

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：33902
 研究種目：基盤研究(B)（一般）
 研究期間：2019～2021
 課題番号：19H01598
 研究課題名（和文）双方向性意思伝達支援アプリを応用した革新的コミュニケーション支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of an innovative communication support system using a communication support app

研究代表者
 辰巳 寛（Tatsumi, Hiroshi）
 愛知学院大学・心身科学部・教授

研究者番号：70514058
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、言語支援アプリケーション（i-SAT）と人工知能による失語症診断用機械学習プログラムを開発し、機能的MRIを用いてi-SATの臨床の有用性を検証した。
 言語支援アプリケーションは、iPad Pro上で起動し、臨床現場で活用できる十分な質と量のコンテンツを装填させた。失語症診断用機械学習プログラムは、失語症者の発話分析に対して言語聴覚士らによる聴覚的印象評価と発話時の顔特徴等の画像データを用いた機械学習モデルを構築した。機能的脳画像研究より、i-SATは言語・注意神経ネットワークの機能的結合を強化し、脳機能全体を賦活化させ発話機能と認知機能全般の行動変容に寄与する可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義
 本邦の高齢化社会と医療高度化に伴い脳卒中後の言語障害者は増加する一方、生活維持期においては十分な量と質が保証された言語治療の機会は限定的である。
 本研究により、慢性期失語症者においても、ICTを活用した短期集中的な言語治療は言語機能の改善に大きく寄与することを確認した。また、今回開発した言語支援アプリケーションにより、コミュニケーション障害者に対する在宅医療のリハ環境は劇的に進展することが予想され、高い水準の安心と安全が保証された良質なケア環境の構築により、コミュニケーション障害者のQOL向上や家族介護者の介護負担感の軽減、精神的健康の維持につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed (1) a language support application (i-SAT) and an AI-based aphasia diagnosis machine learning program, and (2) verified the clinical utility of i-SAT using functional MRI.
 The language support application runs on iPad Pro (Apple) and is equipped with sufficient quality and quantity of content that can be utilized in general clinical settings. The aphasia diagnosis machine learning program constructs a machine learning model using auditory impression evaluations by speech-language pathologists and image data of face features during speech for the analysis of speech by aphasia patients. Functional brain imaging studies suggest that i-SAT enhances the functional connectivity of the language and attention neural networks, activates the entire brain, and contributes to behavioral changes in speech function and overall cognitive function.

研究分野：言語聴覚障害学

キーワード：失語症 言語支援アプリケーション 機械学習 機能的MRI

1. 研究開始当初の背景

本邦の脳卒中発症者は年間約 117 万人(平成 26 年厚生労働省)で、死因の第 3 位を占めている。本邦の高齢化社会と医療高度化に伴い脳卒中後の言語障害者は増加傾向にあり、脳卒中を発症した患者の多くが言語障害を発症する。

言語障害の中の 1 つである失語症では、「聴く」「話す」「読む」「書く」「計算する」といった言語機能のいずれか、またはすべてに障害を受け、深刻なコミュニケーション障害と生活の質の低下を引き起こす要因となっている。一方で、言語治療は専門療法士の人員不足やリハビリテーションの時間的制約等のため、特に生活維持期からの言語治療の十分な機会は限定的である。

しかし、短期集中的な言語治療は言語機能の大幅に改善させ、発症時間が経過している慢性期においても ICT を用いた言語治療アプリケーションによる継続的な治療介入は言語機能の改善に良い影響を及ぼすと指摘されている。適切な方法による継続的な言語治療は言語機能改善に大きく寄与すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、①人工知能による失語症診断用機械学習プログラムを開発し、②言語障害を呈した慢性期脳卒中患者に言語支援アプリケーションを使用した自主言語訓練を集中的に行い、言語障害に対する臨床効果を検討すると同時に、機能的磁気共鳴画像(functional MRI)を用いて言語関連脳内ネットワークの変化を生ずるかを解明することである。

