

令和 3 年 5 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10673

研究課題名（和文）科学的根拠のある利き手・非利き手別リハビリテーションプログラムの構築

研究課題名（英文）Hand Rehabilitation Based on Handedness and Evidence

研究代表者

砂川 融（Sunagawa, Toru）

広島大学・医系科学研究科（保）・教授

研究者番号：40335675

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：指駆血による感覚障害は、駆血の継続により継続的に悪化したが、tDCSを行うことで減弱した。VRを使用した動画観察は義手の操作訓練に有効なことが示された。母指のぶん回し運動を運動シナジー解析したところ、正常人と比べ手根管症候群患者では、CM関節運動の減少とMP関節の代償動作が抽出され、CM関節症患者ではシナジーに有意差はないが、運動範囲が全方向で減少していることが判明した。リーチ動作課題を運動シナジー解析したところ、手指・手関節運動パターンには左右差はなかったが、肩と肘が関与するパターンでは左右差を認め、シナジー解析から抽出した訓練を行うと手指のパフォーマンスが有意に向上することが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

母指を中心とした運動シナジー解析により、手指の運動パターンの特徴を明らかとし、シナジー解析に基づく訓練が手の機能向上に有効である可能性を示した。また、脳の電気刺激という新たな手法が手指障害の治療に応用可能性があることを示した。VRを用いた上肢リハビリテーションが有効である可能性も示した。以上の結果は従来あるいは新たなリハビリテーション法に科学的根拠を与え、リハビリテーションの新たな方向を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：The sensory disturbance caused by finger ischemia was aggravated over time, but was alleviated by tDCS. It was shown that video observation using VR was effective for artificial hand operation training.

A motor synergy analysis of the thumb rotation movement revealed a decrease in CM joint movement and compensatory movement of MP joints in patients with carpal tunnel syndrome compared to normal subjects, and there was no significant difference in synergy in patients with CM arthropathy. However, it was found that the range of motion decreased in all directions. When the reach movement task was analyzed using motion synergy, there was no difference between the left and right hand motion patterns, but there was a difference between the left and right for the pattern involving the shoulder and elbow. It was found that the training extracted from the synergy analysis significantly improved the hand performance.

研究分野：上肢リハビリテーション

キーワード：リハビリテーション 利き手 脳科学 運動学 BMI

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運動学的・運動力学的解析手法や脳科学的解析手法、脳への非侵襲的介入方法、運動イメージの基礎的研究と臨床応用にはめざましい進歩があるが、これを中枢神経疾患が原因でない上肢のリハビリテーションに応用した報告は限られている。またリハビリテーション分野でその手技の科学的根拠は欠落しており、特に利き手・非利き手に着目した方法はない。

2. 研究の目的

人間が人間であるための重要な器官である手の運動と感覚機能に着目し、手の運動学的・運動力学的解析(三次元動作解析と筋電学的解析)と脳科学的アプローチ(運動イメージの応用と経頭蓋直流電気刺激、脳機能マッピング)を行い、科学的根拠のある利き手・非利き手を区別した有効な障害上肢リハビリテーションプログラムを構築し、それを用いて対象者の早期社会復帰あるいは早期自立生活獲得を目指し、急速に進行する高齢化社会の我が国において、限られた医療資源ならびに人的資源の有効活用を行なうのが目的である。

