	Depth of the stereo images		
		±200mm	±100mm	±50mm
A	100	90	100	70
B	75	40	20	70
C	100	100	100	100
D	100	100	100	100
E	100	100	100	100
F	100	70	50	60
G	100	40	50	40
H	100	100	100	100
I	100	100	100	100

検査結果

前述の検査手順に従って、7 名の被験者に対して検査を実施した。検査結果を表 2 に示す。

被験者 A は、両目の視力差が 0.5 以上あるため、正常に両眼視できない可能性がある。確認のため、予備検査を実施したところ検査課題に対して 100 % の正答率で正しく回答できているが、立体画像を用いた検査では、

課題の正答率がやや低い結果となった。したがって、正常に立体視知覚ができていない可能性があるが、両眼視差を融像して立体空間の奥行きを知覚する脳機能に、障害が生じているかどうかを判断することができない。なお、視差の差が小さい場合が最も正答率が悪いので、近くにある二つの物体に対してどちらが手前にあるか知覚することが難しい状態であると推測される。

被験者 B は、両目の視力差は大きくないが、予備検査を実施したところ正答率は 75 % であった。この被験者は、脳卒中の後遺症で、視覚対象物を正常に注視できないか、あるいは課題を理解できていない可能性がある。確認のため、立体画像を用いた検査を実施したところ、課題の正答率がかなり低い結果となった。この結果から、正常に立体視知覚ができていない可能性があるが、両眼視差を融像して立体空間の奥行きを知覚する脳機能に、障害が生じているかどうかを判断することはできない。

被験者 C ~ E は、両目の視力差は大きくない。また、予備検査の正答率は 100 % であった。そこで、立体画像を用いた検査を実施した結果、全ての課題を正しく回答することができた。これらの被験者は、片麻痺など脳卒中による特徴的な後遺症があらわれているが、本検査システムによる検査では、立体空間の奥行きを知覚する脳機能に障害は生じていないと判断することができる。特に、被験者 E の場合は四分盲と半側空間無視の症状があるにもかかわらず、視覚した対象物については、両眼視差を融像して立体空間の奥行きを知覚できている。

被験者 F、G も両目の視力差は大きくない。また、予備検査の正答率は 100 % であった。しかし、立体画像を用いた検査を実施したところ、課題の正答率は低い結果となった。予備検査の結果から、課題を理解できていると考えられるが、スクリーンに提示された大きさが同じに見える二枚の正方形の板について、どちらが手前に見えるかを正しく回答できていない。したがって、本検査システムによる検査では、これらの被験者は両眼視差を融像して立体空間の奥行きを知覚する脳機能に、障害が生じている可能性があるとして判断することができた。なお、被験者 F は視差の差が大きい場合が比較的正答率が良いので、近くにある二つの物体よりも、前後に大きく離れた位置にある二つの物体の方が、どちらが手前にあるか知覚することが易しい傾向にあると推測される。

被験者 H、I は健常者である。比較のため、本検査システムによる検査の結果を確認したところ、全ての課題について正答率は 100 % であった。したがって、正常に立体視知覚ができていない被験者の場合は、本検査システムで検査を実施すると、全ての課題について正答率が 100 % になると考えられる。

(3) 立体視知覚機能訓練システム

訓練内容

開発した検査システムを用いて同じ被験者に対して検査の回数を重ねると、検査の正答率が上がる場合があった。そこで、開発した検査システムを工夫することによって訓練の実現可能性があることを考えた。訓練での立体画像を提示する装置は検査システムの装置をそのまま使用して、プログラムを変更して効果的な訓練方法を検討した。訓練システムにおける訓練課題は、検査システムの検査課題と同様に、奥行き方向の位置が異なる二枚の正方形の画像を提示して、被験者に左右のどちらが手前に見えるかを回答させることにした。そして被験者が回答した直後に、立体視知覚機能の訓練効果を期待して、提示されている二枚の正方形の画像はどちらが手前にあるかの正解を示すことにした。これを10回繰り返して1回の訓練とした。

表3 訓練対象者

Subject	Age	Eyesight	Symptoms
TA	43	1.5, 1.5	Cerebral hemorrhage, Left hemiplegia
TB	49	1.5, 1.5	Cerebral hemorrhage, Right hemiplegia
TC	37	1.0, 0.7	Cerebral hemorrhage, Right hemiplegia
TD	61	0.8, 0.7	Cerebral hemorrhage, Left lower quadrantanopia

訓練結果

鹿児島大学病院霧島リハビリテーションセンターにおいて、4名の脳卒中患者の協力を得て訓練を試験的に行った。被験者の視力と症状は表3に示すとおりである。特に、被験者TDは視野が1/4に狭まっている症状があった。訓練の前後に検査システムを用いて被験者の立体視知覚を検査することで、訓練効果を評価した。訓練の結果を表4に示す。この結果により、被験者TA～TCは訓練前に比べて訓練後に検査の正答率が上がっていることが分かる。また訓練中の課題の正答率が概ね上がっていく様子が分かる。ただし、被験者TDについては、訓練中の課題の正答率が上がっているが、訓練後の検査の正答率が下がっている。視野狭窄の症状に関係している可能性が考えられるが、今後より多くの試験データを収集して精査していく必要がある。以上の結果から、提案する訓練システムの実施可能性を確認することができた。

表4 訓練結果(%)

Subject	Pre.	Before	Train.1	Train.2	Train.3	After
TA	100	60	40	80	60	80
TB	100	30	70	90	100	90
TC	100	80	80	100	100	100
TD	100	70	70	90	80	50

(4) 新しいリハビリテーション治療への展開 本研究では、脳卒中の後遺症で立体視知覚

機能に障害が生じていないかを検査するシステムの開発を試みた。さらに開発した検査システムを応用して、立体視知覚の訓練可能性を検討した。本研究で取り組んだ結果により、提案する検査訓練システムの実施可能性を確認することができた。よって、今後は脳卒中患者の対象に多くの試験データを収集し、新しいリハビリテーション治療への展開に繋げる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計4件)

ゲン・クアン・ティン、林良太、緒方敦子、余永、下堂蘭恵、川平和美、立体視知覚機能検査訓練システムの試作、第14回システムインテグレーション部門講演会、2013年12月20日、神戸
ゲン・クアン・ティン、林良太、緒方敦子、余永、下堂蘭恵、川平和美、立体視知覚異常検査システムを用いた臨床試験、第13回システムインテグレーション部門講演会、2012年12月20日、福岡
安倍雅之、林良太、川平和美、緒方敦子、余永、下堂蘭恵、大浜倫太郎、奥行き稜線を持たない立体画像を用いた立体視知覚異常検査システムの開発、第12回システムインテグレーション部門講演会、2011年12月25日、京都
安倍雅之、林良太、余永、川平和美、下堂蘭恵、緒方敦子、立体視知覚異常検査システムに関する研究、ロボティクス・メカトロニクス講演会2011、2011年5月28日、岡山

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 良太 (HAYASHI, Ryota)
鹿児島大学・理工学研究科・准教授
研究者番号：40288949

(2) 研究分担者

川平 和美 (KAWAHIRA, Kazumi)
鹿児島大学・歯学総合研究科・研究員
研究者番号：20117493

下堂 蘭 恵 (SHIMODOZONO, Megumi)
鹿児島大学・歯学総合研究科・准教授
研究者番号：30325782

余 永 (YU, Yong)
鹿児島大学・理工学研究科・准教授
研究者番号：20284903

緒方 敦子 (OGATA, Atsuko)
鹿児島大学・医学部・歯学部附属病院・助教
研究者番号：40305123