現在の言語治療の問題点を克服するための新たな言語治療機器の開発に繋げると同時に言語支援アプリケーションの臨床的有用性と社会実装の可能性について検証する。

3. 研究の方法

【研究 1】

<失語症診断用機械学習プログラムの開発>

失語症患者の発話状況に対して言語聴覚士による 3 段階評価を自動化するための機械学習プログラムを作成した。

データは患者の発話音声のデータおよび顔特徴のデータ、また手本となる発話音声のデータがそれぞれ約 650 個存在し、×の評価が少ない不均衡データとなっている。音声データの前処理として、各音声に対して振幅を 0~1 に正規化し、また患者の発話以外にも雑音などの音も入っていたので有声区間の抽出を OpenSmile と呼ばれるライブラリを用いて行った。顔特徴のデータは 42 個の特徴量が時系列データとして存在する。そのため、顔特徴に関しては RNN（再帰型ニューラルネットワーク）を用いた場合と CNN を用いた場合で結果（適合率と再現率の調和平均である F 値）の高い方を採用した。OpenSmile を用いて特徴量を抽出し、代表的な統計的機械学習の手法であるランダムフォレストを用いて分類を行った。結果、患者の音声データに対する特徴量を用いた場合は正解率・F 値ともに 63%となり、さらにお手本の音声データに対する特徴量を用いた場合は正解率・F 値ともに 56%と下がる結果となった。

次にメルスペクトログラムを用いた機械学習モデルを構築した。機械学習には対照学習という手法を採り入れた。データ拡張としてホワイトノイズの付加、タイムシフト、タイムストレッチ、ピッチシフトを用いた。メルスペクトログラムを用いた方法では、評価データに対する正解率はあまり上昇しなかった。次に、顔特徴量を用いて、単純な RNN モデルおよび CNN モデルを使用して同様に 2 値分類のモデルを構築し、学習を行った。また、各手法を組み合わせた場合の精度を比較

した。

まとめとして、発話音声のデータのメルスペクトログラム画像や既存の OpenSmile による音響特徴量は発話評価に有効であるとは言いがたい。また、対照学習によって精度は向上したが、より精密な評価のためには、より大規模なデータセットが必要であると考えられる。F 値が 70% を超えるようになれば、アプリケーションとして利用することも可能になると考えられた。

【研究 2】

<脳卒中後失語症者に対する言語支援アプリケーションを用いた短期集中型言語治療の臨床的効果検証>

言語支援アプリケーションは、iPad Pro (Apple) で起動し、画面には発話のモデル口型動画(発話速度調整可)と絵カード、文字刺激(漢字・仮名表記)が同時に複数回反復提示され、使用者の発話状況も同時録画する機能を有する。刺激コンテンツは、①ことば体操(30 種程)、②日常頻用語句(約 200 語)、③単語(名詞 1200 語/動詞 300 語)、④短文(700 文以上)から構成されている。

アプリケーションには自動記録機能が備え付けられており、患者が実施した自主言語訓練の回数を記録することが可能となっている。また、プリセットされていない語句に関しては、使用者自身が任意の語句を作成する機能が装填されている。

対象は慢性期運動性失語症者 2 名(50 代男性、60 代女性、共に左被殻出血、発症 2 年以上経過)である。方法は、言語支援アプリケーションを使用した集中した自主言語訓練(患者は 1 日 20 単語×8 月セット×8 週間)を毎日施行するように指導を行った。アプリ使用期間は治療前評価後から 8 週間とした。リハビリ介入後評価は 8 週間後に設定し、リハビリ介入前後で評価(言語機能評価、高次脳機能評価、画像評価、その他評価)を実施した。

<機能的磁気共鳴画像(functional-MRI)の評価>

安静時 functional MRI は安静時の神経結合ネットワークの相違を検索する手法で、言語関連領域の安静時脳活動を f-MRI にて収集・解析した。言語関連神経ネットワーク、注意関連神経ネットワークに関連する脳領域の信号変化を時系列で抽出し、本課題に関連する脳内ネットワークを解析した。関心領域はブロードマンの脳地図を使用して作成した。相関係数(二変量)は、各 ROI の BOLD 時系列信号と他のすべての ROI の時系列信号の間で計算し、解析後の Z 値を相関係数に変換するため、本研究では rsfMRI を撮像した全症例(n=2)より言語・注意に関連する関心領域間の Z 値に対し、Fisher-z 変換を実施し相関係数に変換した。安静時機能的 MRI 取得中の頭の動きは、ボリュームベースのフレームごとの変位を評価した。

結果は、言語機能評価の SLTA-ST では、リハビリ介入後両者共に低頻度語想起の改善を認めた。SLTA の全検査得点は症例 1 では若干の数値の低下を認めた。症例 2 では数値の改善を認めた。

機能的磁気共鳴画像評価の結果は、言語関連神経ネットワークと注意関連神経ネットワークに関連する脳領域に関心領域を設定し解析を行い、リハビリ介入前後で機能的結合の変化を確認するため、相関係数の数値上昇が高かった上位 10 の関心領域間を示す。また、言語神経ネットワークの一部である左島・左上側頭回、注意関連神経ネットワークの一部に含まれる右上前頭回を関心領域に設定し、Seed to Voxel の結果を図示した。