3. 研究の方法：対象は必要に応じて健常成人または患者群とした。

(1)評価方法

三次元動作解析：手の運動パフォーマンス変化を詳細、定量的に評価するため、上肢用三次元動作解析装置使用。獲得したデータを運動学的にシナジー解析した。

筋電図学的解析：動作課題中の前腕・手内在筋筋活動を継時的、定量的に評価。また獲得したデータを筋電図学的にシナジー解析した。

視線解析：動作映像観察中の視線解析を行い注視点の特徴を定量的に評価。

手指感覚定量評価：Pain Visionを使用し、触覚閾値(CPT)を定量評価。

脳活動計測：fNIRSを使用し、酸素化ヘモグロビン濃度変化から局所脳活動の変化を記録。

(2)研究課題：

母指対立動作解析：日常生活活動で中心的役割を果たす母指対立運動を運動学的、筋電図学的に解析した。対象は健常成人と疾患群(手根管症候群、母指CM関節症)とした。

運動映像提示：へら玉試技映像、手内での球回し運動映像、義手操作映像。

二次元または三次元映像を作成し、これに速度変化(高速、中速、低速)をつける。一人称イメージで動画提示し、適切な提示方法を視線解析とパフォーマンスへの影響(施行可能回数とVAS)を脳科学的(NIRS)、運動学的(動作解析)に検討した。

経頭蓋直流電気刺激(tDCS)：

手指感覚に対し tDCS が与える影響を調査するため、片側大脳運動野または体性感覚野領域に電極を貼付し、刺激前後で Pain Vision を使用し手指の定量的触覚閾値(CPT)を計測した。刺激部位、刺激電流方向の違いで CPT に及ぼす影響の差異について評価した。また、指阻血により感覚障害を作成し、tDCS の影響について調査した。

4. 研究成果

(1)tDCS関連：

健常成人を対象にM1あるいはS1にanodalあるいはcathodal tDCS刺激を加え、示指の感覚を刺激前後でPainVisionを使用し定量的に評価したところ、いずれの刺激でもCPTは上昇したが、anodal S1刺激で顕著であった。

示指に駆血を行い感覚障害を作成し、M1に対するanodal tDCSがどのような影響を与えるかを定量的に評価したところ、駆血の継続により感覚障害が継時的に悪化した。tDCSを

行うことで感覚障害は減弱し対照群（駆血を行っていない同側小指と対側示指）と同程度となった。

(2)動作解析関連：

手根管症候群患者の母指運動障害を定量的に評価するために母指のぶん回し運動を課題に3次元動作解析を行なったところ、正常群では母指指尖部で大きな円運動が可能であったが、患者群では伸展および外転方向の可動範囲が減少し、円運動は小さくなり運動の軌跡もいびつな形となった。また、運動シナジー解析を行ったところ、正常人と比較し手根管症候群患者では、CM関節の伸展、外転方向の運動の減少とMP関節の代償動作が抽出され、CM関節症患者ではシナジーに有意な差はないが、運動範囲が全方向で減少していることが判明した。

母指の対立運動評価法であるカパンジーテストを正常人を対象に運動解析すると、母指CM関節運動の評価、筋機能評価には6/10点までで十分であり、7点以上はMP関節、IP関節の機能に依存していることが判明した。

非利き手橈骨神経麻痺手術患者の把握動作を術前後で3次元動作解析し、術後3カ月で運動シナジーパターンが正常人に近づき、術後6カ月ではほぼ正常人と同じパターンとなっていることが判明した。

筋肉内留置可能電極を使用し上腕二頭筋と上腕筋の役割の違いについて肘屈曲伸展課題を行い検討した。その結果、上腕二頭筋は運動初期と最終域で主に活動し、上腕筋は屈曲トルクの増大に依存して活動していること、低負荷高速度運動では主に上腕二頭筋が活動しており、2つの肘屈筋には明らかに役割の違いが存在しており、機能再建、あるいはリハビリテーションではそれを考慮する必要であることが判明した。

利き手と非利き手の関節運動パターンの違いを検討するためにリーチ動作課題を3次元動作解析し、運動シナジー分析を行なった。手指の手関節運動パターンには左右差を認めなかったが、肩と肘が関与するパターンでは左右差を認めた。また、手指・手関節運動パターンと肘・肩関節運動パターンは独立していた。

シナジー解析から抽出した運動パターンを実施することは新規運動課題獲得に有効か否かを手掌内球回し課題で検討した。単純な手指運動訓練を行うより、シナジー解析から抽出した訓練を行う方が球回しパフォーマンスが有意に向上することが判明し、特定の手の運動機能を獲得あるいは向上させるためにはシナジー解析に基づいたリハビリテーション課題を実施すべきことが判明した。

(3)動画観察関連：

新規運動課題獲得のためには速度の遅い動画が有効で、その要因を調査するために動画観察中の視線解析を行なった。遅い動画観察では早い動画と比較し視線移動範囲が有意に広く、遅い動画観察が有効な一因として視線移動範囲が広がることで動作の意図がより理解できている可能性が示唆された。動画観察でVR3次元動画が2次元動画より有効か否かを調査するために、動画観察前後での運動パフォーマンスの変化とNIRSを使用した動画観察中の脳活動の変化を調査した。コントロール群と比較すると3DVR動画観察では有意にパフォーマンスと脳活動の向上を認めたが、2D動画との有意な差は認めなかった。

VRを使用した動画観察が義手の操作訓練に有効であることを健常成人を対象に調査したところ複雑運動課題でその有効性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ishii, Y. Ishikawa, M. Kurumadani, H. Hayashi, S. Nakamae, A. Nakasa, T. Sumida, Y. Tsuyuguchi, Y. Kanemitsu, M. Deie, M. Adachi, N. Sunagawa, T.	4. 巻 25
2. 論文標題 Increase in medial meniscal extrusion in the weight-bearing position observed on ultrasonography correlates with lateral thrust in early-stage knee osteoarthritis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Orthop Sci	6. 最初と最後の頁 640-646
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jos.2019.07.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kuwahara, W. Nakanishi, K. Kurumadani, H. Shimada, N. Asaeda, M. Deie, M. Adachi, N. Sunagawa, T.	4. 巻 33
2. 論文標題 Total knee arthroplasty for patients with medial knee osteoarthritis improves trunk movement during gait	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Back Musculoskelet Rehabil	6. 最初と最後の頁 727-734
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/BMR-181383	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tsuru, D. Watanabe, T. Chen, X. Kubo, N. Sunagawa, T. Mima, T. Kirimoto, H.	4. 巻 723
2. 論文標題 The effects of transcranial static magnetic fields stimulation over the supplementary motor area on anticipatory postural adjustments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neurosci Lett	6. 最初と最後の頁 452-456
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neulet.2020.134863	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zehry, H. I. Maaty, A. El-Hagrassy, M. M. Ueda, A. Kurumadani, H. Fregni, F. Sunagawa, T.	4. 巻 31
2. 論文標題 Transcranial direct current stimulation effects on hand sensibility as measured by an objective quantitative analysis device: a randomized single-blind sham-control crossover clinical trial	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroreport	6. 最初と最後の頁 406-410
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/WNR.0000000000001423	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 砂川 融	4. 巻 94
2. 論文標題 手外科に対する脳科学的アプローチ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本整形外科学会雑誌	6. 最初と最後の頁 46-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kuwahara, W. Kurumadani, H. Tanaka, N. Nakanishi, K. Nakamura, H. Ishii, Y. Ueda, A. Deie, M. Adachi, N. Sunagawa, T.	4. 巻 24
2. 論文標題 Correlation between spinal and pelvic movements during gait and aggravation of low back pain by gait loading in lumbar spinal stenosis patients	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Orthop Sci	6. 最初と最後の頁 207-213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jos.2018.09.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Date, S. Kurumadani, H. Yoshimura, M. Fukae, A. Onishi, K. Hayashi, J. Shinomiya, R. Sunagawa, T.	4. 巻 30
2. 論文標題 Long-term disuse of the hand affects motor imagery ability in patients with complete brachial plexus palsy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neuroreport	6. 最初と最後の頁 452-456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/WNR.0000000000001229	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakanishi, K. Watanabe, T. Sunagawa, T. Kurumadani, H. Ibrahim Zehry, H. Ochi, M. Adachi, N.	4. 巻 29