症例 1 はリハビリ介入後、言語関連神経ネットワークでは、左島と左上側頭回前部、左下前頭回(三角部)+左中心前回・左補足運動野・左下前頭回(Language network)、左弁蓋部+左上側頭回(Language network)、左中心前回+左下前頭回(Language network)左上側頭回+左縁上回(前部・後部)、左上側頭回後部+左中心前回・左上側頭回前部、左補足運動野+左上側頭回(Language network)の機能的結合強化を認めた。左右半球の結合では、左中心前回+右縁上回、左補足運動野+

縁上回の機能的結合強化を認めた。注意関連神経ネットワークでは背側注意ネットワークに関わる右上前頭回+右島・右縁上回・前帯状回, 内側前頭前野+左上頭頂小葉の機能的結合強化を認めた。症例2は, 言語関連神経ネットワークでは, 左島+左上側頭回前部, 左上側頭回(後部)+左補足運動野の機能的結合強化を認めた。左右半球の結合では, 左島+右下前頭回(三角部)・右上側頭回(前部)・右下前頭回(Language network), 左下前頭回(弁蓋部)+右島, 左中心前回+右島・右上側頭回(前部), 左上側頭回(前部)+右島, 左上側頭回(後部)+右上側頭回(後部)の機能的強化を認めた。しかし, リハビリ介入後, 左半球の言語関連神経ネットワークに関わる一部関心領域で負の相関を認めた。注意関連神経ネットワークにおいては, 背側注意ネットワークに関わる右上前頭回+右島, 内側前頭前野+左上前頭回, 前帯状回+左上前頭回の機能的結合強化を認めた。

4. 研究成果

<言語機能評価と画像評価との関連について>

症例1は, 言語機能検査において言語機能の改善(特に呼称)が認められ, rs-fMRI においてもリハビリ後に, 特に左島+左上側頭回前部, 左下前頭回(三角部)+左中心前回・左補足運動野, 左中心前回+左下前頭回(Language network), 左上側頭回+左縁上回(前部・後部), 左上側頭回後部+左中心前回・左上側頭回前部, 左補足運動野+左上側頭回(Language network)の機能的結合強化が認められた。この結果は, 先に示した言語二重経路モデルの背側・腹側経路とされている領域と一致しており, 言語神経ネットワークの再編成もしくは活性化に繋がった可能性が示唆された。

症例2では, 同様に言語機能の改善(特に呼称)が認められたが, rs-fMRI の結果においては, 左島+左下前頭回(三角部)・左上側頭回(前部), 左下前頭回(弁蓋部)+右島, 左中心前回+右島・右上側頭回(前部), 左上側頭回(前部)+右島, 左上側頭回(後部)+右上側頭回(後部)の機能的結合強化が認められ, 左半球のみならず, 左右半球間での機能的結合強化が目立つ結果となった。

症例2に関しては, 右半球の言語機能想定部位との機能的結合強化により言語機能の改善に影響を及ぼした可能性がある。しかし, Saur らの fMRI を使用した言語機能の縦断的研究では, 急性期に聴理解を活性化させるタスクを行っても病変周囲の活性化を誘発できないが, 亜急性期には下前頭回および隣接した島の活性化と同時に劣位半球も活性化し, 慢性期には左半球の下前頭回皮質の領域が活性化したと報告している。以上を考慮すると, 慢性期である症例2の言語機能の改善は, 右半球の機能代償ではなく, 左半球の別部位の機能的結合強化が影響している可能性を考えなければならない。

まとめとして, 言語治療支援アプリケーションを使用したリハビリ介入は, 左右半球ともに言語機能に関連した部位の機能的結合強化や総体的な脳の賦活を引き起こし, 言語神経ネットワークの再編成に寄与する可能性が考えられた。

<注意機能の変化とアプリケーションについて>

Corbetta と Shulman は, 注意機能に概念について「背側注意ネットワーク」と「腹側注意ネットワーク」の2つの機能について報告している。背側注意ネットワーク(DAN)は, 両側頭頂間溝と前頭眼野(FEF)で構成され, 注意方向のトップダウン処理に関与し, 腹側注意ネットワーク(VAN)は・右側頭・頭頂接合部(TPJ)と腹側前頭皮質(VFC)で構成され, 注意の再配向のボトムアップ処理に関与していると報告している。2症例ともにリハビリ介入後, 右上前頭回+右島, 内側前頭前野+左上前頭回, 前帯状回+左上前頭回, 右上前頭回+右島・右縁上回・前帯状回, 内側前頭前野+左上頭頂小葉など DAN のコア領域で機能的結合強化を認めた。また, 注意機能の検査である TMT-J の顕著な改善も認めており, 注意ネットワークの強化が検査結果に相関している可能性

が示唆された。三村らは、語想起を含めた言語機能全般の成績が不良な症例では、右半球内の Broca 野の対側領域には賦活はみられず、前頭前野の前方（9・10・46 野）に健常者より顕著な賦活を認め、健常者ではみられない前頭前野の賦活が見られたと報告している。

今回の 2 症例は言語機能関連脳領域の機能的結合の上昇と右側の前頭前野領域（特に背側経路）で賦活を認めており、三村らの報告と一致する。言語治療支援アプリケーションを毎日決まった時間集中的に行うことにより、DAN の機能の向上が高まると考えられる。また、言語治療支援アプリケーション内には様々な刺激があるため、それに対し注意を選択的に向けて行わなければならない、言語機能の訓練を行いながら、自ずと注意機能を活性化させる相乗効果を誘発する形となり、言語治療支援アプリケーションが言語のみならず注意機能の改善につながると推測した。

まとめると、言語治療支援アプリケーション使用後には、注意機能関連脳領域の機能的結合が上昇し、TMT-J の成績の改善が得られる可能性が考えられる。

さらに Brownsett らは、慢性期失語症患者の認知制御が失語症回復の可能性に寄与する重要な要因であるという報告しており、認知制御において重要なシステムの 1 つは、上前頭回（正中前頭皮質）の背側前帯状皮質と隣接皮質を含む顕著性ネットワークと考えられており、これがコミュニケーションに有意に関連があるとしている。両症例ともに言語機能の改善とコミュニケーション能力の改善が認められていたことから、アプリケーションは総体的な認知制御機能の改善を誘発し、それに伴い言語機能の改善に影響を及ぼした可能性が考えられた。

<ICT 機器を用いた介入と言語機能の変化について>

ICT 機器を使用した言語訓練で Fridriksson らは、ブローカ失語症者に ICT 機器を使用した言語訓練を実施したところ、発話が非流暢から流暢へ変化し、多様な単語の生成が可能となり言語表出が 2 倍になったと報告している。Sour らは、慢性期の集中的言語訓練は言語ネットワーク活性化の再発を引き起こす可能性があることを指摘している。また、Code らの報告では脳卒中後 3 年以上経過している慢性期失語症患者に対し集中的言語訓練を行い、治療後に全体的な言語機能の改善を認め、呼称や読み書きにおいて改善を認めるなど、集中的言語訓練が効果的であると報告している。さらに Marcus M らは、慢性期失語症患者に対し短期間集中的言語訓練を実施し、呼称機能に関して言語治療介入の前後に機能的 MRI で評価し、言語機能の再構築が可能であることを示唆した。

以上の先行研究をまとめると、短期集中言語訓練は患者の言語機能の改善に効果的であると考えられ、今回開発した言語治療支援アプリケーションを使用した集中訓練でも同様の結果が得られており、言語治療支援アプリケーションの高い臨床有用性が示唆され、今後 ICT を活用した新しい言語治療システムの社会実装に向けて大きく前進する結果となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yuta Katsuno, Yoshino Ueki, Keiichi Ito, Satona Murakami, Kiminori Aoyama, Naoya Oishi, Hirohito Kan, Nuriyuki Matsukawam Katashi Nagao, Hiroshi Tatsumi	4. 巻 22
2. 論文標題 Effects of a new speech support application on intensive speech therapy and changes in functional brain connectivity in patients with post-stroke aphasia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 654-668
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2022.870733	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 勝野由大、辰巳寛、他
2. 発表標題 言語治療支援アプリケーションを用いた次代言語治療の試み
3. 学会等名 第44回日本高次脳機能障害学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 辰巳寛	4. 発行年 2020年
2. 出版社 メディカ出版	5. 総ページ数 4
3. 書名 高次脳機能障害ビジュアル大事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	山本 正彦 (Yamamoto Masahiko) (40378039)	愛知学院大学・心身科学部・教授 (33902)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	長尾 確 (Nagao Katasi) (70343209)	名古屋大学・情報学研究科・教授 (13901)	
研究分担者	木村 航 (Kimura Wataru) (70782035)	京都先端科学大学・健康医療学部・准教授 (34303)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関