2. 論文標題 Mirror imaging of finger mechanical stimulation affects secondary somatosensory response	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Neuroreport	6. 最初と最後の頁 229-234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/WNR.0000000000000966	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kodama, A. Sunagawa, T. Nakashima, Y. Shinomiya, R. Hayashi, Y. Ochi, M. Adachi, N.	4. 巻 23
2. 論文標題 Joint distraction and early mobilization using a new dynamic external finger fixator for the treatment of fracture-dislocations of the proximal interphalangeal joint	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Orthop Sci	6. 最初と最後の頁 959-966
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jos.2018.07.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshizuka, M. Sunagawa, T. Nakashima, Y. Shinomiya, R. Masuda, T. Makitsubo, M. Adachi, N.	4. 巻 46
2. 論文標題 Comparison of sonography and MRI in the evaluation of stability of capitellar osteochondritis dissecans	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Clin Ultrasound	6. 最初と最後の頁 247-252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jcu.22563	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 砂川 融
2. 発表標題 手外科に対する脳科学的アプローチ
3. 学会等名 第92回日本整形外科学会学術総会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shota Date, Hiroshi Kurumadani, Toru Sunagawa
2. 発表標題 Clustering of muscle activation pattern between thenar and extrinsic hand muscles during various grasp tasks.
3. 学会等名 11th International Federation of Societies for Hand Therapy (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Kurumadani, Shota Date, Toru Sunagawa
2. 発表標題 Correlation between palmar shape modulation and finger joint movements during hand shape formation.
3. 学会等名 11th International Federation of Societies for Hand Therapy (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 車谷洋、兒玉祥、山元優輝、伊達翔太、桑原渉、砂川融
2. 発表標題 手根管症候群症例の母指関節運動の特徴 - 可動範囲とKinematicsynergyの分析 -
3. 学会等名 第62回日本手外科学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊達翔太、車谷洋、砂川融
2. 発表標題 把握動作の手内在筋・外在筋の筋シナジー分析 ~ 母指球筋と長掌筋に注目して ~
3. 学会等名 第62回日本手外科学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田章雄、車谷洋、伊達翔太、砂川融
2. 発表標題 ヘッドマウントディスプレイを用いたVR動画の観察による運動学習効果の検討
3. 学会等名 第53回日本作業療法学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊達翔太、車谷洋、上田章雄、砂川融
2. 発表標題 遠位横アーチの可動性が物体把持動作時の手指関節肢位に与える影響
3. 学会等名 第53回日本作業療法学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 車谷洋、伊達翔太、上田章雄、砂川融
2. 発表標題 スマートフォン使用時の母指関節運動の特徴 関節角度と可動範囲の分析から
3. 学会等名 第53回日本作業療法学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 砂川融、車谷洋、上田章雄
2. 発表標題 経頭蓋直流電気刺激が阻血に伴う感覚障害に与える影響
3. 学会等名 第30回日本末梢神経学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 車谷洋、兒玉祥、上田章雄、安達伸生、砂川融
2. 発表標題 手根管症候群症例の関節運動と重症度との関連
3. 学会等名 第30回日本末梢神経学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊達翔太、車谷洋、上田章雄、吉村学、土手章史、石井陽介、林淳二、砂川融
2. 発表標題 長期間の患側上肢の不使用が全型腕神経叢麻痺患者の運動イメージ能力に与える影響
3. 学会等名 第53回日本作業療法学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 車谷洋、兒玉祥、伊達翔太、安達伸生、砂川融
2. 発表標題 手根管症候群症例における術後の母指運動の特徴
3. 学会等名 第34回日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊達翔太、車谷洋、砂川融
2. 発表標題 把握動作時の母指球筋と手外在筋との協調性について 筋シナジー解析を用いた検討
3. 学会等名 第34回日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 車谷洋、川井怜美香、伊達翔太、砂川融
2. 発表標題 到達動作とリバース動作時の運動シナジーの共有パターンの特徴
3. 学会等名 第13回日本作業療法研究学会学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	小池 康晴 (Koike Yasuharu) (10302978)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	
研究分担者	車谷 洋 (Kurumadani Hiroshi) (00335647)	広島大学・医系科学研究科(保)・講師 (15401)	
研究分担者	中西 一義 (Nakanishi Kazuyoshi) (60403557)	日本大学・医学部・教授 (32665)	

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
---------	---------